

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																										
	<p>3. <u>設計飛来物の設定</u></p> <p>3.2.2 <u>評価不要物品の抽出</u>  <u>飛来物源のうち、過去の竜巻被害事例（添付資料9 別紙9-1）を参考とし、設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については、設計飛来物にならないものとして、飛散評価を不要とした。</u></p>	<p>3.3.2.2 <u>現地調査結果の整理</u></p> <p><u>現地調査により抽出した想定飛来物から、小型軽量で竜巻影響評価対象施設に衝突した場合の影響が小さい物体及び損傷するが飛来物とならない物体を設計飛来物の選定候補から除外した。</u></p> <p><u>その他の想定飛来物について、表3.3.1に基づき形状、変形性状、サイズが同程度なものに分類し、グループ分けした。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>表3.3.1 想定飛来物の分類基準</u></p> <table border="1" data-bbox="1727 785 2493 1684"> <thead> <tr> <th></th> <th>分類</th> <th>基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">形状</td> <td>棒状</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>板状</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>塊状</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">変形性状</td> <td>柔</td> <td>木製、ゴム製、中空状又は複数の材からなる。</td> </tr> <tr> <td>剛</td> <td>コンクリート又は鋼製で密実、単体からなる。</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">サイズ</td> <td>極小</td> <td>概ね0.01m<sup>2</sup>未満 概ね1kg未満</td> </tr> <tr> <td>小</td> <td>概ね0.01m<sup>2</sup>～0.5m<sup>2</sup> 概ね1kg～20kg</td> </tr> <tr> <td>中</td> <td>概ね0.5m<sup>2</sup>～2.0m<sup>2</sup> 概ね20kg～500kg</td> </tr> <tr> <td>大</td> <td>概ね2.0m<sup>2</sup>～10m<sup>2</sup> 概ね500kg～2,000kg</td> </tr> <tr> <td>特大</td> <td>概ね10m<sup>2</sup>以上 概ね2,000kg以上</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>形状が棒状又は板状で変形性状が柔と分類されたものについては、評価対象施設に衝突した場合の影響が軽微であり、同形状の変形性状が剛なものに包絡され</u></p>		分類	基準	形状	棒状	—	板状	—	塊状	—	変形性状	柔	木製、ゴム製、中空状又は複数の材からなる。	剛	コンクリート又は鋼製で密実、単体からなる。	サイズ	極小	概ね0.01m <sup>2</sup> 未満 概ね1kg未満	小	概ね0.01m <sup>2</sup> ～0.5m <sup>2</sup> 概ね1kg～20kg	中	概ね0.5m <sup>2</sup> ～2.0m <sup>2</sup> 概ね20kg～500kg	大	概ね2.0m <sup>2</sup> ～10m <sup>2</sup> 概ね500kg～2,000kg	特大	概ね10m <sup>2</sup> 以上 概ね2,000kg以上	<p>(柏崎6/7は「3.3(1) 飛来物調査」で記載)</p> <p>・想定飛来物の分類方法の相違  <b>【東海第二】</b>  島根2号炉は、抽出した想定飛来物を剛・柔の観点でも分類している</p>
	分類	基準																											
形状	棒状	—																											
	板状	—																											
	塊状	—																											
変形性状	柔	木製、ゴム製、中空状又は複数の材からなる。																											
	剛	コンクリート又は鋼製で密実、単体からなる。																											
サイズ	極小	概ね0.01m <sup>2</sup> 未満 概ね1kg未満																											
	小	概ね0.01m <sup>2</sup> ～0.5m <sup>2</sup> 概ね1kg～20kg																											
	中	概ね0.5m <sup>2</sup> ～2.0m <sup>2</sup> 概ね20kg～500kg																											
	大	概ね2.0m <sup>2</sup> ～10m <sup>2</sup> 概ね500kg～2,000kg																											
	特大	概ね10m <sup>2</sup> 以上 概ね2,000kg以上																											

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>ると考えられるため、設計飛来物の選定候補から除外した。</u></p> <p><u>各グループにおいて、ガイドの設定例も参考にし、発電所構内に存在するもののうち、運動エネルギー又は貫通力が大きいと考えられるものを代表として選定した。想定飛来物の分類及び各グループを代表する想定飛来物の選定結果を表3.3.2に示す。</u></p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 固定状況等を踏まえた抽出</p> <p>(1)で抽出した結果を踏まえ、過去の被害事例等(別紙1)を参考に、以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を設計飛来物候補として抽出した。(表3.3.3)</p> <p>①溶接やボルトにより頑健に固定されているか</p> <p>②分解し小型軽量となる物品か</p> <p>③竜巻の影響により転倒はするが、飛来物とはならない物品か</p>	<p>3.1 固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出</p> <p>現地調査にて確認された物品のうち以下に示すもののうち、過去の竜巻被害事例(【添付資料9 別紙9-1】)も参考とし、以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を飛来物源として抽出した。</p> <p>(1) 溶接やボルト等により頑健に固定されている物品</p> <p>(2) 竜巻の影響により損傷はするが、飛散しない物品</p> <p>3.2 飛来物源の飛散評価</p> <p>3.2.1 設計飛来物候補の設定</p> <p>設計飛来物候補は、現場調査結果を踏まえ、飛来物防護対策として設置する設備の規模と固縛等の飛来物発生防止対策を要する物品の物量のバランスを考えて設定した。(第3.2.1-1表参照)</p> <p>発電所における現場調査結果、第3.2.1-1表に示すような、上記の竜巻防護対策(飛来物防護対策と飛来物発生防止対策)のバランス、先行プラントにおける設定実績並びに竜巻飛来物防護ネットの存在を踏まえ、「竜巻影響評価ガイド」に例示される鋼製材を、設計飛来物候補として設定した。</p>		<p>(島根2号炉は、「3.3.2.1(1)現地調査の観点」及び「別紙-1過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について」に記載)</p> <p>(島根2号炉は、「3.3.4.1設計飛来物の仮設定」に記載)</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																				
<p>(3) 代表的な飛来物の飛散評価</p> <p>(2)で抽出をした代表的な飛来物に対し、設計竜巻の最大風速92m/s、風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施し、浮上する物品を抽出した結果を表3.3.3に示す。飛来物の初期高さは、プラントウォークダウンにて確認した飛来物の設置場所と外部事象防護対象施設との高低差を踏まえ設定した。</p>	<p>第3.2.1-1表 設計飛来物候補と竜巻防護対策の関係</p> <table border="1" data-bbox="943 310 1626 982"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設計飛来物候補の例</th> <th colspan="2">竜巻防護対策</th> <th rowspan="3">採用</th> </tr> <tr> <th colspan="2">飛来物防護対策</th> </tr> <tr> <th>規模</th> <th>飛来物発生防止対策 物量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>車両</td> <td>大 配置、耐震面の制約が大きい可能性がある。 建屋壁の増改築、小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。</td> <td>少 対象と物品は少ない。 多くの物品は車両の影響を下回る。</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>鋼製材</td> <td>中 先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。 竜巻飛来物防護対策設備の規模、鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等、具体的なイメージが容易である。</td> <td>中 先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。 細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>木片</td> <td>小 防護設備を必要とする施設は少ない。 衝撃力、貫通力共に小さい。</td> <td>大 処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。 大多数の物品が木片の影響を超える。</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.2.2 評価不要物品の抽出</p> <p>飛来物源のうち、過去の竜巻被害事例(添付資料9 別紙9-1)を参考とし、設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については、設計飛来物にならないものとして、飛散評価を不要とした。</p> <p>3.2.3 飛来物源の飛散評価</p> <p>3.2.2にて抽出された飛来物源に対し、設計竜巻の最大風速100m/s、風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施した。</p> <p>なお、発電所は、敷地近傍に一般道や隣接事業所が存在することから、管理が困難な一般道(国道245号線)からの車両の飛散の影響を現実的に評価することとし、保守性を確保した上で、ランキン渦モデルに比べ物品の飛散挙動をより実現象に近く捉えることができるフジタモデルを、飛散評価の風速場モデルとして適用する。</p>	設計飛来物候補の例	竜巻防護対策		採用	飛来物防護対策		規模	飛来物発生防止対策 物量	車両	大 配置、耐震面の制約が大きい可能性がある。 建屋壁の増改築、小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。	少 対象と物品は少ない。 多くの物品は車両の影響を下回る。	—	鋼製材	中 先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。 竜巻飛来物防護対策設備の規模、鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等、具体的なイメージが容易である。	中 先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。 細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。	○	木片	小 防護設備を必要とする施設は少ない。 衝撃力、貫通力共に小さい。	大 処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。 大多数の物品が木片の影響を超える。	—	<p>3.3.3 飛来物の運動エネルギー及び貫通力の算出</p> <p>前項にて代表として選定した想定飛来物について、解析コード「TONBOS」を用いてフジタモデルの風速場における運動を解析することにより浮き上がりの有無及び最大速度を求めた。</p>	<p>(島根2号炉は、「別紙-1 過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について」に記載)</p> <p>・施設の相違 【東海第二】 島根2号炉は敷地近傍に隣接事業所はない</p>
設計飛来物候補の例	竜巻防護対策		採用																				
	飛来物防護対策																						
	規模	飛来物発生防止対策 物量																					
車両	大 配置、耐震面の制約が大きい可能性がある。 建屋壁の増改築、小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。	少 対象と物品は少ない。 多くの物品は車両の影響を下回る。	—																				
鋼製材	中 先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。 竜巻飛来物防護対策設備の規模、鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等、具体的なイメージが容易である。	中 先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。 細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。	○																				
木片	小 防護設備を必要とする施設は少ない。 衝撃力、貫通力共に小さい。	大 処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。 大多数の物品が木片の影響を超える。	—																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>但し、仮設物のように設置場所の特定が困難な物品については、外部事象防護対象施設に到達する可能性のある初期高さのうち、最大の高さを飛来物の初期高さとして設定した。(別紙2)</u></p> <p><u>そのため、飛来物の飛散距離については、上記で設定した飛来物の初期高さから外部事象防護対象施設の高さまでに飛散した距離を設定した。(例えば、初期高さ30mにおける飛散評価であれば、初期高さ30m から0m 迄の飛散距離となる)</u></p> <p><u>また、飛来物の速度については、ガイドに基づき、飛散評価により求まる飛散した際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。</u></p> <p><u>なお、浮上しないが横滑りにより外部事象防護対象施設に影響を与え得る物品については、浮上する物品同様、(4)以降の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを確認する。</u></p> <p><u>(4) 飛来物発生防止対策の可否を踏まえた抽出</u></p> <p><u>(3)で抽出した結果を踏まえ、固縛、撤去等の飛来物発生防止対策が可能かどうかを考慮し、設計飛来物の候補を抽出した。(表 3.3.3 右端欄参照)</u></p>	<p><u>(1) 初期高さ</u></p> <p><u>フジタモデルを使用した飛散評価においては、第3.2.3-1図に示すように、評価対象物品の配置位置と敷地高さとの高低差を示す初期高さの設定が必要となる。評価対象物品の初期高さは、現地調査結果等を踏まえて設定するものとするが、仮設材のように設置場所が特定できず、高所に置かれる可能性を有する飛来物源に対しては、使用場所が地表高さであるか高所であるかを考慮の上、適切な初期高さを設定する。</u></p> <div data-bbox="943 661 1685 949" data-label="Diagram"> </div> <p>第3.2.3-1図 初期高さのイメージ図</p> <p><u>(2) 空力パラメータ</u></p> <p><u>飛散評価に用いる空力パラメータは、物品の形状及び重量に応じて算出する。【添付資料9 別紙9-2】</u></p> <p><u>(3) 飛散速度の選定と横滑りの考慮</u></p> <p><u>飛来物源の飛散速度については、「竜巻影響評価ガイド」に基づき、飛散評価により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。</u></p> <p><u>なお、浮上しないが横滑りにより評価対象施設等に影響を与え得る物品については、浮上する物品同様、3.3の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。</u></p> <p><u>3.2.4 飛来物発生防止対策の可否を踏まえた飛来物源のスクリーニング</u></p> <p><u>飛散評価の結果を踏まえ、設計飛来物候補である鋼製材に対し、その影響(運動エネルギー又は貫通力)を上回るパラメータを有する飛来物源に対し、固縛あるいは離隔及び撤去等の飛来</u></p>	<p><u>飛来物の飛散速度については、「竜巻影響評価ガイド」に基づき、飛散解析により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。</u></p> <p><u>解析方法の詳細については別添2-2に示す。</u></p>	<p>・初期高さの設定対象の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>島根2号炉は足場パイプ、足場板に対して初期高さを設定して飛散解析を実施している</p> <p>(島根2号炉は、「3.3.4.1 設計飛来物の仮設定」に記載)</p> <p>(島根2号炉は、「3.3.4.2 横滑りの考慮」に記載)</p> <p>(島根2号炉は、「3.3.4.3 飛来物発生防止対策の実施」に記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(5) 評価パラメータの代表性の確認</p> <p>(4)で抽出した結果に対し、竜巻及び飛来物により想定される評価対象施設の損傷モードより設定した評価パラメータ(運動エネルギー、貫通力、寸法)が、最大となる物品を(寸法については最小)、設計飛来物として選定する。(表3.3.3 黄色箇所参照)</p>	<p>物発生防止対策の可否を考慮し、新たに設計飛来物候補とする必要の有無を評価した。</p> <p>(1) 運動エネルギー 飛来物源の運動エネルギー <math>E</math> は下式によって算出する。</p> $E = \frac{1}{2} M \cdot V^2$ <p><math>M</math> : 飛来物の重量(kg)</p> <p><math>V</math> : 飛来物の衝突速度(m/s)</p> <p>(2) コンクリートに対する貫通力 コンクリートに対する貫通力は、飛来物の衝突に対する評価として、NE I 07-13 及び米国NRCの基準類に算定式として記載されている修正NDRC式(①式)を用いて貫入深さ <math>x_c</math> を求め、Degen式(②式)により貫通限界厚さ <math>t_p</math> を算定する。</p>	<p>また、現地調査の結果から代表として選定した飛来物に加えて、ガイドに設定例として示されている飛来物を考慮することとし、解析により求めた最大速度又はガイドに示された最大速度を用いて、運動エネルギー及び貫通力を算出した。貫通力については、BRL式を用いて鋼板に対する貫通厚さ <math>T</math> を、鉄筋コンクリート版に対する貫入深さ <math>x_c</math> を修正NDRC式で算出し、Degen式を用いて鉄筋コンクリート版に対する貫通限界版厚 <math>t_p</math> を算出した。コンクリートの評価においては、kg/cm<sup>2</sup>単位系の値を使用する。</p> <p>【BRL式】(鋼板に対する貫通厚さ <math>T</math>):</p> $T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 D^{3/2}}$ <p>T: 鋼板貫通厚さ (m) M: ミサイル質量 (kg) V: ミサイル速度 (m/s) D: ミサイル直径 (m) K: 鋼板の材質に関する係数 (≒1)</p> <p>出典: ISES7607-3 「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p> <math>\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2</math> の場合 <math>\frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}</math> </p> <p> <math>\frac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2</math> の場合 <math>\frac{x_c}{d} = \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1</math> </p> <p> <math>\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52</math> の場合 <math>t_p = \alpha_p d \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right)^2 \right\}</math> </p> <p> <math>1.52 \leq \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42</math> の場合 <math>t_p = \alpha_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) \right\}</math> </p> <p> <math>t_p</math> : 貫通限界厚さ (cm)  <math>x_c</math> : 貫入深さ (cm)  <math>F_c</math> : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>) : 250 kgf/cm<sup>2</sup>  <math>d</math> : 飛来物の直径 (cm)  (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)  <math>M</math> : 飛来物の重量 (kg)  <math>V</math> : 飛来物の最大水平速度 (m/s)  <math>N</math> : 飛来物の先端形状係数 : 1.14  「構造工学シリーズ6 建造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)を参考に設定。  保守的な評価となる, 非常に鋭い場合の数値を一律使用した。 </p> <p> <math>\alpha_c</math> : 飛来物の低減係数 : 1.0  <math>\alpha_p</math> : 飛来物の低減係数 : 1.0  保守的な評価となる, 剛の場合の数値を一律使用した。 </p> <p> (3) 鋼板に対する貫通力  鋼板に対する貫通力は, 「タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」の中で, 鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式(③式)を用いて貫通限界厚さ<math>T</math>を算定する。 </p> $T^3 = \frac{0.5 M V^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^2} \dots \dots \textcircled{3}$ <p> <math>T</math> : 鋼板貫通限界厚さ (m)  <math>M</math> : 飛来物の重量 (kg)  <math>V</math> : 飛来物の最大水平速度 (m/s)  <math>d</math> : 飛来物の直径 (m)  (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)  <math>K</math> : 鋼板の材質に関する係数 (≒1) </p>	<p> る調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(高温構造安全技術研究組合) </p> <p> 【修正 NDRC 式】(コンクリートに対する貫入深さ<math>x_c</math>):  <math display="block">x_c = \alpha_c \left\{ 4 \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) W N d \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}, \text{ 但し, } \frac{x_c}{\alpha_c d} &lt; 2</math> </p> <p> 【Degen 式】(コンクリートに対する貫通限界版厚<math>t_p</math>):  <math display="block">t_p = \alpha_p d \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right)^2 \right\}, \text{ 但し, } \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52</math> </p> <p> <math>t_p</math> : 貫通限界版厚 (cm)  <math>x_c</math> : 貫入深さ (cm)  <math>d</math> : 飛来物直径 (cm)  <math>F_c</math> : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (=240kgf/cm<sup>2</sup>) </p> <p> <math>W</math> : 飛来物重量 (kgf)  <math>V</math> : 衝突速度 (m/s)  <math>N</math> : 飛来物先端形状係数で, 以下の値を使用する。  ・棒状の物体, 板状の物体 : 1.14  ・塊状の物 : 0.72 </p> <p> <math>\alpha_c</math> : 貫入評価についての飛来物低減係数で, 1.00 を使用する。  <math>\alpha_p</math> : 貫通評価についての飛来物低減係数で, 1.00 を使用する。 </p> <p> なお, BRL式は「タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」の中で, 鋼板に対する貫通厚さの算出式として用いられているものである。 </p> <p> 最大風速92m/sの竜巻によるフジタモデル(地上からの初期高さ0m)を用いた飛散解析による飛来物の浮き上がりの有無及び運動エネルギー, 貫通力の算出結果を表3.3.3に示す。 </p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(4) <u>代表的な飛来物源の飛散評価結果及びスクリーニング</u></p> <p><u>現場調査によって確認された飛来物源に対して、初期高さを設定し、飛散評価を実施する。飛散評価結果とスクリーニングの結果の例として、第3.2.4-1表に示す。</u></p> <p><u>なお、飛来物源の特徴を考慮し、仮設材等の建屋屋上に配置されることが考えられる物品については、一例として初期高さ40mでの結果も並列して記載している。</u></p> <p><u>第3.2.4-1表における飛来物源は、初期高さ0mでの運動エネルギー及び貫通力の評価結果によって分類している。(表中のNo.のハッチング色)</u></p> <p><u>また、初期高さ40mの飛散評価結果による分類は、表中の飛来物発生要否の欄のハッチング色により示しており、初期高さの設定により分類が変更となるものは、ハッチング色により判別できる。</u></p>		



表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (1/6)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	運動エネルギー [kJ]	最大飛散距離 [m]	最大飛上高さ [m]	最大飛上距離 [m]	最大飛上速度 [m/s]	最大飛上質量 [kg]	鋼板の貫通限界		コンクリートの貫通限界	浮き上がり	備考	
												水平	鉛直				
飛来物	(ガイド) 鋼製パイプ <sup>※1</sup>	2	0.05	0.05	8.4	0.0058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	以下の点で飛来物とならない <sup>※4</sup> (1)飛散源発生位置(飛散、回 轉等)が可能な (2)他の飛来物に包絡されるか (3)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。 (4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。
	鋼製止め	1.3	0.217	0.217	90	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。
	ガスボンベ	1.515	0.232	0.232	93	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。
	鉄骨	2	0.34	0.25	156	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。
	(ガイド) 鋼製材 <sup>※1</sup>	4.2	0.3	0.2	133	0.0066	10	7	6	3	9	0.08	6	4	2	○	設計飛来物に選定する。
	角型鋼管 (小)	4	0.06	0.06	12	0.0169	15	7	2	0.23	19	0.13	5	2	5	○	(3)角型鋼管(小)に包絡されるこ とから、設計飛来物として選定しな い。
	角型鋼管 (大)	4	0.1	0.1	28	0.0118	16	7	1	0.55	20	0.15	6	3	6	○	設計飛来物に選定する。
	鋼材	6	0.3	0.3	558	0.0027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。
	コンクリート柱	12	0.252	0.252	900	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、外部衝撃的飛散 象徴との飛散をとる又は回轉等を 実施することから設計飛来物として 選定しない。

※1: ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品  
 ※2: 修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出  
 ※3: 発電用原子炉施設のタービンサイドルの評価に用いられている BRL 式にて算出  
 ※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

第 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)		初期 高さ (m)	C <sub>D</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	最大 飛散 距離 (m)	最大 飛上 高さ (m)	最大 質量 (kg)	最大 運動 エネルギー (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①、②、③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外							最大 速度 (m/s)	貫通 限界 (cm)	鋼製材 限界 (tp > 176kJ)	貫通 限界 (mm)	鋼製材 限界 (tp > 25.9cm)			
<b>&lt;運動エネルギーが鋼製材より大きいもの&gt;</b>																	
340	プレハブ小屋	2.2	6	10	0.0115	0	56	185.1	15.786	5500	8624	0	64.4	0	9	×	○
349	物置	2.3	3.2	6.5	0.0057	0	43	88.5	4.726	5000	4623	0	54.4	0	8	×	○
252	トラック	2.24	2.445	7.54	0.0073	0	48	120.2	6.56	3700	4263	0	51.7	0	8	×	○
260	プレハブ小屋	2.6	2.86	6.05	0.0090	0	52	172.2	13.803	3000	4056	0	49.9	0	7	×	○
216	社用バス	2.34	2.96	8.99	0.0037	0	28	37.3	1.675	9910	3885	0	52.7	0	7	×	○
414	プレハブ小屋	2.3	2.7	5.5	0.0075	0	49	146.8	7.625	3000	3602	0	49	0	7	×	○
115	トラック	2.22	3.16	7.56	0.0040	0	30	42.1	1.97	7970	3587	0	50.2	0	7	×	○
182	消防車	2.49	3.04	8	0.0033	0	25	30.7	1.216	10620	3319	0	48.4	0	6	×	○
155	プレハブ小屋	2.5	3.6	5	0.0145	0	59	210.8	21.932	1800	3133	0	41.8	0	5	×	○
215	社用バス	2.08	2.82	6.99	0.0041	0	30	41.3	1.907	6605	2973	0	47.3	0	6	×	○
183	消防車	2.28	2.8	7.15	0.0033	0	23	26.6	1.008	8635	2284	0	42	0	5	×	○
20	物置	2.3	3.05	3.05	0.0103	0	54	176.9	14.187	1500	2187	0	37.1	0	5	×	○
66	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	0	65	227.2	27.502	1000	2113	0	36.3	0	5	×	○
75	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	0	65	227.2	27.502	1000	2113	0	36.3	0	5	×	○
247	プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	0.0191	0	63	220.3	24.49	1000	1985	0	35.4	0	5	×	○
2	プレハブ小屋	2.3	2.6	4.6	0.0189	0	63	219.9	24.347	1000	1985	0	35.9	0	5	×	○
237	プレハブ小屋	2	3	4	0.0172	0	61	209.6	20.915	1000	1861	0	34.8	0	5	×	○
373	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	0	39.1	0	6	×	○
259	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	0	39.1	0	6	×	○
228	物置	2.4	2.65	3.5	0.0159	0	60	213.9	22.626	1000	1800	0	33.9	0	5	×	○
479	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	0	34.6	0	5	×	○
370	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	0	34.6	0	5	×	○
28	乗用車	1.69	1.81	4.39	0.0067	0	43	73.9	3.801	1825	1688	0	39.1	0	6	×	○

表 3.3.3 想定飛来物の飛散解析結果(フジタモデル(地上からの初期高さ 0m), 最大風速 92m/s)

形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギー (kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ <sup>※1</sup> (cm)	鋼板の貫通限界厚さ <sup>※2</sup> (mm)
棒状	鋼製パイプ [ガイド]	2000	50	50	8.4	○	7	1	3	2
	鋼製パイプ 1	4000	50	50	16.8	○	7	1	3	2
	鋼製材 [ガイド]	4200	300	200	135.0	○	8	5	6	3
板状	鋼製材 1	5500	100	100	95.0	-	-	-	-	-
	鋼製材 2	5500	150	150	174.0	-	-	-	-	-
	電柱	10000	257	257	690.0	-	-	-	-	-
	マンホール蓋 (小)	650	650	50	33.5	○	6	1	3	1
	マンホール蓋 (大)	975	975	60	88.0	○	4	1	3	1
	コンクリート板 [ガイド]	1500	1000	150	540.0	-	-	-	-	-
	コンクリート板 1	2700	1000	200	1300.0	-	-	-	-	-
	敷き鉄板 1	3000	1400	12	400.0	-	-	-	-	-
	敷き鉄板 2	3000	1500	22	802.0	-	-	-	-	-
	敷き鉄板 3	6100	1500	25	1820.0	-	-	-	-	-
塊状	仮設足場	4000	250	40	13.2	○	40	11	10	4
	砂利	40	40	40	0.2	○	14	1	1	1
	コンクリートブロック	390	190	150	14.3	○	9	1	3	1
	コンクリート側溝	2100	380	340	132.0	○	8	4	5	1
	コンクリート橋	1200	1200	1200	1300.0	-	-	-	-	-
	鋼製ドラム	3000	3000	2000	6000.0	-	-	-	-	-
	ドラム缶	600	600	900	24.0	○	65	50	10	2
	ガスボンベ	1500	230	230	57.0	○	5	1	3	1
	空調室外機 (家庭用)	800	250	300	10.0	○	48	12	7	2
	空調室外機 (ビル用)	1400	940	320	134.0	○	21	29	9	2
	自動販売機	740	1362	1830	365.0	○	46	372	24	4
	コンテナボックス [ガイド]	6000	2400	2600	2300.0	○	50	2810	44	6
	プレハブ小屋 1	3700	2000	2600	800.0	○	58	1304	31	4
	プレハブ小屋 2	7300	2300	2600	1400.0	○	58	2350	40	6
	プレハブ小屋 3	7300	6900	2600	4200.0	○	54	5927	52	6
	プレハブ小屋 4	27000	7200	3400	7500.0	○	63	14496	74	9
	小型発電機	1330	630	1650	354.0	○	39	262	21	4
	中型発電機	2550	1080	1500	1770.0	○	3	5	3	1
	大型発電機	5380	1650	2100	7220.0	-	-	-	-	-
	小型自動車	1855	725	1045	89.0	○	61	166	16	3
	乗用車 1	3395	1475	1610	840.0	○	47	899	31	5
	乗用車 2	4360	1695	1460	1140.0	○	44	1074	33	5
	乗用車 3	4790	1780	1535	1510.0	○	40	1192	35	5
乗用車 4	5230	1880	2285	1890.0	○	48	2089	41	6	
トラック [ガイド]	5000	1900	1300	4750.0	-	-	-	-	-	
トラック 1	8445	2230	2465	3790.0	○	46	3869	53	8	
バス 1	6990	2010	2645	3880.0	○	43	3462	51	7	
バス 2	11990	2490	3750	12100.0	○	38	8537	72	10	
高圧発電機車	6825	2150	3260	7680.0	○	27	2759	45	6	
フォークリフト	3200	1520	2240	6920.0	-	-	-	-	-	
ホイールローダー	6130	2250	3035	9350.0	○	10	433	20	2	
ショベルカー	9425	2800	3040	19500.0	-	-	-	-	-	
ラフタークレーン	11000	2600	3500	26500.0	-	-	-	-	-	

※1: 修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出

※2: BRL 式を用いて算出

・想定飛来物の相違  
 【柏崎 6/7, 東海第二】  
 抽出した想定飛来物の相違

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (2/6)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	型パブリック [m <sup>2</sup> /kg]	最大水 圧速度 [m/s]	最大鉛 直速度 [m/s]	運動エ ネルギー [kJ]	運動エ ネルギー [kJ]	最大飛 距離[m]	最大飛 散高さ [m]	コンクリートの貫 通限界長さ[m]		鋼材の貫通限界 長さ[m]		以下の上記 (4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか	
													水平	鉛直	水平	鉛直		
飛 来 物	コンクリートブロック	0.65	0.65	0.65	660	0.0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか
	クレーンクエイト 5t	1.6	1.28	0.4	5000	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか
	鋼製ボビン	2.6	2.6	1.6	960	0.0101	46	23	938	227	180	5	26	14	4	2	○	(4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか
	発電機 (大)	4	1.8	1.4	4020	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか
	発電機 (小)	0.91	0.53	0.7	125	0.008	27	7	43	3	36	2	10	3	2	1	○	(4)飛来物発生防止対策 (5)他の飛来物に包摂されるか
砂利	0.04	0.04	0.04	0.2	0.016	14	7	0.02	0.004	18	0.08	1	1	1	1	○	設計飛来物に選定する。	

※1: ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品  
 ※2: 修正 NRC 式及び、Degen 式を用いて算出  
 ※3: 発電用原子炉施設のタービンサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出  
 ※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

表 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に関する整理)	寸法(m)		C <sub>D</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	最大 質量 (kg)	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①,②,③の いずれかが "○"】		
		高さ	高さ以外								鋼製材超 限界 (mm)	鋼製材超 限界 (mm)					
22	トラック	1.695	1.9	4.69	0.0057	0	37	55.2	2340	1602	○	38.3	○	6	×	○	
106	コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	0	55	170.1	12,251	950	1437	○	34.9	○	5	×	○
73	コンテナ	1.5	2.1	3.7	0.0115	0	54	163.1	8,195	950	1386	○	34.5	○	5	×	○
219	乗用車	1.39	1.86	4.015	0.0074	0	42	63.4	1570	1385	○	36.7	○	6	×	○	
307	プレハブ小屋	1.85	2.6	3.65	0.0193	0	62	211.5	21,333	720	1384	○	31.4	○	4	×	○
1	乗用車	1.6	2	4.5	0.0052	0	33	44.3	2,293	2500	1362	○	35.8	○	5	×	○
424	プレハブ小屋	1.7	2.5	2.6	0.0147	0	59	186.9	15,804	685	1193	○	30	○	4	×	○
383	物置	1.9	1.9	2.25	0.0101	0	53	165.3	10,111	801	1126	○	30.4	○	4	×	○
371	物置	2	2	2.3	0.0137	0	58	194.1	17,348	640	1077	○	28.9	○	4	×	○
347	物置	1.9	2.05	2.4	0.0177	0	61	208.6	20,542	500	931	○	26.9	○	4	×	○
330	物置	1.9	2.3	2.9	0.0304	0	69	222.9	30,192	360	857	○	24.9	○	4	×	○
177	鋼製ステップ	1	1.3	4.3	0.0185	0	60	164.2	9,74	400	720	○	29.3	○	5	×	○
409	物置	1.4	2.1	3	0.0296	0	68	212.9	24,183	300	694	○	27.1	○	5	×	○
222	物置	1.8	2	3	0.0367	0	71	220.9	33,633	270	681	○	23	○	3	×	○
21	コンテナ	1	1.4	3.2	0.0134	0	54	141.3	4,521	450	657	○	27.9	○	5	×	○
85	物置	2	2.1	3.5	0.0583	0	78	211.3	4,521	210	639	○	21.5	○	3	×	○
79	消防車	2.5	2.5	8	0.0025	0	10	4.9	0.068	12500	625	○	24.1	○	3	×	○
63	仮設電源	1.68	2.12	3.69	0.0034	0	19	17.8	0.574	3460	625	○	25.2	○	3	×	○
145	空調室外機	1	2.1	2.9	0.0074	0	35	40.3	2,065	1000	613	○	26	○	4	×	○
435	コンテナ	1.2	1.712	3.7	0.0044	0	23	23.2	0.886	1960	519	○	32.5	○	5	×	○
398	仮設トイレ	0.9	1.4	2.5	0.0133	0	52	128.8	3,795	350	474	○	24.3	○	4	×	○
279	プレハブ小屋	1.3	2.2	2.4	0.0477	0	74	210.3	33,081	156	428	○	19	○	3	×	○

※ 評価計算上、設置期間(30秒)では運動が終了しないため、数値なし。  
 (運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策要否判断可能)









表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (6/6)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量 [kg]	密度 [t/m <sup>3</sup> ]	最大水平距離 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛散距離 [m]	最大到達高さ [m]	コンクリートの貫通		鋼板の貫通		以下の点で飛来物とならないか、 (1)飛来物防止対策 (扉、蓋、窓等) が可能なか (2)他の飛来物に包摂されるか	
													水平	鉛直	水平	鉛直		
剛飛来物	銅製パイプ (足場用) 6a	2	0.05	0.05	6	0.0088	12	38	5	4	262	0.61 (148)	8	7	11	9	○	(5)銅製パイプ (足場用) に包摂されることから、設計飛来物として選定しない。
	銅製パイプ (足場用) 6b	4	0.05	0.05	11	0.0087	42	38	10	8	261	0.57 (148)	11	10	17	15	○	(5)銅製パイプ (足場用) に包摂されることから、設計飛来物として選定しない。
	銅製板 (鋼板)	4	0.25	0.04	14	0.0525	55	18	21	3	373	52 (148)	12	5	6	2	○	(4)同鋼等の飛来物基準/設計が可能なことから、設計飛来物として選定しない。
柔飛来物	鋼製材 (5号炉循環水ポンプ建屋:鋼板) 6a	13.18	0.519	0.2	90	0.6431	61	18	165	14	237	48 (22)	22	8	7	2	○	(4)同鋼等の飛来物基準/設計が可能なことから、設計飛来物として選定しない。
	足場板 (アルミ)	4	0.24	0.039	11	0.0683	54	16	15	2	394	57 (148)	11	4	5	1	○	(6)足場板 (鋼製) に包摂されることから、設計飛来物として選定しない。
	外壁 (5号炉循環水ポンプ建屋) 6b	0.035	0.32	9.12	36	0.0578	69	15	85	5	271	59 (0)	22	6	13	2	○	(4)同鋼等の飛来物基準/設計が可能なことから、設計飛来物として選定しない。

※1: () 内の値は飛来物初期高さ (地面からの物品の高さ)

※2: 修正 NDRC 式及び Degen 式を用いて算出

※3: 発電用原子炉施設のタービンサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

※5: 屋根、外壁は、外部事象防護対象施設に届き得る範囲のなかで飛散評価結果値が最大である 5号炉循環水ポンプ建屋を使用

※6: 仮設足場に飛散防止対策を講じた場合は除く。

表 3.2.4-1 表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に即った整理)	寸法(m)		C <sub>0</sub> A <sub>0</sub> /m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 到達 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 エネルギー (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①②③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外								鋼製材超 限界 (E>176kJ) 【条件①】	鋼製材超 限界 (tp>25.9cm) 【条件②】	鋼製材超 限界 (T>9mm)	鋼製材超 限界 (T>9mm)				
194	看板、標識	0.6	0.6	1.4	0.0449	0	71	202.9	18.726	30	76	X	X	3	X	X	X	X
68	プラスチック容器	0.6	0.7	1.3	0.0481	0	72	238.9	20.237	29	76	X	X	2	X	X	X	X
382	看板、標識	0.1	1.8	2	0.0351	0	45	147	0.533	72	73	X	X	3	X	X	X	X
164	鋼製蓋	0.15	2.3	2.3	0.0086	0	17	12.5	0.193	441	64	X	X	2	X	X	X	X
495	仮設電源	0.6	0.9	1.1	0.0067	0	24	19.8	0.867	216	219	○	X	4	X	X	○	X
152	消火設備格納箱	0.5	0.5	1.2	0.0192	0	49	132.9	2.372	50	61	X	X	3	X	X	X	X
13	クーブールドラム	0.5	0.9	0.9	0.0093	0	29	24.1	1.096	122	79	X	X	3	X	X	X	X
11	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0472	0	72	214	19.804	20	52	X	X	2	X	X	X	X
93	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0460	0	71	210.3	19.251	20.5	52	X	X	2	X	X	X	X
131	コンテナ	1	2.1	3.4	0.0031	0	6	1.4	0.017	2746	50	X	X	1	X	X	X	X
253	鋼製蓋	0.1	1.3	3.7	0.0141	0	20	15.4	0.24	241	49	X	X	3	X	X	X	X
181	バリケード	0.5	0.5	1.1	0.0446	0	70	196.3	14.822	20	49	X	X	2	X	X	X	X
338	クーブールドラム	0.7	0.95	0.85	0.0049	0	66	272.3	53.877	302	44	X	X	2	X	X	X	X
153	消火設備格納箱	0.3	0.7	1.2	0.0233	0	47	143.4	1.442	40	45	X	X	2	X	X	X	X

第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に関する整理)	寸法(m)		C <sub>p</sub> A/m (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コナート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①、②、③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外								鋼製材超 (E>176kJ) 【条件①】	鋼製材超 (E>25.9cm) 【条件②】	鋼製材超 (T>9mm) 【条件③】	鋼製材超 (T>9mm) 【条件③】				
201	コンクリートブロック	0.3	0.8	0.0096	0	30	24.6	1.139	100	45	X	X	X	X	X	X	X	X
46	洗濯機	0.5	0.5	0.0148	0	43	84.2	1.855	47	44	X	X	X	X	X	X	X	X
303	ベンチ(常設)	0.4	0.6	0.0195	0	47	119.9	1.786	38.7	43	X	X	X	X	X	X	X	X
392	鋼製蓋	0.055	1.5	0.0127	0	17	12.3	0.099	283	41	X	X	X	X	X	X	X	X
190	ベンチ(常設)	0.4	0.4	0.0193	0	46	119.5	1.769	38.4	41	X	X	X	X	X	X	X	X
320	パレット(鋼製)	0.17	1.3	0.0382	0	49	144.7	1.06	33.8	41	X	X	X	X	X	X	X	X
					40	63	269.9	51.322		68	X	X	X	X	X	X	X	X
139	仮設電源	0.598	0.687	0.713	0.0066	0	24	19.8	0.84	39	X	X	X	X	X	X	X	X
92	仮設電源	0.3	0.7	0.0194	0	44	113.6	1.227	37.8	37	X	X	X	X	X	X	X	X
					40	56	260.2	30.654		60	X	X	X	X	X	X	X	X
122	コンクリートブロック	0.45	0.5	0.0131	0	38	71.5	1.394	50	37	X	X	X	X	X	X	X	X
483	ベンチ(常設)	0.5	0.75	1.8	0.1733	0	86	268.8	38.374	10	37	X	X	X	X	X	X	X
204	下駄箱	0.4	0.6	1	0.0108	0	30	21.3	0.979	76	35	X	X	X	X	X	X	X
	パレット(木製又は樹 脂製)	0.15	1.1	0.0282	0	45	144.1	0.723	33	34	X	X	X	X	X	X	X	X
339	パレット(木製又は樹 脂製)	0.14	1.1	0.0279	0	44	139.6	0.661	33	32	X	X	X	X	X	X	X	X
					40	59	268.9	43.534		58	X	X	X	X	X	X	X	X
301	足場板、足場件	0.24	0.36	3	0.0136	0	32	41.4	0.66	30	X	X	X	X	X	X	X	X
379	パレット(木製又は樹 脂製)	0.13	1.1	0.0385	0	48	146.7	0.774	23.7	28	X	X	X	X	X	X	X	X
					40	63	270	51.491		48	X	X	X	X	X	X	X	X
251	ベンチ(仮設)	0.3	0.42	1.8	0.0395	0	57	147.5	15.1	25	X	X	X	X	X	X	X	X

第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に開った整理)	寸法(m)		C <sub>p</sub> A/m (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コナート)		貫通力(鋼版)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①②③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外								鋼製材超 限界 厚さ (cm) 【条件①】	鋼製材超 限界 厚さ (mm) 【条件②】	鋼製材超 限界 厚さ (mm) 【条件③】	鋼製材超 限界 厚さ (mm)				
298	鋼製スロープ	0.12	0.5	1.5	0.0213	0	39	103.2	0.439	27.7	22	X	X	X	X	X	X	X
176	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0045	0	14	9.1	0.259	21	X	X	X	X	X	X	X	X
220	カーブミラー	0.084	1	1	0.0369	0	44	148.7	0.453	19.7	20	X	X	X	X	X	X	○
47	プラスチック容器	0.6	0.6	0.7	0.1584	0	87	256.7	39.584	5	19	X	X	X	X	X	X	X
405	樹脂製パイプ	0.3	0.3	6	0.0059	0	44	163.7	0.596	150	15	X	X	X	X	X	X	X
33	消火設備格納箱	0.3	0.3	0.7	0.0337	0	54	147.3	1.997	10	19	X	X	X	X	X	X	X
272	足場板, 足場枠	0.04	0.25	4	0.0582	0	43	126.1	0.278	12.5	12	X	X	X	X	X	X	X
188	カラーコーン	0.4	0.4	0.7	0.1584	0	86	283.2	34.391	3	10	X	X	X	X	X	X	X
351	木片, 木製品	0.26	0.26	0.77	0.0119	0	29	35	0.632	26	34	X	X	X	X	X	X	X
87	グレーチング	0.065	1	1	0.0113	0	15	8.8	0.101	63.3	8	X	X	X	X	X	X	X
295	ホース	0.35	0.6	0.6	0.0052	0	12	7	0.169	100	8	X	X	X	X	X	X	X
51	カーブミラー	0.05	0.6	0.6	0.0297	0	38	102.4	0.21	8.8	7	X	X	X	X	X	X	X
107	樹木(鋼木, 伐採 木), 材木	0.1	0.1	4	0.0162	0	22	17.5	0.277	20	5	X	X	X	X	X	X	X

第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に即った整理)	寸法(m)		C <sub>p</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 エネルギー (kJ)	貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①,②,③の いずれかが "○"】
		高さ	高さ以外								貫通 限界 厚さ (cm)	貫通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 【条件①】	鋼製材超 【条件②】	
58	樹脂製蓋	0.02	1	0.0188	0	15	9.2	0.046	36	5	5.8	×	×	×	×
34	鋼製スロープ	0.05	0.55	1.1	0	21	17.1	0.152	21.4	5	17.6	×	×	×	×
198	プラスチック容器	0.7	0.7	0.9	0	56	262.1	33.14	346	5	13.4	×	×	×	×
32	消火器	0.153	0.154	0.5	0	38	114.3	0	250	3	3.6	×	×	×	○
50	バイク, 自転車	0.05	0.51	0.54	0	22	19.7	0.324	10	3	4.2	×	×	×	×
431	樹脂製蓋	0.015	0.5	0.67	0	16	11.3	0.045	9	2	3.8	×	×	×	×
336	什器類	0.06	0.36	0.36	0	25	25	0.207	4.5	2	11.7	×	×	×	×
244	クレーニング	0.005	0.1	0.9	0	5	1.2	0.016	11.5	2	2.9	×	×	×	×
305	鋼製板	0.006	0.65	0.65	0	8	2.9	0.007	16.6	1	3.4	×	×	×	×
316	マンホール蓋	0.03	0.5	0.6	0	9	3.6	0.009	15.6	1	3.4	×	×	×	×
232	コンクリート製蓋	0.1	0.5	0.6	0	7	2	0.03	38.4	1	2.6	×	×	×	×
233	クレーニング	0.15	0.2	6	0	2	0.1	0	179	1	2	×	×	×	×
110	鉄骨	0.022	0.26	0.26	0	12	6.3	0.035	3.4	1	1.9	×	×	×	○
418	コンクリート製蓋	0.29	0.49	0.77	0	3	0.3	0.001	120	96	17.2	×	×	×	×
250	運搬台車	0.05	0.2	0.51	0	5	0.9	0.01	11.5	1	1.5	×	×	×	×
81	コンクリート製蓋														

第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に開いた整理) <浮上しなさいの>	寸法(m)		C <sub>p</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コブナ)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①②③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外								鋼製材超 (E> 176kJ) 【条件①】	鋼製材超 (tp> 25.9cm) 【条件②】	普通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T> 9mm) 【条件③】				
216	マンホール蓋	0.045	0.75	0.75	0.0063	0	1	0	64	1	×	×	×	×	×	×	×	×
…初期高さが最大浮上高さ0mを超えたと初期位置が空中となり、最大浮上高さ0mでも落下時に電線影響によって水平速度が発生する (初期高さが0を超えたと初期位置が空中となり、最大浮上高さ0mでも落下時に電線影響によって水平速度が発生する)																		
8	鋼管	0.17	0.17	5.5	0.0042	0	0	0	109	88	—	—	×	×	×	×	×	×
9	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0038	0	0	0	52	40	—	—	×	×	×	×	×	×
27	フォークリフト	1.19	1.38	0.0011	0	0	0	0	3320	—	—	—	×	×	×	×	×	×
49	マンホール蓋	0.05	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	—	×	×	×	×	×	×
51	コンクリート製蓋	0.13	0.7	1	0.0027	0	0	0	209	—	—	—	×	×	×	×	×	×
61	鋼製板	0.019	1.55	6	0.0045	0	0	0	1387	—	—	—	×	×	×	×	×	×
64	仮設電源	1.3	1.75	3.7	0.0022	0	0	0	4190	—	—	—	×	×	×	×	×	×
65	フロンバッグ	1.1	1.1	1.1	0.0024	0	0	0	1000	—	—	—	×	×	×	×	×	×
69	鉄骨	0.15	0.15	1	0.0043	0	0	0	31.1	27	×	×	×	×	×	×	×	×
97	鉄骨	0.125	0.125	4.5	0.0043	0	0	0	106	90	—	—	×	×	×	×	×	×
100	ケープドラム	0.9	1.5	1.5	0.0024	0	0	0	1399	—	—	—	×	×	×	×	×	×
112	鋼管	0.15	0.15	4	0.0034	0	0	0	86	63	×	×	×	×	×	×	×	×
141	建設機械	2.2	2.69	2.69	0.0016	0	0	0	8000	—	—	—	×	×	×	×	×	×
163	鉄骨	0.1	0.1	5.4	0.0048	0	0	0	91.3	81	×	×	×	×	×	×	×	×



第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m)		C <sub>p</sub> N/m (m <sup>2</sup> /kg)	初期 高さ (m)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①,②,③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外								鋼製材超 限界 (E> 176kJ) 【条件①】	鋼製材超 限界 (E> 176kJ) 【条件①】	普通 限界 (tp> 25.9cm) 【条件②】	鋼製材超 普通 限界 (T> 9mm) 【条件③】	普通 限界 (T> 9mm) 【条件③】			
186	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	122	—	—	—	—	—	—	—	—	×
199	オブジェ	2	2	4	0.0006	0	0	0	2200	—	—	—	—	—	—	—	—	×
226	トラック	1.695	2.15	5.14	0.0021	0	0	0	7635	—	—	—	—	—	—	—	×	
231	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	57	—	—	—	—	—	—	—	×	
234	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	57	—	—	—	—	—	—	—	×	
276	建設機械	0.72	1.2	2.39	0.0016	0	0	0	2250	—	—	—	—	—	—	—	×	
284	鋼製蓋板	0.019	1.5	6	0.0045	0	0	0	132	—	—	—	—	—	—	—	×	
289	空調室外機	0.4	0.8	0.95	0.0020	0	0	0	500	225	○	○	○	○	○	○	○	○
293	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0035	0	0	0	57	44	—	—	—	—	—	—	—	×
309	プラスチック容器	0.88	0.87	1.07	0.0029	0	0	0	516	335	○	○	○	○	○	○	○	○
314	コンクリートブロック	0.15	0.25	0.6	0.0036	0	0	0	51.8	—	—	—	—	—	—	—	—	×
335	鋼製スロープ	0.15	0.5	1.6	0.0041	0	0	0	180	144	×	×	×	×	×	×	×	×
337	鋼製スロープ	0.18	1.6	3.3	0.0038	0	0	0	1011	769	○	○	○	○	○	○	○	○
372	フナークリフト	1.48	2.07	2.23	0.0010	0	0	0	7400	—	—	—	—	—	—	—	—	×
380	鋼製ブロック	0.4	0.4	0.75	0.0006	0	0	0	942	—	—	—	—	—	—	—	—	×
381	鋼製ブロック	0.4	0.5	0.75	0.0005	0	0	0	1178	—	—	—	—	—	—	—	—	×
388	コンクリート製蓋	0.25	1.25	5	0.0029	0	0	0	1655	—	—	—	—	—	—	—	—	×
394	鋼製蓋板	0.016	1.53	6	0.0053	0	0	0	1153	—	—	—	—	—	—	—	—	×
400	鋼製ボックス	1.5	2.1	2.1	0.0019	0	0	0	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	×



第3.2.4-1表 代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に即った整理)	寸法(m)		C <sub>p</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	最大 水平 速度 (m/s)	最大 飛散 距離 (m)	最大 浮上 高さ (m)	質量 (kg)	最大 運動 E (kJ)	運動エネルギー		貫通力(コンクリート)		貫通力(鋼板)		飛来物発生 防止対策の 検討が必要 【①,②,③の いずれかが "○"】	
		高さ	高さ以外							鋼製材超 (E>176kJ) 【条件①】	普通 限界 厚さ (cm)	鋼製材超 (D>25.9cm) 【条件②】	普通 限界 厚さ (mm)	鋼製材超 (T>9mm) 【条件③】			
411	鋼製蓋	0.07	1.2	3.7	0.0026	0	0	1220	—	—	—	0	0	0	0	×	×
412	鋼製蓋	0.03	2.1	2.1	0.0037	0	0	816	—	—	—	0	0	0	0	×	×
413	鋼製蓋	0.07	0.4	1.1	0.0014	0	0	242	65	×	—	0	0	0	0	×	×
417	コンクリートブロック	0.15	0.16	0.6	0.0042	0	0	33.1	—	—	—	0	0	0	0	×	×
469	鋼管	0.3	0.6	5.5	0.0028	40	36	745	483	○	○	36.2	○	11	○	○	○

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																											
		<p>3.3.4 設計飛来物の設定</p> <p>3.3.4.1 設計飛来物候補 A の設定</p> <p>フジタモデルによる飛散解析においては、物体の地上からの初期高さを高く設定したほうが地表面から解析した場合に比べて最大水平速度は高くなり、最大水平速度に依存するパラメータである運動エネルギー及び貫通力も大きくなる。</p> <p>よって、前項にて算出した想定飛来物の飛散解析結果に加え、工事に伴い組み上げた仮設足場から鋼製パイプ（足場パイプ）、足場板が飛散する可能性を考慮し、鋼製パイプ等が地上からの初期高さ 40m から飛散した場合を想定し、フジタモデルにより最大水平速度を求め、運動エネルギー及び貫通力を算出した。算出結果を表 3.3.4 に示す。</p> <p>また、ガイドにおいて例示されている棒状飛来物の最大水平速度を参照し、運動エネルギー及び貫通力を算出した。算出結果を表 3.3.5 に示す。</p> <p>表 3.3.3～3.3.5 の結果を踏まえ、運動エネルギーおよび貫通力の観点から表 3.3.4 の算出結果に対して保守性を考慮し、表 3.3.5 の鋼製材[ガイド]を設計飛来物候補 A として設定した。</p> <p>＜鋼製材を選定した理由＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製材は、想定飛来物の中で大きな運動エネルギーを有しているコンテナボックスやプレハブ小屋、車両等に固定・固縛が容易なものを除き、比較的大きな運動エネルギーおよび最大の貫通力を有している。</li> <li>コンテナボックス、プレハブ小屋等は鋼製材を超える運動エネルギーを有しているが、固定・固縛対策が容易である。車両等については、避難が可能である。</li> </ul> <p>表 3.3.4 想定飛来物の飛散解析結果（フジタモデル（地上からの初期高さ 40m）、最大風速 92m/s）</p> <table border="1" data-bbox="1736 1648 2448 1795"> <thead> <tr> <th>形状</th> <th>名称</th> <th>長さ (mm)</th> <th>幅 (mm)</th> <th>高さ (mm)</th> <th>質量 (kg)</th> <th>飛散の有無</th> <th>最大速度 (m/s)</th> <th>運動エネルギー (kJ)</th> <th>コンクリートの貫通限界厚さ<sup>※1</sup> (cm)</th> <th>鋼板の貫通限界厚さ<sup>※2</sup> (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">棒状</td> <td>鋼製パイプ [ガイド]</td> <td>2000</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>8.4</td> <td>○</td> <td>45</td> <td>9</td> <td>11</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>鋼製パイプ1</td> <td>4000</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>16.8</td> <td>○</td> <td>45</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>板状</td> <td>仮設足場</td> <td>4000</td> <td>250</td> <td>40</td> <td>13.2</td> <td>○</td> <td>62</td> <td>25</td> <td>14</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出  ※2：BRL 式を用いて算出</p>	形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギー (kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ <sup>※1</sup> (cm)	鋼板の貫通限界厚さ <sup>※2</sup> (mm)	棒状	鋼製パイプ [ガイド]	2000	50	50	8.4	○	45	9	11	14	鋼製パイプ1	4000	50	50	16.8	○	45	17	14	22	板状	仮設足場	4000	250	40	13.2	○	62	25	14	6	<p>・条件の相違</p> <p>【柏崎 6/7，東海第二】</p> <p>設計飛来物選定にかかわる条件の相違</p>
形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギー (kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ <sup>※1</sup> (cm)	鋼板の貫通限界厚さ <sup>※2</sup> (mm)																																				
棒状	鋼製パイプ [ガイド]	2000	50	50	8.4	○	45	9	11	14																																				
	鋼製パイプ1	4000	50	50	16.8	○	45	17	14	22																																				
板状	仮設足場	4000	250	40	13.2	○	62	25	14	6																																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																
<p>(6) 設計飛来物の選定結果</p> <p>(1)～(5)より、<u>柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物は、表3.3.4 のとおりとする。</u></p> <p><u>仮設足場材（足場パイプ、鋼製足場板）については、設計飛来物候補の中で、足場パイプがコンクリートに対する貫通力（鉛直）及び鋼板に対する貫通力が最大であり、鋼製足場板が、運動エネルギー及びコンクリートに対する貫通力（水平）が最大であるが、仮設足場に飛散防止対策を講じた場合を考慮し、運動エネルギー、貫通力が仮設足場材（足場パイプ、鋼製足場板）に次ぐ飛来物についても抽出する。</u></p> <p><u>仮設足場材（足場パイプ、鋼製足場板）に次ぐ飛来物として、鋼製材については、設計飛来物候補の中で、運動エネルギー、コ</u></p>	<p>3.3 設計飛来物の設定</p> <p>3.2におけるスクリーニングの結果、鋼製材の影響を上回る飛来物源については、飛来物発生防止対策を施すことが可能であると判断したため、<u>鋼製材を設計飛来物として決定した。</u></p> <p>また、設計飛来物に対する竜巻飛来物防護対策設備として設置する防護ネットを通過する可能性があり、鋼製材にて包含できないものとして、砂利も設計飛来物に設定した。</p> <p>第3.3-1表に、発電所における設計飛来物の仕様を示す。</p>	<p>表 3.3.5 想定飛来物の飛散解析結果（ガイド）</p> <table border="1" data-bbox="1730 300 2487 457"> <thead> <tr> <th>形状</th> <th>名称</th> <th>長さ (mm)</th> <th>幅 (mm)</th> <th>高さ (mm)</th> <th>質量 (kg)</th> <th>飛散の有無</th> <th>最大速度 (m/s)</th> <th>運動エネルギー<sup>※1</sup> (kJ)</th> <th>コンクリートの貫通限界厚さ<sup>※2</sup> (cm)</th> <th>鋼板の貫通限界厚さ<sup>※3</sup> (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">棒状</td> <td>鋼製パイプ [ガイド]</td> <td>2000</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>8.4</td> <td>○</td> <td>49</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>鋼製材 [ガイド]</td> <td>4200</td> <td>300</td> <td>200</td> <td>135</td> <td>○</td> <td>51</td> <td>176</td> <td>27</td> <td>34</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：ガイドの飛散速度から算出          ※2：ガイドの飛散速度から修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出          ※3：ガイドの飛散速度から BRL 式を用いて算出</p> <p>3.3.4.2 横滑りの考慮</p> <p><u>浮上しないが横滑りにより評価対象施設等に影響を与える得る物品については、浮上する物品同様、3.3.4.3以降の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。</u></p> <p>3.3.4.3 飛来物発生防止対策の実施</p> <p><u>竜巻影響評価対象施設への影響の大きさが設計飛来物として仮設定した鋼製材を超過する想定飛来物については、風荷重を考慮した固定・固縛等の飛来物発生防止対策を実施することから設計飛来物としない。また、鋼製材は地上からの初期高さ40mから飛散した場合を想定していることから、仮設足場の飛散の影響を包絡できていると考え、仮設足場に対する固縛・固定等は実施しない。</u></p> <p>3.3.4.4 設計飛来物の設定結果</p> <p><u>前項の飛来物発生防止対策を実施する想定飛来物を除外した上で、運動エネルギーおよび貫通力が最大である「鋼製材」を設計飛来物 I とする。</u></p> <p><u>また、設計飛来物に対する竜巻防護対策設備として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり、鋼製材にて包含できないものとして、砂利も設計飛来物に設定した。砂利等の極小飛来物が外部事象防護対象施設に与える影響について、別紙-2に示す。</u></p> <p><u>以上の結果により設定した設計飛来物を表3.3.6に示す。</u></p>	形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギー <sup>※1</sup> (kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ <sup>※2</sup> (cm)	鋼板の貫通限界厚さ <sup>※3</sup> (mm)	棒状	鋼製パイプ [ガイド]	2000	50	50	8.4	○	49	11	11	18	鋼製材 [ガイド]	4200	300	200	135	○	51	176	27	34	<p>(柏崎6/7は「(3) 代表的な飛来物の飛散評価」で記載)</p> <p>(東海第二は「3.2.3 (3) 飛散速度の選定と横滑りの考慮」で記載)</p> <p>・条件及び運用の相違  <b>【柏崎 6/7, 東海第二】</b>          設計飛来物設定時に考慮する条件及び運用の相違</p> <p>・設計飛来物の相違  <b>【柏崎 6/7】</b>          島根 2 号炉は、設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから、柏崎 6/7 の足場パイプ、鋼製足場板等は鋼製材に包含されている</p> <p>・資料構成の相違  <b>【柏崎 6/7, 東海第二】</b></p>
形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギー <sup>※1</sup> (kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ <sup>※2</sup> (cm)	鋼板の貫通限界厚さ <sup>※3</sup> (mm)																									
棒状	鋼製パイプ [ガイド]	2000	50	50	8.4	○	49	11	11	18																									
	鋼製材 [ガイド]	4200	300	200	135	○	51	176	27	34																									

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

ンクリートに対する貫通力が最大であり、角型鋼管 (大) については、鋼板に対する貫通力が最大である。

また、砂利については、非常用換気空調系ルーバへの防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり、鋼製材、角型鋼管 (大)、足場パイプ及び鋼製足場板にて包含できないことから、設計飛来物として選定する。

表 3.3.4 柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物選定結果

飛来物の種類	砂利	鋼製材	角型鋼管 (大)	足場パイプ	鋼製足場板
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行き 4×0.1×0.1	長さ×幅×奥行き 4×0.05×0.05	長さ×幅×奥行き 4×0.25×0.04
質量 (kg)	0.2	135	28	11	14
最大水平速度 (m/s)	14	10	16	42	55
最大鉛直速度 (m/s)	7	7	7	38	18
浮き上がり高さ (m)	0.08	0.08	0.15	0.57+ (148) <sup>0.1</sup> ※2	52+ (148) <sup>0.1</sup> ※2
飛散距離 (m)	18	9	20	261	373

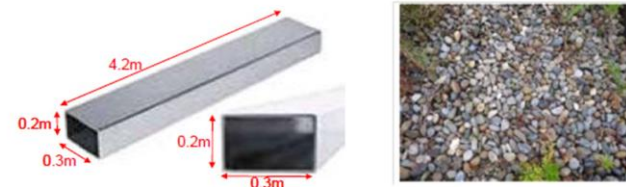
※1: ( ) 内の値は飛来物初期高さ (地面からの物品の高さ)  
 ※2: 大海側における最も高所の5号炉主排気筒頂部に設置されている状況を想定し設定

なお、表 3.3.4 に示した鋼製材、角型鋼管 (大)、砂利、足場パイプ及び鋼製足場板の水平、鉛直速度については、竜巻風速場をフジタモデルとし飛来物の最大速度を求めた値を用いることとする。

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)

第 3.3-1 表 発電所における設計飛来物

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ (m <sup>2</sup> /kg)	速度 (m/s)	運動エネルギー (kJ)
砂利	0.04	0.04	0.04	0.18	0.0176	62	0.35
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135	0.0065	51	176



(鋼製材のイメージ)

(砂利)

鋼製材の水平、鉛直速度については、竜巻風速場をLES (非定常乱流渦モデル) による乱流場とし飛来物速度を求めた「竜巻影響評価ガイド」の値を用いる。

また、砂利については、「竜巻影響評価ガイド」に記載がないことから、竜巻風速場をランキン渦モデルとした場合の水平速度を求め、鉛直速度については「竜巻影響評価ガイド」に基づき水平速度の2/3とした。

島根原子力発電所 2号炉

表 3.3.6 設計飛来物

飛来物	砂利	鋼製材
寸法 (m)	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.2	135
最大水平速度 (m/s)	54	51
最大鉛直速度 (m/s) ※1	36	34

※1: ここではガイドに基づき最大水平速度の2/3の値を記載。施設の構造健全性評価等では最大水平速度の2/3の値又はフジタモデルによる飛散解析結果による値を用いる。

備考

島根 2号炉は砂利等の極小飛来物の衝突に対する影響を記載 (砂利の影響について再掲)

・設計飛来物の相違  
【柏崎 6/7】  
(同上)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>3.3.5 二次飛来物の確認</p> <p>竜巻による風圧力や飛来物によって破損して飛来物となり得る物体（以下「二次飛来物」という。）について、過去の竜巻事例（別紙－1）に基づき、平成26年8月に現地調査を実施した。</p> <p>(1) 現地調査の観点</p> <p>風圧力や飛来物による被害を受けると考えられる設備及び建物・構築部（固定状況等含む）を調査し、二次飛来物となり得る部位を抽出した。</p> <p>(2) 現地調査結果</p> <p>現地調査の結果、建物の金属製屋根・外壁、シャッター、ガラス窓及び給排気用格子を二次飛来物として抽出した。これらの二次飛来物について、設計飛来物の影響を超過するものはないことを確認した。</p> <p>詳細は別紙－2「二次飛来物の現地調査について」に示す。</p>	<p>（柏崎6/7は「(1) 飛来物調査」及び「別紙1(2) 固定状況等を踏まえた抽出」で記載）</p> <p>（東海第二は「2. 発電所構内の物品調査」及び「3.1 固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出」で記載）</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p>分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品等について</p> <p>設計飛来物の選定フローにおいて、「分解し小型軽量となる物品」及び「倒壊するが飛来物とはならない物品」は設計飛来物として選定しないこととしている。これは、過去の主な竜巻の被害概要の調査結果から、分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品について検討を行った結果より確認をしている。</p> <p>以下に平成2年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った結果を示す。「分解し小型軽量となる物品」、「倒壊するが飛来物とはならない物品」は柏崎刈羽原子力発電所における調査結果を念頭に被害状況を示す。</p>	<p style="text-align: right;">別紙 9-1</p> <p>分解され小型軽量となる物品及び損傷するが飛来物とならない物品について</p> <p>設計飛来物の抽出フローにおいて、「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されること、また「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないことから、いずれも設計飛来物として選定しないとしている。これは、過去の主な竜巻の被害概要の調査結果等から、このような物品の状況について検討を行った結果より判断した。</p> <p>以下に、平成2年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果等に基づく検討結果を示す。</p>	<p style="text-align: right;">別紙-1</p> <p>過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について</p> <p>島根原子力発電所における設計飛来物の設定にあたり、「損傷するが飛来物とならない物品」及び「分解して小型軽量となる物体」について、過去の主な竜巻による被害概要を調査した文献を用いて検討を行った。検討の結果、「樹木、フェンスについては、竜巻時に損傷するが飛来物とならない」、「建物の金属製屋根・外壁、シャッター、ガラス窓等については、竜巻時に飛散するが、分解され小型軽量となるため、設計飛来物に包含される」と判断した。検討内容を以下に示す。</p> <p>(1) 損傷するが飛来物とならない物体</p> <p>①樹木</p> <p>樹木の被害状況を図1～7に示す。</p> <p>樹木については、被害状況より幹の折損、根の引き抜き等が見られるが、折損した場合、引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で損傷しているのみであることが確認できる。これは竜巻の風荷重により、樹木が損傷した後、竜巻が既に通過しているためであると考えられ、樹木が折損、引き抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>写真1 天神寺外観(南から見る)      写真3 倒木(北西からみる)</p> <p>図1 平成14年7月10日群馬県境町にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況※1</p>	<p>(柏崎6/7は「(3) 倒壊するが飛来物とならない物品(確認対象: 樹木、フェンス)」で記載)</p> <p>(東海第二は「(3) 損傷するが飛散しない物品(樹木、フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル)」で記載)</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1777 310 2110 562" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="2139 310 2472 562" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1724 575 2496 688" data-label="Caption"> <p>写真 16 樹木の転倒 写真 38 樹木の転倒(緑ヶ丘) 図 2 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市にて発生した F2 竜巻による樹木の被害状況※<sup>2</sup></p> </div> <div data-bbox="1863 758 2323 1073" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1724 1100 2496 1226" data-label="Caption"> <p>写真 47 樹木の折損 図 3 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻による樹木の被害状況※<sup>3</sup></p> </div> <div data-bbox="1852 1304 2368 1688" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1724 1719 2496 1856" data-label="Caption"> <p>写真 25 倒木(火打谷地区) 図 4 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市にて発生した F2 竜巻による樹木の被害状況※<sup>4</sup></p> </div>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1834 369 2392 789" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="2012 827 2220 852" data-label="Caption"> <p>写真 44 樹木の被害</p> </div> <div data-bbox="1724 879 2496 957" data-label="Caption"> <p>図5 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻による樹木の被害状況<sup>※5</sup></p> </div> <div data-bbox="1754 982 2466 1251" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1834 1276 2012 1302" data-label="Caption"> <p>写真 3.5-15 樹木の折損</p> </div> <div data-bbox="2139 1276 2407 1302" data-label="Caption"> <p>写真 3.5-16 樹木の折損と鳥居の被害</p> </div> <div data-bbox="1754 1318 2466 1579" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1834 1604 2012 1629" data-label="Caption"> <p>写真 3.5-17 樹木の倒木</p> </div> <div data-bbox="2139 1604 2407 1629" data-label="Caption"> <p>写真 3.5-18 倒木による社の倒壊</p> </div> <div data-bbox="1724 1646 2496 1724" data-label="Caption"> <p>図6 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻による樹木の被害状況<sup>※6</sup></p> </div>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.1.12 樹木の倒壊</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.1.13 樹木の倒壊による小屋組の被害</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.2.14 樹木の被害</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.2.15 樹木の被害</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.2.16 樹木の被害</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 5.2.17 樹木の被害</p> </div> </div> <p>図7 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県にて発生した F2 竜巻による樹木の被害状況※7</p> <p>②フェンス  フェンスの被害状況を図8～10に示す。  フェンスについては、被害状況より、傾き、損傷等が見られるが樹木と同様にその場で損傷しているのみであり、損傷した後、竜巻はすでに通過していると考えられ、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1745 275 2475 541"> </div> <div data-bbox="1804 562 2386 590"> <p>写真 20 フェンスの著しい変形                      写真 31 フェンスの変形</p> </div> <div data-bbox="1724 611 2496 688"> <p>図 8 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市にて発生した F1(F2) 竜巻によるフェンスの被害状況※<sup>8</sup></p> </div> <div data-bbox="1843 768 2368 1157"> </div> <div data-bbox="1932 1182 2279 1209"> <p>写真 3.5-10 フェンスの被害状況</p> </div> <div data-bbox="1724 1241 2496 1318"> <p>図 9 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるフェンスの被害状況※<sup>6</sup></p> </div>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>写真 4.1.9 フェンスの倒壊</p> <p>写真 4.1.14 フェンスの倒壊</p> <p>写真 4.1.15 支柱部の破断</p> <p>写真 5.1.16 フェンスの被害</p> <p>写真 5.2.19 フェンスの被害 (工事中の構築物)</p> <p>写真 5.2.20 フェンスの被害</p> <p>図 10 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県にて発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>※7</sup></p> <p><u>③原子炉建物外側ブローアウトパネル</u>  <u>原子炉建物外側ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており、竜巻によって外れた場合でも、落下時の挙動は通常の開放時と変わらないと考えられることから、落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また、原子炉建物外側ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから、開放した原子炉建物外側ブローアウトパネルが強風に煽られ、落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。</u></p>	<p>(東海第二は「(3) d. 原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル」で記載)</p> <p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉はブローアウトパネルの飛来物化について検討している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考															
<p>(1) 分解し小型軽量となる物品 (確認対象: 屋外屋根, シャッター, ガラス窓, 仮設足場)</p> <p>竜巻の被害概要調査結果において分解し小型軽量となる物品として, 柏崎刈羽原子力発電所に設置の類似品として屋外屋根, シャッター, ガラス窓, 仮設足場を確認した。屋外屋根, シャッター, ガラス窓, 仮設足場の被害状況は以下のとおり。</p> <p>a. 屋外屋根の被害状況</p> <p>図1~5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより, 屋外屋根については, F0~F3 の被害状況において形を保ったままではなく, 分解された状態で飛来していることが分かる。また, 厚みが薄く, 受風面積が大きいため風の影響を受けやすいことから形状が変形 (柔飛来物) しており, 剛飛来物に比べ, 貫通等の影響が小さくはなるが, 外部事象防護対象施設への影響が考えられる屋根については, 飛散防止対策を実施する。</p>	<p>(1) 分解され小型軽量となる物品 (屋外屋根及びガラス窓)</p> <p>竜巻の被害概要調査結果において, 分解され小型軽量となる物品として屋外屋根及びガラス窓が確認できた。これらの被害状況を以下に示す。</p> <p>a. 屋外屋根</p> <p>別図 1-1~5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより, 屋外屋根については, F 0 ~ F 3 の竜巻において, 形を保ったままではなく, 分解された状態で飛来していることが分かる。また, 厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから, 衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については, 設計飛来物である鋼製材の評価に包絡されると考えられる。</p>	<p>(2) 分解され小型軽量となる物体</p> <p>①建物の金属製屋根・外壁</p> <p>建物の金属製屋根・外壁の被害状況を図 11~15 に示す。</p> <p>建物の金属製屋根・外壁については, F0~F3 の被害状況において形を保ったままではなく, 分解された状態で飛来しており, また, 厚さが極めて薄い柔飛来物であるため, 飛散した場合大きく形状が変形していることが分かる。</p> <p>発電所構内の資機材等のうち, 運動エネルギー及び貫通力が設計飛来物を超過するものは飛散防止対策を実施することとしているが, 建物の金属製屋根・外壁は柔飛来物であり, 設計飛来物に比べ貫通の影響は小さい。発電所構内の建物の金属製屋根・外壁が飛散した場合, 運動エネルギーは表 1 に示すとおり最大でも 103kJ であり, 設計飛来物 (鋼製材) の運動エネルギーよりも十分に小さいことから, 発電所構内の建物の金属製屋根・外壁については飛散防止対策の対象としない。</p> <p>表 1 設計飛来物 (鋼製材) と金属製屋根の飛散速度と運動エネルギー</p> <table border="1" data-bbox="1727 1411 2493 1642"> <thead> <tr> <th></th> <th>寸法</th> <th>重量</th> <th>飛散速度</th> <th>運動エネルギー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金属製屋根</td> <td>5,000×700×1.0t</td> <td>42kg</td> <td>70m/s</td> <td>103kJ</td> </tr> <tr> <td>設計飛来物 (鋼製材)</td> <td>4,200×300×200×4.2t</td> <td>135kg</td> <td>51m/s</td> <td>176kJ</td> </tr> </tbody> </table>		寸法	重量	飛散速度	運動エネルギー	金属製屋根	5,000×700×1.0t	42kg	70m/s	103kJ	設計飛来物 (鋼製材)	4,200×300×200×4.2t	135kg	51m/s	176kJ	<p>・対策方針の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉は設計飛来物をガイド記載の鋼製材にしており, 金属製屋根・外壁が飛散した場合の運動エネルギーを包絡していることから, 金属製屋根・外壁に飛散防止対策は実施しない</p>
	寸法	重量	飛散速度	運動エネルギー														
金属製屋根	5,000×700×1.0t	42kg	70m/s	103kJ														
設計飛来物 (鋼製材)	4,200×300×200×4.2t	135kg	51m/s	176kJ														





牛舎の屋根東方向、柱・トタン板は西方向に飛散している

図 1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県にて発生した F2 竜巻による野外屋根の被害状況<sup>(1)</sup>



別図 1-1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県で発生した F 2 竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(1)</sup>



牛舎の屋根東方向、柱・トタン板は西方向に飛散している

図 11 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県にて発生した F2 竜巻による野外屋根の被害状況<sup>※9</sup>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>カーポード屋根の飛散及び骨組の損傷</p>  <p>カーポード屋根の破損</p>  <p>屋外トイレ屋根の損傷</p>	 <p>屋外トイレ屋根の損傷</p>  <p>カーポード屋根の飛散及び骨組の損傷</p>  <p>カーポード屋根の損傷</p>	 <p>カーポード屋根の飛散及び骨組の損傷</p>  <p>カーポード屋根の破損</p>  <p>屋外トイレ屋根の損傷</p>	
<p>図2 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(2)</sup></p>	<p>別図1-2 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(2)</sup></p>	<p>図12 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>*2</sup></p>	
 <p>折板の損傷</p> <p>カーポードの被害</p>	 <p>折板の損傷</p> <p>カーポードの被害</p>	 <p>折板の損傷</p> <p>カーポードの被害</p>	
<p>図3 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(3)</sup></p>	<p>別図1-3 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(3)</sup></p>	<p>図13 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>*5</sup></p>	
 <p>周囲の田に散乱した屋根ふき材</p>	 <p>周囲の田に散乱した屋根ふき材</p>	 <p>周囲の田に散乱した屋根ふき材</p>	
<p>図4 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(4)</sup></p>	<p>別図1-4 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(4)</sup></p>	<p>図14 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>*10</sup></p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
-------------------------------------	-------------------------	--------------	----



飛散した鋼板製屋根材



飛散した折板屋根の状況



電線等に引っ掛かった飛来物 (鋼板製屋根材)

図5 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(5)</sup>

b. シャッター

図6~10にシャッターの被害状況を示す。これらより、シャッターについては、F1~F3、EF5の竜巻において形状は変形しているが、固定部が外れていないことが確認できる。

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



電線等に引っ掛かった飛来物 (鋼板製屋根材)



飛来物 (鋼板製屋根材) の衝突

飛散した飛来物 (鋼板製屋根材)



飛散した折板屋根の損傷状況



ガソリンスタンドの折板屋根の脱落

駐車場の折板屋根の著しい変形

別図1-5 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(5)</sup>

島根原子力発電所 2号炉



飛散した鋼板製屋根材



飛散した折板屋根の状況



電線等に引っ掛かった飛来物 (鋼板製屋根材)

図15 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による屋外屋根の被害状況<sup>(6)</sup>

②シャッター

シャッターの被害状況を図16~20に示す。シャッターについては、被害状況より、F1(F2)、F3、EF5の竜巻において形状は変形しているが、固定部が外れていないことが確認できる。

(東海第二は「(3) 損傷するが飛散しない物品(樹木、フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル)」で記載)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>図6 平成20年5月25日米国アイオワ州にて発生したEF5 竜巻によるシャッター被害状況<sup>(6)</sup></p>  <p>シャッターの破損</p> <p>図7 平成21年10月8日茨城県土浦市にて発生したF1 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(3)</sup></p>  <p>シャッターの外れ</p> <p>図8 平成21年7月27日群馬県館林市で発生したF1(F2) 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(7)</sup></p>  <p>消防団施設のシャッターの被害状況</p> <p>図9 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(5)</sup></p>		 <p>写真31</p> <p>図16 平成20年5月25日米国アイオワ州にて発生したEF5 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>※3</sup></p>  <p>写真10 シャッターの破損</p> <p>図17 平成21年10月8日茨城県土浦市にて発生したF1 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>※5</sup></p>  <p>写真22 シャッターの外れ</p> <p>図18 平成21年7月27日群馬県館林市にて発生したF1(F2) 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>※8</sup></p>  <p>写真3.4-37 消防団施設のシャッターの被害状況</p> <p>図19 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>※6</sup></p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="350 262 691 520" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="460 527 581 548" data-label="Caption"> <p>シャッターの被害</p> </div> <div data-bbox="130 564 908 642" data-label="Caption"> <p>図10 平成25年9月2日埼玉県発生したF2竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(8)</sup></p> </div> <div data-bbox="130 699 290 735" data-label="Section-Header"> <p>c. ガラス窓</p> </div> <div data-bbox="130 743 911 959" data-label="Text"> <p>図11～16にはガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F0～F3、EF5の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では、小型軽量となっており、設計飛来物である鋼製材若しくは砂利等に包含されることが考えられる。</p> </div> <div data-bbox="207 1018 504 1245" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="246 1247 457 1268" data-label="Caption"> <p>エントランスの窓ガラスの破損</p> </div> <div data-bbox="557 1018 845 1245" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="552 1247 863 1268" data-label="Caption"> <p>破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり</p> </div> <div data-bbox="130 1278 908 1358" data-label="Caption"> <p>図11 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(2)</sup></p> </div> <div data-bbox="388 1392 652 1587" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="451 1591 587 1612" data-label="Caption"> <p>バスの窓ガラス破損</p> </div> <div data-bbox="130 1640 911 1719" data-label="Caption"> <p>図12 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生したEF5竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(6)</sup></p> </div>	<div data-bbox="979 699 1148 735" data-label="Section-Header"> <p>b. ガラス窓</p> </div> <div data-bbox="1000 743 1700 959" data-label="Text"> <p>別図1-6～11にガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F0～F3及びEF5の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており、その影響は設計飛来物である鋼製材若しくは砂利に包絡されることが考えられる。</p> </div> <div data-bbox="1032 1031 1285 1213" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1041 1228 1255 1249" data-label="Caption"> <p>エントランスの窓ガラスの損壊</p> </div> <div data-bbox="1383 1031 1623 1213" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1344 1228 1656 1249" data-label="Caption"> <p>破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり</p> </div> <div data-bbox="923 1278 1703 1358" data-label="Caption"> <p>別図1-6 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(2)</sup></p> </div> <div data-bbox="1210 1423 1433 1591" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1246 1598 1386 1619" data-label="Caption"> <p>バスの窓ガラス損壊</p> </div> <div data-bbox="923 1640 1703 1719" data-label="Caption"> <p>別図1-7 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生したEF5竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(6)</sup></p> </div>	<div data-bbox="1908 254 2294 539" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1967 546 2217 567" data-label="Caption"> <p>写真4.1.30 シャッターの変形</p> </div> <div data-bbox="1745 590 2481 669" data-label="Caption"> <p>図20 平成25年9月2日埼玉県にて発生したF2竜巻によるシャッターの被害状況<sup>*7</sup></p> </div> <div data-bbox="1712 699 1860 735" data-label="Section-Header"> <p>③ガラス窓</p> </div> <div data-bbox="1765 743 2504 959" data-label="Text"> <p>ガラス窓の被害状況を図21～26に示す。ガラス窓については、被害状況より、F0～F3、EF5の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており、設計飛来物に包含されることが考えられる。</p> </div> <div data-bbox="1816 1037 2104 1253" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1834 1262 2086 1283" data-label="Caption"> <p>写真8 エントランスの窓ガラスの破損</p> </div> <div data-bbox="2133 1037 2421 1253" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="2125 1262 2430 1283" data-label="Caption"> <p>写真25 破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり【山下町】</p> </div> <div data-bbox="1745 1291 2487 1371" data-label="Caption"> <p>図21 平成18年9月17日宮崎県延岡市にて発生したF2竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>*2</sup></p> </div> <div data-bbox="1947 1404 2243 1619" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1994 1627 2199 1648" data-label="Caption"> <p>写真44 バスの窓ガラス破損</p> </div> <div data-bbox="1745 1646 2481 1726" data-label="Caption"> <p>図22 平成20年5月25日米国アイオワ州にて発生したEF5竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>*3</sup></p> </div>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>窓ガラスの損壊 窓ガラスの飛来物衝突痕</p>	 <p>窓ガラスの損壊 窓ガラスの飛来物衝突痕</p>	 <p>写真19 窓ガラスの損壊 写真27 窓ガラスの飛来物衝突痕</p>	
<p>図13 平成21年7月27日群馬県館林市でのF1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(7)</sup></p>  <p>エントランスのガラス破損 倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況</p>  <p>窓ガラスの破損</p>	<p>別図1-8 平成21年7月27日群馬県館林市でのF1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(7)</sup></p>  <p>倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況 窓ガラスの損壊</p>  <p>出窓部の窓ガラスの損壊 エントランスのガラス損壊</p>	<p>図23 平成21年7月27日群馬県館林市にて発生したF1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>※8</sup></p>  <p>写真8 倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況 写真16 窓ガラスの破損</p>  <p>写真30 出窓部の窓ガラスの被害</p>	
<p>図14 平成21年10月8日茨城県土浦市にて発生したF1竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(3)</sup></p>  <p>出雲市立第二中学校 提供</p> <p>体育館窓ガラスの破損</p>  <p>(a) 教室 (b) 廊下 (c) 屋外に面した窓ガラス</p> <p>本館4階の廊下と教室内のガラス破片の散乱状況</p>	<p>別図1-9 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(3)</sup></p>  <p>出雲市立第二中学校 提供</p> <p>体育館窓ガラスの損壊</p>  <p>教室 廊下 屋外に面した窓ガラス</p>	<p>図24 平成21年10月8日茨城県土浦市にて発生したF1竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>※5</sup></p>  <p>出雲市立第二中学校 提供</p> <p>写真3 体育館窓ガラスの破損</p>  <p>出雲市立第二中学校 提供</p>	
<p>図15 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(4)</sup></p>	<p>別図1-10 平成24年2月1日島根県出雲市で発生したF0竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(4)</sup></p>	<p>図25 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>※9</sup></p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="341 296 706 537" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="430 546 614 569" data-label="Caption"> <p>店舗の窓ガラスの被害状況</p> </div> <div data-bbox="341 590 706 831" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="430 846 614 869" data-label="Caption"> <p>ガラスへの飛来物の衝突痕</p> </div> <p data-bbox="133 877 908 955">図16 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(5)</sup></p> <p data-bbox="133 1058 302 1092"><b>d. 仮設足場</b></p> <p data-bbox="133 1102 908 1270">図17には仮設足場の被害状況を示す。これらより、仮設足場については、F2の竜巻において倒壊していることが確認できる。仮設足場材が飛散した場合を想定し、設計飛来物に選定する。ただし、飛散防止対策を講じた場合を除く。</p> <div data-bbox="323 1333 721 1629" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="451 1642 593 1667" data-label="Caption"> <p>仮設足場の倒壊</p> </div> <p data-bbox="133 1732 908 1810">図17 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による仮設足場の被害状況<sup>(9)</sup></p>	<div data-bbox="979 317 1344 558" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1062 562 1246 585" data-label="Caption"> <p>店舗の窓ガラスの被害状況</p> </div> <div data-bbox="1344 317 1709 558" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1350 562 1641 585" data-label="Caption"> <p>店舗の窓ガラスの被害状況(飛来物衝突痕)</p> </div> <div data-bbox="967 600 1332 831" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1018 835 1249 861" data-label="Caption"> <p>ガラスの被害状況(飛来物衝突痕)</p> </div> <div data-bbox="1332 600 1709 831" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1380 835 1611 861" data-label="Caption"> <p>ガラスの被害状況(飛来物衝突痕)</p> </div> <p data-bbox="931 877 1706 955">別図1-11 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>(5)</sup></p>	<div data-bbox="1721 262 2086 514" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1745 541 2065 567" data-label="Caption"> <p>写真3.4-21 店舗の窓ガラスの被害状況</p> </div> <div data-bbox="2131 262 2496 514" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="2151 541 2472 567" data-label="Caption"> <p>写真3.4-22 店舗の窓ガラスの被害状況</p> </div> <div data-bbox="1721 569 2086 821" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1745 829 2065 854" data-label="Caption"> <p>写真3.4-35 ガラスへの飛来物の衝突痕</p> </div> <div data-bbox="2131 569 2496 821" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="2151 829 2472 854" data-label="Caption"> <p>写真3.4-36 ガラスへの飛来物の衝突痕</p> </div> <p data-bbox="1754 877 2469 955">図26 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3竜巻によるガラス窓の被害状況<sup>※6</sup></p>	<p data-bbox="2644 205 2703 237">備考</p> <ul data-bbox="2531 1058 2763 1092" style="list-style-type: none"> <li>設計飛来物の相違</li> </ul> <p data-bbox="2531 1102 2659 1136">【柏崎6/7】</p> <p data-bbox="2531 1146 2831 1314">島根2号炉は仮設足場を包絡する飛来物としてガイドの鋼製材を設計飛来物としている</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 柏崎刈羽原子力発電所の屋外屋根, シャッター, ガラス窓, 仮設足場の状況</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況を図18, シャッターの状況を図19, ガラス窓の状況を図20, 仮設足場の状況を図21 に示す。柏崎刈羽原子力発電所におけるこれらの物品の構造については, 上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから, 竜巻通過時には, 同様の被害状況になると考えられる。</p> <p>そのため, 上記の被害状況からこれらの物品については, 飛散をしていないシャッターを除き, 二次飛来物となる可能性がある。仮設足場材については, 飛散を想定し, 設計飛来物に選定する。ただし, 飛散防止対策を講じた場合を除く。また, ガラス窓については設計飛来物に包含されるが, 屋外屋根については設計飛来物に包含されないことから, 飛散防止対策を実施する。</p> <div data-bbox="166 926 878 1451" data-label="Image"> </div> <p>図 18 柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況</p>	<p>(2) 発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況</p> <p>発電所における屋外屋根の状況を別図 1-12, ガラス窓の状況を別図 1-13 に示す。発電所におけるこれらの物品の構造については, 上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから, 竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ, 飛来物としては設計飛来物の影響に包絡されると考えられる。</p> <div data-bbox="1012 1020 1546 1446" data-label="Image"> </div> <p>別図 1-12 発電所における屋外屋根の状況</p>		<p>(島根 2 号炉は「別紙-3 二次飛来物の現地調査について」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="192 562 854 598">図 19 柏崎刈羽原子力発電所におけるシャッターの状況</p>	 <p data-bbox="1053 562 1578 598">別図 1-13 発電所におけるガラス窓の状況</p>		
 <p data-bbox="201 1010 839 1045">図 20 柏崎刈羽原子力発電所におけるガラス窓の状況</p>			
 <p data-bbox="201 1461 839 1497">図 21 柏崎刈羽原子力発電所における仮設足場の状況</p>			



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 倒壊するが飛来物とならない物品 (確認対象: 樹木, フェンス)</p> <p>竜巻の被害概要調査結果において倒壊するが飛来物とならない物品で, 柏崎刈羽原子力発電所に存在する類似品として樹木, フェンスを確認した。樹木, フェンスの被害状況は以下のとおり。</p>	<p>(3) 損傷するが飛散しない物品 (樹木, フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル)</p> <p>竜巻の被害概要調査結果等における「損傷するが飛散しない物品」に関し, 発電所に存在する物品としてシャッター, 樹木, フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが確認できた。これらの被害状況を以下に示す。</p> <p>a. シャッター</p> <p>別図1-14~18にシャッターの被害状況を示す。これらより, シャッターについては, F1~F3及びEF5の竜巻において形状は変形しているが, 固定部は外れていないことが確認できる。なお, 外れて飛来物となったとしても, 衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については, 上記の屋外屋根と同様, 設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。</p> <div data-bbox="1193 1024 1436 1209" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1258 1213 1371 1234">シャッターの外れ</p> <p>別図1-14 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生したEF5竜巻によるシャッター被害状況<sup>(6)</sup></p> <div data-bbox="1193 1390 1448 1575" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1258 1600 1371 1621">シャッターの変形</p> <p>別図1-15 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(3)</sup></p>		<p>(島根2号炉は「別紙-1(1) 損傷するが飛来物とならない物体」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1190 365 1436 554" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1258 562 1377 583" data-label="Caption"> <p>シャッターの外れ</p> </div> <div data-bbox="931 611 1700 688" data-label="Caption"> <p>別図 1-16 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(7)</sup></p> </div> <div data-bbox="1181 823 1430 989" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1205 995 1406 1016" data-label="Caption"> <p>消防団施設のシャッターの変形</p> </div> <div data-bbox="931 1104 1700 1182" data-label="Caption"> <p>別図 1-17 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(5)</sup></p> </div> <div data-bbox="1190 1316 1451 1520" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1258 1528 1377 1549" data-label="Caption"> <p>シャッターの外れ</p> </div> <div data-bbox="946 1644 1679 1722" data-label="Caption"> <p>別図 1-18 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻によるシャッターの被害状況<sup>(8)</sup></p> </div>		



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>a. 樹木</p> <p>図22～28 には樹木の被害状況を示す。これらより、樹木については、F1～F3 及びEF5の被害状況において幹の折損、根の引き抜き等が見られるが折れた場合、引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは竜巻の風荷重により、樹木が損壊を受けたあと、竜巻がすでに通り過ぎていたためであると考えられ、樹木が折損、引き抜かれた後、更に竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。</p> <div data-bbox="151 766 890 1029">  </div> <div data-bbox="192 1033 795 1079"> <p>倒木（南から見る） 倒れなかった樹木も点在している。</p> <p>倒木（北西から見る）</p> </div> <p>図 22 平成 14 年 7 月 10 日群馬県境町で発生したF2 竜巻による樹木被害状況<sup>(10)</sup></p> <div data-bbox="163 1249 884 1512">  </div> <div data-bbox="273 1516 786 1541"> <p>樹木の転倒</p> <p>樹木の転倒（緑ヶ丘）</p> </div> <p>図 23 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したF2 竜巻による樹木被害状況<sup>(2)</sup></p>	<p>b. 樹木</p> <p>別図 1-19～25 に樹木の被害状況を示す。これらより、樹木については、F 1～F 3 及びE F 5 の竜巻において幹の折損、根の引き抜き等が見られるが、折れた場合若しくは引き抜かれた場合のいずれにおいても、その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは、竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では、竜巻が既に通り過ぎていたためと考えられ、樹木が折損若しくは引き抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考えにくい。</p> <div data-bbox="952 766 1662 1029">  </div> <div data-bbox="943 1033 1587 1079"> <p>倒木（南から見る） 倒れなかった樹木も点在している。</p> <p>倒木（北西から見る）</p> </div> <p>別図 1-19 平成 14 年 7 月 26 日群馬県境町で発生した F 2 竜巻による樹木被害状況<sup>(9)</sup></p> <div data-bbox="943 1249 1662 1512">  </div> <div data-bbox="1053 1516 1549 1541"> <p>樹木の転倒</p> <p>樹木の転倒</p> </div> <p>別図 1-20 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F 2 竜巻による樹木被害状況<sup>(2)</sup></p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="468 562 572 583">樹木の折損</p>	 <p data-bbox="1285 527 1362 548">樹木の折損</p>		
<p data-bbox="142 615 899 686">図 24 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻による樹木被害状況<sup>(6)</sup></p>	<p data-bbox="940 615 1697 686">別図 1-21 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した EF 5 竜巻による樹木被害状況<sup>(6)</sup></p>		
 <p data-bbox="439 1052 602 1073">倒木 (火打谷地区)</p>	 <p data-bbox="1299 1041 1347 1062">倒木</p>		
<p data-bbox="142 1102 899 1173">図 25 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市にて発生した F2 竜巻による樹木被害状況<sup>(11)</sup></p>	<p data-bbox="940 1102 1697 1173">別図 1-22 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市で発生した F 2 竜巻による樹木被害状況<sup>(10)</sup></p>		
 <p data-bbox="468 1545 572 1566">倒木の被害</p>	 <p data-bbox="1285 1566 1362 1587">倒木</p>		
<p data-bbox="142 1627 899 1698">図 26 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻による樹木被害状況<sup>(3)</sup></p>	<p data-bbox="940 1627 1697 1698">別図 1-23 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻による樹木被害状況<sup>(3)</sup></p>		



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>倒木の折損</p> <p>倒木の折損と鳥居の被害</p> <p>樹木の倒木</p> <p>倒木による社の倒壊</p>	 <p>樹木の折損</p> <p>樹木の折損と鳥居の被害</p> <p>樹木の倒木</p> <p>倒木と社の被害</p>		
<p>図 27 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻による樹木被害状況<sup>(5)</sup></p>	<p>別図 1-24 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻による樹木被害状況<sup>(5)</sup></p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>樹木の倒壊</p> <p>樹木の倒壊による小屋組の被害</p>  <p>樹木の被害</p> <p>樹木の被害</p>  <p>樹木の被害</p> <p>樹木の被害</p>	 <p>樹木の被害</p> <p>樹木の倒壊による小屋組の被害</p>  <p>樹木の被害</p> <p>樹木の被害</p>  <p>樹木の被害</p> <p>樹木の被害</p>		
<p>図 28 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻による樹木被害状況<sup>(8)</sup></p>	<p>別図 1-25 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生した F 2 竜巻による樹木被害状況<sup>(8)</sup></p>		



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>b. フェンス</p> <p>図29～31 にはフェンスの被害状況を示す。これらよりフェンスについては、F1～F3 の被害状況において傾き、倒壊等が見られるが樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり、倒壊した後、竜巻はすでに通り過ぎていていると考えられ、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。</p> <div data-bbox="172 619 869 865"> <p>フェンスの著しい変形      フェンスの変形</p> </div> <p>図 29 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F1(F2) 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>(7)</sup></p> <div data-bbox="344 1108 700 1371"> <p>フェンスの被害状況</p> </div> <p>図 30 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>(5)</sup></p>	<p>c. フェンス</p> <p>別図 1-26～28 にフェンスの被害状況を示す。これらより、フェンス類については、F 1～F 3 の竜巻において傾き、倒壊等が見られるが、樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり、倒壊した後では、竜巻は既に通り返り過ぎていていると考えられることから、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考えにくい。</p> <div data-bbox="973 619 1670 865"> <p>フェンスの著しい変形      フェンスの変形</p> </div> <p>別図 1-26 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F 1 (F 2) 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>(7)</sup></p> <div data-bbox="973 1136 1670 1371"> <p>フェンスの変形      道路標識の倒壊</p> </div> <p>別図 1-27 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F 3 竜巻によるフェンス類の被害状況<sup>(5)</sup></p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
-------------------------------------	-------------------------	--------------	----



フェンスの倒壊



屋上フェンスの被害



フェンスの倒壊



支柱部の破断



フェンスの被害 (工事中の建築物)



フェンスの被害

図 31 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況<sup>(8)</sup>



フェンスの倒壊



屋上フェンスの変形



フェンスの変形



フェンス支柱部の破損



フェンスの変形 (工事中の建築物)



フェンスの倒壊



電柱の倒壊



看板の変形

別図 1-28 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生した F 2 竜巻によるフェンス類の被害状況<sup>(8)</sup>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(4) 柏崎刈羽原子力発電所の樹木, フェンスの状況</p> <p>a. 樹木</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況を図32 に示す。上記にて示した被害にあった樹木と大きく変わらないことから, 竜巻通過時には, 同様の被害状況になり, 幹の折損, 根の引き抜きによりその場で倒壊すると考えられる。</p>	<p>d. 原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル</p> <p>原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており, 竜巻によって外れた場合でも, 落下時の挙動は通常の開放時と変わらないと考えられることから, 落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また, 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから, 開放した原子炉建屋外側ブローアウトパネルが強風に煽られ, 落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。</p> <p>(4) 発電所のシャッター, 樹木, フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの状況</p> <p>発電所におけるシャッターの状況を別図 1-29 に, 樹木の状況を別図 1-30 に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから, 竜巻通過時には, 同様の被害状況になり, 幹の折損若しくは根の引き抜きによりその場で倒壊するのみと考えられる。</p> <div data-bbox="931 1157 1700 1398" style="border: 1px solid black; height: 115px; width: 259px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;">別図 1-29 発電所におけるシャッターの状況</p>		<p>(島根 2号炉は「(1) ③原子炉建物外側ブローアウトパネル」で記載)</p>

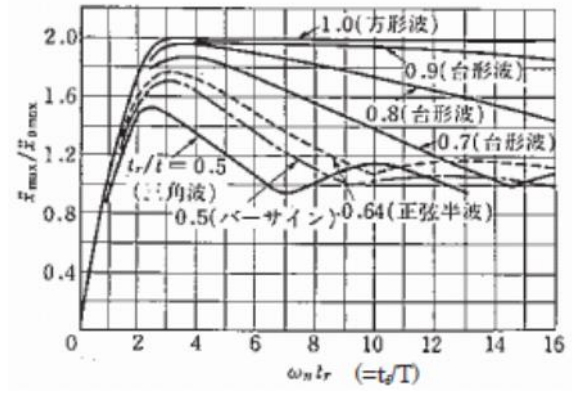


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="201 304 842 504" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="231 520 813 552" data-label="Caption"> <p>図 32 柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況</p> </div> <div data-bbox="133 611 273 638" data-label="Section-Header"> <p>b. フェンス</p> </div> <div data-bbox="133 655 902 821" data-label="Text"> <p>柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況を図33 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり変形若しくは倒壊すると考えられる。</p> </div> <div data-bbox="252 835 792 1220" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="201 1241 842 1272" data-label="Caption"> <p>図 33 柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況</p> </div> <div data-bbox="133 1329 902 1451" data-label="Text"> <p>以上より、樹木及びフェンスは、竜巻により倒壊するが、飛来しないことから、設計飛来物として選定しない。</p> </div>	<div data-bbox="958 262 1662 487" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1080 520 1552 552" data-label="Caption"> <p>別図 1-30 発電所における樹木の状況</p> </div> <div data-bbox="982 611 1694 777" data-label="Text"> <p>発電所におけるフェンスの状況を別図 1-31 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり変形若しくは倒壊すると考えられる。</p> </div> <div data-bbox="964 863 1673 1115" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1056 1241 1578 1272" data-label="Caption"> <p>別図 1-31 発電所におけるフェンスの状況</p> </div> <div data-bbox="982 1329 1694 1629" data-label="Text"> <p>発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況を別図 1-32 に示す。原子炉建屋外側ブローアウトパネルには4本のチェーンが落下防止機構として取り付けられており、これらは落下時の衝撃荷重に対して破断しないと考えられる。また、竜巻が遠ざかるまでの短時間に4本のチェーンが全て破断する可能性も小さいと考えられる。</p> </div>		

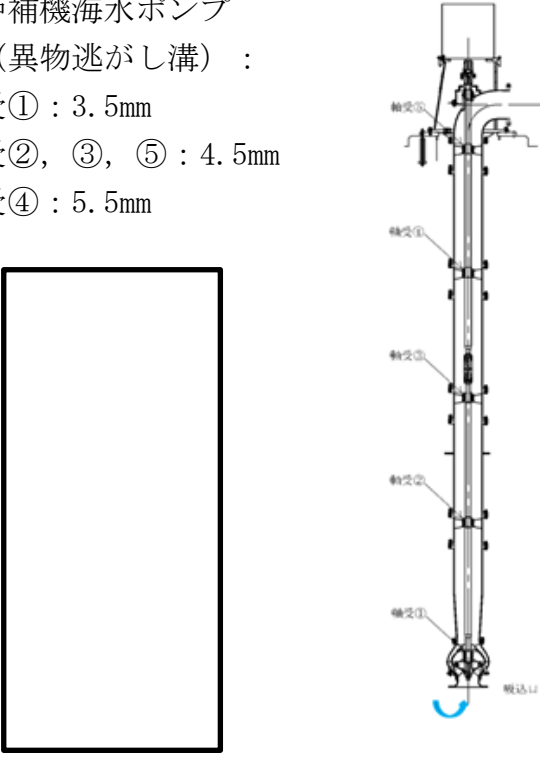
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="964 283 1240 520" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1359 283 1665 520" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="985 613 1644 688">別図1-32 発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況</p> <p data-bbox="985 745 1694 913">以上より、シャッター、樹木、フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、竜巻により損傷若しくは脱落するが、飛散せず設計飛来物として選定が不要と判断した。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考文献</p> <p>(1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」(平成16年7月13日)</p> <p>(2) 「2006年台風13号被害調査報告ー延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害ー」(平成18年10月10日)</p> <p>(3) 「平成21年10月8日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」(平成21年10月13日)</p> <p>(4) 「平成24年2月1日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成24年2月14日)</p> <p>(5) 「平成24年(2012年)5月6日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料第703号ISSN0286-4630 建築研究資料第141号平成25年1月)</p> <p>(6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」(平成20年6月9日)</p> <p>(7) 「平成21年7月27日群馬県館林市竜巻被害調査報告」(平成21年8月17日一部修正)</p> <p>(8) 「平成25年9月2日に発生した竜巻による埼玉県越谷市、北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害(速報)」(国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所 平成25年9月10日一部修正)</p> <p>(9) 「2006年台風13号に伴って発生した竜巻による延岡市の建物被害」</p> <p>(10) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」(平成14年7月26日独立行政法人建築研究所)</p> <p>(11) 「平成21年7月19日岡山県美作市竜巻被害調査報告」(平成21年8月4日)</p>	<p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>(1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」(平成16年7月13日)</p> <p>(2) 「2006年台風13号被害調査報告ー延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害ー」(平成18年10月10日)</p> <p>(3) 「平成21年10月8日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」(平成21年10月13日)</p> <p>(4) 「平成24年2月1日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成24年2月14日)</p> <p>(5) 「平成24年(2012年)5月6日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料第703号ISSN0286-4630 建築研究資料第141号平成25年1月)</p> <p>(6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」(平成20年6月9日)</p> <p>(7) 「平成21年7月27日群馬県館林市竜巻被害調査報告」(平成21年8月17日一部修正)</p> <p>(8) 「平成25年9月2日に発生した竜巻による埼玉県越谷市、北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害(速報)」(国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成25年9月10日一部修正)</p> <p>(9) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」(平成14年7月26日独立行政法人建築研究所)</p> <p>(10) 「平成21年7月19日岡山県美作市竜巻被害調査報告」(平成21年8月4日)</p>	<p>※1: 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」(平成14年7月26日独立行政法人建築研究所)</p> <p>※2: 「2006年台風13号被害調査報告延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害」(平成18年10月10日)</p> <p>※3: 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」(平成20年6月9日)</p> <p>※4: 「平成21年7月19日岡山県美作市竜巻被害調査報告」(平成21年8月4日)</p> <p>※5: 「平成21年10月8日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」(平成21年10月13日)</p> <p>※6: 「平成24年(2012年)5月6日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料第703号ISSN0286-4630 建築研究資料第141号平成25年1月)</p> <p>※7: 「平成25年9月2日に発生した竜巻による埼玉県越谷市、北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害(速報)」(国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所平成25年9月10日一部修正)</p> <p>※8: 「平成21年7月27日群馬県館林市竜巻被害調査報告」(平成21年8月17日一部修正)</p> <p>※9: 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」(平成16年7月13日)</p> <p>※10: 「平成24年2月1日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成24年2月14日)</p>	

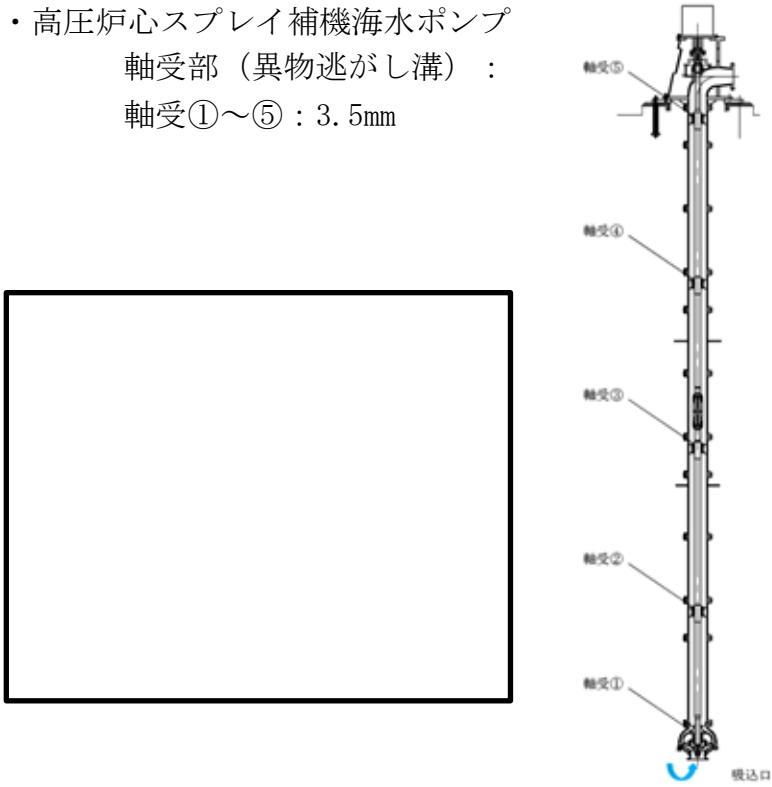
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">別紙-2</p> <p style="text-align: center;"><u>極小飛来物の衝突に対する施設への影響について</u></p> <p>砂利等の極小飛来物及び砂等の粒子状の極小飛来物について、外部事象防護対象施設への影響の有無を確認する。</p> <p>砂利及び砂等の飛来物による外部事象防護対象施設への影響としては、</p> <p>(1) 砂利, ひょう等の極小飛来物による貫通及び衝突</p> <p>(2) 砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり、閉塞及び噛込み</p> <p>が考えられることから、これらについて評価する。</p> <p>(1) 砂利, ひょう等の極小飛来物による施設への影響については、衝撃荷重 <math>W_M</math> 及び鋼板に対する貫通力のいずれの観点においても無視し得ると考えられる。この理由を以下に示す。</p> <p>a. 極小飛来物による衝撃荷重 <math>W_M</math></p> <p>砂利, ひょう等の極小飛来物の衝突は瞬間的で衝突時間が極めて短いため、施設は振動しにくく破壊は生じないと考えられる。これは、高速の極小飛来物が施設に衝突した場合、施設に生じる荷重は衝突時間の極めて短い片振幅波形となるため、施設に有意な変位 (応力) が生じないためである。</p> <p>このような衝撃により伝達される荷重については、機械工学便覧の「過渡振動・衝撃」に、図1のとおり示されている。</p> <p>図1は、横軸には衝突時間 (<math>t_r</math>) と衝突される施設の固有周期 (<math>T</math>) との比である <math>t_r/T</math>、縦軸は応答加速度 <math>\ddot{x}_{max}</math> (施設に伝わった加速度) と入力加速度 <math>\ddot{x}</math> (施設へ伝えようとした加速度) の応答加速度比として、<math>\ddot{x} / \ddot{x}_{0max}</math> の関係としてまとめられている。</p> <p>図1より、衝撃パルスの形状によって関数形は異なるものの、衝突物の入力加速度 <math>\ddot{x}_{0max}</math> と被衝突構造物の応答加速度 <math>\ddot{x}_{max}</math> の比 (<math>\ddot{x}_{max} / \ddot{x}_{0max}</math>) が、衝突時間 <math>t_r</math> と被衝突構造物の固有周期 <math>T</math> の比 (<math>t_r/T</math>) に依存していることを示している。衝突時間 <math>t_r</math> が被衝突構造物の固有周期 <math>T</math> より小さいときには、衝撃パルスの形状によらず応答加速度 は入力加速度 を下回っており、特に</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 東海第二】</p> <p>島根 2号炉は砂利等の極小飛来物の衝突に対する影響を記載</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>衝突時間が非常に短く衝突時間と被衝突構造物の固有周期の比 (<math>t_r/T</math>) が非常に小さい場合、入力加速度と被衝突構造物の応答加速度の比 (<math>\ddot{x}_{max}/\ddot{x}_{0max}</math>) は非常に小さい値となる。これは衝突時間が被衝突構造物の固有周期に比べて小さい値をとる場合には、衝突物から非衝突物に伝達されるエネルギーが小さく、施設に有意な変位 (応力) が生じないことを示している。</p>  <p>図1 代表的理想衝撃パルスによる加速度衝撃スペクトル (機械工学便覧より)</p> <p>図1より、飛来物の速度が速くて、衝撃パルスの作用時間 (<math>t_r</math>) が施設の固有周波数より短い場合 (横軸が 1 より小さい場合) には、入力加速度と応答加速度の比は 1 を下回り、エネルギーの伝達は小さくなるのがわかる。</p> <p>砂利やひょう等の極小飛来物による荷重は、このような短時間の衝突となるため、施設全体に影響を及ぼす荷重はごくわずかしかな発生しないため、衝撃による影響はない。</p> <p>b. 極小飛来物の貫通力 砂利、ひょう等の極小飛来物の鋼板に対する貫通力について、以下に示す BRL 式を用いて算出し、極小飛来物の貫通力が無視し得ることを確認した。なお、砂利の寸法は竜巻防護ネットの網目の寸法 (40mm 目合い) を考慮して設定する。</p>	

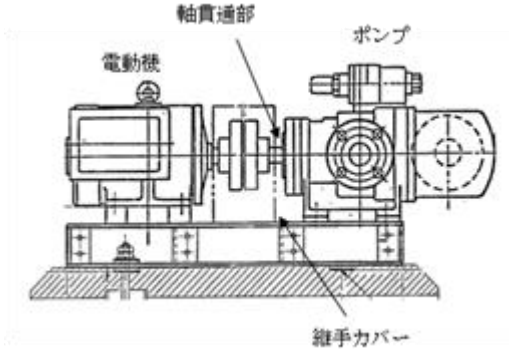
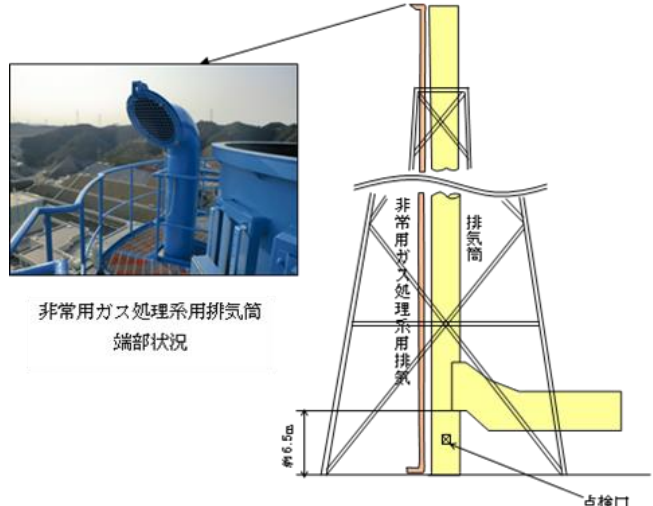
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																											
		<p>極小飛来物として砂利及び大型のひょう（直径 5cm, 10cm）を対象に、鋼板に対する貫通力を BRL 式により算出した結果を表 1 に示す。いずれも貫通力は 1mm 未満であり、鋼板への影響は無視し得るものである。</p> <p style="text-align: center;">表 1 極小飛来物の鋼板貫通力</p> <table border="1" data-bbox="1724 512 2484 751"> <thead> <tr> <th>飛来物</th> <th>サイズ (m)</th> <th>重量 (kg)</th> <th>速度 (m/s)</th> <th>鋼板貫通厚さ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>砂利 (設計飛来物)</td> <td>0.04×0.04×0.04</td> <td>0.2</td> <td>54</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ひょう</td> <td>直径 0.05</td> <td>0.06</td> <td>33*</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>直径 0.1</td> <td>0.5</td> <td>59*</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ ひょうの速度は直径に対応した終端速度に基づいて設定した。（別紙-4 参照。）</p> <p>(2) 砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり、閉塞及び嘔込み</p> <p>砂等の粒子状の極小飛来物による目詰まり、閉塞及び嘔込みの影響を受ける可能性がある施設として、軸受け等の狭隘部を有する屋外施設、水循環系や換気系の流路を有する屋外施設・外気との接続がある施設・屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設について評価する。評価施設を表 2 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 2 目詰まり、閉塞、嘔込みに対する評価施設</p> <table border="1" data-bbox="1724 1289 2484 1751"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>評価施設</th> <th>分類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">屋外施設</td> <td>・海水ポンプ</td> <td>嘔込み 閉塞</td> </tr> <tr> <td>・海水ポンプ電動機</td> <td>閉塞</td> </tr> <tr> <td>・海水ストレーナ</td> <td>目詰まり</td> </tr> <tr> <td>・ディーゼル燃料移送ポンプ</td> <td>嘔込み 閉塞</td> </tr> <tr> <td>・排気筒（非常用ガス処理系用排気筒含む）</td> <td>閉塞</td> </tr> <tr> <td>外気との接続がある施設</td> <td>・空調換気設備（中央制御室換気系、原子炉棟空調換気系、原子炉建物付属棟空調換気系）</td> <td>目詰まり</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設</td> <td>・給気消音器（非常用ディーゼル発電機の付属施設）</td> <td>閉塞</td> </tr> <tr> <td>・排気消音器（排気管含む）（非常用ディーゼル発電機の付属施設）</td> <td>閉塞</td> </tr> <tr> <td>・ペント管（ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク、潤滑油サンプタンクの付属施設）</td> <td>閉塞</td> </tr> </tbody> </table>	飛来物	サイズ (m)	重量 (kg)	速度 (m/s)	鋼板貫通厚さ (mm)	砂利 (設計飛来物)	0.04×0.04×0.04	0.2	54	0.8	ひょう	直径 0.05	0.06	33*	0.2	直径 0.1	0.5	59*	0.8	分類	評価施設	分類	屋外施設	・海水ポンプ	嘔込み 閉塞	・海水ポンプ電動機	閉塞	・海水ストレーナ	目詰まり	・ディーゼル燃料移送ポンプ	嘔込み 閉塞	・排気筒（非常用ガス処理系用排気筒含む）	閉塞	外気との接続がある施設	・空調換気設備（中央制御室換気系、原子炉棟空調換気系、原子炉建物付属棟空調換気系）	目詰まり	屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設	・給気消音器（非常用ディーゼル発電機の付属施設）	閉塞	・排気消音器（排気管含む）（非常用ディーゼル発電機の付属施設）	閉塞	・ペント管（ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク、潤滑油サンプタンクの付属施設）	閉塞	
飛来物	サイズ (m)	重量 (kg)	速度 (m/s)	鋼板貫通厚さ (mm)																																										
砂利 (設計飛来物)	0.04×0.04×0.04	0.2	54	0.8																																										
ひょう	直径 0.05	0.06	33*	0.2																																										
	直径 0.1	0.5	59*	0.8																																										
分類	評価施設	分類																																												
屋外施設	・海水ポンプ	嘔込み 閉塞																																												
	・海水ポンプ電動機	閉塞																																												
	・海水ストレーナ	目詰まり																																												
	・ディーゼル燃料移送ポンプ	嘔込み 閉塞																																												
	・排気筒（非常用ガス処理系用排気筒含む）	閉塞																																												
外気との接続がある施設	・空調換気設備（中央制御室換気系、原子炉棟空調換気系、原子炉建物付属棟空調換気系）	目詰まり																																												
屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設	・給気消音器（非常用ディーゼル発電機の付属施設）	閉塞																																												
	・排気消音器（排気管含む）（非常用ディーゼル発電機の付属施設）	閉塞																																												
	・ペント管（ディーゼル燃料貯蔵タンク、ディーゼル燃料デイトンク、潤滑油サンプタンクの付属施設）	閉塞																																												

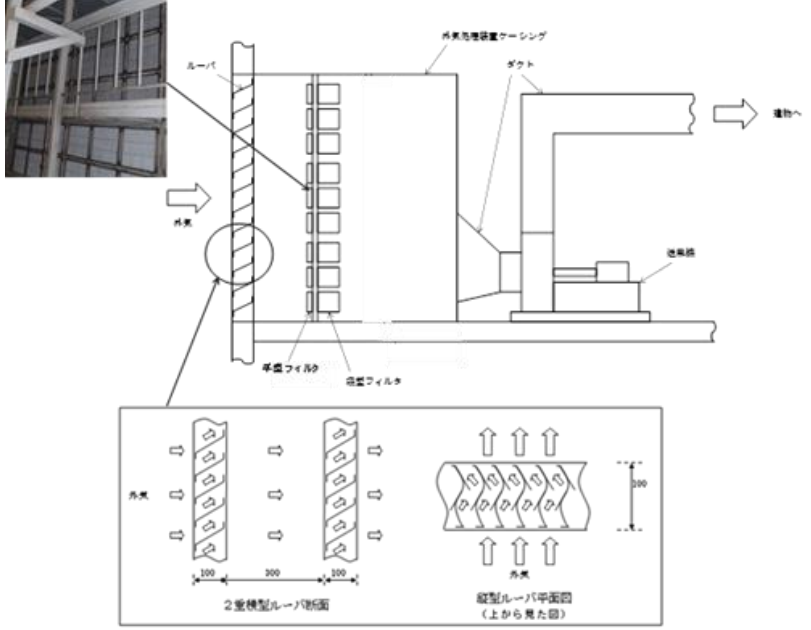
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>[屋外施設]</p> <p>a. 海水ポンプ</p> <p>(a) 水循環系の閉塞</p> <p>①流水部の閉塞</p> <p>海水ポンプ流水部の狭隘部は、以下に示すとおりであり、砂等の粒子状の極小飛来物より十分大きいため、閉塞には至らない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機海水ポンプ 約 60mm</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ 約 30mm</li> </ul> <p>②軸受部の噛込み</p> <p>海水ポンプの軸受の隙間は、約 1.38mm～1.58mm で管理している。一部の砂等の粒子状の極小飛来物は軸受の隙間より、軸受内部に入り込む可能性があるが、図2及び図3のとおり、異物逃がし溝(約 3.5mm～5.5mm)が設けられており、軸受部の閉塞には至らない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機海水ポンプ</li> </ul> <p>軸受部(異物逃がし溝) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸受① : 3.5mm</li> <li>軸受②, ③, ⑤ : 4.5mm</li> <li>軸受④ : 5.5mm</li> </ul>  <p>図2 原子炉補機海水ポンプ軸受構造</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ 軸受部（異物逃がし溝）： 軸受①～⑤：3.5mm</p>  <p>図3 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ軸受構造</p> <p>b. 海水ポンプ電動機の閉塞</p> <p>(a) 原子炉補機海水ポンプ電動機</p> <p>原子炉補機海水ポンプ電動機は、全閉外扇形構造の電動機に取替を行うことから、砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。</p> <p>(b) 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機</p> <p>高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ電動機は、図4のとおり電動機本体が全閉外扇形構造となっており、電動機内部の熱は電動機の外筒に伝達され、外気を外扇により冷却フィンへ送風して放熱している。全閉外扇形の冷却方式であり砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。</p> <p>また、砂等の粒子状の極小飛来物の粒径は冷却フィンの冷却経路の最小径（約11mm）に対して小さく、運転中はファンからの通風により外部に排出されることから、閉塞に至らないため</p>	

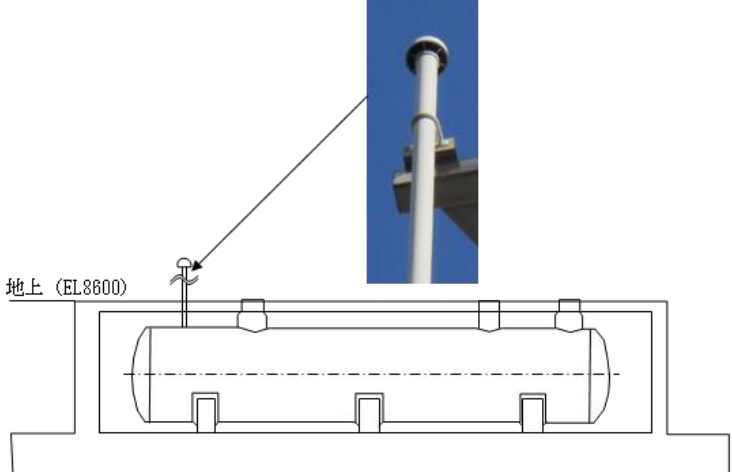
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>影響はない。</p> <div data-bbox="1902 352 2341 852" style="border: 1px solid black; width: 148px; height: 238px; margin: 10px auto;"></div> <p>図4 高圧炉心スプレィ補機海水ポンプ電動機冷却方式</p> <p>c. 海水ストレーナの目詰まり 各海水ストレーナのフィルタ穴径を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機海水系 7mm</li> <li>・高圧炉心スプレィ補機海水系 7mm</li> </ul> <p>砂等の粒子状の極小飛来物は、海水ストレーナのエレメントのメッシュサイズより小さく、また、取水口からポンプ取水箇所までの距離が約 120m あるため、海水ストレーナは閉塞する可能性は低い。なお、海水ストレーナは 2 系統設けており、フィルタが閉塞することがないように差圧管理されており、一定の差圧（原子炉補機海水系：0.13MPa、高圧炉心スプレィ補機海水系：0.05MPa）になると切替えて、清掃を行うことも可能である。</p> <p>d. ディーゼル燃料移送ポンプの嘔込み・閉塞 燃料移送ポンプ本体への異物混入経路としては、軸貫通部があるが、当該部はメカニカルシール等を用いて潤滑剤や内部流体の漏えいのないよう適切に管理されていることから、砂等の粒子状の極小飛来物がポンプ本体へ侵入することはなく嘔込みや摩耗による影響はない。 ディーゼル燃料移送ポンプの概略構造図を図5に示す。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>動力源となる電動機については「全閉外扇屋外型」であり、ケーシングの放熱フィン等に砂等の粒子状の極小飛来物が冷却ファン側から吸入された場合でも、電動機内部に砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。</p>  <p>図5 ディーゼル燃料移送ポンプ概略構造図</p> <p>e. 排気筒（非常用ガス処理系用排気筒含む）の閉塞</p> <p>(a) 排気筒</p> <p>排気筒の径はφ3,300mmあり、短期間の竜巻による砂等の粒子状の極小飛来物により閉塞することはないと考える。</p> <p>(b) 非常用ガス処理系用排気筒</p> <p>非常用ガス処理系用排気筒は図6に示すとおり、横方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また、竜巻の通過に要する時間は短時間であるため、閉塞する量の飛来物は侵入し難い。</p>  <p>図6 排気筒周辺の概要</p>	

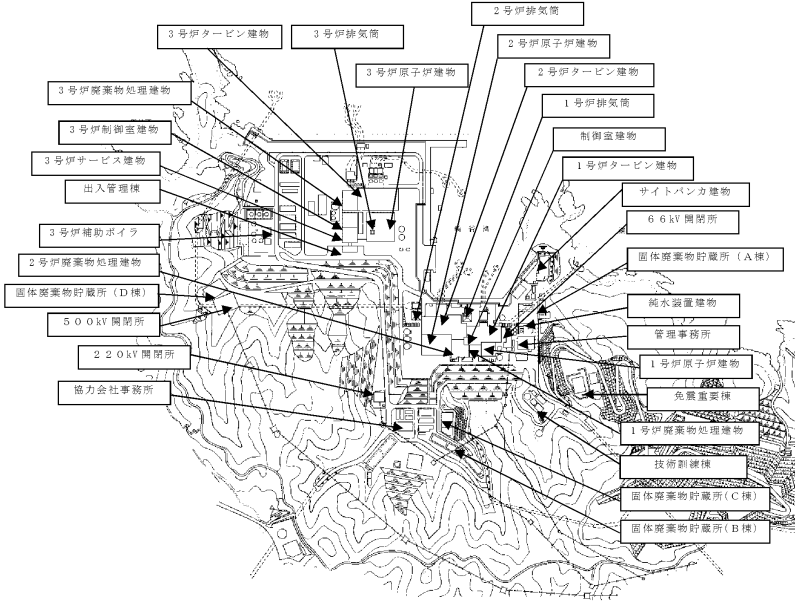
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>[外気との接続がある施設]</p> <p>a. 空調換気設備 (外気取入口) の目詰まり</p> <p>各評価対象設備の外気取入口には, 図7に示すとおりルーバが取り付けられており, 砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。</p> <p>また, 外気取入口には平型フィルタ (粒径 <math>2 \mu\text{m}</math> に対して 76% 以上を捕獲する性能) や袋型フィルタ (粒径 <math>2 \mu\text{m}</math> に対して 80% 以上を捕獲する性能) が設置されており, 想定する砂等の粒子状の極小飛来物は十分除去されることから, 給気を供給する系統及び機器に対して砂等の粒子状の極小飛来物を与える影響は少ない。また, フィルタには差圧計が設置されており, 必要に応じて取替え又は清掃をすることが可能である。</p>  <p>図7 外気取入口の空気の流れ概要</p> <p>[屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設]</p> <p>a. 給気消音器, 排気消音器 (非常用ディーゼル発電機の付属施設) の閉塞</p> <p>(a) 給気消音器</p> <p>非常用ディーゼル発電機の吸入空気は図8のとおり, 外気取入口は下に向いており, 砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造である。</p> <p>機関給気口の給気消音器にはフィルタ (粒径 <math>1 \mu\text{m}</math> 以上の砂等</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>の粒子状の極小飛来物は80%以上捕集)が設置されており、砂等の粒子状の極小飛来物の侵入を防止している。</p> <div data-bbox="1724 359 2493 884" style="border: 1px solid black; height: 250px; width: 100%;"></div> <p>図8 非常用ディーゼル発電機の給気空気の流れ</p> <p>(b) 排気消音器 (排気管含む)</p> <p>排気消音器及び排気管は図9に示すとおり、横方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また、運転中は排気していること、待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため、砂等の粒子状の極小飛来物が侵入することはない。また、竜巻の通過に要する時間は短時間であるため、閉塞する量の飛来物は侵入し難い。</p> <div data-bbox="1843 1325 2436 1766" style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>図9 非常用ディーゼル発電機排気消音器及び排気管</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>b. ベント管（ディーゼル燃料貯蔵タンク，ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンクの付属施設）の閉塞</p> <p>(a) ディーゼル燃料貯蔵タンク</p> <p>ディーゼル燃料貯蔵タンク本体は，ディーゼル燃料貯蔵タンク室内（地下埋設式）であり，砂等の粒子状の極小飛来物からの影響は受けないが，ディーゼル燃料貯蔵タンクのベント管は屋外に設置していることから影響について確認する。</p> <p>ディーゼル燃料貯蔵タンクのベント管先端には図 10 のとおり，カバーが取り付けられており，開口部の閉塞には至らない。</p>  <p>地上 (EL8800)</p> <p>図 10 ディーゼル燃料貯蔵タンク及びベント管の概要</p> <p>(b) ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンク</p> <p>ディーゼル燃料デイトンク，潤滑油サンプタンクのベント管は，下方向を向いており砂等の粒子状の極小飛来物が侵入しにくい構造となっている。また，竜巻の通過に要する時間は短時間であるため，閉塞する量の飛来物は侵入し難い。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">別紙-3</p> <p style="text-align: center;">二次飛来物の現地調査について</p> <p>1. 現地調査の概要</p> <p>竜巻による二次飛来物を抽出するため、発電所構内において平成 26 年 8 月に現地調査を実施した。現地調査では、風圧力や飛来物による被害を受けると考えられる設備及び建物・構築物を確認した。</p> <p>二次飛来物の発生を考慮する建物・構築物として、以下を調査対象施設とした。調査対象施設の配置を図 1 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 原子炉建物</li> <li>b) 廃棄物処理建物</li> <li>c) タービン建物</li> <li>d) サービス建物</li> <li>e) サイトバンカ建物</li> <li>f) 制御室建物</li> <li>g) 補助ボイラ</li> <li>h) 固体廃棄物貯蔵所</li> <li>i) 開閉所</li> <li>j) 管理事務所</li> <li>k) 協力会社事務所</li> <li>l) 送電鉄塔</li> <li>m) 技術訓練棟</li> <li>n) 免震重要棟</li> <li>o) 純水装置建物</li> <li>p) 排気筒</li> </ul>	<p>(柏崎 6/7 は「添付資料 3.3 3.3(1) 飛来物調査」及び「添付資料 3.3 別紙 1(2) 柏崎刈羽原子力発電所の屋外屋根、シャッター、ガラス窓、仮設足場の状況」で記載)</p> <p>(東海第二は「添付資料 9 2. 発電所構内の物品調査」及び「別紙 9-1 (2) 発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1944 966 2270 997">図1 調査対象施設の配置</p> <p data-bbox="1736 1018 1944 1050">2. 現地調査結果</p> <p data-bbox="1736 1060 2507 1354">二次飛来物の発生を考慮する設備及び建物・構築物を調査した結果、建物の金属製屋根・外壁、シャッター、ガラス窓及び給排気用格子が飛散物となり得ると判断した。なお、地面に固定されていたり、複数のボルト等で締結されているものについては二次飛来物となり難いことから除外した。二次飛来物となり得る部位の抽出結果を表1に、二次飛来物になり得る部位の写真を図2に示す。</p> <p data-bbox="1736 1375 2507 1585">建物の金属製屋根・外壁、シャッター、ガラス窓及び給排気用格子については、「過去の竜巻事例に基づく飛来物の検討(別紙-1)」により、二次飛来物となった場合でも、分解され小型軽量な物品となるため、その影響は設計飛来物に包含されると考えられる。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																													
		<p>表1 二次飛来物の発生を考慮する設備及び建物・構築物における二次飛来物となり得る部位の抽出結果 (1 / 4)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1727 331 2279 415">飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位</th> <th data-bbox="2285 331 2374 415">二次飛来物 になり得る 部位の有無</th> <th data-bbox="2380 331 2504 415">二次飛来物にな り得る部位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1号T/B北側DEG給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>2</td><td>鉄イオン溶解槽, 電解液受槽 (取水槽)</td><td>—</td></tr> <tr><td>3</td><td>北側出入管理建物ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>4</td><td>1号Rw/B南側シャッター (1FL)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>5</td><td>1号Rw/B南西側シャッター (1FL)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>6</td><td>1号Rw/B南側シャッター (2FL)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>7</td><td>1号T/B空調換気系給気用格子 (屋上)</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>8</td><td>1号T/B空調換気系給気用格子 (水平)</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>9</td><td>1号中央制御室空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>10</td><td>1号R/B空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>11</td><td>2号T/B北東側水素ガスボンベ室シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>12</td><td>2号鉄イオン溶解タンク (取水槽)</td><td>—</td></tr> <tr><td>13</td><td>2号鉄イオン保管建物シャッター (取水槽)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>14</td><td>2号T/Bシャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>15</td><td>補機メンテナンス建物東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>16</td><td>補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>17</td><td>補機メンテナンス建物南側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>18</td><td>補機メンテナンス建物北側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>19</td><td>補機メンテナンス建物東側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>20</td><td>補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>21</td><td>R/B西側液状酸素タンク</td><td>—</td></tr> <tr><td>22</td><td>水素ガストレーラ庫</td><td>—</td></tr> <tr><td>23</td><td>HPCS-DEG室排気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>24</td><td>R/B空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>25</td><td>HPCS-DEG室給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>26</td><td>A, B-DEG室給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>27</td><td>HPCS電気室空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>28</td><td>HPCS電気室空調換気系排気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>29</td><td>A, B非常用電気室空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>30</td><td>T/B空調換気系給気用格子 常用電気室空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> </tbody> </table>	飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物 になり得る 部位の有無	二次飛来物にな り得る部位	1	1号T/B北側DEG給気口	—	2	鉄イオン溶解槽, 電解液受槽 (取水槽)	—	3	北側出入管理建物ガラス窓	○ ガラス窓	4	1号Rw/B南側シャッター (1FL)	○ シャッター	5	1号Rw/B南西側シャッター (1FL)	○ シャッター	6	1号Rw/B南側シャッター (2FL)	○ シャッター	7	1号T/B空調換気系給気用格子 (屋上)	○ 給排気用格子	8	1号T/B空調換気系給気用格子 (水平)	○ 給排気用格子	9	1号中央制御室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	10	1号R/B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	11	2号T/B北東側水素ガスボンベ室シャッター	○ シャッター	12	2号鉄イオン溶解タンク (取水槽)	—	13	2号鉄イオン保管建物シャッター (取水槽)	○ シャッター	14	2号T/Bシャッター	○ シャッター	15	補機メンテナンス建物東側シャッター	○ シャッター	16	補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	17	補機メンテナンス建物南側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	18	補機メンテナンス建物北側シャッター	○ シャッター	19	補機メンテナンス建物東側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	20	補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	21	R/B西側液状酸素タンク	—	22	水素ガストレーラ庫	—	23	HPCS-DEG室排気用格子	○ 給排気用格子	24	R/B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	25	HPCS-DEG室給気用格子	○ 給排気用格子	26	A, B-DEG室給気用格子	○ 給排気用格子	27	HPCS電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	28	HPCS電気室空調換気系排気口	—	29	A, B非常用電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	30	T/B空調換気系給気用格子 常用電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	
飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物 になり得る 部位の有無	二次飛来物にな り得る部位																																																																																														
1	1号T/B北側DEG給気口	—																																																																																														
2	鉄イオン溶解槽, 電解液受槽 (取水槽)	—																																																																																														
3	北側出入管理建物ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																														
4	1号Rw/B南側シャッター (1FL)	○ シャッター																																																																																														
5	1号Rw/B南西側シャッター (1FL)	○ シャッター																																																																																														
6	1号Rw/B南側シャッター (2FL)	○ シャッター																																																																																														
7	1号T/B空調換気系給気用格子 (屋上)	○ 給排気用格子																																																																																														
8	1号T/B空調換気系給気用格子 (水平)	○ 給排気用格子																																																																																														
9	1号中央制御室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
10	1号R/B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
11	2号T/B北東側水素ガスボンベ室シャッター	○ シャッター																																																																																														
12	2号鉄イオン溶解タンク (取水槽)	—																																																																																														
13	2号鉄イオン保管建物シャッター (取水槽)	○ シャッター																																																																																														
14	2号T/Bシャッター	○ シャッター																																																																																														
15	補機メンテナンス建物東側シャッター	○ シャッター																																																																																														
16	補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																														
17	補機メンテナンス建物南側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																														
18	補機メンテナンス建物北側シャッター	○ シャッター																																																																																														
19	補機メンテナンス建物東側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																														
20	補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																														
21	R/B西側液状酸素タンク	—																																																																																														
22	水素ガストレーラ庫	—																																																																																														
23	HPCS-DEG室排気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
24	R/B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
25	HPCS-DEG室給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
26	A, B-DEG室給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
27	HPCS電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
28	HPCS電気室空調換気系排気口	—																																																																																														
29	A, B非常用電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														
30	T/B空調換気系給気用格子 常用電気室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																														

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																									
		<p>表1 二次飛来物の発生を考慮する設備及び建物・構築物における二次飛来物となり得る部位の抽出結果 (2 / 4)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1715 331 2249 388">飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位</th> <th data-bbox="2249 331 2374 388">二次飛来物になり得る部位の有無</th> <th data-bbox="2374 331 2510 388">二次飛来物になり得る部位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31</td><td>Rw / B空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>32</td><td>中央制御室空調換気系給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>33</td><td>エスカレータガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>34</td><td>上水タンク (5.0m盤, 7.7m盤)</td><td>—</td></tr> <tr><td>35</td><td>日立6号棟シャッター (4.4m盤)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>36</td><td>日立6号棟ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>37</td><td>日立5号棟ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>38</td><td>CPC事務所ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>39</td><td>日立2号棟ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>40</td><td>日立1号棟ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>41</td><td>日立3, 4号棟ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>42</td><td>協力会社事務所南側ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>43</td><td>協力会社事務所北側ガラス窓 (4.4m盤)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>44</td><td>第2防護本部シャッター (4.4m盤)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>45</td><td>免震重要棟</td><td>— 窓等なし</td></tr> <tr><td>46</td><td>事務所2号館西側給排気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>47</td><td>事務所2号館北側給排気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>48</td><td>事務所2号館北側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>49</td><td>事務所1号館ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>50</td><td>事務所3号館シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>51</td><td>事務所3号館シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>52</td><td>事務者3号館ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>53</td><td>純水処理建物給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>54</td><td>補助ボイラー室北側シャッター (1)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>55</td><td>補助ボイラー室北側シャッター (2)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>56</td><td>純水タンク (A)</td><td>—</td></tr> <tr><td>57</td><td>純水タンク (B)</td><td>—</td></tr> <tr><td>58</td><td>3号倉庫東側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>59</td><td>3号倉庫北側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>60</td><td>2号倉庫西側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>61</td><td>2号倉庫南西側シャッター-ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>62</td><td>2号倉庫南東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>63</td><td>2号倉庫東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>64</td><td>2号倉庫ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>65</td><td>サイトバンカ建物西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>66</td><td>サイトバンカ建物南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>67</td><td>サイトバンカ建物給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>68</td><td>サイトバンカ建物ガラス窓 (1)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>69</td><td>サイトバンカ建物ガラス窓 (2)</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>70</td><td>危険物屋内貯蔵所東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>71</td><td>プロワ室ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>72</td><td>汚水処理施設ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>73</td><td>固体廃棄物貯蔵庫A棟西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>74</td><td>空コンテナ保管庫西側に面するシャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>75</td><td>技術訓練棟1号館ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>76</td><td>技術訓練棟1号館北側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>77</td><td>技術訓練棟2号館西側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>78</td><td>1号ろ過水装置建物の西側シャッター, ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>79</td><td>1号ろ過水装置タンク (1)</td><td>—</td></tr> <tr><td>80</td><td>1号ろ過水装置タンク (2)</td><td>—</td></tr> </tbody> </table>	飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物になり得る部位の有無	二次飛来物になり得る部位	31	Rw / B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	32	中央制御室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子	33	エスカレータガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	34	上水タンク (5.0m盤, 7.7m盤)	—	35	日立6号棟シャッター (4.4m盤)	○ シャッター	36	日立6号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	37	日立5号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	38	CPC事務所ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	39	日立2号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	40	日立1号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	41	日立3, 4号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	42	協力会社事務所南側ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	43	協力会社事務所北側ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓	44	第2防護本部シャッター (4.4m盤)	○ シャッター	45	免震重要棟	— 窓等なし	46	事務所2号館西側給排気用格子	○ 給排気用格子	47	事務所2号館北側給排気用格子	○ 給排気用格子	48	事務所2号館北側シャッター	○ シャッター	49	事務所1号館ガラス窓	○ ガラス窓	50	事務所3号館シャッター	○ シャッター	51	事務所3号館シャッター	○ シャッター	52	事務者3号館ガラス窓	○ ガラス窓	53	純水処理建物給気用格子	○ 給排気用格子	54	補助ボイラー室北側シャッター (1)	○ シャッター	55	補助ボイラー室北側シャッター (2)	○ シャッター	56	純水タンク (A)	—	57	純水タンク (B)	—	58	3号倉庫東側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	59	3号倉庫北側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	60	2号倉庫西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	61	2号倉庫南西側シャッター-ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	62	2号倉庫南東側シャッター	○ シャッター	63	2号倉庫東側シャッター	○ シャッター	64	2号倉庫ガラス窓	○ ガラス窓	65	サイトバンカ建物西側シャッター	○ シャッター	66	サイトバンカ建物南側シャッター	○ シャッター	67	サイトバンカ建物給気口	—	68	サイトバンカ建物ガラス窓 (1)	○ ガラス窓	69	サイトバンカ建物ガラス窓 (2)	○ ガラス窓	70	危険物屋内貯蔵所東側シャッター	○ シャッター	71	プロワ室ガラス窓	○ ガラス窓	72	汚水処理施設ガラス窓	○ ガラス窓	73	固体廃棄物貯蔵庫A棟西側シャッター	○ シャッター	74	空コンテナ保管庫西側に面するシャッター	○ シャッター	75	技術訓練棟1号館ガラス窓	○ ガラス窓	76	技術訓練棟1号館北側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	77	技術訓練棟2号館西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	78	1号ろ過水装置建物の西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	79	1号ろ過水装置タンク (1)	—	80	1号ろ過水装置タンク (2)	—	
飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物になり得る部位の有無	二次飛来物になり得る部位																																																																																																																																																										
31	Rw / B空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
32	中央制御室空調換気系給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
33	エスカレータガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
34	上水タンク (5.0m盤, 7.7m盤)	—																																																																																																																																																										
35	日立6号棟シャッター (4.4m盤)	○ シャッター																																																																																																																																																										
36	日立6号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
37	日立5号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
38	CPC事務所ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
39	日立2号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
40	日立1号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
41	日立3, 4号棟ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
42	協力会社事務所南側ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
43	協力会社事務所北側ガラス窓 (4.4m盤)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
44	第2防護本部シャッター (4.4m盤)	○ シャッター																																																																																																																																																										
45	免震重要棟	— 窓等なし																																																																																																																																																										
46	事務所2号館西側給排気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
47	事務所2号館北側給排気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
48	事務所2号館北側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
49	事務所1号館ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
50	事務所3号館シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
51	事務所3号館シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
52	事務者3号館ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
53	純水処理建物給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
54	補助ボイラー室北側シャッター (1)	○ シャッター																																																																																																																																																										
55	補助ボイラー室北側シャッター (2)	○ シャッター																																																																																																																																																										
56	純水タンク (A)	—																																																																																																																																																										
57	純水タンク (B)	—																																																																																																																																																										
58	3号倉庫東側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
59	3号倉庫北側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
60	2号倉庫西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
61	2号倉庫南西側シャッター-ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
62	2号倉庫南東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
63	2号倉庫東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
64	2号倉庫ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
65	サイトバンカ建物西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
66	サイトバンカ建物南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
67	サイトバンカ建物給気口	—																																																																																																																																																										
68	サイトバンカ建物ガラス窓 (1)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
69	サイトバンカ建物ガラス窓 (2)	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
70	危険物屋内貯蔵所東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
71	プロワ室ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
72	汚水処理施設ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
73	固体廃棄物貯蔵庫A棟西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
74	空コンテナ保管庫西側に面するシャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
75	技術訓練棟1号館ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
76	技術訓練棟1号館北側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
77	技術訓練棟2号館西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
78	1号ろ過水装置建物の西側シャッター, ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
79	1号ろ過水装置タンク (1)	—																																																																																																																																																										
80	1号ろ過水装置タンク (2)	—																																																																																																																																																										





柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																									
		<p>表1 二次飛来物の発生を考慮する設備及び建物・構築物における二次飛来物となり得る部位の抽出結果 (3 / 4)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1721 331 2279 411">飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位</th> <th data-bbox="2279 331 2380 411">二次飛来物となり得る部位の有無</th> <th data-bbox="2380 331 2504 411">二次飛来物になり得る部位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>81</td><td>2号ろ過水装置建物シャッター、ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>82</td><td>2号ろ過水装置建物ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>83</td><td>2号ろ過水装置タンク (1)</td><td>—</td></tr> <tr><td>84</td><td>2号ろ過水装置タンク (2)</td><td>—</td></tr> <tr><td>85</td><td>2号ろ過水タンク</td><td>—</td></tr> <tr><td>86</td><td>固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (1)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>87</td><td>固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (2)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>88</td><td>高圧ガス貯蔵所南側フェンス扉</td><td>—</td></tr> <tr><td>89</td><td>5号倉庫給気用格子、ガラス窓</td><td>○ 給排気用格子 ガラス窓</td></tr> <tr><td>90</td><td>5号倉庫南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>91</td><td>5号倉庫西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>92</td><td>4.4m版事務所東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>93</td><td>固体廃棄物貯蔵庫C棟西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>94</td><td>1号開閉所ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>95</td><td>1号開閉所西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>96</td><td>1号開閉所南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>97</td><td>2号開閉所ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>98</td><td>2号炉T/B北側事務所西側シャッター、ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>99</td><td>鉄イオン貯蔵建物南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>100</td><td>エスカレータ南側シャッター (4.4m壁)</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>101</td><td>2号N o. 1 鉄塔</td><td>—</td></tr> <tr><td>102</td><td>2号N o. 2 鉄塔</td><td>—</td></tr> <tr><td>103</td><td>3号N o. 3 鉄塔</td><td>—</td></tr> <tr><td>104</td><td>ガスタービン発電機資材倉庫南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>105</td><td>資材倉庫シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>106</td><td>緊急用電気室入口</td><td>—</td></tr> <tr><td>107</td><td>危険物屋内貯蔵建物給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>108</td><td>危険物屋内貯蔵倉庫給気用格子</td><td>○ 給排気用格子</td></tr> <tr><td>109</td><td>R/B東側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>110</td><td>T/B東側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>111</td><td>R/B南側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>112</td><td>S/B屋上階東側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>113</td><td>S/B南側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>114</td><td>出入管理棟南側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>115</td><td>S/B屋上階西側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>116</td><td>S/B西側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>117</td><td>S/B西側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>118</td><td>補助ボイラー建物北側給気口</td><td>—</td></tr> <tr><td>119</td><td>補助ボイラー建物北側重油サービスタンク</td><td>—</td></tr> <tr><td>120</td><td>補助ボイラー建物東側シャッター、ガラス窓</td><td>○ シャッター ガラス窓</td></tr> <tr><td>121</td><td>固体廃棄物貯蔵所D棟南東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>122</td><td>D棟南西側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>123</td><td>固体廃棄物貯蔵所D棟付属建物西側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>124</td><td>3号開閉所</td><td>—</td></tr> <tr><td>125</td><td>倉庫西、東側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>126</td><td>倉庫北、南側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>127</td><td>除じん機メンテナンス建物北、南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>128</td><td>除じん機建物東、西側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> <tr><td>129</td><td>補機海水系ポンプメンテナンス建物北、東、南側シャッター</td><td>○ シャッター</td></tr> <tr><td>130</td><td>補機海水系ポンプメンテナンス建物東、西側ガラス窓</td><td>○ ガラス窓</td></tr> </tbody> </table>	飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物となり得る部位の有無	二次飛来物になり得る部位	81	2号ろ過水装置建物シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	82	2号ろ過水装置建物ガラス窓	○ ガラス窓	83	2号ろ過水装置タンク (1)	—	84	2号ろ過水装置タンク (2)	—	85	2号ろ過水タンク	—	86	固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (1)	○ シャッター	87	固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (2)	○ シャッター	88	高圧ガス貯蔵所南側フェンス扉	—	89	5号倉庫給気用格子、ガラス窓	○ 給排気用格子 ガラス窓	90	5号倉庫南側シャッター	○ シャッター	91	5号倉庫西側シャッター	○ シャッター	92	4.4m版事務所東側シャッター	○ シャッター	93	固体廃棄物貯蔵庫C棟西側シャッター	○ シャッター	94	1号開閉所ガラス窓	○ ガラス窓	95	1号開閉所西側シャッター	○ シャッター	96	1号開閉所南側シャッター	○ シャッター	97	2号開閉所ガラス窓	○ ガラス窓	98	2号炉T/B北側事務所西側シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	99	鉄イオン貯蔵建物南側シャッター	○ シャッター	100	エスカレータ南側シャッター (4.4m壁)	○ シャッター	101	2号N o. 1 鉄塔	—	102	2号N o. 2 鉄塔	—	103	3号N o. 3 鉄塔	—	104	ガスタービン発電機資材倉庫南側シャッター	○ シャッター	105	資材倉庫シャッター	○ シャッター	106	緊急用電気室入口	—	107	危険物屋内貯蔵建物給気用格子	○ 給排気用格子	108	危険物屋内貯蔵倉庫給気用格子	○ 給排気用格子	109	R/B東側給気口	—	110	T/B東側給気口	—	111	R/B南側給気口	—	112	S/B屋上階東側給気口	—	113	S/B南側ガラス窓	○ ガラス窓	114	出入管理棟南側ガラス窓	○ ガラス窓	115	S/B屋上階西側給気口	—	116	S/B西側ガラス窓	○ ガラス窓	117	S/B西側給気口	—	118	補助ボイラー建物北側給気口	—	119	補助ボイラー建物北側重油サービスタンク	—	120	補助ボイラー建物東側シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓	121	固体廃棄物貯蔵所D棟南東側シャッター	○ シャッター	122	D棟南西側シャッター	○ シャッター	123	固体廃棄物貯蔵所D棟付属建物西側ガラス窓	○ ガラス窓	124	3号開閉所	—	125	倉庫西、東側シャッター	○ シャッター	126	倉庫北、南側ガラス窓	○ ガラス窓	127	除じん機メンテナンス建物北、南側シャッター	○ シャッター	128	除じん機建物東、西側ガラス窓	○ ガラス窓	129	補機海水系ポンプメンテナンス建物北、東、南側シャッター	○ シャッター	130	補機海水系ポンプメンテナンス建物東、西側ガラス窓	○ ガラス窓	
飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物となり得る部位の有無	二次飛来物になり得る部位																																																																																																																																																										
81	2号ろ過水装置建物シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
82	2号ろ過水装置建物ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
83	2号ろ過水装置タンク (1)	—																																																																																																																																																										
84	2号ろ過水装置タンク (2)	—																																																																																																																																																										
85	2号ろ過水タンク	—																																																																																																																																																										
86	固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (1)	○ シャッター																																																																																																																																																										
87	固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (2)	○ シャッター																																																																																																																																																										
88	高圧ガス貯蔵所南側フェンス扉	—																																																																																																																																																										
89	5号倉庫給気用格子、ガラス窓	○ 給排気用格子 ガラス窓																																																																																																																																																										
90	5号倉庫南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
91	5号倉庫西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
92	4.4m版事務所東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
93	固体廃棄物貯蔵庫C棟西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
94	1号開閉所ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
95	1号開閉所西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
96	1号開閉所南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
97	2号開閉所ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
98	2号炉T/B北側事務所西側シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
99	鉄イオン貯蔵建物南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
100	エスカレータ南側シャッター (4.4m壁)	○ シャッター																																																																																																																																																										
101	2号N o. 1 鉄塔	—																																																																																																																																																										
102	2号N o. 2 鉄塔	—																																																																																																																																																										
103	3号N o. 3 鉄塔	—																																																																																																																																																										
104	ガスタービン発電機資材倉庫南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
105	資材倉庫シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
106	緊急用電気室入口	—																																																																																																																																																										
107	危険物屋内貯蔵建物給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
108	危険物屋内貯蔵倉庫給気用格子	○ 給排気用格子																																																																																																																																																										
109	R/B東側給気口	—																																																																																																																																																										
110	T/B東側給気口	—																																																																																																																																																										
111	R/B南側給気口	—																																																																																																																																																										
112	S/B屋上階東側給気口	—																																																																																																																																																										
113	S/B南側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
114	出入管理棟南側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
115	S/B屋上階西側給気口	—																																																																																																																																																										
116	S/B西側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
117	S/B西側給気口	—																																																																																																																																																										
118	補助ボイラー建物北側給気口	—																																																																																																																																																										
119	補助ボイラー建物北側重油サービスタンク	—																																																																																																																																																										
120	補助ボイラー建物東側シャッター、ガラス窓	○ シャッター ガラス窓																																																																																																																																																										
121	固体廃棄物貯蔵所D棟南東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
122	D棟南西側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
123	固体廃棄物貯蔵所D棟付属建物西側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
124	3号開閉所	—																																																																																																																																																										
125	倉庫西、東側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
126	倉庫北、南側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
127	除じん機メンテナンス建物北、南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
128	除じん機建物東、西側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										
129	補機海水系ポンプメンテナンス建物北、東、南側シャッター	○ シャッター																																																																																																																																																										
130	補機海水系ポンプメンテナンス建物東、西側ガラス窓	○ ガラス窓																																																																																																																																																										

表1 二次飛来物の発生を考慮する設備及び建物・構築物における二次飛来物となり得る部位の抽出結果 (4 / 4)

No.	飛来物に対して影響を受ける可能性のある部位	二次飛来物になり得る部位の有無	二次飛来物になり得る部位
131	ガスボンベ庫東側給気口	—	
132	ガスボンベ庫西側給気口	—	
133	第3危険物倉庫東側シャッター	○	シャッター
134	ボーリングコア倉庫東側シャッター	○	シャッター
135	ボーリングコア倉庫南, 北側ガラス窓	○	ガラス窓
136	島根原子力幹線送電鉄塔(No.1,2)	—	
137	島根原子力幹線送電鉄塔(No.3)	—	
138	給水設備建物東側シャッター	○	シャッター
139	給水設備建物東, 北側ガラス窓	○	ガラス窓
140	給水設備建物西側ガラス窓	○	ガラス窓
141	純水タンク, ろ過水タンク, 消火用水タンク	—	
142	排気筒	—	
143	重油タンク移送ポンプ室南側ガラス窓	○	ガラス窓
144	2号炉放水路モニタ室東, 南側に面するガラス窓	○	ガラス窓
145	海水電解装置設備周囲の亚克力ケース	—	
146	東口建物北側ガラス窓	○	ガラス窓
147	東口建物東, 西側亚克力扉	—	
148	北口建物西側ガラス窓	○	ガラス窓
149	北口建物南, 北側亚克力扉	—	
150	1号炉原子炉建物	○	金属製外壁
151	1号炉タービン建物	○	金属製屋根
152	1号炉廃棄物処理建物	—	
153	1号炉排気筒	—	
154	2号炉原子炉建物	—	
155	2号炉タービン建物	—	
156	2号炉廃棄物処理建物	—	
157	2号炉排気筒	—	
158	制御室建物	—	
159	3号炉原子炉建物	—	
160	3号炉タービン建物	—	
161	3号炉廃棄物処理建物	—	
162	3号炉排気筒	—	
163	3号炉制御室建物	—	
164	3号炉サービス建物	—	
165	3号炉補助ボイラ	○	金属製屋根・外壁
166	3号出入管理棟	○	金属製屋根・外壁
167	固体廃棄物貯蔵所 (A棟)	—	
168	固体廃棄物貯蔵所 (B棟)	—	
169	固体廃棄物貯蔵所 (C棟)	—	
170	固体廃棄物貯蔵所 (D棟)	—	
171	66kV開閉所 (1号機屋内開閉所)	○	金属製屋根・外壁
172	220kV開閉所 (2号機開閉所電気室)	—	
173	500kV開閉所 (開閉所電気品室)	—	
174	管理事務所1号館	○	金属製屋根・外壁
175	管理事務所2号館	—	
176	管理事務所3号館	○	金属製屋根
177	管理事務所4号館	○	金属製屋根
178	サイトバンカ建物	—	
179	サイトバンカ付属倉庫	○	金属製屋根
180	純水装置建物	○	金属製屋根・外壁
181	免震重要棟	○	金属製屋根
182	技術訓練棟	—	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>3 北側出入管理建物ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>4 1号Rw/B南側シャッター (1FL)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>5 1号Rw/B南西側シャッター (1FL)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>6 1号Rw/B南側シャッター (2FL)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>7 1号T/B空調換気系給気用格子 (屋上)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>8 1号T/B空調換気系給気用格子 (水平)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(1 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>9 1号中央制御室空調換気系給気用格子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>10 1号R/B空調換気系給気用格子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>11 2号T/B北東側水素ガスポンプ室シャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>13 2号鉄イオン保管建物シャッター (取水槽)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>14 2号T/Bシャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>15 補機メンテナンス建物東側シャッター</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(2 / 20)</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>16 補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓</p> <p>17 補機メンテナンス建物南側シャッター, ガラス窓</p>  <p>18 補機メンテナンス建物北側シャッター</p> <p>19 補機メンテナンス建物東側シャッター, ガラス窓</p> <p>20 補機メンテナンス建物西側シャッター, ガラス窓</p> <p>23 HPCS-DEG室排気用格子</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(3 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>24 R / B空調換気系給気用格子</p> <p>25 HPCS-DEG室給気用格子</p> <p>26 A, B-DEG室給気用格子</p> <p>27 HPCS電気室空調換気系給気用格子</p> <p>29 A, B非常用電気室空調換気系給気用格子</p> <p>30 T / B空調換気系給気用格子 常用電気室空調換気系給排気用格子</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(4 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>31 R w / B 空調換気系給気用格子</p> <p>32 中央制御室空調換気系給気用格子</p> <p>33 エスカレータガラス窓 (4.4 m盤)</p> <p>35 日立6号棟シャッター (4.4 m盤)</p> <p>36 日立6号棟ガラス窓 (4.4 m盤)</p> <p>37 日立5号棟ガラス窓 (4.4 m盤)</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(5 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>38 CPC事務所ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>39 日立2号棟ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>40 日立1号棟ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>41 日立3, 4号棟ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>42 協力会社事務所南側ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>43 協力会社事務所北側ガラス窓 (4.4m盤)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(6 / 20)</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(7 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>51 事務所3号館シャッター</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>52 事務所3号館ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>53 純水処理建物給気用格子</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>54 補助ボイラー室北側シャッター (1)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>55 補助ボイラー室北側シャッター (2)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>58 3号倉庫東側シャッター, ガラス窓</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(8 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>59 3号倉庫北側シャッター、ガラス窓</p> <p>60 2号倉庫西側シャッター、ガラス窓</p> <p>61 2号倉庫南西側シャッターガラス窓</p> <p>62 2号倉庫南東側シャッター</p> <p>63 2号倉庫東側シャッター</p> <p>64 2号倉庫ガラス窓</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(9 / 20)</p>	


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>65 サイトバンカ建物西側シャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>66 サイトバンカ建物南側シャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>68 サイトバンカ建物ガラス窓 (1)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>69 サイトバンカ建物ガラス窓 (2)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>70 危険物屋内貯蔵所東側シャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>71 ブロワ室ガラス窓</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(10 / 20)</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>72 汚水処理施設ガラス窓</p> <p>73 固体廃棄物貯蔵庫A棟西側シャッター</p> <p>74 空コンテナ保管庫西側に面するシャッター</p> <p>75 技術訓練棟1号館ガラス窓</p> <p>76 技術訓練棟1号館北側シャッター、ガラス窓</p> <p>77 技術訓練棟2号館西側シャッター、ガラス窓</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(11 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>78 1号ろ過水装置建物の西側シャッター, ガラス窓</p> <p>81 2号ろ過水装置建物シャッター, ガラス窓</p> <p>82 2号ろ過水装置建物ガラス窓</p> <p>86 固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (1)</p> <p>87 固体廃棄物貯蔵庫B棟南西側シャッター (2)</p> <p>89 5号倉庫給気用格子, ガラス窓</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(12 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>90 5号倉庫南側シャッター 5号倉庫 (南側)</p> <p>91 5号倉庫西側シャッター 5号倉庫 (西側)</p> <p>92 4.4m版事務所東側シャッター</p> <p>93 固体廃棄物貯蔵庫C棟西側シャッター</p> <p>94 1号開閉所ガラス窓</p> <p>95 1号開閉所西側シャッター</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(13 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>96 1号閉閉所南側シャッター</p> <p>97 2号閉閉所ガラス窓</p> <p>98 2号炉T/B北側事務所西側シャッター、ガラス窓</p> <p>99 鉄イオン貯蔵建物南側シャッター</p> <p>100 エスカレータ南側シャッター (4.4m盤)</p> <p>104 ガスタービン発電機資材倉庫南側シャッター</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(14/20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>105 資材倉庫シャッター</p> <p>107 危険物屋内貯蔵建物給気用格子</p> <p>108 危険物屋内貯蔵倉庫給気用格子</p> <p>113 S / B南側ガラス窓</p> <p>114 出入管理棟南側ガラス窓</p> <p>116 S / B西側ガラス窓</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(15 / 20)</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>120 補助ボイラー建物東側シャッター、ガラス窓</p> <p>121 固体廃棄物貯蔵所D棟南東側シャッター</p> <p>122 D棟南西側シャッター</p> <p>123 固体廃棄物貯蔵所D棟付属建物西側ガラス窓</p> <p>125 倉庫西、東側シャッター</p> <p>126 倉庫北、南側ガラス窓</p> <p>西 東側にも同様のシャッター</p> <p>北 南側にも同様のガラス窓</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(16 / 20)</p>	

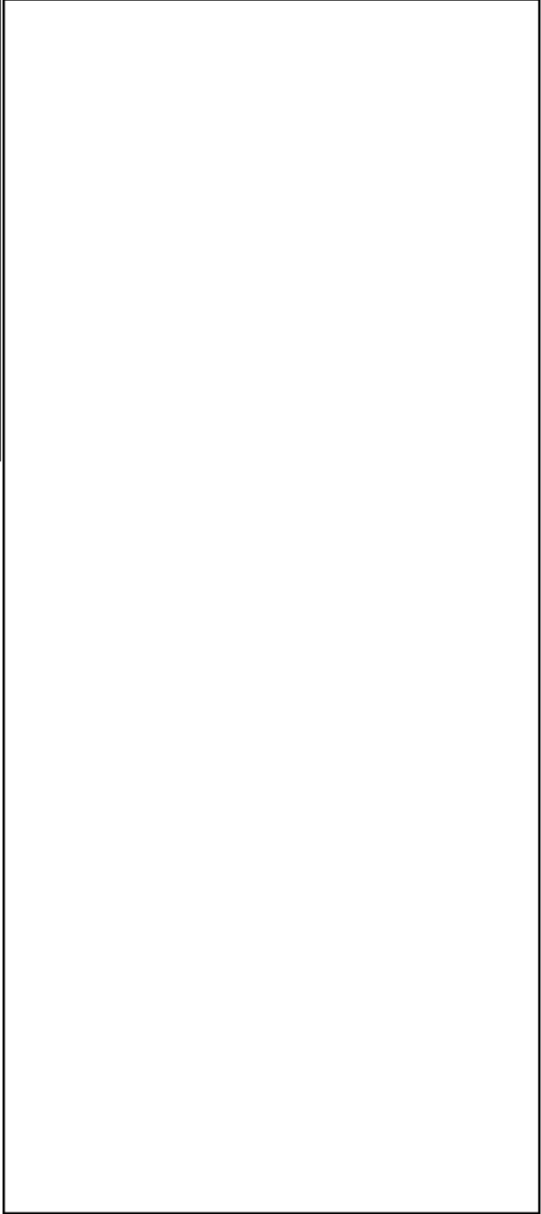
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>127 除じん機メンテナンス建物北, 南側シャッター</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>128 除じん機建物東, 西側ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>129 補機海水系ポンプメンテナンス建物北, 東, 南側シャッター</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>130 補機海水系ポンプメンテナンス建物東, 西側ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>133 第3危険物倉庫東側シャッター</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>134 ボーリングコア倉庫東側シャッター</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(17 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>135 ボーリングコア倉庫南, 北側ガラス窓</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>138 給水設備建物東側シャッター</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>139 給水設備建物東, 北側ガラス窓</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>140 給水設備建物西側ガラス窓</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>143 重油タンク移送ポンプ室南側ガラス窓</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>144 2号炉放水路モニタ室東, 南側に面するガラス窓</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(18 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>146 東口建物北側ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>148 北口建物西側ガラス窓</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>150 1号炉原子炉建物</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>165 3号炉補助ボイラ</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>166 3号出入管理棟</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>171 6.6 kV開閉所 (1号機屋内開閉所)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>174 1号館管理事務所</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>176 3号館管理事務所</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">図2 二次飛来物になり得る施設の写真(19 / 20)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>177 4号館管理事務所</p> <p>179 サイトパンカ付風倉庫</p> <p>180 純水装置建物</p> <p>181 免震重要棟</p> <p>図2 二次飛来物になり得る施設の写真(20 / 20)</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p data-bbox="151 359 181 411">初版2</p> <p data-bbox="186 758 216 1094"><b>飛来物初期高さ (高台高さ) の設定</b></p> <p data-bbox="228 363 305 1493">飛来物候補の飛散評価を実施する際に、飛来物の初期高さを設定する必要がある。飛来物の初期高さは、プラントウォーターダウンにて確認した飛来物の設置場所と評価対象施設との高低差を踏まえ設定した。ただし、仮設物のように設置場所の特定が困難な物品については、評価対象施設に到達する可能性のある初期高さのうち、最大の高さを飛来物の初期高さとして設定した。図1に設定した各飛来物の初期高さを示す。</p> <p data-bbox="305 363 359 1493">なお、図1で記載した飛来物のうち、評価対象施設に到達する可能性があり、設計飛来物による影響に包絡されない飛来物(図1の灰色)については、外部事象防護対象施設との距離をとる又は固縛等を実施する。(図1の黒字は、設計飛来物若しくは設計飛来物の影響に包絡される飛来物のため、固縛等は実施しない)</p> <p data-bbox="359 394 385 772">防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません</p>  <p data-bbox="136 1509 724 1541">図1 各代表飛来物の設置場所を踏まえた初期高さ</p>			<p data-bbox="2516 210 2706 237">備考</p> <p data-bbox="2516 254 2837 373">(島根2号炉は「添付資料3.2 竜巻影響評価及び竜巻対策の概要」で記載)</p>

別紙3

竜巻時に発生するひょうの影響について

竜巻時はひょうを伴うこともあるため、ひょうに関する文献を参考にひょうの影響について検討を行った。

ひょうはあられが大きく成長したもので、直径5mm以上の氷の粒子である。ひょうの大きさは、通常は直径が5~50mmである<sup>※1</sup>。このことから、直径50mmのひょうを対象に影響評価を行う。なお、ひょうの大きさの変化に対する影響度を確認するため、比較対象として、参考文献<sup>※2</sup>に記載の雹で最大である10cmのひょうにて評価を実施したとしても設計飛来物に包含されることも確認した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間を経れば空気抵抗と重力が釣り合い等速運動となり、一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下するひょうもこの終端速度で落下する。ひょうの粒径ごとの終端速度を表1に示す。

表1 ひょうの粒径ごとの終端速度<sup>※2</sup>

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで、ひょうの影響を評価するため、運動エネルギー、貫通のしやすさを評価した結果を設計飛来物（鋼製材）と比較し表2に示す。ひょうの影響は設計飛来物（鋼製材）に包含できると言える。

添付資料10

竜巻時に発生するひょうの影響について

竜巻においてはひょうを伴うことがあるため、ひょうの影響について検討を行った。

ひょうはあられが大きく成長したもので、直径5mm以上の氷の粒子である。ひょうの粒径の上限は、文献<sup>(1)</sup>によれば通常は直径が5mm~50mmとされているが、ひょうの粒径の変化に対する影響度を確認するため、別の文献<sup>(2)</sup>に記載のひょうのうち最大の10cmのひょうまでを想定した評価を実施した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間を経れば空気抵抗と重力とが釣り合い等速運動となり、一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下するひょうもこの終端速度で落下する。ひょうの粒径ごとの終端速度を第1-1表に示す。

第1-1表 ひょうの粒径ごとの終端速度<sup>(2)</sup>

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで、ひょうの影響を評価するため、運動エネルギー、貫通力（貫通限界厚さ）を評価した結果を設計飛来物（鋼製材）と比較し第1-2表に示す。その結果、ひょうの影響は設計飛来物（鋼製材）に十分包絡できると言える。

別紙-4

竜巻時に発生するひょうの影響について

竜巻時はひょうを伴うこともあるため、ひょうに関する文献を参考にひょうの影響について検討を行った。

ひょうはあられが大きく成長したもので、直径5mm以上の氷の粒子である。ひょうの大きさは、通常は直径が5~50mmである<sup>※1</sup>。このことから、直径50mmのひょうを対象に影響評価を行う。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間を経れば空気抵抗と重力が釣り合い等速運動（終端速度）となる。空気中を落下するひょうもこの終端速度で落下する。ひょうの粒径毎の終端速度を表1に示す。

表1 ひょうの粒径毎の終端速度<sup>※2</sup>

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ひょうの大きさの変化に対する影響度を確認するため、比較対象として、参考文献<sup>※2</sup>に記載のある最大10cmのひょうに対して運動エネルギー、貫通のしやすさの評価を実施し、設計飛来物（鋼製材）との比較した結果を表2に示す。ひょうの影響は設計飛来物（鋼製材）に包含できる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)				東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)				島根原子力発電所 2号炉				備考		
表 2 粒径 5cm 及び 10cm ひょうの影響評価				第 1-2 表 粒径 5cm 及び 10cm ひょうの影響評価 及び設計飛来物との比較結果				表 2 粒径 5cm 及び 10cm ひょうの影響評価				・設計飛来物の相違 <b>【柏崎 6/7】</b>		
		粒径 5cm ひょう	粒径 10cm ひょう	貫通限界厚さ (鉛直)		設計飛来物 (鋼製材)		運動エネルギー		粒径5cm ひょう	粒径10cm ひょう		設計飛来物 (鋼製材)	
運動エネルギー		0.04kJ	0.91 kJ	3 kJ						0.04kJ	0.91kJ		176kJ	
貫通限界厚さ (鉛直)	コンクリート Fc=330kgf/cm <sup>2</sup>	0.8cm	2.7cm	4cm						貫通限界 厚さ (鉛直)	コンクリート Fc=330kgf/c m <sup>2</sup>		0.8cm	2.7cm
	鋼板	0.2mm	0.7mm	2mm							鋼板	0.2mm	0.8 mm	34mm
				評価対象	運動エネルギー	貫通限界厚さ (鉛直)								
				粒径 5cm ひょう	0.04kJ	コンクリート (Fc=225kgf/cm <sup>2</sup> )		鋼板						
				粒径 10cm ひょう	0.85kJ	0.8cm		0.2mm						
				設計飛来物 (鋼製材)	79kJ	2.9cm		0.8mm						
						18.8cm		19mm						
※1 : 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書店 ※2 : 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会				<参考文献> (1) 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書店 (2) 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会				※1 : 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書居 ※2 : 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会						

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 9-2</p> <p style="text-align: center;">空力パラメータについて</p> <p>物品の飛散解析に用いる空力パラメータは「竜巻影響評価ガイド」の参考文献<sup>(1)</sup>及び米国NRCの竜巻設計のための飛来物特性を与えるNUREG-0800 (1996)<sup>(2)</sup>に引用されている文献<sup>(3)</sup>を参照し、下式により算出する。</p> $\frac{C_D A}{m} = c \frac{(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$ <p>ここで、</p> <p><math>\frac{C_D A}{m}</math> : 空力パラメータ (m<sup>2</sup>/kg)</p> <p><math>m</math> : 物品の質量 (kg)</p> <p><math>c</math> : 係数 (0.33)</p> <p><math>C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}</math> : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)</p> <p><math>A_1, A_2, A_3</math> : <math>C_{D1} \sim C_{D3}</math>を定義した各方向に対する見付面積 (m<sup>2</sup>)</p>	<p style="text-align: right;">別紙-5</p> <p style="text-align: center;"><u>空力パラメータについて</u></p> <p><u>物体の飛散解析に用いる空力パラメータは「竜巻影響評価ガイド」の参考文献<sup>(1)</sup>及び米国NRCの竜巻設計のための飛来物特性を与えるNUREG-0800 (1996)<sup>(2)</sup>に引用されている文献<sup>(3)</sup>を参照し、下式により算出する。</u></p> $\frac{C_D A}{m} = c \frac{(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$ <p>ここで、</p> <p><math>\frac{C_D A}{m}</math> : 空力パラメータ (m<sup>2</sup>/kg)</p> <p><math>m</math> : 物体の質量 (kg)</p> <p><math>c</math> : 係数 (0.33)</p> <p><math>C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}</math> : 直交3方向における物体の抗力係数(表1より選定)</p> <p><math>A_1, A_2, A_3</math> : <math>C_{D1} \sim C_{D3}</math>を定義した各方向に対する見付面積 (m<sup>2</sup>)</p>	<p>・ 記載方針の相違</p> <p><b>【柏崎 6/7】</b></p> <p>島根 2号炉は空力パラメータについて記載</p>

別表 2-1 空力パラメータ算出のための抗力係数

物体の形状	$C_{D1}$	$C_{D2}$	$C_{D3}$
塊状	2.0	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)

$C_{D2}: 2.0$   
 $C_{D1}: 2.0$   
 塊状物体

$C_{D2}: 1.2$   
 $C_{D1}: 1.2$   
 $C_{D3}: 2.0$   
 ・  $A_3 > A_2, A_1$   
 板状物体

$C_{D2}: 0.7$  (円形断面)  
 $: 1.2$  (矩形断面)  
 $C_{D3}: 0.7$  (円形断面)  
 $: 1.2$  (矩形断面)  
 $C_{D1}: 2.0$   
 ・ 円形断面の場合、 $A_2, A_3$ は「見付面積 (直径×長さ)」  
 棒状物体

<参考文献>

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) US-NRC: "3. 5. 1. 4 MISSILE GENERATED BY NATURAL PHENOMENA," Standard Review Plan, NUREG-0800, 1996.
- (3) E. Simiu, M. Cordes: "Tornado-Borne Missile Speeds," NBSIR76-1050, National Bureau of Standards, Washington D. C., 1976.

表 1 空力パラメータ算出のための抗力係数

物体の形状	$C_{D1}$	$C_{D2}$	$C_{D3}$
塊状	2.0	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)

$C_{D2}: 2.0$   
 $C_{D1}: 2.0$   
 塊状物体

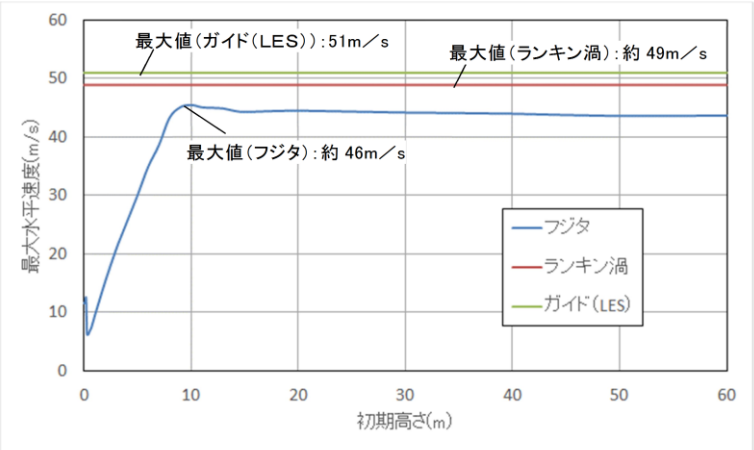
$C_{D2}: 1.2$   
 $C_{D1}: 1.2$   
 $C_{D3}: 2.0$   
 ・  $A_3 > A_2, A_1$   
 板状物体

$C_{D2}: 0.7$  (円形断面)  
 $: 1.2$  (矩形断面)  
 $C_{D3}: 0.7$  (円形断面)  
 $: 1.2$  (矩形断面)  
 $C_{D1}: 2.0$   
 ・ 円形断面の場合、 $A_2, A_3$ は「見付面積 (直径×長さ)」  
 棒状物体

<参考文献>

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) US-NRC: "3. 5. 1. 4 MISSILE GENERATED BY NATURAL PHENOMENA," Standard Review Plan, NUREG-0800, 1996.
- (3) E. Simiu, M. Cordes: "Tornado-Borne Missile Speeds," NBSIR76-1050, National Bureau of Standards, Washington D. C., 1976.



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 9-3</p> <p>フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とする事の妥当性について</p> <p>発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物である鋼製材は、「竜巻影響評価ガイド」に示されている数値を採用しているが、その最大水平速度 (51m/s) は非定常乱流渦モデルによるシミュレーション (LES) にて導出されている。</p> <p>一方、発電所の竜巻影響評価における物品の飛散解析にはフジタモデルを適用する方針としており、フジタモデルでは風速が地表からの高さによって変化するため、飛来物源の地表面からの初期高さにより飛散時の挙動が異なる。</p> <p>このため、任意の初期高さにある鋼製材をフジタモデルで飛散させた場合でも、その最大水平速度が 51m/s を超えることがないことを確認した。結果を別図 3-1 に示す。また、別図 3-1 には参考としてランキン渦モデルによる最大水平速度も記す。</p>  <p style="text-align: center;">別図 3-1 各風速場モデルの初期高さ-最大水平速度</p> <p>別図 3-1 から、いずれの高さから飛散した場合でも、その最大水平速度は 51m/s を上回ることはないことが分かる。よって、フジタモデルを採用する場合においても、設計飛来物の最大水平速度には「竜巻影響評価ガイド」の数値である 51m/s を用いることは問題なく、かつ保守性を有すると判断している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	<p style="text-align: right;">別紙-6</p> <p style="text-align: center;"><u>設計飛来物の最大水平速度の妥当性について</u></p> <p>1. 鋼製材の最大水平速度の妥当性について</p> <p><u>発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物である鋼製材は、「竜巻影響評価ガイド」に示されている数値を採用しているが、その最大水平速度 (51m/s) は非定常乱流渦モデルによるシミュレーション (LES) にて導出されている。</u></p> <p><u>一方、発電所の竜巻影響評価における物体の飛散解析にはフジタモデルを適用する方針としており、フジタモデルでは風速が地上からの高さによって変化するため、飛来物源の地上からの初期高さにより飛散時の挙動が異なる。</u></p> <p><u>このため、任意の地上からの初期高さにある鋼製材をフジタモデルで飛散させた場合でも、その最大水平速度が 51m/s を超えることがないことを確認した。結果を図 1 に示す。また、図 1 には参考としてランキン渦モデルによる最大水平速度も記す。</u></p> <p><u>図 1 から、いずれの地上からの初期高さから飛散した場合でも、その最大水平速度は 51m/s を上回ることはないことが分かる。よって、フジタモデルを採用する場合においても、設計飛来物の最大水平速度には「竜巻影響評価ガイド」の数値である 51m/s を用いることは問題なく、かつ保守性を有すると判断している。</u></p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉はフジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とする事の妥当性について記載</p>

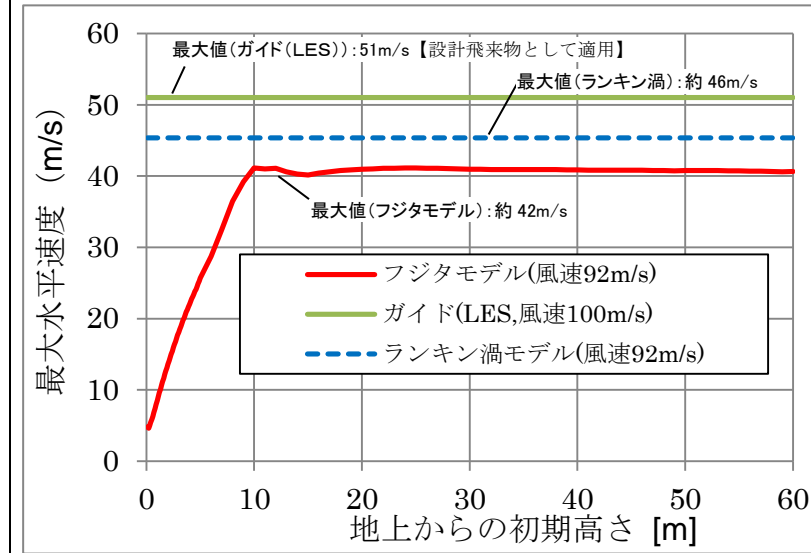


図1 各風速場モデルにおける鋼製材の飛散解析結果  
(鋼製材 : 300mm×200mm×4, 200mm, 135kg)

2. 砂利の最大水平速度の妥当性について

「竜巻影響評価ガイド」に記載のない設計飛来物である砂利の速度については、フジタモデルを適用した風速場の中で地上付近の不確定性を考慮し、地上からの初期高さの感度解析の結果から最大となる水平速度(54m/s)を算出した。

結果を図2に示す。

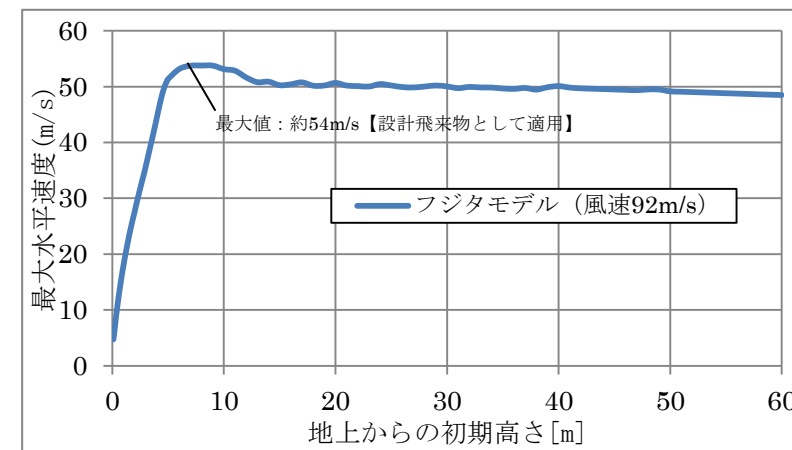


図2 砂利の飛散解析結果  
(砂利 : 40mm×40mm×40mm, 0.2kg)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;"><u>補足1</u></p> <p style="text-align: center;"><u>フジタモデルによる飛散解析の特徴について</u></p> <p>1. <u>はじめに</u>  <u>フジタモデルを用いた飛散解析では、物体の地上からの初期高さが飛散速度や飛散距離に影響する。ここでは、フジタモデルの風速場の概要及びフジタモデルを用いた飛散解析の特徴について、設計飛来物（鋼製材）に対する飛散解析結果を例に説明する。</u></p> <p>2. <u>フジタモデルの風速場のモデル化</u>  <u>(1) 風速場の概要</u>  <u>フジタモデルを用いた飛散評価における風速場は図1に示すように、半径方向に3つの領域（内部コア、外部コア、最外領域）で構成され、鉛直方向は流入層と非流入層で構成される。流入層では竜巻中心方向に向かう強い流れ（流入風）があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇風となる。流入風の最大風速は流入層の上限で発生するようにモデル化されており、地表面に近づくにつれて連続的に減衰する。水平風速は、周方向の風速と流入風の風速を合成することで得られ、最大水平方向風速は最大周方向風速に竜巻の移動速度を足したものと一致する。フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係を図2に示す。</u>  <u>フジタモデルにおける最大水平風速は、地表面（0m）から流入層高さ（15m）までは大きく上昇し、流入層高さにおいて最大風速が発生する。流入層高さを超えると、地上からの高さが高くなるにつれて最大水平風速は緩やかに減少するモデルとなっている。</u></p>	<p>・記載方針の相違  <b>【東海第二】</b>  島根2号炉は、フジタモデルを用いた飛散解析の特徴について記載している</p>

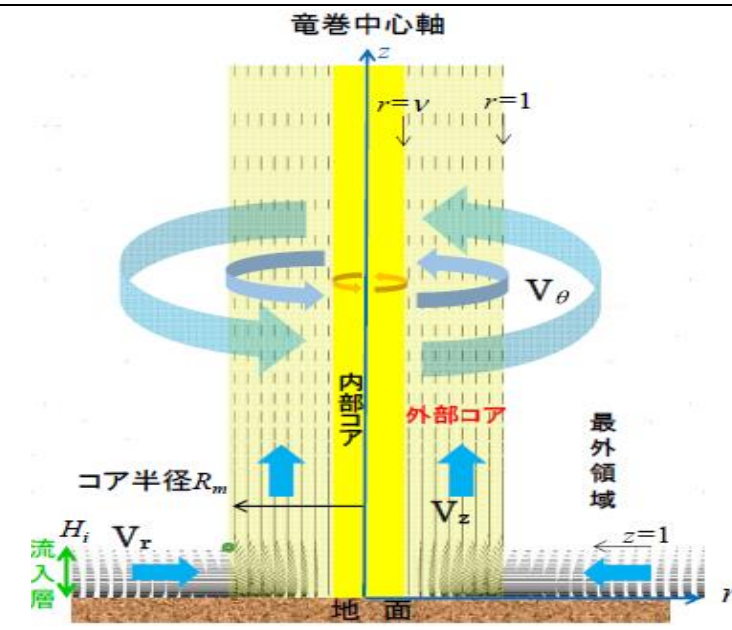


図1 フジタモデルの風速場 (イメージ)

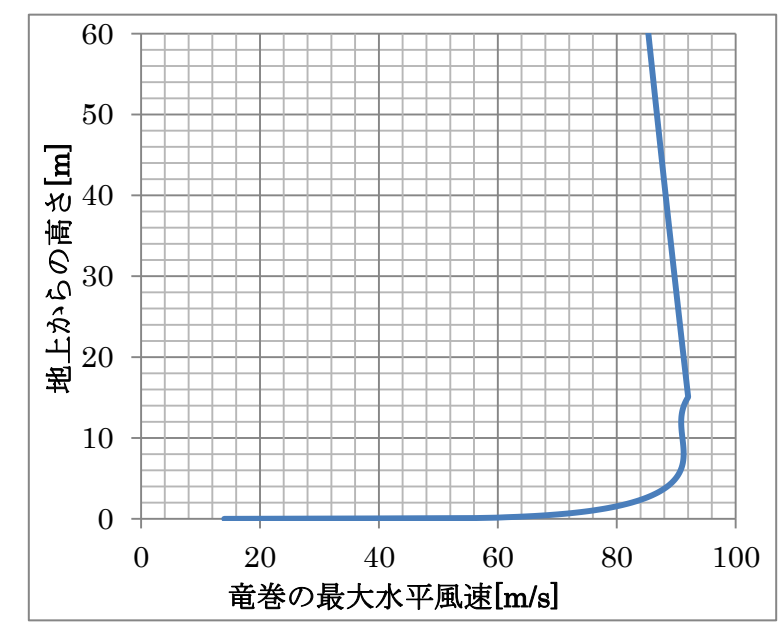
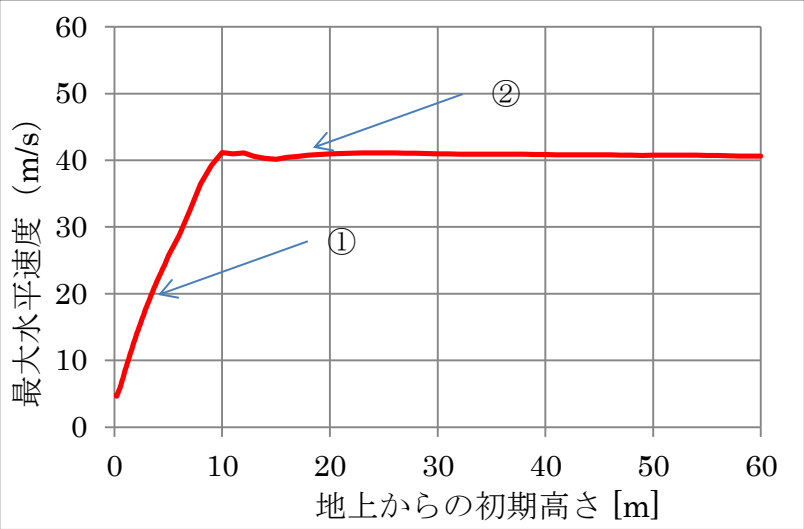


図2 フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係 (r=1)

(2) 地面効果の影響

地表面付近の物体については、物体の形状に応じた揚力（地面効果）を加えている。揚力は空力パラメータに応じて決定され、物体高さの3倍までの範囲で連続的に減衰するように作用する。  
(別添 2-2 5. 参照)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>3. <u>フジタモデルによる飛散解析の特徴について</u></p> <p><u>フジタモデルによる飛散解析の特徴的な傾向として、地上からの初期高さが増加するに従い、約 10m までは飛来物の水平速度が大きく増加し、その後の変化は緩やかとなる。(図3参照)</u></p> <p><u>①地上からの初期高さが増加するに従い(約 10m までの範囲(図中の①)), 風速場に滞空する時間が長くなり、飛来物の水平速度は増加する傾向となる。</u></p> <p><u>②地上からの初期高さが高い場合(約 10m 以上の範囲(図3中の②))は、図2に示す通り、地上からの初期高さが高くなるにつれて竜巻の水平風速は緩やかに減少していくモデルとなっていることから、飛来物の水平速度も同様に低下していく。</u></p>  <p><u>図3 フジタモデルを用いた飛散解析における地上からの初期高さと飛来物の水平速度の関係(鋼製材)</u></p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 9-4</p> <p style="text-align: center;"><u>車両の飛散範囲について</u></p> <p><u>車両管理エリアの設定に必要な離隔距離等を考慮するための車両の飛散範囲（飛散距離及び浮上高さ）については、以下の方針に基づきフジタモデルを用いて算出した。</u></p> <p>(1) <u>車両の飛散解析条件</u></p> <p>a. <u>飛散し易い形状を考慮し、代表的な寸法及び重量※を選定する。</u></p> <p>※ <u>「箱状（表面積大）」かつ「密度が低い」物品が飛散し易いことから、以下の車種を代表として選定した。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>トラック（大型～小型のバン及び平型）</u></li> <li>・<u>バス（大型～マイクロバス）</u></li> <li>・<u>軽自動車（最大高（面積大）、最軽量）</u></li> <li>・<u>軽トラック</u></li> <li>・<u>SUV（パトロール車想定）</u></li> </ul> <p>b. <u>車両は地表面に位置する（地面からの初期高さ0）と見なす。</u></p> <p>c. <u>飛散距離に影響を与える飛散の出発点と到達点の高低差は、評価対象施設等の配置状況を考慮し別表4-1のとおり余裕をもって設定した。</u></p>	<p style="text-align: right;">別紙-7</p> <p style="text-align: center;"><u>飛来物発生防止対策エリアの設定について</u></p> <p><u>飛来物発生防止対策エリアは、ウォークダウン等で確認された飛散した場合の影響が設計飛来物を超える「資機材・車両」及び「軽量大型機材」の飛散解析結果より設定しており、飛散解析は以下の方針に基づきフジタモデルを用いて実施した。</u></p> <p><u>なお、「軽量大型機材」は、プレハブ小屋、コンテナボックス等の飛散しやすい傾向にある軽量で大型の物品とし、「資機材・車両」は、「軽量大型機材」以外の物品とする。</u></p> <p>(1) <u>飛散解析条件</u></p> <p>a. <u>物品は地表面（地上からの初期高さ0m）に配置されていることとする。</u></p> <p><u>なお、フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、地表面に設置された物品の飛散解析の妥当性を確認するために、フジタモデルの風速場で約90m/sの風速となる高さである地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析も実施する。（フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性に係る至近の研究報告等については、別添2-2参照。）</u></p> <p>b. <u>竜巻の最大風速は、設計竜巻の最大風速92m/sを設定する。</u></p> <p>c. <u>飛散解析において考慮する敷地の高低差は、物品を設置する敷地高さ（EL8.5～50m）と評価対象施設の設置高さ（EL8.5, 15m）を考慮し、表1のとおり余裕をもって設定した。</u></p>	<p>・対象車両の相違</p> <p>【東海第二】 島根2号炉は、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアを資機材・車両のうち最も飛散距離が大きい乗用車の飛散距離から設定している（別添2-1 添付資料 3.2 別紙-2）</p> <p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7】 島根2号炉は飛来物発生防止対策エリアの設定過程について記載している</p> <p>・解析条件の相違</p> <p>【東海第二】 島根2号炉はフジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析を実施している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考															
	<p style="text-align: center;">別表4-1 出発点と到達点の高低差</p> <table border="1" data-bbox="979 294 1676 556"> <tr> <td>対象施設</td> <td>原子炉建屋, タービン建屋, 排気筒, 海水ポンプ室内設備*, 使用済燃料乾式貯蔵建屋</td> <td>緊急時対策所建屋</td> </tr> <tr> <td>高低差</td> <td>20m</td> <td>0m</td> </tr> <tr> <td>根拠</td> <td>対象施設の配置高さ (3m盤, 8m盤)と敷地内の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値</td> <td>緊急時対策所建屋と周辺の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値</td> </tr> </table> <p>※ 以下の評価対象施設を示す。</p> <p><u>残留熱除去系海水系ポンプ</u>  <u>非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ポンプ</u>  <u>残留熱除去系海水系ストレーナ</u>  <u>非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ストレーナ</u></p> <p>別表4-2に、車両の寸法、重量、空力パラメータ、最大浮上高さ及び上記の2種類の高低差に対する最大飛散距離を示す。</p> <p>この結果より、車両の最大浮上高さはおおむね20m未満に留まると考えられ、また高低差20m及び0mの最大飛散距離から、車両管理エリアの設定に用いる必要隔離距離をそれぞれ230m、190mとした。</p> <p>飛散解析においては上記の高低差の他にも保守的な取扱いがなされており、上記数値は保守性を有したものである。</p>	対象施設	原子炉建屋, タービン建屋, 排気筒, 海水ポンプ室内設備*, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	緊急時対策所建屋	高低差	20m	0m	根拠	対象施設の配置高さ (3m盤, 8m盤)と敷地内の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値	緊急時対策所建屋と周辺の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値	<p style="text-align: center;">表 1 飛散解析において考慮する敷地の高低差</p> <table border="1" data-bbox="1736 283 2496 430"> <tr> <td>物品を設置する敷地高さ (発電所の敷地高さ)</td> <td>EL8.5~15m</td> <td>EL45~50m</td> </tr> <tr> <td>評価対象施設の設置高さ (EL8.5, 15m) との高低差</td> <td>0m</td> <td>41.5m</td> </tr> </table> <p>(2) 飛散解析結果及び飛来物発生防止対策エリアの設定</p> <p>表2に、ウォークダウン等で確認された飛来物となり得る物品の形状 (棒状, 板状, 塊状), 寸法, 質量, 空力パラメータ及び表1に記載している2種類の飛散解析において考慮する敷地の高低差に対する地上からの初期高さを0mとした場合の飛散解析結果 (最大飛散距離, 最大水平速度, 最大飛散高さ等) を示す。</p> <p>表2の結果より、「資機材・車両」及び「軽量大型機材」の飛来物発生防止対策エリアを、「資機材・車両」及び「軽量大型機材」のうち飛散距離が最大となる「乗用車」及び「プレハブ小屋」の飛散距離から、図1, 2のとおり設定する。</p> <p>また、地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析結果を表3に示す。表2, 3より、以下の通りフジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮しても飛来物発生防止対策エリアの設定に影響はないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛散した場合の影響が設計飛来物を超える物品は、地上からの初期高さを5mとした場合においても、飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた最大飛散距離を超えない</li> <li>・飛散した場合の影響が設計飛来物以下の物品は、地上からの初期高さを5mとした場合においても、設計飛来物の影響以下である</li> <li>・飛散しない物品は、地上からの初期高さを5mとした場合に</li> </ul>	物品を設置する敷地高さ (発電所の敷地高さ)	EL8.5~15m	EL45~50m	評価対象施設の設置高さ (EL8.5, 15m) との高低差	0m	41.5m	
対象施設	原子炉建屋, タービン建屋, 排気筒, 海水ポンプ室内設備*, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	緊急時対策所建屋																
高低差	20m	0m																
根拠	対象施設の配置高さ (3m盤, 8m盤)と敷地内の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値	緊急時対策所建屋と周辺の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値																
物品を設置する敷地高さ (発電所の敷地高さ)	EL8.5~15m	EL45~50m																
評価対象施設の設置高さ (EL8.5, 15m) との高低差	0m	41.5m																

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>おいても、飛散しない(初期位置から浮上しない)</u></p> <p><u>地上からの初期高さを5mとしたことで作用する初期風速が増加し、飛散距離が増加した物品もあるが、飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた「乗用車」や「プレハブ小屋」については、地上からの初期高さを0mとした方が飛散距離が大きくなった。これは、「資機材・車両」や「軽量大型機材」に分類されるような表面積及び物品高さが大きい物品は、地面効果による揚力の影響により高く浮上すること及び地上からの初期高さを0mとした方が地上からの初期高さを5mとした場合より長時間設計竜巻の最大風速程度の強い風を受けたことが要因と考えられる。</u></p> <p><u>「資機材・車両」及び「軽量大型機材」のうち、飛散距離が最大となる「乗用車」及び「プレハブ小屋」の、地上からの初期高さを0m及び5mとした場合における飛跡(飛散距離と飛散高さの関係)を図3～6に示す。「乗用車」及び「プレハブ小屋」共に、地上からの初期高さを0mとした方が地上からの初期高さを5mとした場合より、初期位置からの飛散高さは高くなっており、飛散距離が大きくなっている。地上からの初期高さを0mとした場合の最大飛散高さは、「乗用車」は約8m、「プレハブ小屋」は約30mとなっており、地上からの高さ8m以上では、90m/s程度の強い風を受けることになる。</u></p> <p><u>以上より、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であると考えられる。</u></p>	

別表4-2 車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)	重量 (kg)	空気パラメータ $C_p A/m^2$ (m <sup>2</sup> /kg)	最大飛散距離 (m)		最大浮上高さ (m)	
					高低差0m	高低差20m		
大型トラックバン (25t)	3.790	2.495	11.990	10900	0.0052	184	134	9.0
大型トラック平 (25t) ①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128	7.9
大型トラック平 (25t) ②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136	9.5
大型トラック平 (25t) ③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115	6.5
大型トラック平 (25t) ④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126	7.6
大型トラック平 (11t)	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147	8.7
中型トラックバン (8t)	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183	17.0
中型トラック平 (8t) ①	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179	15.6
中型トラック平 (8t) ②	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170	13.1
中型トラック平 (8t) ③	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166	12.4
中型トラック平 (8t) ④	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162	11.4
中型トラックバン (5t)	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135	8.8
中型トラック平 (4t)	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101	5.1
小型トラック平 (2t)	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149	10.1
小型トラック平 (1.5t)	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87	4.4
大型バス ①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90	5.2
大型バス ②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94	5.4
大型バス ③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97	5.6
大型バス ④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109	6.0
大型バス ⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86	4.7
大型バス ⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94	5.0
中型バス ①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90	5.2
中型バス ②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74	4.1

表2 想定飛来物の飛散解析結果 (地上からの初期高さ0m) (1/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	空気パラメータ $C_p A/m^2$ (m <sup>2</sup> /kg)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	高低差0m		高低差41.5m					
										運動経路長 $K$ (m)	運動経路径 $k$ (mm)	運動経路長 $K$ (m)	運動経路径 $k$ (mm)				
軽微な飛散燃料	プレハブ小屋7	塊状	7200	27000	3400	7500	0.0277	32	222	63	14496	9	32	275	63	14496	9
	プレハブ小屋12	塊状	18000	7200	3100	5000	0.0277	31	220	63	9710	7	31	273	63	9710	7
	プレハブ小屋9	塊状	4600	2300	3200	1000	0.0223	28	219	60	1776	4	28	274	60	1776	4
	仮設トイレ1	塊状	5100	1590	2500	450	0.0368	34	214	65	972	4	34	266	65	972	4
	簡易水洗トイレ	塊状	800	1120	2400	100	0.0307	33	213	66	216	3	33	265	66	216	3
	プレハブ小屋13	塊状	25000	6000	3000	8000	0.0203	26	213	59	13678	10	26	271	59	13678	10
	仮設トイレ2	塊状	6500	1200	2400	400	0.0456	37	212	69	953	4	37	261	69	933	4
	プレハブ小屋5	塊状	3100	1400	2100	281	0.0328	28	210	64	576	3	28	263	64	576	3
	プレハブ小屋14	塊状	2500	7300	2600	1400	0.0109	23	205	58	2350	6	23	267	58	2350	6
	プレハブ小屋4	塊状	2000	2300	2500	650	0.0202	23	204	58	1093	4	23	266	58	1093	4
	プレハブ小屋11	塊状	3700	2900	2900	800	0.0186	22	202	58	1304	4	22	265	58	1304	4
	プレハブ小屋10	塊状	4600	2300	3200	1850	0.0121	20	187	52	2481	5	20	254	52	2481	5
	プレハブ小屋8	塊状	2600	1850	1850	460	0.0119	18	187	57	739	4	18	251	57	739	4
	プレハブ小屋6	塊状	6900	7300	2900	4300	0.0139	18	185	54	5927	6	18	253	54	5927	6
	コンテナボックス	塊状	2400	6600	3800	2300	0.0106	13	181	50	2810	6	13	235	50	2810	6
	プレハブ小屋3	塊状	11500	5600	2900	6850	0.0106	13	181	50	8405	8	13	235	50	8405	8
	鉄くずコンテナ	塊状	2000	1500	1100	200	0.0229	12	180	58	332	3	12	227	58	332	3
	プレハブ小屋1	塊状	2800	1850	1850	730	0.012	9	157	51	925	4	9	229	51	925	4
	プレハブ小屋2	塊状	5000	5000	3000	4400	0.0084	11	147	47	4743	6	11	219	47	4743	6
	産廃コンテナ	塊状	3800	2100	1500	930	0.0121	6	142	50	1126	5	6	232	50	1126	5
ホース収納用コンテナ	塊状	7200	2300	2900	3800	0.0078	9	127	46	3900	7	9	210	46	3900	7	
乗用車4	塊状	1880	5220	2285	1380	0.0092	8	144	48	2089	6	8	221	48	2089	6	
乗用車5	塊状	3395	1475	1535	710	0.0118	6	138	49	851	5	6	229	49	851	5	

\*: 評価計算上、設定時間 (180秒) では運動が終了しないため数値なし。  
(運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の取組評価は可能)

別表4-2 車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)	重量 (kg)	空力パラメータ $C_D A/m^2$ (m <sup>2</sup> /kg)	最大飛散距離 (m)		最大浮上高さ (m)
					高低差20m	高低差0m	
中型バス ③	3.035	2.340	8,990	0.0052	170	113	6.3
マイクログラス ①	2.635	2.065	6,995	0.0067	181	128	7.6
マイクログラス ②	2.735	2.010	7,730	0.0067	184	131	8.2
軽自動車 (車高最大レベル)	1.880	1.475	960	0.0098	213	161	9.3
軽自動車 (車高最大レベル)	1.910	1.475	950	0.0100	220	166	10.1
軽自動車 (車高最小レベル)	1.180	1.475	830	0.0086	138	65	3.2
軽自動車 (車高最小レベル)	1.280	1.475	850	0.0088	152	77	3.7
軽自動車 (最軽量レベル)	1.475	1.475	610	0.0132	222	172	10.9
軽自動車 (最軽量レベル)	1.525	1.475	650	0.0127	223	172	10.8
軽トラック 平 ①	1.745	1.475	780	0.0115	219	167	11.5
軽トラック 平 ②	1.765	1.475	680	0.0133	227	180	14.6
軽トラック 平 ③	1.885	1.475	1220	0.0077	173	111	5.5
SUV①	1.880	1.980	2430	0.0063	150	80	4.1
SUV②	1.690	1.835	1660	0.0079	168	101	4.8
SUV③	1.610	1.775	1210	0.0093	204	143	6.0
最大値					227	183	17.0
必要離隔距離					230	190	

表2 想定飛来物の飛散解析結果 (地上からの初期高さ0m) (2/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	空力パラメータ $C_D A/m^2$ (m <sup>2</sup> /kg)	高位置 0m			高位置 41.5m			飛散距離 (m)	飛散高さ (m)	飛散速度 (m/s)	飛散高さ (m)	飛散速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)	飛散速度 (m/s)	
								h (m)	l (m)	h (m)	l (m)	h (m)	l (m)									h (m)
燃料ポンプユニット車	燃料ポンプユニット車	塊状	8000	2500	4200	7180	0.006	10	129	43	6578	8	10	209	43	6578	8	10	209	43	6578	8
	自動車 (小)	塊状	680	999	1820	249	0.0099	6	126	47	273	4	6	222	47	273	4	6	222	47	273	4
	トラック (4t) 1	塊状	7710	2230	2950	4510	0.0069	7	116	44	4291	8	7	202	44	4291	8	7	202	44	4291	8
	トラック 1	塊状	2230	8445	2465	3790	0.008	7	115	46	3869	8	7	204	46	3869	8	7	204	46	3869	8
	トラック (4t) 2	塊状	8180	2230	2420	3620	0.008	7	114	46	3760	8	7	203	46	3760	8	7	203	46	3760	8
	乗用車 9	塊状	3395	1475	1910	1010	0.0095	6	110	47	1086	5	6	202	47	1086	5	6	202	47	1086	5
	トラック (20t)	塊状	16500	2500	3800	8770	0.0056	7	107	41	7294	9	7	196	41	7294	9	7	196	41	7294	9
	トラック (2t)	塊状	8500	2300	3000	5550	0.0063	6	107	43	4958	8	6	196	43	4958	8	6	196	43	4958	8
	乗用車 1	塊状	1475	3285	1610	840	0.0102	5	100	47	899	5	5	199	47	899	5	5	199	47	899	5
	バス 1	塊状	2010	6990	2045	3880	0.0066	6	97	43	3462	7	6	193	43	3462	7	6	193	43	3462	7
	自動車 (小)	塊状	1362	740	1820	365	0.0089	6	96	46	372	4	6	196	46	372	4	6	196	46	372	4
	バス 2	塊状	2490	11990	3750	12100	0.0047	5	81	38	8537	10	5	176	38	8537	10	5	176	38	8537	10
	乗用車 8	塊状	4600	1700	1800	1600	0.008	4	80	42	1412	5	4	180	42	1412	5	4	180	42	1412	5
	乗用車 2	塊状	1895	4380	1460	1140	0.0095	4	77	44	1074	5	4	182	44	1074	5	4	182	44	1074	5
	乗用車	塊状	3400	1500	2000	1450	0.007	4	72	40	1130	5	4	170	40	1130	5	4	170	40	1130	5
	12tトラック車	塊状	9880	2490	2740	7100	0.0055	4	71	38	4979	8	4	167	38	4979	8	4	167	38	4979	8
	乗用車 7	塊状	4370	1090	1510	1250	0.0089	4	70	43	1112	5	4	174	43	1112	5	4	174	43	1112	5
	ミニバン/トラック	塊状	4000	1800	2200	2545	0.0062	4	65	38	1764	6	4	162	38	1764	6	4	162	38	1764	6
	乗用車 3	塊状	1780	4790	1535	1510	0.0083	4	64	40	1192	5	4	160	40	1192	5	4	160	40	1192	5
	防衛村	塊状	2500	1300	1300	570	0.0096	4	64	42	488	4	4	166	42	488	4	4	166	42	488	4
第1ペンタフィルタ出口	塊状	8546	2300	3270	7950	0.0047	4	61	34	4404	7	4	144	34	4404	7	4	144	34	4404	7	
分館車	塊状	630	1320	1650	354	0.0077	4	61	39	262	4	4	159	39	262	4	4	159	39	262	4	
小乗用車 1	塊状	630	1320	1650	354	0.0077	4	61	39	262	4	4	159	39	262	4	4	159	39	262	4	
中型バス/乗用車	塊状	7400	2300	3400	7985	0.0042	3	54	32	3853	7	3	136	32	3853	7	3	136	32	3853	7	

\*: 評価計算上、設定時間 (180秒) では運動が終了しないため数値なし。  
(運動) エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の妥当判断は可能。



＜飛散距離と浮上高さのイメージ＞

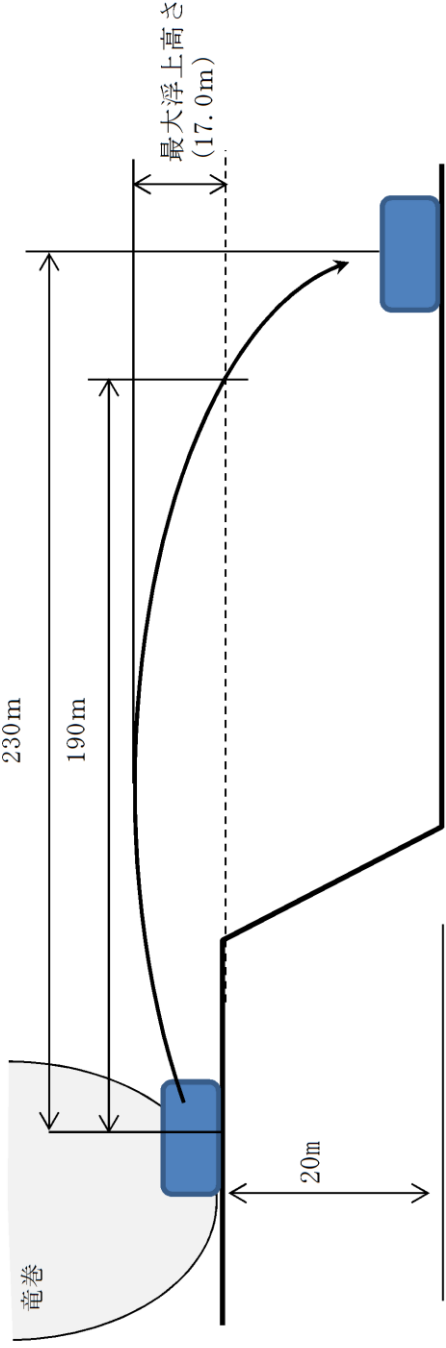


表2 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ0m) (3/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	空力パラメータ $C_D/m$ ( $m^2/kg$ )	高気圧 0m			高気圧 41.5m						
								最大高さ (m)	最大飛散距離 (m)	最大風速 (m/s)	最大高さ (m)	最大飛散距離 (m)	最大風速 (m/s)				
資源物 燃料 車両	中程ボース原燃素 (1.50 A)	塊状	7430	2240	3300	7975	0.0041	3	47	30	3392	6	3	127	31	3064	7
	水中ポンプ車 (追加分)	塊状	6090	1865	2760	5010	0.0044	3	43	29	2029	5	3	120	30	2187	6
	海水車	塊状	5500	1900	2500	4330	0.0045	3	41	29	1706	5	3	118	30	1837	5
	直流給電機 (230V)	塊状	6700	2320	3020	7100	0.0041	3	41	28	2051	6	3	113	29	2801	6
	水中ポンプ車	塊状	6000	1900	2700	5045	0.0044	3	41	28	1942	5	3	117	29	2116	6
	高圧発電機車	塊状	2150	6825	3260	7680	0.0039	2	40	27	2759	6	2	113	28	2971	6
	ホイールローダ 2	塊状	6200	2200	3100	6890	0.0039	2	38	27	2362	5	2	109	28	2561	5
	放水車	塊状	4700	1900	2000	3020	0.0049	2	37	28	1159	4	2	111	29	1225	5
	タンクローリ 1	塊状	5300	1900	2100	3560	0.0048	2	36	27	1282	5	2	111	28	1382	5
	直流給電機 (115V)	塊状	8980	2470	3320	10990	0.0037	2	36	25	3418	6	2	104	27	3813	6
	タンクローリ 2	塊状	4900	1900	2100	3440	0.0046	2	34	26	1145	4	2	108	28	1267	5
	ホイールローダ 3	塊状	6200	2200	3100	7270	0.0037	2	33	24	2091	5	2	99	26	2292	5
	高圧発電機車 (追加分)	塊状	6900	2225	2940	7850	0.0036	2	30	23	2072	5	2	95	25	2313	5
	発電機	塊状	1500	1200	1900	1000	0.0047	2	30	25	300	3	2	99	26	325	3
	大量排水車 (追加分)	塊状	8350	2490	3550	12350	0.0032	1	29	22	2941	5	1	91	24	3327	6
	可搬式ミニトラックガス 上乗用車 6	塊状	5985	1885	2135	4765	0.004	1	25	22	1083	4	1	87	23	1218	4
	ホース巻取車 (大型) (追加分)	塊状	3100	1600	1300	1430	0.0052	2	24	23	365	3	2	90	24	401	3
	大量排水車	塊状	8356	2490	3550	14495	0.0031	1	19	18	2336	5	1	76	21	3026	5
	精密測定用計C (no)	塊状	8530	2300	3765	14000	0.0029	1	17	17	1960	4	1	70	19	2490	5
	化学防護車	塊状	7160	2280	2990	9465	0.0031	1	14	16	1119	3	1	63	18	1453	4
薬品ガス発生装置車	塊状	11990	2490	3790	21330	0.0027	1	8	12	1427	3	1	51	16	2454	5	

\*: 評価計算上、設定時間 (180秒) では運動が終了しないため数値なし。  
(運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の要否判断は可能)



表2 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ0m) (5/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	落下速度 (m/s)	落下距離 (m)	高さ差 0m			高さ差 41.5m					
									最大落下高さ (m)	最大落下距離 (m)	最大落下速度 (m/s)	最大落下高さ (m)	最大落下距離 (m)	最大落下速度 (m/s)			
設計飛来物の影響を及ぼさない物品	コンクリートブロック1	塊状	390	190	190	10.3	0.0086	1	4	9	1	1	32	11	1	1	
	コンクリートブロック2	塊状	390	190	120	12	0.008	1	4	9	1	1	32	10	1	1	
	形鋼 [ガイド]	棒状	4200	300	200	135	0.0066	1	4	8	5	3	31	10	7	4	
	鋼材 [ガイド]	棒状	300	4200	200	135	0.0066	1	4	8	5	3	31	10	7	4	
	コンクリート配管	棒状	390	2100	340	132	0.0053	1	3	8	4	1	29	10	6	1	
	鋼製パイプ [ガイド]	棒状	50	2000	50	8.4	0.0098	1	3	7	1	2	1	20	9	1	2
	鋼製パイプ1	棒状	50	4000	50	15.8	0.0097	1	3	7	1	2	1	20	9	1	3
	マンホール蓋 (小)	板状	650	650	50	32.5	0.0092	1	2	6	1	1	1	23	9	2	1
	ガスボンベ	棒状	230	1500	230	57	0.0055	1	2	5	1	1	1	20	8	2	1
	マンホール蓋 (大)	板状	975	975	60	88	0.0078	1	1	4	1	1	1	17	7	2	1
	中置発電機1	塊状	1080	2550	1500	1770	0.0031	1	1	3	5	1	1	16	6	29	1
	130tクレーン	塊状	15490	2750	4020	38100	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GEG車	塊状	14740	4248	4220	45000	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H形鋼	棒状	5500	100	100	95	0.0048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	上形鋼	棒状	5500	100	100	82	0.0055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	カニクレーン	塊状	4285	1280	1095	3900	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート板	板状	2700	1000	200	1300	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート板 [ガイド]	板状	1500	1000	150	540	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート柵	塊状	1200	1200	1300	1300	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	シヨベルカー1	塊状	2800	9425	3040	19500	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シヨベルカー2	塊状	9600	2800	3010	20500	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
トラック [ガイド]	塊状	1900	5000	1300	4750	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
バックホー	塊状	9400	2800	3000	19500	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
フォークリフト	塊状	1520	3200	2240	6920	0.0015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

\*: 評価計算上、設定時間 (180 秒) では運動が終了しないため数値なし。  
(運動)エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の要否判断は可能)

表2 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ0m) (6/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ L (mm)	幅 W (mm)	高さ D (mm)	質量 m (kg)	落下高さ C <sub>g</sub> h/6 (m²/kg)	高さ差 0m			高さ差 41.5m							
								最大飛散距離 h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大飛散距離 V (m/s)	最大飛散距離 h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大飛散距離 V (m/s)					
放射能飛来物の飛散解析結果を記入しない物品	フォークリフト(3t)	塊状	3775	1225	2090	4370	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	フォークリフト	塊状	3600	1100	2100	3600	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ラフタークレーン	塊状	2600	11000	3500	26500	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ラフタークレーン(60t)	塊状	13000	2800	3700	41205	0.0016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ラフタークレーン2	塊状	11405	2020	3400	31000	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	移動式変圧器	塊状	7000	2200	2700	16000	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	移動式変圧器交換器	塊状	15500	2400	4000	42341	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	角形鋼1	塊状	5500	125	125	120	0.0047	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	角形鋼2	塊状	5500	200	200	288	0.0032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	形鋼1	塊状	2900	200	200	145	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	形鋼2	塊状	8000	350	350	1090	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製ドラム	塊状	3000	3000	2000	6000	0.0024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製材1	塊状	100	5500	100	95	0.0048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製材2	塊状	150	5500	150	174	0.0039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・厚)	底状	2996	997	200	640	0.0037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・薄)	底状	6000	1500	22	1600	0.0038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・厚)	底状	6000	1500	25	1800	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・薄)	底状	6100	1500	25	1820	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・厚)	底状	3000	1500	25	900	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼底(大・薄)	底状	8380	2400	3280	21980	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	大型発電機	塊状	1650	5380	2100	7220	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	中型発電機2	塊状	2000	880	1200	1300	0.0027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電源車	塊状	15455	2400	4101	41000	0.0010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*: 降着計算上、設定時間(180秒)では運動が終了しないため数値なし。  
(運動エネルギー評価にて飛来物発着防止対策の要否判断は可能)

表2 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ0m)(7/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ L (mm)	幅 W (mm)	高さ D (mm)	質量 m (kg)	空気抵抗 メータ C <sub>d</sub> A/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	高さ0m			高さ41.5m					
								最大飛散距離 h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大飛散距離 V (m/s)	最大飛散距離 h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大飛散距離 V (m/s)			
設計飛来物の種類 公的物 品 を 用 意	電柱	棒状	257	10000	257	690	0.0031	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電線鉄塔1	板状	1400	3000	12	400	0.0071	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電線鉄塔2	板状	1500	3000	22	802	0.0038	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電線鉄塔3	板状	1500	6100	25	1320	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電線鉄塔2	塊状	50	50	50	0.06	0.0034	*	46	1	46	*	46	1	46	1
	足場シリング	塊状	4000	240	52	7.6	0.0114	*	43	7	43	*	43	7	43	7
			1000	520	1200	24	0.0046	*	76	69	76	*	69	69	76	69

\*: 評価計算上、設定時間(180秒)では運動が終了しないため数値なし。  
(運動)エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の要否判断は可能)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1762 260 2487 684" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1816 697 2410 739" data-label="Caption"> <p>図1 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア</p> </div> <div data-bbox="1762 751 2487 1218" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1816 1234 2410 1276" data-label="Caption"> <p>図2 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア</p> </div>	

表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (1/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	落下速度 (m/s)	落下角 (deg)	落下位置 (m)	高圧源 41.5m			高圧源 9m				
										落下高さ (m)	落下距離 (m)	落下速度 (m/s)	落下高さ (m)	落下距離 (m)	落下速度 (m/s)		
軽金属 ・ 有機物 ・ 燃料 ・ 燃料 ・ 燃料	プレハブ小屋7	塊状	7200	27000	2400	7500	0.0277	29	206	62	14118	9	29	209	62	14118	9
	プレハブ小屋12	塊状	18000	7200	3100	8000	0.0277	28	203	62	9411	7	28	258	62	9411	7
	プレハブ小屋9	塊状	4600	2300	3300	1000	0.0223	20	196	59	1714	4	20	256	59	1714	4
	原設トイレ1	塊状	5100	1590	2500	450	0.0268	34	205	65	945	4	34	255	65	945	4
	簡易水便トイレ	塊状	800	1120	2400	100	0.0367	33	204	65	210	3	33	254	65	210	3
	プレハブ小屋13	塊状	25000	6000	3000	8000	0.0202	15	188	58	13160	10	15	252	58	13160	10
	原設トイレ2	塊状	6800	1200	2400	400	0.0456	40	207	68	904	4	40	254	68	904	4
	プレハブ小屋5	塊状	3100	1400	2100	331	0.0328	25	198	64	559	3	25	250	64	559	3
	プレハブ小屋14	塊状	2300	7300	2900	1400	0.0199	12	180	58	2291	5	12	244	58	2291	5
	プレハブ小屋4	塊状	3000	2200	2500	650	0.0202	12	178	58	1066	4	12	242	58	1066	4
	プレハブ小屋11	塊状	2000	3700	2900	800	0.0186	11	175	57	1258	4	11	241	57	1258	4
	プレハブ小屋10	塊状	5000	5000	3000	2400	0.0152	10	170	54	3468	5	10	246	54	3468	5
	プレハブ小屋8	塊状	4600	2300	3300	1850	0.0121	8	165	51	2377	5	8	242	51	2377	5
	プレハブ小屋6	塊状	2600	1850	1850	480	0.0119	5	164	56	719	4	5	233	56	719	4
	プレハブ小屋3	塊状	6900	7300	2900	4200	0.0139	6	157	53	5727	6	6	231	53	5727	6
	プレハブ小屋2	塊状	2400	6000	2600	2300	0.0106	2	147	49	2680	6	2	223	49	2680	6
	プレハブ小屋1	塊状	11500	5600	2900	6850	0.0106	3	147	49	8917	8	3	223	49	8917	8
	プレハブ小屋1	塊状	2000	1500	1100	200	0.0229	6	154	59	339	3	6	216	59	339	3
	プレハブ小屋2	塊状	2600	1850	1850	730	0.0142	1	148	49	862	4	1	220	49	862	4
	プレハブ小屋2	塊状	5000	5000	3000	4400	0.0094	2	139	46	4520	5	2	221	46	4520	5
プレハブ小屋2	塊状	3800	2100	1500	930	0.0121	1	81	48	1042	5	1	190	48	1042	5	
プレハブ小屋2	塊状	7200	2300	2900	3800	0.0078	1	104	45	3688	7	1	204	45	3688	7	
プレハブ小屋4	塊状	1880	5230	2285	1890	0.0092	1	109	46	1979	6	1	205	46	1979	6	
プレハブ小屋5	塊状	3395	1475	1535	710	0.0118	1	79	47	780	4	1	188	47	780	4	

一：海上しないため記載しない  
 \*：評価対象上、設定時間(180秒)では運動が終了しないため記載なし。  
 (運動エネルギーがゼロで停止して飛散物発生防止対策の要否判断は可能)

表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (2/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ		幅	高さ	質量	空力パラメータ	高気圧 0m				高気圧 41.5m			
			L (mm)	W (mm)					最大飛散高さ h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)	運動エネルギー E (kJ)	積底量 T (t/m)	最大飛散高さ h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)
貨物・車両	燃料ポンプユニット車	塊状	8000	2500	4200	7180	0.005	2	105	42	6282	8	194	42	6282	8
	自動販売機(小)	塊状	600	999	1850	249	0.0099	1	72	45	245	4	180	45	245	4
	ユニット(4t)1	塊状	7710	2230	2950	4510	0.0069	1	81	43	4005	7	182	43	4005	7
	トラック1	塊状	2280	8445	2485	3750	0.008	1	81	44	3556	7	184	44	3556	7
	ユニット(4t)2	塊状	8180	2230	2420	3620	0.008	1	79	44	3391	7	183	44	3391	7
	乗用車9	塊状	3395	1475	1910	1010	0.0065	1	71	45	980	5	179	45	980	5
	トラック(20t)	塊状	10500	2500	3600	8770	0.0056	1	71	39	6572	9	168	39	6058	9
	トラック(2t)	塊状	8500	2300	3600	5550	0.0063	1	68	40	4427	8	167	41	4470	8
	乗用車1	塊状	1475	3395	1610	840	0.0102	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	バス1	塊状	2010	6990	2645	3880	0.0066	1	56	38	2801	6	153	39	2897	7
	自動販売機	塊状	1362	740	1830	305	0.0089	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	バス2	塊状	2490	11990	3750	12100	0.0047	1	40	33	6207	8	128	33	6463	8
	乗用車8	塊状	4600	1700	1800	1900	0.008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	乗用車2	塊状	1695	4360	1460	1140	0.0065	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	積載車	塊状	3400	1500	2000	1430	0.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12tユニット車	塊状	9880	2490	2740	7160	0.0065	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	乗用車7	塊状	4370	1690	1510	1250	0.0089	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	モーターリフトカー	塊状	4000	1300	2200	2545	0.0062	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	乗用車3	塊状	1780	4790	1535	1510	0.0083	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	防蝕材	塊状	2500	1300	1300	570	0.0096	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第1ベントフイルム出口	塊状	8545	2300	3270	7950	0.0047	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
分析計車	塊状	630	1330	1050	354	0.0077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
小型発電機1	塊状	630	1330	1050	354	0.0077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
中型ホース巻取車	塊状	7400	2300	3400	7985	0.0042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

一：浮上しないため記載しない  
 \*：経路計算上、設定時間(180秒)では運動が終了しないため数値なし。  
 (運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の妥当判断は可能)

表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (3/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ		幅	高さ	質量	重力バタメータ	高さ0m			高さ41.5m					
			L (mm)	W (mm)					最大飛散高さ b (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)	運動半径 K (kT)	網膜透過厚さ T (mm)	最大飛散高さ b (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)	運動半径 K (kT)
燃料棒	中型ボーズ燃料棒 (150人)	塊状	7430	2240	3200	7975	0.0041	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	水中ポンプ車 (追加分)	塊状	6090	1865	2700	5010	0.0044	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	送水車	塊状	5500	1900	2500	4250	0.0045	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	重油給電機 (230V)	塊状	6700	2320	3020	7100	0.0041	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	水中ポンプ車	塊状	6000	1900	2700	5045	0.0044	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	高圧発電機車	塊状	2150	6825	3200	7680	0.0039	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	ボイルローダ2	塊状	6200	2200	3100	6880	0.0049	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	給水機	塊状	4700	1900	2000	3020	0.0049	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	タンクローリ1	塊状	5300	1900	2100	3560	0.0048	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	重油給電機 (115V)	塊状	8980	2470	3320	10900	0.0037	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	タンクローリ2	塊状	4000	1900	2100	3440	0.0046	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	ボイルローダ3	塊状	6200	2200	3100	7270	0.0037	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	高圧発電機車 (追加分)	塊状	6900	2225	2940	7850	0.0056	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	電気盤	塊状	1500	1200	1900	1000	0.0047	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	大量送水車 (追加分)	塊状	8350	2400	3550	12850	0.0032	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	可搬式モニタリングボス 上乗取用トランク	塊状	5985	1885	2135	4705	0.004	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
ボーズ燃料棒 (大型) (追加分)	塊状	3100	1600	1300	1430	0.0052	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
常用車6	塊状	9395	2490	3550	14485	0.0031	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
大量送水車	塊状	8570	2490	3560	13650	0.003	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
精密測定用BC (追加分)	塊状	8530	2300	3765	14000	0.0029	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
化学消防車	塊状	7160	2280	2900	9465	0.0031	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
薬液ガス発生装置車	塊状	11090	2400	3790	21330	0.0027	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	

一：浮上しないため記載しない  
 \*：詳細計算上、設定時間 (180秒) では運動が終了しないため数値なし。  
 (運動エネルギーが評価にて飛来物発生防止対策の重さ判断は可能)





表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (5/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ		幅	高さ	質量	落下速度	落下角	高さ5m			高さ41.5m		
			L (mm)	W (mm)						最大飛散高さ h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)	最大飛散高さ h (m)	最大飛散距離 l (m)	最大水平速度 V (m/s)
設計飛来物の形状を考えた落下物	コンクリートブロック1	塊状	390	190	100	10.3	0.0086	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリートブロック2	塊状	390	190	120	12	0.008	0	0	0	0	0	0	0	0
	形鋼 [ガイド]	棒状	4200	300	200	135	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製材 [ガイド]	棒状	300	4300	200	135	0.0066	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート側溝	棒状	380	2100	340	132	0.0053	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製パイプ [ガイド]	棒状	50	2000	50	8.4	0.0008	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼製パイプ1	棒状	50	4000	50	10.8	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0
	マンホール蓋 (小)	板状	650	650	50	33.5	0.0092	0	0	0	0	0	0	0	0
	ガスボンベ	棒状	230	1500	230	57	0.0055	0	0	0	0	0	0	0	0
	マンホール蓋 (大)	板状	975	975	60	89	0.0078	0	0	0	0	0	0	0	0
	中絶発電機1	塊状	1080	2550	1500	1770	0.0031	0	0	0	0	0	0	0	0
	130t クレーン	塊状	15400	2780	4020	38100	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0
	G.T.G車	塊状	14740	4248	4220	45000	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0
	H形鋼2	棒状	5500	100	100	95	0.0048	0	0	0	0	0	0	0	0
	L形鋼	棒状	5500	100	100	82	0.0055	0	0	0	0	0	0	0	0
	カニクレーン	塊状	4285	1280	1695	3900	0.0025	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート板	塊状	2700	1000	200	1300	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート板 [ガイド]	塊状	1500	1000	150	540	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0
	コンクリート枠	塊状	1200	1200	1200	1300	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0
	シヨベルカー1	塊状	2800	9425	3040	19500	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0
シヨベルカー2	塊状	9600	2800	3010	20500	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	
トラック [ガイド]	塊状	1900	5000	1200	4750	0.0025	0	0	0	0	0	0	0	0	
トラック---	塊状	9400	2800	3000	19500	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	
フォークリフト	塊状	1520	3200	2240	6920	0.0015	0	0	0	0	0	0	0	0	

一：落下しないため記載しない  
 \*：評価計算上、設定時間 (180秒) では運動が終了しないため数値なし。  
 (運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の妥当判断は可能)

表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (6/7)

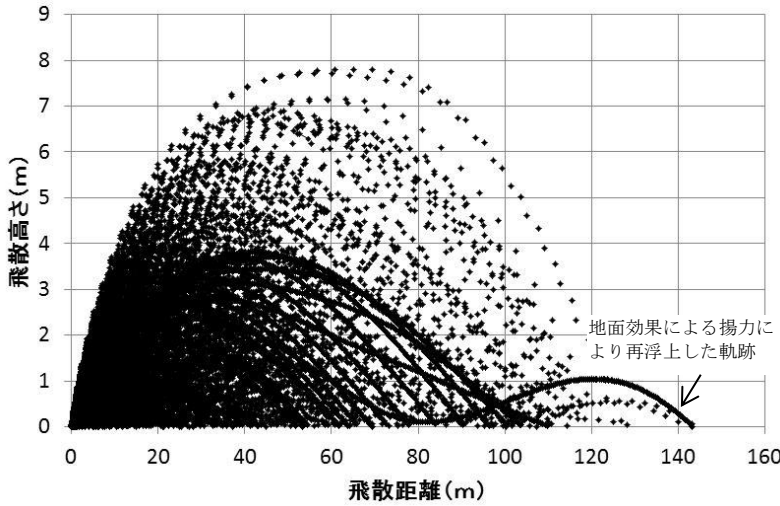
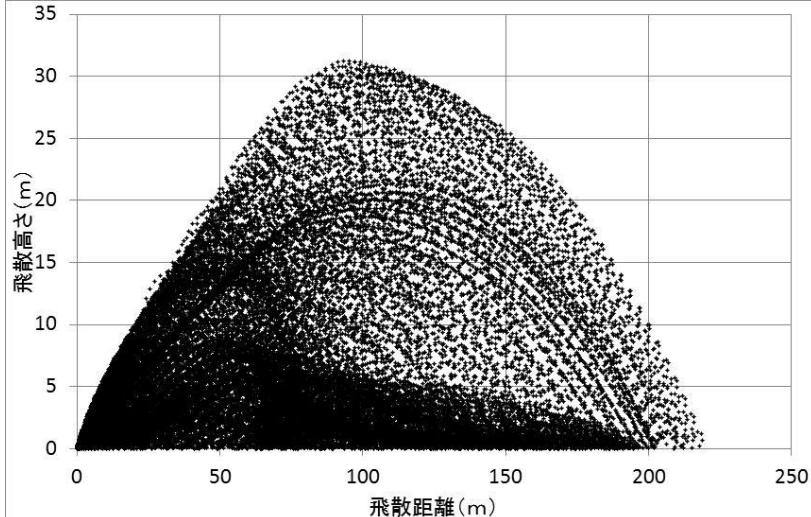
飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ		幅	高さ	質量	重力バウメータ	高さ差 0m			高さ差 41.5m				
			L (mm)	W (mm)					最大飛散距離	最大飛散高さ	最大飛散距離	最大飛散高さ	最大水平速度	運動エネルギー	最大水平速度	運動エネルギー
	フォークリフト (3t)	塊状	3775	1225	2990	2990	4370	0.0023	0	0	0	0	-	-	-	-
	フォークリフト	塊状	3600	1100	2100	2100	3600	0.0026	0	0	0	0	-	-	-	-
	フォークリフト	塊状	2600	11000	3500	3500	26500	0.002	0	0	0	0	-	-	-	-
	ラフタークレーン (60t)	塊状	13000	2800	3700	3700	41295	0.0016	0	0	0	0	-	-	-	-
	ラフタークレーン2	塊状	11405	2620	3490	3490	31900	0.0017	0	0	0	0	-	-	-	-
	移動式PBC	塊状	7000	2200	2700	2700	16000	0.0017	0	0	0	0	-	-	-	-
	移動式代用緊急換気機	塊状	15500	2490	4090	4090	42341	0.0018	0	0	0	0	-	-	-	-
	角形鋼1	棒状	5500	125	125	125	0.0047	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	角形鋼2	棒状	5500	200	200	200	0.0032	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	形鋼1	棒状	2900	200	200	200	145	0.0034	0	0	0	0	-	-	-	-
	形鋼2	棒状	8000	350	350	350	1080	0.0022	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼製ドラム	塊状	3000	3000	2000	2000	6000	0.0024	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼製材1	棒状	100	5500	100	95	0.0048	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼製材2	棒状	150	5500	150	174	0.0039	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼板(木・板)(木工板)	板状	2996	997	200	640	0.0037	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼板(木・薄)(板金鋼板・木)	板状	6000	1500	22	1600	0.0038	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼板(木・薄)(板金鋼板・木)	板状	6000	1500	25	1360	0.0034	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼板(木・薄)(板金鋼板・木)	板状	6100	1500	25	1320	0.0034	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	鋼板(木・薄)(板金鋼板・中)	板状	3000	1500	25	900	0.0034	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	大型ボルト固定車(GOA)	塊状	8560	2490	3280	21980	0.0018	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	大型発電機	塊状	1650	5380	2100	7220	0.0022	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	中型発電機2	塊状	2000	880	1200	1300	0.0027	0	0	0	0	0	-	-	-	-
	電源車	塊状	15455	2490	4101	41000	0.0019	0	0	0	0	0	-	-	-	-

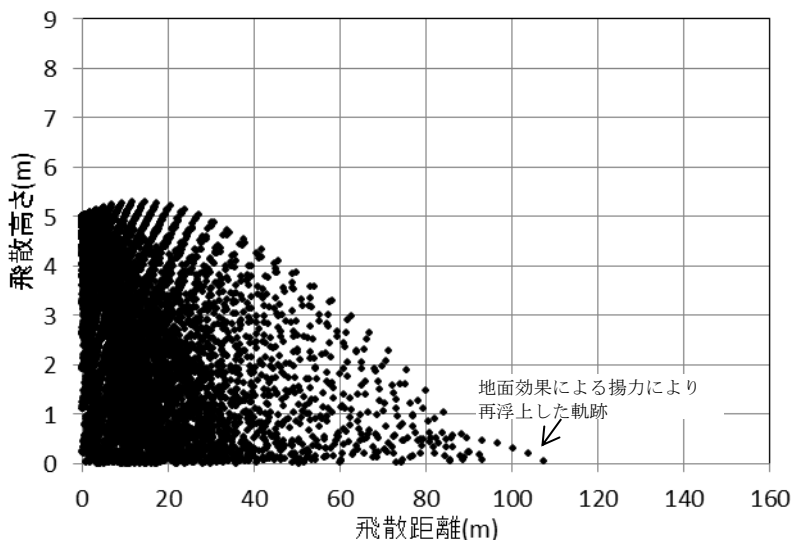
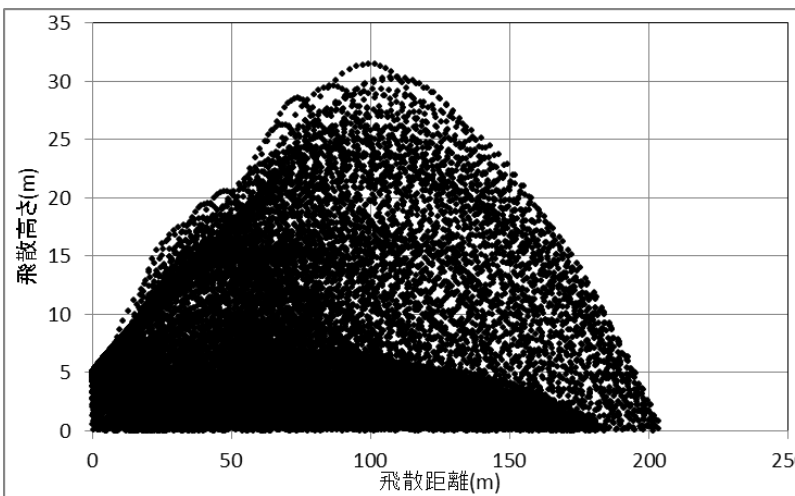
一：浮上しないため記載しない。  
 \*：野在計算上、設定時間(180秒)では運動が終了しないため数値なし。  
 (運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の審査判断は可能)

表3 想定飛来物の飛散解析結果(地上からの初期高さ5m) (7/7)

飛来物の種類	代表飛来物	形状	長さ L (mm)	幅 W (mm)	高さ D (mm)	質量 m (kg)	空気圧力 メータ CDM/m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /kg)	高さ5m			高さ41.5m							
								最大飛来 距離 h (m)	最大飛来 距離 l (m)	最大飛来 距離 L (mm)	最大飛来 距離 h (m)	最大飛来 距離 l (m)	最大飛来 距離 L (mm)					
設計 上 の 飛 来 物 の 数 を 考 へ	縦柱	棒状	257	10000	257	600	0.0031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	緊き鉄板1	板状	1400	3000	12	400	0.0071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	緊き鉄板2	板状	1500	3000	22	802	0.0038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	緊き鉄板3	板状	1500	6100	25	1820	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	管	塊状	50	50	50	0.06	0.0534	41	209	41	209	41	209	41	209	41	209	41
	足場板2	板状	4000	240	32	7.6	0.0914	43	214	43	214	43	214	43	214	43	214	43
	平座シソク	塊状	1800	500	1200	24	0.0940	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

一：過剰しないため記載しない。  
\*：計算結果上、設定時間（180秒）では運動が終了しないため数値なし。  
（運動エネルギー評価にて飛来物発生防止対策の緊急手配は可能）

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1884 745 2344 777">図3 乗用車(資機材・車両)の飛跡</p> <p data-bbox="1780 787 2448 913">(乗用車の諸元:長さ1,900mm 幅5,200mm 高さ2,300mm, 質量1,890kg, 最大風速:92m/s, 地上からの初期高さ:0m)</p>  <p data-bbox="1855 1470 2389 1501">図4 プレハブ小屋(軽量大型機材)の飛跡</p> <p data-bbox="1736 1512 2507 1638">(プレハブ小屋の諸元:長さ7,200mm 幅27,000mm 高さ3,400mm, 質量7,500kg, 最大風速:92m/s, 地上からの初期高さ:0m)</p>	

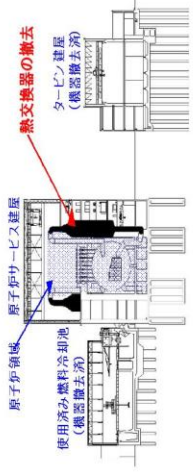
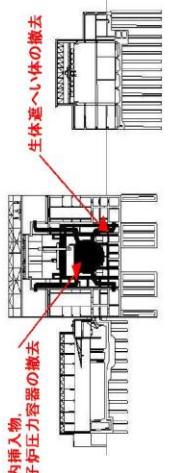
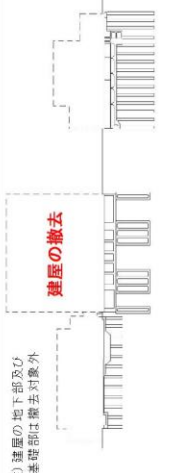
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1884 787 2359 829">図5 乗用車(資機材・車両)の飛跡</p> <p data-bbox="1780 829 2463 871">(乗用車の諸元:長さ1,900mm 幅5,200mm 高さ2,300mm,</p> <p data-bbox="2018 871 2226 913">質量1,890kg,</p> <p data-bbox="1840 913 2404 955">最大風速:92m/s, 地上からの初期高さ:5m)</p>  <p data-bbox="1840 1501 2389 1543">図6 プレハブ小屋(軽量大型機材)の飛散</p> <p data-bbox="1736 1543 2507 1585">(プレハブ小屋の諸元:長さ7,200mm 幅27,000mm 高さ3,400mm,</p> <p data-bbox="2018 1585 2226 1627">質量7,500kg,</p> <p data-bbox="1840 1627 2404 1669">最大風速:92m/s, 地上からの初期高さ:5m)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">補足</p> <p><u>飛散距離に対する地上からの初期高さの感度解析について</u></p> <p>添付資料3.3 別紙-7 表2, 3では, 地上からの初期高さを0m及び5mとした場合の飛散距離を示したが, ここでは, 地上からの初期高さが飛散距離に及ぼす影響を確認するために, 地上からの初期高さ(0~5m)の感度解析を実施する。</p> <p>(1) 感度解析範囲 解析範囲は, フジタモデルの風速場で約90m/sの風速となる高さである地上からの初期高さ5mまでの範囲とする。</p> <p>(2) 対象物品について 感度解析を実施する対象物品については, 3種類の物品形状(板状, 棒状, 塊状)のうち, それぞれ地上からの初期高さを0mとした場合の飛散距離が最大となるプレハブ小屋(塊状), 仮設足場(板状), 鋼製材(棒状)を選定する。</p> <p>(3) 感度解析結果 感度解析結果を図1に示す。 プレハブ小屋(塊状)については, 地上からの初期高さが増加するに従い, 飛散距離が減少している。 地上からの初期高さが増加するに従い物品に作用する初期風速も増加するが, 地面効果による揚力の減少の影響のほうが大きいと飛散距離が減少したと考えられる。地上からの初期高さ0mで飛散距離が最大となったのは, 地面効果による揚力の影響により, 物品が高く浮上し, 長時間設計竜巻の最大風速程度の強い風を受けたためと考えられる。 仮設足場(板状)については, 地上からの初期高さ約0.1mまでは, 地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離が減少し, 地上からの初期高さ約0.1m以上では, 地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離は増加している。 地上からの初期高さ約0.1mまでで地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離が減少したのは, プレハブ小屋(塊状)と同様に, 物品の地上からの初期高さの増加に伴い地面効果による揚力が減少したためと考えられる。 一方で, 地上からの初期高さ約0.1m以上で地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離が増加したのは, 地上からの初期高さ</p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 島根2号炉は, 地上からの初期高さが飛散距離に及ぼす影響を確認するために, 地上からの初期高さの感度解析を実施している</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>0.12m以上で地面効果による揚力は消滅するため、物品の地上からの初期高さの増加に伴い物品に作用する初期風速が増加するためと考えられる。</p> <p>鋼製材（棒状）については、地上からの初期高さの増加に伴い、飛散距離が徐々に増加している。</p> <p>これは、鋼製材（棒状）は物品高さが低く地面効果による揚力の影響を受けにくいこと、空力パラメータがプレハブ小屋（塊状）や仮設足場（板状）に比べて小さく竜巻風速により加速されにくいことが理由と考えられる。</p> <p>なお、仮設足場（板状）及び鋼製材（棒状）は地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離も大きくなる傾向が確認されたが、これらを含め構内の現地調査等で確認された板状、棒状の物品は、飛散した場合の影響（運動エネルギー、貫通力）が設計飛来物以下であることを確認しており、飛来物発生防止対策エリアの設定に影響しない。</p> <div data-bbox="1822 974 2410 1486" data-label="Figure"> </div> <p>図1 プレハブ小屋（塊状）、仮設足場（板状）、鋼製材（棒状）の地上からの初期高さとの飛散距離の関係  （プレハブ小屋の諸元：長さ7,200mm 幅27,000mm 高さ3,400mm, 質量7,500kg, 空力パラメータ 0.0277m<sup>2</sup>/kg,  仮設足場の諸元：長さ250mm 幅4,000mm 高さ40mm, 質量14kg, 空力パラメータ 0.0557 m<sup>2</sup>/kg,  鋼製材の諸元：長さ300mm 幅4,200mm 高さ200mm, 質量135kg, 空力パラメータ 0.0066 m<sup>2</sup>/kg, 最大風速：92m/s)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 9-5</p> <p style="text-align: center;"><u>東海発電所</u> <u>廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について</u></p> <p><u>東海発電所の廃止措置工事の概要は、以下に示す3つに区分することができ、それぞれの段階での解体撤去作業の内容を示す。別図5-1図には、各段階での東海発電所の状態とその作業概要を示す。</u></p> <p>(1) <u>原子炉領域以外の解体撤去【屋内作業】</u> <u>原子炉領域の解体撤去にて発生する解体撤去物の搬出ルート確保、放射性廃棄物保管エリア確保等のため、原子炉領域以外の設備を解体撤去。</u></p> <p>(2) <u>原子炉領域解体撤去【屋内作業】</u> <u>原子炉領域は放射能を減衰させるため、安全貯蔵状態とし、放射能を減衰させた後、原子炉領域の解体撤去。</u></p> <p>(3) <u>建屋等解体撤去【屋外作業あり】</u> <u>原子炉領域の解体撤去後、各建屋等は汚染を除去し管理区域を解除して解体撤去。</u></p> <p><u>また、別図5-1において、東海発電所の廃止措置の上記の各段階での解体、撤去作業の各段階での物品の管理方法を示す。</u></p>	<p style="text-align: right;">別紙-8</p> <p style="text-align: center;"><u>島根原子力発電所1号炉</u> <u>廃止措置における解体撤去作業の概要及び解体・撤去物品の管理について</u></p> <p><u>島根原子力発電所1号炉の廃止措置は、4つに区分することができ、以下にそれぞれの段階での解体撤去作業の内容を示す。</u></p> <p>(1) <u>解体工事準備期間【屋外・屋内作業】</u> <u>供用を終了した設備のうち、管理区域外の設備の解体撤去を行う。</u></p> <p>(2) <u>原子炉本体周辺設備等解体撤去期間【屋外・屋内作業】</u> <u>供用を終了した設備のうち、管理区域内にある放射性物質により汚染された設備（原子炉本体除く）等の解体撤去を行う。</u></p> <p>(3) <u>原子炉本体等解体撤去期間【屋外・屋内作業】</u> <u>放射能レベルの比較的高い原子炉本体等の解体撤去を行う。</u></p> <p>(4) <u>建物等解体撤去期間【屋外・屋内作業】</u> <u>供用を終了する放射性廃棄物の廃棄施設、換気設備、その他解体の対象とするすべての設備、建物等の解体撤去を行う。</u></p> <p><u>また、各段階での島根原子力発電所1号炉の状態とその作業概要及び竜巻防護に関する廃止措置の各段階での解体撤去作業の物品の管理方法を図1に示す。</u></p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は島根1号炉の廃止措置時の物品の管理方法を記載</p>

作業概要		竜巻防護に関する解体撤去物の管理	
① 原子炉領域以外の解体撤去	 <p>原子炉領域 使用済圧力容器冷却池 (構造撤去済) 熱交換器の撤去 タービン建屋 (構造撤去済)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービスマンビル建屋内で遠隔装置等により、解体・撤去し、解体撤去物は鉄箱等へ収納する。</li> <li>鉄箱を既設の建屋搬出入口より、東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管、又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に関わる資機材、車両は、東二と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> </ul>
② 原子炉領域解体撤去	 <p>炉内構造物 原子炉圧力容器の撤去 生体遮へい体の撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービスマンビル建屋内で遠隔装置等により、解体・撤去し、解体撤去物は鉄箱等へ収納する。</li> <li>鉄箱を既設の建屋搬出入口より、東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管、又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に関わる資機材、車両は、東二と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> <li>運搬の解体作業時は、設計飛来物の影響を超える解体撤去物が発生しないよう予め飛散評価を行った区画を設定するなどの管理を行う。</li> </ul>
③ 建屋等解体撤去	 <p>建屋の撤去</p> <p>注) 建屋の地下部及び基礎部は撤去対象外</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉サービスマンビル建屋内の設備が全て解体され、解体撤去物が建屋内より搬出された後、建屋外壁を掘削機により解体する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に関わる資機材、車両は、東二と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> </ul>

別図 5-1 東海発電所の廃止措置作業の概要及び解体、撤去された物品管理

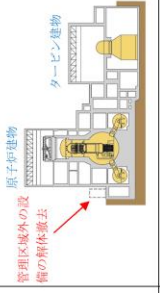
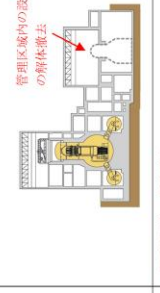
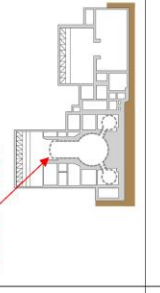
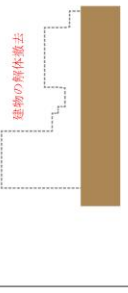
作業概要		竜巻防護に関する解体撤去物の管理	
① 解体工事準備期間	 <p>原子炉建屋 タービン建屋 管理区域外の設備の解体撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物内/外の管理区域域外にある設備を解体撤去し、解体撤去物は産業廃棄物として敷地外へ搬出する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に係る資機材、車両は、島根2号炉と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> </ul>
② 原子炉本体周辺設備等解体撤去期間	 <p>管理区域内の設備の解体撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物内/外の管理区域域内にある放射性物質により汚染された設備を解体撤去する。</li> <li>解体撤去物は容器等に収納し、固体廃棄物貯蔵所等へ保管、又は廃棄施設に廃棄する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に係る資機材、車両は、島根2号炉と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> </ul>
③ 原子炉本体等解体撤去期間	 <p>原子炉本体の解体撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射能レベルの比較的高い原子炉本体を解体撤去する。</li> <li>物に放射能レベルの高い炉心支持構造物等の解体においては、遠隔操作による水中での切断等、被ばく低減を考慮した工法を採用する。</li> <li>解体撤去物は容器等に収納し、固体廃棄物貯蔵所等へ保管、又は廃棄施設に廃棄する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に係る資機材、車両は、島根2号炉と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> </ul>
④ 建物等解体撤去期間	 <p>建物の解体撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染した設備の撤去後、建物内に残っている汚染物は、袋をばつり等の方法で除去する。施設内の汚染物を除去した後、汚染状況を確認した上で管理区域を順次解除する。</li> <li>管理区域を解除した後、解体の対象とする建物を解体撤去する。建物の解体は、圧縮機やブレイカ等を用いて行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体作業に係る資機材、車両は、島根2号炉と同様の管理を行い、設計飛来物の影響を超えることのないよう管理する。</li> <li>建物の解体作業時は、設計飛来物の影響を超える解体撤去物が発生しないよう予め飛散評価を行った区画を設定する等の管理を行う。</li> </ul>

図 1 島根原子力発電所1号炉の解体撤去作業の概要及び解体、撤去された物品管理

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																			
<p style="text-align: right;">添付資料3.4</p> <p>3.4 竜巻随伴事象の抽出について</p> <p>過去の竜巻被害を参考に竜巻の随伴事象を検討し、柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失事象を抽出した。</p> <p>(1) 過去の竜巻被害について</p> <p>過去の竜巻被害について、1990年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。竜巻の被害の状況写真から日本国内での竜巻被害では、風圧力及び飛来物の衝突により発生している建築物、電柱、電線等の損傷がみられ、竜巻の随伴事象としては、電柱や電線の損傷による停電事象が発生している。(図3.4.1, 3.4.2)</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 11</p> <p style="text-align: center;">竜巻随伴事象の抽出について</p> <p>1. 概要</p> <p>過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から想定される竜巻の随伴事象を検討し、発電所において考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出した。</p> <p>2. 過去の竜巻被害について</p> <p>1990年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。第2-1表に、1990年以降に日本で発生した最大級の竜巻であるF3クラスの竜巻を示す。</p> <p style="text-align: center;">第2-1表 1990年以降のF3クラス竜巻</p> <table border="1" data-bbox="952 1024 1703 1182"> <thead> <tr> <th>発生日時</th> <th>発生場所</th> <th>藤田スケール</th> <th>死者</th> <th>負傷者</th> <th>住宅全壊</th> <th>住宅半壊</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2012年5月6日</td> <td>茨城県常総市</td> <td>F3</td> <td>1</td> <td>37</td> <td>76</td> <td>158</td> </tr> <tr> <td>2006年11月7日</td> <td>北海道佐呂間町</td> <td>F3</td> <td>9</td> <td>31</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>1999年9月24日</td> <td>愛知県豊橋市</td> <td>F3</td> <td>0</td> <td>415</td> <td>40</td> <td>309</td> </tr> <tr> <td>1990年12月11日</td> <td>千葉県茂原市</td> <td>F3</td> <td>1</td> <td>73</td> <td>82</td> <td>161</td> </tr> </tbody> </table> <p>竜巻被害の状況写真(第2-1~3図)から、竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり、また、竜巻の随伴事象として電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。</p>	発生日時	発生場所	藤田スケール	死者	負傷者	住宅全壊	住宅半壊	2012年5月6日	茨城県常総市	F3	1	37	76	158	2006年11月7日	北海道佐呂間町	F3	9	31	7	7	1999年9月24日	愛知県豊橋市	F3	0	415	40	309	1990年12月11日	千葉県茂原市	F3	1	73	82	161		<p>(島根2号炉は「別添2-1 3.5. 竜巻随伴事象に対する評価」で記載)</p>
発生日時	発生場所	藤田スケール	死者	負傷者	住宅全壊	住宅半壊																																
2012年5月6日	茨城県常総市	F3	1	37	76	158																																
2006年11月7日	北海道佐呂間町	F3	9	31	7	7																																
1999年9月24日	愛知県豊橋市	F3	0	415	40	309																																
1990年12月11日	千葉県茂原市	F3	1	73	82	161																																



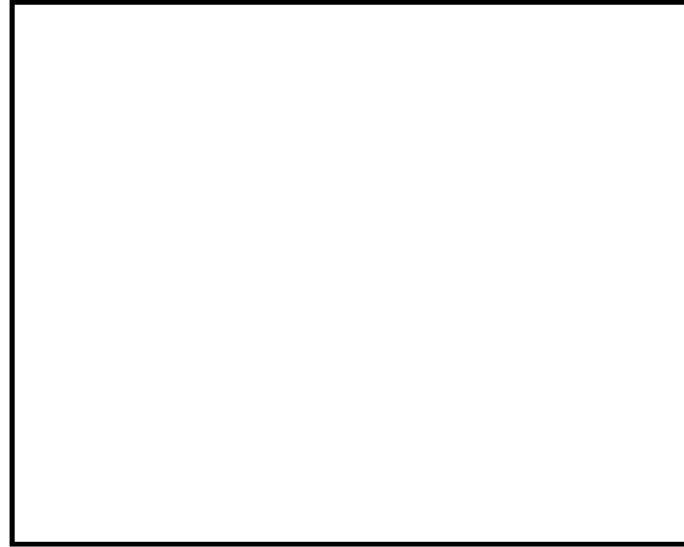
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>(建物の被害)</p> <p>(ガラスへの飛来物衝突痕)</p> <p>(電柱の折損, 傾斜)</p> <p>図 3. 4. 1 2012年茨城県常総市で発生したF3 竜巻による被害状況 (1)</p>	 <p>全壊した家屋</p> <p>飛来物により被害を受けた住宅等</p> <p>倒れた電柱(復旧作業時)</p> <p>倒壊電柱に直撃された家屋</p> <p>第 2-1 図 2012年5月6日茨城県にて発生したF 3 竜巻による被害<sup>(1)</sup></p> <p>全壊した工事事務所周辺</p> <p>飛来物による被害を受けた建物</p> <p>倒壊した道路標識支柱</p> <p>道路側へ倒壊した電柱</p> <p>第 2-2 図 2006年11月7日北海道にて発生したF 3 竜巻による被害<sup>(2) (3)</sup></p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>(電柱の折損, 傾斜)</p> <p>(建築物への飛来物の衝突痕)</p> <p>(電柱, 道路標識の折損)</p> <p>図 3. 4. 2 2006年に北海道佐呂間町にて発生したF3 竜巻による被害状況<sup>(2)(3)</sup></p>	 <p>残骸(飛散物)で埋め尽された道路</p> <p>吹き飛ばされた建物</p> <p>横転したバス</p> <p>曲がった鉄筋 (工事現場)</p> <p>第 2-3 図 1990年 12月 11日千葉県にて発生したF3 竜巻による被害<sup>(4)</sup></p>		



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置を参考にした竜巻随伴事象について</p> <p>(1)の過去の竜巻による被害状況から、柏崎刈羽原子力発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより、外部電源喪失事象の発生が考えられる。</p> <p>さらに、柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から、屋外に軽油タンク、水タンクが配備されていることから、飛来物の衝突により火災事象及び溢水事象が発生する可能性がある。(図3.4.3)</p> <p>以上から、竜巻随伴事象として火災、溢水、外部電源喪失事象を抽出する。</p>	<p>3. 発電所にて考慮すべき竜巻随伴事象</p> <p>上述の過去の竜巻による被害事例及び第3-1図に示す発電所の施設の配置から判断すると、発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより、外部電源喪失の発生が考えられる。さらに、屋外に油タンク及び水タンクが配備されていることから、飛来物の衝突により火災及び溢水が発生する可能性がある。</p> <p>以上のことから、発電所における竜巻随伴事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出する。</p>		

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません



軽油タンク等	①	5号炉軽油タンク	軽油タンク等	⑩	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器
	②	5号炉所内変圧器		⑪	第一ガスタービン発電機用燃料タンク
	③	5号炉励磁変圧器		⑫	No.3 純粋タンク, No.4 純粋タンク
	④	5号炉主変圧器		⑬	No.3 ろ過水タンク, No.4 ろ過水タンク
	⑤	5号炉起動変圧器		⑭	タンクローリ・可搬型代替注水ポンプ(消防車)
	⑥	6号炉所内変圧器	水タンク等	⑮	5号炉 NSD 収集タンク
	⑦	6号炉主変圧器		⑯	6号及び7号炉 NSD 収集タンク
	⑧	6号炉起動変圧器			
	⑨	7号炉所内変圧器			
	⑩	7号炉主変圧器			

図 3.4.3 柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置図



第 3-1 図 発電所の評価対象施設のうち屋外施設及び竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考文献</p> <p>(1)「平成24年(2012年)5月6日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害状況調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料 第703号 ISSN 0286-4630 建築研究資料 第141号 平成25年1月)</p> <p>(2) 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告(2006年11月21日)</p> <p>(3) 佐呂間竜巻災害の記録―若佐地区―</p>	<p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>(1) (財)消防科学総合センター, 平成24年(2012年)5月6日 茨城県つくば市竜巻災害写真報告, 2012</p> <p>(2) (財)消防科学総合センター, 平成18年11月7日北海道 佐呂間町竜巻災害写真報告, 2006</p> <p>(3) (社)土木学会 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団, 平成18年11月 北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査, 2007年4月</p> <p>(4) 千葉県総務部消防地震防災課, 防災誌「風水害との闘い」 第3章 90m超えの突風に街が飛ばされた!―茂原で最大スケールの竜巻が発生―, 平成22年3月</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7 号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2 号炉	備考
<div data-bbox="676 415 893 478" style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 auto;">別 添 2 - 2</div> <p data-bbox="160 716 908 856" style="text-align: center;"><u>柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉</u></p> <p data-bbox="210 982 863 1123" style="text-align: center;"><u>竜巻影響評価における フジタモデルの適用について</u></p>	<div data-bbox="1448 365 1700 443" style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 auto;">別添資料 2</div> <p data-bbox="1133 716 1522 772" style="text-align: center;"><u>東海第二発電所</u></p> <p data-bbox="973 982 1682 1123" style="text-align: center;"><u>竜巻影響評価における フジタモデルの適用について</u></p>	<div data-bbox="2208 415 2472 478" style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 auto;">別 添 2 - 2</div> <p data-bbox="1843 716 2392 772" style="text-align: center;"><u>島根原子力発電所 2 号炉</u></p> <p data-bbox="1798 982 2442 1123" style="text-align: center;"><u>竜巻影響評価における フジタモデルの適用について</u></p>	<p data-bbox="2531 300 2807 552">・本資料はフジタモデルの妥当性の説明資料であり、柏崎 6/7、東海第二と説明内容に相違はないことから、以下の波線は省略</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: center;">目次</p> <p>別添2-2</p> <p>1. はじめに</p> <p>2. 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1. フジタモデル</p> <p>2.2. ランキン渦モデル</p> <p>2.3. 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)</p> <p>3. 各風速場モデルの比較</p> <p>4. 米国におけるフジタモデルの取扱い</p> <p>4.1. フジタモデルの利用実績</p> <p>4.2. NRC ガイドでの取扱い</p> <p>5. 飛来物評価における不確定性の考慮</p> <p>5.1. 物体の浮上・飛来モデルにおける不確定性の考慮</p> <p>5.2. 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮</p> <p>5.3. 飛来物評価法のまとめ</p> <p>6. 実際の飛散状況に対する検証</p> <p>6.1. フジタスケールとの比較</p> <p>6.2. 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例</p> <p>6.3. 佐呂間竜巻での車両飛散事例</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮</p> <p>8. まとめ</p> <p>9. 参考文献</p> <p>別紙1 「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛来物評価手法」の比較</p>	<p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. はじめに 1</p> <p>2 各風速場モデルの概要 4</p> <p>2.1 フジタモデル 4</p> <p>2.2 ランキン渦モデル 7</p> <p>2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析) 8</p> <p>3. 各風速場モデルの比較 10</p> <p>4. 米国におけるフジタモデルの取扱い 12</p> <p>4.1 フジタモデルの利用実績 12</p> <p>4.2 NRC ガイドでの取扱い 14</p> <p>5. 飛散解析における保守性の考慮 15</p> <p>5.1 物体の浮上, 飛散モデルにおける保守性の考慮 15</p> <p>5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮 31</p> <p>5.3 飛散解析手法まとめ 35</p> <p>6. 実際の飛散状況に対する検証 37</p> <p>6.1 フジタスケールとの比較 37</p> <p>6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例との比較 38</p> <p>6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較 40</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮 48</p> <p>8. まとめ 50</p> <p>&lt;参考文献&gt; 52</p> <p>別紙1 「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較</p> <p>別紙2 発電所における竜巻風速場モデルの適用方針</p>	<p style="text-align: center;">目次</p> <p>別添2-2</p> <p>1. はじめに</p> <p>2. 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1. フジタモデル</p> <p>2.2. ランキン渦モデル</p> <p>2.3. 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)</p> <p>3. 各風速場モデルの比較</p> <p>4. 米国におけるフジタモデルの取扱い</p> <p>4.1. フジタモデルの利用実績</p> <p>4.2. NRC ガイドでの取扱い</p> <p>5. 飛来物評価</p> <p>5.1. 物体の浮上・飛来モデルにおける不確定性の考慮</p> <p>5.2. 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮</p> <p><u>5.3. フジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性の考慮</u></p> <p>5.4. 飛来物評価法のまとめ</p> <p>6. 実際の飛散状況に対する検証</p> <p>6.1. フジタスケールとの比較</p> <p>6.2. 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例</p> <p>6.3. 佐呂間竜巻での車両飛散事例</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮</p> <p>8. まとめ</p> <p>9. 参考文献</p> <p>別紙1 「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛来物評価手法」の比較</p> <p>別紙2 フジタモデルのパラメータ設定等について</p> <p>別紙3 竜巻影響評価と竜巻モデルの関係</p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>島根2号炉はフジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性について記載している</p>

1. はじめに

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」<sup>(1)</sup> (以下「ガイド」という。)に従い竜巻影響評価を行う上で、設計飛来物の飛来速度を設定するための風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとして、米国NRCの基準類に記載されている「ランキン渦モデル<sup>(2)(3)</sup>」、原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている「LES(Large-eddy simulation)」の数値解析<sup>(4)</sup>があるが、当社の竜巻影響評価においては、地面に置かれた物体への影響をよく表現できている風速場モデルにより、評価対象施設の影響評価・防護対策を実施するため、風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデルDBT-77(DBT: Design Basis Tornado)<sup>(5)</sup>を選定する。

第1図に風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フローを示す。また、第2図に竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所を示す。

次節以降にてフジタモデルの詳細や、フジタモデルを適用した理由等を説明する。

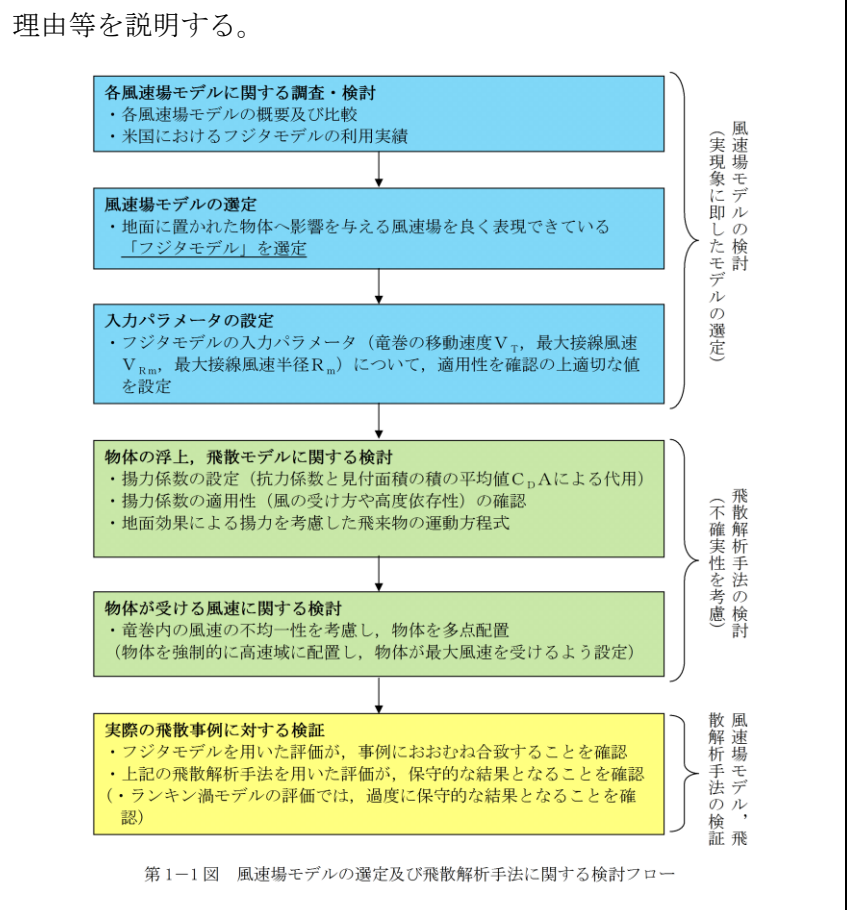


1. はじめに

「竜巻影響評価ガイド」に従い竜巻影響評価を行う上で、飛来物の挙動(飛散速度、飛散距離等)を評価するための竜巻風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとしては、米国NRCの基準類に記載されている「ランキン渦モデル<sup>(i)(ii)</sup>」及び原子力安全基盤機構の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の報告書に記載されている「非定常乱流渦モデル(LES: Large Eddy Simulation)」の数値解析<sup>(iii)</sup>があるが、今回の評価においては、地面に置かれた物体への影響をより良く表現できている風速場モデルとして、藤田哲也シカゴ大学名誉教授が考案した竜巻工学モデルDBT-77(DBT: Design Basis Tornado)<sup>(iv)</sup> (以下「フジタモデル」という。)を選定した。

第1-1図に、風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フローを示す。また、第1-2図に、竜巻影響評価の基本フローとフジタモデルを適用する箇所を示す。

次節以降にて、フジタモデルの詳細やフジタモデルを適用した理由等を説明する。



1. はじめに

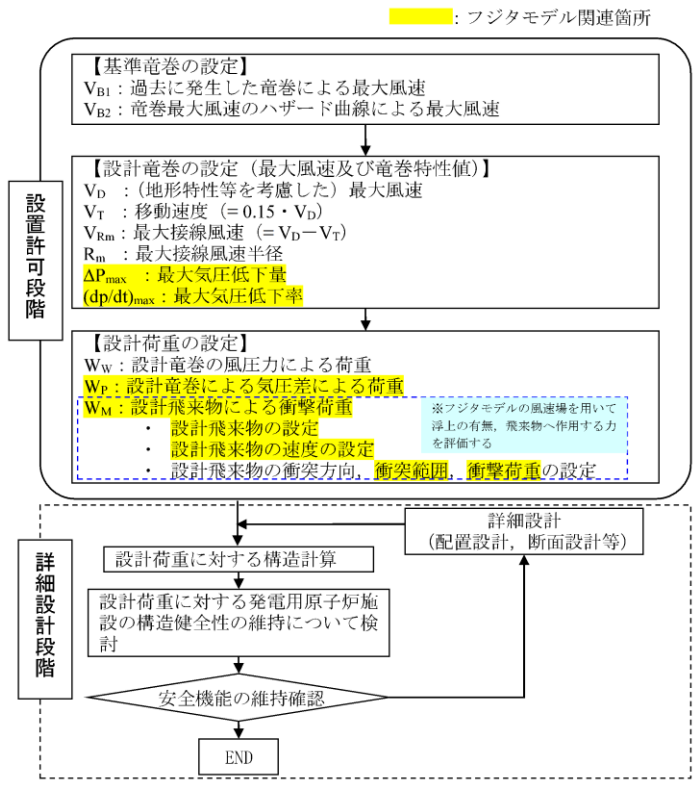
「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」<sup>(1)</sup> (以下「ガイド」という。)に従い竜巻影響評価を行う上で、設計飛来物の飛来速度を設定するための風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとして、米国NRCの基準類に記載されている「ランキン渦モデル<sup>(2)(3)</sup>」、原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている「LES(Large-eddy simulation)」の数値解析<sup>(4)</sup>があるが、当社の竜巻影響評価においては、地面に置かれた物体への影響をよく表現できている風速場モデルにより、評価対象施設の影響評価・防護対策を実施するため、風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデルDBT-77(DBT: Design Basis Tornado)<sup>(5)</sup>を選定する。

図1に風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フローを示す。また、図2に竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所を示す。

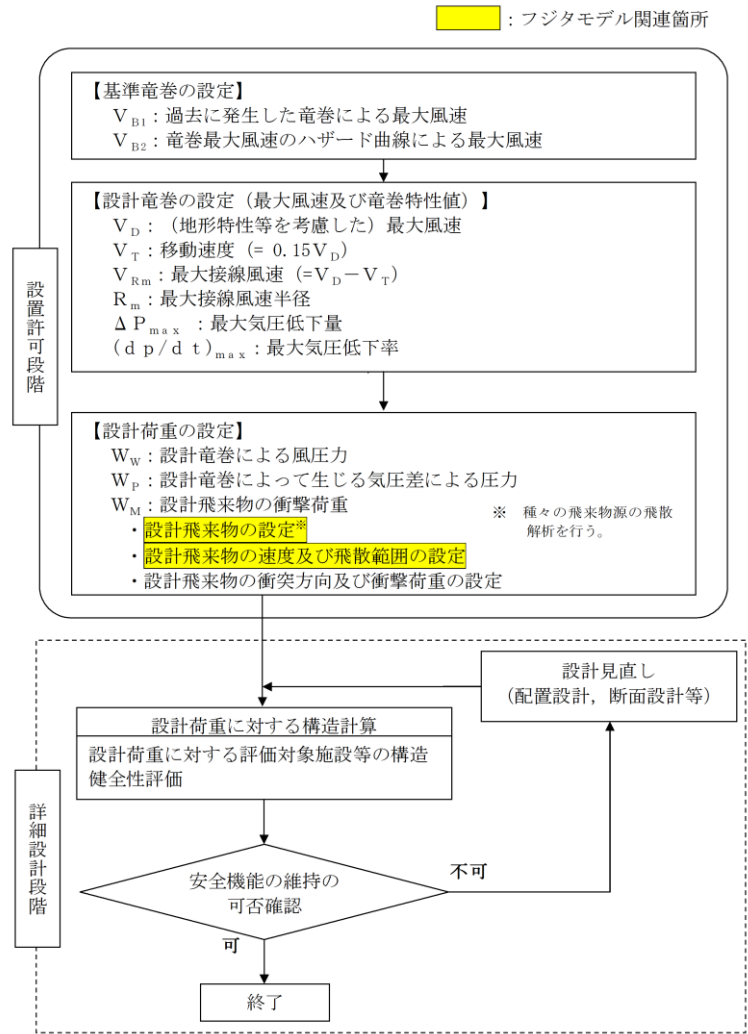
次節以降にてフジタモデルの詳細や、フジタモデルを適用した理由等を説明する。







第2図 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所



第1-2図 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

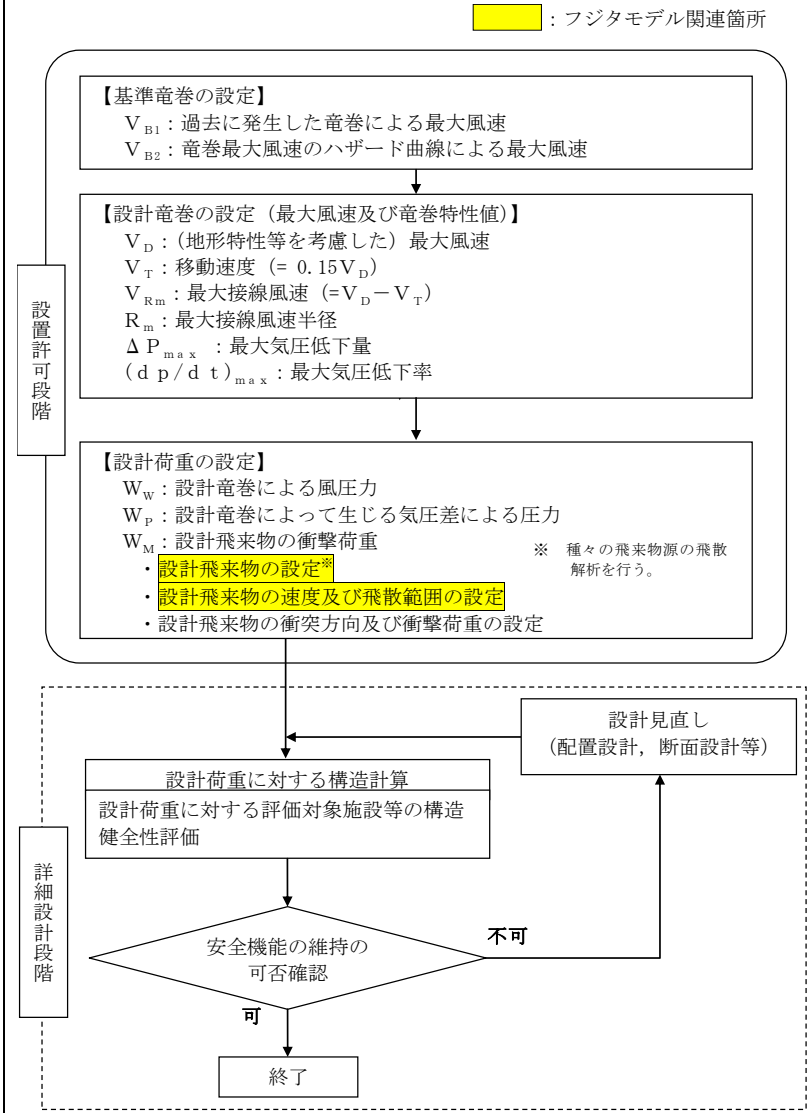

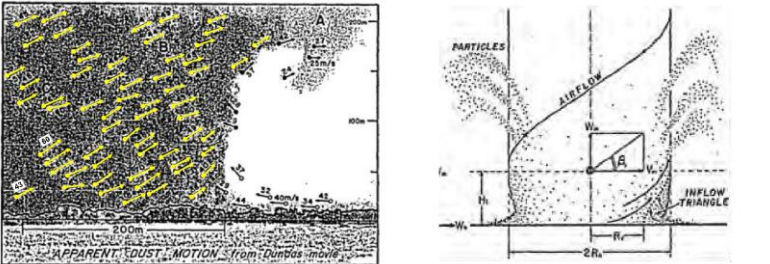

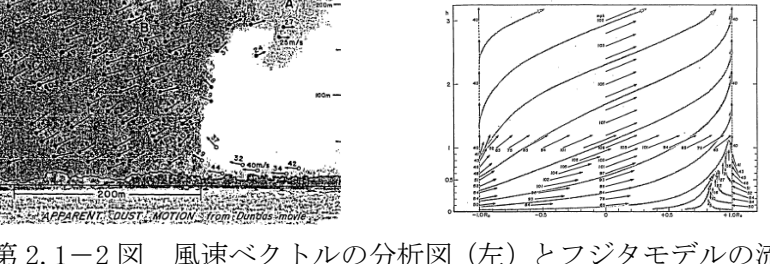

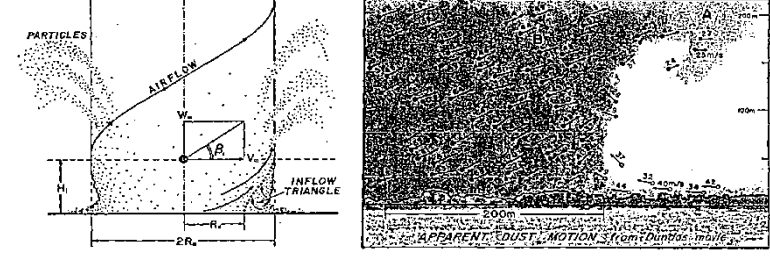


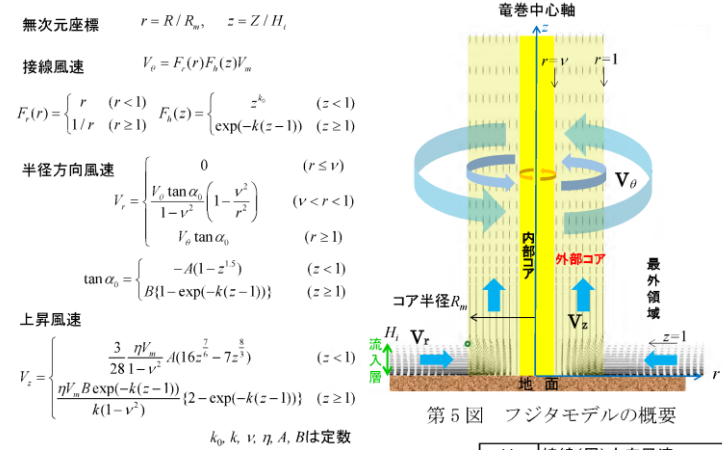
図2 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2. 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1 フジタモデル</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC の実際の竜巻風速場をモデル化したという要望により、藤田博士が 1978 年に竜巻観測記録をもとに考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻 (第 3 図) の記録ビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査、被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図をもとに作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している (第 4 図)。</p> <p>フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ、及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。</p>  <p>第 3 図 Ash Valley 竜巻 (1974.8.30) のビデオ画像</p>  <p>第 4 図 分析によって作成した風速ベクトル (左)、ベクトル図より作成したフジタモデル流線 (右) ((5)に一部加筆)</p> <p>フジタモデルの風速場は第 5 図に示すように半径方向に 3 つの領域 (内部コア、外部コア、最外領域) で構成され、内部コアと外部コアの接線 (周) 方向風速 <math>V_\theta</math> は半径に比例し、その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速 <math>V_z</math> や半径方向風速 <math>V_r</math> は存在しないが、外部コアには存在する。高さ方向には地面から高さ <math>H_i</math> までを流入層としてモデル化しており、竜巻中心方向に向かう半径方向風速</p>	<p>2 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1 フジタモデル</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC の実際の竜巻風速場をモデル化したという要望により、藤田名誉教授が 1978 年に竜巻観測記録を基に考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻 (第 2.1-1 図) のビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査及び被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図を基に作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している。(第 2.1-2 図)</p> <p>フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。</p>  <p>第 2.1-1 図 Ash Valley 竜巻 (1974.8.30) のビデオ画像</p>  <p>第 2.1-2 図 風速ベクトルの分析図 (左) とフジタモデルの流線 (右) (4)</p> <p>フジタモデルの風速場は、第 2.1-3 図に示すように半径方向に 3 つの領域 (内部コア、外部コア及び最外領域) で構成され、内部コアと外部コアの接線 (周) 方向風速 <math>V_\theta</math> は半径に比例し、その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速 <math>V_z</math> や半径方向風速 <math>V_r</math> は存在しないが、外部コアには存在する。高さ方向には地面から高さ <math>H_i</math> までを流入層としてモデル化しており、竜巻中心方向に向かう半径方向</p>	<p>2. 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1 フジタモデル</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC の実際の竜巻風速場をモデル化したという要望により、藤田博士が 1978 年に竜巻観測記録をもとに考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻 (図 3) の記録ビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査、被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図をもとに作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している (図 4)。</p> <p>フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ、及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。</p>  <p>図 3 Ash Valley 竜巻 (1974.8.30) のビデオ画像</p>  <p>図 4 フジタモデルの流線 (左) と風速ベクトルの分析図 (右)</p> <p>フジタモデルの風速場は図 5-1 に示すように半径方向に 3 つの領域 (内部コア、外部コア、最外領域) で構成され、内部コアと外部コアの接線 (周) 方向風速 <math>V_\theta</math> は半径に比例し、その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速 <math>V_z</math> や半径方向風速 <math>V_r</math> は存在しないが、外部コアには存在する。高さ方向には地上からの高さ <math>H_i</math> までを流入層としてモデル化しており、竜巻中心方向に向かう半径方向風速</p>	



があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し、各風速成分は高さとともに減衰する流れとなっている。フジタモデルは、流体の連続式を満たす形で定式化されており、力学的に根拠のある風速場となっている。

フジタモデル DBT-77 における接線風速等の関係式については、Fujita Work Book<sup>(5)</sup>の Chapter6 に下記のとおり記載されている。(Chapter6 では、単一渦型のモデルであるフジタモデル DBT-77 を引用しているが、多重渦型のモデルであるフジタモデル DBT-78 は引用されていない。)

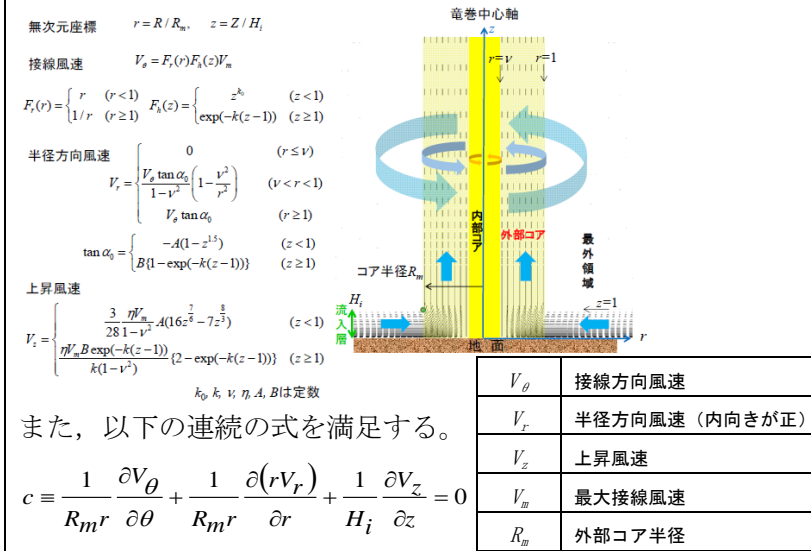


連続の式:  $c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$   
 フジタモデルでは  $c = 0$  となり連続の式を満たす。

$V_\theta$	接線(周)方向風速
$V_r$	半径方向風速(中心方向が正)
$V_z$	上昇風速
$V_m$	最大接線風速
$R_m$	外部コア半径

風速  $V_r$  があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し、各風速成分は上部に向かうにつれて減衰する。フジタモデルは、流体の連続式を満たす形で定式化されており、力学的に根拠のある風速場となっている。

フジタモデル (DBT-77) における接線風速等の関係式については、Fujita Work Book<sup>(4)</sup>の第6章に、第2.1-3図のとおり記載されている。



また、以下の連続の式を満足する。

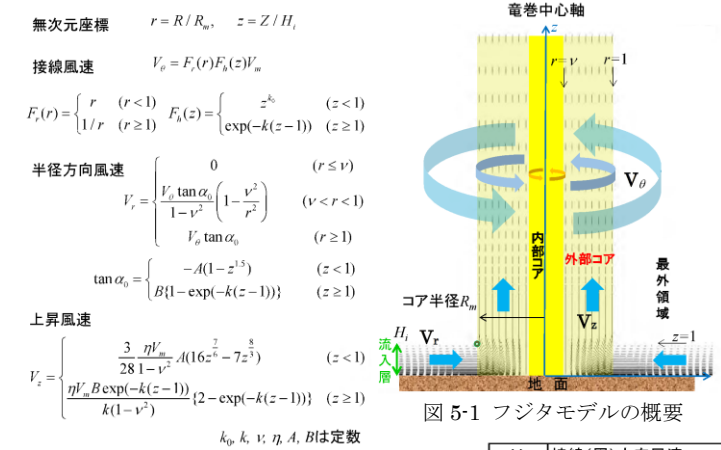
$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$

第2.1-3図 フジタモデルの概要

$V_\theta$	接線方向風速
$V_r$	半径方向風速(内向きが正)
$V_z$	上昇風速
$V_m$	最大接線風速
$R_m$	外部コア半径

$V_r$  があり、この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し、各風速成分は地上からの高さとともに減衰する流れとなっている。フジタモデルは、流体の連続式を満たす形で定式化されており、力学的に根拠のある風速場となっている。フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係を図5-2に示す。

フジタモデル DBT-77 における接線風速等の関係式については、Fujita Work Book<sup>(5)</sup>の Chapter6 に下記のとおり記載されている。(Chapter6 では、単一渦型のモデルであるフジタモデル DBT-77 を引用しているが、多重渦型のモデルであるフジタモデル DBT-78 は引用されていない。)



連続の式:  $c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$   
 フジタモデルでは  $c = 0$  となり連続の式を満たす。

$V_\theta$	接線(周)方向風速
$V_r$	半径方向風速(中心方向が正)
$V_z$	上昇風速
$V_m$	最大接線風速
$R_m$	外部コア半径

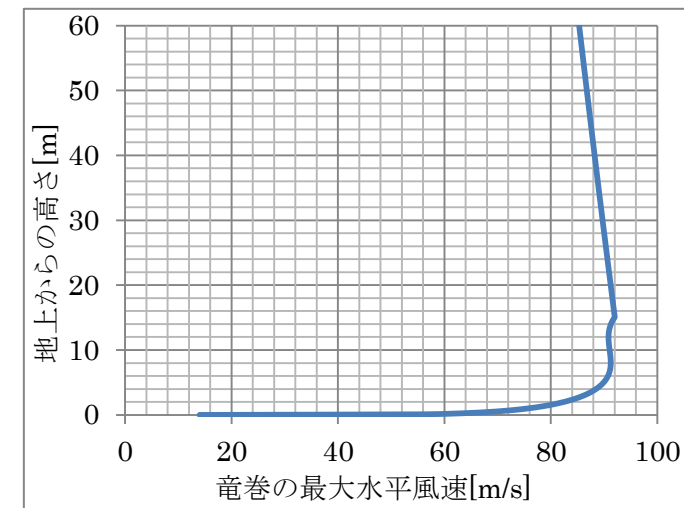


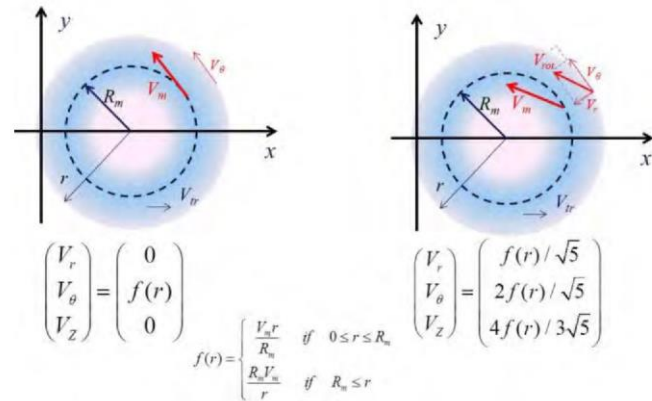
図5-2 フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係 (r=1)

・記載方針の相違  
 【柏崎6/7, 東海第二】  
 島根2号炉はフジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係を示している

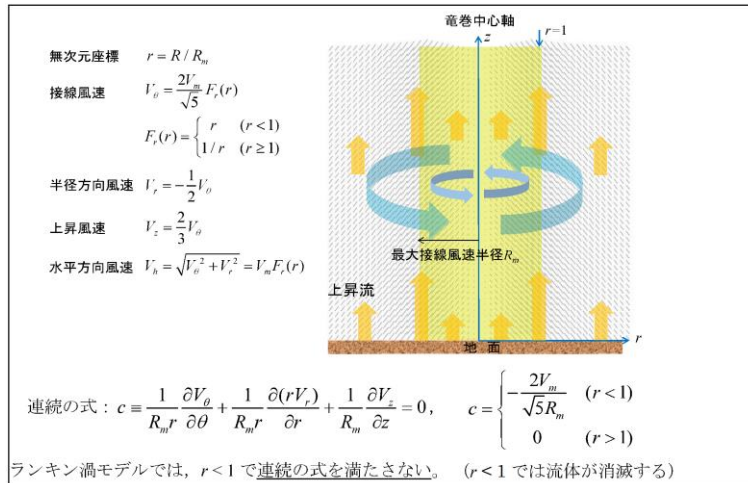
・記載方針の相違  
 【柏崎6/7, 東海第二】  
 同上

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>内部コアの半径 <math>R_n</math> と外部コアの半径 <math>R_m</math> の比 <math>\nu = R_n / R_m</math> については、Fujita<sup>(5)</sup>が以下の経験式を提案しているの、これを用いる。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m)$ <p>(1)</p> <p>また、流入層は、地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita<sup>(5)</sup>は、流入層高さ <math>H_i</math> を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) <math>R_m</math> に比例するものとして、以下の経験式を提案しており、これを用いる。</p> $H_i = \eta R_m$ <p>(2)</p> <p>ここで、<math>\eta</math> は1以下の正の値であり、Fujita Work Book<sup>(5)</sup>の(6.4)式より <math>\eta = 0.55(1 - \nu^2)</math> で定義される。</p> <p>上記式において、外部コア半径 <math>R_m=30</math>(m)の場合、<math>\eta = 0.501</math> (<math>H_i=15</math>(m))となり、原子力安全基盤機構の調査研究報告書<sup>(4)</sup>の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径の比(<math>\eta=0.4</math>程度)や、Kosiba<sup>(6)</sup>により示されている流入層高さ(<math>H_i=10\sim 14</math>(m)以下)とおおむね同じである。</p> <p>なお、その他の定数についても、Fujita<sup>(5)</sup>の提案している値として、<math>k_0 = 1/6</math>, <math>k = 0.03</math>, <math>A = 0.75</math>, <math>B = 0.217</math> を用いる。</p> <p>2.2 ランキン渦モデル</p> <p>ランキン渦モデルは、米国NRCガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、米国で開発された飛来物速度評価用のランキン渦モデル<sup>(3)</sup>は、竜巻中心に向かう半径方向風速 <math>V_r</math> と上昇風速 <math>V_z</math> を特別に付加している(第6図)。そのため、流れの連続の式(質量保存式)を満たしておらず、第7図に示すように地面から吹き出しが生じるような流れとなっており、地上からの物体の浮上・飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散評価を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価すること</p>	<p>ここで、内部コアの半径 <math>R_n</math> と外部コアの半径 <math>R_m</math> の比 <math>\nu (=R_n / R_m)</math> については、Fujita<sup>(4)</sup>が以下の経験式を提案しているの、これを用いた。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m)$ <p>(1)</p> <p>また、流入層は、地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita<sup>(4)</sup>は、流入層高さ <math>H_i</math> を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) <math>R_m</math> に比例するものとして、以下の経験式を提案しており、これを用いた。</p> $H_i = \eta R_m$ <p>ここで、<math>\eta</math> は1以下の正の値であり、下式で定義される。</p> $\eta = 0.55(1 - \nu^2)$ <p>上記式において、外部コア半径 <math>R_m = 30</math>(m)の場合、<math>\eta = 0.50</math> (<math>H_i=15</math>(m))となり、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」<sup>(3)</sup>の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径の比(<math>\eta=0.4</math>程度)や、Kosiba<sup>(v)</sup>により示されている流入層高さ(<math>H_i=10\sim 14</math>(m)以下)とおおむね同じである。</p> <p>なお、その他の定数についても、Fujita<sup>(4)</sup>の提案している値として、<math>k_0 = 1/6</math>, <math>k = 0.03</math>, <math>A = 0.75</math>, <math>B = 0.0217</math> を用いた。</p> <p>2.2 ランキン渦モデル</p> <p>ランキン渦モデルは米国NRCガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、第2.2-1図(b)に示す飛散解析用のモデル<sup>(2)</sup>では、竜巻中心に向かう半径方向風速 <math>V_r</math> と上昇風速 <math>V_z</math> を特別に付加しているため、流体力学の連続の式を満たしておらず、第2.2-2図の様な地面から吹き出しが生じる流れとなっており、地上からの物体の浮上、飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散解析を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。</p>	<p>内部コアの半径 <math>R_n</math> と外部コアの半径 <math>R_m</math> の比 <math>\nu = R_n / R_m</math> については、Fujita<sup>(5)</sup>が以下の経験式を提案しているの、これを用いる。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m)$ <p>(1)</p> <p>また、流入層は、地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita<sup>(5)</sup>は、流入層高さ <math>H_i</math> を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) <math>R_m</math> に比例するものとして、以下の経験式を提案しており、これを用いる。</p> $H_i = \eta R_m$ <p>(2)</p> <p>ここで、<math>\eta</math> は1以下の正の値であり、Fujita Work Book<sup>(5)</sup>の(6.4)式より <math>\eta = 0.55(1 - \nu^2)</math> で定義される。</p> <p>上記式において、外部コア半径 <math>R_m=30</math>(m)の場合、<math>\eta = 0.501</math> (<math>H_i=15</math>(m))となり、原子力安全基盤機構の調査研究報告書<sup>(4)</sup>の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径の比(<math>\eta=0.4</math>程度)や、Kosiba<sup>(6)</sup>により示されている流入層高さ(<math>H_i=10\sim 14</math>(m)以下)とおおむね同じである。</p> <p>なお、その他の定数についても、Fujita<sup>(5)</sup>の提案している値として、<math>k_0 = 1/6</math>, <math>k = 0.03</math>, <math>A = 0.75</math>, <math>B = 0.217</math> を用いる。</p> <p>2.2 ランキン渦モデル</p> <p>ランキン渦モデルは、米国NRCガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、米国で開発された飛来物速度評価用のランキン渦モデル<sup>(3)</sup>は、竜巻中心に向かう半径方向風速 <math>V_r</math> と上昇風速 <math>V_z</math> を特別に付加している(図6)。そのため、流れの連続の式(質量保存式)を満たしておらず、図7に示すように地面から吹き出しが生じるような流れとなっており、地上からの物体の浮上・飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散評価を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することにな</p>	

になる。



第6図 設計竜巻圧力用のランキン渦モデル (左) と飛来物速度評価用のランキン渦モデル (右)



第7図 飛来物速度評価用のランキン渦モデルの概要

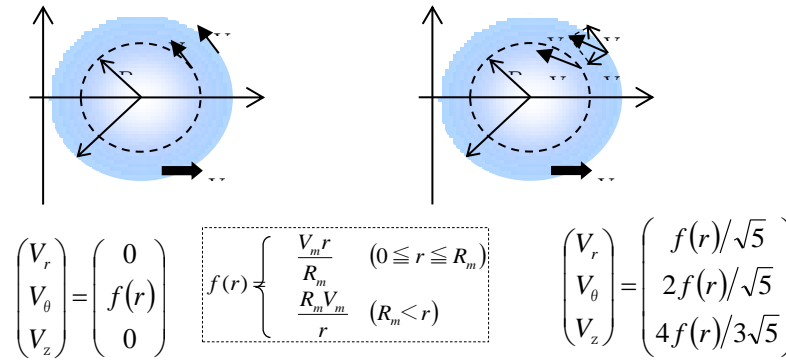
2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)

LES は、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、ガイドにおける飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第8図に LES による渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づく LES の基礎方程式 (運動量保存式及び質量保存式) は、流体が非圧縮性であると仮定する場合、以下ようになる。

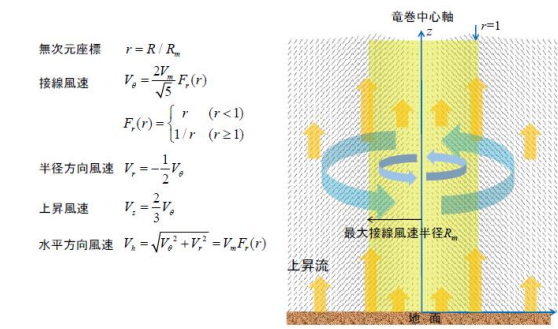
$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (v + \nu_s) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} = 0 \quad (4)$$



(a) 圧力評価用 (b) 飛散解析用

第2.2-1図 ランキン渦モデル



r < 1 の領域では、(流体が消滅するため) 以下の連続の式を満足しない。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\frac{2V_m}{\sqrt{5}R_m} & (r < 1) \\ 0 & (r > 1) \end{cases}$$

第2.2-2図 飛来物速度評価用ランキン渦モデル

2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)

LES は、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、「竜巻評価ガイド」における飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第2.3-1図に LES による渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づく LES の基礎方程式 (運動量保存式及び質量保存式) は、流体が非圧縮性であると仮定する場合、以下ようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (v + \nu_s) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3) \quad (4)$$

$$(4)$$

る。

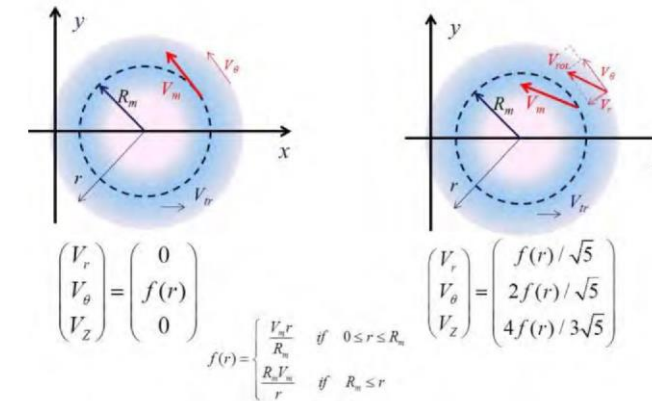


図6 設計竜巻圧力用のランキン渦モデル (左) と飛来物速度評価用のランキン渦モデル (右)

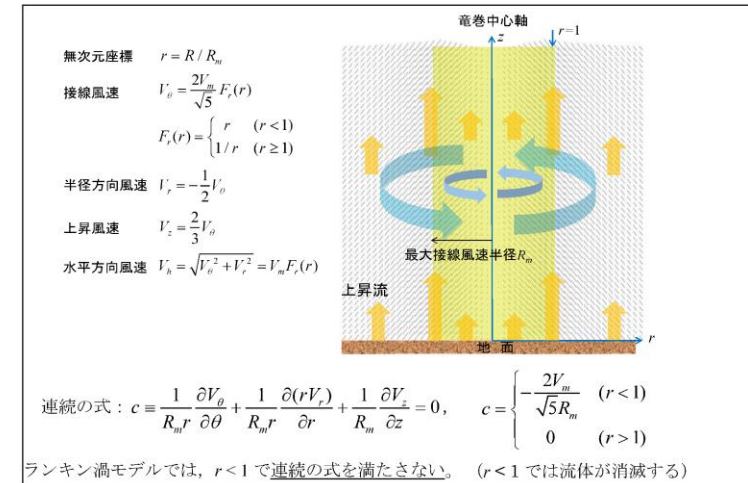


図7 飛来物速度評価用のランキン渦モデルの概要

2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)

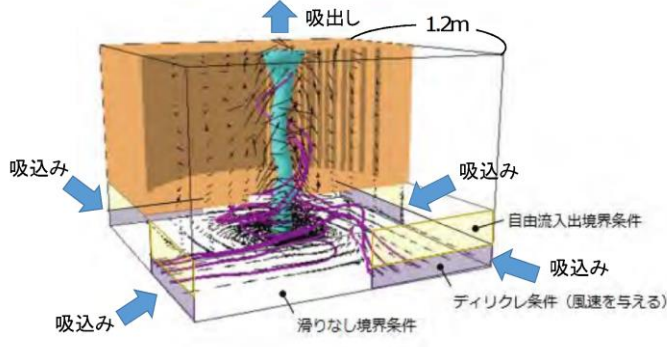
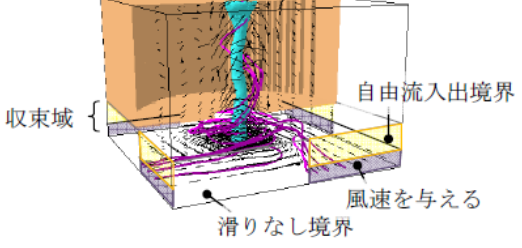
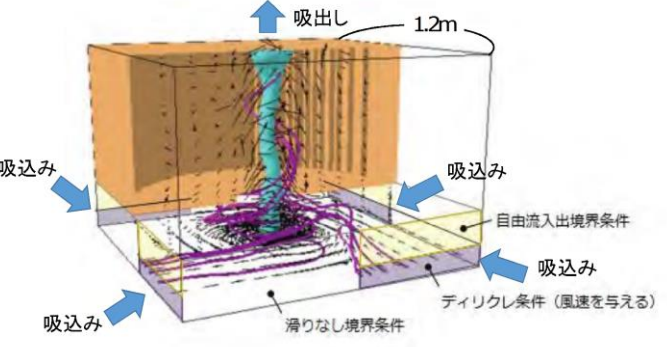
LES は、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、ガイドにおける飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。図8に LES による渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づく LES の基礎方程式 (運動量保存式及び質量保存式) は、流体が非圧縮性であると仮定する場合、以下ようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (v + \nu_s) \left( \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_3^2} \right) - f_i \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

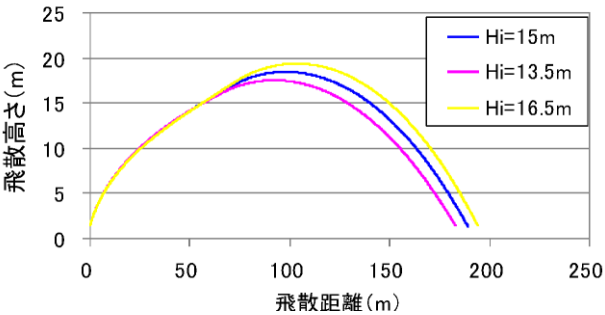
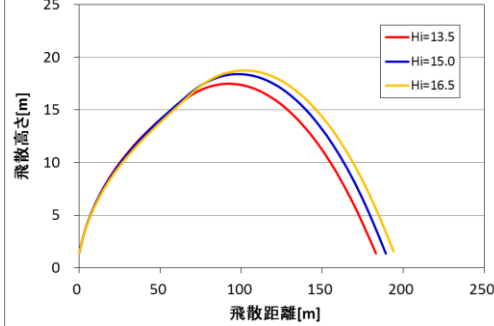
$$(3)$$



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ここで、<math>U_i</math> 及び <math>P</math> は、<math>i</math> 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、<math>\nu</math> は動粘性係数を、<math>f_i</math> は <math>i</math> 方向の外力加速度を表す。また、<math>x_i</math> は <math>i</math> 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 <math>\nu_s</math> は以下のように定義される。</p> $\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (5)$ <p>ここで、<math>h</math> は解像スケール(メッシュ幅相当)、<math>C_s</math> は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル <math>S_{ij}</math> は <math>S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)</math> で定義される。</p> <p>以上のとおり、LES は風速の時間的な変動(乱流)を考慮できる点が特長となっている。</p>  <p>第8 図 LES 計算領域内での竜巻状の渦の発生状況 ((4)に一部加筆)</p> <p>以上が一般的な LES の説明となる。LES の手法自体は、広く活用されているものであるが、実スケールでの精緻な評価を行うためには、必要なメッシュ解像度の確保に膨大な計算機資源が必要となる。</p> <p>また、ガイドで例示されている LES による数値解析については、条件設定等に関して下記のような問題点がある。</p> <p>ガイドで例示されている LES による解析では、境界条件(側面からの流入風速の分布等)や解析領域の形状(流入箇所を局部的に配置等)を調整して人為的な乱れを与え、竜巻状の渦を生成し</p>	<p>ここで、<math>U_i</math> 及び <math>P</math> は、<math>i</math> 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、<math>\nu</math> は動粘性係数を、<math>f_i</math> は <math>i</math> 方向の外力加速度を表す。また、<math>x_i</math> は <math>i</math> 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 <math>\nu_s</math> は以下のように定義される。</p> $\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (6)$ <p>ここで、<math>h</math> は解像スケール(メッシュ幅相当)、<math>C_s</math> は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル <math>S_{ij}</math> は <math>S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)</math> で定義される。</p> <p>以上のとおり、LES は風速の時間的な変動(乱流)を考慮できる点が特長となっている。</p>  <p>第2.3-1 図 LES 計算領域内での竜巻状の渦の作成状況<sup>(vi)</sup></p> <p>LES の手法自体は広く活用されているものであるが、実スケールでの精緻な評価を行うためには、必要なメッシュ解像度の確保に膨大な計算機資源が必要となる。また、「竜巻影響評価ガイド」で例示されている LES による数値解析については、条件設定等に関して下記のような問題点がある。</p> <p>・「竜巻影響評価ガイド」で例示されている LES による解析では、境界条件(側面からの流入風速の分布等)や解析領域の形状(流入箇所を局部的に配置等)を調整して人為的な乱れを与え、竜巻状の渦を生成しているが、渦の生成に当たって以下のような条件</p>	<p>ここで、<math>U_i</math> 及び <math>P</math> は、<math>i</math> 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、<math>\nu</math> は動粘性係数を、<math>f_i</math> は <math>i</math> 方向の外力加速度を表す。また、<math>x_i</math> は <math>i</math> 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 <math>\nu_s</math> は以下のように定義される。</p> $\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (5)$ <p>ここで、<math>h</math> は解像スケール(メッシュ幅相当)、<math>C_s</math> は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル <math>S_{ij}</math> は <math>S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)</math> で定義される。</p> <p>以上のとおり、LES は風速の時間的な変動(乱流)を考慮できる点が特長となっている。</p>  <p>図8 LES 計算領域内での竜巻状の渦の発生状況 ((4)に一部加筆)</p> <p>以上が一般的な LES の説明となる。LES の手法自体は、広く活用されているものであるが、実スケールでの精緻な評価を行うためには、必要なメッシュ解像度の確保に膨大な計算機資源が必要となる。</p> <p>また、ガイドで例示されている LES による数値解析については、条件設定等に関して下記のような問題点がある。</p> <p>ガイドで例示されている LES による解析では、境界条件(側面からの流入風速の分布等)や解析領域の形状(流入箇所を局部的に配置等)を調整して人為的な乱れを与え、竜巻状の渦を生成し</p>	

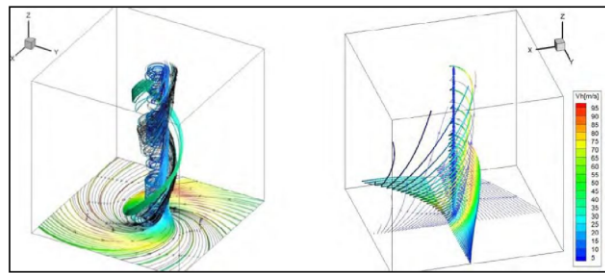


柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ている。渦の生成に当たって、以下のような条件を仮定していることから、実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人為的な流入境界条件（流入風速分布や流入箇所の局所的配置等）を設定していることから、流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。</li> <li>・小規模な計算領域によるシミュレーションであり、実スケールへの適用（飛来物評価）の際には単純に速度を規格化して飛来物評価に適用している。</li> </ul> <p>⇒風速の規格化の際には、時間平均の最大風速を 100m/s（風速＋移動速度）に設定している。Maruyama<sup>(7)</sup>によれば、瞬間的な周方向風速は 1.7 倍程度まで大きくなる場合があり、移動速度と合わせると最大 160m/s 程度まで達するため、飛来物評価の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。</p> <p>⇒流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが、その影響については考慮していないことから、特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。</p> <p>（参考：フジタモデルを適用した場合の飛来物の飛跡）</p> <p>第 9 図にフジタモデルを適用した場合におけるコンテナの飛散解析（長さ 6m×幅 2.4m×高さ 2.6m, 2300kg, <math>CD_A/m=0.0105</math>, 最大風速 100m/s）における飛跡を示す。</p> <p>また、フジタモデルの流入層高さ <math>H_i</math> は、外部コア半径 <math>R_m=30</math>(m) の場合、<math>H_i=15</math>(m) であり、2.1 に記載のとおり他の文献<sup>(4)(6)</sup>ともおおむね整合しているが、ここでは、その不確実性を考慮し、流入層高さ <math>H_i</math> を±10%変化させた場合の飛跡も示す。</p> <p><math>H_i=15</math>(m) の際のコンテナの最大飛散距離 189.4(m)に対し、流入層高さ <math>H_i</math> を±10%変化させた場合の最大飛散距離は 183.4(m) (-3.2%), 194.7(m) (+2.8%)となり、流入層高さ <math>H_i</math> に対する最大飛散距離の感度は小さいことが分かる。</p>	<p>を仮定していることから、実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 人為的な流入境界条件（流入風速分布や流入箇所の局所的配置等）を設定していることから、流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。</li> <li>➤ 小規模な計算領域によるシミュレーションであり、実スケールへの適用（飛散解析）の際には単純に速度を規格化して適用している。</li> </ul> <p>⇒ 風速の規格化の際には、時間平均の最大風速を 100m/s（風速＋移動速度）に設定している。Maruyama<sup>(vi)</sup>によれば、瞬間的な周方向風速は 1.7 倍程度まで大きくなる場合があり、移動速度と合わせると最大 160m/s 程度まで達するため、飛散解析の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。</p> <p>⇒ 流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが、その影響については考慮していないことから、特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。</p>	<p>ている。渦の生成に当たって、以下のような条件を仮定していることから、実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人為的な流入境界条件（流入風速分布や流入箇所の局所的配置等）を設定していることから、流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。</li> <li>・小規模な計算領域によるシミュレーションであり、実スケールへの適用（飛来物評価）の際には単純に速度を規格化して飛来物評価に適用している。</li> </ul> <p>⇒風速の規格化の際には、時間平均の最大風速を 100m/s（風速＋移動速度）に設定している。Maruyama<sup>(7)</sup>によれば、瞬間的な周方向風速は 1.7 倍程度まで大きくなる場合があり、移動速度と合わせると最大 160m/s 程度まで達するため、飛来物評価の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。</p> <p>⇒流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが、その影響については考慮していないことから、特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。</p> <p>（参考：フジタモデルを適用した場合の物体の飛跡）</p> <p><u>図 9 にフジタモデルを適用した場合におけるコンテナの飛散解析（諸元：長さ 6m×幅 2.4m×高さ 2.6m, 2300kg, <math>CD_A/m=0.0105</math>, 最大風速 100m/s）における飛跡を示す。</u></p> <p><u>また、フジタモデルの流入層高さ <math>H_i</math> は、外部コア半径 <math>R_m=30</math>(m) の場合、<math>H_i=15</math>(m) であり、2.1 に記載のとおり他の文献<sup>(4)(6)</sup>ともおおむね整合しているが、ここでは、その不確実性を考慮し、流入層高さ <math>H_i</math> を±10%変化させた場合の飛跡も示す。</u></p> <p><u><math>H_i=15</math>(m) の際のコンテナの最大飛散距離 189.4(m)に対し、流入層高さ <math>H_i</math> を±10%変化させた場合の最大飛散距離は 183.4(m) (-3.2%), 194.7(m) (+2.8%)となり、流入層高さ <math>H_i</math> に対する最大飛散距離の感度は小さいことが分かる。</u></p>	<p>備考</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根 2 号炉は流入層高さの感度解析について記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="172 567 920 640">第9 図 流入層高さを变化させた場合のコンテナの飛跡(最大風速 100m/s)</p> <p data-bbox="172 703 489 735">3. 各風速場モデルの比較</p> <p data-bbox="148 745 920 997">各風速場モデルの特徴の比較を第1表に示す。また、フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を第10図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含め、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていることがフジタモデルの大きなメリットとなっている。</p> <p data-bbox="148 1018 920 1501">それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できると言えるものの、地上付近では実現象と乖離しており、地上からの飛散挙動は解析するには適切でない。ガイドで例示されているLESで生成した風速場も、2.3の通り人為的な境界条件を設定していることや、小規模領域での計算結果を定数倍して実スケールサイズの値に変換している<sup>(4)(7)</sup>ことから、地上付近での風速場が実現象と乖離していると考えられるため、地上からの飛散挙動を解析するには適切でない。また、他のモデルと比較して、フジタモデルは特に問題となるような点もないことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。</p>	<p data-bbox="1127 199 1513 231">東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)</p> <p data-bbox="934 703 1261 735">3. 各風速場モデルの比較</p> <p data-bbox="934 745 1706 955">上述の各風速場モデルの特徴の比較を第3-1表に示す。また、フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を第3-1図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含めより実際の風速場に即した形で表現されており、これがフジタモデルの大きなメリットとなっている。</p> <p data-bbox="934 1018 1706 1312">それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できると言えるものの、地上付近では実現象と乖離している。LESも同様に地上付近での風速場が実現象と乖離している。また、他のモデルと比較して、フジタモデルは特に問題となるような点も無いことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。</p>	 <p data-bbox="1751 567 2507 640">図9 流入層高さを变化させた場合のコンテナの飛跡(最大風速 100m/s)</p> <p data-bbox="1751 703 2077 735">3. 各風速場モデルの比較</p> <p data-bbox="1721 745 2507 997">各風速場モデルの特徴の比較を表1に示す。また、フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を図10に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含め、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていることがフジタモデルの大きなメリットとなっている。</p> <p data-bbox="1721 1018 2507 1501">それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できると言えるものの、地上付近では実現象と乖離しており、地上からの飛散挙動は解析するには適切でない。ガイドで例示されているLESで生成した風速場も、2.3の通り人為的な境界条件を設定していることや、小規模領域での計算結果を定数倍して実スケールサイズの値に変換している<sup>(4)(7)</sup>ことから、地上付近での風速場が実現象と乖離していると考えられるため、地上からの飛散挙動を解析するには適切でない。また、他のモデルと比較して、フジタモデルは特に問題となるような点もないことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。</p>	

第1表 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特長	問題点
フジタモデル	・竜巻飛来物設計速度、飛散高さに関する米国DOE重要施設設計基準作成に利用されている 【対象施設の例】 Pantex Plant(テキサス州)、Oak Ridge(X-10, K-25,Y-12)(テネシー州)、Savannah River Site(サウスカロライナ州)	・実観測に基づいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現している ・比較的簡易な代数式により風速場を表現できる ・流体の連続式を満たす定式化 ・ <b>地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる</b>	・特になし (ランキン渦モデルと比較すると、解析プログラムが複雑になるが、計算機能力の向上、および評価ツールの高度化により問題とならない)
ランキン渦モデル	・米国NRC Regulatory Guide 1.76で採用されている ・ガイド(設計電荷の特性値の設定)で例示されている	・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現できる	・風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する(地面からも吹き出しがある)ため、実現象から乖離 ・流体の連続式を満たしていない ・ <b>地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</b>
非定常乱流渦モデル(LES)	・ガイドにおいて、飛来物および最大速度の設定例に使用されている	・風速の時間的な変動、乱れをある程度模擬できる	ガイドに例示されているLESで生成した風速場で飛散解析を行う場合、以下の問題がある。 ・小規模領域での計算結果を、実スケールサイズに規格化するため、粘性の影響が実現象と乖離(特に地表面付近) ・人為的な境界条件を設定しており、地面や境界近傍で実現象と乖離 ・実スケールに規格化した場合の平均風速が100m/sとなるため、飛来物評価が非常に保守的な場合がある(瞬間的な最大値は160m/s程度) ・ <b>地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</b> ・実スケールでの解析は、膨大な計算機資源が必要になるため、現実的ではない



第10図 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造の比較

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

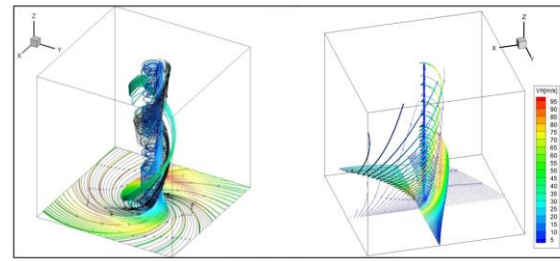
4.1 フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準<sup>(8)</sup>において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている<sup>(9)(10)</sup>(文献(8)のD.4節: Windborne missile criteriaspecified herein are based on windstorm damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.)。

この基準では、施設に要求される性能ごとにカテゴリ0から4まで分類し、カテゴリ0~2は一般的な建築物、カテゴリ3,4は核物質や危険物質を取り扱う施設に適用される。カテゴリ3,4に

第3-1表 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特徴
フジタモデル	・竜巻飛来物設計速度及び飛散高さに関する、米国DOE重要施設設計基準作成に利用されている。(「4 米国におけるフジタモデルの取扱い」参照)	・実観測に基づいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現している。 ・比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。(ランキン渦モデルよりは複雑だが、計算機能力の向上及び評価ツールの高度化により実用可能となった) ・流体の連続式を満足する
ランキン渦モデル	・米国NRCのR.G.1.76に採用されている。 ・「竜巻影響評価ガイド」(竜巻の特性値の設定)において例示されている。	・簡易な式により風速場を表現できる。 ・風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在し、地表近傍の風速場を模擬していない。 ・流体の連続式を満足しない。
非定常乱流渦モデル(LES)	・「竜巻影響評価ガイド」において、飛来物の飛散速度等の評価例が示されている。	・風速の時間的な変動や乱れを、ある程度模擬できる。 ・人為的な境界条件を設定しており、地面や境界近傍で実現象と乖離している。 ・小規模領域での計算結果を実スケールに規格化した場合、最大瞬間風速が相当に保守的となる場合がある。 ・実スケールでの解析には膨大な計算機資源が必要であり、実用に供しにくい。



第3-1図 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場の構造

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

4.1 フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省DOE (Department of Energy)が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準<sup>(8)</sup>において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている<sup>(9)(10)</sup>(文献(8)のD.4節: Windborne missile criteriaspecified herein are based on windstorm damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.)。

この基準では、施設に要求される性能ごとにカテゴリ0から4まで分類し、カテゴリ0から2は一般的な建築物、カテゴリ3及び4は核物質や危険物質を取り扱う施設に適用される。カテゴリ

表1 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特長	問題点
フジタモデル	・竜巻飛来物設計速度、飛散高さに関する米国DOE重要施設設計基準作成に利用されている 【対象施設の例】 Pantex Plant(テキサス州)、Oak Ridge(X-10, K-25,Y-12)(テネシー州)、Savannah River Site(サウスカロライナ州)	・実観測に基づいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現している ・比較的簡易な代数式により風速場を表現できる ・流体の連続式を満たす定式化 ・ <b>地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる</b>	・特になし (ランキン渦モデルと比較すると、解析プログラムが複雑になるが、計算機能力の向上、および評価ツールの高度化により問題とならない)
ランキン渦モデル	・米国NRC Regulatory Guide 1.76で採用されている ・ガイド(設計電荷の特性値の設定)で例示されている	・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現できる	・風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する(地面からも吹き出しがある)ため、実現象から乖離 ・流体の連続式を満たしていない ・ <b>地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</b>
非定常乱流渦モデル(LES)	・ガイドにおいて、飛来物および最大速度の設定例に使用されている	・風速の時間的な変動、乱れをある程度模擬できる	ガイドに例示されているLESで生成した風速場で飛散解析を行う場合、以下の問題がある。 ・小規模領域での計算結果を、実スケールサイズに規格化するため、粘性の影響が実現象と乖離(特に地表面付近) ・人為的な境界条件を設定しており、地面や境界近傍で実現象と乖離 ・実スケールに規格化した場合の平均風速が100m/sとなるため、飛来物評価が非常に保守的な場合がある(瞬間的な最大値は160m/s程度) ・ <b>地上からの飛散挙動を解析するには適切でない</b> ・実スケールでの解析は、膨大な計算機資源が必要になるため、現実的ではない

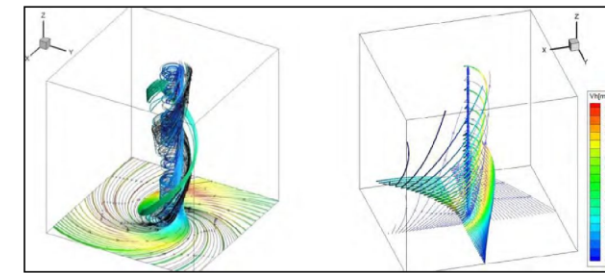


図10 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造の比較

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

4.1 フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準<sup>(8)</sup>において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている<sup>(9)(10)</sup>(文献(8)のD.4節: Windborne missile criteriaspecified herein are based on windstorm damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.)。

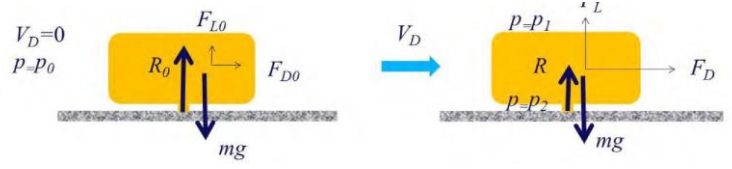
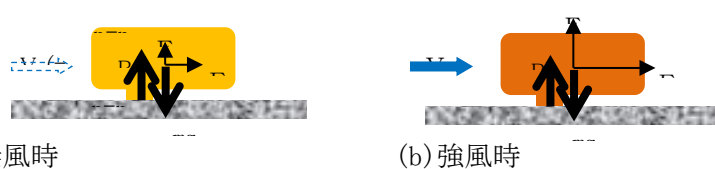
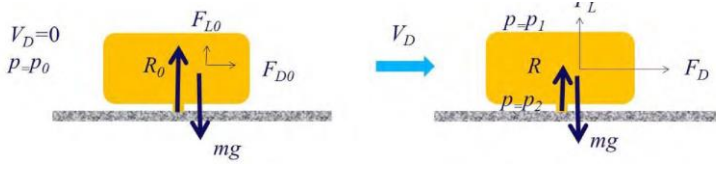
この基準では、施設に要求される性能ごとにカテゴリ0から4まで分類し、カテゴリ0~2は一般的な建築物、カテゴリ3,4は核物質や危険物質を取り扱う施設に適用される。カテゴリ3,4に

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>該当する施設として、Pantex Plant, Oak Ridge(X-10, K-25, Y-12), Savannah River Site が挙げられている。</p> <p>フジタモデルの技術的な妥当性の検証については、米国 DOE 管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>にてまとめられている。この報告書では、フジタモデル DBT-77 を他の風速場モデルと比較検討しており、流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied) こと、モデル流況は、竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies) こと等を利点として挙げている。</p> <p>また、実際の事例に対するフジタモデルの検証としては、1978年12月3日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛来について、フジタモデル DBT-77 で再現した事例<sup>(9)</sup> がローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>及び米国気象学会論文集<sup>(12)</sup>に掲載されている。</p> <p>なお、米国 LES (Louisiana Energy Services) の濃縮施設 (NEF : National Enrichment Facility) では、上記の DOE 施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼鉄パイプや木材の板等) を設定しており、米国 NRC は当該施設に対する安全評価報告書 (NUREG-1827)<sup>(13)</sup>の中で竜巻飛来物に対する LES の竜巻設計を是認している。</p> <p>(Based on the review of the information concerning tornados and tornado-generated missiles,NRC concludes: (i) the information is accurate and is from reliable sources; and (ii)the design bases tornado-generated missiles are acceptable because they were determined based on an appropriate DOE standard. The use of a DOE standard is an acceptable approach to NRC staff.)</p> <p>4.2 NRC ガイドでの取扱い</p> <p>2.1 でも述べたとおり、フジタモデルは実際の竜巻風速場をモデル化したいという米国 NRC の要請を受けて考案されたものであるが、米国 NRC Regulatory Guide 1.76<sup>(2)</sup>では、フジタモデルについて “The NRC staff chose the Rankine combined vortex model for its simplicity, as compared to the model developed by T.</p>	<p>3及び4に該当する施設として、Pantex Plant, Oak Ridge(X-10, K-25, Y-12), Savannah River Site が挙げられている。</p> <p>フジタモデルの技術的な妥当性の検証については、米国DOE管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(x i)</sup>にてまとめられている。この報告書では、フジタモデルDBT-77を他の風速場モデルと比較検討しており、「流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied)」こと、「モデル流況は、竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies)」こと等を利点として挙げている。</p> <p>また、実際の事例に対するフジタモデルの検証としては、1978年12月3日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛散について、フジタモデルDBT-77で再現した事例<sup>(9)</sup>がローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>及び米国気象学会論文集<sup>(x ii)</sup>に掲載されている。</p> <p>なお、米国LES (Louisiana Energy Services) の濃縮施設NEF (National Enrichment Facility) では、上記のDOE施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼鉄パイプや木材の板等) を設定しており、米国NRCは当該施設に対する安全評価報告書 (NUR E G-1827)<sup>(x iii)</sup>の中で竜巻飛来物に対するLESの設計を是認している。</p> <p>(“Based on the review of the information concerning tornados and tornado-generated missiles, NRC concludes: (i) the information is accurate and is from reliable sources; and (ii) <u>the design bases tornado-generated missiles are acceptable because they were determined based on an appropriate DOE standard. The use of a DOE standard is an acceptable approach to NRC staff.</u>”)</p> <p>4.2 NRCガイドでの取扱い</p> <p>2.1節でも述べた通り、フジタモデルは実際の竜巻風速場をモデル化したいという米国NRCの要請を受けて考案されたものであるが、米国NRCのRegulatory Guide 1.76<sup>(1)</sup>では、フジタモデルについて “The NRC staff chose the Rankine combined vortex model for its simplicity, as compared to the model developed</p>	<p>該当する施設として、Pantex Plant, Oak Ridge(X-10, K-25, Y-12), Savannah River Site が挙げられている。</p> <p>フジタモデルの技術的な妥当性の検証については、米国 DOE 管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>にてまとめられている。この報告書では、フジタモデル DBT-77 を他の風速場モデルと比較検討しており、流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations of continuity are satisfied) こと、モデル流況は、竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する (Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies) こと等を利点として挙げている。</p> <p>また、実際の事例に対するフジタモデルの検証としては、1978年12月3日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛来について、フジタモデル DBT-77 で再現した事例<sup>(9)</sup> がローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(11)</sup>及び米国気象学会論文集<sup>(12)</sup>に掲載されている。</p> <p>なお、米国 LES (Louisiana Energy Services) の濃縮施設 (NEF : National Enrichment Facility) では、上記の DOE 施設の基準に基づき竜巻飛来物 (鋼鉄パイプや木材の板等) を設定しており、米国 NRC は当該施設に対する安全評価報告書 (NUREG-1827)<sup>(13)</sup>の中で竜巻飛来物に対する LES の竜巻設計を是認している。</p> <p>(Based on the review of the information concerning tornados and tornado-generated missiles,NRC concludes: (i) the information is accurate and is from reliable sources; and (ii)the design bases tornado-generated missiles are acceptable because they were determined based on an appropriate DOE standard. The use of a DOE standard is an acceptable approach to NRC staff.)</p> <p>4.2 NRC ガイドでの取扱い</p> <p>2.1 でも述べたとおり、フジタモデルは実際の竜巻風速場をモデル化したいという米国 NRC の要請を受けて考案されたものであるが、米国 NRC Regulatory Guide 1.76<sup>(2)</sup>では、フジタモデルについて “The NRC staff chose the Rankine combined vortex model for its simplicity, as compared to the model developed by T.</p>	

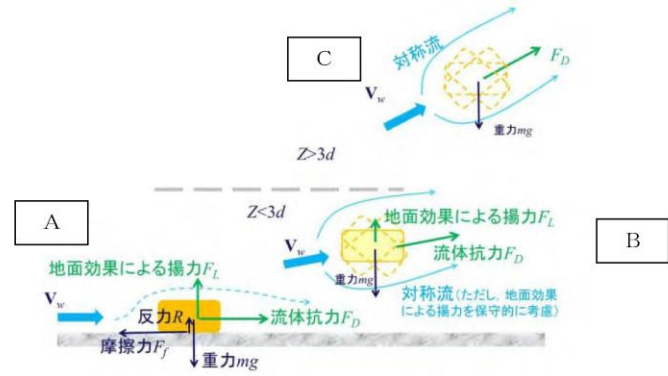
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>Fujita (Ref. 7).”と述べられており、単に数式の簡易さを理由にランキン渦モデルが選定されている。また、NRC スタッフ自身で水平方向の飛来物速度 (Simiu らの運動方程式<sup>(3)</sup>) を計算するプログラムを開発している (The NRC staff developed a computer program to calculate the maximum horizontal missile speeds by solving these equations.)ことが明記されている。</p> <p>したがって、米国 NRC ガイドでランキン渦モデルが採用されているのは、フジタモデルより簡易であるという理由が主であり、竜巻風速場としての優劣を指摘されたものではない。</p> <p>(参考) 米国におけるランキン渦モデル以外の風速場モデルの利用実績</p> <p>米国 NRC では、竜巻防護対策の追加を検討しているプラントに対し、確率論的竜巻飛来物評価手法 TORMIS の利用を承認している。</p> <p>TORMIS は、米国の EPRI で開発され、原子力発電所の構造物・機器への竜巻飛来物の衝突・損傷確率を予測する計算コードであり、同コードでは、ランキン渦モデル以外の風速場モデル (統合風速場モデル) が利用されていることから、米国 NRC においても、ランキン渦モデル以外の風速場モデルが認められていないわけではない。</p> <p>5. 飛来物評価における不確定性の考慮</p> <p>前節まででは、フジタモデルの風速場を適用することの妥当性について述べてきた。フジタモデルの風速場を適用することで、より現実的な竜巻影響評価を行うことが可能と考えられるが、一方で、実際の竜巻による物体の飛散挙動の不確定性についても考慮する必要がある。</p> <p>本節では、フジタモデルの特長である地上からの飛散挙動に関する不確定性や、竜巻が物体と衝突する際の竜巻風速に関する不確定性等について、飛来物評価の中でどのように考慮しているかを説明する。</p> <p>5.1 物体の浮上・飛来モデルにおける不確定性の考慮</p> <p>本評価における物体の浮上・飛来モデルの考え方と、その中で</p>	<p>by T. Fujita.”と述べられており、数式の簡易さを理由にランキン渦モデルが選定されている。また、NRC スタッフ自身で水平方向の飛散速度 (Simiu らの運動方程式<sup>(2)</sup>) を計算するプログラムを開発している (“The NRC staff developed a computer program to calculate the maximum horizontal missile speeds by solving these equations.”)ことが明記されている。</p> <p>したがって、米国 NRC ガイドでランキン渦モデルが採用されているのは、フジタモデルより簡易であるという理由が主であり、竜巻風速場としての優劣を指摘されたものではない。</p> <p>(参考) 米国におけるランキン渦モデル以外の風速場モデルの利用実績</p> <p>米国 NRC では、竜巻防護対策の追加を検討しているプラントに対し、確率論的竜巻飛来物評価手法 TORMIS の利用を承認している。</p> <p>TORMIS は、米国の EPRI で開発された原子力発電所の構造物、機器への竜巻飛来物の衝突及び損傷確率を予測する計算コードであり、同コードでは、ランキン渦モデル以外の風速場モデル (統合風速場モデル) が利用されている。(米国 NRC においても、ランキン渦モデル以外の風速場モデルが認められていないわけではない)</p> <p>5. 飛散解析における保守性の考慮</p> <p>前節までに述べてきたとおり、フジタモデルの風速場を適用することで、より現実的な竜巻影響評価を行うことが可能と考えられるが、一方で、実際の竜巻による物体の飛散挙動の保守性についても考慮する必要がある。</p> <p>本節では、フジタモデルを用いた地上からの飛散挙動解析に関する保守性や、物体が竜巻に晒される際の風速に関する不確定性等について、飛散解析の中でどのように考慮しているかについて説明する。</p> <p>5.1 物体の浮上、飛散モデルにおける保守性の考慮</p> <p>本評価における物体の浮上・飛散モデルの考え方と、その中で</p>	<p>Fujita (Ref. 7).”と述べられており、単に数式の簡易さを理由にランキン渦モデルが選定されている。また、NRC スタッフ自身で水平方向の飛来物速度 (Simiu らの運動方程式<sup>(3)</sup>) を計算するプログラムを開発している (The NRC staff developed a computer program to calculate the maximum horizontal missile speeds by solving these equations.)ことが明記されている。</p> <p>したがって、米国 NRC ガイドでランキン渦モデルが採用されているのは、フジタモデルより簡易であるという理由が主であり、竜巻風速場としての優劣を指摘されたものではない。</p> <p>(参考) 米国におけるランキン渦モデル以外の風速場モデルの利用実績</p> <p>米国 NRC では、竜巻防護対策の追加を検討しているプラントに対し、確率論的竜巻飛来物評価手法 TORMIS の利用を承認している。</p> <p>TORMIS は、米国の EPRI で開発され、原子力発電所の構造物・機器への竜巻飛来物の衝突・損傷確率を予測する計算コードであり、同コードでは、ランキン渦モデル以外の風速場モデル (統合風速場モデル) が利用されていることから、米国 NRC においても、ランキン渦モデル以外の風速場モデルが認められていないわけではない。</p> <p>5. 飛来物評価</p> <p>前節まででは、フジタモデルの風速場を適用することの妥当性について述べてきた。フジタモデルの風速場を適用することで、より現実的な竜巻影響評価を行うことが可能と考えられるが、一方で、実際の竜巻による風速場や物体の飛散挙動の不確定性についても考慮する必要がある。</p> <p>本節では、<u>地表面付近の風速場</u>、フジタモデルの特長である地上からの飛散挙動及び竜巻が物体と衝突する際の竜巻風速に関する不確定性等について、飛来物評価の中でどのように考慮しているかを説明する。</p> <p>5.1 物体の浮上・飛来モデルにおける不確定性の考慮</p> <p>本評価における物体の浮上・飛来モデルの考え方と、その中で</p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 東海第二】</p> <p>島根 2 号炉はフジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性についても記載している</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>保守性の観点から評価上考慮している点について説明する。</p> <p>(1) 物体の揚力の計算式</p> <p>物体が空中にある場合、物体に作用する力は、ガイドの飛来物運動モデル<sup>(3)(4)</sup>と同様に、飛来物は第11-1図のようにランダムに回転しているものとし、平均的な抗力(流れの速度方向に平行な力) <math>F_D</math> と重力のみが作用する飛行モデルを採用している。</p> <p>一方、物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は、地面効果による揚力(次頁参照)を考慮している<sup>(14)</sup>。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関して対称であっても、第11-2図に示すように地面の存在により流れが非対称になり、物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから、これを揚力 <math>F_L</math> として考慮する。</p> <div data-bbox="154 892 905 1081"> </div> <p>第11-1図 空中で飛来物へ作用する力      第11-2図 地面付近で飛来物へ作用する力</p> <p>このような揚力 <math>F_L</math> は地面での揚力係数 <math>C_L</math>、地上での物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) <math>a</math> を用いて、以下のように表される<sup>(15)</sup>。</p> $F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a  \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{x,y}^2 \quad (6)$ <p>ただし、<math>\rho</math> は空気密度、<math>\mathbf{V}_M</math> は飛来物の速度ベクトル、<math>\mathbf{V}_w</math> は風速ベクトル、<math> * _{x,y}</math> は*の <math>x, y</math> 成分(水平成分)の大きさを表す。</p> <p>(参考) 地上の物体における地面効果による揚力について 物体や地面は完全な滑面ではなく、凹凸を有しているため、完全接触と非接触の領域に区別される。物体の地面への投影面積を <math>A</math> とし、物体と地面の完全接触面積を <math>s</math> とした場合、無風時(第12図の左)は物体が流体に接する全表面で圧力は一定(<math>p_0</math>)とみな</p>	<p>保守性の観点から考慮している点について説明する。</p> <p>(1) 物体の揚力の計算式</p> <p>物体が空中にある場合、物体に作用する力は、「竜巻影響評価ガイド」の飛来物運動モデル<sup>(2)(3)</sup>と同様に、飛来物は第5.1-1図(a)のようにランダムに回転しているものとし、平均的な抗力(流れの速度方向に平行な力) <math>F_D</math> と重力のみが作用する飛行モデルを採用している。</p> <p>一方、物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は、地面効果による揚力を考慮している<sup>(xiv)</sup>。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関して対称であっても、第5.1-1図(b)に示すように地面の存在により流れが非対称になり、物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから、これを揚力 <math>F_L</math> として考慮する。</p> <div data-bbox="994 871 1676 1081"> </div> <p>(a) 空中      (b) 地表付近</p> <p>第5.1-1図 物体へ作用する力</p> <p>このような揚力 <math>F_L</math> は、地表付近での揚力係数 <math>C_L</math> 及び物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) <math>a</math> を用いて、以下のように表される。</p> $F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a  \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{x,y}^2 \quad (7)$ <p>ここで、<math>\rho</math> は空気密度、<math>\mathbf{V}_M</math> は飛来物の速度ベクトル、<math>\mathbf{V}_w</math> は風速ベクトル、<math> \alpha _{x,y}</math> はベクトル <math>\alpha</math> の <math>x, y</math> 成分(水平成分)の大きさを表す。</p> <p>(参考) 地上の物体における地面効果による揚力について 物体や地面は完全な滑面ではなく凹凸を有しているため、完全接触と非接触の領域に区別される。物体の地面への投影面積を <math>A</math> とし、物体と地面の完全接触面積を <math>s</math> とした場合、無風時(第5.1-2図の(a))は物体が流体に接する全表面で圧力は一定(<math>p_0</math>)とみな</p>	<p>保守性の観点から評価上考慮している点について説明する。</p> <p>(1) 物体の揚力の計算式</p> <p>物体が空中にある場合、物体に作用する力は、ガイドの飛来物運動モデル<sup>(3)(4)</sup>と同様に、物体は図11-1のようにランダムに回転しているものとし、平均的な抗力(流れの速度方向に平行な力) <math>F_D</math> と重力のみが作用する飛行モデルを採用している。</p> <p>一方、物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は、地面効果による揚力(次頁参照)を考慮している<sup>(14)</sup>。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関して対称であっても、図11-2に示すように地面の存在により流れが非対称になり、物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから、これを揚力 <math>F_L</math> として考慮する。</p> <div data-bbox="1736 892 2478 1081"> </div> <p>図11-1 空中で物体へ作用する力      図11-2 地面付近で物体へ作用する力</p> <p>このような揚力 <math>F_L</math> は地面での揚力係数 <math>C_L</math>、地上での物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) <math>a</math> を用いて、以下のように表される<sup>(15)</sup>。</p> $F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a  \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{x,y}^2 \quad (6)$ <p>ただし、<math>\rho</math> は空気密度、<math>\mathbf{V}_M</math> は物体の速度ベクトル、<math>\mathbf{V}_w</math> は風速ベクトル、<math> * _{x,y}</math> は*の <math>x, y</math> 成分(水平成分)の大きさを表す。</p> <p>(参考) 地上の物体における地面効果による揚力について 物体や地面は完全な滑面ではなく、凹凸を有しているため、完全接触と非接触の領域に区別される。物体の地面への投影面積を <math>A</math> とし、物体と地面の完全接触面積を <math>s</math> とした場合、無風時(図12の左)は物体が流体に接する全表面で圧力は一定(<math>p_0</math>)とみなせ</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>せるため、鉛直方向（上向き）に作用する揚力 <math>F_{L0}</math> は、以下で与えられる。</p> $F_{L0} = -p_0 A + p_0(A-s) = -p_0 s \quad (7)$ <p>吸盤のように完全に地面に密着している場合は <math>s=A</math> となるため、大気圧 <math>p_0</math> に投影面積 <math>A</math> を乗じた力が下向きに作用し、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、大気圧 <math>p_0</math> に完全接触面積 <math>s</math> を乗じた力が下向きに作用することになるため、いずれの場合においても揚力は発生しないことが分かる。</p> <p>一方、竜巻通過時（第 12 図の右）の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力 <math>p_1</math>、下面での圧力 <math>p_2</math> と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 <math>F_L</math> は、以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても圧力の表面積分を用いれば同様に計算は可能）。</p> $F_L = -p_1 A + p_2(A-s) \quad (8)$ <p>吸盤のように完全に地面に密着している場合は <math>s=A</math> となるため、上面の圧力 <math>p_1</math> に投影面積 <math>A</math> を乗じた力が下向きに作用するが、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。実際には、地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから、本評価においては、保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。</p>  <p>第 12 図 部分的に地面に接する物体に作用する力 (左：無風時，右：強風時，<math>R_0</math>，<math>R</math>：無風時，強風時における垂直抗力)</p> <p>(2) 揚力係数の設定</p>	<p>と見なせるため、鉛直方向（上向きを正とする）に作用する揚力 <math>F_{L0}</math> は以下で与えられる。</p> $F_{L0} = -p_0 A + p_0(A-s) = -p_0 s \quad (8)$ <p>ここで、<math>0 &lt; s \leq A</math> であることから、<math>F_{L0}</math> は負の値となり、揚力は発生しないことが分かる。</p> <p>一方、竜巻通過時（第 5.1-2 図の(b)) の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力を <math>p_1</math>、下面での圧力を <math>p_2</math> と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 <math>F_L</math> は以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても、圧力の表面積分を用いれば同様に計算可能）。</p> $F_L = -p_1 A + p_2(A-s) \quad (9)$ <p>吸盤の様に完全に地面に密着している場合は <math>s=A</math> となるため、上面の圧力 <math>p_1</math> に投影面積 <math>A</math> を乗じた力が下向きに作用するが、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。</p> <p>実際には、地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから、本評価においては、保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。</p>  <p>第 5.1-2 図 部分的に地面に接する物体に作用する力</p> <p>(2) 揚力係数の設定</p>	<p>るため、鉛直方向（上向き）に作用する揚力 <math>F_{L0}</math> は、以下で与えられる。</p> $F_{L0} = -p_0 A + p_0(A-s) = -p_0 s \quad (7)$ <p>吸盤のように完全に地面に密着している場合は <math>s=A</math> となるため、大気圧 <math>p_0</math> に投影面積 <math>A</math> を乗じた力が下向きに作用し、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、大気圧 <math>p_0</math> に完全接触面積 <math>s</math> を乗じた力が下向きに作用することになるため、いずれの場合においても揚力は発生しないことが分かる。</p> <p>一方、竜巻通過時（図 12 の右）の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力 <math>p_1</math>、下面での圧力 <math>p_2</math> と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 <math>F_L</math> は、以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても圧力の表面積分を用いれば同様に計算は可能）。</p> $F_L = -p_1 A + p_2(A-s) \quad (8)$ <p>吸盤のように完全に地面に密着している場合は <math>s=A</math> となるため、上面の圧力 <math>p_1</math> に投影面積 <math>A</math> を乗じた力が下向きに作用するが、物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には、地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。実際には、地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから、本評価においては、保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。</p>  <p>図 12 部分的に地面に接する物体に作用する力 (左：無風時，右：強風時，<math>R_0</math>，<math>R</math>：無風時，強風時における垂直抗力)</p> <p>(2) 揚力係数の設定</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(6)式の <math>C_{L,a}</math> は風洞実験から求められる値であるが、実験条件(風を受ける方向等)により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。</p> <p>本評価では、条件によらず保守性を確保できるよう、<math>C_{L,a}</math> に代わり以下で定義される抗力係数と見附面積の積の平均値 <math>C_D A</math> を用いることとする。</p> $C_D A = \frac{1}{3}(C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z) \quad (9)$ <p>ここで、<math>C_{Dx}</math> は空中での x 軸方向流れに対する抗力係数、<math>A_x</math> は x 軸方向流れに対する見附面積であり、その他も同様である。</p> <p>飛来物の運動モデルを第 13 図に示す。上記(9)式の考え方は、第 13 図に当てはめ整理すると以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体がある程度浮き上がった後の状態(第 13 図の状態 B)であれば、物体はランダム回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられること。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(第 13 図の状態 A)から、実際に浮き上がる際には、物体の上面や下面での圧力が均一ではなく、傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが、このような挙動を理論的に評価することは難しい。そのため、これに準ずる方法として、評価に用いる係数は、地面から浮かせた状態で実測された <math>C_{L,a}</math> のうち、物体が地面に置かれた状態(第 13 図の状態 A)にできる限り近い場合の値よりも大きな係数を用いることで、保守性は確保できると考えられること。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(第 13 図の状態 A)と物体がある程度浮き上がった状態(第 13 図の状態 B)での評価にて、共通の係数を用いることは、地上からの物体浮上・飛散評価における実用性の観点からも望ましいこと。</li> </ul>	<p>(7)式の <math>C_{L,a}</math> は風洞実験から求められる値であるが、実験条件(風を受ける方向等)により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。本評価では、条件によらず保守性を確保できるよう、<math>C_{L,a}</math> に代わり、以下で定義される抗力係数と見付面積の積の平均値 <math>C_D A</math> を用いることとする。</p> $C_D A = \frac{1}{3}(C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z) \quad (10)$ <p>ここで、<math>C_{Di}</math> は空中での i 軸方向流れに対する抗力係数、<math>A_i</math> は i 軸方向流れに対する見付面積を示す。</p> <p>物体の運動モデルを第 5.1-3 図に示す。上述の <math>C_{L,a}</math> を <math>C_D A</math> で代用する考え方を本図に基づき整理すると、以下のとおりとなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体がある程度浮き上がった後の状態(B)であれば、物体はランダムに回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられること。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(A)から浮き上がる場合、実際には物体の上面や下面での圧力が均一ではなく、傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが、このような挙動を理論的に評価することは難しい。そのため、これに準ずる方法として、地面から浮かせた状態で実測された <math>C_{L,a}</math> のうち、物体が地面に置かれた状態(A)にできる限り近い場合の値よりも大きな係数 <math>C_D A</math> を用いることで、保守性は確保できると考えられる(「<math>C_D A &gt; C_{L,a}</math>」となることの説明は後述)。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(A)と物体がある程度浮き上がった状態(B)での評価にて共通の係数を用いることは、地上からの物体浮上及び飛散解析における実用性の観点からも望ましい。</li> </ul> <p>物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は、地面における揚力係数 <math>C_L</math> 見付面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> をより大きな値で置き換えて、浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり、この保守的な代用値として <math>C_D A</math> の利用が適切であることを以下に説明する。</p>	<p>(6)式の <math>C_{L,a}</math> は風洞実験から求められる値であるが、実験条件(風を受ける方向等)により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。</p> <p>本評価では、条件によらず保守性を確保できるよう、<math>C_{L,a}</math> に代わり以下で定義される抗力係数と見附面積の積の平均値 <math>C_D A</math> を用いることとする。</p> $C_D A = \frac{1}{3}(C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z) \quad (9)$ <p>ここで、<math>C_{Dx}</math> は空中での x 軸方向流れに対する抗力係数、<math>A_x</math> は x 軸方向流れに対する見附面積であり、その他も同様である。</p> <p>物体の運動モデルを図 13 に示す。上記(9)式の考え方は、図 13 に当てはめ整理すると以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体がある程度浮き上がった後の状態(図 13 の状態 B)であれば、物体はランダム回転し、物体各面に均等に風を受けるものと考えられること。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(図 13 の状態 A)から、実際に浮き上がる際には、物体の上面や下面での圧力が均一ではなく、傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが、このような挙動を理論的に評価することは難しい。そのため、これに準ずる方法として、評価に用いる係数は、地面から浮かせた状態で実測された <math>C_{L,a}</math> のうち、物体が地面に置かれた状態(図 13 の状態 A)にできる限り近い場合の値よりも大きな係数を用いることで、保守性は確保できると考えられること。</li> <li>物体が地面に置かれた状態(図 13 の状態 A)と物体がある程度浮き上がった状態(図 13 の状態 B)での評価にて、共通の係数を用いることは、地上からの物体浮上・飛散評価における実用性の観点からも望ましいこと。</li> </ul>	



第 13 図 飛来物の運動モデルの模式図

(A : 地面上, B :  $Z < 3d$  の高度範囲, C :  $Z > 3d$  の高度範囲, ただし,  $Z = z - d/2$ ,  $d$  : 物体高さ)

物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は、地面における揚力係数  $C_L$  と見附面積  $a$  の積  $C_L a$  をより大きな値で置き換えて、浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり、この保守的な代用値として飛行定数  $C_D A/m$  と同類の  $C_D A$  の利用が適切であることを以下で説明する。

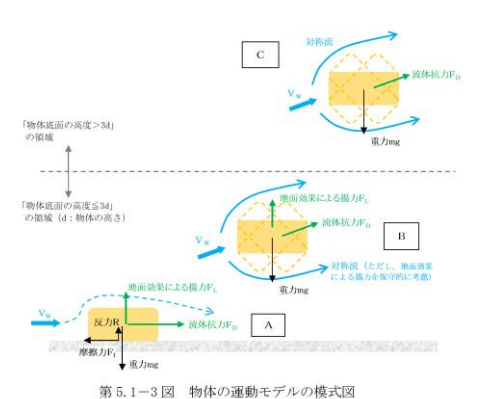
物体が風速  $U$  を受ける場合の揚力係数  $C_L$  は、一般にその定義により揚力  $F_L$  と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a \quad (10)$$

これを変形すると、 $C_L a = 2F_L / \rho U^2$  となり、風速、風向及び物体の向きが一定であれば、揚力  $FL$  及び速度圧  $q = 1/2 \rho U^2$  は見附面積  $a$  の取り方には無関係の物理量であるので、 $C_L a$  も見附面積  $a$  の取り方（風向投影面積や揚力方向投影面積）に依存しないことが分かる。

一方、同じ風速  $U$  が同じ物体に作用する場合であっても、地面に置かれた物体の向きと風向の関係によって積  $C_L a$  は変化する。（例えば、円柱の長手方向と風向が平行な場合の揚力は小さいが、直角の場合には最大となる）

そこで、典型的な塊状物体・柱状物体・板状物体が地面に置かれた場合の  $C_L a$  の最大値（又は、それに近い値）の実測結果と物体の幾何学形状のみで決定される  $C_D A$  の値を比較する。（第 2 表）



第 5.1-3 図 物体の運動モデルの模式図

物体が風速  $U$  を受ける場合の揚力係数  $C_L$  は、一般にその定義により揚力  $F_L$  と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a$$

ここで、典型的な塊状物体、柱状物体及び板状物体が地面に置かれた場合の  $C_L a$  の最大値（又はそれに近い値）の実測結果と、物体の幾何学形状のみで決定される  $C_D A$  の値を比較した。（第 5.1

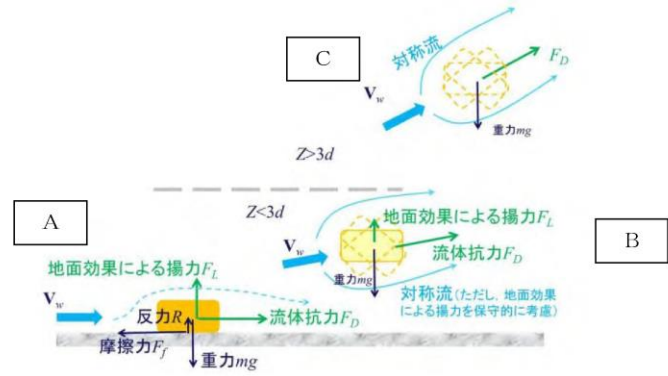


図 13 物体の運動モデルの模式図

(A : 地面上, B :  $Z < 3d$  の高さの範囲, C :  $Z > 3d$  の高さの範囲, ただし,  $Z = z - d/2$ ,  $d$  : 物体高さ)

物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は、地面における揚力係数  $C_L$  と見附面積  $a$  の積  $C_L a$  をより大きな値で置き換えて、浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり、この保守的な代用値として飛行定数  $C_D A/m$  と同類の  $C_D A$  の利用が適切であることを以下で説明する。

物体が風速  $U$  を受ける場合の揚力係数  $C_L$  は、一般にその定義により揚力  $F_L$  と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L a \quad (10)$$

これを変形すると、 $C_L a = 2F_L / \rho U^2$  となり、風速、風向及び物体の向きが一定であれば、揚力  $FL$  及び速度圧  $q = 1/2 \rho U^2$  は見附面積  $a$  の取り方には無関係の物理量であるので、 $C_L a$  も見附面積  $a$  の取り方（風向投影面積や揚力方向投影面積）に依存しないことが分かる。

一方、同じ風速  $U$  が同じ物体に作用する場合であっても、地面に置かれた物体の向きと風向の関係によって積  $C_L a$  は変化する。（例えば、円柱の長手方向と風向が平行な場合の揚力は小さいが、直角の場合には最大となる）

そこで、典型的な塊状物体・柱状物体・板状物体が地面に置かれた場合の  $C_L a$  の最大値（又は、それに近い値）の実測結果と物体の幾何学形状のみで決定される  $C_D A$  の値を比較する。（表 2）

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>第2表より、<math>C_D A &gt; C_{L,a}</math>の関係が成立しており、<math>C_{L,a}</math>の代用として<math>C_D A</math>の利用が適切であることが確認できる。なお、<math>C_D A</math>は各方向の抗力係数と見附面積の積の平均値であり、例えば、一辺<math>d</math>の立方体では<math>C_D A = 2d^2</math>、一辺<math>d</math>の平板では<math>C_D A = 0.66d^2</math>となる。両者には約3倍の違いがあるが、いずれの場合も実際の<math>C_{L,a}</math>値よりも大きな値であり、揚力の評価モデルとして<math>C_{L,a}</math>値の代わりに<math>C_D A</math>を用いることで保守性は確保できる。</p> <p>また、以上の揚力のモデル化の説明は浮上時(第13図の状態A)に対するものであるが、この揚力が物体高さの3倍までの飛散高度の範囲で連続的に低減するように作用するようにモデル化しており、第13図の状態A、B、Cの全領域で揚力の連続性が確保されている。</p>	<p>-1表)</p> <p>同表より、「<math>C_D A &gt; C_{L,a}</math>」の関係が成立しており、揚力の評価モデルとして<math>C_{L,a}</math>の代わりに<math>C_D A</math>を用いることで保守性は確保できる。</p> <p>また、以上の揚力のモデル化の説明は浮上時(第5.1-3図A)に対するものであるが、この揚力が物体高さの3倍までの飛散高度の範囲で連続的に低減するように作用するようにモデル化しており、第5.1-3図の状態A、B及びCの全領域で揚力の連続性が確保されている。</p>	<p>表2より、<math>C_D A &gt; C_{L,a}</math>の関係が成立しており、<math>C_{L,a}</math>の代用として<math>C_D A</math>の利用が適切であることが確認できる。なお、<math>C_D A</math>は各方向の抗力係数と見附面積の積の平均値であり、例えば、一辺<math>d</math>の立方体では<math>C_D A = 2d^2</math>、一辺<math>d</math>の平板では<math>C_D A = 0.66d^2</math>となる。両者には約3倍の違いがあるが、いずれの場合も実際の<math>C_{L,a}</math>値よりも大きな値であり、揚力の評価モデルとして<math>C_{L,a}</math>値の代わりに<math>C_D A</math>を用いることで保守性は確保できる。</p> <p>また、以上の揚力のモデル化の説明は浮上時(図13の状態A)に対するものであるが、この揚力が物体高さの3倍までの高さの範囲で連続的に低減するように作用するようにモデル化しており、図13の状態A、B、Cの全領域で揚力の連続性が確保されている。</p>	



第2表 主な物体のC<sub>p</sub>Aと地面に置かれた物体のC<sub>l</sub>a(実測値)の大小関係(1/2)

形状	物体	仕様	C <sub>p</sub> A <sup>※1</sup>	C <sub>l</sub> a(実測値)	C <sub>l</sub> a(実測値)に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart (長さ16.7ft., 幅5.8ft., 高さ4.3ft.)	129ft. <sup>2</sup>	48.7ft. <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (風速22~31m/s, Re=2.8x10<sup>6</sup>~4.0x10<sup>6</sup>)</li> <li>C<sub>l</sub>aが最大となる流入角での値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		1/6縮尺模型 (セダン:長さ4.85m, 幅1.79m, 高さ1.42m, 質量1633kg)	12.07m <sup>2</sup>	7.76m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(22)</sup> (風速0~150m/s, Re=0~3.0x10<sup>6</sup>)</li> <li>4つのタイヤに作用する地面からの反力のうち, 少なくとも一つがゼロとなった時点の風速UからC<sub>l</sub>a値を計算 (C<sub>l</sub>a=2mg/ρU<sup>2</sup>)</li> <li>C<sub>l</sub>aが最大となる流入角での値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		1/6縮尺模型 (ミニバン:長さ5.12m, 幅1.94m, 高さ1.69m, 質量2086kg)	14.58m <sup>2</sup>	7.89m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (Re=8.0x10<sup>3</sup>~2.8x10<sup>4</sup>)</li> <li>流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
柱状	立方体	一辺の長さD	2D <sup>2</sup>	0.2D <sup>2</sup> 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (Re=1.3x10<sup>6</sup>)</li> <li>流入方向と円柱の軸直方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.05Dλ~0.23Dλ	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験 (Re=3.5x10<sup>4</sup>~1.2x10<sup>5</sup>)</li> <li>流入方向と円柱の軸直方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載 (電力中央研究所風洞実験)</li> </ul>
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) <sup>※2</sup>	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (Re=8.0x10<sup>3</sup>~2.8x10<sup>4</sup>)</li> <li>流入方向と角柱の軸直方向が垂直となる配置 (角柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
柱状	角柱	長さλ, 高さD, 幅Bの長方形断面	0.4(D+B)λ	負値(地面との隙間が0.167D以上の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験 (Re=3.8x10<sup>4</sup>)</li> <li>流入方向と角柱の軸直方向が垂直になる配置(角柱の軸方向は地面と平行)</li> <li>長方形断面 (アスペクト比4:3)の角柱は地面から0.167D以上離れると揚力は負となる (電力中央研究所風洞実験)</li> </ul>

第5.1-1表 主な物体のC<sub>p</sub>Aと地面に置かれた物体のC<sub>l</sub>a(実測値) (1/2)

形状	物体	仕様	C <sub>p</sub> A <sup>※1</sup>	C <sub>l</sub> a(実測値)	C <sub>l</sub> a(実測値)に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart (長さ16.7ft., 幅5.8ft., 高さ4.3ft.)	129ft. <sup>2</sup>	48.7ft. <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (風速22m/s~31m/s, Re=2.8x10<sup>6</sup>~4x10<sup>6</sup>)</li> <li>C<sub>l</sub>aが最大となる流入角での値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		1/6縮尺模型 (セダン:長さ4.85m, 幅1.79m, 高さ1.42m, 質量1633kg)	12.07m <sup>2</sup>	7.76m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (風速0~150m/s, Re=0~3x10<sup>6</sup>)</li> <li>4つのタイヤに作用する地面からの反力のうち, 少なくとも1つがゼロとなった時点の風速UからC<sub>l</sub>a値を計算 (C<sub>l</sub>a=2mg/ρU<sup>2</sup>)</li> <li>C<sub>l</sub>aが最大となる流入角での値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		1/6縮尺模型 (ミニバン:長さ5.12m, 幅1.94m, 高さ1.69m, 質量2086kg)	14.58m <sup>2</sup>	7.89m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (Re=8,000~28,000)</li> <li>流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
柱状	立方体	一辺の長さD	2D <sup>2</sup>	0.2D <sup>2</sup> 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(16)</sup> (Re=1.3x10<sup>6</sup>)</li> <li>流入方向と円柱の軸直方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.05Dλ~0.23Dλ	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験 (Re=3.5x10<sup>4</sup>~1.2x10<sup>5</sup>)</li> <li>流入方向と円柱の軸直方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) <sup>※2</sup>	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路試験<sup>(17)</sup> (Re=8,000~28,000)</li> <li>長方形断面 (アスペクト比4:3)の角柱は地面から0.167D以上離れると揚力は負となる (電中研風洞実験)</li> <li>流入方向と角柱の軸直方向が垂直となる配置 (角柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
柱状	角柱	長さλ, 高さD, 幅Bの長方形断面	0.4(D+B)λ	負値(地面との隙間が0.167D以上の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験 (Re=3.8x10<sup>4</sup>)</li> <li>流入方向と角柱の軸直方向が垂直になる配置(角柱の軸方向は地面と平行)</li> <li>長方形断面 (アスペクト比4:3)の角柱は地面から0.167D以上離れると揚力は負となる (電力中央研究所風洞実験)</li> </ul>

※1 柱状及び板状では微小項を無視して記載

※2 塊状と見なせる場合

表2 主な物体のC<sub>p</sub>Aと地面に置かれた物体のC<sub>l</sub>a(実測値)の比較

形状	物体	仕様	C <sub>p</sub> A <sup>※1</sup>	C <sub>l</sub> a(実測値)	C <sub>p</sub> A/C <sub>l</sub> a	C <sub>l</sub> a(実測値)に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart (長さs=16.7ft., 幅w=5.8ft., 高さd=4.3ft.)	2(sw+wd+ds)/3 (=129ft. <sup>2</sup> )	1.865wd (=46.5ft. <sup>2</sup> )	2.65	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(16)の風洞試験 (風速22~31m/s, Re=2.8x10<sup>6</sup>~4x10<sup>6</sup>)</li> <li>C<sub>l</sub>aが最大となる流入角での値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		一辺の長さD	2D <sup>2</sup>	0.2D <sup>2</sup> 程度	10程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(17)の水路試験 (Re=8000~28000)</li> <li>流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.2Dλ	2.35	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(16)の風洞試験 (Re=1.3x10<sup>6</sup>)</li> <li>流入方向と円柱の軸直方向が垂直になる配置 (円柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
柱状	角柱	長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) <sup>※2</sup>	0.5Dλ~0.7Dλ程度	1.14~1.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(17)の水路試験 (Re=8000~28000)</li> <li>長方形断面 (アスペクト比4:3)の角柱は地面から0.167D以上離れると揚力は負となる (電中研風洞実験)</li> <li>流入方向と角柱の軸直方向が垂直となる配置 (角柱の軸方向は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 幅B, 高さD (B=200mm, D=5mm, λ=1000mmの場合)	0.66Bλ	0に近い値 (地面から0.25B離れた位置で C <sub>l</sub> a=0.04Bλ)	16.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(18)の風洞試験 (幅Bに基づき Re=2x10<sup>5</sup>)</li> <li>流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置 (平板は地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>
		長さλ, 幅B, 高さD	0.66Bλ (0.66(Bλ+D(B+λ)) <sup>※2</sup> )	0.1Bλ程度	6.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>文献(19)の水路試験 (Re=5x10<sup>4</sup>程度)</li> <li>流入方向と平板状ブロックの長さ方向が垂直になる配置 (平板状ブロックは地面と平行) における値をC<sub>l</sub>a(実測値)として記載</li> </ul>

\*: 柱状及び平板では微小項を無視して記載 \*\* : 塊状とみなせる場合

第2表 主な物体の $C_{DA}$ と地面に置かれた物体の $C_{La}$ (実測値)の大小関係(2/2)

形状	物体	仕様	$C_{DA}^{*1}$	$C_{La}$ (実測値)	$C_{La}$ (実測値)に係る試験条件等
平板	薄い平板	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $B=200\text{mm}$ , $D=5\text{mm}$ , $\lambda=1000\text{mm}$ の場合)	0.66 $B\lambda$	0に近い値 (地面から 0.25 $B$ 離れた位 置で $C_{La}=0.04B\lambda$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(18)</sup>(幅<math>B</math>に基づく<math>Re=2.0 \times 10^5</math>)</li> <li>流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置(平板は地面と平行)における値を<math>C_{La}</math>(実測値)として記載</li> </ul>
	薄い翼	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $B=100\text{mm}$ , $D=15\text{mm}$ , $\lambda=300\text{mm}$ )(参考文献 (20)では $B$ の代わりに $c$ で表記)		0.2 $B\lambda$ 程度	
	平板状 ブロック	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$	0.66 $B\lambda$ 0.66( $B\lambda+D(B+\lambda)$ ) <sup>*2</sup>	0.1 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(21)</sup>(幅<math>B</math>(参考文献(20)では<math>c</math>)に基づく<math>Re=2.2 \times 10^5</math>)</li> <li>流入方向と翼の長さ方向が垂直になる配置(翼面は地面と平行)</li> <li>水路試験<sup>(19)</sup>(<math>Re=5.0 \times 10^4</math>程度)</li> <li>流入方向と平板状ブロックの長さ方向が垂直になる配置(平板状ブロックは地面と平行)における値を<math>C_{La}</math>(実測値)として記載</li> </ul>

※1: 柱状及び平板では微小項を無視して記載

※2: 塊状とみなせる場合

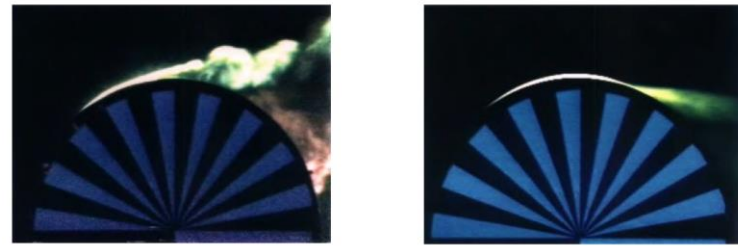
第5.1-1表 主な物体の $C_{DA}$ と地面に置かれた物体の $C_{La}$ (実測値)(2/2)

形状	物体	仕様	$C_{DA}^{*1}$	$C_{La}$ (実測値)	$C_{La}$ (実測値)に係る試験条件等
板状	薄い平板	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $\lambda=1000\text{mm}$ , $B=200\text{mm}$ , $D=5\text{mm}$ の場合)	0.66 $B\lambda$	0に近い値 (地面から0.25 $B$ 離れた 位置で $C_{La}=0.04B\lambda$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>風洞試験<sup>(18)</sup>(幅<math>B</math>に基づく<math>Re=2 \times 10^5</math>)</li> <li>流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置(平板は地面と平行)における値を<math>C_{La}</math>(実測値)として記載</li> </ul>
	薄い翼	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$ ( $\lambda=300\text{mm}$ , $B=100\text{mm}$ , $D=15\text{mm}$ の場合)		0.2 $B\lambda$ 程度	
	平板状 ブロック	長さ $\lambda$ , 幅 $B$ , 厚さ $D$		0.1 $B\lambda$ 程度	

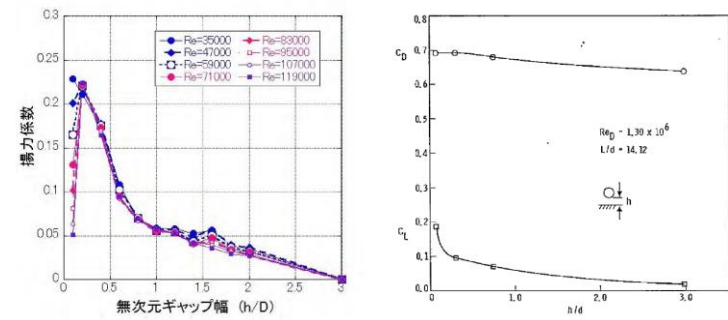
※1 柱状及び板状では微小項を無視して記載

※2 塊状とみなせる場合

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 設定した揚力係数の適用性の確認</p> <p>地面における揚力係数 <math>C_L</math> と見附面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> が、飛行定数 <math>C_D A/m</math> と同類の <math>C_D A</math> で代用できることについて、第2表における <math>C_L a</math> (実測値) が竜巻における飛来物の飛散解析に適用可能であることについて、レイノルズ数の観点から確認を行う。</p> <p>第2表の各文献中の実験でのレイノルズ数 <math>Re</math> は同表の備考欄に示すとおり、<math>10^4</math> から <math>10^6</math> のオーダーにある。</p> <p>ここで、実物の自動車 (Dodge Dart: 長さ 16.7 ft., 幅 5.8 ft., 高さ 4.3 ft.) では風速を 30 mph (13m/s) から 120 mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている<sup>(16)</sup>。これは、剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり、このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。</p> <p>一方、円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については、第14図に示すようにレイノルズ数 <math>Re</math> が変化すると、剥離点が移動し、抗力係数等が変化することが知られている。第2表の EPRI の円柱の風洞試験結果<sup>(16)</sup>は <math>Re=1.3 \times 10^6</math> の高レイノルズ数条件で得られたものであり、竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる (例えば、相対風速 92m/s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は <math>Re=6.0 \times 10^5</math> 程度)。また、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞 (吹出口寸法: 高さ 2.5m×幅 1.6m, 風速: 3.0~16.5m/s) においても、壁 (地面) 近くに設置した円柱 (直径 100mm×模型長 1000mm) を対象として、<math>Re=3.0 \times 10^4</math> から <math>1.0 \times 10^5</math> 程度までの揚力係数の測定試験が行われている。</p> <p>EPRI の風洞試験と電力中央研究所の風洞試験には、レイノルズ数条件に大きな違いがあるが、第15図に示すとおり風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。</p> <p>以上より、地面における各物体の揚力係数 <math>C_L</math> と見附面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> はレイノルズ数にほとんど依存せず、第2表に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。</p>	<p>(3) 設定した揚力係数の適用性の確認</p> <p>第5.1-1表における <math>C_L a</math> (実測値) が竜巻における物体の飛散解析に適用可能であることについて、レイノルズ数の観点から確認を行った。</p> <p>第5.1-1表の各文献中の実験におけるレイノルズ数は、同表の備考欄に示すとおり、<math>10^4 \sim 10^6</math> の範囲にある。</p> <p>ここで、実物の自動車 (Dodge Dart: 長さ 16.7ft., 幅 5.8ft., 高さ 4.3ft.) では風速を 30mph (13m/s) ~120mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている<sup>(15)</sup>。これは、剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり、このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。</p> <p>一方、円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については、第5.1-4図に示すように、レイノルズ数が増加すると剥離点が移動し、抗力係数等が変化することが知られている。第5.1-1表の EPRI の円柱の風洞試験結果<sup>(15)</sup>は <math>Re=1.3 \times 10^6</math> の高レイノルズ数条件で得られたものであり、竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる (例えば、相対風速 92m/s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は <math>6 \times 10^5</math> 程度)。また、電力中央研究所の吹出式開放型風洞 (吹出口寸法: 高さ 2.5m×幅 1.6m, 風速: 3.0m/s~16.5m/s) においても、壁 (地面) 近くに設置した円柱 (直径 100mm×模型長 1000mm) を対象として、<math>Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5</math> 程度までの揚力係数の測定試験が行われている。</p> <p>EPRI の風洞試験と電力中央研究所の風洞試験にはレイノルズ数条件に大きな違いがあるが、第5.1-5図に示すとおり、風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。</p> <p>以上より、地面における各物体の揚力係数 <math>C_L</math> と見附面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> はレイノルズ数にほとんど依存せず、第5.1-1表に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。</p>	<p>(3) 設定した揚力係数の適用性の確認</p> <p>地面における揚力係数 <math>C_L</math> と見附面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> が、飛行定数 <math>C_D A/m</math> と同類の <math>C_D A</math> で代用できることについて、表2における <math>C_L a</math> (実測値) が竜巻における物体の飛散解析に適用可能であることについて、レイノルズ数の観点から確認を行う。</p> <p>表2の各文献中の実験でのレイノルズ数 <math>Re</math> は同表の備考欄に示すとおり、<math>10^4</math> から <math>10^6</math> のオーダーにある。</p> <p>ここで、実物の自動車 (Dodge Dart の諸元: 長さ 16.7 ft., 幅 5.8 ft., 高さ 4.3 ft.) では風速を 30 mph (13m/s) から 120 mph (54m/s) まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果、風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている<sup>(16)</sup>。これは、剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり、このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。</p> <p>一方、円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については、図14に示すようにレイノルズ数 <math>Re</math> が変化すると、剥離点が移動し、抗力係数等が変化することが知られている。表2の EPRI の円柱の風洞試験結果<sup>(16)</sup>は <math>Re=1.3 \times 10^6</math> の高レイノルズ数条件で得られたものであり、竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる (例えば、相対風速 92m/s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は <math>Re=6.0 \times 10^5</math> 程度)。また、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞 (吹出口寸法: 高さ 2.5m×幅 1.6m, 風速: 3.0~16.5m/s) においても、壁 (地面) 近くに設置した円柱 (直径 100mm×模型長 1000mm) を対象として、<math>Re=3.0 \times 10^4</math> から <math>1.0 \times 10^5</math> 程度までの揚力係数の測定試験が行われている。</p> <p>EPRI の風洞試験と電力中央研究所の風洞試験には、レイノルズ数条件に大きな違いがあるが、図15に示すとおり風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。</p> <p>以上より、地面における各物体の揚力係数 <math>C_L</math> と見附面積 <math>a</math> の積 <math>C_L a</math> はレイノルズ数にほとんど依存せず、表2に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。</p>	



第 14 図 可視化した円柱周りの流れ  
(左 :  $Re \approx 4.0 \times 10^4$ , 右 :  $Re \approx 2.0 \times 10^5$ )



第 15 図 (左) 電力中央研究所の風洞試験  
( $Re=3.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$ ) と (右) EPRI の風洞試験<sup>(16)</sup> ( $Re=1.3 \times 10^6$ ) で得られた円柱揚力係数

(4) 揚力の高さ依存性

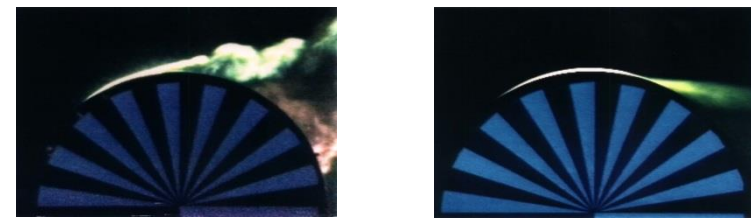
この地面効果による揚力は高さとともに減衰するので、既往の風洞実験の結果<sup>(16)(23)</sup>を考慮して、物体高さ  $d$  の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から  $3d$  の高さであるとき消滅すると仮定する。

具体的には、地面から  $z$  の距離 (高さ) にある物体に作用する揚力加速度  $L$  を以下の関数形でモデル化する。(  $Z$  : 物体底面の高さ ( $=z-d/2$ ) )

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

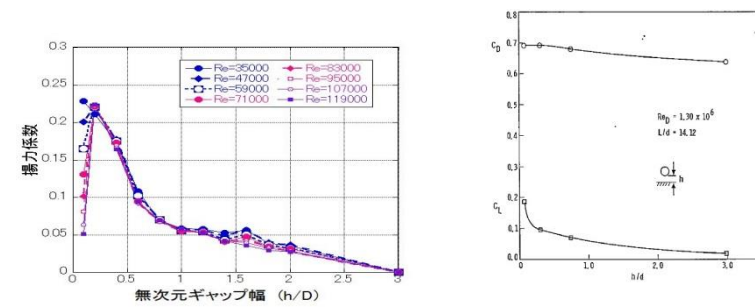
ただし、 $f(Z/d)$  は、EPRI の風洞実験結果<sup>(16)(23)</sup>を参考に、以下の反比例式とする。

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases} \quad (12)$$



(a)  $Re \approx 4 \times 10^4$  (b)  $Re \approx 2 \times 10^5$

第 5.1-4 図 可視化した円柱まわりの流れ<sup>(x v)</sup>



(a) 電力中央研究所  
( $Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ ) (b) EPRI  
( $Re=1.3 \times 10^6$ )<sup>(15)</sup>  
第 5.1-5 図 風洞実験による円柱の揚力係数

(4) 揚力の高さ依存性

地面効果による揚力は物体の上昇とともに減衰するので、既往の風洞実験の結果<sup>(15)(x vi)</sup>を考慮して、高さ寸法  $d$  の物体に働く揚力は、物体底面の高度が地面から  $3d$  となった時に消滅すると設定した。

具体的には、底面が地面から  $Z$  の距離 (高さ) にある物体に作用する揚力加速度  $L$  を以下の関数形でモデル化した。

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

$f(Z/d)$  は、EPRI の風洞実験結果<sup>(15)</sup>を参考に、以下の反比例式とした。

$$f(Z/d) = \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} \quad (12)$$

ここで、 $Z$  は下式により定義される ( $z$  : 物体中心の高度)

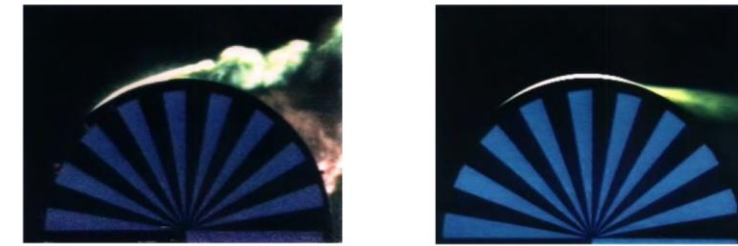


図 14 可視化した円柱周りの流れ  
(左 :  $Re \approx 4.0 \times 10^4$ , 右 :  $Re \approx 2.0 \times 10^5$ )

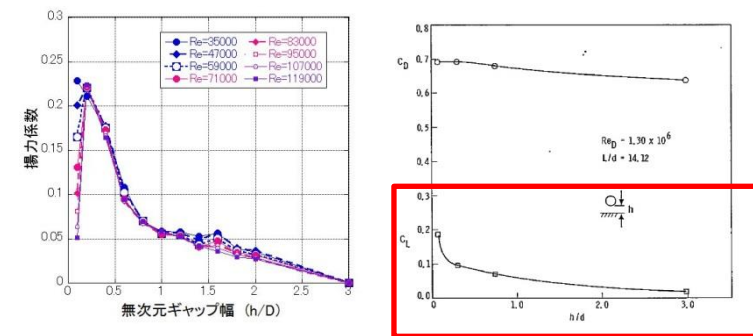


図 15 (左) 電力中央研究所の風洞試験  
( $Re=3.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$ ) と (右) EPRI の風洞試験<sup>(16)</sup> ( $Re=1.3 \times 10^6$ ) で得られた円柱揚力係数

(4) 揚力の高さ依存性

この地面効果による揚力は高さとともに減衰するので、既往の風洞実験の結果<sup>(16)(22)</sup>を考慮して、物体高さ  $d$  の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から  $3d$  の高さとなった時に消滅すると仮定する。

具体的には、地面から  $z$  の距離 (高さ) にある物体に作用する揚力加速度  $L$  を以下の関数形でモデル化する。(  $Z$  : 物体底面の高さ ( $=z-d/2$ ) )

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (11)$$

ただし、 $f(Z/d)$  は、EPRI の風洞実験結果<sup>(16)(22)</sup>を参考に、以下の反比例式とする。

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases} \quad (12)$$

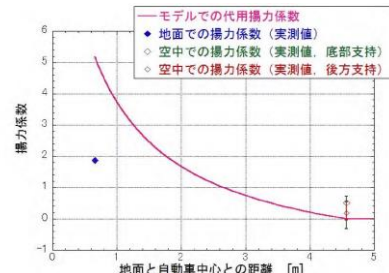
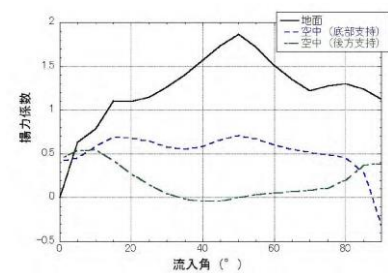


また、以下において、塊状物体（自動車）、柱状物体（角柱、円柱）、板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ、物体高さ d の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から 3d の高度で消滅するとした仮定が適切であることを確認する。

① 塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は、EPRI の風洞試験<sup>(16)</sup>にて、地面及び風洞中央 (h/d≒3.5) に設置した場合にて計測されており、第 16-1 図に示すように流入角 (0° は正面, 90° は側面に風を受ける角度) に依存した揚力係数が得られている。

また、第 16-2 図にて、EPRI の風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。EPRI の風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため、空中においても揚力係数がゼロとはならないが、実際に飛来する自動車の姿勢はランダムに変化することから、平均的な揚力係数は本モデルでの代用した揚力係数に近いものと考えられる。



第 16-1 図 地面及び風洞中央に設置した自動車の揚力係数の流入角依存性

第 16-2 図 自動車の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

② 柱状物体（角柱・円柱）の揚力の高さ依存性

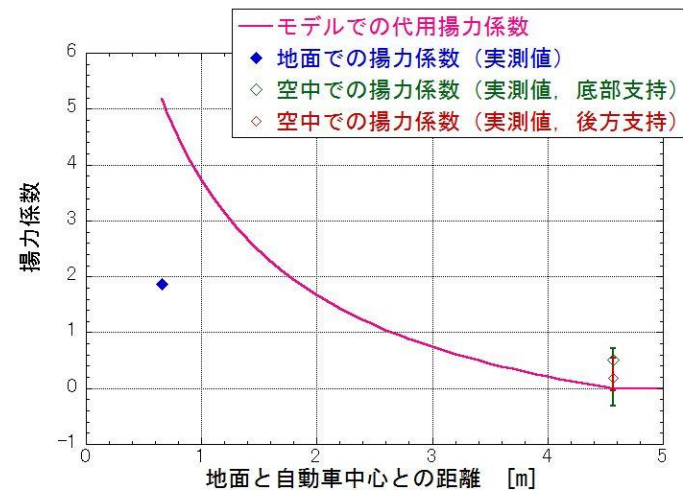
角柱の揚力係数は、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0～16.5m/s）にて測定しており、第 17 図にその結果を示す。角柱の場合、地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので、正の揚力を与える

$$Z = \begin{cases} z - (d/2) & (d/2 \leq z \leq 7d/2) \\ 0 & (7d/2 \leq z) \end{cases} \quad (13)$$

また、以下において、塊状物体（自動車）、柱状物体（角柱及び円柱）及び板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ、「高さ寸法 d の物体に働く揚力は、物体底面の高度が地面から 3d となった時に消滅する」とした設定が適切であることを確認する。

a. 塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は、EPRI の風洞試験<sup>(15)</sup>にて、地面及び風洞中央 (h/d≒3.5) に設置した場合にて計測されており、第 5.1-6 図に、EPRI の風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。EPRI の風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため、空中においても揚力係数が 0 とはならないが、実際に飛散する自動車の姿勢はランダムに変化することから、平均的な揚力係数は本モデルでの代用揚力係数に近いものと考えられる。



第 5.1-6 図 自動車の風洞実験による揚力係数と代用揚力係数（文献<sup>(15)</sup>を基に作成及び代用揚力係数を加筆）

b. 柱状物体（角柱及び円柱）の揚力の高さ依存性

角柱の揚力係数は、電力中央研究所の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0m/s～16.5m/s）にて測定しており、第 5.1-7 図に示すように、地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので、正の揚力を与える本モデルの代用揚

また、以下において、塊状物体（自動車）、柱状物体（角柱、円柱）、板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ、物体高さ d の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から 3d の高さで消滅するとした仮定が適切であることを確認する。

a. 塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は、EPRI の風洞試験<sup>(16)</sup>にて、地面及び風洞中央 (h/d≒3.5) に設置した場合にて計測されており、図 16-1 に示すように流入角 (0° は正面, 90° は側面に風を受ける角度) に依存した揚力係数が得られている。

また、図 16-2 にて、EPRI の風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。EPRI の風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため、空中においても揚力係数がゼロとはならないが、実際に飛来する自動車の姿勢はランダムに変化することから、平均的な揚力係数は本モデルでの代用した揚力係数に近いものと考えられる。

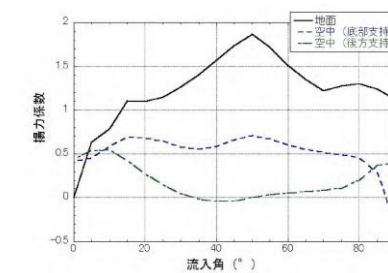


図 16-1 地面及び風洞中央に設置した自動車の揚力係数の流入角依存性

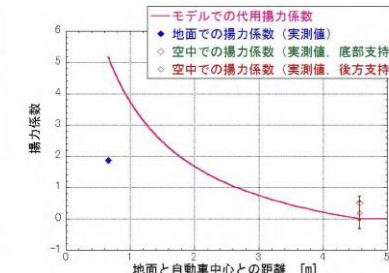


図 16-2 自動車の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

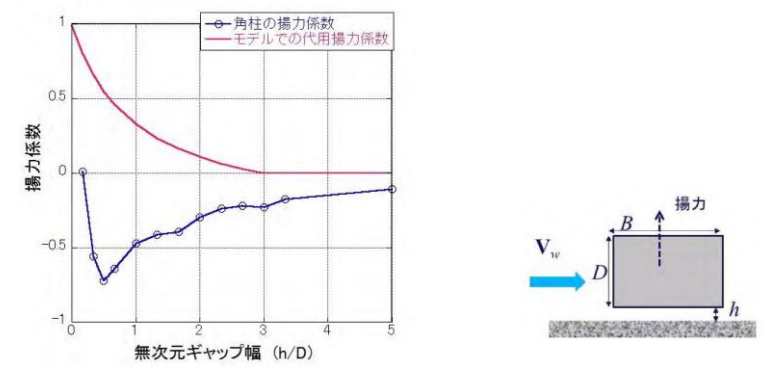
b. 柱状物体（角柱・円柱）の揚力の高さ依存性

角柱の揚力係数は、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0～16.5m/s）にて測定しており、図 17 にその結果を示す。角柱の場合、地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので、正の揚力を与える本

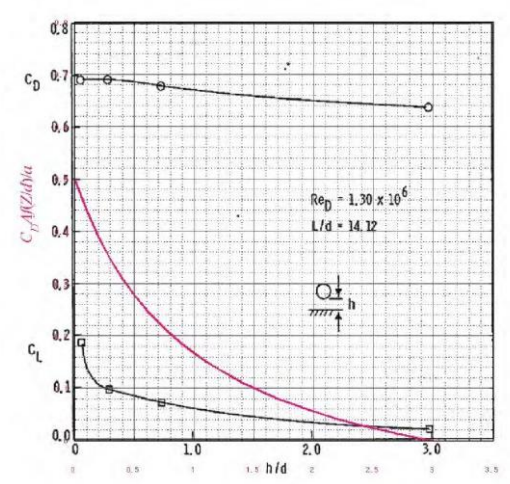


本モデルで代用した揚力式(第17図の赤線)は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は、EPRIの風洞試験<sup>(16)</sup>にて測定しており、第18図に示すように本モデルで代用した揚力係数(第18図の赤線)は実際の円柱に働く揚力の最大揚力係数よりも大きな値となっているため、保守的な結果となっていることが分かる。



第17図 角柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係 (幅 B=80mm×高さ D=60mm×模型長 1000mm)

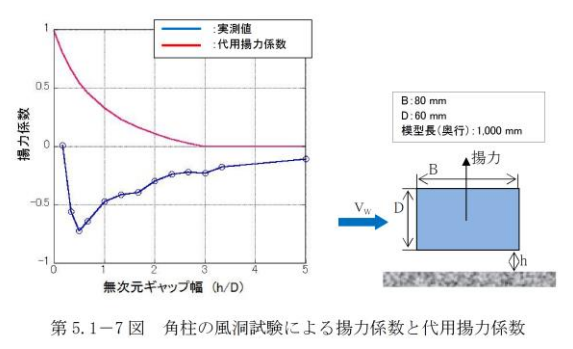


第18図 円柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

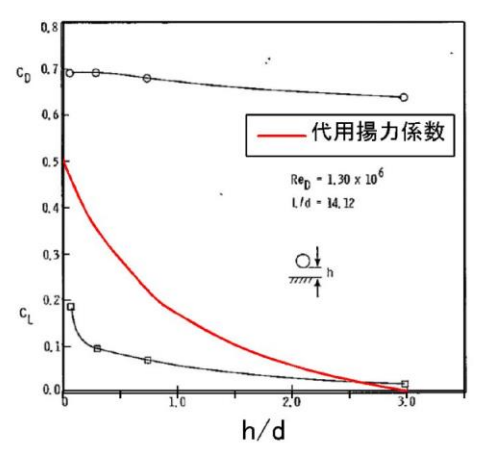
③板状物体(平板)の揚力の高さ依存性  
 平板の揚力係数は、平面的な形状を有する翼(迎角0°)の試験結果<sup>(21)</sup>に基づき考察すると、本モデルで代用した揚力係数(第19

力係数(第5.1-7図の赤線)は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は、EPRIの風洞試験<sup>(15)</sup>にて測定しており、第5.1-8図に示すように、本モデルの代用揚力係数(第5.1-8図の赤線)は実際の円柱に働く揚力の最大揚力係数よりも大きな値となっているため、保守的な結果となっていることが分かる。



第5.1-7図 角柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数



第5.1-8図 円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数 (文献<sup>(15)</sup>に代用揚力係数を加筆)

第5.1-8図 円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数 (文献<sup>(15)</sup>に代用揚力係数を加筆)

c. 板状物体(平板)の揚力の高さ依存性  
 平板の揚力係数は、平面的な形状を有する翼(迎角0°)の試験結果<sup>(19)</sup>に基づき考察すると、本モデルの代用揚力係数(第5.1

モデルで代用した揚力式(図17の赤線)は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は、EPRIの風洞試験<sup>(16)</sup>にて測定しており、図18に示すように本モデルで代用した揚力係数(図18の赤線)は実際の円柱に働く揚力の最大揚力係数よりも大きな値となっているため、保守的な結果となっていることが分かる。

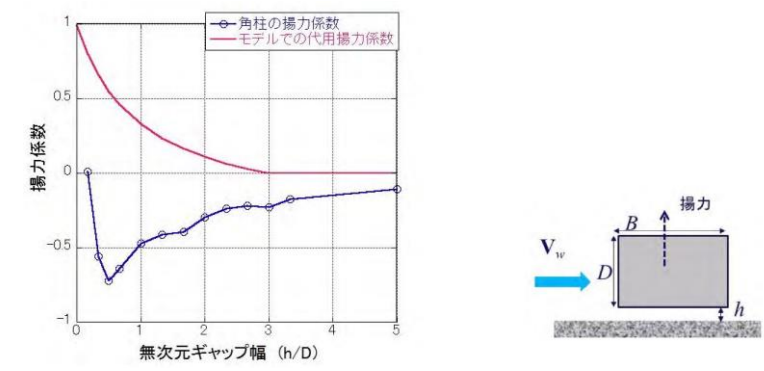


図17 角柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係 (幅 B=80mm×高さ D=60mm×模型長 1000mm)

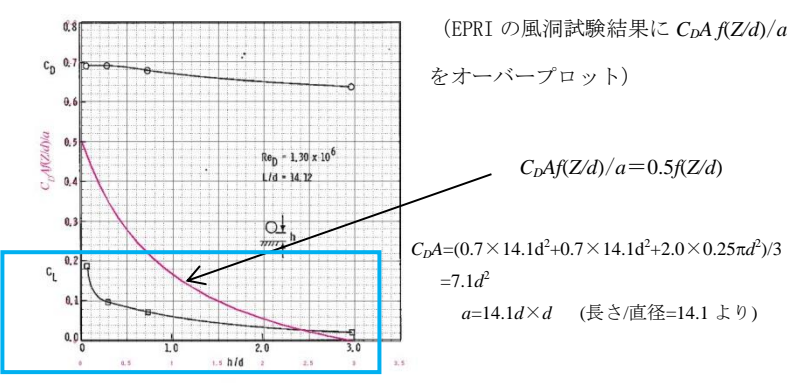


図18 円柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

c. 板状物体(平板)の揚力の高さ依存性  
 平板の揚力係数は、平面的な形状を有する翼(迎角0°)の試験結果<sup>(21)</sup>に基づき考察すると、本モデルで代用した揚力係数(図19

図の赤線) は実際の翼に働く地面効果による揚力係数よりもおおむね大きな値となっている。また、この翼は奥行方向が長い形状で流れに直交するような配置となっており、実際の平板に比べて揚力が作用しやすいことを考慮すると、実際の平板の揚力係数は更に小さいものと考えられる。

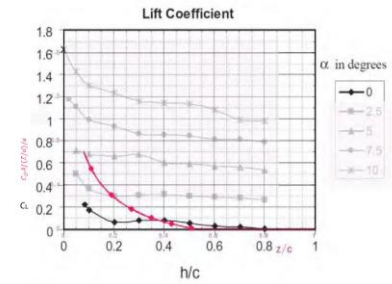


Fig. 8. Coefficient of lift at varying ground clearances for different angles of attack.

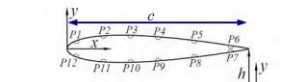


Fig. 2. Locations of pressure tappings.

第19図 翼の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

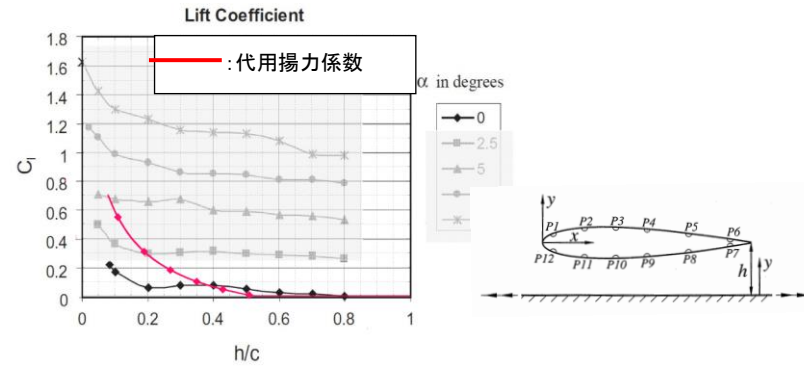
(5) 飛来物の運動方程式

上記(1)~(4)を踏まえ、重力加速度  $g$ 、上向き単位ベクトル  $\mathbf{k}$  を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (13)$$

飛来物の位置  $\mathbf{X}_M(t)$  と速度  $\mathbf{V}_M(t)$  の時刻歴の計算には陽解法(一定加速度法)を用いる。具体的には、時刻  $t = \tau$  における飛来物の位置  $\mathbf{X}_M(\tau)$  と速度  $\mathbf{V}_M(\tau)$  を既知として、時刻  $t = \tau + \Delta \tau$  における飛来物の速度と位置を以下の式で求める。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$  は上記運動方程式の右辺に対応する時刻  $t = \tau$  における加速度ベクトルである。

図の赤線) は、実際の翼に働く地面効果による揚力係数よりもおおむね大きな値となっている。また、この翼は奥行方向が長い形状で流れに直交するような配置となっており、実際の平板に比べて揚力が作用しやすいことを考慮すると、実際の平板の揚力係数はさらに小さいものと考えられる。



第5.1-9図 翼の風洞試験による揚力係数と平板の代用揚力係数(文献<sup>(19)</sup>に代用揚力係数を加筆)

(5) 物体の運動方程式

上記(1)から(4)を踏まえ、重力加速度  $g$ 、上向き単位ベクトル  $\mathbf{k}$  を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (14)$$

物体の位置  $\mathbf{X}_M(t)$  と速度  $\mathbf{V}_M(t)$  の時刻歴の計算には陽解法(一定加速度法)を用いた。具体的には、時刻  $t = \tau$  における物体の位置  $\mathbf{X}_M(\tau)$  と速度  $\mathbf{V}_M(\tau)$  を既知として、時刻  $t = \tau + \Delta \tau$  における物体の速度と位置を以下の式で求めた。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$  は上記運動方程式の右辺に対応する時刻  $t = \tau$  における加速度ベクトルである。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)\Delta \tau \quad (15)$$

図の赤線) は実際の翼に働く地面効果による揚力係数よりもおおむね大きな値となっている。また、この翼は奥行方向が長い形状で流れに直交するような配置となっており、実際の平板に比べて揚力が作用しやすいことを考慮すると、実際の平板の揚力係数は更に小さいものと考えられる。

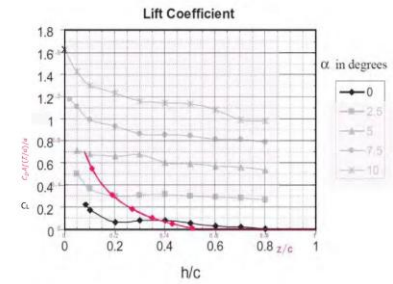


Fig. 8. Coefficient of lift at varying ground clearances for different angles of attack.

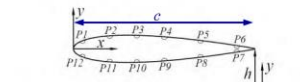


Fig. 2. Locations of pressure tappings.

図19 翼の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

d. 確認結果

a. ~c. より、本モデルで代用した揚力係数は、風洞試験により得られた揚力係数よりもおおむね大きな値となっており、物体高さ  $d$  の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から  $3d$  の高さで消滅するとした仮定が適切であることが確認された。

(5) 物体の運動方程式

上記(1)~(4)を踏まえ、重力加速度  $g$ 、上向き単位ベクトル  $\mathbf{k}$  を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (13)$$

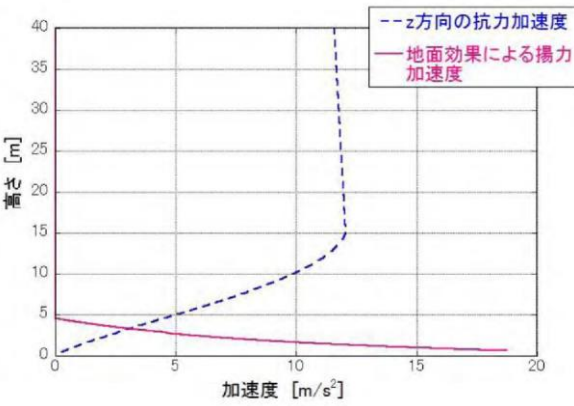
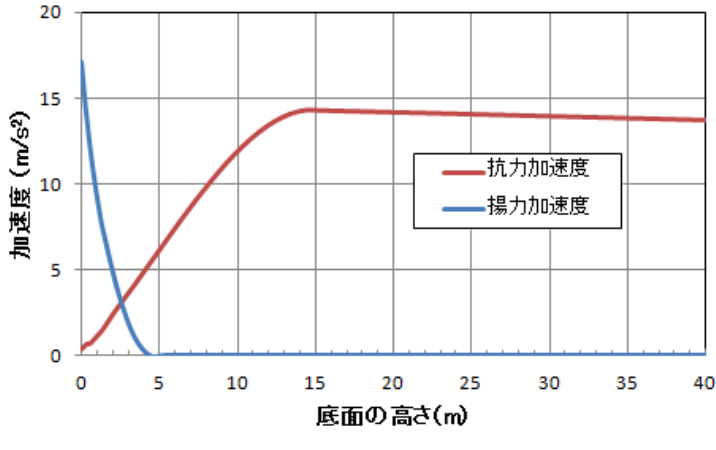
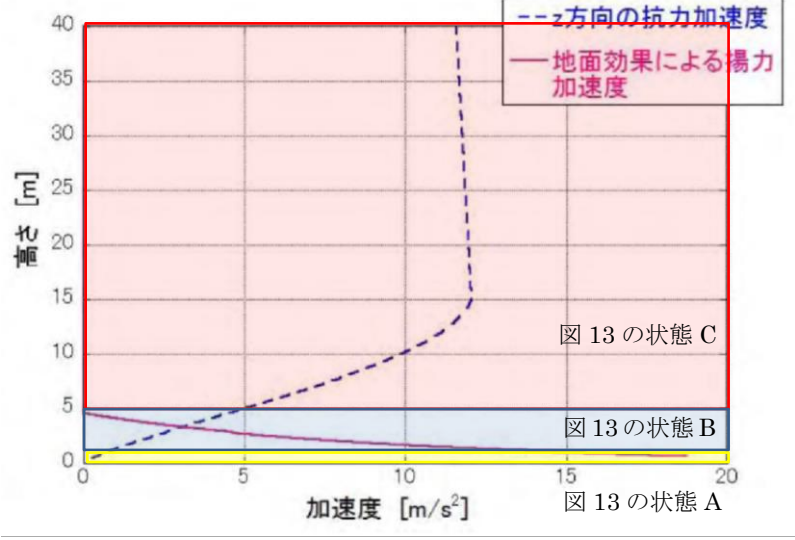
物体の位置  $\mathbf{X}_M(t)$  と速度  $\mathbf{V}_M(t)$  の時刻歴の計算には陽解法(一定加速度法)を用いる。具体的には、時刻  $t = \tau$  における物体の位置  $\mathbf{X}_M(\tau)$  と速度  $\mathbf{V}_M(\tau)$  を既知として、時刻  $t = \tau + \Delta \tau$  における物体の速度と位置を以下の式で求める。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$  は上記運動方程式の右辺に対応する時刻  $t = \tau$  における加速度ベクトルである。

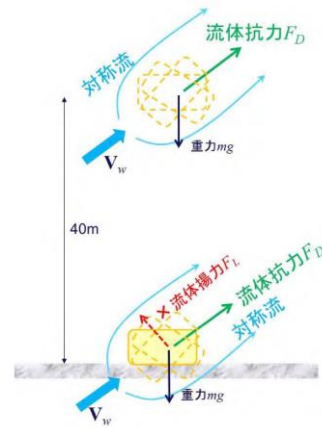
$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)\Delta \tau \quad (14)$$

・記載方針の相違  
【柏崎6/7, 東海第二】  
島根2号炉は、揚力の高さ依存性の確認結果を記載

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)\Delta\tau \quad (14)$	$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)\Delta\tau + \frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (16)$	$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)\Delta\tau + \frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (15)$	
$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)\Delta\tau + \frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (15)$			
<p><math>\mathbf{A}(\tau)</math>の計算には、時刻 <math>t = \tau</math> における風速場も必要であるが、初期に原点に位置する竜巻の中心が <math>x</math> 軸上を移動速度 <math>V_t</math> で移動することを仮定しており、任意の時刻での風速場を陽的に求められるため、飛来物速度 <math>\tau</math> 位置を算出することができる。</p>	<p><math>\mathbf{A}(\tau)</math>の計算には、時刻 <math>t = \tau</math> における風速場も必要であるが、初期に原点に位置する竜巻の中心が <math>x</math> 軸上を移動速度 <math>V_{tr}</math> で移動することを仮定しており、任意の時刻での風速場を陽的に求められるため、物体の速度及び位置を算出することができる。</p>	<p><math>\mathbf{A}(\tau)</math>の計算には、時刻 <math>t = \tau</math> における風速場も必要であるが、初期に原点に位置する竜巻の中心が <math>x</math> 軸上を移動速度 <math>V_t</math> で移動することを仮定しており、任意の時刻での風速場を陽的に求められるため、物体の速度 <math>\tau</math> 位置を算出することができる。</p>	
<p>(6) 飛来物の運動方程式 ((13)式) に関する考察</p>	<p>(6) 物体の運動方程式 ((14)式) に関する考察</p>	<p>(6) 物体の運動方程式 ((13)式) に関する考察</p>	
<p>地上面の物体 (第 13 図の状態 A) が浮上するには、地面からの反力が消滅 (<math>R &lt; 0</math>, つまり <math>mg &lt; FL</math>) する条件で浮上し、浮上後は、(13)式を成分表示した以下の飛来物の運動方程式に従って飛散する。</p>	<p>地上面の物体 (第 5.1-3 図A) が浮上するには、地面からの反力が消滅する (<math>R &lt; 0</math>, つまり <math>mg &lt; F_L</math>) 条件で浮上し、浮上後は(14)式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。</p>	<p>地面上の物体 (図 13 の状態 A) が浮上するには、地面からの反力が消滅 (<math>R &lt; 0</math>, つまり <math>mg &lt; FL</math>) する条件で浮上し、浮上後は、(13)式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。</p>	
$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (16)$	$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (17)$	$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,x} - V_{M,x}) \quad (16)$	
$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (17)$	$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (18)$	$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,y} - V_{M,y}) \quad (17)$	
$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L \quad (18)$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L \quad (19)$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{(V_{w,x} - V_{M,x})^2 + (V_{w,y} - V_{M,y})^2 + (V_{w,z} - V_{M,z})^2} \times (V_{w,z} - V_{M,z}) - g + L \quad (18)$	
<p>ここで、飛来物速度 <math>\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})</math>、竜巻風速 <math>\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})</math> であり、右辺第 1 項が流体抗力 <math>F_D</math> の加速度を表しており、(18)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力 <math>F_L</math> の加速度を表している。上記の式で、物体が静止している状態 (上記の式 (16)~(18) で飛来物速度 <math>\mathbf{V}_M</math> を 0) を仮定すると、以下の式となる。</p>	<p>ここで、物体速度 <math>\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})</math>、竜巻風速 <math>\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})</math> であり、右辺第 1 項が流体抗力 <math>F_D</math> による加速度を、(19)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力 <math>F_L</math> による加速度を表している。上記の式で、物体が静止している状態 ((17)式~(19)式で物体速度 <math>\mathbf{V}_M = \mathbf{0}</math>) を仮定すると、以下の式となる。</p>	<p>ここで、物体の速度 <math>\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})</math>、竜巻風速 <math>\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})</math> であり、右辺第 1 項が流体抗力 <math>F_D</math> の加速度を表しており、(18)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力 <math>F_L</math> の加速度を表している。上記の式で、物体が静止している状態 (上記の式 (16)~(18) で物体の速度 <math>\mathbf{V}_M</math> を 0) を仮定すると、以下の式となる。</p>	
$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,x} \quad (16')$	$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,x} \quad (17')$	$\frac{dV_{M,x}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,x} \quad (16')$	
$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,y} \quad (17')$	$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,y} \quad (18')$	$\frac{dV_{M,y}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,y} \quad (17')$	
$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,z} - g + L \quad (18')$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,z} - g + L \quad (19')$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{C_D A}{m} \sqrt{V_{w,x}^2 + V_{w,y}^2 + V_{w,z}^2} \times V_{w,z} - g + L \quad (18')$	
<p>フジタモデルでは、物体が地面上にある場合 (第 13 図の状態 A) では上昇速度はゼロに近く、地面で静止している飛来物が受ける</p>	<p>フジタモデルでは、物体が地面近傍にある場合 (第 5.1-3 図A) では鉛直方向の風速 <math>V_{w,z}</math> はゼロに近いので、式(19')の右辺第 1</p>	<p>フジタモデルでは、物体が地面上にある場合 (図 13 の状態 A) では上昇速度はゼロに近く、地面で静止している物体が受ける上</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>上昇速度はほぼゼロであるため、式(18')の右辺第1項は右辺第2,第3項に比べてはるかに小さな量となり、以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。</p>	<p>項は右辺第2項及び第3項に比べてはるかに小さな量となり、以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。</p>	<p>上昇速度はほぼゼロであるため、式(18')の右辺第1項は右辺第2,第3項に比べてはるかに小さな量となり、以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。</p>	
$\frac{dV_{M,z}}{dt} \approx -g + L \quad (19)$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} \approx -g + L \quad (20)$	$\frac{dV_{M,z}}{dt} \approx -g + L \quad (19)$	
<p>例として、竜巻コア半径 30m, 設計竜巻の最大風速 92m/s の竜巻が原点に位置し x 方向に 14m/s で移動する場合、点(0, -30m)における式(18')の右辺第1項の値 (z 方向抗力 (流体抗力) による加速度) と第3項の値 (地面効果による揚力加速度) を第20図に示す。</p>	<p>例として、竜巻コア半径 30m, 最大風速 100m/s の竜巻が原点に位置し、x 方向に 15m/s で移動する場合、点(0, -30m)における式(19')の右辺第1項の値 (z 方向抗力 (流体抗力) による加速度) と第3項の値 (地面効果による揚力加速度) を第5.1-10図に示す。</p>	<p>例として、竜巻コア半径 30m, 設計竜巻の最大風速 92m/s の竜巻が原点に位置し x 方向に 14m/s で移動する場合、点(0, -30m)における式(18')の右辺第1項の値 (z 方向抗力 (流体抗力) による加速度) と第3項の値 (地面効果による揚力加速度) を図20に示す。</p>	
<p>第20図より、地面上 (z=0) においては、z 方向抗力による加速度は十分小さく、地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。</p>	<p>同図より、地面上 (z=0) 近傍においては、z 方向の抗力による加速度は十分小さく、地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。</p>	<p>図20より、地面上 (z=0) においては、z 方向抗力による加速度は十分小さく、地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。</p>	
			
<p>第20図 地面近傍の飛来物に作用する z 方向の加速度 (飛来物の特性 : <math>0.5 \rho C_D A/m=0.004 \text{ [m}^{-1}\text{]}</math>, <math>d=1.31 \text{ [m]}</math>)</p>	<p>第5.1-10図 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度 (<math>(1/2) \rho C_D A/m=0.004 \text{ m}^{-1}</math>, <math>d=1.31 \text{ m}</math>)</p>	<p>図20 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度 (<math>0.5 \rho C_D A/m=0.004 \text{ [m}^{-1}\text{]}</math>, <math>d=1.31 \text{ [m]}</math>)</p>	
<p>なお、高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦の場合は、上昇風速が水平風速の約60%にも達するため、地面から非現実的な風の噴出が発生する。地面効果は地面の存在によって水平な風が物体付近で湾曲・剥離することによって生じるものであるが、ランキン渦の風速場では地面の有無によって物体周りの流況が大きく変化せず、地面効果は物理的に発現しにくいいため、ランキン渦モデルを用いた解析においては鉛直方向による揚力 L を付加していない (第21図)。</p>	<p>なお、高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦 (飛散解析用) の場合は、地面から水平風速の約60%にも達する上昇流の噴出を設定する。地面効果は地面の存在によって水平な風が物体付近で湾曲、剥離することによって生じるものであるが、ランキン渦の風速場では地面の有無によって物体周りの流況が大きく変化せず、地面効果は物理的に発現しにくいいため、ランキン渦モデルを用いた解析においては鉛直方向の揚力 L を付加していない (第5.1-11図)</p>	<p>なお、高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦の場合は、上昇風速が水平風速の約60%にも達するため、地面から非現実的な風の噴出が発生する。地面効果は地面の存在によって水平な風が物体付近で湾曲・剥離することによって生じるものであるが、ランキン渦の風速場では地面の有無によって物体周りの流況が大きく変化せず、地面効果は物理的に発現しにくいいため、ランキン渦モデルを用いた解析においては鉛直方向による揚力 L を付加していない (図21)。</p>	

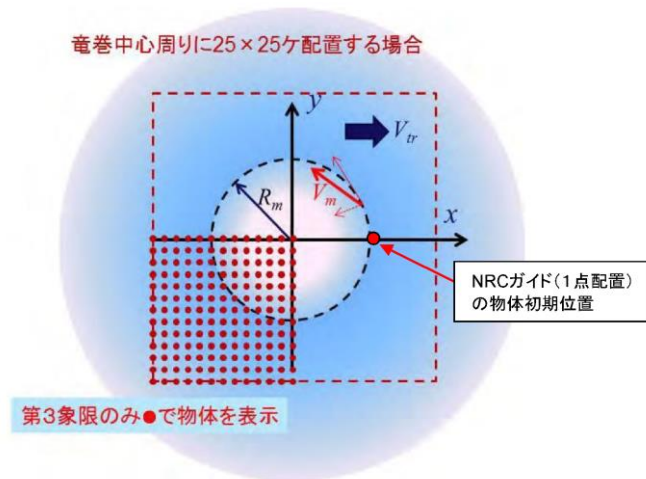


第 21 図 ランキン渦の場合の飛来物の運動モデルの模式図

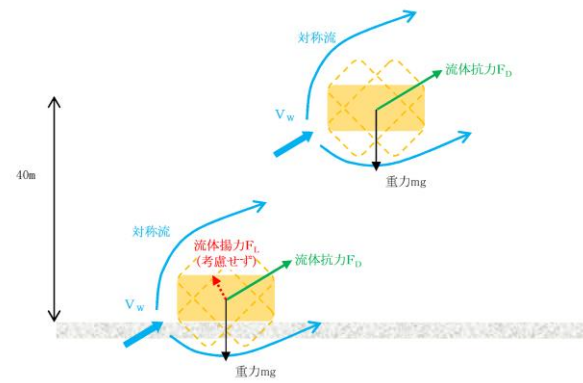
5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛来速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体の受ける風速（物体がある位置の竜巻風速）によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため、米国 NRC ガイド<sup>(2)</sup> に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を多点多点配置した場合の飛来速度の違いを比較する。配置の違いについて、第 22 図に示す。

1 点配置の場合は、特定位置（竜巻進行方向の竜巻半径の位置  $(x, y) = (R_m, 0)$ ）に物体 1 個を設置する。また多点多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の正方形領域に  $51 \times 51$  個の物体を配置する。その上で飛散させた物体のうち、最も速度が大きくなったものをその物体の飛来速度とする。



第 22 図 飛来物評価における竜巻と物体の位置関係

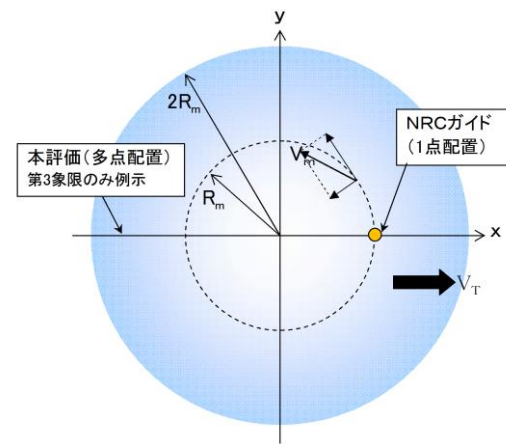


第 5.1-11 図 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛散速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体が受ける風速（物体がある位置の竜巻風速）によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため、米国 NRC ガイド<sup>(1)</sup> に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を多点多点配置した場合の飛散速度の違いを比較した。配置の違いについて、第 5.2-1 図に示す。

1 点配置の場合は、特定の位置（竜巻進行方向の最大接線風速半径の位置  $(x, y) = (R_m, 0)$ ）に物体 1 個を設置する。また多点多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の辺長の正方形領域に  $51 \times 51$  個の物体を配置する。その上で飛散させた物体のうち、最も速度が大きくなったものをその物体の飛散速度とする。



第 5.2-1 図 飛散解析における竜巻と物体の位置関係

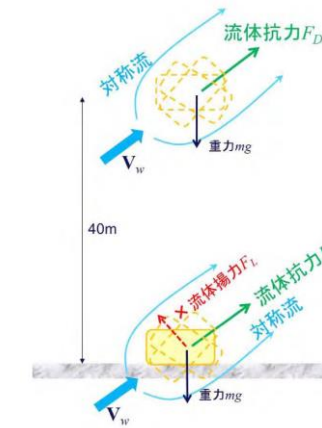


図 21 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛来速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体の受ける風速（物体がある位置の竜巻風速）によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため、米国 NRC ガイド<sup>(2)</sup> に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を多点多点配置した場合の飛来速度の違いを比較する。配置の違いについて、図 22 に示す。

1 点配置の場合は、特定位置（竜巻進行方向の竜巻半径の位置  $(x, y) = (R_m, 0)$ ）に物体 1 個を設置する。また多点多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の正方形領域に  $51 \times 51$  個の物体を配置する。その上で飛散させた物体のうち、最も速度が大きくなったものをその物体の飛来速度とする。

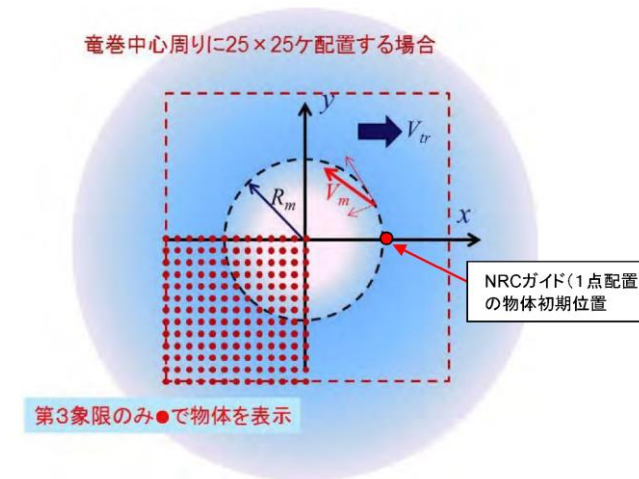


図 22 飛来物評価における竜巻と物体の位置関係

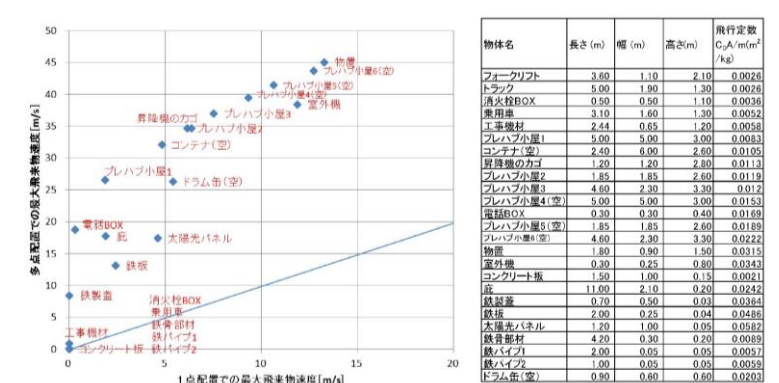


柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)

評価条件として、竜巻の最大風速を92m/sとし、フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また、ガイドの記載より竜巻の移動速度 $V_t$ を14m/s、竜巻コア半径 $R_m$ を30mとする。飛散させる物体のパラメータとして、原子力安全基盤機構の調査研究報告書<sup>(4)</sup>に掲載されている物体の飛行定数(5.1の $C_D A$ を質量で割った値： $C_D A/m(m^2/kg)$ )を用いる。第23図に比較結果を示す。

米国NRCで用いられている1点配置の手法と比較し、多点配置の手法では、飛行定数の大きい物体の多くが1点配置に比べて大きな飛来速度となる。多点配置することで、その竜巻風速場における最大風速(最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点)を受ける物体が出てくるため、このような結果となったと考えられる。

したがって、物体を多点配置することは、竜巻から受ける風速に関する不確定性を考慮できるものと考えられるため、本検討における方法として適用することとする。



第23図 1点配置時と多点配置時の最大飛来物速度の比較(左)と物体のパラメータ(右)

前頁の第22図に示す物体の多点配置(竜巻半径の4倍の正方形領域に51×51個の物体を配置)を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

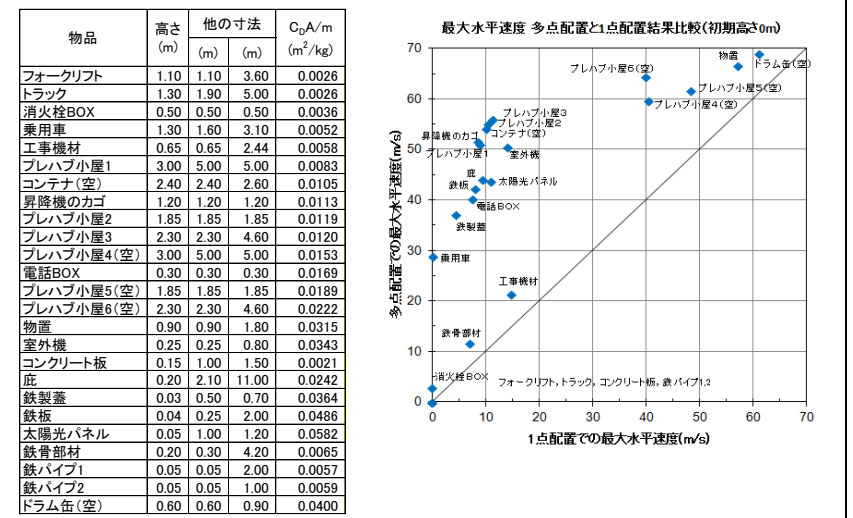
第24図に遠方から物体に接近する竜巻と、物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇する

東海第二発電所 (2018.9.18版)

評価条件として、竜巻の最大風速を100m/sとし、フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また、「竜巻影響評価ガイド」の記載より竜巻の移動速度 $V_{tr}$ を15m/s、竜巻コア半径 $R_m$ を30mとする。飛散させる物体としては、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」<sup>(3)</sup>に掲載されている物体を用いた。第5.2-2図に比較結果を示す。

米国NRCで用いられている1点配置の手法と比較し、多点配置の手法では1点配置に比べて大きな飛散速度となった。多点配置することで、その竜巻風速場における最大風速(最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点)を受ける物体が出てくるため、このような結果になったと考えられる。

したがって、物体を多点配置することは、竜巻から受ける風速に関する不確定性を考慮できるものと考えられるため、本検討における方法として適用することとする。



第5.2-2図 1点配置時と多点配置時における物体の最大速度の比較

第5.2-3図に、遠方から物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇

島根原子力発電所 2号炉

評価条件として、竜巻の最大風速を92m/sとし、フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また、ガイドの記載より竜巻の移動速度 $V_t$ を15m/s、竜巻コア半径 $R_m$ を30mとする。飛散させる物体のパラメータとして、原子力安全基盤機構の調査研究報告書<sup>(4)</sup>に掲載されている物体の飛行定数(5.1の $C_D A$ を質量で割った値： $C_D A/m(m^2/kg)$ )を用いる。図23に比較結果を示す。

米国NRCで用いられている1点配置の手法と比較し、多点配置の手法では、飛行定数の大きい物体の多くが1点配置に比べて大きな飛来速度となる。多点配置することで、その竜巻風速場における最大風速(最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点)を受ける物体が出てくるため、このような結果となったと考えられる。

したがって、物体を多点配置することは、竜巻から受ける風速に関する不確定性を考慮できるものと考えられるため、本検討における方法として適用することとする。

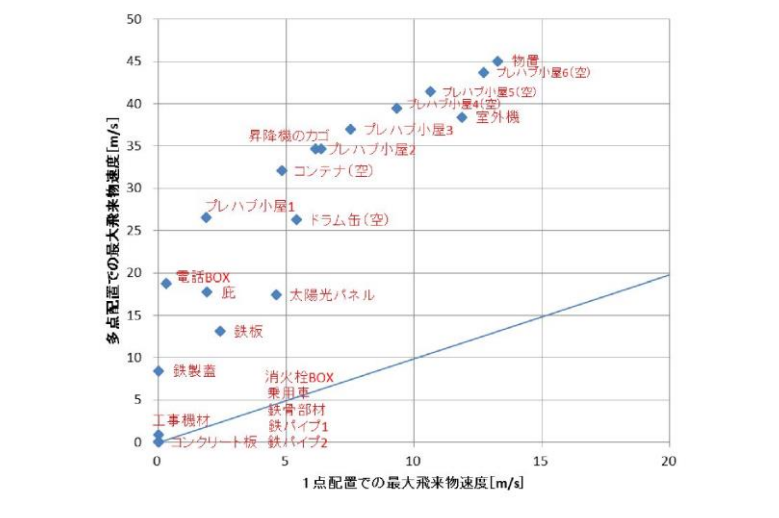
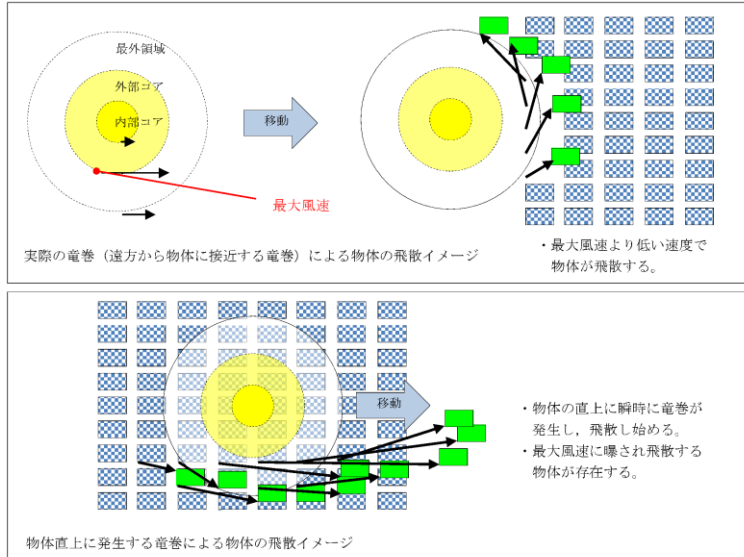
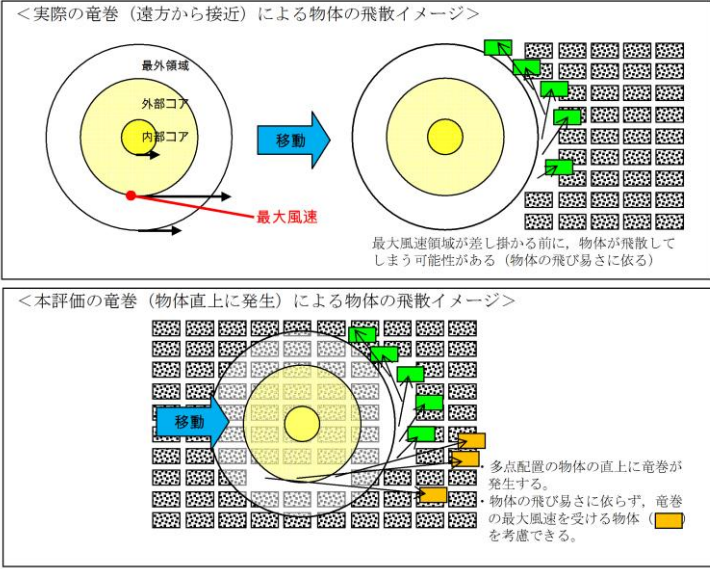
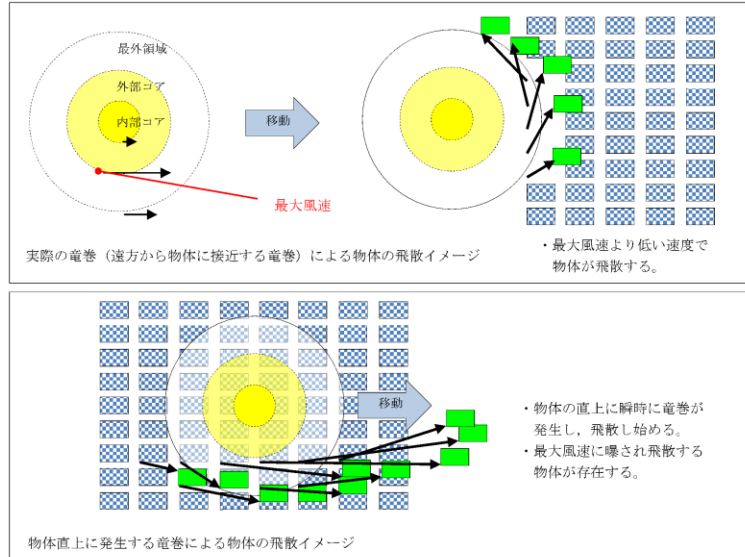


図23 1点配置時と多点配置時の最大飛来物速度の比較

前頁の図22に示す物体の多点配置(竜巻半径の4倍の正方形領域に51×51個の物体を配置)を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

図24に遠方から物体に接近する竜巻と、物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇する状

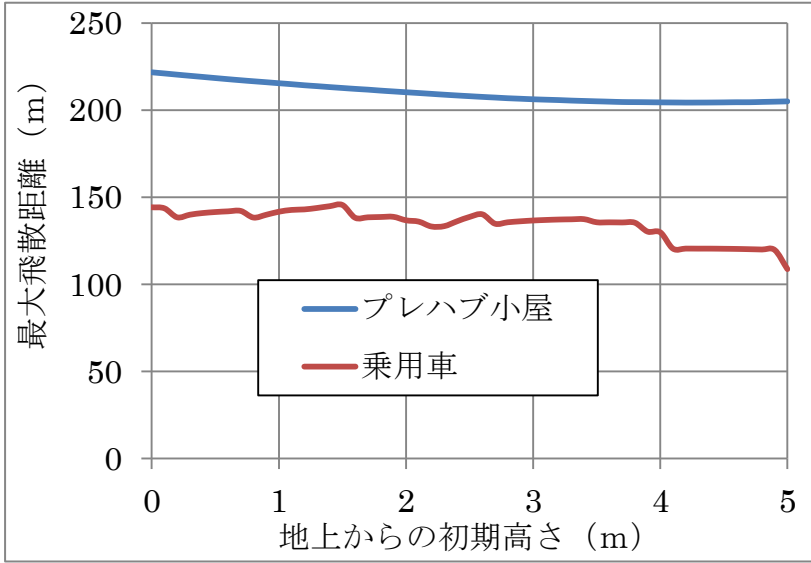
備考

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>状況（海上で竜巻が発生して上陸する場合等）を考慮すると、竜巻は遠方から物体に近づくため、最大風速より低い風速に曝され、飛散することになる。しかし、物体の直上に竜巻を発生させる設定とすることで、実際の竜巻による飛散と比較して、より厳しい結果を与えることになる。</p> 	<p>する状況（海上で竜巻が発生して上陸する場合など）を考慮すると、竜巻は遠方から物体に近づくため、最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性がある。しかし、物体の直上に竜巻を発生させることで、実際の竜巻による飛散と比較して、より厳しい結果を与えることになる。</p> <p>また、この多点配置を初期状態として適用する手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となっている。この物体を多点配置する方法と、竜巻を直上に発生させる方法を組み合わせることにより、必ずその竜巻の最大風速に曝される物体が発生するため、竜巻が物体に与える速度の不確定性を考慮した上で包絡できると考えられる。</p> 	<p>況（海上で竜巻が発生して上陸する場合等）を考慮すると、竜巻は遠方から物体に近づくため、最大風速より低い風速に曝され、飛散することになる。しかし、物体の直上に竜巻を発生させる設定とすることで、実際の竜巻による飛散と比較して、より厳しい結果を与えることになる。</p> 	
<p>第24図 物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻の比較イメージ図</p> <p>この物体を多点配置する方法と、竜巻を直上に発生させる方法を組み合わせることにより、必ずその竜巻による最大風速に曝される物体が発生するため、竜巻が物体に与える速度の不確定性を考慮することができると考えられる。</p>	<p>第5.2-3図 物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻のイメージ</p> <p>また第5.2-2図の結果から、多点配置は1点配置より全体的に大きな保守性を与えられ、よってフジタモデルの風速場に関する不確実性についても、その保守性で包絡出来ていると考えられる。</p>	<p>図24 物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻の比較イメージ図</p> <p>この物体を多点配置する方法と、竜巻を直上に発生させる方法を組み合わせることにより、必ずその竜巻による最大風速に曝される物体が発生するため、竜巻が物体に与える速度の不確定性を考慮することができると考えられる。</p>	

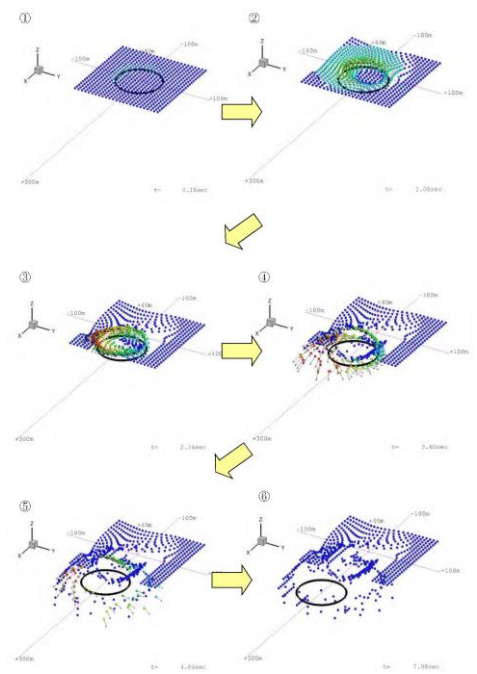
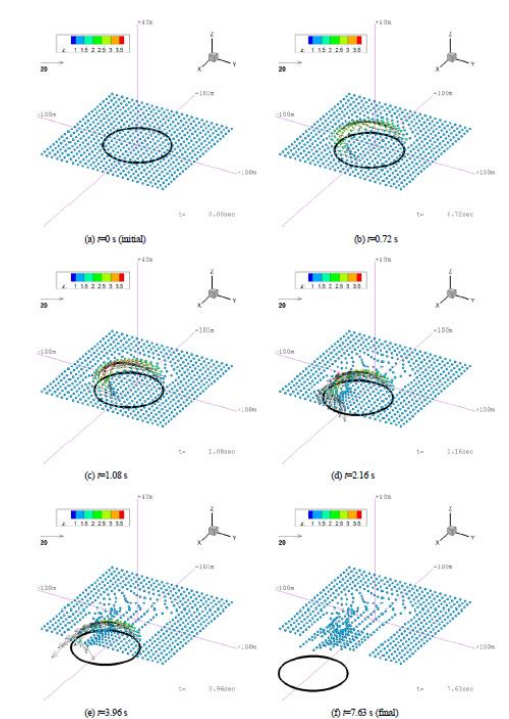
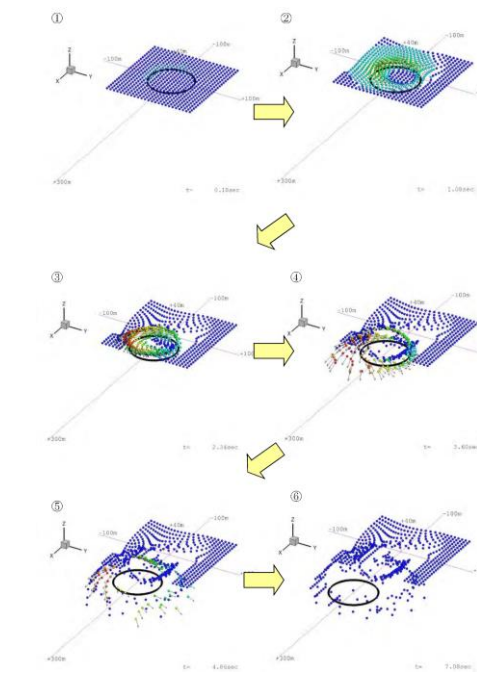
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																									
	<p>フジタモデルの風速場に関する不確実性として、フジタモデルの特徴的なパラメータである流入層高さ<math>H_i</math>の影響を検証した。外部コア半径<math>R_m=30m</math>の場合モデルでは<math>H_i=15m</math>となり、これは2.1に記載のとおり他の文献<sup>(3)(5)</sup>ともおおむね整合しているが、不確実性を考慮し、流入層高さ<math>H_i</math>を±10%変化させた場合にコンテナ(長さ6m×幅2.4m×高さ2.6m、質量2,300kg、<math>C_D A/m=0.0105</math>)の最大飛散距離、最大飛散距離及び飛散高さがどの様に変化するかを確認した。</p> <p>コンテナの1点配置及び多点配置時の飛散距離等も含めた評価結果を第5.2-1表に示す。流入層高さ<math>H_i</math>に対するこれらの感度は小さく、多点評価の保守性に包絡されることが分かる。</p> <p>第5.2-1表 流入層高さを変化させた場合のコンテナの飛跡</p> <table border="1" data-bbox="958 787 1641 982"> <thead> <tr> <th rowspan="2">パラメータ 及び変化率</th> <th colspan="3">飛散特性の変化率</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>最大 水平速度</th> <th>最大 飛散距離</th> <th>最大 浮上高さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">流入層高さ <math>H_i</math></td> <td>-10%</td> <td>0.4%</td> <td>-3.2%</td> <td>-4.9%</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>+10%</td> <td>-0.6%</td> <td>2.8%</td> <td>5.1%</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>多点配置 (1点配置からの変化率)</td> <td>420%</td> <td>1411%</td> <td>957%</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	パラメータ 及び変化率	飛散特性の変化率			備考	最大 水平速度	最大 飛散距離	最大 浮上高さ	流入層高さ $H_i$	-10%	0.4%	-3.2%	-4.9%	—	+10%	-0.6%	2.8%	5.1%	—	多点配置 (1点配置からの変化率)	420%	1411%	957%	—	—	<p>5.3 フジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性の考慮</p> <p>(1) 至近の研究報告</p> <p>竜巻の地表面付近の風速分布に関する研究として、Kosiba and Wurman 2013<sup>(6)</sup>は、図25に示すとおり地上からの高さ約5mにおける風速は地上からの高さ約40mに比べて約25%大きな値が観測されたことが報告されている。</p> <p>ただし、地上から高さ3m程度は観測していないこと等を踏まえて、本研究の結論としては、「地表面付近の竜巻特性として一般化するには、種々の渦構造・強度の竜巻について更なる観察が必要である」としている。よって、現状では、フジタモデルの風速分布に直接関連付けられるものではないが、<u>地表面付近の風速場の不確定性を踏まえて保守性を確保することとする。</u></p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>島根2号炉はフジタモデルの地表面付近の風速場に関する不確定性について記載している</p>
パラメータ 及び変化率	飛散特性の変化率			備考																								
	最大 水平速度	最大 飛散距離	最大 浮上高さ																									
流入層高さ $H_i$	-10%	0.4%	-3.2%	-4.9%	—																							
	+10%	-0.6%	2.8%	5.1%	—																							
多点配置 (1点配置からの変化率)	420%	1411%	957%	—	—																							






柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>【Kosiba らの風速の観測データ】  地上から高さ 3m (アンテナ高さ) 以下では観測できていない  レーダによるドップラー速度は飛来物体の反射から得られる瞬間計測値であるため、竜巻風速の 3 秒平均速度との対応は不明 (例えば F3 の竜巻風速は 5 秒平均風速を用いている)  一つの竜巻の観測から得られた風速分布であり、地表面付近の竜巻特性として一般化するには更なる観察が必要</p> <p>図 25 地上からの高さで風速 (ドップラー速度) 分布<sup>(6)</sup></p> <p>(2) 設計飛来物設定における保守性</p> <p>フジタモデルを用いた飛散解析においては、物体の地上からの初期高さを高く設定したほうが地表面から解析した場合に比べて最大水平速度は高くなり、最大水平速度に依存するパラメータである運動エネルギー及び貫通力も大きくなる。</p> <p>設計飛来物の設定においては、任意の地上からの高さにある鋼製材をフジタモデルを用いて飛散解析をした結果を包絡するガイド記載の鋼製材を設定しており、フジタモデルの地上付近の風速場の不確定性は考慮できている。(添付資料 3.3 別紙-6 参照。)</p> <p>(3) 飛来物評価における保守性</p> <p>物体の飛散距離、飛散高さ及び飛散速度についても、5.2.5.3 に示す保守性を考慮することで実際の被災事例に対し、保守的な結果が得られることも確認している。(6.3 参照。)</p> <p>(4) 地表面付近の風速場の不確定性について</p> <p>フジタモデルは高さ方向に風速が変化し、地上からの高さ 0m では風速が 0m/s となるモデルである。地表面付近の風速場には不確定性があることから、物体の地上からの初期高さを変化させた感度解析を実施し、地表面に設置された物体の飛散解析の妥当性を確認する。</p> <p>a. 物体の地上からの初期高さの感度解析</p> <p>物体の地上からの初期高さの感度解析条件を (a), (b) に示す。</p> <p>(a) 地上からの初期高さの解析範囲</p> <p>地上からの初期高さの解析範囲は、フジタモデルの風速場で最</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>大水平風速の97.7% (89.9m/s) の風速となる地上高さ5mまでの範囲とする。(図5-2参照。)</p> <p>(b) 対象飛来物について 資機材・車両及び軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアの設定に用いている「乗用車」及び「プレハブ小屋」を対象とする。</p> <p>(c) 感度解析結果 最大飛散距離と地上からの初期高さの関係を図26に示す。図26より、乗用車、プレハブ小屋ともに、地上からの初期高さが高くなるに従い、最大飛散距離が徐々に減少する傾向にある。地上からの初期高さが増加するに従い物品に作用する初期風速も増加するが、地面効果による揚力の減少の影響のほうが大きいため飛散距離が減少したと考えられる。以上より、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であるとする。</p>  <p>図26 最大飛散距離と地上からの初期高さの関係 (最大風速92m/s, 敷地の高低差:0m, 飛来物:乗用車(5.2m×1.9m×2.3m, 1,890kg), プレハブ小屋(27.0m×7.2m×3.4m, 7,500kg))</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>5.3 飛来物評価法のまとめ</p> <p>飛来物の浮上・飛散モデルにおいて、実際の実験結果よりも浮上しやすい係数を設定することで、浮上に関する不確定性を考慮できるような設定とする。</p> <p>また、物体を多点多配置し、その物体直上で竜巻が発生するという設定を組み合わせることにより、竜巻風速場内で物体が受ける風速の不確定性を考慮し、その竜巻において最大となる飛来速度が評価できるような設定とする。</p> <p>以上により、フジタモデルを用いて飛来物の飛散速度評価を行う場合でも、竜巻による物体飛散の不確定性を考慮した評価結果が得られるものと考えられる。</p> <p>なお、参考として第25図に本検討の条件設定による、物体の飛散イメージを示す。同じ物体でも、受ける風速によって大きく飛散状況が変わる様子が分かる。</p>  <p>第25図 竜巻による物体の飛散イメージ</p>	<p>5.3 飛散解析手法まとめ</p> <p>物体の浮上及び飛散モデルにおいて、実際の実験結果よりも浮上しやすい係数を設定することで、浮上に関する保守性を考慮できるような設定とした。</p> <p>また、物体を多点多配置し、その物体直上で竜巻が発生するという設定を組み合わせることにより、竜巻風速場内での物体が受ける風速の不確定性を考慮し、その竜巻において最大となる飛散速度が評価できるような設定とした。</p> <p>以上により、フジタモデルを用いて物体の飛散解析を行う場合でも、保守性や不確定性を考慮した評価結果が得られると考えられる。</p> <p>なお、参考として、第5.3-1図に本条件設定によるトラックの飛散イメージを示す。同じ物体でも、受ける風速によって大きく飛散状況が変わる様子が分かる。</p>  <p>第5.3-1図 竜巻によるトラックの飛散イメージ<sup>(xvii)</sup> (第6.3-5表(後述)の条件による)</p>	<p>5.4 飛来物評価法のまとめ</p> <p>物体の浮上・飛散モデルにおいて、実際の実験結果よりも浮上しやすい係数を設定することで、浮上に関する不確定性を考慮できるような設定とする。</p> <p>また、物体を多点多配置し、その物体直上で竜巻が発生するという設定を組み合わせることにより、竜巻風速場内での物体が受ける風速の不確定性を考慮し、その竜巻において最大となる飛来速度が評価できるような設定とする。</p> <p><u>当社が実施するフジタモデルの風速場を用いた飛散評価手法では、地表面付近の風速場の不確定性を踏まえ、設計飛来物設定における保守性や飛来物評価における保守性を確保している。</u></p> <p>以上により、フジタモデルを用いて物体の飛散速度評価を行う場合でも、竜巻による物体飛散の不確定性を考慮した評価結果が得られるものと考えられる。</p> <p>なお、参考として図27に本検討の条件設定による、物体の飛散イメージを示す。同じ物体でも、受ける風速によって大きく飛散状況が変わる様子が分かる。</p>  <p>図27 竜巻による物体の飛散イメージ</p>	<p>・記載方針の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 同上</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																
<p>6. 実際の飛散状況に対する検証</p> <p>前節までは、フジタモデルの風速場を用いる優位性や、飛来物評価を行う上で考慮している事項等についての説明である。</p> <p>本節では、フジタモデルの風速場や、前節の飛来物評価法を適用した場合、実際の事例等に比べて妥当な結果となるかどうかの検証を行う。</p> <p>6.1 フジタスケールとの比較</p> <p>フジタスケールは、竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から、当時の竜巻風速を推定するために考案された指標である。このフジタスケールで示されている自動車の被災状況を第3表に示す。</p> <p>ここで、各スケールに対応する最大風速(69m/s, 92m/s, 116m/s)を用いて、フジタモデルによる自動車飛散解析を行う。その結果を第4表に示す。</p> <p>フジタモデルによる自動車飛散解析の結果は、各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。なお、ランキン渦モデルを用いた場合は、F2相当の風速(69m/s)で評価しても大きく飛散することになり、フジタスケールの定義の観点からは過度に保守的な結果となる。</p> <p>第3表 フジタスケールで示されている自動車の飛散状況</p> <table border="1" data-bbox="184 1243 905 1444"> <thead> <tr> <th>フジタスケール</th> <th>風速 [m/s]</th> <th>自動車の被災状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>50-69</td> <td>cars blown off highway (自動車が道路からそれる)</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>70-92</td> <td>cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>93-116</td> <td>cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)</td> </tr> </tbody> </table> <p>第4表 フジタモデルによる自動車の飛散解析結果 (自動車の特性:長さ5.1m×幅1.77m×高さ1.31m,質量1814.4kg, <math>C_D A/m=0.0066 \text{ m}^2/\text{kg}</math>)</p> <table border="1" data-bbox="184 1646 905 1808"> <thead> <tr> <th rowspan="2">フジタスケールとの対応</th> <th rowspan="2">最大水平風速 [m/s]</th> <th rowspan="2">竜巻接線速度 [m/s]</th> <th rowspan="2">竜巻移動速度 [m/s]</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>速度 [m/s]</th> <th>距離 [m]</th> <th>高さ [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>69</td> <td>59</td> <td>10</td> <td>8.9</td> <td>4.4</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>92</td> <td>79</td> <td>13</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>116</td> <td>99</td> <td>17</td> <td>51</td> <td>95</td> <td>4.3</td> </tr> </tbody> </table>	フジタスケール	風速 [m/s]	自動車の被災状況	F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)	F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)	F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)	フジタスケールとの対応	最大水平風速 [m/s]	竜巻接線速度 [m/s]	竜巻移動速度 [m/s]	計算結果			速度 [m/s]	距離 [m]	高さ [m]	F2	69	59	10	8.9	4.4	0.1	F3	92	79	13	30	35	1.8	F4	116	99	17	51	95	4.3	<p>6. 実際の飛散状況に対する検証</p> <p>前節までで、フジタモデルの風速場を用いる利点や、飛散解析を行う上で考慮している事項等について説明した。</p> <p>本節では、フジタモデルの風速場や前節の飛散解析手法を適用した場合、実際の事例等に比べて妥当な結果となるかどうかの検証を行った。</p> <p>6.1 フジタスケールとの比較</p> <p>フジタスケールは、竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から竜巻風速を推定するために考案された指標である。フジタスケールで示されている自動車の被災状況を第6.1-1表に示す。</p> <p>ここで、各スケールに対応する最大風速(69m/s, 92m/s, 116m/s)を用いて、フジタモデルによる自動車飛散解析を行った結果を第6.1-2表に示す。</p> <p>フジタモデルによる自動車飛散解析の結果は、各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。なお、ランキン渦モデルを用いた場合は、F2相当の風速(69m/s)でも大きく飛散することになり、フジタスケールの定義の観点からは過度に保守的な結果となる。</p> <p>第6.1-1表 フジタスケールによる自動車の被災分類<sup>(24)</sup></p> <table border="1" data-bbox="958 1222 1632 1488"> <thead> <tr> <th>フジタスケール</th> <th>風速 (m/s)</th> <th>自動車の被災状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>50-69</td> <td>cars blown off highway (自動車が道路から逸れる。)</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>70-92</td> <td>cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する。)</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>93-116</td> <td>cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる又はかなりの距離を転がる。)</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6.1-2表 フジタモデルによる自動車 (<math>C_D A/m=0.0052 \text{ m}^2/\text{kg}</math>) の飛散評価結果<sup>(25)</sup></p> <table border="1" data-bbox="958 1593 1697 1757"> <thead> <tr> <th rowspan="2">フジタスケール</th> <th rowspan="2">竜巻の最大水平風速 (m/s)</th> <th rowspan="2">竜巻の接線風速 (m/s)</th> <th rowspan="2">竜巻の移動速度 (m/s)</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>最大水平速度 (m/s)</th> <th>飛散距離 (m)</th> <th>飛散高さ (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>69</td> <td>59</td> <td>10</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>92</td> <td>79</td> <td>13</td> <td>23</td> <td>34</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>116</td> <td>99</td> <td>17</td> <td>42</td> <td>59</td> <td>3.1</td> </tr> </tbody> </table>	フジタスケール	風速 (m/s)	自動車の被災状況	F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路から逸れる。)	F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する。)	F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる又はかなりの距離を転がる。)	フジタスケール	竜巻の最大水平風速 (m/s)	竜巻の接線風速 (m/s)	竜巻の移動速度 (m/s)	計算結果			最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)	F2	69	59	10	1.0	1.4	0	F3	92	79	13	23	34	1.1	F4	116	99	17	42	59	3.1	<p>6. 実際の飛散状況に対する検証</p> <p>前節までは、フジタモデルの風速場を用いる優位性や、飛来物評価を行う上で考慮している事項等についての説明である。</p> <p>本節では、フジタモデルの風速場や、前節の飛来物評価法を適用した場合、実際の事例等に比べて妥当な結果となるかどうかの検証を行う。</p> <p>6.1 フジタスケールとの比較</p> <p>フジタスケールは、竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から、当時の竜巻風速を推定するために考案された指標である。このフジタスケールで示されている自動車の被災状況を表3に示す。</p> <p>ここで、各スケールに対応する最大風速(69m/s, 92m/s, 116m/s)を用いて、フジタモデルによる自動車飛散解析を行う。その結果を表4に示す。</p> <p>フジタモデルによる自動車飛散解析の結果は、各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。なお、ランキン渦モデルを用いた場合は、F2相当の風速(69m/s)で評価しても大きく飛散することになり、フジタスケールの定義の観点からは過度に保守的な結果となる。</p> <p>表3 フジタスケールで示されている自動車の飛散状況</p> <table border="1" data-bbox="1768 1243 2490 1444"> <thead> <tr> <th>フジタスケール</th> <th>風速 [m/s]</th> <th>自動車の被災状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>50-69</td> <td>cars blown off highway (自動車が道路からそれる)</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>70-92</td> <td>cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>93-116</td> <td>cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表4 フジタモデルによる自動車の飛散解析結果 (自動車の特性:長さ5.1m×幅1.77m×高さ1.31m,質量1814.4kg, <math>C_D A/m=0.0066 \text{ m}^2/\text{kg}</math>)</p> <table border="1" data-bbox="1768 1646 2472 1808"> <thead> <tr> <th rowspan="2">フジタスケールとの対応</th> <th rowspan="2">最大水平風速 (m/s)</th> <th rowspan="2">竜巻接線風速 (m/s)</th> <th rowspan="2">竜巻移動速度 (m/s)</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>最大水平速度 (m/s)</th> <th>飛散距離 (m)</th> <th>飛散高さ (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F2</td> <td>69</td> <td>59</td> <td>10</td> <td>8.9</td> <td>4.4</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>92</td> <td>79</td> <td>13</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>116</td> <td>99</td> <td>17</td> <td>51</td> <td>95</td> <td>4.3</td> </tr> </tbody> </table>	フジタスケール	風速 [m/s]	自動車の被災状況	F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)	F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)	F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)	フジタスケールとの対応	最大水平風速 (m/s)	竜巻接線風速 (m/s)	竜巻移動速度 (m/s)	計算結果			最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)	F2	69	59	10	8.9	4.4	0.1	F3	92	79	13	30	35	1.8	F4	116	99	17	51	95	4.3
フジタスケール	風速 [m/s]	自動車の被災状況																																																																																																																																	
F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)																																																																																																																																	
F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)																																																																																																																																	
F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)																																																																																																																																	
フジタスケールとの対応	最大水平風速 [m/s]	竜巻接線速度 [m/s]	竜巻移動速度 [m/s]	計算結果																																																																																																																															
				速度 [m/s]	距離 [m]	高さ [m]																																																																																																																													
F2	69	59	10	8.9	4.4	0.1																																																																																																																													
F3	92	79	13	30	35	1.8																																																																																																																													
F4	116	99	17	51	95	4.3																																																																																																																													
フジタスケール	風速 (m/s)	自動車の被災状況																																																																																																																																	
F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路から逸れる。)																																																																																																																																	
F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する。)																																																																																																																																	
F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる又はかなりの距離を転がる。)																																																																																																																																	
フジタスケール	竜巻の最大水平風速 (m/s)	竜巻の接線風速 (m/s)	竜巻の移動速度 (m/s)	計算結果																																																																																																																															
				最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)																																																																																																																													
F2	69	59	10	1.0	1.4	0																																																																																																																													
F3	92	79	13	23	34	1.1																																																																																																																													
F4	116	99	17	42	59	3.1																																																																																																																													
フジタスケール	風速 [m/s]	自動車の被災状況																																																																																																																																	
F2	50-69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)																																																																																																																																	
F3	70-92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)																																																																																																																																	
F4	93-116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、又は、かなりの距離を転がる)																																																																																																																																	
フジタスケールとの対応	最大水平風速 (m/s)	竜巻接線風速 (m/s)	竜巻移動速度 (m/s)	計算結果																																																																																																																															
				最大水平速度 (m/s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)																																																																																																																													
F2	69	59	10	8.9	4.4	0.1																																																																																																																													
F3	92	79	13	30	35	1.8																																																																																																																													
F4	116	99	17	51	95	4.3																																																																																																																													

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考				
<p>6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例</p> <p>1978年4月17日に米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F3 の竜巻が来襲した<sup>(24)</sup>。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたコンクリート流し込み用のクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや、直径 8~10 インチの木が折れた事例等も確認されており、第 26 図は、竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置き場のパイプの飛散状況を示したものである。なお、通過時の竜巻規模は F2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは 8 フィート、直径(内径)は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して、フジタモデルあるいはランキン渦モデルを風速場として用いた飛来解析を行った。その計算条件は過去の記録に基づき第 5 表のとおりとする。</p>  <p>"Courtesy of HathiTrust" <a href="http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up;seq=65">http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up;seq=65</a> <sup>(19)</sup></p> <p>第 26 図 Grand Gulf 原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況</p> <table border="1" data-bbox="172 1287 899 1398"> <tr> <td>被害状況</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul>           (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long.<sup>(24)</sup>)         </td> </tr> </table>	被害状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul> (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long. <sup>(24)</sup> )	<p>6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例との比較</p> <p>1978年4月17日に、米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F 3 の竜巻が来襲した。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーハウスが荷台から剥がれ移動したことや、直径 8 から 10 インチの木が折れた事例等も確認されている。</p> <p>第 6.2-1 図は、竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置き場のパイプの飛散状況を示したものである。なお、資材置き場通過時の竜巻規模は F 2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは 8 フィート、直径(内径)は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して、フジタモデル及びランキン渦モデルを風速場として用いた飛来解析を行った<sup>(25)</sup>。解析条件は、過去の記録に基づき第 6.2-1 表のとおりとした。</p>  <p>パイプを収納した木箱(一部 2 段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (Pieces of pipe were scattered over the area, but none travelled more than 25-30ft. The pipe joints are 8in. dia. x 8ft. long.)</p> <p>第 6.2-1 図 Grand Gulf 原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況 (x vii)</p>	<p>6.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例</p> <p>1978年4月17日に米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F3 の竜巻が来襲した<sup>(23)</sup>。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたコンクリート流し込み用のクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや、直径 8~10 インチの木が折れた事例等も確認されており、図 28 は、竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置き場のパイプの飛散状況を示したものである。なお、通過時の竜巻規模は F2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは 8 フィート、直径(内径)は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して、フジタモデルあるいはランキン渦モデルを風速場として用いた飛来解析を行った。その計算条件は過去の記録に基づき表 5 のとおりとする。</p>  <p>"Courtesy of HathiTrust" <a href="http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up;seq=65">http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up;seq=65</a> <sup>(19)</sup></p> <p>図 28 Grand Gulf 原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況</p> <table border="1" data-bbox="1754 1287 2481 1398"> <tr> <td>被害状況</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul>           (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long.<sup>(24)</sup>)         </td> </tr> </table>	被害状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul> (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long. <sup>(24)</sup> )	
被害状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul> (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long. <sup>(24)</sup> )						
被害状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</li> </ul> (Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft. The pipe joints are 8 in. dia x 8 ft long. <sup>(24)</sup> )						



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																	
<p>第5表 Grand Gulf 原子力発電所の竜巻によるパイプ飛散の再現をする上での計算条件</p> <table border="1" data-bbox="166 340 905 642"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>設計竜巻風速</td> <td>67m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>53.6m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>13.4m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>45.7m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td>直径(外径)</td> <td>9 inch (0.2286m)</td> </tr> <tr> <td>物体高さ</td> <td>0.229m</td> </tr> <tr> <td>密度</td> <td>1700kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>飛行定数 C<sub>D</sub>A/m</td> <td>0.0080 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個, 竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 1 m (パイプが収納されていた木箱が 2 段重ねで配置されていた状況を想定。)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>計算結果を第 6 表に示す。フジタモデルを風速場とした場合は、パイプがほとんど飛散せず、木箱が倒れた影響で散らばったと思われる状況とおおむね合致している。</p> <p>なお、参考としてランキン渦モデルで評価した場合、飛散距離や最大水平速度に大きな違いがあり、実際の報告と比較して過度に保守的な評価結果となる。</p>	竜巻条件	設計竜巻風速	67m/s	最大接線風速	53.6m/s	移動速度	13.4m/s	コア半径	45.7m	飛来物条件	直径(外径)	9 inch (0.2286m)	物体高さ	0.229m	密度	1700kg/m <sup>3</sup>	飛行定数 C <sub>D</sub> A/m	0.0080 m <sup>2</sup> /kg	初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個, 竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 1 m (パイプが収納されていた木箱が 2 段重ねで配置されていた状況を想定。)</li> </ul>		<p>第 6.2-1 表 Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析条件<sup>(25)</sup></p> <table border="1" data-bbox="967 298 1665 625"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>竜巻の最大風速</td> <td>67 m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>53.6 m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>13.4 m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>45.7 m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td>直径(外径)</td> <td>0.2286 m (=9 in.)</td> </tr> <tr> <td>物体高さ</td> <td>0.229 m</td> </tr> <tr> <td>密度</td> <td>1700 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>飛行定数 (C<sub>D</sub>A/m)</td> <td>0.0080 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>解析結果を第 6.2-2 表に示す。フジタモデルを風速場とした場合は、パイプがほとんど飛散せず、収納箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況とおおむね合致している。</p> <p>なお、ランキン渦モデルで評価した場合は、飛散距離や最大水平速度に実際の報告と大きな違いがあり、過度に保守的な評価結果となる。</p>	竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s	最大接線風速	53.6 m/s	移動速度	13.4 m/s	コア半径	45.7 m	飛来物条件	直径(外径)	0.2286 m (=9 in.)	物体高さ	0.229 m	密度	1700 kg/m <sup>3</sup>	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0080 m <sup>2</sup> /kg	初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul>		<p>表 5 Grand Gulf 原子力発電所の竜巻によるパイプ飛散の再現をする上での計算条件</p> <table border="1" data-bbox="1757 340 2466 676"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>竜巻の最大風速</td> <td>67 m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>53.6 m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>13.4 m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>45.7 m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td>直径(外径)</td> <td>0.2286 m (=9 in.)</td> </tr> <tr> <td>物品高さ</td> <td>0.229 m</td> </tr> <tr> <td>密度</td> <td>1700 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>飛行定数 (C<sub>D</sub>A/m)</td> <td>0.0080 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>計算結果を表 6 に示す。フジタモデルを風速場とした場合は、パイプがほとんど飛散せず、木箱が倒れた影響で散らばったと思われる状況とおおむね合致している。</p> <p>なお、参考としてランキン渦モデルで評価した場合は、飛散距離や最大水平速度に大きな違いがあり、実際の報告と比較して過度に保守的な評価結果となる。</p>	竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s	最大接線風速	53.6 m/s	移動速度	13.4 m/s	コア半径	45.7 m	飛来物条件	直径(外径)	0.2286 m (=9 in.)	物品高さ	0.229 m	密度	1700 kg/m <sup>3</sup>	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0080 m <sup>2</sup> /kg	初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul>				
竜巻条件		設計竜巻風速	67m/s																																																																	
		最大接線風速	53.6m/s																																																																	
		移動速度	13.4m/s																																																																	
	コア半径	45.7m																																																																		
飛来物条件	直径(外径)	9 inch (0.2286m)																																																																		
	物体高さ	0.229m																																																																		
	密度	1700kg/m <sup>3</sup>																																																																		
	飛行定数 C <sub>D</sub> A/m	0.0080 m <sup>2</sup> /kg																																																																		
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個, 竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 1 m (パイプが収納されていた木箱が 2 段重ねで配置されていた状況を想定。)</li> </ul>																																																																			
竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s																																																																		
	最大接線風速	53.6 m/s																																																																		
	移動速度	13.4 m/s																																																																		
	コア半径	45.7 m																																																																		
飛来物条件	直径(外径)	0.2286 m (=9 in.)																																																																		
	物体高さ	0.229 m																																																																		
	密度	1700 kg/m <sup>3</sup>																																																																		
	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0080 m <sup>2</sup> /kg																																																																		
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul>																																																																			
竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s																																																																		
	最大接線風速	53.6 m/s																																																																		
	移動速度	13.4 m/s																																																																		
	コア半径	45.7 m																																																																		
飛来物条件	直径(外径)	0.2286 m (=9 in.)																																																																		
	物品高さ	0.229 m																																																																		
	密度	1700 kg/m <sup>3</sup>																																																																		
	飛行定数 (C <sub>D</sub> A/m)	0.0080 m <sup>2</sup> /kg																																																																		
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 51×51 本を, 最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2R<sub>m</sub>, +2R<sub>m</sub>]) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ: 1 m (パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定)</li> </ul>																																																																			
<p>第 6 表 Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果</p> <table border="1" data-bbox="195 1197 863 1356"> <thead> <tr> <th rowspan="2">風速場モデル</th> <th rowspan="2">初期物体高さ</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル</td> <td>1 m</td> <td>1.2 m</td> <td>0.0 m</td> <td>4.9 m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル</td> <td>1 m<sup>※1</sup></td> <td>42.6 m</td> <td>0.34 m</td> <td>30.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル</td> <td>40 m</td> <td>227 m</td> <td>0.34 m</td> <td>40.9 m/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1: ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果(飛散距離)と比較するため、フジタモデルと同条件とする。</p> <p>※2: 初期物体高さからの飛散高さ。</p> <p>6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例</p> <p>2006 年 11 月 7 日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻(以下「佐呂間竜巻」という。)により、4t トラックが約 40m 移動したことが報告されている<sup>(25)</sup>。被災状況を第 27 図に示す。この事例では被災時に 4t トラックに乗員 2 名が乗車しており、4t トラックの初期位置と移動位置が分かっている(第 27 図左上画像の②)。また、4t トラックの他に 2 台の自動車(第 27 図左上画像の③と⑥)について、初期位置と被災後の移動位置が分かって</p>	風速場モデル	初期物体高さ	計算結果			飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル	1 m	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s	ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s	ランキン渦モデル	40 m	227 m	0.34 m	40.9 m/s	<p>第 6.2-2 表 Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析結果<sup>(25)</sup></p> <table border="1" data-bbox="949 1192 1665 1346"> <thead> <tr> <th rowspan="2">風速場モデル</th> <th rowspan="2">初期物体高さ</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル</td> <td>1 m (地上)</td> <td>1.2 m</td> <td>0.0 m</td> <td>4.9 m/s</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ランキン渦モデル</td> <td>1 m<sup>※1</sup></td> <td>42.6 m</td> <td rowspan="2">0.34 m</td> <td>30.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>40 m</td> <td>227 m</td> <td>40.9 m/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 比較のため、フジタモデルと同条件とした。</p> <p>※2 初期物体高さからの飛散(浮上)高さ。</p> <p>6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較</p> <p>2006 年 11 月 7 日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻(以下「佐呂間竜巻」という。)により、4t トラックが約 40m 移動したことが報告<sup>(xix)</sup>されている。被災状況を第 6.3-1 図に示す。この事例では被災時に 4t トラックに乗員 2 名が乗車しており、4t トラックの初期位置と移動位置が分かっている(②)。また、4t トラックの他に、2 台の自動車(③と⑥)の初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確</p>	風速場モデル	初期物体高さ	計算結果			飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s	ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s	40 m	227 m	40.9 m/s	<p>表 6 Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果</p> <table border="1" data-bbox="1745 1192 2496 1346"> <thead> <tr> <th rowspan="2">風速場モデル</th> <th rowspan="2">地上からの初期高さ</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル</td> <td>1 m (地上)</td> <td>1.2 m</td> <td>0.0 m</td> <td>4.9 m/s</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ランキン渦モデル</td> <td>1 m<sup>※1</sup></td> <td>42.6 m</td> <td rowspan="2">0.34 m</td> <td>30.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>40 m</td> <td>227 m</td> <td>40.9 m/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 比較のため、フジタモデルと同条件とした。</p> <p>※2 初期物体高さからの飛散(浮上)高さ。</p> <p>6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例</p> <p>2006 年 11 月 7 日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻(以下「佐呂間竜巻」という。)により、4t トラックが約 40m 移動したことが報告されている<sup>(24)</sup>。被災状況を図 29 に示す。この事例では被災時に 4t トラックに乗員 2 名が乗車しており、4t トラックの初期位置と移動位置が分かっている(図 29 左上画像の②)。また、4t トラックの他に 2 台の自動車(図 29 左上画像の③と⑥)について、初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このよ</p>	風速場モデル	地上からの初期高さ	計算結果			飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s	ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s	40 m	227 m	40.9 m/s	
風速場モデル			初期物体高さ	計算結果																																																																
	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>		最大水平速度																																																																
フジタモデル	1 m	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s																																																																
ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s																																																																
ランキン渦モデル	40 m	227 m	0.34 m	40.9 m/s																																																																
風速場モデル	初期物体高さ	計算結果																																																																		
		飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度																																																																
フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s																																																																
ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s																																																																
	40 m	227 m		40.9 m/s																																																																
風速場モデル	地上からの初期高さ	計算結果																																																																		
		飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度																																																																
フジタモデル	1 m (地上)	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s																																																																
ランキン渦モデル	1 m <sup>※1</sup>	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s																																																																
	40 m	227 m		40.9 m/s																																																																

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>いる。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めてまれである。なお、竜巻飛来物の再現計算は、竜巻が頻発する米国でもほとんど実施されていない。この理由としては、来襲した実際の竜巻特性を精度よく計測・推測することが困難であることや自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。</p>	<p>になっている事例は極めて稀である。なお、竜巻による飛散物の再現計算は、竜巻が頻発する米国でもほとんど実施されていない。この理由としては、来襲した実際の竜巻特性を精度良く計測、推測することが困難であることや、自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。</p>	<p>うに竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めてまれである。なお、竜巻飛来物の再現計算は、竜巻が頻発する米国でもほとんど実施されていない。この理由としては、来襲した実際の竜巻特性を精度よく計測・推測することが困難であることや自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。</p>	
			
<p>第27図 佐呂間竜巻(2006.11.7)による被災状況(工事事務所敷地内の車両被災)(25) (文献(25)で示されている竜巻被害の方向を➡で加筆)</p>	<p>第6.3-1図 佐呂間竜巻による被災状況(工事事務所敷地内の車両被災) (文献<sup>(27)</sup>の写真に竜巻被害の方向を加筆)</p>	<p>図29 佐呂間竜巻(2006.11.7)による被災状況(工事事務所敷地内の車両被災)<sup>(24)</sup> (文献(24)で示されている竜巻被害の方向を➡で加筆)</p>	
<p>ここでは、フジタモデルを風速場として用いた車両(4tトラック、乗用車)の飛散評価を行い、実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行う。方法としては、下記の2通りとする。</p>	<p>ここでは、フジタモデルを風速場として用いた車両(4tトラック及び乗用車)の飛散解析を行い、実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行った。方法としては、下記の2とおりとした。</p>	<p>ここでは、フジタモデルを風速場として用いた車両(4tトラック、乗用車)の飛散評価を行い、実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行う。方法としては、下記の2通りとする。</p>	
<p>(a) 竜巻特性や飛来物(4tトラック、乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析 (b) 柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法による検証</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻特性や飛来物(4tトラック及び乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析</li> <li>・ 今回の飛散解析手法による検証</li> </ul>	<p>(a) 竜巻特性や飛来物(4tトラック、乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析 (b) 今回の飛散解析手法による検証</p>	
<p>(a) 竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析 (i) 4tトラックの飛散解析 再現解析の条件として、入手可能なデータ<sup>(25)(26)</sup>に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物(4tトラック)の条件を第7表のように設定する。初期配置の条件として、配置個数は1個とし、竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また、風速60m/s以下では浮上しない設定となっている。その上で、竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ、佐呂間竜巻の再現性を確認する。</p>	<p>(1) 竜巻特性や飛来物(4tトラック及び乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析 a. 4tトラックの飛散解析 解析条件として、入手可能なデータ<sup>(27)(28)</sup>に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物(4tトラック)の条件を第6.3-1表のとおり設定した。初期配置の条件として、配置数は1台とし、竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また、風速60m/s以下では浮上しない設定<sup>(16)</sup>とした。その上で、竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ、佐呂間竜巻の再現性を確認した。</p>	<p>(a) 竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析 (i) 4tトラックの飛散解析 再現解析の条件として、入手可能なデータ<sup>(24)(25)</sup>に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物(4tトラック)の条件を表7のように設定する。初期配置の条件として、配置個数は1個とし、竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また、風速60m/s以下では浮上しない設定となっている。その上で、竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ、佐呂間竜巻の再現性を確認する。</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)

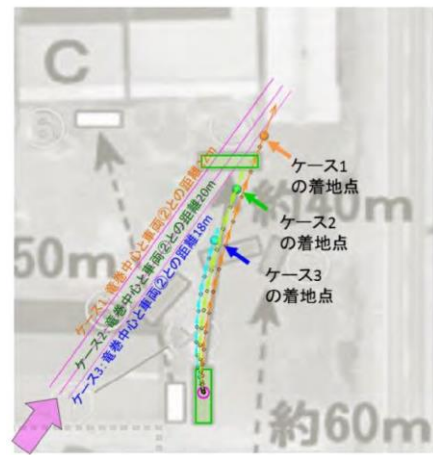
車両と竜巻中心との距離を 18 m, 20 m, 22 m とした場合の解析結果を第 8 表及び第 28 図に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、フジタモデルを風速場とした飛散解析で、飛来物が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できる。

第 7 表 佐呂間竜巻の 4t トラックの計算条件

竜巻条件	設計竜巻風速	92m/s	
	最大接線風速	70m/s	
	移動速度	22m/s	
	コア半径	20m	
飛来物条件	車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D の仕様を採用	車両長さ	8.1m
		車両幅	2.24m
		車両高さ	2.5m
		車両質量	4000kg
		飛行定数 $C_D A/m$	0.0056 m <sup>2</sup> /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 1 個</li> <li>竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m/s 以下では浮上しない</li> <li>設置高さ 0 m</li> </ul>		

第 8 表 佐呂間竜巻での 4t トラックの飛散計算結果

解析ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22m	45.4 m	2.8m	25.8 m/s
2	20m	35.5 m	2.3m	22.2 m/s
3	18m	25.9 m	1.7m	18.8 m/s



第 28 図 フジタモデルによるトラック飛散の再現解析結果

東海第二発電所 (2018.9.18版)

車両と竜巻中心との距離を 18m, 20m, 22m とした場合の解析結果を第 6.3-2 表及び第 6.3-2 図に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、フジタモデルを風速場とした飛散解析で、物体が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できた。

第 6.3-1 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析条件<sup>(25)</sup>

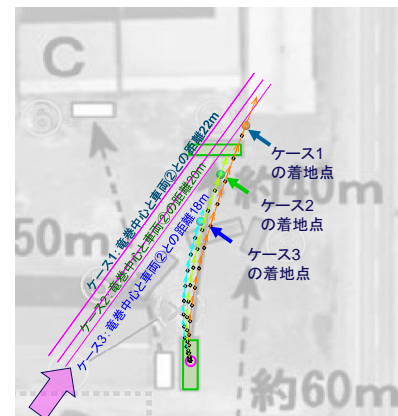
竜巻条件	竜巻の最大風速	92 m/s <sup>※1</sup>
	最大接線風速	70 m/s
	移動速度	22 m/s
	コア半径	20 m
飛来物条件	車両長さ <sup>※2</sup>	8.1 m
	車両幅 <sup>※2</sup>	2.24 m
	車両高さ <sup>※2</sup>	2.5 m
	車両重量	4000 kg
	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0056 m <sup>2</sup> /kg
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数: 1 台</li> <li>設置高さ: 0 m (地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m/s 以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul>	

※1 佐呂間竜巻のフジタスケール (F3) に基づく。

※2 車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D を仮定。

第 6.3-2 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	45.4 m	2.8 m	25.8 m/s
2	20 m	35.5 m	2.3 m	22.2 m/s
3	18 m	25.9 m	1.7 m	18.8 m/s



第 6.3-2 図 フジタモデルによる 4t トラックの飛散解析結果 (文献<sup>(27)</sup>の写真に軌跡を加筆)

島根原子力発電所 2号炉

車両と竜巻中心との距離を 18 m, 20 m, 22 m とした場合の解析結果を表 8 及び図 30 に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、フジタモデルを風速場とした飛散解析で、物体が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できる。

表 7 佐呂間竜巻の 4t トラックの計算条件

竜巻条件	設計最大風速	92 m/s	
	最大接線風速	70 m/s	
	移動速度	22 m/s	
	コア半径	20 m	
飛来物条件	車種不明のため、三菱ふそう PA-FK71D の仕様を採用	長さ	8.1 m
		幅	2.24 m
		高さ	2.5 m
		重量	4000 kg
	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0056 m <sup>2</sup> /kg	
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 1 個</li> <li>竜巻は遠方から物体に近づくが、風速 60m/s 以下では浮上しない</li> <li>地上からの初期高さ 0 m</li> </ul>		

表 8 佐呂間竜巻での 4t トラックの飛散計算結果

解析ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22m	45.4 m	2.8m	25.8 m/s
2	20m	35.5 m	2.3m	22.2 m/s
3	18m	25.9 m	1.7m	18.8 m/s

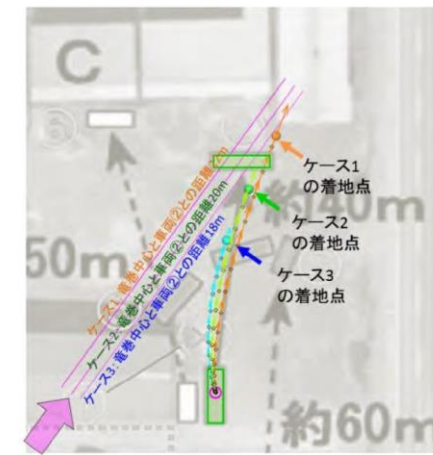
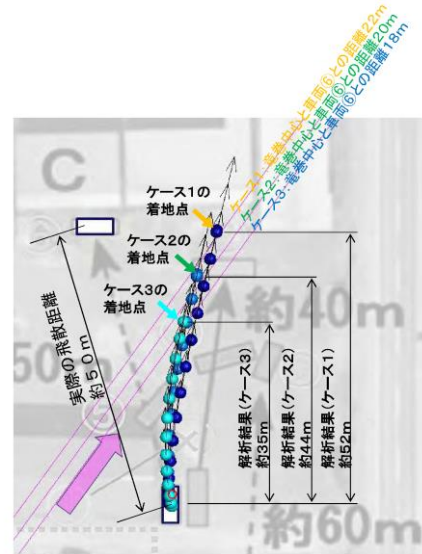


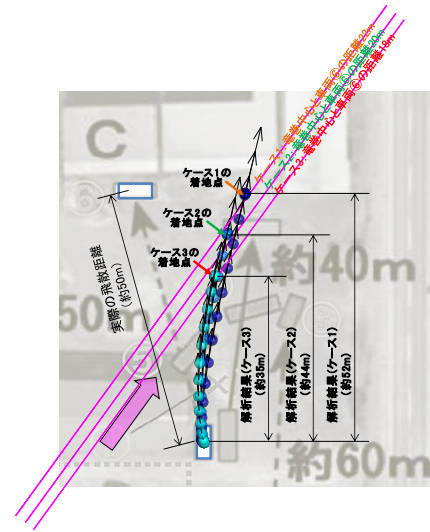
図 30 フジタモデルによるトラック飛散の再現解析結果

備考

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																					
<p>(ii) 乗用車の飛散解析</p> <p>白い乗用車(第27図の⑥)の被災事例を対象として、物体を1点初期配置した条件で最大水平速度等を計算する。</p> <p>白い乗用車の計算条件について、第9表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第9表 佐呂間竜巻の白い乗用車の計算条件</p> <table border="1" data-bbox="184 569 878 774"> <tr> <td>竜巻条件</td> <td colspan="3">第7表と同様</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td rowspan="4">白い乗用車 トヨタカローラ を仮定</td> <td>車両長さ</td> <td>4.40m</td> </tr> <tr> <td>車両幅</td> <td>1.70m</td> </tr> <tr> <td>車両高さ</td> <td>1.50m</td> </tr> <tr> <td>飛行定数 <math>C_D A/m</math></td> <td>0.0097 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="3"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数1個</li> <li>竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない</li> <li>設置高さ0m</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>白い乗用車と竜巻中心との距離を、18m、20m、22mとした場合の解析結果を第10表及び第29図に示す。飛散距離についてはケース1でおおむね合致している。</p> <p>飛散方向については、飛び出し方向はおおむね合致しているものの、最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車(白)が建物に近接して駐車していたため、この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。</p> <p>なお、赤い乗用車(第27図の③)について評価した場合は、竜巻中心との距離が大きいため飛散しない解析結果となる。ただし、実際には、赤い乗用車は全壊・飛散したプレハブ建物(軽量鉄骨造2階建て、第27図のA)の直ぐ下流側に駐車しており、その瓦礫の影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">第10表 佐呂間竜巻での白い乗用車の飛散計算結果</p> <table border="1" data-bbox="192 1551 899 1717"> <thead> <tr> <th rowspan="2">解析ケース</th> <th rowspan="2">白い乗用車と竜巻中心との距離</th> <th colspan="3">計算結果(フジタモデル)</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ</th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>22m</td> <td>51.9 m</td> <td>3.6m</td> <td>28.9 m/s</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20m</td> <td>43.5 m</td> <td>3.4m</td> <td>24.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>18m</td> <td>34.7 m</td> <td>2.9m</td> <td>21.1 m/s</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻条件	第7表と同様			飛来物条件	白い乗用車 トヨタカローラ を仮定	車両長さ	4.40m	車両幅	1.70m	車両高さ	1.50m	飛行定数 $C_D A/m$	0.0097 m <sup>2</sup> /kg	初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数1個</li> <li>竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない</li> <li>設置高さ0m</li> </ul>			解析ケース	白い乗用車と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)			飛散距離	飛散高さ	最大水平速度	1	22m	51.9 m	3.6m	28.9 m/s	2	20m	43.5 m	3.4m	24.7 m/s	3	18m	34.7 m	2.9m	21.1 m/s	<p>b. 乗用車の飛散解析</p> <p>白い乗用車(第6.3-1図の⑥)の被災事例を対象として、物体を1点初期配置した条件で最大水平速度等を計算した。</p> <p>乗用車の計算条件について、第6.3-3表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第6.3-3表 佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析条件</p> <table border="1" data-bbox="958 535 1650 800"> <tr> <td>竜巻条件</td> <td colspan="2">トラック(第6.3-1表)と同じ</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td>車両長さ<sup>※2</sup></td> <td>4.4 m</td> </tr> <tr> <td>車両幅<sup>※</sup></td> <td>1.7 m</td> </tr> <tr> <td>車両高さ<sup>※</sup></td> <td>1.5 m</td> </tr> <tr> <td>飛行定数 (<math>C_D A/m</math>)</td> <td>0.0097 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置等</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>設置高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>※1 佐呂間竜巻のフジタスケール(F3)に基づく。  ※2 車種不明のため、トヨタカローラを仮定。</p> <p>乗用車と竜巻中心との距離を18m、20m及び22mとした場合の解析結果を、第6.3-4表及び第6.3-3図に示す。飛散距離については、ケース1でおおむね合致している。</p> <p>飛散方向については、飛び出し方向はおおむね合致しているものの、最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車(白)が建物(A棟)に近接して駐車していたため、この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。</p> <p>なお、赤い乗用車(第6.3-1図の③)について評価した場合は、竜巻中心との距離が大きいため飛散しない結果となった。ただし、実際には、赤い乗用車は全壊・飛散したプレハブ建物(軽量鉄骨造2階建て、第6.3-1図のA)の直ぐ下流側に駐車しており、そのがれきの影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">第6.3-4表 佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析結果</p> <table border="1" data-bbox="958 1551 1650 1701"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ケース</th> <th rowspan="2">車両と竜巻中心との距離</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ</th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>22 m</td> <td>51.9 m</td> <td>3.6 m</td> <td>28.9 m/s</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20 m</td> <td>43.5 m</td> <td>3.4 m</td> <td>24.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>18 m</td> <td>34.7 m</td> <td>2.9 m</td> <td>21.1 m/s</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻条件	トラック(第6.3-1表)と同じ		飛来物条件	車両長さ <sup>※2</sup>	4.4 m	車両幅 <sup>※</sup>	1.7 m	車両高さ <sup>※</sup>	1.5 m	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0097 m <sup>2</sup> /kg	初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>設置高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul>		ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果			飛散距離	飛散高さ	最大水平速度	1	22 m	51.9 m	3.6 m	28.9 m/s	2	20 m	43.5 m	3.4 m	24.7 m/s	3	18 m	34.7 m	2.9 m	21.1 m/s	<p>(ii) 乗用車の飛散解析</p> <p>白い乗用車(図29の⑥)の被災事例を対象として、物体を1点初期配置した条件で最大水平速度等を計算する。</p> <p>白い乗用車の計算条件について、表9に示す。</p> <p style="text-align: center;">表9 佐呂間竜巻の白い乗用車の計算条件</p> <table border="1" data-bbox="1742 560 2493 804"> <tr> <td>竜巻条件</td> <td colspan="2">表7と同様</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">飛来物条件</td> <td>長さ<sup>※1</sup></td> <td>4.4 m</td> </tr> <tr> <td>幅<sup>※1</sup></td> <td>1.7 m</td> </tr> <tr> <td>高さ<sup>※1</sup></td> <td>1.5 m</td> </tr> <tr> <td>飛行定数 (<math>C_D A/m</math>)</td> <td>0.0097 m<sup>2</sup>/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置等</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>地上からの初期高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>※1 車種不明のため、トヨタカローラを仮定。</p> <p>白い乗用車と竜巻中心との距離を、18m、20m、22mとした場合の解析結果を表10及び図31に示す。飛散距離についてはケース1でおおむね合致している。</p> <p>飛散方向については、飛び出し方向はおおむね合致しているものの、最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車(白)が建物に近接して駐車していたため、この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。</p> <p>なお、赤い乗用車(図29の③)について評価した場合は、竜巻中心との距離が大きいため飛散しない解析結果となる。ただし、実際には、赤い乗用車は全壊・飛散したプレハブ建物(軽量鉄骨造2階建て、図29のA)の直ぐ下流側に駐車しており、その瓦礫の影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。</p> <p style="text-align: center;">表10 佐呂間竜巻での白い乗用車の飛散計算結果</p> <table border="1" data-bbox="1765 1551 2472 1717"> <thead> <tr> <th rowspan="2">解析ケース</th> <th rowspan="2">白い乗用車と竜巻中心との距離</th> <th colspan="3">計算結果(フジタモデル)</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ</th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>22m</td> <td>51.9 m</td> <td>3.6m</td> <td>28.9 m/s</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20m</td> <td>43.5 m</td> <td>3.4m</td> <td>24.7 m/s</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>18m</td> <td>34.7 m</td> <td>2.9m</td> <td>21.1 m/s</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻条件	表7と同様		飛来物条件	長さ <sup>※1</sup>	4.4 m	幅 <sup>※1</sup>	1.7 m	高さ <sup>※1</sup>	1.5 m	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0097 m <sup>2</sup> /kg	初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>地上からの初期高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul>		解析ケース	白い乗用車と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)			飛散距離	飛散高さ	最大水平速度	1	22m	51.9 m	3.6m	28.9 m/s	2	20m	43.5 m	3.4m	24.7 m/s	3	18m	34.7 m	2.9m	21.1 m/s	
竜巻条件	第7表と同様																																																																																																																							
飛来物条件	白い乗用車 トヨタカローラ を仮定	車両長さ	4.40m																																																																																																																					
		車両幅	1.70m																																																																																																																					
		車両高さ	1.50m																																																																																																																					
		飛行定数 $C_D A/m$	0.0097 m <sup>2</sup> /kg																																																																																																																					
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数1個</li> <li>竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない</li> <li>設置高さ0m</li> </ul>																																																																																																																							
解析ケース	白い乗用車と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)																																																																																																																						
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度																																																																																																																				
1	22m	51.9 m	3.6m	28.9 m/s																																																																																																																				
2	20m	43.5 m	3.4m	24.7 m/s																																																																																																																				
3	18m	34.7 m	2.9m	21.1 m/s																																																																																																																				
竜巻条件	トラック(第6.3-1表)と同じ																																																																																																																							
飛来物条件	車両長さ <sup>※2</sup>	4.4 m																																																																																																																						
	車両幅 <sup>※</sup>	1.7 m																																																																																																																						
	車両高さ <sup>※</sup>	1.5 m																																																																																																																						
	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0097 m <sup>2</sup> /kg																																																																																																																						
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>設置高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul>																																																																																																																							
ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果																																																																																																																						
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度																																																																																																																				
1	22 m	51.9 m	3.6 m	28.9 m/s																																																																																																																				
2	20 m	43.5 m	3.4 m	24.7 m/s																																																																																																																				
3	18 m	34.7 m	2.9 m	21.1 m/s																																																																																																																				
竜巻条件	表7と同様																																																																																																																							
飛来物条件	長さ <sup>※1</sup>	4.4 m																																																																																																																						
	幅 <sup>※1</sup>	1.7 m																																																																																																																						
	高さ <sup>※1</sup>	1.5 m																																																																																																																						
	飛行定数 ( $C_D A/m$ )	0.0097 m <sup>2</sup> /kg																																																																																																																						
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数:1台</li> <li>地上からの初期高さ:0m(地上)</li> <li>「竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60m/s以下では浮上しない」ことを条件として付加</li> </ul>																																																																																																																							
解析ケース	白い乗用車と竜巻中心との距離	計算結果(フジタモデル)																																																																																																																						
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度																																																																																																																				
1	22m	51.9 m	3.6m	28.9 m/s																																																																																																																				
2	20m	43.5 m	3.4m	24.7 m/s																																																																																																																				
3	18m	34.7 m	2.9m	21.1 m/s																																																																																																																				



第 29 図 フジタモデルによる白い乗用車飛散の再現解析結果



第 6.3-3 図 フジタモデルによる乗用車の飛散解析結果<sup>(2,3)</sup>  
(別文献<sup>(2,8)</sup>の写真に軌跡を加筆)

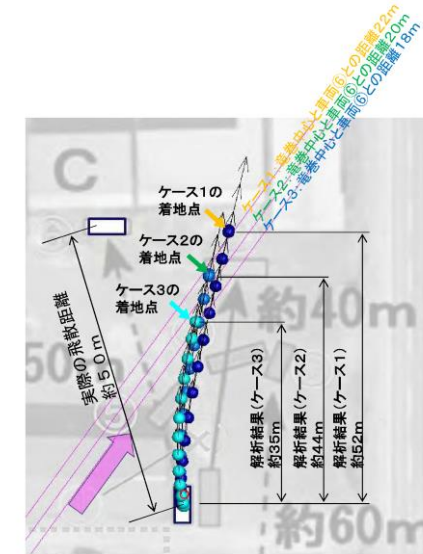


図 31 フジタモデルによる白い乗用車飛散の再現解析結果

(iii) 多点配置等を考慮した場合の竜巻評価の影響

多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法を、前述の佐呂間竜巻における4tトラックの被災事例に適用し、佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）の結果を比較した。

多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法では、多数配置した物体それぞれがとる最大水平速度のうち、最も大きな値を設計値として用いる。そこで、物体個数は51×51個とし、竜巻半径の4倍を一辺とする正方形内に等間隔で地面レベルに物体を配置した。計算条件を表11に示す。

図32(a)に0.1s毎の物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係）を、図32(b)に水平移動距離と物体の水平速度の関係を示す。これらの図から、物体の最大水平速度は39.9m/s、最大飛散高さは5.3m、最大飛散距離は86.5mとなっている。実際の被災状況と多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法による解析結果の比較を表12に示す。解析結果は佐呂間竜巻でのトラックの被災状況に対して保守性があることが確認できる。

・記載方針の相違  
【柏崎6/7, 東海第二】  
島根2号炉は多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法を実施し、実際の被災状況と比較している

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																		
		<p style="text-align: center;"><u>表 11 多点配置時の計算条件</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 289 2499 531"> <tr> <td>竜巻条件</td> <td>表 7 と同様</td> </tr> <tr> <td>飛来物条件</td> <td>表 7 と同様</td> </tr> <tr> <td>初期配置等</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2Rm, +2Rm]) に等間隔配置。</li> <li>・地上からの初期高さ：0m (地上)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><u>表 12 実際の被災状況と多点配置等を考慮した場合の飛散解析手法の結果の比較</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 709 2484 1255"> <thead> <tr> <th></th> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ</th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計算結果 (TONBOS)</td> <td>86.5 m</td> <td>5.3 m</td> <td>39.9 m/s (約 144 km/hr)</td> </tr> <tr> <td>実際の被災 状況</td> <td>約 40 m</td> <td>トラックの運転席に 乗っていた乗員 2 名が 幸いにも存命で救出さ れ，搬送先の病院で聞 き取り調査に応じてお り，被災したトラック が地面から 5.3 m 以上 の高所から落下したと は考えにくい。</td> <td>被災後もほぼ元の外形 を留めていることが示 されており，実際の飛 来物速度は本解析で得 られた最大飛来物速度 (約 144 km/hr) を遙か に下回るものと推察で きる。</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻条件	表 7 と同様	飛来物条件	表 7 と同様	初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2Rm, +2Rm]) に等間隔配置。</li> <li>・地上からの初期高さ：0m (地上)</li> </ul>		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度	計算結果 (TONBOS)	86.5 m	5.3 m	39.9 m/s (約 144 km/hr)	実際の被災 状況	約 40 m	トラックの運転席に 乗っていた乗員 2 名が 幸いにも存命で救出さ れ，搬送先の病院で聞 き取り調査に応じてお り，被災したトラック が地面から 5.3 m 以上 の高所から落下したと は考えにくい。	被災後もほぼ元の外形 を留めていることが示 されており，実際の飛 来物速度は本解析で得 られた最大飛来物速度 (約 144 km/hr) を遙か に下回るものと推察で きる。	
竜巻条件	表 7 と同様																				
飛来物条件	表 7 と同様																				
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (x, y=[-2Rm, +2Rm]) に等間隔配置。</li> <li>・地上からの初期高さ：0m (地上)</li> </ul>																				
	飛散距離	飛散高さ	最大水平速度																		
計算結果 (TONBOS)	86.5 m	5.3 m	39.9 m/s (約 144 km/hr)																		
実際の被災 状況	約 40 m	トラックの運転席に 乗っていた乗員 2 名が 幸いにも存命で救出さ れ，搬送先の病院で聞 き取り調査に応じてお り，被災したトラック が地面から 5.3 m 以上 の高所から落下したと は考えにくい。	被災後もほぼ元の外形 を留めていることが示 されており，実際の飛 来物速度は本解析で得 られた最大飛来物速度 (約 144 km/hr) を遙か に下回るものと推察で きる。																		



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
-------------------------------------	-------------------------	--------------	----

(b) 柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法による検証<sup>(27)</sup>

ここでは、柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法の竜巻条件・物体初期配置条件で前述の佐呂間竜巻における4tトラック及び白い乗用車の被災事例を評価し、佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）との結果を比較する。

(i) 4tトラックの飛散解析

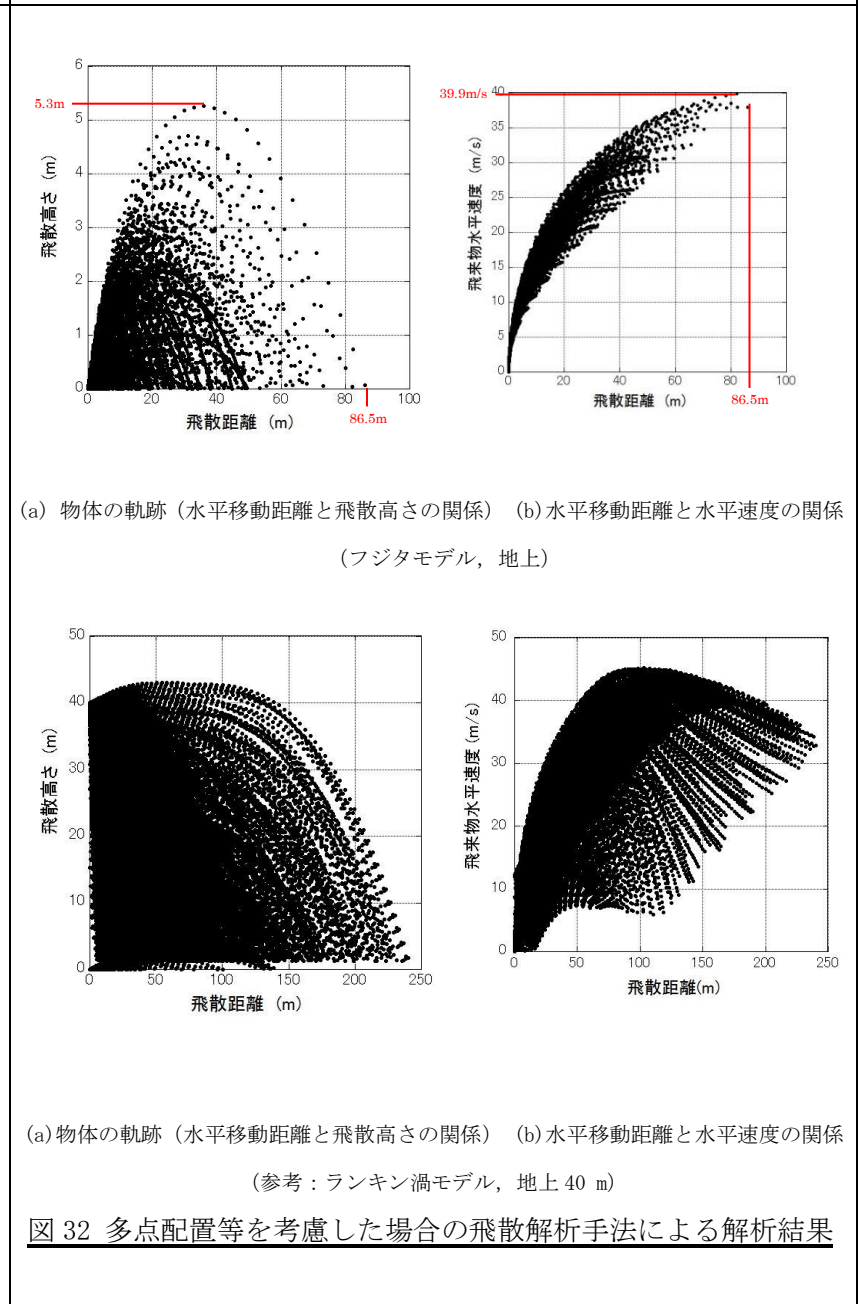
計算条件について第11表に示す。竜巻条件としては、設計竜巻の最大風速を92 m/sとし、その他の特性量については、ガイドに

(2) 今回の飛散解析手法による検証

ここでは、今回の飛散解析手法で、前述の佐呂間竜巻における4tトラック及び乗用車の被災事例を評価し、実際の被災状況（飛散距離等）と比較する。

a. 4tトラックの飛散解析

解析条件について第6.3-5表に示す。竜巻条件としては、最大風速を92m/sとし、その他の特性量については、竜巻影響評価ガ



(b) 今回の飛散解析手法による検証<sup>(26)</sup>

ここでは、今回の飛散解析手法で、前述の佐呂間竜巻における4tトラック及び白い乗用車の被災事例を評価し、佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）との結果を比較する。

(i) 4tトラックの飛散解析

計算条件について表13に示す。竜巻条件としては、設計竜巻の最大風速を92 m/sとし、その他の特性量については、ガイドに例

(b) 今回の飛散解析手法による検証<sup>(26)</sup>

ここでは、今回の飛散解析手法で、前述の佐呂間竜巻における4tトラック及び白い乗用車の被災事例を評価し、佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）との結果を比較する。

(i) 4tトラックの飛散解析

計算条件について表13に示す。竜巻条件としては、設計竜巻の最大風速を92 m/sとし、その他の特性量については、ガイドに例



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																													
<p>例示されている方法に従い、移動速度 <math>V_t</math> を 14 m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 <math>R_m</math> を 30 m とする。</p> <p>第 11 表 柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法の計算条件</p> <table border="1" data-bbox="184 483 902 682"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>設計竜巻風速</td> <td>92m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>78m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>14m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>30m</td> </tr> <tr> <td>飛来物条件</td> <td colspan="2">第 7 表と同様</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 0m</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>第 12 表に実際の被災状況と、柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法の結果の比較を示す。また、第 30 図に被災後の 4t トラックの状況を示す。</p> <p>フジタモデルによる飛散評価結果として、4t トラックの最大飛来物速度は 36 m/s、最大飛散高さは 3.6 m、最大飛散距離は 63.4 m となる。</p> <p>実際の 4t トラック飛散距離は約 40m であり、フジタモデルによる飛散距離の評価結果はこれを上回る。また、飛散高さや最大水平速度については、直接の比較はできないものの、4t トラックの乗員 2 名が存命であったこと、被災後の 4t トラックがほぼ元の外形をとどめていること等から、柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法で飛散解析をした場合でも、実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。</p> <p>なお、参考として同様の検証をランキン渦モデルでも実施しており、ランキン渦モデルによる評価では、最大飛散高さ、最大飛散距離ともに実際の被災状況と比較して非常に保守性が大きい結果となっていることが分かる。</p>	竜巻条件	設計竜巻風速	92m/s	最大接線風速	78m/s	移動速度	14m/s	コア半径	30m	飛来物条件	第 7 表と同様		初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 0m</li> </ul>		<p>イドに例示されている方法に従い、移動速度 <math>V_{tr}</math> を 14m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 <math>R_m</math> を 30m とした。</p> <p>第 6.3-5 表 今回の飛散解析手法に基づく計算条件</p> <table border="1" data-bbox="961 428 1662 682"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>設計竜巻風速</td> <td>92 m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>78 m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>14 m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>30 m</td> </tr> <tr> <td>飛来物条件</td> <td colspan="2">トラック (第 6.3-1 表) に同じ</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ：0 m (地上)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>第 6.3-6 表に実際の被災状況と、今回の飛散解析手法による結果との比較を示す。また、第 6.3-4 図に被災後の 4t トラックの状況を示す。</p> <p>フジタモデルによる評価結果として、4t トラックの最大飛散速度は 36m/s、最大飛散高さは 3.6m、最大飛散距離は 63.4m となった。</p> <p>実際の 4t トラック飛散距離は約 40m であり、フジタモデルによる評価結果はこれを上回った。また、飛散高さや最大水平速度については、直接の比較は出来ないものの、4t トラックの乗員 2 名が存命であったこと、被災後の 4t トラックがほぼ元の外形をとどめていることなどから、今回の飛散解析手法で評価をした場合でも、実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。</p> <p>なお、参考として同様の検証をランキン渦モデルでも実施した。ランキン渦モデルによる評価では、最大飛散高さ、最大飛散距離ともに実際の被災状況と比較して非常に保守的な結果となっていることが分かる。</p>	竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s	最大接線風速	78 m/s	移動速度	14 m/s	コア半径	30 m	飛来物条件	トラック (第 6.3-1 表) に同じ		初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ：0 m (地上)</li> </ul>		<p>示されている方法に従い、移動速度 <math>V_t</math> を 14 m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 <math>R_m</math> を 30 m とする。</p> <p>表 13 島根原子力発電所に適用する飛来物評価法の計算条件</p> <table border="1" data-bbox="1762 436 2469 720"> <tr> <td rowspan="4">竜巻条件</td> <td>設計竜巻風速</td> <td>92 m/s</td> </tr> <tr> <td>最大接線風速</td> <td>78 m/s</td> </tr> <tr> <td>移動速度</td> <td>14 m/s</td> </tr> <tr> <td>コア半径</td> <td>30 m</td> </tr> <tr> <td>飛来物条件</td> <td colspan="2">表 7 と同様</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>地上からの初期高さ：0 m (地上)</li> </ul> </td> </tr> </table> <p>表 14 に実際の被災状況と、今回の飛散解析手法による結果の比較を示す。また、図 33 に被災後の 4t トラックの状況を示す。</p> <p>フジタモデルによる飛散評価結果として、4t トラックの最大飛来物速度は 36 m/s、最大飛散高さは 3.6 m、最大飛散距離は 63.4 m となる。</p> <p>実際の 4t トラック飛散距離は約 40m であり、フジタモデルによる飛散距離の評価結果はこれを上回る。また、飛散高さや最大水平速度については、直接の比較はできないものの、4t トラックの乗員 2 名が存命であったこと、被災後の 4t トラックがほぼ元の外形をとどめていること等から、今回の飛散解析手法で評価をした場合でも、実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。</p> <p>なお、参考として同様の検証をランキン渦モデルでも実施しており、ランキン渦モデルによる評価では、最大飛散高さ、最大飛散距離ともに実際の被災状況と比較して非常に保守性が大きい結果となっていることが分かる。</p>	竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s	最大接線風速	78 m/s	移動速度	14 m/s	コア半径	30 m	飛来物条件	表 7 と同様		初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>地上からの初期高さ：0 m (地上)</li> </ul>		
竜巻条件		設計竜巻風速	92m/s																																													
		最大接線風速	78m/s																																													
		移動速度	14m/s																																													
	コア半径	30m																																														
飛来物条件	第 7 表と同様																																															
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置</li> <li>設置高さ 0m</li> </ul>																																															
竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s																																														
	最大接線風速	78 m/s																																														
	移動速度	14 m/s																																														
	コア半径	30 m																																														
飛来物条件	トラック (第 6.3-1 表) に同じ																																															
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>設置高さ：0 m (地上)</li> </ul>																																															
竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s																																														
	最大接線風速	78 m/s																																														
	移動速度	14 m/s																																														
	コア半径	30 m																																														
飛来物条件	表 7 と同様																																															
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> <li>物体個数：51×51 台を、最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内 (<math>x, y = [-2R_m, +2R_m]</math>) に等間隔配置。</li> <li>地上からの初期高さ：0 m (地上)</li> </ul>																																															

第12表 実際の被災状況と「柏崎刈羽原子力発電所の飛来物評価法」との結果の比較 (4tトラックの場合)

風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度
フジタモデル (地上)	63.4m	3.6m	36.0m/s (毎時130km)
ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	193.7m	11.7m	43.9m/s
ランキン渦モデル (40m)	254.9m	11.7m	43.9m/s
実際の被災状況	約40m	4tトラックの運転席に乗車していた乗員2名が幸いにも存命で救出され、搬送先の病院で聞き取り調査に応じており <sup>(25)</sup> 、被災した4tトラックが地面からは3.6m以上の高所から落下したとは考えにくい。	被災後もほぼ元の外形をとどめていることが示されており <sup>(25)</sup> 、実際の飛来物速度は本解析で得られた最大飛来物速度(約130km/h)を遙かに下回るものと推察できる。

※1:ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果(飛散距離)と比較するため、フジタモデルと同条件とする。  
 ※2:初期物体高さからの飛散高さ。



第30図 竜巻による被災後の4tトラックの様子<sup>(25)</sup><sup>(26)</sup>

(ii) 乗用車(白)の飛散解析

4tトラックの場合と同様に、柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価条件で白い乗用車の飛散解析を行った場合の結果を第13表に示す。

第6.3-6表 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果 (4tトラック)

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度
フジタモデル	0m (地上)	63.4m	3.6m	36.0m/s
ランキン渦モデル【参考】	0m (地上 <sup>※1</sup> )	193.7m	11.7m	43.9m/s
	40m	254.9m		
実際の被災状況	0m (地上)	約40m	乗員2名が存命で、病院にて聞き取り調査が可能であったことから <sup>(27)</sup> 、3.6mを超える高さからトラックが落下したとは考えにくい。	トラックはおむね外形をとどめていることから、36m/s (約130km/h)を超える飛散速度であったとは考えにくい。

※1 比較のため、フジタモデルと同条件とした。  
 ※2 初期物体高さからの飛散(浮上)高さ。



第6.3-4図 竜巻による被災後の4tトラックの様子<sup>(xx)</sup><sup>(xx i)</sup>

b. 乗用車(白)の飛散解析

4tトラックの場合と同様に、今回の飛散解析手法で乗用車の評価を行った結果を第6.3-7表に示す。

乗用車の場合も、フジタモデルによる評価が、実際の被災状況を包含する結果となっている。

表14 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果の比較 (4tトラックの場合)

風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度
フジタモデル (地上)	63.4m	3.6m	36.0m/s (約130km/hr)
ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	193.7m	11.7m	43.9m/s
ランキン渦モデル (40m)	254.9m	11.7m	43.9m/s
実際の被災状況	約40m	トラックの運転席に乗車していた乗員2名が幸いにも存命で救出され、搬送先の病院で聞き取り調査に応じており <sup>(24)</sup> 、被災したトラックが地面から3.6m以上の高所から落下したとは考えにくい。	被災後もほぼ元の外形を留めていることが示されており <sup>(24)</sup> 、実際の飛来物速度は本解析で得られた最大飛来物速度(約130km/hr)を遙かに下回るものと推察できる。

※1:ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果(飛散距離)と比較するため、フジタモデルと同条件とする。  
 ※2:初期物体高さからの飛散高さ



図33 竜巻による被災後の4tトラックの様子<sup>(24)</sup><sup>(25)</sup>

(ii) 乗用車(白)の飛散解析

4tトラックの場合と同様に、今回の飛散解析手法で白い乗用車の飛散解析を行った場合の結果を表15に示す。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																	
<p>第13表 実際の被災状況と「柏崎刈羽原子力発電所の飛来物評価法」との結果の比較（白い乗用車の場合）</p> <table border="1" data-bbox="186 359 905 541"> <thead> <tr> <th>風速場モデル</th> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル (地上)</td> <td>82.3m</td> <td>4.2m</td> <td>44.1m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル (地上<sup>※1</sup>)</td> <td>269.6m</td> <td>39.4m</td> <td>49.6m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル (40m)</td> <td>305.8m</td> <td>39.4m</td> <td>49.6m/s</td> </tr> <tr> <td>実際の被災状況</td> <td>約50m</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果（飛散距離）と比較するため、フジタモデルと同条件とする。  ※2：初期物体高さからの飛散高さ。</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮</p> <p>前節までで、飛来物の竜巻による挙動のうち、飛散に関する評価手法について説明をした。実際の竜巻による飛来物の挙動としては、飛散だけではなく、横滑りや転がりによる挙動が発生することも考えられるため、本節では、これらの飛来物の挙動について、下記の2点に分けて考察する。</p> <p>(a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響  (b) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>(a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>「5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮」に記載のとおり、本検討においては、竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから、実際には横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され、浮上をして飛散することになる。</p> <p>この場合、空中では地面の摩擦力を受けないため、実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。</p> <p>また、浮上後に地面に衝突する場合は、運動エネルギーの大部分は物体や地面の変形・破損等で消費されることから、落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。</p> <p>「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」における飛散した4tトラックや乗用車は、実際には飛散だけではなく、横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが、飛散解析より得られた飛散距離や最</p>	風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル (地上)	82.3m	4.2m	44.1m/s	ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	269.6m	39.4m	49.6m/s	ランキン渦モデル (40m)	305.8m	39.4m	49.6m/s	実際の被災状況	約50m	—	—	<p>第6.3-7表 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果（乗用車）</p> <table border="1" data-bbox="976 359 1673 569"> <thead> <tr> <th rowspan="2">風速場モデル</th> <th rowspan="2">初期物体高さ</th> <th colspan="3">計算結果</th> </tr> <tr> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル</td> <td>0 m (地上)</td> <td>82.3 m</td> <td>4.2 m</td> <td>44.1 m/s</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ランキン渦モデル【参考】</td> <td>0 m (地上<sup>※1</sup>)</td> <td>269.6 m</td> <td rowspan="2">39.4 m</td> <td rowspan="2">49.6 m/s</td> </tr> <tr> <td>40 m</td> <td>305.8 m</td> </tr> <tr> <td>実際の被災状況</td> <td>0 m (地上)</td> <td>約50 m</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 比較のため、フジタモデルと同条件とした。  ※2 初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮</p> <p>前節までで、飛来物の竜巻による挙動のうち、飛散に関する評価手法について説明をしたが、実際の竜巻による飛来物の挙動としては、飛散だけではなく横滑りや転がりが発生することも考えられる。</p> <p>本節では、横滑りや転がりの影響について、以下2点に分けて考察する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>飛散する物体における横滑りや転がりの影響</li> <li>飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</li> </ul> <p>(1) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>「5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮」に記載のとおり、本検討においては、竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから、実際には横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され、浮上をして飛散することになる。</p> <p>この場合、空中では地面の摩擦力を受けないため、実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。</p> <p>また、浮上後に地面に衝突する場合は、運動エネルギーの大部分は物体や地面の変形、破損等で消費されることから、落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。</p> <p>「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」における飛散した4tトラックや乗用車は、実際には飛散だけではなく横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが、飛散解析より得られた飛散距</p>	風速場モデル	初期物体高さ	計算結果			飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル	0 m (地上)	82.3 m	4.2 m	44.1 m/s	ランキン渦モデル【参考】	0 m (地上 <sup>※1</sup> )	269.6 m	39.4 m	49.6 m/s	40 m	305.8 m	実際の被災状況	0 m (地上)	約50 m	—	—	<p>表15 実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果の比較（白い乗用車の場合）</p> <table border="1" data-bbox="1768 359 2487 541"> <thead> <tr> <th>風速場モデル</th> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ<sup>※2</sup></th> <th>最大水平速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フジタモデル (地上)</td> <td>82.3m</td> <td>4.2m</td> <td>44.1m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル (地上<sup>※1</sup>)</td> <td>269.6m</td> <td>39.4m</td> <td>49.6m/s</td> </tr> <tr> <td>ランキン渦モデル (40m)</td> <td>305.8m</td> <td>39.4m</td> <td>49.6m/s</td> </tr> <tr> <td>実際の被災状況</td> <td>約50m</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：ランキン渦モデルでは地上付近の風速場を模擬できていないが、フジタモデルの計算結果（飛散距離）と比較するため、フジタモデルと同条件とする。  ※2：初期物体高さからの飛散高さ。</p> <p>7. 飛散以外の挙動に対する考慮</p> <p>前節までで、飛来物の竜巻による挙動のうち、飛散に関する評価手法について説明をした。実際の竜巻による飛来物の挙動としては、飛散だけではなく、横滑りや転がりによる挙動が発生することも考えられるため、本節では、これらの飛来物の挙動について、下記の2点に分けて考察する。</p> <p>(a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響  (b) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>(a) 飛散する物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>「5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮」に記載のとおり、本検討においては、竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから、実際には横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され、浮上をして飛散することになる。</p> <p>この場合、空中では地面の摩擦力を受けないため、実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。</p> <p>また、浮上後に地面に衝突する場合は、運動エネルギーの大部分は物体や地面の変形・破損等で消費されることから、落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。</p> <p>「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」における飛散した4tトラックや乗用車は、実際には飛散だけではなく、横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが、飛散解析より得られた飛散距離や最</p>	風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度	フジタモデル (地上)	82.3m	4.2m	44.1m/s	ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	269.6m	39.4m	49.6m/s	ランキン渦モデル (40m)	305.8m	39.4m	49.6m/s	実際の被災状況	約50m	—	—	
風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度																																																																	
フジタモデル (地上)	82.3m	4.2m	44.1m/s																																																																	
ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	269.6m	39.4m	49.6m/s																																																																	
ランキン渦モデル (40m)	305.8m	39.4m	49.6m/s																																																																	
実際の被災状況	約50m	—	—																																																																	
風速場モデル	初期物体高さ	計算結果																																																																		
		飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度																																																																
フジタモデル	0 m (地上)	82.3 m	4.2 m	44.1 m/s																																																																
ランキン渦モデル【参考】	0 m (地上 <sup>※1</sup> )	269.6 m	39.4 m	49.6 m/s																																																																
	40 m	305.8 m																																																																		
実際の被災状況	0 m (地上)	約50 m	—	—																																																																
風速場モデル	飛散距離	飛散高さ <sup>※2</sup>	最大水平速度																																																																	
フジタモデル (地上)	82.3m	4.2m	44.1m/s																																																																	
ランキン渦モデル (地上 <sup>※1</sup> )	269.6m	39.4m	49.6m/s																																																																	
ランキン渦モデル (40m)	305.8m	39.4m	49.6m/s																																																																	
実際の被災状況	約50m	—	—																																																																	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>大水平速度は、実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから、飛散過程における不確実性を裕度として包含している。</p> <p>(b)飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>飛散しない物体においても、竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には、横滑りをする。また、横滑りをしない場合でも、風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように、竜巻により横滑りや転がる場合には、地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから、移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。</p> <p>また、物体と外部事象防護対象施設の間に、障害物となるフェンス等がある場合には、横滑りや転がった物体が外部事象防護対象施設に到達することは阻止される。</p> <p>以上より、飛散しない物体が横滑りや転がりにより、障害物の影響を受けず、外部事象防護対象施設と衝突することが想定される場合については、横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し、包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置に当たっては、フジタモデルの風速場より求まる風荷重に、地面での摩擦力を適切に考慮した上で、設計用荷重を設定する。</p> <p>8. まとめ</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC による要望で実際の竜巻観測記録をもとに考案された風速場モデルであり、米国 DOE の重要施設に対する設計基準の作成の際にも用いられている。フジタモデルは、他のモデルではできなかった地上からの物体の浮上を現実的に評価することができる点が大きなメリットである。</p> <p>これは、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」の「(a)竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析」において、フジタモデルを風速場とした飛散解析結果が実際の飛散状況とおおむね合致していることから、確認することができる。</p> <p>また、フジタモデルにより算出される風速 (<math>V_w</math>) は、飛来物の飛散評価のインプットとして用いるものであり、設計竜巻の最大風速の算出に当たっては保守性を確保した上で、「5. 飛来物評価</p>	<p>離や最大水平速度は、実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから、飛散過程における不確実性を裕度として包含している。</p> <p>(2) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>飛散しない物体においても、竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には、横滑りをする。また、横滑りをしない場合でも、風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように、竜巻により横滑りや転がりが生じる場合には、地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから、移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。</p> <p>また、物体と評価対象施設等の間に障害物となるフェンス等がある場合には、横滑りや転がった物体が評価対象施設等に到達することは阻止される。</p> <p>以上より、飛散しない物体が、障害物の影響を受けずに、横滑りや転がりによって評価対象施設等と衝突することが想定される場合については、横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し、包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置に当たっては、フジタモデルの風速場より求まる風荷重や地面での摩擦力を適切に考慮した上で、設計用荷重を設定する。</p> <p>8. まとめ</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC の要望により実際の竜巻観測記録を基に考案された風速場モデルであり、米国 DOE の重要施設に対する設計基準の作成の際にも用いられている。フジタモデルは、他のモデルではできなかった地上からの物体の浮上を現実的に評価することができる点が大きなメリットである。これは、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(1)竜巻特性や飛来物(4tトラック及び乗用車)の状況を現実的に設定した場合の再現解析」において、フジタモデルを風速場とした飛散解析結果が実際の飛散状況とおおむね合致していることから確認できる。</p> <p>また、フジタモデルにより算出される風速 (<math>V_w</math>) は、飛来物の飛散評価のインプットとして用いるものであり、設計竜巻の最大風速の算出に当たっては保守性を確保したうえで、「5. 飛散解析</p>	<p>大水平速度は、実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから、飛散過程における不確実性を裕度として包含している。</p> <p>(b)飛散しない物体における横滑りや転がりの影響</p> <p>飛散しない物体においても、竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には、横滑りをする。また、横滑りをしない場合でも、風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように、竜巻により横滑りや転がる場合には、地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから、移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。</p> <p>また、物体と外部事象防護対象施設の間に、障害物となるフェンス等がある場合には、横滑りや転がった物体が外部事象防護対象施設に到達することは阻止される。</p> <p>以上より、飛散しない物体が横滑りや転がりにより、障害物の影響を受けず、外部事象防護対象施設と衝突することが想定される場合については、横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し、包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置に当たっては、フジタモデルの風速場より求まる風荷重に、地面での摩擦力を適切に考慮した上で、設計用荷重を設定する。</p> <p>8. まとめ</p> <p>フジタモデルは、米国 NRC による要望で実際の竜巻観測記録をもとに考案された風速場モデルであり、米国 DOE の重要施設に対する設計基準の作成の際にも用いられている。フジタモデルは、他のモデルではできなかった地上からの物体の浮上を現実的に評価することができる点が大きなメリットである。</p> <p>これは、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」の「(a)竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析」において、フジタモデルを風速場とした飛散解析結果が実際の飛散状況とおおむね合致していることから、確認することができる。</p> <p>また、フジタモデルにより算出される風速 (<math>V_w</math>) は、飛来物の飛散評価のインプットとして用いるものであり、設計竜巻の最大風速の算出に当たっては保守性を確保した上で、「5. 飛来物評価</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>における不確定性の考慮」のとおり、竜巻を多数の物体の直上に瞬時に発生させて物体が最大風速を受けるような初期条件を用いる等の評価手法により、不確実性も含めて飛来物速度等を保守的に評価できるようにしている。</p> <p>これにより、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」の「(b) 柏崎刈羽原子力発電所に適用する飛来物評価法による検証」では、本評価手法を用いることでフジタモデルにおいても実際の飛散状況に対して、保守性を有した妥当な結果となることを確認している。</p> <p>地上からの浮上・飛散評価を行うことのメリットは、発電所敷地内に数多く存在する物の中から、竜巻による飛来物化の影響度合いを、浮上の有無の観点を含め、より正確に把握できることである。竜巻飛来物の影響（浮上の有無、飛散高さ、飛散距離、最大速度等）を正確に捉えることにより、飛来物の発生防止対策や評価対象施設の防護対策の範囲や強度について、適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能となると考えられる。</p> <p>評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、当社の竜巻影響評価については、フジタモデルを適用することとする。</p>	<p>における保守性の考慮」のとおり、竜巻を多数の物体の直上に瞬時に発生させて物体が最大風速を受けるような初期条件を用いる等の評価手法により、不確実性も含めて飛来物速度等を保守的に評価できるようにしている。</p> <p>これにより、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(2) 今回の飛散解析手法による検証」では、本評価手法を用いることで、フジタモデルにおいても実際の飛散状況に対し保守性を有した妥当な結果となることを確認している。</p> <p>地上からの浮上、飛散評価を行うことのメリットは、発電所敷地内に数多く存在する物品の中から、竜巻による飛来物化の影響度合いを、浮上の有無の観点を含めより正確に把握できることである。竜巻飛来物の影響（浮上の有無、飛散高さ、飛散距離、最大速度等）を正確に捉えることにより、飛来物発生防止対策や評価対象施設等の防護対策の範囲や強度について、適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能となると考えられる。</p> <p>評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、竜巻影響評価における物体の浮上、飛散評価については、フジタモデルを適用することとする。</p>	<p>における不確定性の考慮」のとおり、竜巻を多数の物体の直上に瞬時に発生させて物体が最大風速を受けるような初期条件を用いる等の評価手法により、不確実性も含めて飛来物速度等を保守的に評価できるようにしている。</p> <p>これにより、「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例」の「(b) 今回の飛散解析手法による検証」では、本評価手法を用いることでフジタモデルにおいても実際の飛散状況に対して、保守性を有した妥当な結果となることを確認している。</p> <p>地上からの浮上・飛散評価を行うことのメリットは、発電所敷地内に数多く存在する物の中から、竜巻による飛来物化の影響度合いを、浮上の有無の観点を含め、より正確に把握できることである。竜巻飛来物の影響（浮上の有無、飛散高さ、飛散距離、最大速度等）を正確に捉えることにより、飛来物の発生防止対策や評価対象施設の防護対策の範囲や強度について、適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能となると考えられる。</p> <p>評価全体として一定の保守性を確保しつつ、適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため、当社の竜巻影響評価については、フジタモデルを適用することとする。</p>	

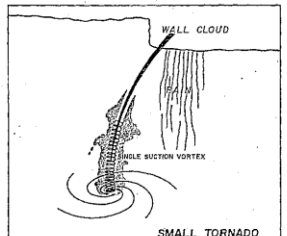
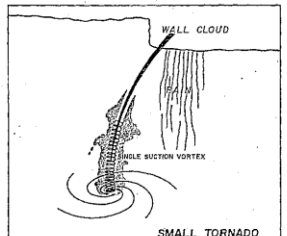
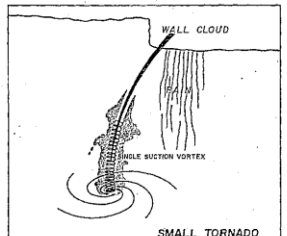


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>9. 参考文献</p> <p>(1) 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの制定について, 原規技発第 13061911 号, 平成 25 年 6 月 19 日制定, 平成 26 年 9 月一部改正.</p> <p>(2) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-BasisTornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plant, Revision 1.</p> <p>(3) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.</p> <p>(4) 東京工芸大学 (2011) :平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構.</p> <p>(5) Fujita, T. T. (1978) Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications. SMRP Research Paper 165, Department of Geophysical Sciences,University of Chicago, 142pp.</p> <p>(6) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.</p> <p>(7) Maruyama, T. (2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 99, 249-256.</p> <p>(8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, DOE-STD-1020-2002, 2002. (<a href="https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file">https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file</a>)</p> <p>(9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, TexasTech University, 1980.</p> <p>(10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.</p> <p>(11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities,UCRL-CR-135687, Lawrence</p>	<p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>(1) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.</p> <p>(2) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.</p> <p>(3) 東京工芸大学 (2011) :平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構</p> <p>(4) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978.</p> <p>(5) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.</p> <p>(6) 数値的に生成された竜巻状の渦の性質, 平成 2 1 年度京都大学防災研究所研究発表要</p> <p>(7) Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4), pp.249-256, 2011.</p> <p>(8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, OE-STD-1020-2002, 2002. (<a href="http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf">http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf</a>)</p> <p>(9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980</p> <p>(10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.</p> <p>(11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence</p>	<p>9. 参考文献</p> <p>(1) 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの制定について, 原規技発第 13061911 号, 平成 25 年 6 月 19 日制定, 平成 26 年 9 月一部改正.</p> <p>(2) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plant, Revision 1.</p> <p>(3) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.</p> <p>(4) 東京工芸大学 (2011) :平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構.</p> <p>(5) Fujita, T. T. (1978) Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications. SMRP Research Paper 165, Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, 142pp.</p> <p>(6) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.</p> <p>(7) Maruyama, T. (2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 99, 249-256.</p> <p>(8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, DOE-STD-1020-2002, 2002. (<a href="https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file">https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file</a>)</p> <p>(9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980.</p> <p>(10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.</p> <p>(11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>Livermore National Laboratory, 1999. (<a href="https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf">https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf</a>)</p> <p>(12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledgethrough damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc.,82, pp.63-72, 2001.</p> <p>(13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County,New Mexico(Docket No.70-3103)</p> <p>(14) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発, 電力中央研究所 研究報告 N14002 , 2014. (15)日本鋼構造協会, 構造物の耐風工学, p82</p> <p>(16) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, Report NP-748, 1978.</p> <p>(17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良, 開水路中に水没設置された立方体および棧粗度の流体力, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.67, No.4, I_1141-I_1146, 2011.</p> <p>(18) 松宮央登, 中岡宏一, 西原 崇, 木村吉郎 : 太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.446-454, 2014.</p> <p>(19) 山本晃一, 林建二郎, 関根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎, 護岸ブロックの抗力・揚力係数、および相当粗度の計測方法について, 水工学論文集, 第 44 巻, pp1053~1058, 2000.</p> <p>(20) 江口 譲, 西原 崇, 水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明, 電力中央研究所 研究報告 U96050, 1997.</p> <p>(21) M. R. Ahmed, S. D. Sharma, An investigation on the aerodynamics of a symmetrical airfoil in ground effect, Experimental Thermal and Fluid Science, 29, pp.633-647, 2005.</p> <p>(22) Schmidlin, T., Hammer, B., King, P., Ono, Y., Miller, L. S. and Thumann, G., Unsafe at any (wind) speed? -Testing the stability of motor vehicles in severewinds-, Vol.83, No.12, pp.1821-1830, 2002.</p> <p>(23) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a planeboundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, J. Wind Eng. Ind.Aerodyn., Vol.80, pp.263-286, 1999.</p>	<p>Livermore National Laboratory, 1999. (<a href="https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf">https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf</a>)</p> <p>(12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc.,82, pp.63-72, 2001</p> <p>(13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County, New Mexico(Docket No.70-3103)</p> <p>(14) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発, 電力中央研究所 研究報告 N14002, 2014.</p> <p>(15) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, report NP-2898, 1978.</p> <p>(16) Schmidlin, T., B. Hammer, P. King, Y. Ono, L. S. Miller, and G. Thumann, 2002: Unsafe at any (wind)speed Testing the stability of motor vehicles in severe winds. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83,1821-1830.</p> <p>(17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良, 開水路中に水没設置された立方体及び棧粗度の流体力, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.67, No.4, I_1141-I_1146, 2011.</p> <p>(18) 松宮央登, 中岡宏一, 西原 崇, 木村吉郎 : 太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.446-454, 2014.</p> <p>(19) M. R. Ahmed, S. D. Sharma, An investigation on the aerodynamics of a symmetrical airfoil in ground effect, Experimental Thermal and Fluid Science, 29, pp.633-647, 2005.</p> <p>(20) 山本晃一, 林建二郎, 関根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎, 護岸ブロックの抗力・揚力係数, 及び相当粗度の計測方法について, 水工学論文集, 第 44 巻, pp1053~1058, 2000.</p> <p>(21) 江口 譲, 西原 崇, 水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明, 電力中央研究所 研究報告 U96050, 1997.</p> <p>(22) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.80, pp.263-286, 1999.</p>	<p>Livermore National Laboratory, 1999. (<a href="https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf">https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf</a>)</p> <p>(12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc.,82, pp.63-72, 2001.</p> <p>(13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County,New Mexico(Docket No.70-3103)</p> <p>(14) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発, 電力中央研究所 研究報告 N14002 , 2014.</p> <p>(15)日本鋼構造協会, 構造物の耐風工学, p82</p> <p>(16) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, Report NP-748, 1978.</p> <p>(17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良, 開水路中に水没設置された立方体および棧粗度の流体力, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.67, No.4, I_1141-I_1146, 2011.</p> <p>(18) 松宮央登, 中岡宏一, 西原 崇, 木村吉郎 : 太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.446-454, 2014.</p> <p>(19) 山本晃一, 林建二郎, 関根正人, 藤田光一, 田村正秀, 西村晋, 浜口憲一郎, 護岸ブロックの抗力・揚力係数、および相当粗度の計測方法について, 水工学論文集, 第 44 巻, pp1053~1058, 2000.</p> <p>(20) 江口 譲, 西原 崇, 水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明, 電力中央研究所 研究報告 U96050, 1997.</p> <p>(21) Schmidlin, T., Hammer, B., King, P., Ono, Y., Miller, L. S. and Thumann, G., Unsafe at any (wind) speed? -Testing the stability of motor vehicles in severe winds-, Vol.83, No.12, pp.1821-1830, 2002.</p> <p>(22) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol.80, pp.263-286, 1999.</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(24) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.</p> <p>(25) 札幌管区気象台: 平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006. (<a href="http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html">http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html</a> にて閲覧可能。)</p> <p>(26) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 49, 2006. (<a href="http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html">http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html</a>)</p> <p>(27) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法 (Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認), 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 823, 2015.</p>	<p>(23) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法 (Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認),</p> <p>(24) Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 42 pp</p> <p>(25) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会, 2015: 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン (JSM-NRE-009)</p> <p>(26) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.</p> <p>(27) 札幌管区気象台: 平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006.</p> <p>(28) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 46, 2006.</p> <p>(29) 土木学会 平成18年11月北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査報告書</p>	<p>(23) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.</p> <p>(24) 札幌管区気象台: 平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006. (<a href="http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html">http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html</a> にて閲覧可能。)</p> <p>(25) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 49, 2006. (<a href="http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html">http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html</a>)</p> <p>(26) 江口譲, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法 (Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認), 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 823, 2015.</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考				
別紙2							
フジタモデルのパラメータ設定等について							
1. 適用するフジタモデルについて							
<p>フジタモデルのパラメータ設定については、フジタワークブック（文献(1)）において、単一渦型の DBT-77 モデル（文献(1)第6章）と複数の小さな吸込渦（suction vortices）を有する多重渦型の DBT-78 モデル（文献(1)第7章）について記載されている（図1参照）。</p>							
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="1736 745 2122 787">DBT-77</td> <td data-bbox="2122 745 2502 787">DBT-78</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1736 787 2122 1197">  <p>Figure 4.7 Schematic view of a small tornado with its funnel cloud extending into the wall cloud.</p> </td> <td data-bbox="2122 787 2502 1197">  <p>Figure 4.13 A schematic view of a large tornado with suction vortices.</p> </td> </tr> </table>			DBT-77	DBT-78	 <p>Figure 4.7 Schematic view of a small tornado with its funnel cloud extending into the wall cloud.</p>	 <p>Figure 4.13 A schematic view of a large tornado with suction vortices.</p>	
DBT-77	DBT-78						
 <p>Figure 4.7 Schematic view of a small tornado with its funnel cloud extending into the wall cloud.</p>	 <p>Figure 4.13 A schematic view of a large tornado with suction vortices.</p>						
<p>図1 フジタモデル「DBT-77」と「DBT-78」のモデル図（文献(1)）</p>							
<p>米国エネルギー省の管理するエネルギー施設（DOE 施設）に対する竜巻飛来物の検証を行ったローレンス・リバモア国立研究所報告書（文献(2)）においては、「多重渦型の DBT-78 モデルで考慮されている吸込渦はすぐに減衰するので、大多数の専門家は竜巻被災の重要因子ではないと考えている」と述べており、単一渦型のフジタモデル DBT-77 を飛来物評価の竜巻風速場として選定している。以上のことから、今回の竜巻影響評価においても DBT-77 モデルを用いている。（なお、文献(1)において、DBT-78 モデルは、最大風速や発生率がモデル化されているのみであり、飛散解析に必要な風速場に関する数式が明確となっていない。）</p>							
<p>また、米国 REG 1.76（文献(3)）は DBT-78 モデルの竜巻半径を採用した場合は、改訂前（2007 年以前）から米国 REG 1.76 で採用</p>							



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>されている竜巻半径 (45.7m) よりも大きな半径となり、圧力の時間変化率は半径に反比例して大きくなるため、改訂前の半径 (45.7m) のままするとの記述があるが、今回の竜巻影響評価では外部コア半径を 30m としているため、米国 REG 1.76 よりも圧力の時間変化率を保守的に評価している。</p> <p>最大風速が同じ場合、DBT-78 モデルは DBT-77 モデルに比べ竜巻半径は大きくなるが、高速域の大きさは DBT-77 モデルの方が DBT-78 モデルに比べ大きくなるため物体は加速されやすく、飛散解析においては保守的であることから、当社の竜巻影響評価においては、単一渦型の DBT-77 モデルを適用している。</p> <p>2. 入力パラメータの設定について</p> <p>文献(1)において、単一渦型の DBT-77 の入力パラメータは、最大接線風速 <math>V_{rm}</math>、外部コア半径 <math>R_m</math> 及び移動速度 <math>V_T</math> の3つであり、これらの入力値の制約に係る記載はなく、竜巻影響評価ガイドに基づき、<math>V_{rm}=85\text{m/s}</math>、<math>R_m=30\text{m}</math>、<math>V_T=15\text{m/s}</math> を設定している。</p> <p>竜巻影響評価ガイドにおいては、ランキン渦モデルを仮定して、観測された被害幅から最大接線風速半径 <math>R_m</math> を推定している。竜巻によって被害が生じる風速 <math>V_0</math> とした場合、<math>R_m</math> を超えた範囲では、風速 <math>V=V_{rm} \cdot (R_m/r_0)</math> と表せるため、<math>V_0</math> と、被害幅 <math>r_0</math>、及び最大接線風速 <math>V_{rm}</math> が分かれば最大接線風速半径 <math>R_m</math> を得ることができる。(図2)</p> <p>フジタモデルでは、ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが、ある任意の高さの風速分布はランキン渦モデルと同様となる(図2と同じ)ため、ランキン渦を仮定して設定した外部コア半径を用いても問題ないとする。</p> <p>例えば、東京工芸大報告書<sup>(4)</sup>p.163の仮定2より、F3あるいはF3に近いF2竜巻(最大風速 <math>V_m=70\text{m/s}</math>)の被害幅250mを基にランキン渦モデルを仮定する場合、竜巻半径の外側では <math>V=V_m R_m/r</math> が成立するので、<math>V</math>に被害をもたらす風速である17m/sを、<math>r</math>に被害幅(250m)に接する円の半径である125mを代入すると <math>R_m=30\text{m}</math> を得る。</p> <p>一方、フジタモデルの水平風速 <math>V</math> は接線風速と径方向風速を合成したものであるため、外部コア半径の外側では水平風速 <math>V</math> は以下で与えられる。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p> <math display="block">V = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}</math> <math display="block">= F_r(r)F_h(z)V_m\sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0}</math> </p> <p>           ここで, <math>F_r(r) = \frac{R_m}{r}</math>, <math>F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} &amp; (z &lt; 1) \\ \exp(-k(z-1)) &amp; (z \geq 1) \end{cases}</math> </p> <p> <math display="block">\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) &amp; (z &lt; 1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} &amp; (z \geq 1) \end{cases}</math> </p> <p>           フジタモデルでは, ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが, 外部コア半径の内側では <math>r</math> に比例して風速が大きくなり, 外部コア半径の外側では <math>r</math> に反比例して小さくなる点ではランキン渦モデルと同様であり, 竜巻半径と風速の関係は図2の通りとなる。         </p> <p>           また, 接線風速 <math>V</math> が最大となる流入層の上端 (<math>z=1</math>) では, <math>F_h(z)=1</math>, <math>\tan \alpha_0=0</math> となり, 竜巻外部コア半径の外側ではランキン渦モデルと同様に <math>V=V_m R_m/r</math> が近似的に成立する。従って, ランキン渦と同じ竜巻半径を用いることができると考えられる。         </p> <p>           流入層高さ <math>H_i</math> は, 外部コア半径 <math>R_m=30\text{m}</math> の場合, <math>H_i=15\text{m}</math> (<math>i=0.501</math>) となり, 文献(4)の図 2.2.3.10 における流入層高さ と竜巻半径の比 (<math>i=0.4</math> 程度) や, Kosiba<sup>(5)</sup>により示されている流入層高さ (<math>H_i=10\sim 14\text{m}</math> 以下) と概ね同じである。         </p> <div data-bbox="1774 1291 2457 1711" style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">最大風速半径 (未知)</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-left: 50px;">最大被害幅/2 (観測値)</span> </p> </div> <p>           図2 ランキン渦の風速分布と竜巻スケールの関係         </p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>文献(1) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications (1978), U. Chicago.</p> <p>文献(2) Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999</p> <p>文献(3) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Design-basis tornado and tornado missiles for nuclear power plants, Regulatory Guide 1.76, Revision 1 (2007).</p> <p>文献(4) 東京工芸大学, 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書, 2011.</p> <p>文献(5) Karen A. Kosiba Joshua Wurman The three-dimensional structure and evolution of a tornado boundary layer</p>	

別紙-2

発電所における竜巻風速場モデルの適用方針

発電所の竜巻影響評価における竜巻風速場モデルの適用状況を、先行審査プラントの状況と合わせ、別表2-1のとおり整理した。これより、竜巻影響評価における設計荷重(風圧力による荷重 $W_W$ 、気圧差による荷重 $W_P$ 及び設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ )の設定においては、

- $W_W$  : 竜巻風速場モデルに依存しない
  - $W_P, W_M$  : 竜巻風速場モデルを選択する必要がある
- ことが分かるが、 $W_P, W_M$ の設定においては、以下のとおりモデルを適用した。

1.  $W_P, W_M$ の設定に用いる竜巻風速場モデルの選定の考え方

1.1  $W_P$ について

「竜巻影響評価ガイド」に示される、ランキン渦モデルに基づく評価式を採用した。

1.2  $W_M$ について

発電所は敷地近傍に一般道や隣接事業所の施設等があり、これらの場所からの物品の飛来を完全に管理することは難しいことから、その影響を現実的に評価することとし、多数の飛来物源が想定される地表付近の物品の飛散挙動を、より実現象に近く評価できるという特徴を踏まえ、フジタモデルを採用した。

なお、フジタモデルを用いた飛散評価についても、別添資料2「竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について」に示すとおり保守性を確保した手法となっている。

2. 設計竜巻による複合荷重 $W_{T1}, W_{T2}$ の設定の考え方

竜巻影響評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重( $W_W$ )、気圧差による荷重( $W_P$ )、及び設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )を組み合わせた複合荷重とし、以下の式によって算出する。

$$W_{T1} = W_P$$

別紙3

竜巻影響評価と竜巻モデルの関係

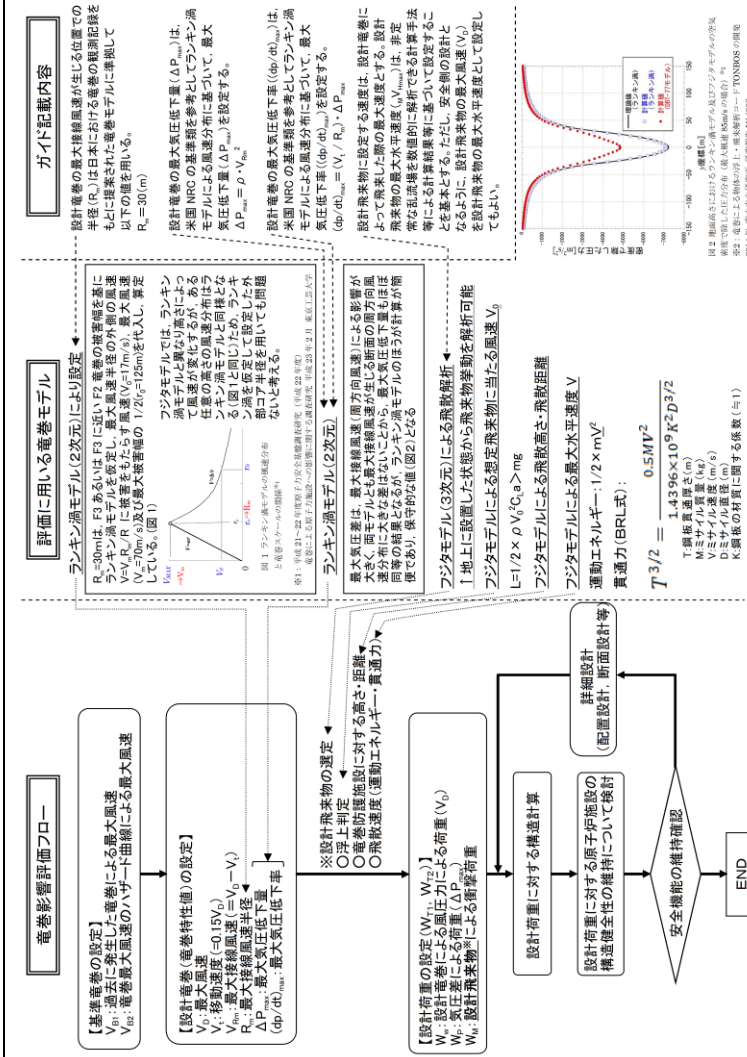


図1 竜巻影響評価と竜巻モデルの関係

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$ <p> <math>W_{T1}</math>, <math>W_{T2}</math> : 設計竜巻による複合荷重  <math>W_W</math> : 設計竜巻の風圧力による荷重  <math>W_P</math> : 設計竜巻の気圧差による荷重  <math>W_M</math> : 設計飛来物による衝撃荷重            なお、複合荷重<math>W_{T2}</math>の算出は、<math>W_W</math>, <math>W_P</math>及び<math>W_M</math>の作用方向が同一となる様に扱うこととしており、ランキン渦モデルベースの<math>W_P</math>を用いることは、複合荷重としても保守側になる         </p>		



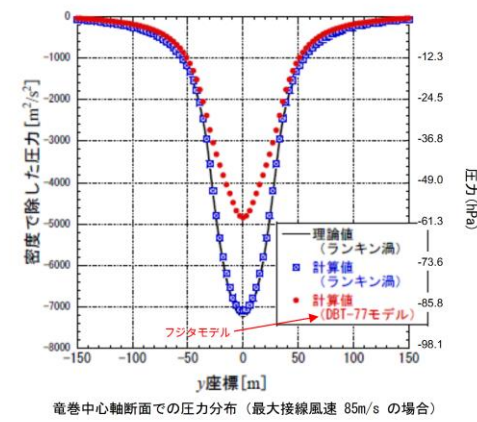
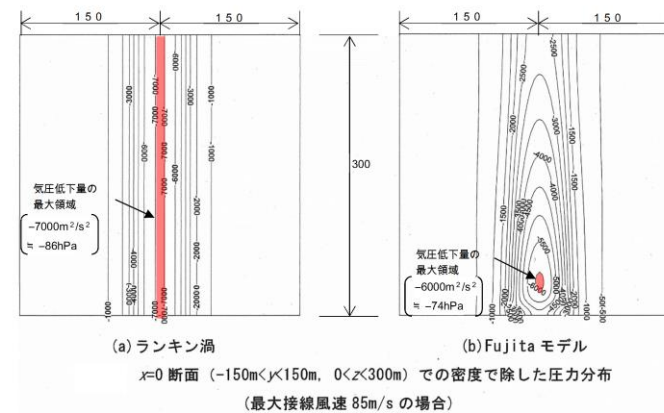
別表2-1 東海第二発電所と先行審査プラントにおける竜巻風速場モデルの適用状況

設計荷重設定要素	荷重設定への適用			備考	
	W <sub>w</sub>	W <sub>p</sub>	W <sub>M</sub>		
( <span style="background-color: #e0f0ff;">■</span> ) : 風速場モデルに無関係 ( <span style="background-color: #e0f0ff;">■</span> ) : 風速場モデルの影響あり	( <span style="background-color: #e0f0ff;">■</span> ) : フジタモデル, ( <span style="background-color: #e0f0ff;">■</span> ) : ランキン渦モデル 東海第二 大飯3/4, 高浜1~4, 美浜3, 伊方3, 川内1/2, 玄海3/4 【許可済】				
竜巻の 基本 条件 特性	最大接線風速 V <sub>Rm</sub>	○ (○)	○	85m/s	
	竜巻の移動速度 V <sub>T</sub>	○	○	15m/s	
	最大接線風速半径 R <sub>m</sub>	○	○	30m	
	最大気圧低下量 ΔP <sub>max</sub>	○	○	89hPa <sup>#1</sup>	
	最大気圧低下率 (dp/dt) <sub>max</sub>	○	○	45hPa/s <sup>#2</sup>	
飛来物 の 特性 に関する 設定	設計飛来物の設定		○	竜巻影響評価ガイドに 例示の「鋼製材」	「基準」として、設計者が任意に設定可能。
	飛来物脈の飛散解析における 初期高さ		○	物品ごとに設定 40m (各社の設定値)	・フジタモデルは風速分布が高さ方向で 変化するため、設置高さを個別に設定す る。 ・ランキン渦モデルは風速分布が高さに よらず一律なので、米国基準等を参考に 一律で設定
	内部コア/外部コア半径比 v		○	0.3	フジタモデルの風速場の形を決めるパラ メータ (文獻値)
	流入層高さ H <sub>i</sub>		○	15m	(ランキン渦は V <sub>Rm</sub> ・R <sub>m</sub> だけで決まる)

注：他プラントの状況は、当社調べによる。

※1 簡便でフジタモデルの値 (約76hPa) より保守側となる、ランキン渦モデルベースの評価式 (竜巻影響評価ガイド) を用いた。

※2 フジタモデルの値 (約53hPa/s) を下回るが、設備影響評価には用いない。



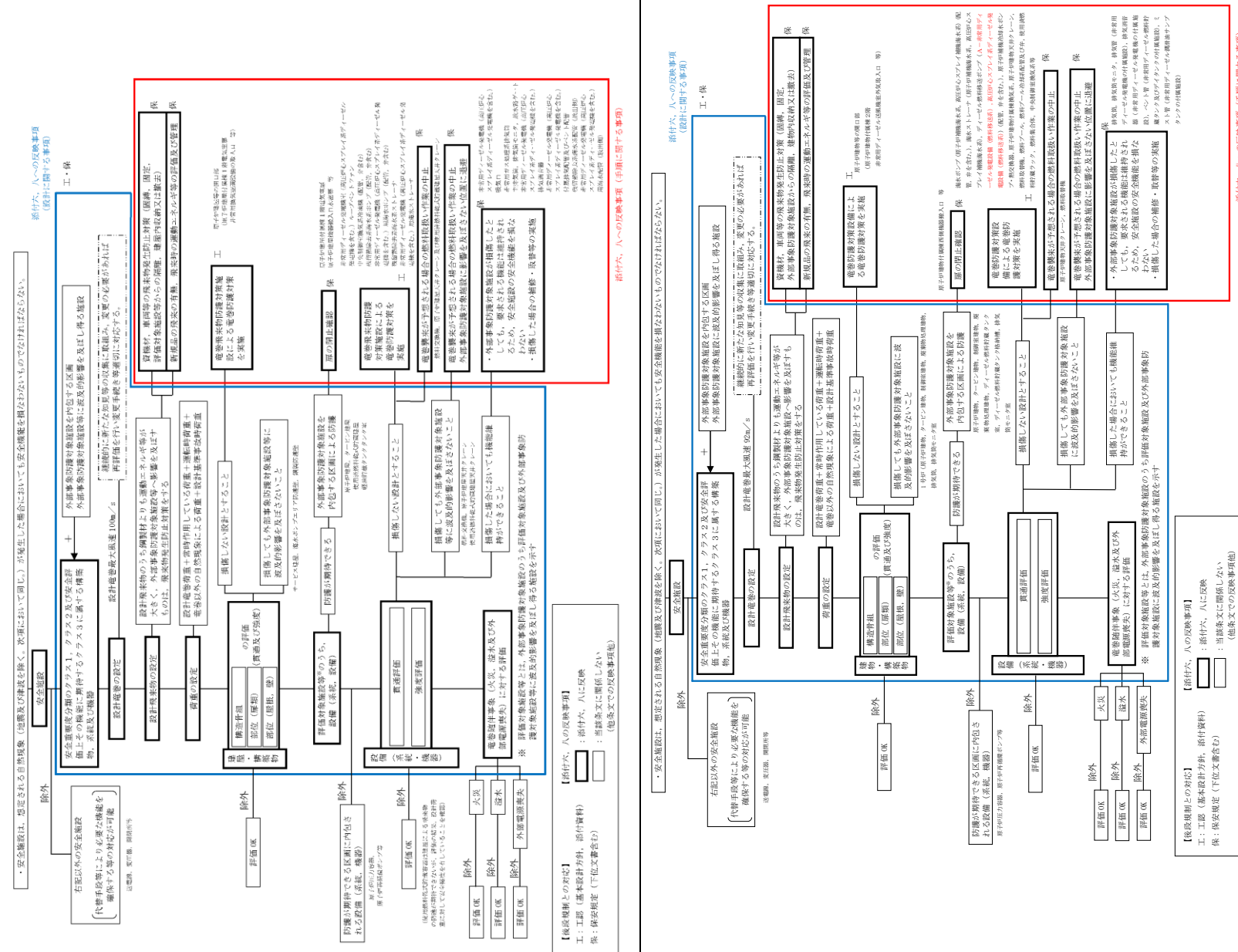
別図 2-1 設計竜巻 (最大接線風速  $V_{Rm} : 85\text{m/s}$ ) における圧力分布  
 (文献<sup>(1)</sup>の図に一部加筆)

<参考文献>

- (1) 江口謙, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸, 竜巻による物体の浮上・飛来解析  
 コードTONBOSの開発, 電力中央研究所 研究報告 N14002, 2014

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別添資料 3</p> <p style="text-align: center;"><u>東海第二発電所</u></p> <p style="text-align: center;">運用, 手順能力説明資料 外部からの衝撃による損傷の 防止 (竜巻)</p>	<p style="text-align: right;">別 添 2-3</p> <p style="text-align: center;"><u>島根原子力発電所 2号炉</u></p> <p style="text-align: center;"><u>運用, 手順能力説明資料</u> <u>外部からの衝撃による損傷の</u> <u>防止</u> <u>(竜巻)</u></p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は運用, 手順説明資料を記載</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: center;">(第6条 竜巻)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p> </div> </div>	<p style="text-align: center;">(第6条 竜巻)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> </div> </div>	







設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	資機材, 車両等管理 資機材, 車両等の飛来物発生防止対策(固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去)	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外の飛散するおそれのある資機材, 車両等については, 飛来時の運動エネルギー等を評価し, 評価対象施設等への影響の有無を確認する。評価対象施設等へ影響を及ぼす資機材, 車両等については, 固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去の手順等を定める。</li> <li>資機材, 車両等の質量, 寸法, 形状から算出した飛来の有無, 飛来時の運動エネルギー等による飛来物発生防止対策(固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去)の評価方法手順及び評価結果の管理</li> <li>担当室による保守・点検の体制</li> </ul>
		体制	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検</li> <li>・定期点検</li> <li>・損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育</li> </ul>

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	資機材, 車両等管理 資機材, 車両等の飛来物発生防止対策(固縛, 固定, 外部事象防護対象施設からの隔離, 建屋内収納又は撤去)	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外の飛散するおそれのある資機材, 車両等については, 飛来時の運動エネルギー等を評価し, 外部事象防護対象施設等への影響の有無を確認する。外部事象防護対象施設へ影響を及ぼす資機材, 車両等については, 固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去の手順等を定める。</li> <li>資機材, 車両等の質量, 寸法, 形状から算出した飛来の有無, 飛来時の運動エネルギー等による飛来物発生防止対策(固縛, 固定, 外部事象防護対象施設からの隔離, 建屋内収納又は撤去)の評価方法手順及び評価結果の管理</li> <li>担当箇所による保守・点検の体制</li> </ul>
		体制	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検</li> <li>・定期点検</li> <li>・損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育</li> </ul>

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	評価対象施設等を防護するための操作・確認事項	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、評価対象施設等を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順等を定める。                     <ul style="list-style-type: none"> <li>〔操作・確認事項〕                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応（情報の入手、周知、体制判断、実施方法と手順）</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順（竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等）</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用、手順</li> <li>・ 水密扉（原子炉建屋機器搬入口水密扉）及び防護扉（原子炉建屋付風櫃1階電気室扉、3階搬入口扉等）の閉止確認手順</li> </ul> </li> <li>〔補修〕                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備が損傷した場合の代替設備の確保及び補修、取替等の運用、手順</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>・ 担当室による作業中止等の実施体制</li> <li>・ 担当室による扉閉止確認体制</li> <li>・ 竜巻襲来に備えた体制の構築、実施及び解除の判断基準、実施手順、連絡方法等</li> <li>・ 担当室による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当室による損傷箇所の補修体制</li> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 担当室による作業中止等の実施体制</li> <li>・ 竜巻襲来に備えた体制の構築、実施及び解除の判断基準、実施手順、連絡方法等</li> <li>・ 担当室による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当室による損傷箇所の補修体制</li> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用・手順、体制、保守・点検に関する教育</li> </ul>

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	評価対象施設等を防護するための操作・確認事項	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、評価対象施設等を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順等を定める。                     <ul style="list-style-type: none"> <li>〔操作・確認事項〕                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応（情報の入手、周知、体制判断、実施方法と手順）</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順（竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等）</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用、手順</li> <li>・ 原子炉建物付風櫃西側機器搬入口等の閉止確認手順</li> </ul> </li> <li>〔補修〕                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備が損傷した場合の代替設備の確保及び補修、取替等の運用、手順</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>・ 担当箇所による作業中止等の実施体制</li> <li>・ 担当箇所による扉閉止確認体制</li> <li>・ 竜巻襲来に備えた体制の構築、実施及び解除の判断基準、実施手順、連絡方法等</li> <li>・ 担当箇所による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当箇所による損傷箇所の補修体制</li> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 担当箇所による作業中止等の実施体制</li> <li>・ 担当箇所による扉閉止確認体制</li> <li>・ 竜巻襲来に備えた体制の構築、実施及び解除の判断基準、実施手順、連絡方法等</li> <li>・ 担当箇所による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当箇所による損傷箇所の補修体制</li> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用・手順、体制、保守・点検に関する教育</li> </ul>