

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 972 2407 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 0.0277m²/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 m²/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 m²/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 使用済燃料冷却池 (構造撤去済) タービン建屋 (構造撤去済) 熱交換器の撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 鉄箱を既設の建屋搬出出入口より、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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。
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 生体蒸へい体の撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 鉄箱を既設の建屋搬出出入口より、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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。 建屋の解体作業時は、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に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。
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"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。

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 管理区域外の設備の解体撤去 タービン建屋</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。
② 原子炉本体周辺設備等解体撤去期間	<p>管理区域外の設備の解体撤去</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。
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"> 放射能レベルの比較的高い原子炉本体を解体撤去する。 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。
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"> 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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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に管理する。 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距離評価を行った区画を設定する等の管理を行う。

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

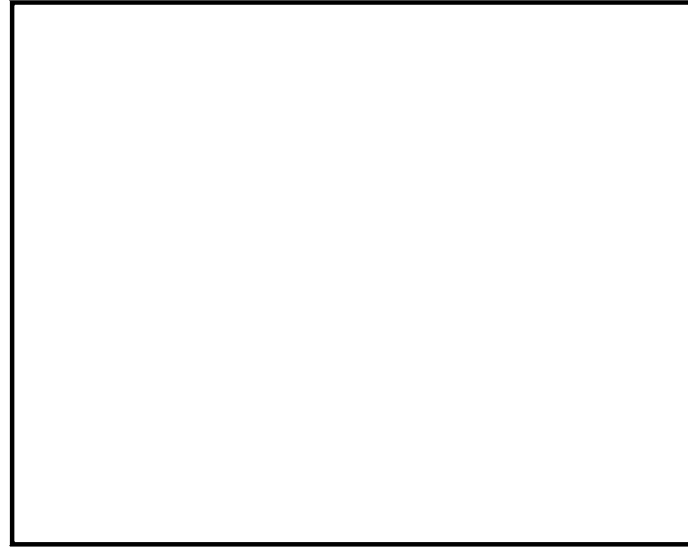
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																			
<p style="text-align: right;">添付資料3.4</p> <p>3.4 竜巻随伴事象の抽出について</p> <p>過去の竜巻被害を参考に竜巻の随伴事象を検討し、柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失事象を抽出した。</p> <p>(1) 過去の竜巻被害について</p> <p>過去の竜巻被害について、1990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F3竜巻による被害⁽¹⁾</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F3竜巻による被害⁽²⁾ ⁽³⁾</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⁽²⁾⁽³⁾</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⁽⁴⁾</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	㉑	5号軽油タンク	軽油タンク等	㉒	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置人力変圧器
	㉒	5号炉内変圧器		㉓	第一ガスタービン発電機用燃料タンク
	㉓	5号炉駆動変圧器		㉔	No.3 純粋タンク、No.4 純粋タンク
	㉔	5号炉主変圧器		㉕	No.3 ろ過水タンク、No.4 ろ過水タンク
	㉕	5号炉起動変圧器		㉖	タンクローリ、可搬型代替注水ポンプ(消防車)
	㉖	6号炉内変圧器	水タンク等	㉗	5号炉VSD収集タンク
	㉗	6号炉主変圧器		㉘	6号及び7号炉VSD収集タンク
	㉘	6号炉起動変圧器			
	㉙	7号炉内変圧器			
	㉚	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><参考文献></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: 10px auto; width: fit-content;">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 369 1700 443" style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 10px auto; width: fit-content;">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: 10px auto; width: fit-content;">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 2810 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>

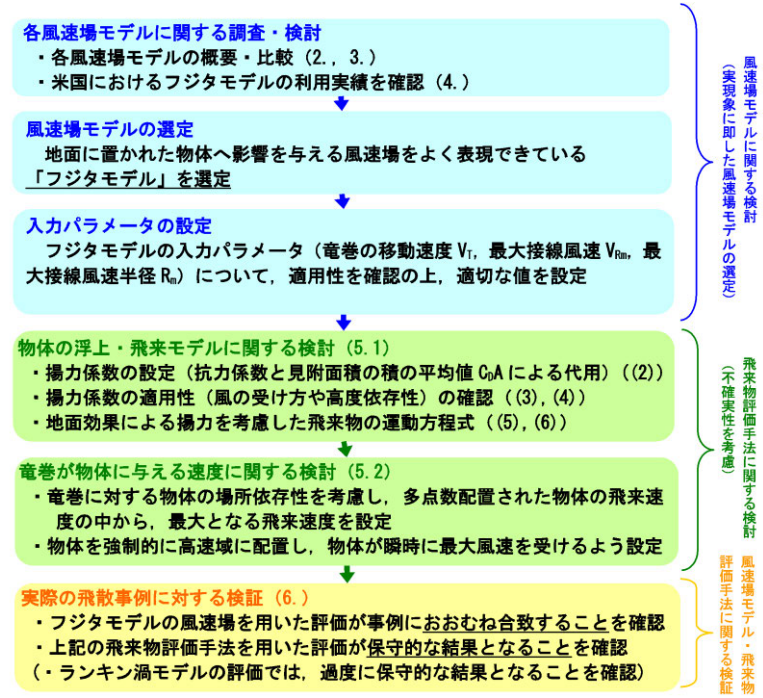
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: center;">目次</p> <p>別添2-2</p> <p>1. はじめに</p> <p>2. 各風速場モデルの概要</p> <p>2.1. フジタモデル</p> <p>2.2. ランキン渦モデル</p> <p>2.3. 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)</p> <p>3. 各風速場モデルの比較</p> <p>4. 米国におけるフジタモデルの取扱い</p> <p>4.1. フジタモデルの利用実績</p> <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><参考文献> 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」⁽¹⁾ (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⁽²⁾⁽³⁾」、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⁽⁴⁾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)⁽⁵⁾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。



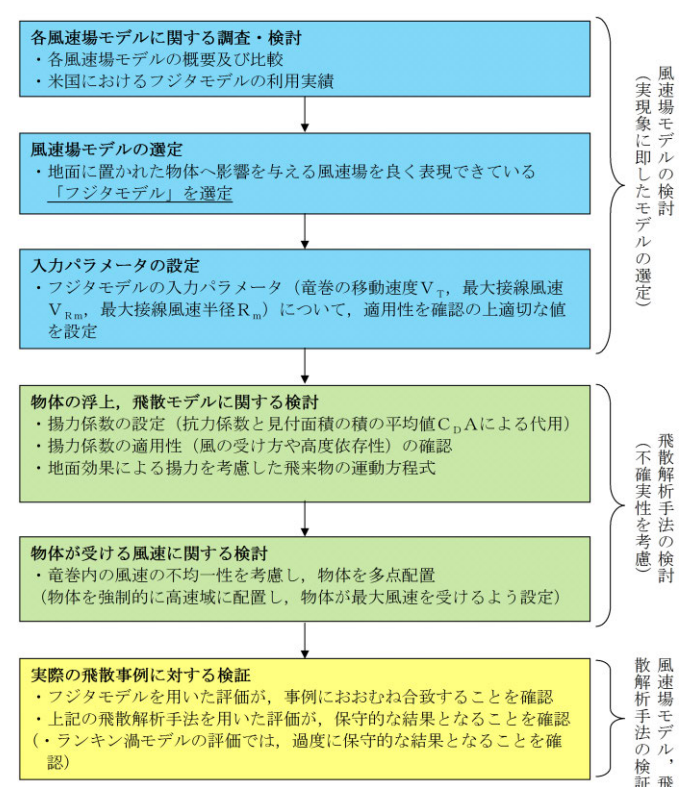
第1図 風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フロー
(括弧内の数字は、本資料の節番号)

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⁽ⁱ⁾⁽ⁱⁱ⁾」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⁽ⁱⁱⁱ⁾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)^(iv) (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。



第1-1図 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

1. はじめに

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」⁽¹⁾ (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⁽²⁾⁽³⁾」、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⁽⁴⁾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)⁽⁵⁾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。

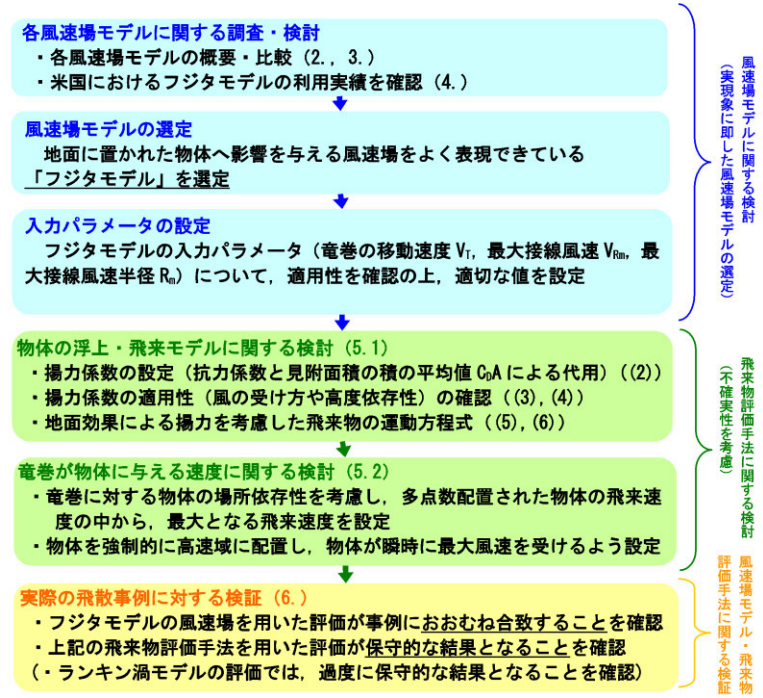
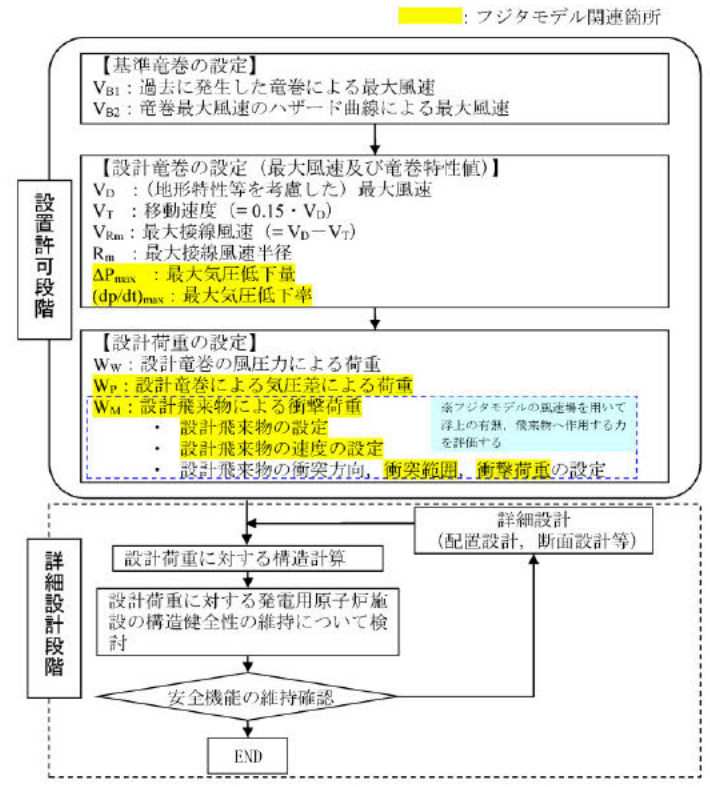
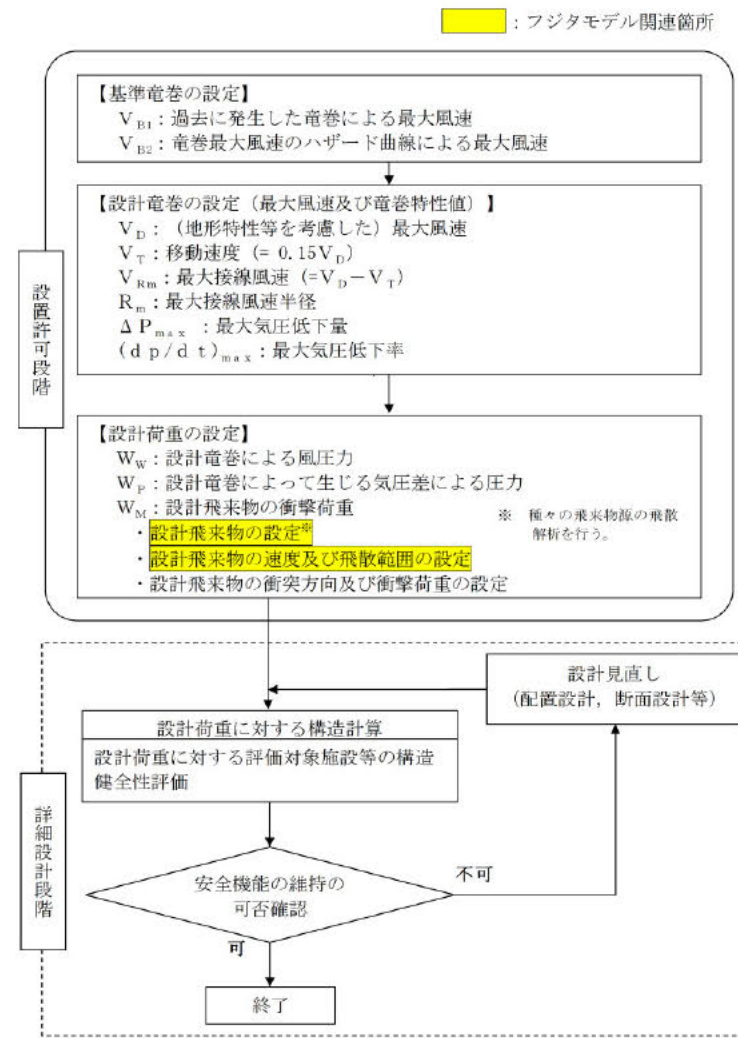


図1 風速場モデルの選定及び飛来物評価方法に関する検討フロー
(括弧内の数字は、本資料の節番号)



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

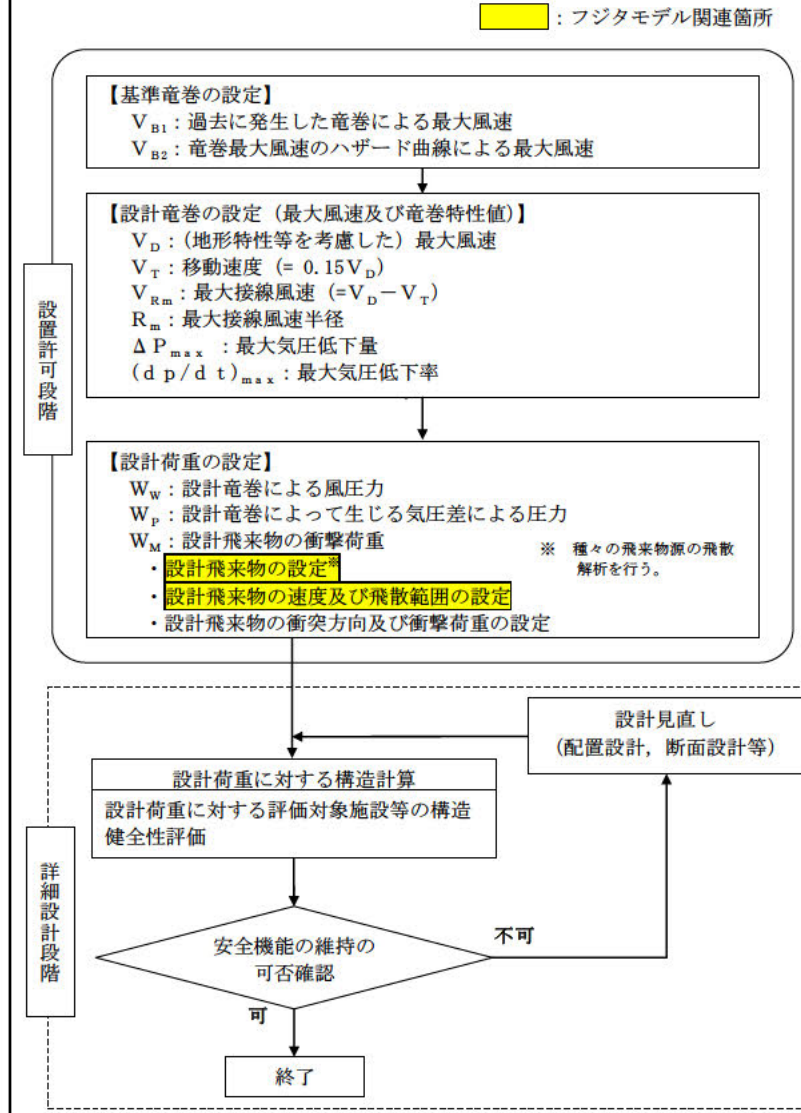

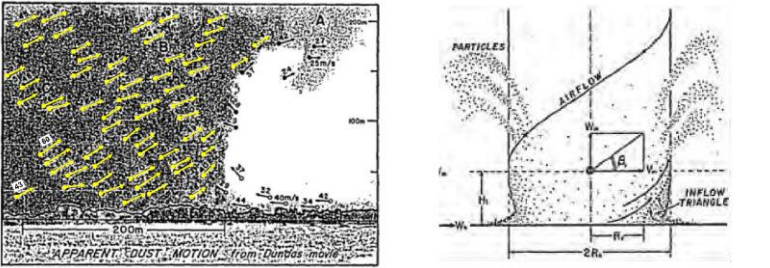

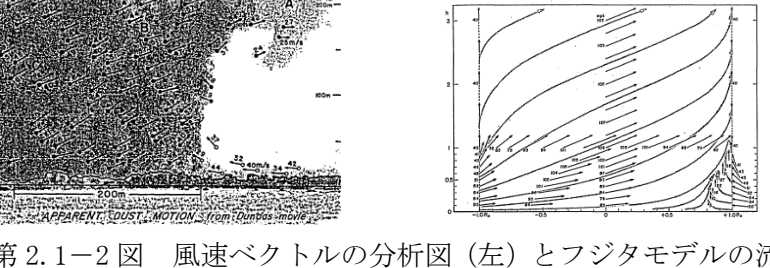

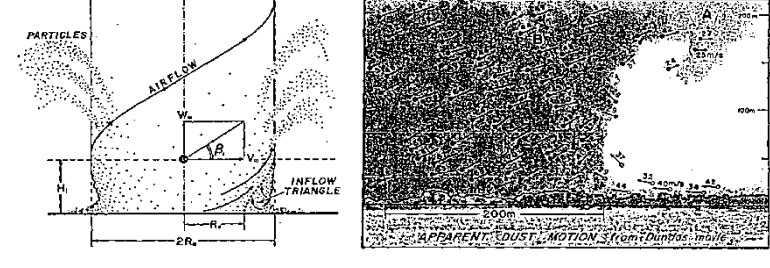
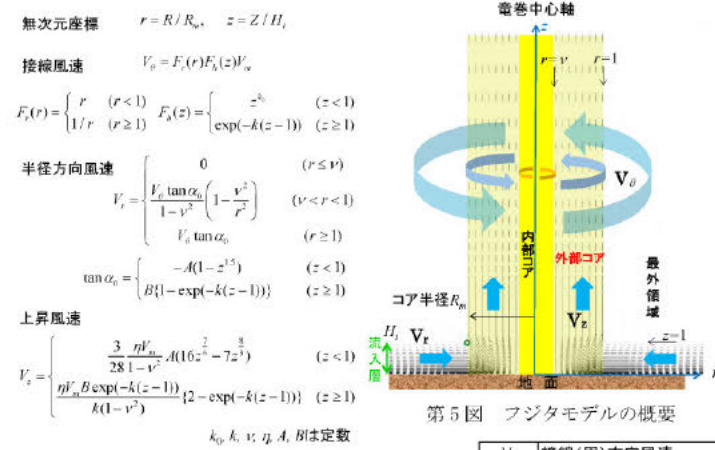


図2 竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

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 V_θ 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 V_z や半径方向風速 V_r 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 H_i 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 V_r</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 V_θ 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 V_z や半径方向風速 V_r 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 H_i 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 V_θ 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 V_z や半径方向風速 V_r 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 H_i 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⁽⁵⁾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。)



無次元座標 $r = R/R_m, z = Z/H_i$

接線風速 $V_\theta = F_\theta(r)F_z(z)V_m$

半径方向風速 $V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq 1) \\ \frac{V_m \tan \alpha_0}{1-v^2} \left(1 - \frac{v^2}{r^2}\right) & (1 < r < 1) \\ V_m \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$

上昇風速 $V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta' A}{1-v^2} A(16z^2 - 7z^3) & (z < 1) \\ \frac{\eta' A B \exp(-k(z-1))}{k(1-v^2)} [2 - \exp(-k(z-1))] & (z \geq 1) \end{cases}$

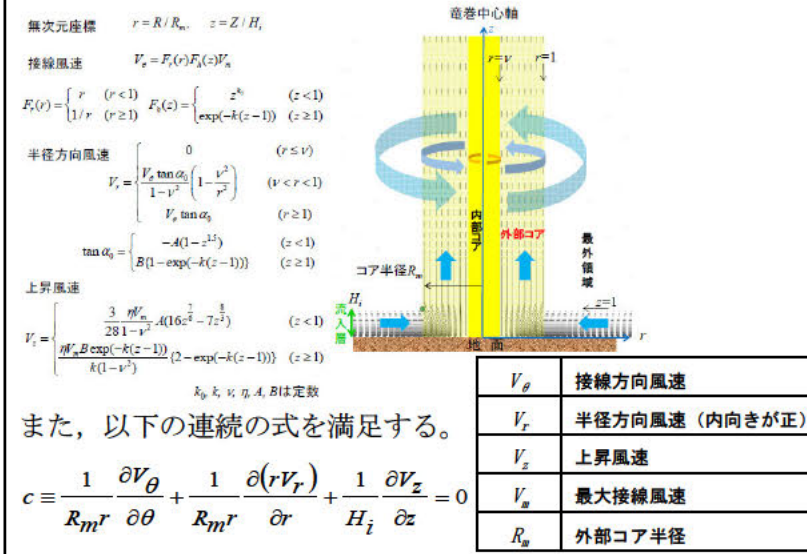
連続の式: $c = \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$

フジタモデルでは、 $c = 0$ となり連続の式を満たす。

V_θ	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⁽⁴⁾の第6章に、第2.1-3図のとおり記載されている。



無次元座標 $r = R/R_m, z = Z/H_i$

接線風速 $V_\theta = F_\theta(r)F_z(z)V_m$

半径方向風速 $V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq 1) \\ \frac{V_m \tan \alpha_0}{1-v^2} \left(1 - \frac{v^2}{r^2}\right) & (1 < r < 1) \\ V_m \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$

上昇風速 $V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta' A}{1-v^2} A(16z^2 - 7z^3) & (z < 1) \\ \frac{\eta' A B \exp(-k(z-1))}{k(1-v^2)} [2 - \exp(-k(z-1))] & (z \geq 1) \end{cases}$

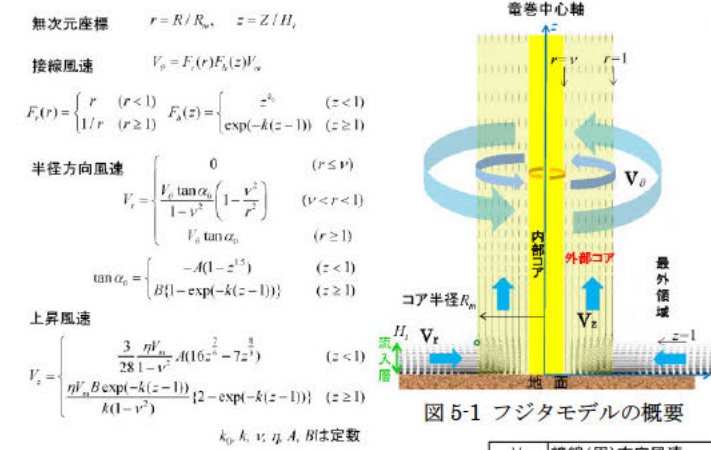
連続の式: $c = \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$

V_θ	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

第2.1-3図 フジタモデルの概要

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⁽⁵⁾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。)



無次元座標 $r = R/R_m, z = Z/H_i$

接線風速 $V_\theta = F_\theta(r)F_z(z)V_m$

半径方向風速 $V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq 1) \\ \frac{V_m \tan \alpha_0}{1-v^2} \left(1 - \frac{v^2}{r^2}\right) & (1 < r < 1) \\ V_m \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$

上昇風速 $V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta' A}{1-v^2} A(16z^2 - 7z^3) & (z < 1) \\ \frac{\eta' A B \exp(-k(z-1))}{k(1-v^2)} [2 - \exp(-k(z-1))] & (z \geq 1) \end{cases}$

連続の式: $c = \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$

フジタモデルでは、 $c = 0$ となり連続の式を満たす。

V_θ	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

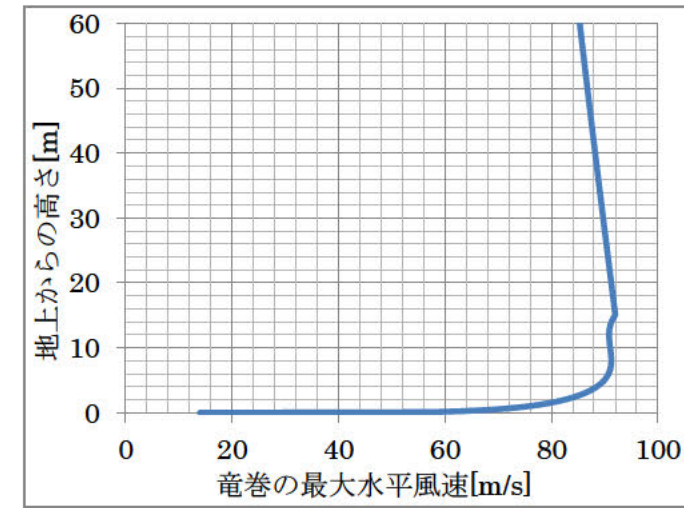


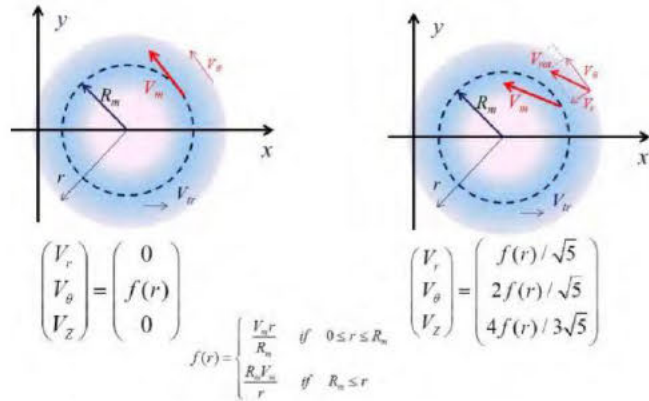
図5-2 フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さの関係 (r=1)

・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

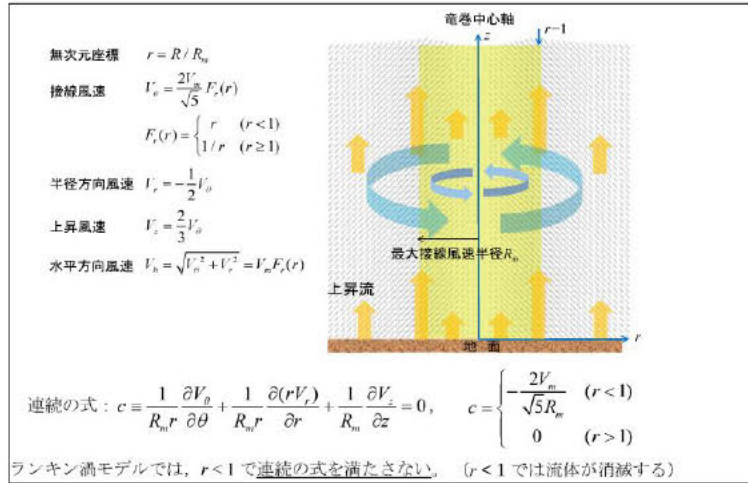
・記載方針の相違
【柏崎6/7, 東海第二】
同上

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 R_n と外部コアの半径 R_m の比 $\nu = R_n / R_m$ については、Fujita⁽⁵⁾が以下の経験式を提案しているの、これを用いる。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m) \quad (1)$ <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⁽⁵⁾は、流入層高さ H_i を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) R_m 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> $H_i = \eta R_m \quad (2)$ <p>ここで、η は1以下の正の値であり、Fujita Work Book⁽⁵⁾の(6.4)式より $\eta = 0.55(1 - \nu^2)$ で定義される。</p> <p>上記式において、外部コア半径 $R_m = 30$(m)の場合、$\eta = 0.501$($H_i = 15$(m))となり、原子力安全基盤機構の調査研究報告書⁽⁴⁾の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径)の比($\eta = 0.4$程度)や、Kosiba⁽⁶⁾により示されている流入層高さ($H_i = 10 \sim 14$(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⁽⁵⁾の提案している値として、$k_0 = 1/6$, $k = 0.03$, $A = 0.75$, $B = 0.217$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⁽³⁾は、竜巻中心に向かう半径方向風速 V_r と上昇風速 V_z 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 R_n と外部コアの半径 R_m の比 $\nu (= R_n / R_m)$ については、Fujita⁽⁴⁾が以下の経験式を提案しているの、これを用いた。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m) \quad (1)$ <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⁽⁴⁾は、流入層高さ H_i を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) R_m 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、η 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 $R_m = 30$(m)の場合、$\eta = 0.50$($H_i = 15$(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」⁽³⁾の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径)の比($\eta = 0.4$程度)や、Kosiba^(v)により示されている流入層高さ($H_i = 10 \sim 14$(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⁽⁴⁾の提案している値として、$k_0 = 1/6$, $k = 0.03$, $A = 0.75$, $B = 0.0217$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⁽²⁾では、竜巻中心に向かう半径方向風速 V_r と上昇風速 V_z 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 R_n と外部コアの半径 R_m の比 $\nu = R_n / R_m$ については、Fujita⁽⁵⁾が以下の経験式を提案しているの、これを用いる。</p> $\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005R_m) \quad (1)$ <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⁽⁵⁾は、流入層高さ H_i を竜巻中心の低圧部の大きさ(外部コア半径) R_m 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> $H_i = \eta R_m \quad (2)$ <p>ここで、η は1以下の正の値であり、Fujita Work Book⁽⁵⁾の(6.4)式より $\eta = 0.55(1 - \nu^2)$ で定義される。</p> <p>上記式において、外部コア半径 $R_m = 30$(m)の場合、$\eta = 0.501$($H_i = 15$(m))となり、原子力安全基盤機構の調査研究報告書⁽⁴⁾の図2.2.3.10における流入層高さ(竜巻半径)の比($\eta = 0.4$程度)や、Kosiba⁽⁶⁾により示されている流入層高さ($H_i = 10 \sim 14$(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⁽⁵⁾の提案している値として、$k_0 = 1/6$, $k = 0.03$, $A = 0.75$, $B = 0.217$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⁽³⁾は、竜巻中心に向かう半径方向風速 V_r と上昇風速 V_z 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

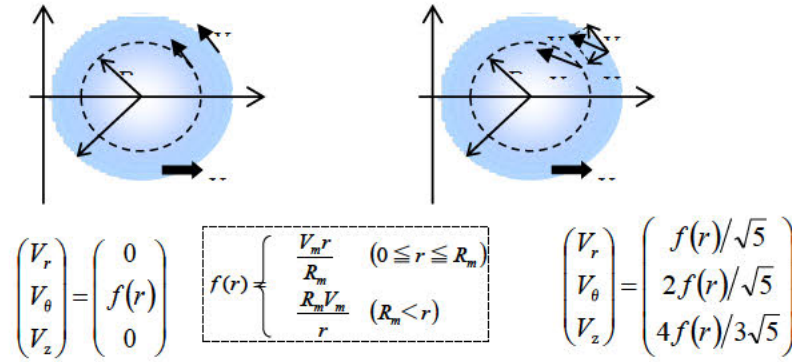
2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)

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。

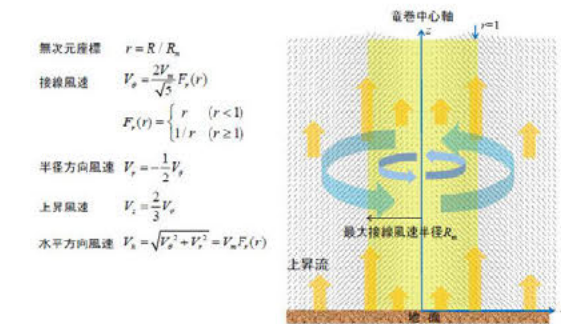
$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + (v + \nu_s) \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2}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

$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial U_3}{\partial x_3} = 0 \quad (4)$$



(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。

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

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)

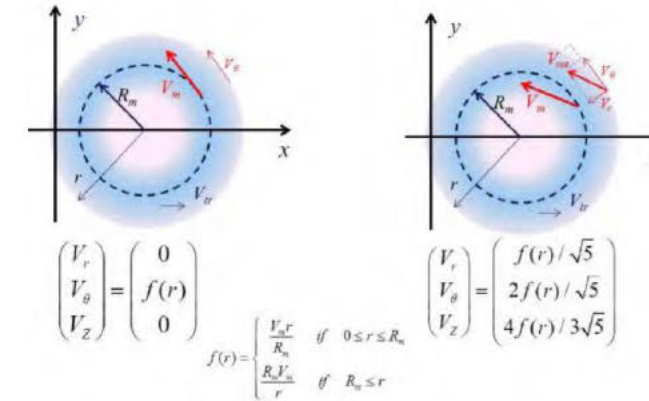
LES は、非定常な乱流場を数値的に計算する手法として、「竜巻評価ガイド」における飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第2.3-1図に LES による渦の発生状況を示す。

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。

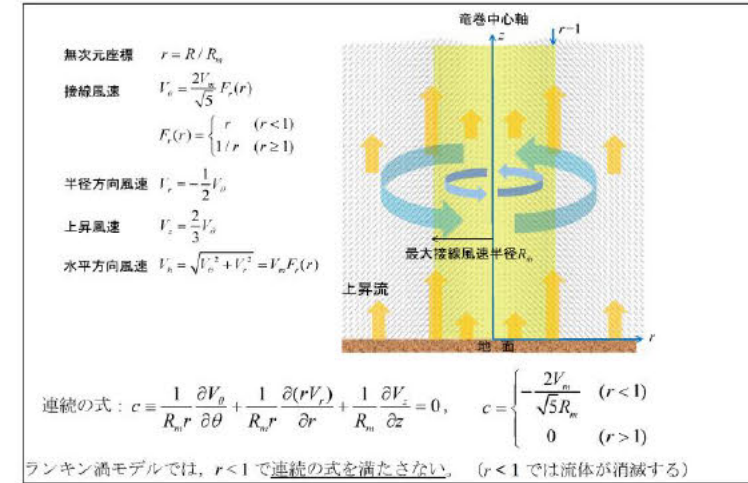
$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3 \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + (v + \nu_s) \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_2^2}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

(4)

る。



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

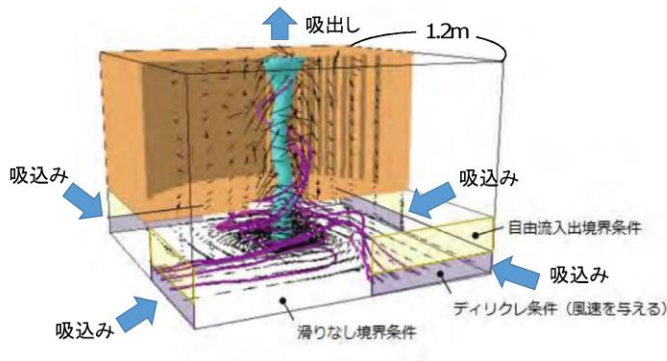
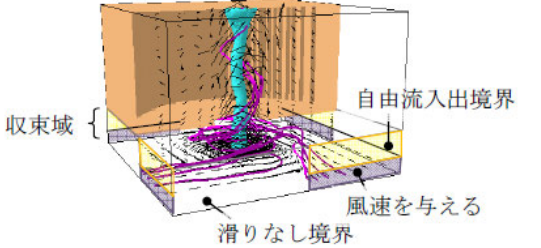
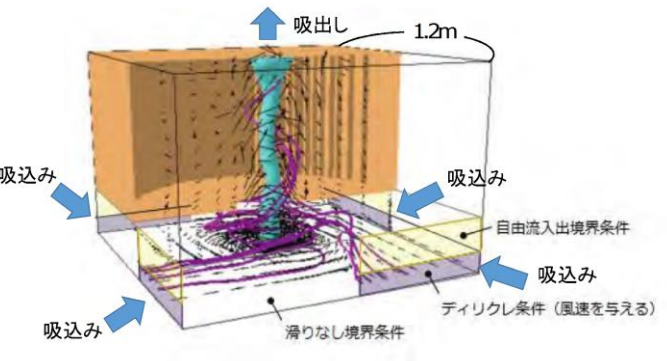
2.3 非定常乱流渦モデル (LES による数値解析)

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。

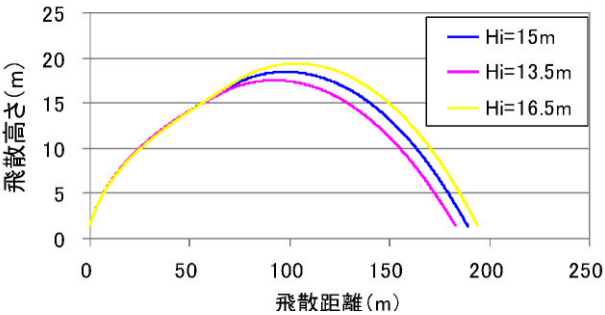
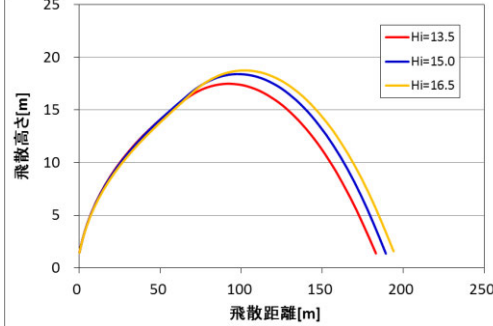
古典的な Smagorinsky モデルに基づく LES の基礎方程式 (運動量保存式及び質量保存式) は、流体が非圧縮性であると仮定する場合、以下ようになる。

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

(3)

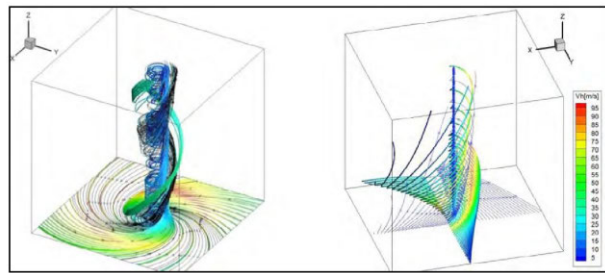
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ここで、U_i 及び P は、i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、ν は動粘性係数を、f_i は i 方向の外力加速度を表す。また、x_i は i 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 ν_s は以下のように定義される。</p> $\nu_s = (C_s h)^2 \sqrt{\sum_{i,j=1}^3 2S_{ij}^2} \quad (5)$ <p>ここで、h は解像スケール(メッシュ幅相当)、C_s は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル S_{ij} は $S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)$ 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、U_i 及び P は、i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、ν は動粘性係数を、f_i は i 方向の外力加速度を表す。また、x_i は i 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 ν_s 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、h は解像スケール(メッシュ幅相当)、C_s は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル S_{ij} は $S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)$ 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^(vi)</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、U_i 及び P は、i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し、ν は動粘性係数を、f_i は i 方向の外力加速度を表す。また、x_i は i 方向の座標を表す。</p> <p>一方、Smagorinsky モデルの渦粘性係数 ν_s 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、h は解像スケール(メッシュ幅相当)、C_s は Smagorinsky 定数を表し、ひずみ速度テンソル S_{ij} は $S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j + \partial U_j/\partial x_i)$ 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"> ・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。 ・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。 <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⁽⁷⁾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, $CD_A/m=0.0105$, 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H_iは、外部コア半径$R_m=30$(m)の場合、$H_i=15$(m)であり、2.1に記載のとおり他の文献⁽⁴⁾⁽⁶⁾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H_iを±10%変化させた場合の飛跡も示す。</p> <p>$H_i=15$(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H_i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H_i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"> ➤ 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。 ➤ 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。 <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^(vi)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"> ・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。 ・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。 <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⁽⁷⁾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, $CD_A/m=0.0105$, 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H_iは、外部コア半径$R_m=30$(m)の場合、$H_i=15$(m)であり、2.1に記載のとおり他の文献⁽⁴⁾⁽⁶⁾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H_iを±10%変化させた場合の飛跡も示す。</u></p> <p><u>$H_i=15$(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H_i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H_i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> <ul style="list-style-type: none"> ・記載方針の相違 <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 1491">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⁽⁴⁾⁽⁷⁾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="1751 567 2493 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 2493 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 2493 1491">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⁽⁴⁾⁽⁷⁾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 ・ 地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる	・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(設計竜巻の特性値の設定)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 ・ 地上からの飛散挙動を解析するには適切でない
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) ・ 地上からの飛散挙動を解析するには適切でない ・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

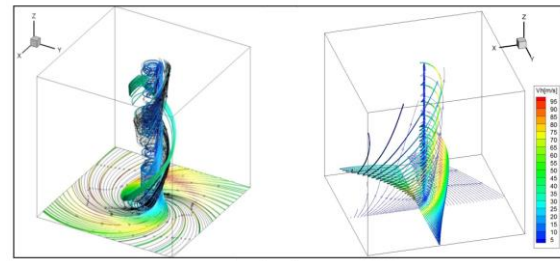
4.1 フジタモデルの利用実績

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⁽⁸⁾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⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾(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⁽⁸⁾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⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾(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 ・ 地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる	・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(設計竜巻の特性値の設定)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 ・ 地上からの飛散挙動を解析するには適切でない
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) ・ 地上からの飛散挙動を解析するには適切でない ・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

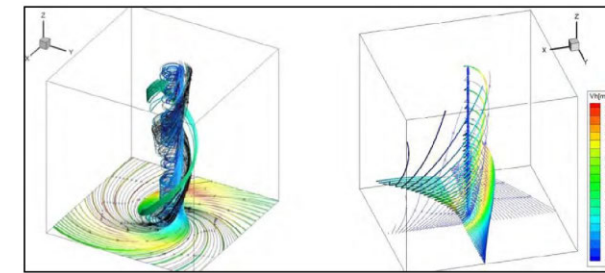


図10 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造の比較

4. 米国におけるフジタモデルの取扱い

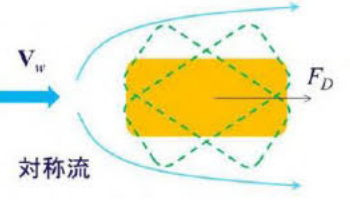
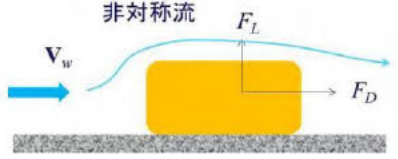
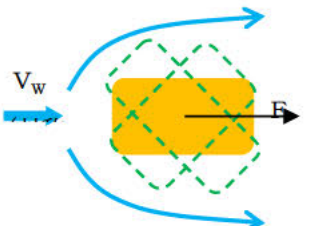
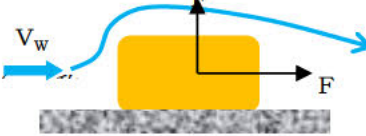
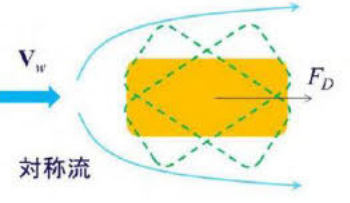
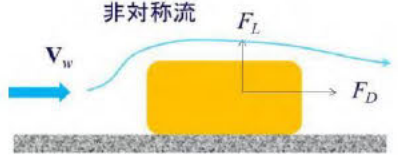
4.1 フジタモデルの利用実績

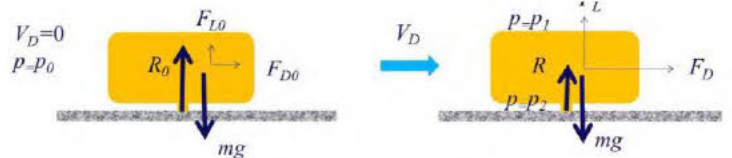
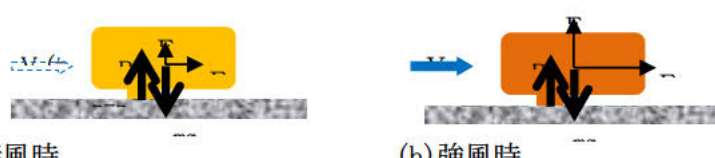
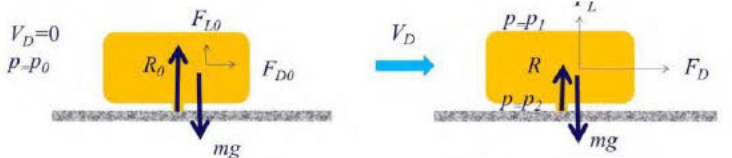
米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準⁽⁸⁾において、竜巻飛来物速度、飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾(文献(8)のD.4節: Windborne missile criteriaspecified herein are based on windstorm damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. . . . Computer simulation of tornado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

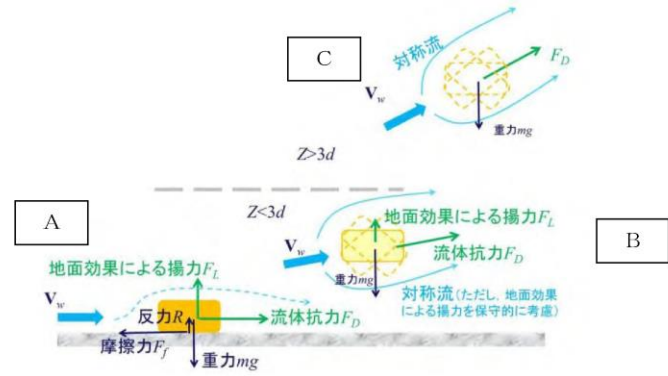
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>該当する施設として、Pantex Plant, Oak Ridge(X-10, K-25, Y-12), Savannah River Site が挙げられている。</p> <p>フジタモデルの技術的な妥当性の検証については、米国 DOE 管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾にてまとめられている。この報告書では、フジタモデル DBT-77 を他の風速場モデルと比較検討しており、流体力学の連続の式を満足する (Fluid mechanics equations 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⁽⁹⁾ がローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾及び米国気象学会論文集⁽¹²⁾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)⁽¹³⁾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⁽²⁾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^(x i)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⁽⁹⁾がローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾及び米国気象学会論文集^(x ii)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)^(x iii)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⁽¹⁾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⁽¹¹⁾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⁽⁹⁾ がローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽¹¹⁾及び米国気象学会論文集⁽¹²⁾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)⁽¹³⁾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⁽²⁾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⁽³⁾) 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⁽²⁾) 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⁽³⁾) 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⁽³⁾⁽⁴⁾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) F_D 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⁽¹⁴⁾。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 F_L として考慮する。</p>  <p>第11-1図 空中で飛来物へ作用する力</p>  <p>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 F_L は地面での揚力係数 C_L、地上での物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) a を用いて、以下のように表される⁽¹⁵⁾。</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、ρ は空気密度、\mathbf{V}_M は飛来物の速度ベクトル、\mathbf{V}_w は風速ベクトル、$\ast _{x,y}$ は\astの x, y 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 A とし、物体と地面の完全接触面積を s 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(p_0)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⁽²⁾⁽³⁾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) F_D 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^(xiv)。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 F_L として考慮する。</p>  <p>(a)空中</p>  <p>(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 F_L は、地表付近での揚力係数 C_L 及び物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) a 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、ρ は空気密度、\mathbf{V}_M は飛来物の速度ベクトル、\mathbf{V}_w は風速ベクトル、$\ast _{x,y}$ はベクトル \ast の x, y 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 A とし、物体と地面の完全接触面積を s 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(p_0)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⁽³⁾⁽⁴⁾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) F_D 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⁽¹⁴⁾。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 F_L として考慮する。</p>  <p>図11-1 空中で物体へ作用する力</p>  <p>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 F_L は地面での揚力係数 C_L、地上での物体の見附面積(風向方向から見た投影面積) a を用いて、以下のように表される⁽¹⁵⁾。</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、ρ は空気密度、\mathbf{V}_M は物体の速度ベクトル、\mathbf{V}_w は風速ベクトル、$\ast _{x,y}$ は\astの x, y 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 A とし、物体と地面の完全接触面積を s 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(p_0)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 F_{L0} 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 $s=A$ となるため、大気圧 p_0 に投影面積 A 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 p_0 に完全接触面積 s 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 p_1、下面での圧力 p_2 と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 F_L 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 $s=A$ となるため、上面の圧力 p_1 に投影面積 A 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，R_0，R：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 F_{L0} 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、$0 < s \leq A$ であることから、F_{L0} 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 p_1、下面での圧力を p_2 と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 F_L 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 $s=A$ となるため、上面の圧力 p_1 に投影面積 A 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>(a)無風時 (b)強風時</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 F_{L0} 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 $s=A$ となるため、大気圧 p_0 に投影面積 A 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 p_0 に完全接触面積 s 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 p_1、下面での圧力 p_2 と仮定）する場合、鉛直方向の流体力 F_L 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 $s=A$ となるため、上面の圧力 p_1 に投影面積 A 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，R_0，R：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 $C_{L,a}$ 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、$C_{L,a}$ 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 $C_D A$ 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、C_{Dx} は空中での x 軸方向流れに対する抗力係数、A_x 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"> 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。 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 $C_{L,a}$ 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。 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。 	<p>(7)式の $C_{L,a}$ 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、$C_{L,a}$ 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 $C_D A$ 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、C_{Di} は空中での i 軸方向流れに対する抗力係数、A_i 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 $C_{L,a}$ を $C_D A$ 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"> 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。 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 $C_{L,a}$ 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 $C_D A$ を用いることで、保守性は確保できると考えられる(「$C_D A > C_{L,a}$」となることの説明は後述)。 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。 <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 C_L 見付面積 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 $C_D A$ の利用が適切であることを以下に説明する。</p>	<p>(6)式の $C_{L,a}$ 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、$C_{L,a}$ 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 $C_D A$ 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、C_{Dx} は空中での x 軸方向流れに対する抗力係数、A_x 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"> 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。 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 $C_{L,a}$ 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。 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。 	



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。

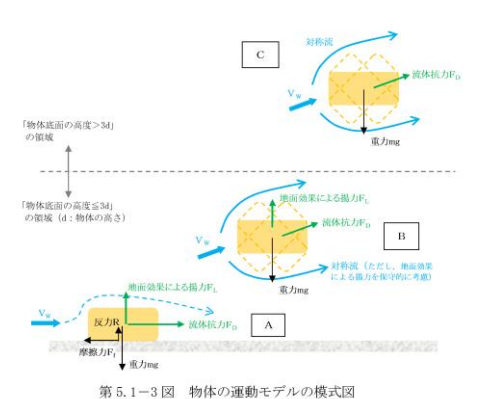
物体が風速 U を受ける場合の揚力係数 C_L は、一般にその定義により揚力 F_L と以下の関係にある。

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

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

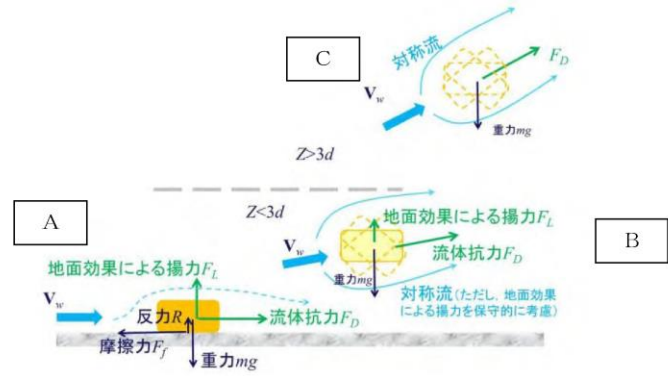


図 13 物体の運動モデルの模式図

(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、$C_D A > C_{L,a}$の関係が成立しており、$C_{L,a}$の代用として$C_D A$の利用が適切であることが確認できる。なお、$C_D A$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dの立方体では$C_D A = 2d^2$、一辺dの平板では$C_D A = 0.66d^2$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$C_{L,a}$値よりも大きな値であり、揚力の評価モデルとして$C_{L,a}$値の代わりに$C_D A$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、「$C_D A > C_{L,a}$」の関係が成立しており、揚力の評価モデルとして$C_{L,a}$の代わりに$C_D A$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、$C_D A > C_{L,a}$の関係が成立しており、$C_{L,a}$の代用として$C_D A$の利用が適切であることが確認できる。なお、$C_D A$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dの立方体では$C_D A = 2d^2$、一辺dの平板では$C_D A = 0.66d^2$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$C_{L,a}$値よりも大きな値であり、揚力の評価モデルとして$C_{L,a}$値の代わりに$C_D A$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_pAと地面に置かれた物体のC_la(実測値)の大小関係(1/2)

形状	物体	仕様	C _p A ^{※1}	C _l a(実測値)	C _l 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. ²	48.7ft. ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (風速22~31m/s, Re=2.8x10⁶~4.0x10⁶) C_laが最大となる流入角での値をC_la(実測値)として記載
		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 ²	7.76m ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽²²⁾ (風速0~150m/s, Re=0~3.0x10⁶) 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_la値を計算 (C_la=2mg/ρU²) C_laが最大となる流入角での値をC_la(実測値)として記載
		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 ²	7.89m ²	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8.0x10³~2.8x10⁴) 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_la(実測値)として記載
柱状	立方体	一辺の長さD	2D ²	0.2D ² 程度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (Re=1.3x10⁶) 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_la(実測値)として記載
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.05Dλ~0.23Dλ	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験 (Re=3.5x10⁴~1.2x10⁵) 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_la(実測値)として記載 電力中央研究所風洞実験
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) ^{※2}	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8.0x10³~2.8x10⁴) 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_la(実測値)として記載
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"> 風洞試験 (Re=3.8x10⁴) 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) 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)
		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"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8,000~28,000) 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_la(実測値)として記載
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) ^{※2}	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (Re=1.3x10⁶) 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_la(実測値)として記載 電力中央研究所風洞実験

第5.1-1表 主な物体のC_pAと地面に置かれた物体のC_la(実測値) (1/2)

形状	物体	仕様	C _p A ^{※1}	C _l a(実測値)	C _l 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. ²	48.7ft. ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (風速22m/s~31m/s, Re=2.8x10⁶~4x10⁶) C_laが最大となる流入角での値をC_la(実測値)として記載
		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 ²	7.76m ²	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (風速0~150m/s, Re=0~3x10⁶) 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_la値を計算 (C_la=2mg/ρU²) C_laが最大となる流入角での値をC_la(実測値)として記載
		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 ²	7.89m ²	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8,000~28,000) 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_la(実測値)として記載
柱状	立方体	一辺の長さD	2D ²	0.2D ² 程度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (Re=1.3x10⁶) 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_la(実測値)として記載 電力中央研究所風洞実験
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.05Dλ~0.23Dλ	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験 (Re=3.5x10⁴~1.2x10⁵) 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_la(実測値)として記載 電力中央研究所風洞実験
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) ^{※2}	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8,000~28,000) 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) 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_la(実測値)として記載
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"> 風洞試験 (Re=3.8x10⁴) 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) 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)
		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"> 水路試験⁽¹⁷⁾ (Re=8,000~28,000) 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_la(実測値)として記載
		長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) ^{※2}	0.5Dλ~0.7Dλ程度	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁶⁾ (Re=1.3x10⁶) 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_la(実測値)として記載 電力中央研究所風洞実験

※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_pAと地面に置かれた物体のC_la(実測値)の比較

形状	物体	仕様	C _p A ^{※1}	C _l a(実測値)	C _p A/C _l a	C _l 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. ²)	1.865wd (=46.5ft. ²)	2.65	<ul style="list-style-type: none"> 文献(16)の風洞試験 (風速22~31m/s, Re=2.8x10⁶~4x10⁶) C_laが最大となる流入角での値をC_la(実測値)として記載
		一辺の長さD	2D ²	0.2D ² 程度	10程度	<ul style="list-style-type: none"> 文献(17)の水路試験 (Re=8000~28000) 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_la(実測値)として記載
		長さλ, 直径D	0.47Dλ	0.2Dλ	2.35	<ul style="list-style-type: none"> 文献(16)の風洞試験 (Re=1.3x10⁶) 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_la(実測値)として記載
柱状	角柱	長さλ, 断面が一辺Dの正方形	0.8Dλ (1.3Dλ) ^{※2}	0.5Dλ~0.7Dλ程度	1.14~1.6	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験 (Re=8000~28000) 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) 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_la(実測値)として記載
		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 _l a=0.04Bλ)	16.5	<ul style="list-style-type: none"> 文献(18)の風洞試験 (幅Bに基づきRe=2x10⁵) 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_la(実測値)として記載
		長さλ, 幅B, 高さD	0.66Bλ (0.66(Bλ+D(B+λ))) ^{※2}	0.1Bλ程度	6.6	<ul style="list-style-type: none"> 文献(19)の水路試験 (Re=5x10⁴程度) 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_la(実測値)として記載

*: 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 λ , 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"> 風洞試験⁽¹⁸⁾(幅Bに基づく$Re=2.0 \times 10^5$) 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_{La}(実測値)として記載
	薄い翼	長さ λ , 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	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽²¹⁾(幅B(参考文献(20)ではc)に基づく$Re=2.2 \times 10^5$) 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)
	平板状 ブロック	長さ λ , 幅 B , 厚さ D	0.66 $B\lambda$ 0.66($B\lambda+D(B+\lambda)$) ^{*2}	0.1 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽¹⁹⁾($Re=5.0 \times 10^4$程度) 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_{La}(実測値)として記載

※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

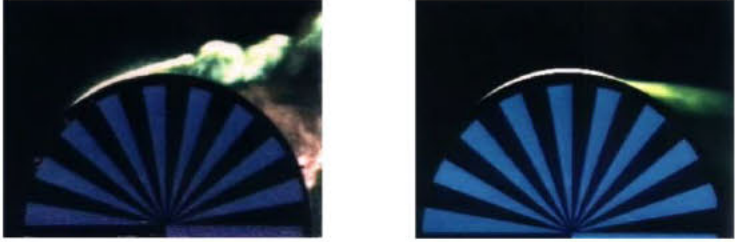
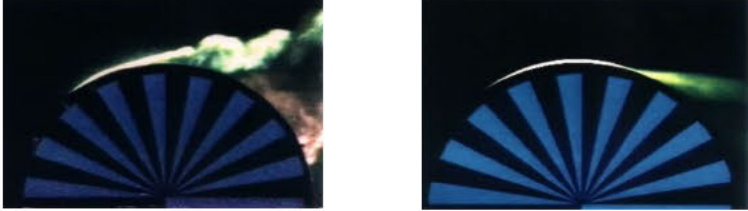
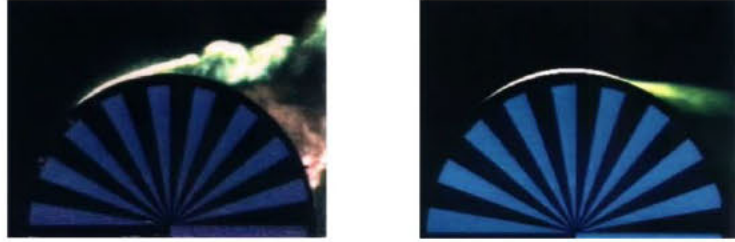
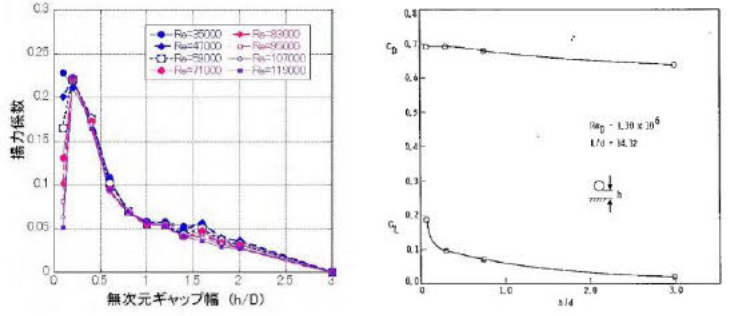
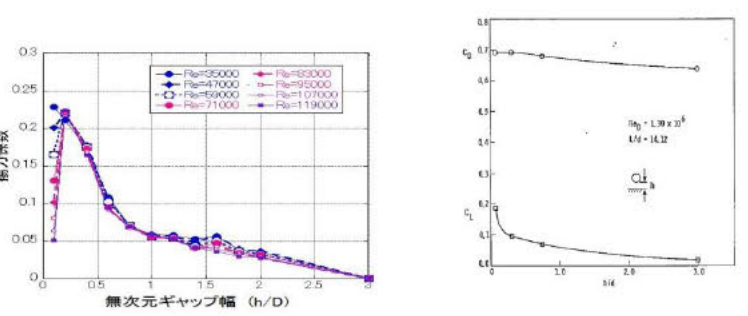
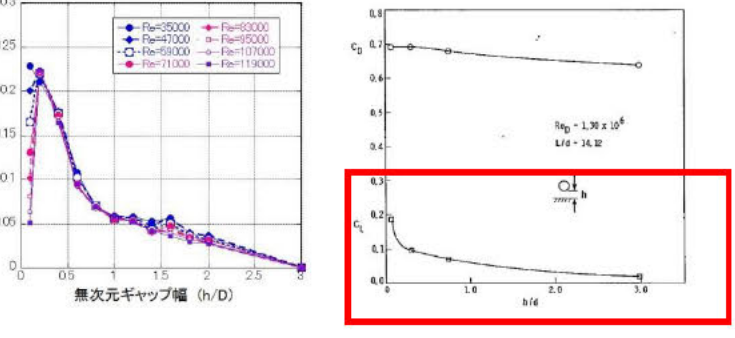
第5.1-1表 主な物体の C_{DA} と地面に置かれた物体の C_{La} (実測値)(2/2)

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 λ , 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"> 風洞試験⁽¹⁸⁾(幅Bに基づく$Re=2 \times 10^5$) 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_{La}(実測値)として記載
	薄い翼	長さ λ , 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	<ul style="list-style-type: none"> 風洞試験⁽¹⁹⁾(幅B(参考文献(19)ではc)に基づく$Re=2.2 \times 10^5$) 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)
	平板状 ブロック	長さ λ , 幅 B , 厚さ D		0.1 $B\lambda$ 程度	<ul style="list-style-type: none"> 水路試験⁽²⁰⁾($Re=5 \times 10^4$程度) 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_{La}(実測値)として記載

※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 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ が、飛行定数 $C_D A/m$ と同類の $C_D A$ で代用できることについて、第2表における $C_L a$ (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 Re は同表の備考欄に示すとおり、10^4 から 10^6 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⁽¹⁶⁾。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 Re 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⁽¹⁶⁾は $Re=1.3 \times 10^6$ 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 $Re=6.0 \times 10^5$ 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、$Re=3.0 \times 10^4$ から 1.0×10^5 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 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ 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 $C_L a$ (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、$10^4 \sim 10^6$ 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⁽¹⁵⁾。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⁽¹⁵⁾は $Re=1.3 \times 10^6$ 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 6×10^5 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、$Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ 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 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ 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 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ が、飛行定数 $C_D A/m$ と同類の $C_D A$ で代用できることについて、表2における $C_L a$ (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 Re は同表の備考欄に示すとおり、10^4 から 10^6 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⁽¹⁶⁾。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 Re 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⁽¹⁶⁾は $Re=1.3 \times 10^6$ 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 $Re=6.0 \times 10^5$ 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、$Re=3.0 \times 10^4$ から 1.0×10^5 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 C_L と見附面積 a の積 $C_L a$ 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>	

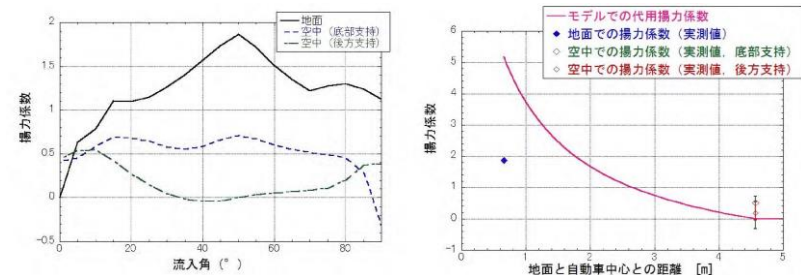
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第14図 可視化した円柱周りの流れ (左: $Re \approx 4.0 \times 10^4$, 右: $Re \approx 2.0 \times 10^5$)</p>	 <p>(a) $Re \approx 4 \times 10^4$ (b) $Re \approx 2 \times 10^5$</p> <p>第5.1-4図 可視化した円柱まわりの流れ(xv)</p>	 <p>図14 可視化した円柱周りの流れ (左: $Re \approx 4.0 \times 10^4$, 右: $Re \approx 2.0 \times 10^5$)</p>	
 <p>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⁽¹⁶⁾ ($Re=1.3 \times 10^6$) で得られた円柱揚力係数</p>	 <p>(a) 電力中央研究所 ($Re=3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$) (b) EPRI ($Re=1.3 \times 10^6$)⁽¹⁵⁾</p> <p>第5.1-5図 風洞実験による円柱の揚力係数</p>	 <p>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⁽¹⁶⁾ ($Re=1.3 \times 10^6$) で得られた円柱揚力係数</p>	
<p>(4) 揚力の高さ依存性</p> <p>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⁽¹⁶⁾⁽²³⁾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。</p> <p>具体的には、地面から z の距離(高度)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: 物体底面の高度 ($=z-d/2$))</p> $L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{xy}^2 f(Z/d) \quad (11)$ <p>ただし、$f(Z/d)$ は、EPRI の風洞実験結果⁽¹⁶⁾⁽²³⁾を参考に、以下の反比例式とする。</p> $f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases} \quad (12)$	<p>(4) 揚力の高さ依存性</p> <p>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^{(15)(xvi)}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。</p> <p>具体的には、底面が地面から Z の距離(高度)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。</p> $L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{xy}^2 f(Z/d) \quad (11)$ <p>$f(Z/d)$ は、EPRI の風洞実験結果⁽¹⁵⁾を参考に、以下の反比例式とした。</p> $f(Z/d) = \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} \quad (12)$ <p>ここで、Z は下式により定義される (z: 物体中心の高度)</p>	<p>(4) 揚力の高さ依存性</p> <p>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⁽¹⁶⁾⁽²²⁾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。</p> <p>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 ($=z-d/2$))</p> $L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M _{xy}^2 f(Z/d) \quad (11)$ <p>ただし、$f(Z/d)$ は、EPRI の風洞実験結果⁽¹⁶⁾⁽²²⁾を参考に、以下の反比例式とする。</p> $f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases} \quad (12)$	

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⁽¹⁶⁾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

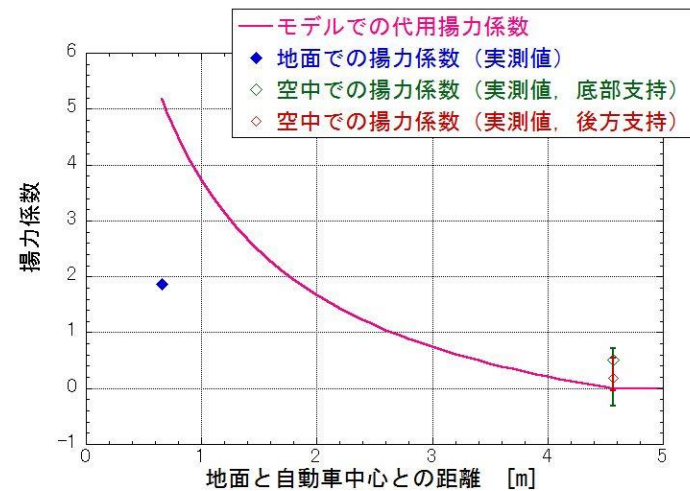
角柱の揚力係数は、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0～16.5m/s）にて測定しており、第 17 図にその結果を示す。角柱の場合、地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので、正の揚力を与える

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

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⁽¹⁵⁾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⁽¹⁵⁾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⁽¹⁶⁾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。

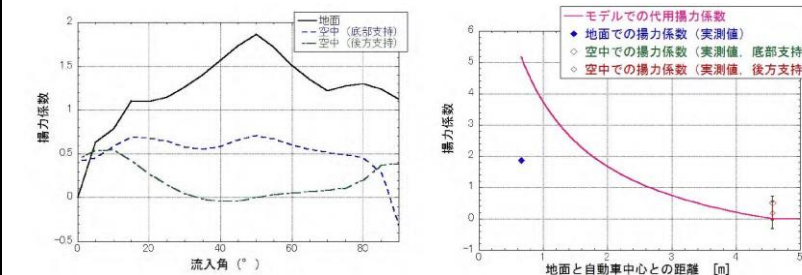


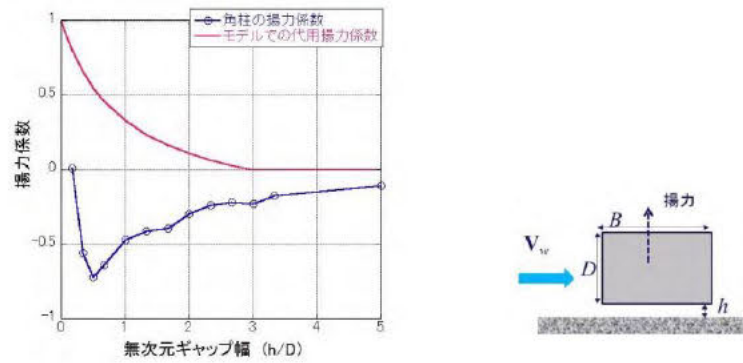
図 16-1 地面及び風洞中央に設置した自動車の揚力係数の流入角依存性
 図 16-2 自動車の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

b. 柱状物体（角柱・円柱）の揚力の高さ依存性

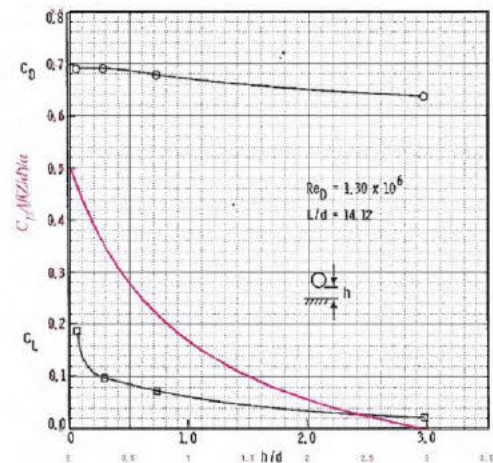
角柱の揚力係数は、電力中央研究所我孫子地区内の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0～16.5m/s）にて測定しており、図 17 にその結果を示す。角柱の場合、地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので、正の揚力を与える本

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⁽¹⁶⁾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)



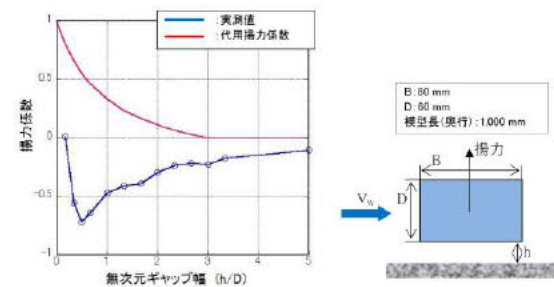
第 18 図 円柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

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⁽²¹⁾に基づき考察すると, 本モデルで代用した揚力係数 (第 19

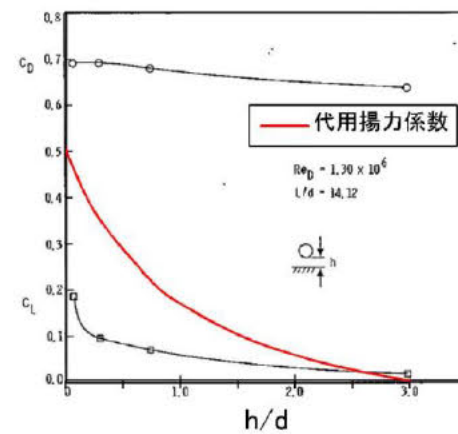
力係数 (第 5.1-7 図の赤線) は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は, EPRI の風洞試験⁽¹⁵⁾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 5.1-7 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⁽¹⁵⁾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⁽¹⁵⁾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⁽¹⁹⁾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⁽¹⁶⁾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。

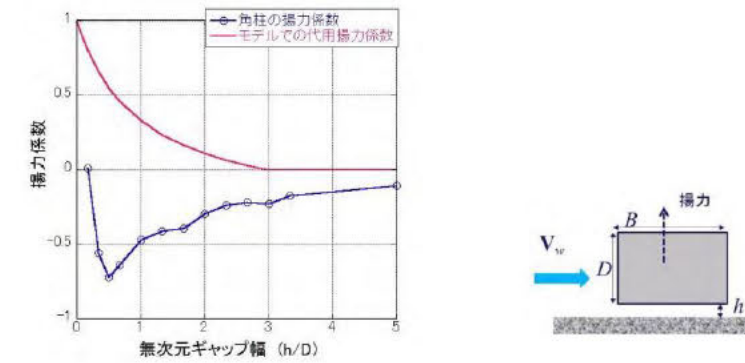


図 17 角柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係 (幅 B=80mm×高さ D=60mm×模型長 1000mm)

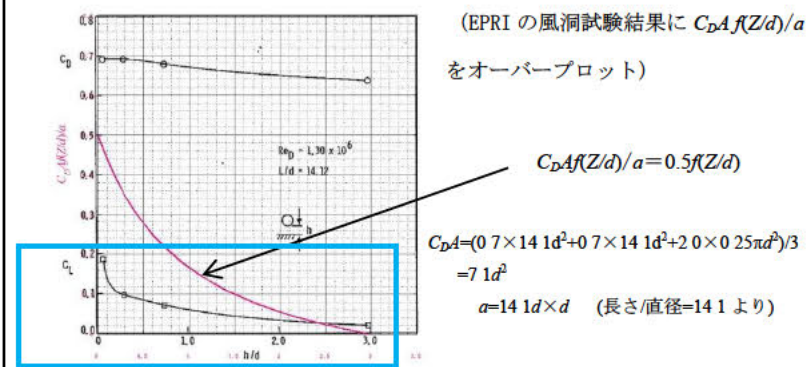


図 18 円柱の風洞試験による揚力係数と本モデルで代用した揚力係数の関係

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⁽²¹⁾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。

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。

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。

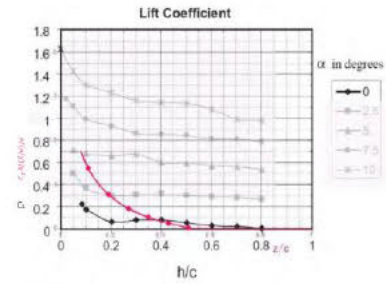


Fig. 8. Coefficient of lift at varying ground clearances for different angles of attack.

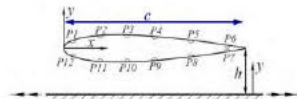


Fig. 2. Locations of pressure tappings.

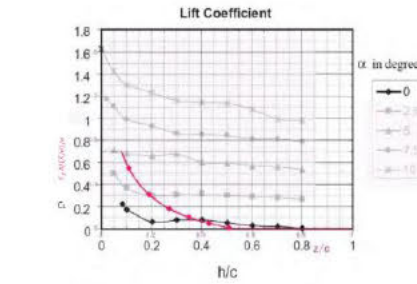
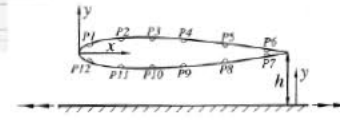
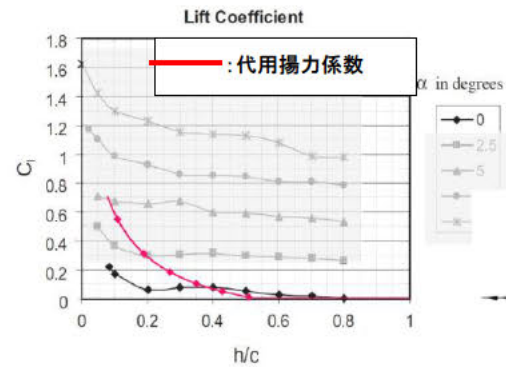


Fig. 8. Coefficient of lift at varying ground clearances for different angles of attack.

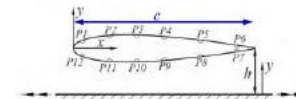


Fig. 2. Locations of pressure tappings.

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

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⁽¹⁹⁾に代用揚力係数を加筆)

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

(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。

(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。

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

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。

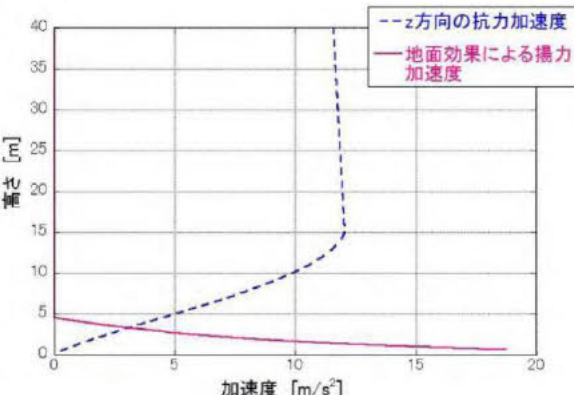
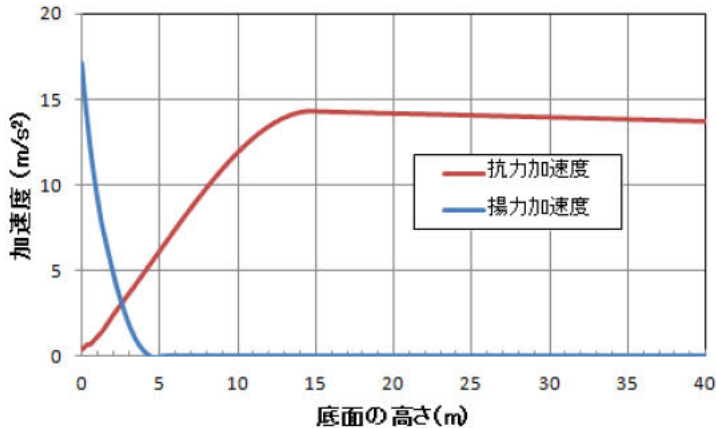
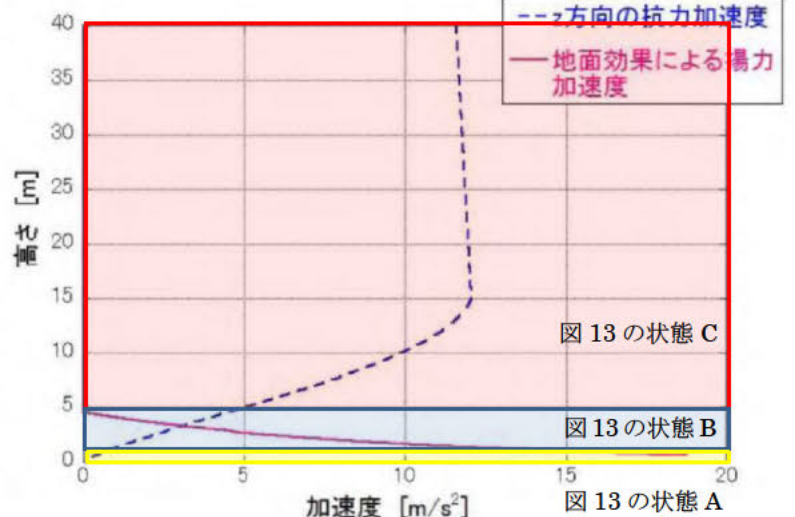
$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (13)$$

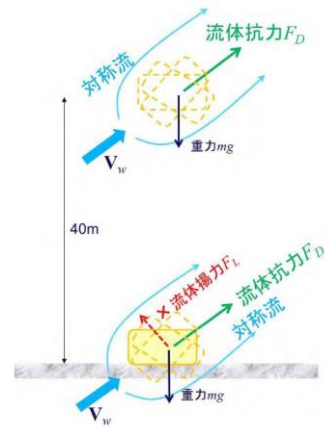
物体の位置 $\mathbf{X}_M(t)$ と速度 $\mathbf{V}_M(t)$ の時刻歴の計算には陽解法(一定加速度法)を用いる。具体的には、時刻 $t = \tau$ における物体の位置 $\mathbf{X}_M(\tau)$ と速度 $\mathbf{V}_M(\tau)$ を既知として、時刻 $t = \tau + \Delta \tau$ における物体の速度と位置を以下の式で求める。ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$ は上記運動方程式の右辺に対応する時刻 $t = \tau$ における加速度ベクトルである。

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

・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>$\mathbf{A}(\tau)$ の計算には、時刻 $t = \tau$ 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 x 軸上を移動速度 V_t 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 τ 位置を算出することができる。</p>	<p>$\mathbf{A}(\tau)$ の計算には、時刻 $t = \tau$ 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 x 軸上を移動速度 V_{tr} 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>$\mathbf{A}(\tau)$ の計算には、時刻 $t = \tau$ 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 x 軸上を移動速度 V_t 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 τ 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 ($R < 0$, つまり $mg < FL$) 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 ($R < 0$, つまり $mg < F_L$) 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 ($R < 0$, つまり $mg < FL$) 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 $\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$、竜巻風速 $\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})$ であり、右辺第 1 項が流体抗力 F_D 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 F_L 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 \mathbf{V}_M を 0) を仮定すると、以下の式となる。</p>	<p>ここで、物体速度 $\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$、竜巻風速 $\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})$ であり、右辺第 1 項が流体抗力 F_D による加速度を表しており、(19)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力 F_L 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 $\mathbf{V}_M = \mathbf{0}$) を仮定すると、以下の式となる。</p>	<p>ここで、物体の速度 $\mathbf{V}_M = (V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$、竜巻風速 $\mathbf{V}_w = (V_{w,x}, V_{w,y}, V_{w,z})$ であり、右辺第 1 項が流体抗力 F_D 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 F_L 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 \mathbf{V}_M 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 $V_{w,z}$ はゼロに近い値のため、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>	
$\frac{dV_{Mz}}{dt} \approx -g + L \quad (19)$	$\frac{dV_{Mz}}{dt} \approx -g + L \quad (20)$	$\frac{dV_{Mz}}{dt} \approx -g + L \quad (19)$	
<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 : $0.5 \rho C_D A/m=0.004 \text{ [m}^{-1}\text{]}$, $d=1.31 \text{ [m]}$)</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 ($(1/2) \rho C_D A/m=0.004 \text{ m}^{-1}$, $d=1.31 \text{ m}$)</p>	<p>図20 地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度 ($0.5 \rho C_D A/m=0.004 \text{ [m}^{-1}\text{]}$, $d=1.31 \text{ [m]}$)</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>	

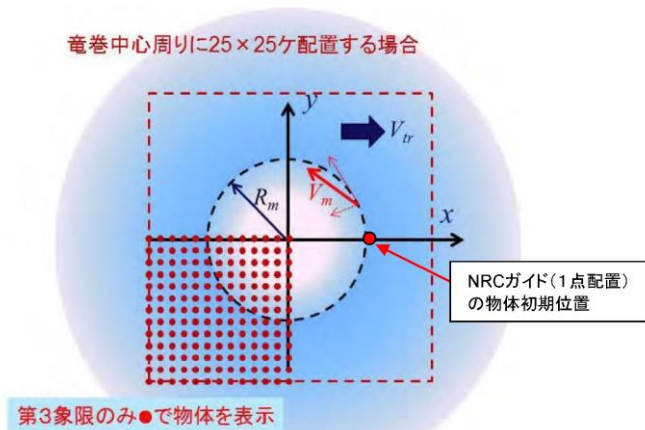


第 21 図 ランキン渦の場合の飛来物の運動モデルの模式図

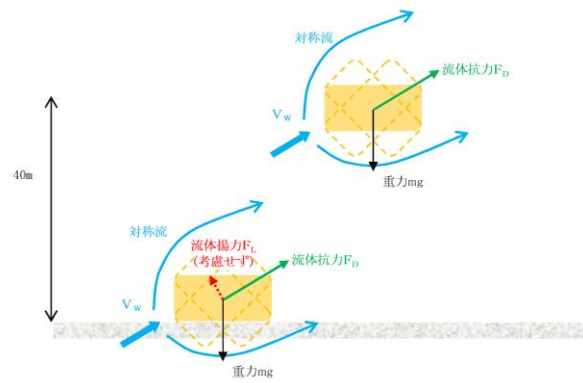
5.2 竜巻が物体に与える速度に関する不確定性の考慮

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⁽²⁾ に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を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。また多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の正方形領域に 51×51 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

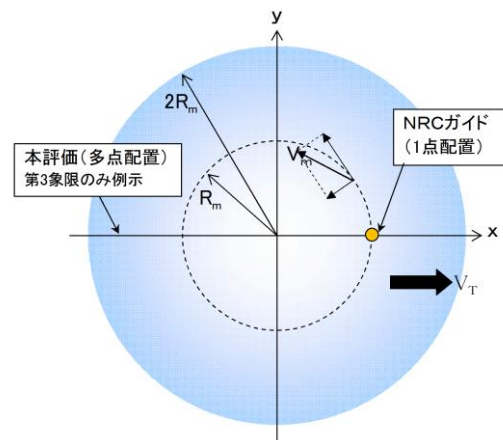


第 5.1-11 図 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

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⁽¹⁾ に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を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。また多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の辺長の正方形領域に 51×51 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

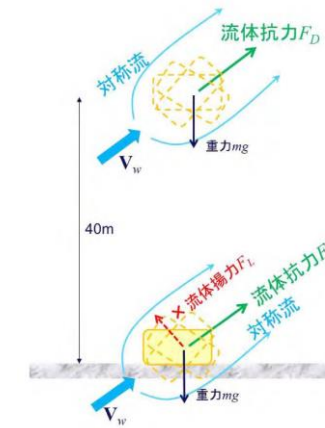


図 21 ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

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⁽²⁾ に記載されている方法（物体の 1 点配置）と、物体を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。また多点配置の場合は、竜巻半径の 4 倍の正方形領域に 51×51 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。

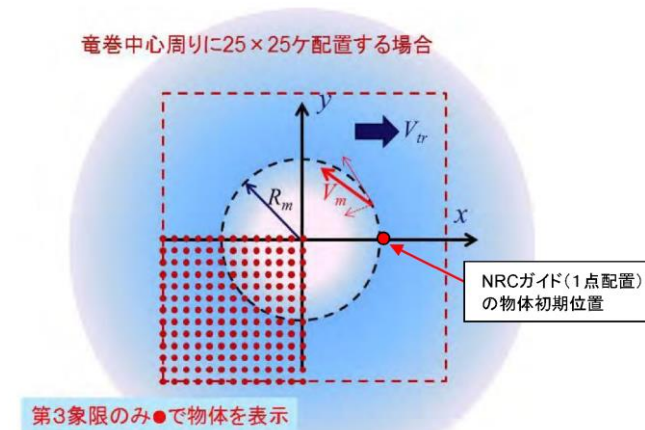
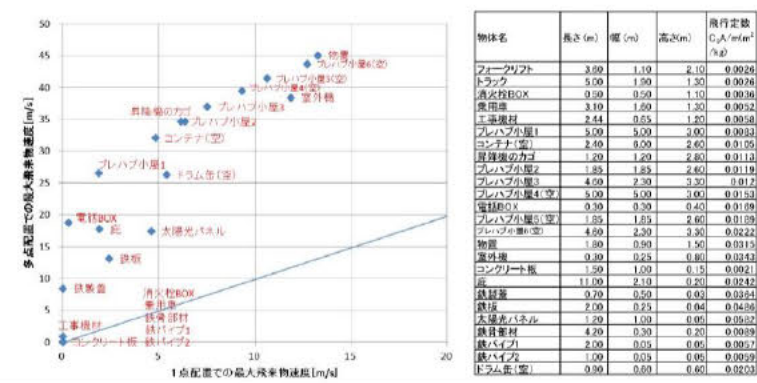


図 22 飛来物評価における竜巻と物体の位置関係

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⁽⁴⁾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)

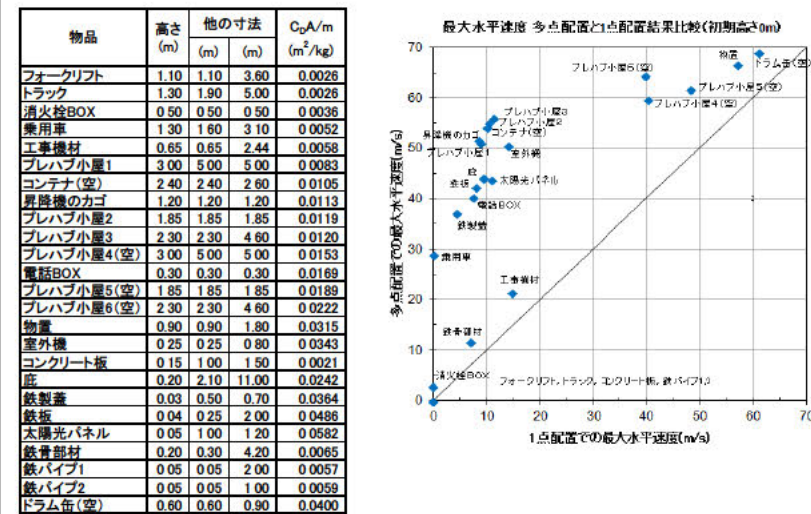
前頁の第22図に示す物体の多点配置(竜巻半径の4倍の正方形領域に51×51個の物体を配置)を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

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

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」⁽³⁾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

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⁽⁴⁾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。

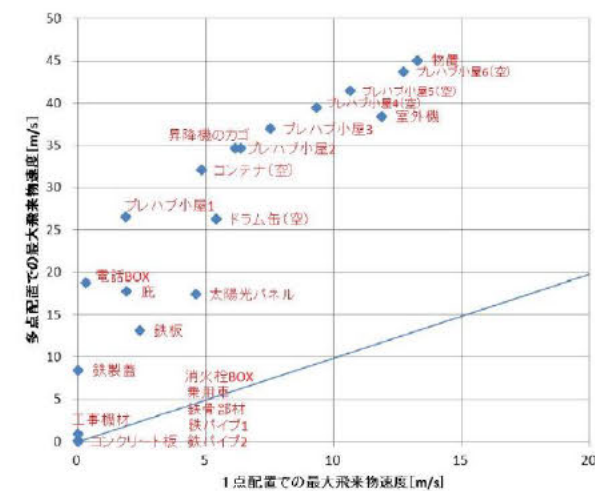
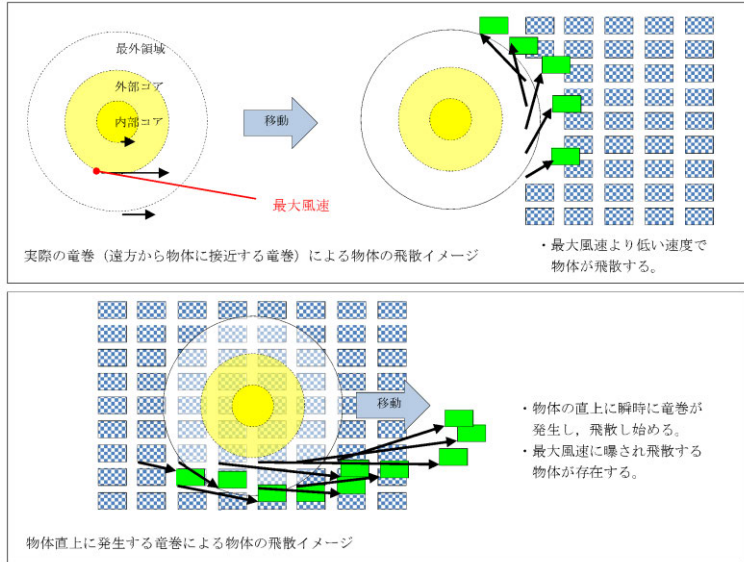
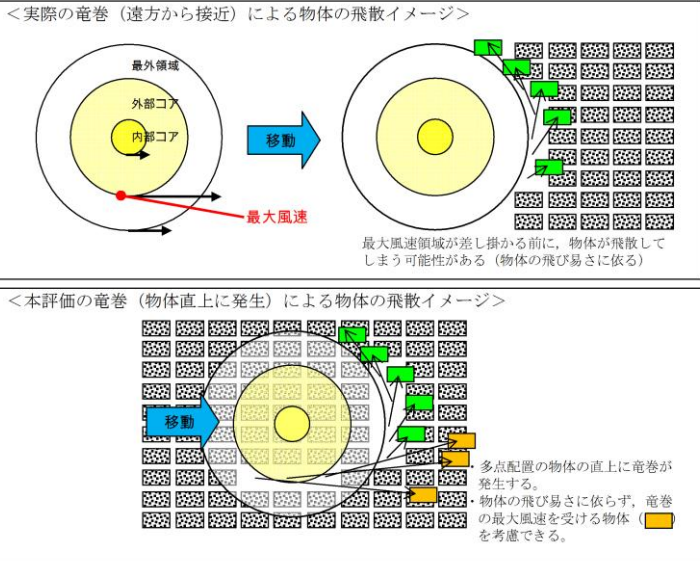
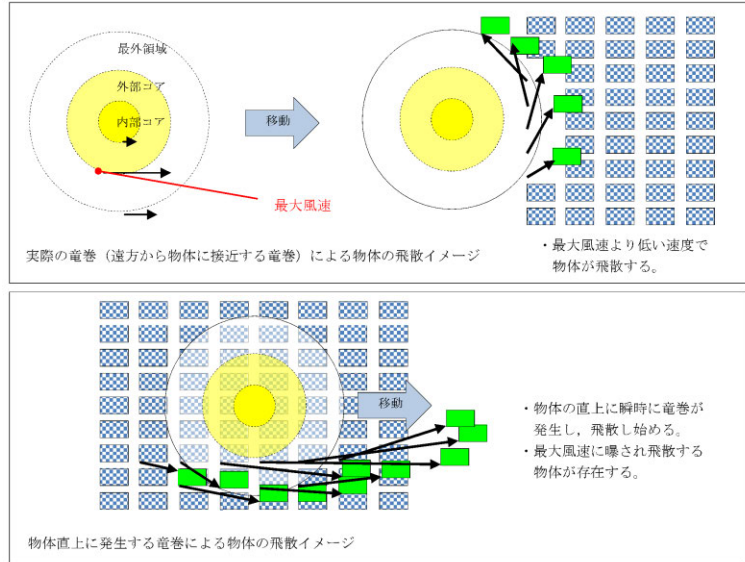


図23 1点配置時と多点配置時の最大飛来物速度の比較

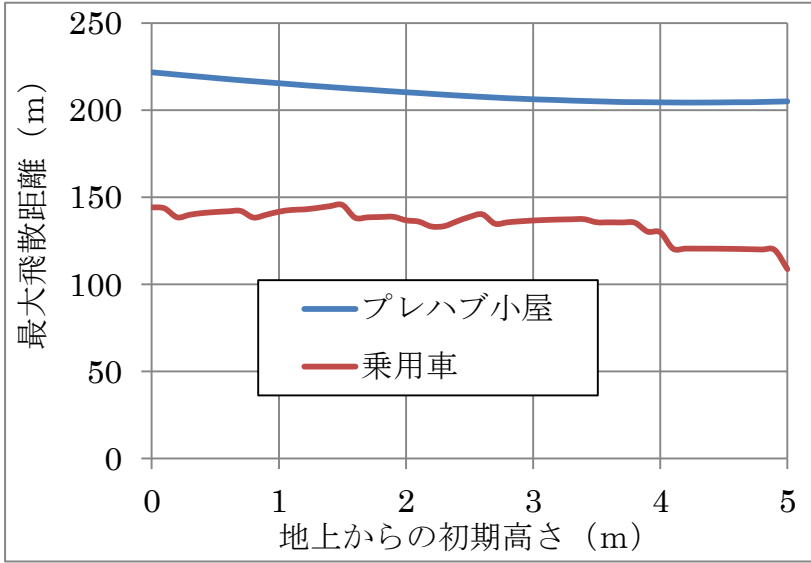
前頁の図22に示す物体の多点配置(竜巻半径の4倍の正方形領域に51×51個の物体を配置)を初期状態として適用したが、この手法は、物体の直上に竜巻を発生させており、竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となる。

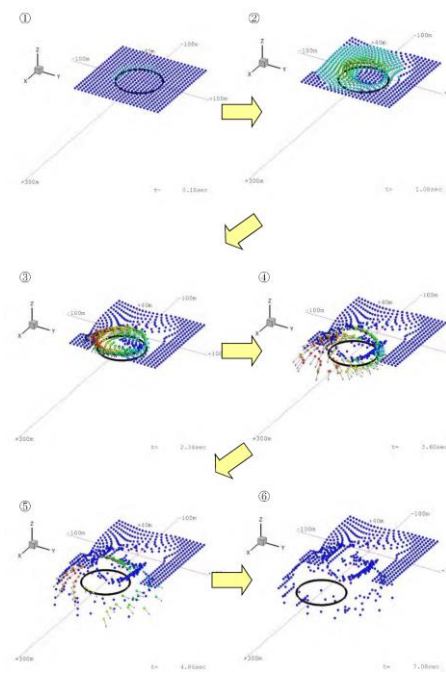
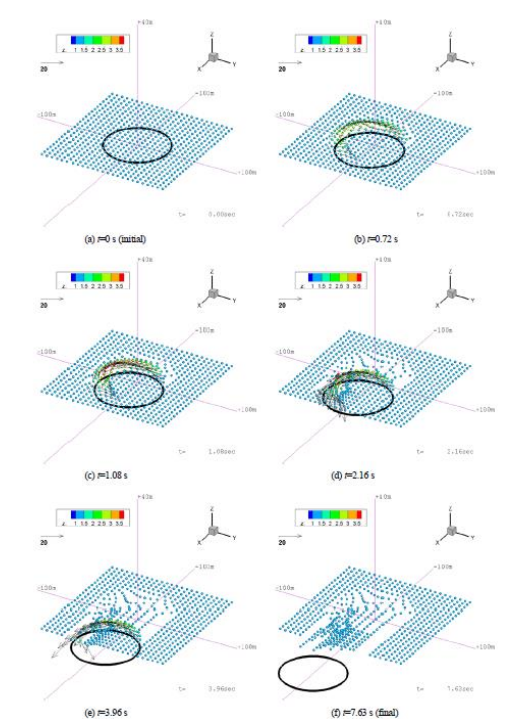
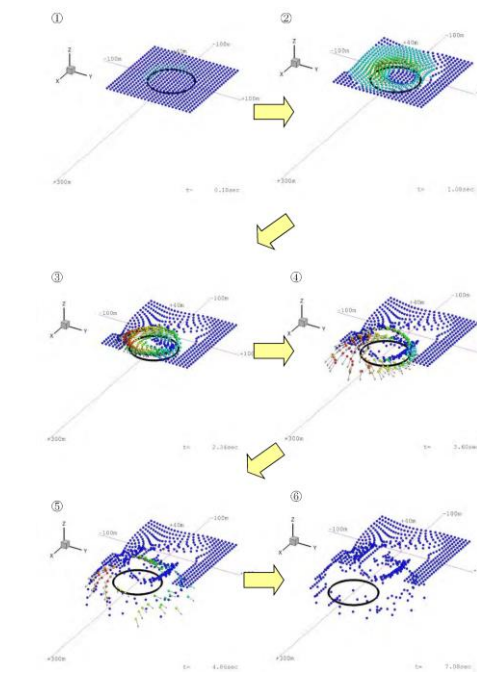
図24に遠方から物体に接近する竜巻と、物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇する状

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>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>実際の竜巻（遠方から物体に接近する竜巻）による物体の飛散イメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大風速より低い速度で物体が飛散する。 <p>物体直上に発生する竜巻による物体の飛散イメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物体の直上に瞬時に竜巻が発生し、飛散し始める。 ・最大風速に曝され飛散する物体が存在する。 	 <p><実際の竜巻（遠方から接近）による物体の飛散イメージ></p> <p>最大風速領域が差し掛かる前に、物体が飛散してしまう可能性がある（物体の飛び易さに依る）</p> <p><本評価の竜巻（物体直上に発生）による物体の飛散イメージ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・多点配置の物体の直上に竜巻が発生する。 ・物体の飛び易さに依らず、竜巻の最大風速を受ける物体（黄色）を考慮できる。 	 <p>実際の竜巻（遠方から物体に接近する竜巻）による物体の飛散イメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大風速より低い速度で物体が飛散する。 <p>物体直上に発生する竜巻による物体の飛散イメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物体の直上に瞬時に竜巻が発生し、飛散し始める。 ・最大風速に曝され飛散する物体が存在する。 	
<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実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実性を考慮することができると考えられる。</p>	

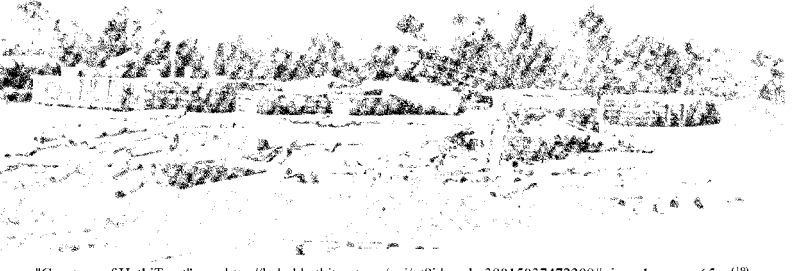

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																									
	<p>フジタモデルの風速場に関する不確実性として、フジタモデルの特徴的なパラメータである流入層高さH_iの影響を検証した。外部コア半径$R_m=30m$の場合モデルでは$H_i=15m$となり、これは2.1に記載のとおり他の文献⁽³⁾⁽⁵⁾ともおおむね整合しているが、不確実性を考慮し、流入層高さH_iを±10%変化させた場合にコンテナ(長さ6m×幅2.4m×高さ2.6m、質量2,300kg、$C_D A/m=0.0105$)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H_i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="961 787 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 H_i</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⁽⁶⁾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⁽⁶⁾</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^(xvii) (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 1241 908 1446"> <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, $C_D A/m=0.0066 \text{ m}^2/\text{kg}$)</p> <table border="1" data-bbox="184 1646 908 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⁽²⁴⁾</p> <table border="1" data-bbox="958 1222 1632 1491"> <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 ($C_D A/m=0.0052 \text{ m}^2/\text{kg}$) の飛散評価結果⁽²⁵⁾</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 1241 2493 1446"> <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, $C_D A/m=0.0066 \text{ m}^2/\text{kg}$)</p> <table border="1" data-bbox="1768 1646 2493 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⁽²⁴⁾。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" http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up:seq=65⁽¹⁹⁾</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 1291 905 1396"> <tr> <td>被害状況</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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.⁽²⁴⁾) </td> </tr> </table>	被害状況	<ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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. ⁽²⁴⁾)	<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⁽²⁵⁾。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(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。</p> <p>(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 viii)</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⁽²³⁾。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" http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up:seq=65⁽¹⁹⁾</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="1760 1291 2493 1396"> <tr> <td>被害状況</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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.⁽²⁴⁾) </td> </tr> </table>	被害状況	<ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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. ⁽²⁴⁾)	
被害状況	<ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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. ⁽²⁴⁾)						
被害状況	<ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せず転倒し、パイプが周辺 7m~9m に散乱。 (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. ⁽²⁴⁾)						

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

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 ³
	飛行定数 C _D A/m	0.0080 m ² /kg
初期配置	・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 _m , +2R _m]) に等間隔配置 ・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。)	

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。

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。

第6表 Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ ^{※2}	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 ^{※1}	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

※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。

6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例

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(25)。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

第6.2-1表 Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析条件⁽²⁵⁾

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 ³
	飛行定数 (C _D A/m)	0.0080 m ² /kg
初期配置	・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 _m , +2R _m]) に等間隔配置。 ・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)	

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。

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。

第6.2-2表 Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析結果⁽²⁵⁾

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ ^{※2}	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 ^{※1}	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s
	40 m	227 m		40.9 m/s

※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。

6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較

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^(xix)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

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

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 ³
	飛行定数 (C _D A/m)	0.0080 m ² /kg
初期配置	・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 _m , +2R _m]) に等間隔配置。 ・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)	

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。

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。

表6 Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果

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 ^{※2}	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 ^{※1}	42.6 m	0.34 m	30.7 m/s
	40 m	227 m		40.9 m/s

※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。

6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例

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⁽²⁴⁾。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

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⁽²⁷⁾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)⁽²⁴⁾ (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>	<p>・ 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 ・ 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(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⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾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⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾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⁽¹⁶⁾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⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾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>	

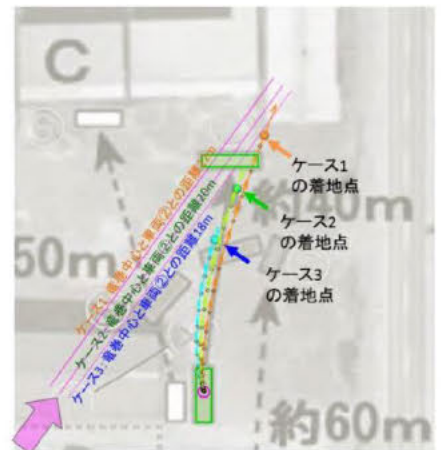
車両と竜巻中心との距離を 18 m, 20 m, 22 m とした場合の解析結果を第 8 表及び第 28 図に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、フジタモデルを風速場とした飛散解析で、飛来物が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できる。

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 ² /kg
初期配置	・物体個数 1 個 ・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 ・設置高さ 0 m		

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

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。

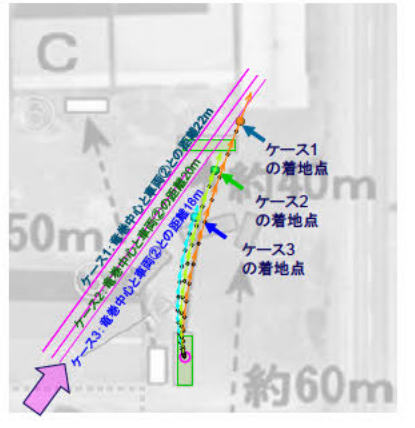
第 6.3-1 表 佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析条件^(2.5)

竜巻条件	竜巻の最大風速	92 m/s ^{※1}
	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 ^{※2}	8.1 m
	車両幅 ^{※2}	2.24 m
	車両高さ ^{※2}	2.5 m
	車両重量	4000 kg
	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0056 m ² /kg
初期配置等	・物体個数：1 台 ・設置高さ：0 m (地上) ・「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	

※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^(2.7)の写真に軌跡を加筆)

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 ² /kg
初期配置	・物体個数 1 個 ・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 ・地上からの初期高さ 0 m		

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

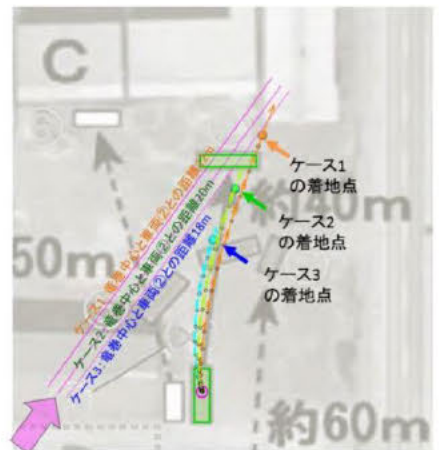
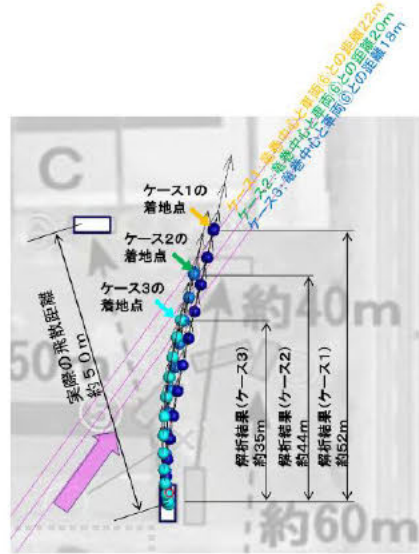
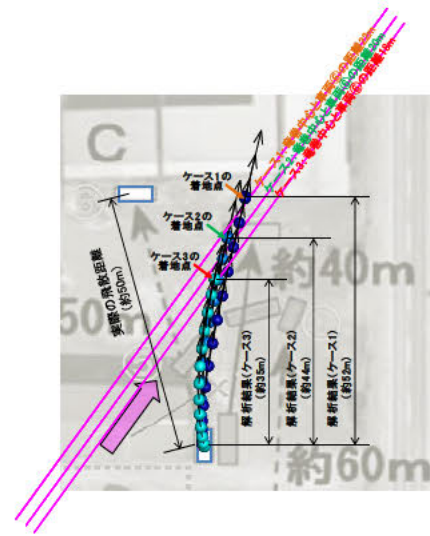


図 30 フジタモデルによるトラック飛散の再現解析結果

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 $C_D A/m$</td> <td>0.0097 m²/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置</td> <td colspan="3"> <ul style="list-style-type: none"> 物体個数1個 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 設置高さ0m </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 ² /kg	初期配置	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数1個 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 設置高さ0m 			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="961 535 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^{※2}</td> <td>4.4 m</td> </tr> <tr> <td>車両幅[※]</td> <td>1.7 m</td> </tr> <tr> <td>車両高さ[※]</td> <td>1.5 m</td> </tr> <tr> <td>飛行定数 ($C_D A/m$)</td> <td>0.0097 m²/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置等</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 設置高さ:0m(地上) 「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 </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="961 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 ^{※2}	4.4 m	車両幅 [※]	1.7 m	車両高さ [※]	1.5 m	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0097 m ² /kg	初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 設置高さ:0m(地上) 「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 		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="1745 560 2490 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^{※1}</td> <td>4.4 m</td> </tr> <tr> <td>幅^{※1}</td> <td>1.7 m</td> </tr> <tr> <td>高さ^{※1}</td> <td>1.5 m</td> </tr> <tr> <td>飛行定数 ($C_D A/m$)</td> <td>0.0097 m²/kg</td> </tr> <tr> <td>初期配置等</td> <td colspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 地上からの初期高さ:0m(地上) 「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 </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="1768 1551 2475 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 ^{※1}	4.4 m	幅 ^{※1}	1.7 m	高さ ^{※1}	1.5 m	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0097 m ² /kg	初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 地上からの初期高さ:0m(地上) 「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 		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 ² /kg																																																																																																																					
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数1個 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 設置高さ0m 																																																																																																																							
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 ^{※2}	4.4 m																																																																																																																						
	車両幅 [※]	1.7 m																																																																																																																						
	車両高さ [※]	1.5 m																																																																																																																						
	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0097 m ² /kg																																																																																																																						
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 設置高さ:0m(地上) 「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 																																																																																																																							
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 ^{※1}	4.4 m																																																																																																																						
	幅 ^{※1}	1.7 m																																																																																																																						
	高さ ^{※1}	1.5 m																																																																																																																						
	飛行定数 ($C_D A/m$)	0.0097 m ² /kg																																																																																																																						
初期配置等	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数:1台 地上からの初期高さ:0m(地上) 「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 																																																																																																																							
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^(2,3)
(別文献^(2,8)の写真に軌跡を加筆)

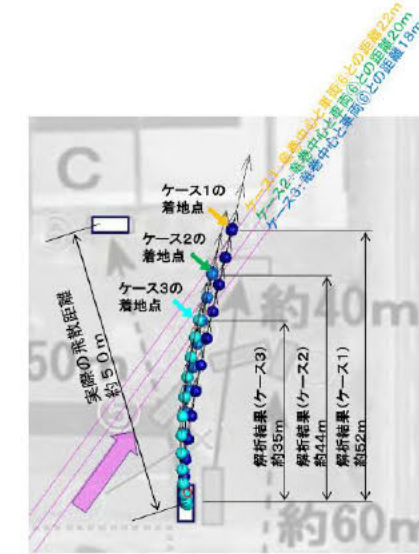


図31 フジタモデルによる白い乗用車飛散の再現解析結果

(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="1739 289 2499 533"> <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"> ・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。 ・地上からの初期高さ：0m (地上) </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="1739 709 2481 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りしていた乗員 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，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"> ・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。 ・地上からの初期高さ：0m (地上) 		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りしていた乗員 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，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"> ・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。 ・地上からの初期高さ：0m (地上) 																				
	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りしていた乗員 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，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
<p>(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⁽²⁷⁾</p> <p>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。</p> <p>(i) 4tトラックの飛散解析</p> <p>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92m/sとし、その他の特性量については、ガイドに</p>	<p>(2) 今回の飛散解析手法による検証</p> <p>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。</p> <p>a. 4tトラックの飛散解析</p> <p>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</p>	<div style="text-align: center;"> </div> <p>(a) 物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係） (b) 水平移動距離と水平速度の関係 (フジタモデル，地上)</p> <p>(a) 物体の軌跡（水平移動距離と飛散高さの関係） (b) 水平移動距離と水平速度の関係 (参考：ランキン渦モデル，地上40m)</p> <p>図32 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</p> <p>(b) 今回の飛散解析手法による検証⁽²⁶⁾</p> <p>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。</p> <p>(i) 4tトラックの飛散解析</p> <p>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92m/sとし、その他の特性量については、ガイドに例</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>例示されている方法に従い、移動速度 V_t を 14 m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 R_m 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="184 478 902 680"> <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"> 物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置 設置高さ 0m </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"> 物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置 設置高さ 0m 		<p>イドに例示されている方法に従い、移動速度 V_{tr} を 14m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 R_m 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="961 424 1662 680"> <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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 設置高さ：0 m (地上) </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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 設置高さ：0 m (地上) 		<p>示されている方法に従い、移動速度 V_t を 14 m/s (最大風速の 15%)、竜巻コア半径 R_m 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 432 2469 718"> <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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 地上からの初期高さ：0 m (地上) </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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 地上からの初期高さ：0 m (地上) 		
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"> 物体個数 51×51 個、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置 設置高さ 0m 																																															
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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 設置高さ：0 m (地上) 																																															
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"> 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 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置。 地上からの初期高さ：0 m (地上) 																																															

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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 ⁽²⁵⁾ 、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 ⁽²⁵⁾ 、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(25)(26)

(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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 ⁽²⁷⁾ 、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^{(xx)(xx i)}

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 ^{※2}	最大水平速度
フジタモデル (地上)	63.4 m	3.6 m	36.0 m/s (約130 km/hr)
ランキン渦モデル (地上 ^{※1})	193.7 m	11.7 m	43.9 m/s
ランキン渦モデル (40m)	254.9 m	11.7 m	43.9 m/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 ⁽²⁵⁾ 、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 ⁽²⁵⁾ 、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130 km/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⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

(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="189 359 908 541"> <thead> <tr> <th>風速場モデル</th> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ^{※2}</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^{※1})</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 ^{※2}	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 ^{※1})	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="985 359 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^{※2}</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^{※1})</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"> 飛散する物体における横滑りや転がりの影響 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響 <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 ^{※2}	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 ^{※1})	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="1774 359 2493 541"> <thead> <tr> <th>風速場モデル</th> <th>飛散距離</th> <th>飛散高さ^{※2}</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^{※1})</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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 ^{※2}	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 ^{※1})	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 (V_w) 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 (V_w) 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 (V_w) 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. (https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file)</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><参考文献></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 21 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. (http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf)</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. (https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1020-astd-2002/@images/file)</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. (https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf)</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) 江口讓, 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 讓, 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. (https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf)</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) 江口讓, 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 讓, 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. (https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf)</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) 江口讓, 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 讓, 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. (http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html 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. (http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html)</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. (http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saroma/saroma.html 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. (http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html)</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>			
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>		
図1 フジタモデル「DBT-77」と「DBT-78」のモデル図（文献(1)）			
<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 V_{rm}、外部コア半径 R_m 及び移動速度 V_T 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、$V_{rm}=85\text{m/s}$、$R_m=30\text{m}$、$V_T=15\text{m/s}$ 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 R_m を推定している。竜巻によって被害が生じる風速 V_0 とした場合、R_m を超えた範囲では、風速 $V=V_{rm} \cdot (R_m/r_0)$ と表せるため、V_0 と、被害幅 r_0、及び最大接線風速 V_{rm} が分かれば最大接線風速半径 R_m 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⁽⁴⁾p.163の仮定2より、F3あるいはF3に近いF2竜巻(最大風速 $V_m=70\text{m/s}$)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 $V=V_m R_m/r$ が成立するので、Vに被害をもたらす風速である17m/sを、rに被害幅(250m)に接する円の半径である125mを代入すると $R_m=30\text{m}$ を得る。</p> <p>一方、フジタモデルの水平風速 V 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 V 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> $V = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$ $= F_r(r)F_h(z)V_m\sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0}$ </p> <p> ここで, $F_r(r) = \frac{R_m}{r}$, $F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$ </p> <p> $\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$ </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 r に比例して風速が大きくなり, 外部コア半径の外側では r 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 V が最大となる流入層の上端 ($z=1$) では, $F_h(z)=1$, $\tan \alpha_0=0$ 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 $V=V_m R_m/r$ 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 H_i は, 外部コア半径 $R_m=30\text{m}$ の場合, $H_i=15\text{m}$ ($i=0.501$) 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 ($i=0.4$ 程度) や, Kosiba⁽⁵⁾により示されている流入層高さ ($H_i=10\sim 14\text{m}$ 以下) と概ね同じである。 </p> <div data-bbox="1774 1291 2457 1711" data-label="Figure"> <p style="text-align: center;"> 最大風速半径 (未知) 最大被害幅/2 (観測値) </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

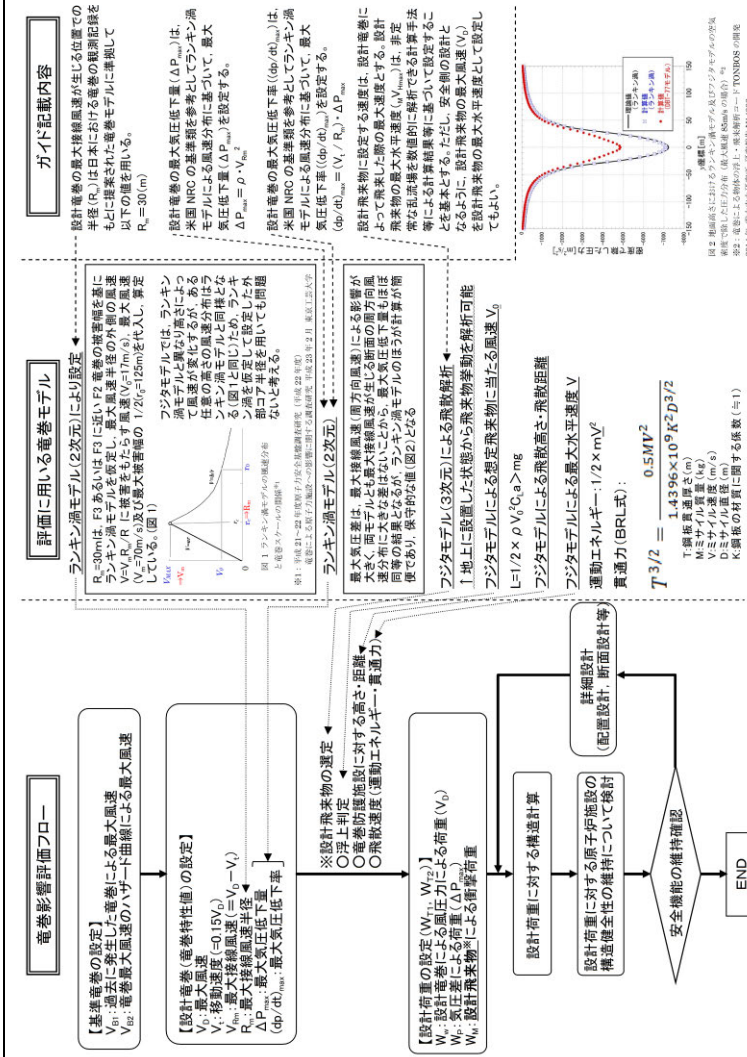


図1 竜巻影響評価と竜巻モデルの関係

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> W_{T1}, W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重 W_W : 設計竜巻の風圧力による荷重 W_P : 設計竜巻の気圧差による荷重 W_M : 設計飛来物による衝撃荷重 なお、複合荷重W_{T2}の算出は、W_W, W_P及びW_M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W_Pを用いることは、複合荷重としても保守側になる </p>		

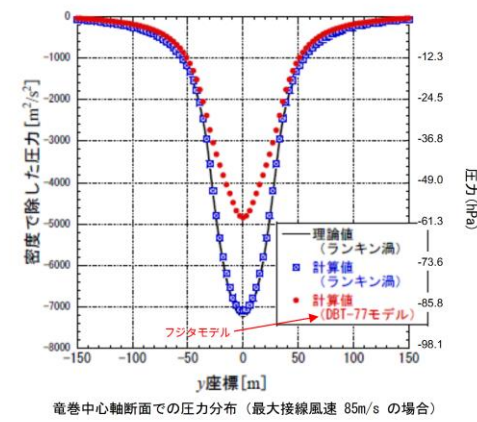
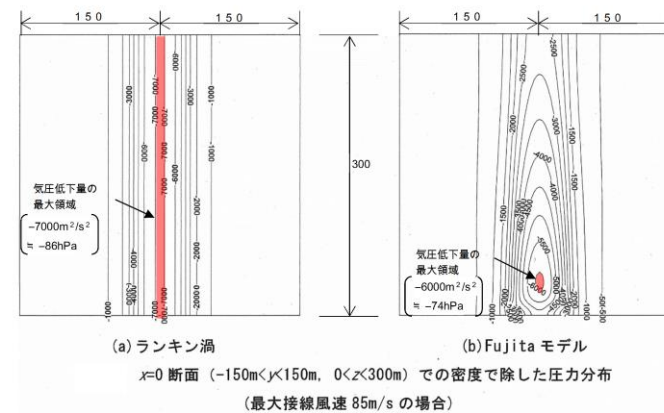
別表 2-1 東海第二発電所と先行審査プラントにおける竜巻風速場モデルの適用状況

設計荷重設定要素	荷重設定への適用			備考
	W _w	W _p	W _M	
竜巻の基礎特性 (注: 風速場モデルに無関係 : 風速場モデルの影響あり)				
最大接線風速 V _{Rm}	○ (○)	○	○	
竜巻の移動速度 V _T	○	○	○	
最大接線風速半径 R _m	○	○	○	
最大気圧低下量 ΔP _{max}	○	○	○	
最大気圧低下率 (dp/dt) _{max}	○	○	○	
設計飛来物の設定			○	竜巻風速場モデルの適用 (注: フジタモデル, 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】) 85m/s 15m/s 30m 89hPa ^{#1} 45hPa/s ^{#2}
飛来物断の飛散解析における初期高さ			○	竜巻影響評価ガイドに 例示の「鋼製材」 40m (各社の設定値)
内部コア/外部コア半径比 v			○	竜巻影響評価ガイドに 例示の「鋼製材」 0.3
流入層高さ H _i			○	竜巻影響評価ガイドに 例示の「鋼製材」 15m

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⁽¹⁾の図に一部加筆)

<参考文献>

- (1) 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

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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="744 268 911 331" style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">別添4-1</div> <p data-bbox="299 747 774 779" 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="373 884 694 915" style="text-align: center;">外部火災影響評価について</p>	<div data-bbox="1576 254 1709 285" style="text-align: right;">別添資料1</div> <p data-bbox="1234 747 1421 779" style="text-align: center;"><u>東海第二発電所</u></p> <p data-bbox="1169 884 1486 915" style="text-align: center;">外部火災影響評価について</p>	<div data-bbox="2356 268 2493 331" style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">別添4-1</div> <p data-bbox="1970 747 2264 779" style="text-align: center;"><u>島根原子力発電所2号炉</u></p> <p data-bbox="1961 884 2279 915" style="text-align: center;">外部火災影響評価について</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. 12 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: center;">第6条：外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)</p> <p style="text-align: center;">目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基本方針 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 基本事項 1.2 想定する外部火災 1.3 防護対象施設 2. 火災の影響評価 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 森林火災 2.2 近隣の産業施設の火災・爆発 2.3 航空機墜落による火災 2.4 二次的影響の評価 <p>添付資料</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 外部火災影響評価対象の考え方について 2. 森林火災による影響評価について 3. 石油コンビナート等の火災・爆発について 4. 燃料輸送車両の火災・爆発について 5. 漂流船舶の火災・爆発について 6. 敷地内における危険物タンクの火災について 7. 柏崎刈羽原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について 8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について 	<p style="text-align: center;">目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基本方針 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 基本事項 1 1.2 想定する外部火災 1 1.3 防護対象施設 3 2. 火災の影響評価 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 森林火災 4 2.2 近隣の産業施設の火災・爆発 19 2.3 航空機墜落による火災 36 2.4 二次的影響 45 <p>添付資料</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について 2. 森林火災による影響評価について 3. 石油コンビナート等の火災・爆発について 4. 燃料輸送車両の火災・爆発について 5. 漂流船舶の火災・爆発について 6. 敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について 7. 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について 8. ばい煙及び有毒ガスの影響について 	<p style="text-align: center;">目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基本方針 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 基本事項 1.2 想定する外部火災 1.3 防護対象施設 2. 火災の影響評価 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 森林火災 2.2 近隣の産業施設の火災・爆発 2.3 航空機墜落による火災 2.4 二次的影響の評価 <p>添付資料</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 外部火災影響評価対象の考え方について 2. 森林火災による影響評価について 3. 石油コンビナート等の火災・爆発について 4. 燃料輸送車両の火災・爆発について 5. 漂流船舶の火災・爆発について 6. 敷地内における危険物タンクの火災について 7. 島根原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について 8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について 	

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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料-1</p> <p style="text-align: center;">外部火災影響評価対象の考え方について</p>	<p style="text-align: right;">添付資料-1</p> <p style="text-align: center;"><u>外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について</u></p>	<p style="text-align: right;">添付資料-1</p> <p style="text-align: center;"><u>外部火災影響評価対象の考え方について</u></p>	

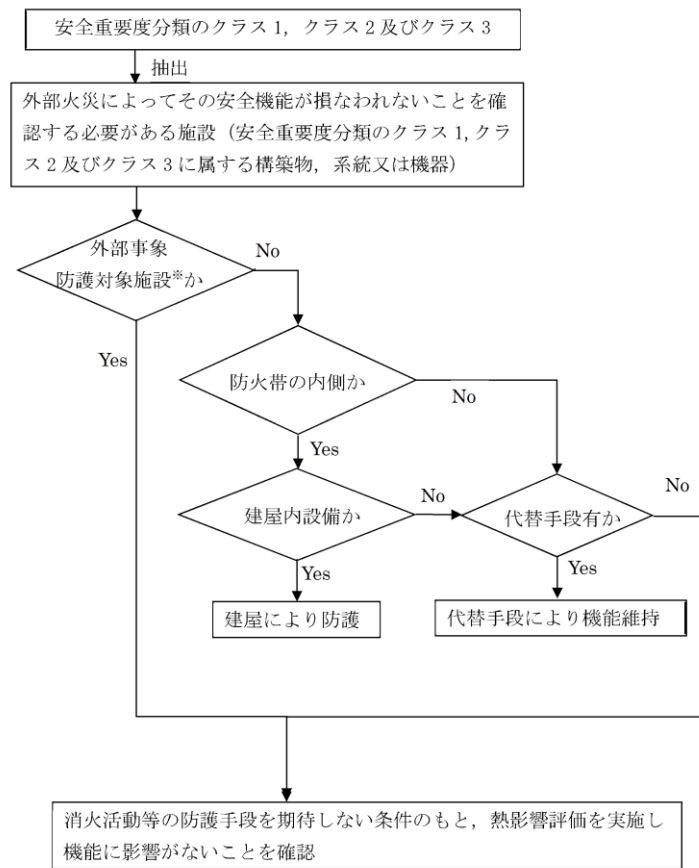
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1. 外部火災影響評価対象の考え方</p> <p>原子力規制委員会の定める「<u>実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則</u>（以下「<u>設置許可基準規則</u>」という。）」第6条及び「<u>実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則</u>（以下「<u>技術基準規則</u>」という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、<u>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。</u></p> <p>このため、「<u>原子力発電所の外部火災影響評価ガイド</u>（以下「<u>評価ガイド</u>」という。）」に基づき、<u>外部火災影響評価を行い、外部火災により、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。</u></p> <p>外部火災の影響を受けた場合、<u>発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」において安全機能を有する安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。</u>今回、<u>防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、対象施設周辺の消火活動等により影響を及ぼさないよう防護する。</u></p> <p>(1) 外部事象防護対象施設</p> <p>外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、<u>外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（<u>発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器</u>）に加え、それらを内包する建屋とする。</u></p>	<p>1. <u>外部火災に対する防護対象及び影響評価対象の考え方</u></p> <p>原子力規制委員会が定める「<u>実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則</u>」の<u>第六条</u>においては、<u>外部からの衝撃による損傷の防止として、安全機能を有する構築物、系統及び機器が、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって、人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。</u></p> <p><u>安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されている重要度分類（以下「安全重要度分類」という。）のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。</u></p> <p>1.1 <u>外部事象防護対象施設等の抽出</u></p> <p>外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、<u>外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（<u>発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物、系統及び機器</u>）とする。また、<u>外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。外部事象防護対象施設等の抽出フローを第1.1-1図に、抽</u></u></p>	<p>1. <u>外部火災影響評価対象の考え方</u></p> <p>原子力規制委員会の定める「<u>実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則</u>（以下「<u>設置許可基準規則</u>」という。）」第6条及び「<u>実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則</u>（以下「<u>技術基準規則</u>」という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、<u>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。</u></p> <p>このため、「<u>原子力発電所の外部火災影響評価ガイド</u>（以下「<u>評価ガイド</u>」という。）」に基づき、<u>外部火災影響評価を行い、外部火災により、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。</u></p> <p>外部火災の影響を受けた場合、<u>発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」において安全機能を有する安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。</u>今回、<u>防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、対象施設周辺の消火活動等により影響を及ぼさないよう防護する。</u></p> <p>(1) <u>外部事象防護対象施設</u></p> <p>外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、<u>外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（<u>原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器</u>）に加え、それらを内包する建物とする。</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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>その上で、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価、ばい煙等による影響評価を実施する。(第 4-2 表)</p> <p>(2) その他の安全施設</p> <p>その他の安全施設は、原則防火帯により防護し、<u>建屋内の設備は建屋による防護</u>、<u>屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する</u>。<u>屋外に設置してあり代替手段がない設備(主排気筒)については、個別に熱影響評価を実施する。</u>(第 4-3 表)</p> <p>なお、防火帯による防護ができない設備は、送電線、通信線、モニタリングポスト及び<u>気象観測装置</u>となるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する非常用ディーゼル発電機、無線連絡設備、<u>可搬型モニタリングポスト及び可搬型気象観測装置</u>により安全機能</p> <p>(3) 重大事故等対処設備</p> <p>設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避すべきであることから、原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。(第 4-4 表)</p> <p>防火帯による防護ができない設備として、モニタリングポスト、<u>気象観測装置</u>があるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する<u>可搬型モニタリングポスト、可搬型気象観測装置</u>により安全機能は維持される。</p> <p>なお、外部火災に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条(重大事故等対処設備)にて考慮する。</p>	<p><u>出結果を第1.1-1表に示す。</u></p>	<p><u>その上で、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価、ばい煙等による影響評価を実施する。</u>(第 4-2 表)</p> <p>(2) <u>その他の安全施設</u></p> <p>その他の安全施設は、原則防火帯により防護し、<u>建物内の設備は建物による防護</u>、<u>屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する。</u>(第 4-2 表)</p> <p>なお、防火帯による防護ができない設備は、送電線、通信線及び<u>モニタリング・ポスト</u>となるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する非常用ディーゼル発電機及び<u>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機</u>(以下「<u>非常用ディーゼル発電機</u>」という。)、<u>無線通信設備及び可搬式モニタリング・ポスト</u>により安全機能は維持される。</p> <p>(3) 重大事故等対処設備</p> <p>設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避すべきであることから、原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。(第 4-3 表)</p> <p>防火帯による防護ができない設備として、モニタリング・ポストがあるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する<u>可搬式モニタリング・ポスト</u>により安全機能は維持される。</p> <p>なお、外部火災に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条(重大事故等対処設備)にて考慮する。</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. 12 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2. 影響評価内容</p> <p>(1) 熱影響評価について</p> <p>外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、<u>建屋の外側</u>(コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁)の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー(第3-1図)に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する<u>建屋</u>により防護するとし、評価対象施設として抽出された<u>建屋側面のコンクリート壁</u>の温度評価を実施し、<u>建屋内の外部事象防護対象施設</u>に影響を及ぼさないことを確認する。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する。(第3-1表)</p> <p>(2) 二次的影響評価</p> <p>外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設については、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響評価として、非常用ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。</p> <p>選定フロー(第3-2図)に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。</p> <p>a. 屋外設備で外気を内部に取り込む設備(対象なし)</p> <p>b. 屋外設備で開口部のある設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機排気口 <p>c. 屋内設備で外気を直接取り込む設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>換気空調系(原子炉建屋, ディーゼル発電機電気品区域, 中央制御室, コントロール建屋計測制御電源盤区域, 海水熱交換器区域)</u> ・非常用ディーゼル発電機 <p>また、外部火災発生時のばい煙等による居住性評価の観点から、中央制御室の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施する。</p>		<p>2. 影響評価内容</p> <p>(1) 熱影響評価について</p> <p>外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、<u>建物の外側</u>(コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁)の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー(第3-1図)に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する<u>建物</u>により防護するとし、評価対象施設として抽出された<u>建物側面のコンクリート壁</u>の温度評価を実施し、<u>建物内の外部事象防護対象施設</u>に影響を及ぼさないことを確認する。また、<u>屋外の評価対象施設</u>については、各機器について熱影響評価を実施する。(第3-1表)</p> <p>(2) 二次的影響評価</p> <p>外部火災の二次的影響評価を受ける評価対象施設については、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響評価として、非常用ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。</p> <p>選定フロー図(第3-2図)に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。</p> <p>a. 屋外設備で外気を内部に取り込む設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・対象なし* <p>b. 屋外設備で開口部のある設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機排気口 <p>c. 屋内設備で外気を直接取り込む設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機 ・<u>換気空調設備(原子炉建物付属棟空調換気系, 中央制御室換気系)</u> <p>また、外部火災発生時のばい煙等による居住性評価の観点から、中央制御室の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施する。</p> <p>※：<u>原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、屋外に設置しているが、電動機内部に直接外気を取り込まない全閉外扇形構造の冷却方式であり、外気を直接電動機内部に取り込まない構造であることから評</u></p>	

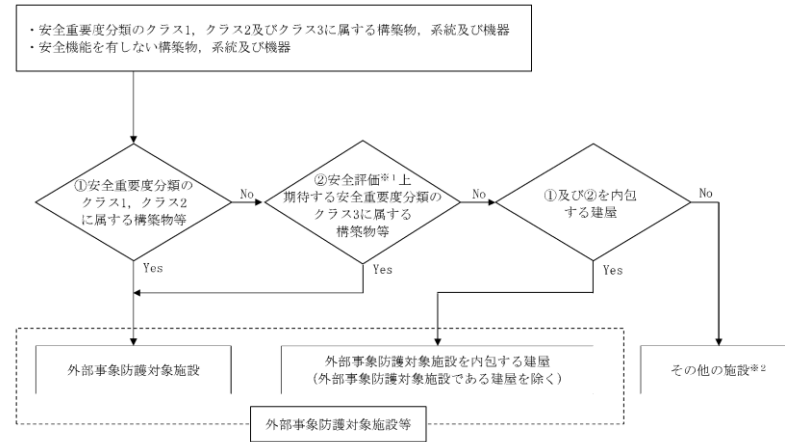
3. 重大事故等対処設備に対する考慮

第3-6 図の外部火災に対する重大事故等対処設備への評価フローに基づき、外部火災に対し、必要な安全機能を維持できることを確認する。



※：外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器又はそれを内包する建屋

第 3-1 図 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図

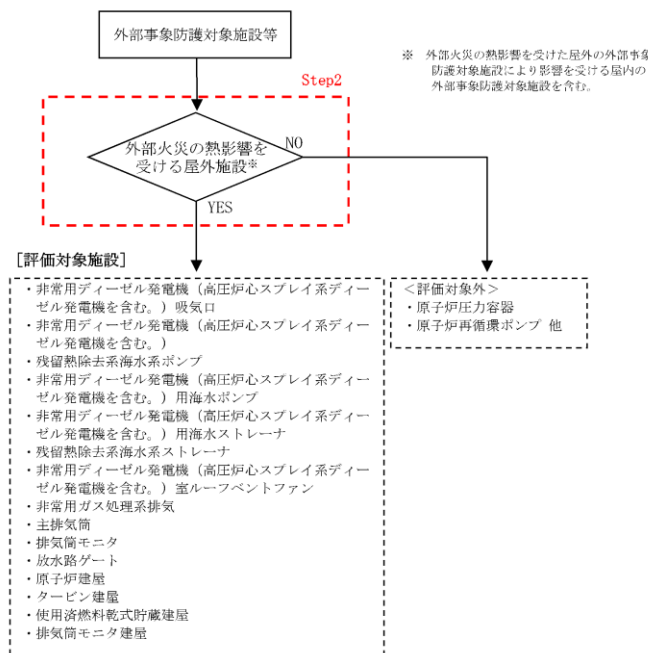


※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
 ※2 外部火災による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応が可能であることを確認する。

第1.1-1図 外部事象防護対象施設等の抽出フロー

1.2 評価対象施設の抽出

外部事象防護対象施設等のうち、屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし、外部火災の影響を受ける屋外施設を評価対象施設とする。評価対象施設の抽出フローを第1.2-1 図に、抽出結果を第1.1-1表に示す。

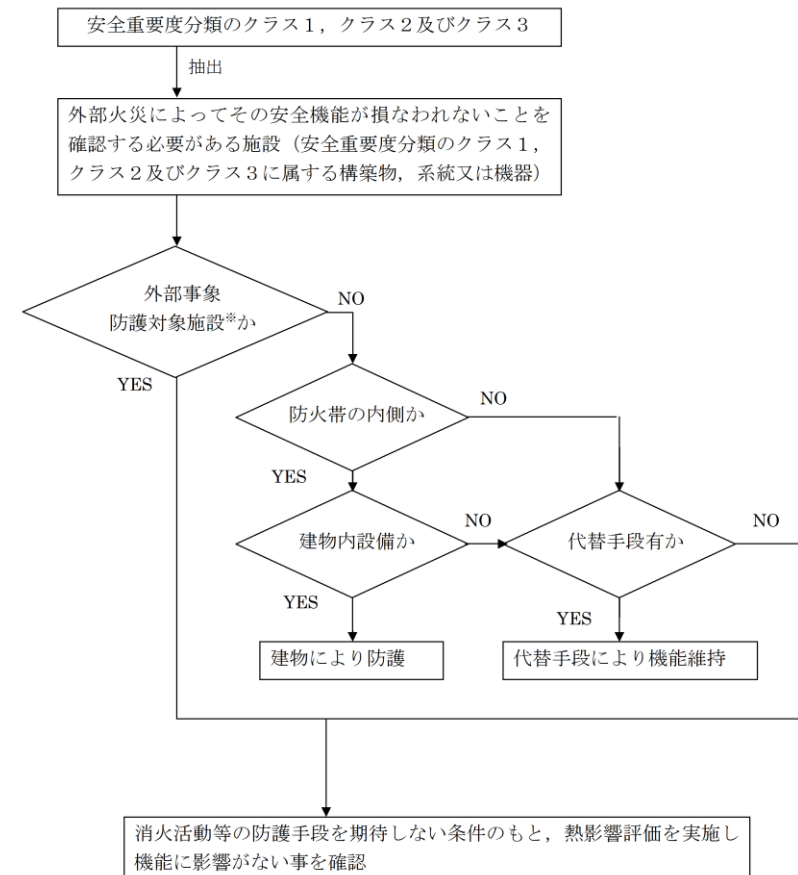


第1.2-1図 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー

価対象外。

3. 重大事故等対処設備に対する考慮

第3-4図の外部火災に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき、外部火災に対し、必要な安全機能を維持できることを確認した。



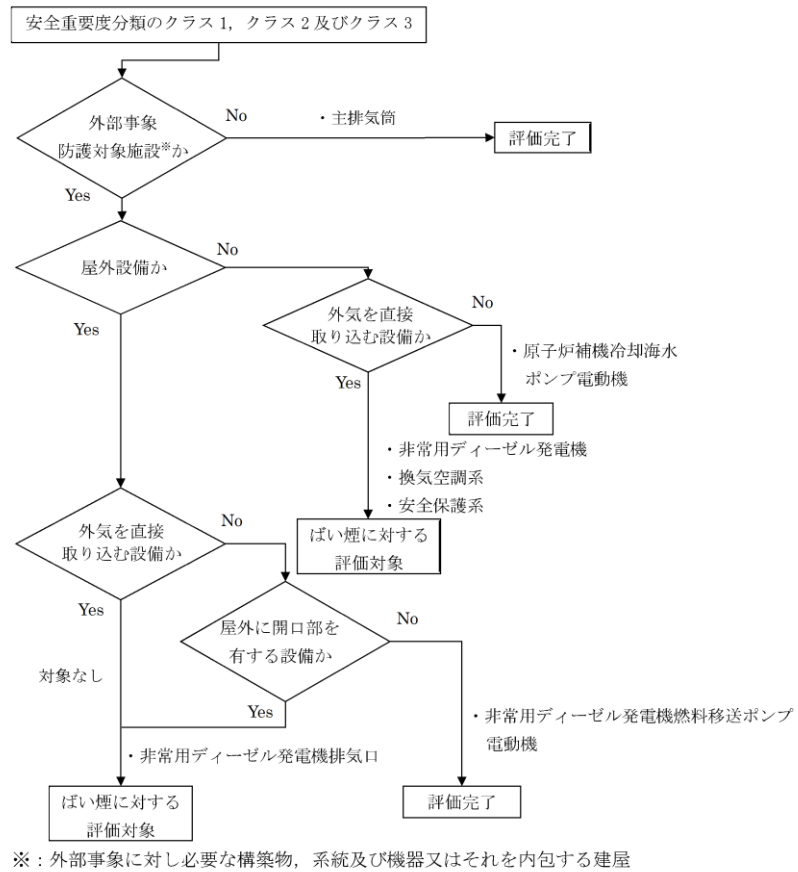
※：外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器又はそれを内包する建物

第 3-1 図 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図

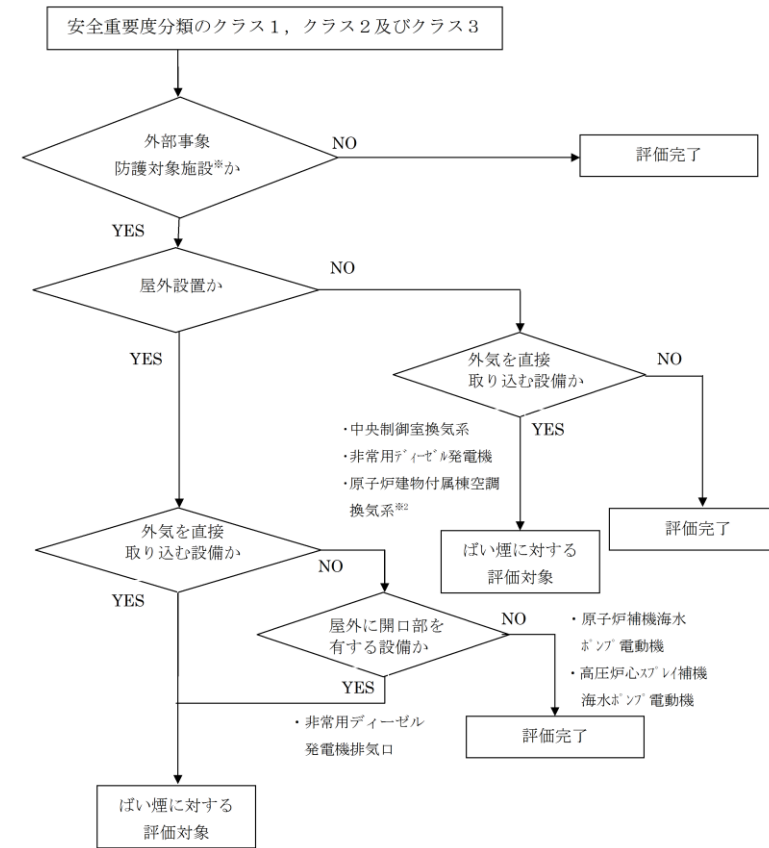
・記載方法の相違
 【東海第二】
 記載箇所の相違及び選定フローにより抽出された施設の相違

1.3 その他の施設

その他の施設は、原則として、防火帯により防護し、外部火災により損傷した場合であっても、代替手段があること等により、その安全機能を損なわない設計とする。



第 3-2 図 ばい煙に対する影響評価を実施する施設の選定フロー図



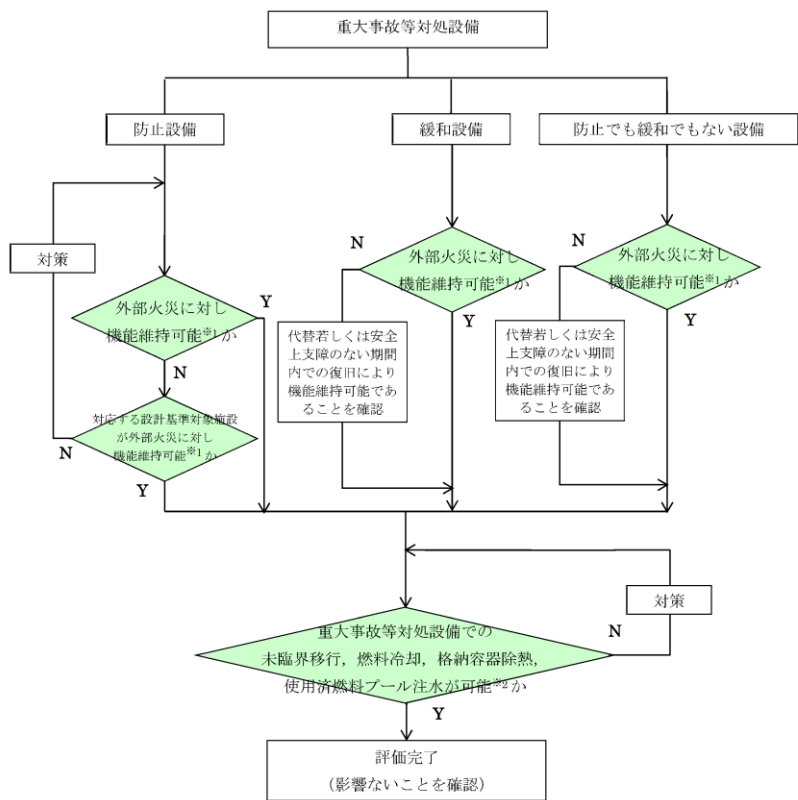
※1：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器又はそれを内包する建物
 ※2：原子炉建物付風機空調換気系はクラス1，2設備の間接関係のため，評価対象とする。

第 3-2 図 ばい煙等に対する防護対象施設選定フロー図

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. 12 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																								
<p align="center">第3-1表 防護対象及び防護方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>防護対象</th> <th>防護方法</th> <th>評価対象施設等^{※1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建屋 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設</td> <td>防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）</td> <td>原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋^{※2} 廃棄物処理建屋^{※3} 軽油タンク 燃料移送ポンプ</td> </tr> <tr> <td>その他の安全施設</td> <td>防火帯の内側に原則設置 屋内設備は、建屋による防護。 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。</td> <td>主排気筒^{※4} 固体廃棄物処理建屋 開閉所 モニタリングポストほか 電源車、消防車 格納容器圧力逃がし装置ほか</td> </tr> <tr> <td>重大事故等対処設備</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：破線内は評価対象施設である。 ※2：タービン建屋には原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系及び非常用電源の一部がある。原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系は、地下階に位置することから熱影響はない。非常用電源の一部は1階に位置することから、個別に熱影響評価を実施する（第3-3図）。ただし、タービン建屋は海側に設置していることから、直接輻射熱が届く火災は、構内危険物タンク火災及び航空機墜落による火災となることから、それらについて熱影響評価を実施する。 ※3：廃棄物処理建屋には復水貯蔵槽がある。復水貯蔵槽の配置は第3-4図に示すとおり、復水貯蔵槽は地下階から1階にかけて設置されているが、屋外から2枚以上の壁を隔てた位置に設置されていることから、復水貯蔵槽への外部火災の影響はないが、直接輻射熱が届く航空機墜落による火災について熱影響評価を実施する。 ※4：主排気筒は、防火帯の内側にあるが、屋外設置で代替手段がないことから、個別に熱影響評価を実施する。</p>	防護対象	防護方法	評価対象施設等 ^{※1}	外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建屋 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋 ^{※2} 廃棄物処理建屋 ^{※3} 軽油タンク 燃料移送ポンプ	その他の安全施設	防火帯の内側に原則設置 屋内設備は、建屋による防護。 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。	主排気筒 ^{※4} 固体廃棄物処理建屋 開閉所 モニタリングポストほか 電源車、消防車 格納容器圧力逃がし装置ほか	重大事故等対処設備				<p align="center">第3-1表 防護対象及び防護方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>防護対象</th> <th>防護方法</th> <th>評価対象施設等^{※1,2}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建物 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設</td> <td>防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）</td> <td>原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 海水ポンプ^{※3}</td> </tr> <tr> <td>その他の安全施設</td> <td>防火帯の内側に原則設置 屋内設備は建物による防護 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認</td> <td>固体廃棄物貯蔵所 開閉所 モニタリング・ポスト 他</td> </tr> <tr> <td>重大事故等対処設備</td> <td></td> <td>大型送水ポンプ車 格納容器フィルタベント 他</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：破線内は評価対象施設である。 ※2：非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク及び燃料移送ポンプは地下設置であり、輻射熱が直接届かないことから熱影響を受けない。 ※3：海水ポンプには、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機海水ポンプがあるが、代表して原子炉補機海水ポンプの熱影響評価を実施する。</p>	防護対象	防護方法	評価対象施設等 ^{※1,2}	外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建物 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 海水ポンプ ^{※3}	その他の安全施設	防火帯の内側に原則設置 屋内設備は建物による防護 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認	固体廃棄物貯蔵所 開閉所 モニタリング・ポスト 他	重大事故等対処設備		大型送水ポンプ車 格納容器フィルタベント 他	<p>・設備の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は、軽油タンク及び燃料移送ポンプは、地下構造のため影響評価対象外。 なお、島根2号炉は、海水ポンプは、屋外設置のため影響評価を実施</p>
防護対象	防護方法	評価対象施設等 ^{※1}																									
外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建屋 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋 ^{※2} 廃棄物処理建屋 ^{※3} 軽油タンク 燃料移送ポンプ																									
その他の安全施設	防火帯の内側に原則設置 屋内設備は、建屋による防護。 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。	主排気筒 ^{※4} 固体廃棄物処理建屋 開閉所 モニタリングポストほか 電源車、消防車 格納容器圧力逃がし装置ほか																									
重大事故等対処設備																											
防護対象	防護方法	評価対象施設等 ^{※1,2}																									
外部事象防護対象施設 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建物 外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 海水ポンプ ^{※3}																									
その他の安全施設	防火帯の内側に原則設置 屋内設備は建物による防護 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認	固体廃棄物貯蔵所 開閉所 モニタリング・ポスト 他																									
重大事故等対処設備		大型送水ポンプ車 格納容器フィルタベント 他																									

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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="172 262 902 762" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="308 793 759 823" data-label="Caption"> <p>第 3-3 図 6 号及び 7 号炉の建屋配置</p> </div> <div data-bbox="160 842 914 1444" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="278 1472 789 1501" data-label="Caption"> <p>第 3-4 図 廃棄物処理建屋復水貯蔵槽の位置</p> </div>		<div data-bbox="1733 247 2507 783" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1961 793 2279 823" data-label="Caption"> <p>第 3-3 図 発電所構内全体</p> </div>	

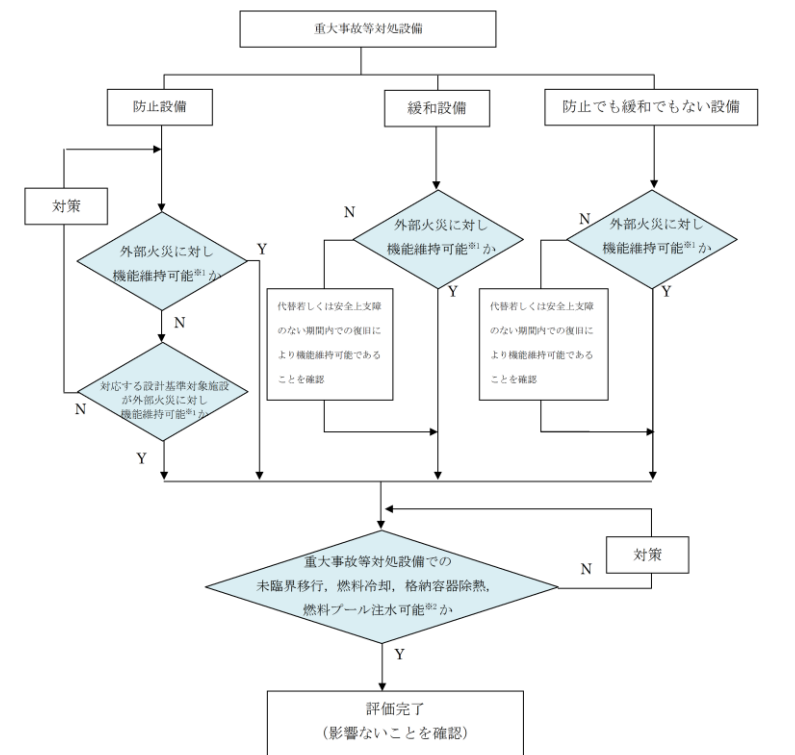
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="154 247 914 730" style="border: 2px solid black; height: 230px; width: 256px; margin-bottom: 10px;"></div> <p data-bbox="379 745 688 781" style="text-align: center;">第3-5図 発電所構内全体</p>			



※1: ばい煙を取り込まない、若しくは取り込んでも機能維持可能なことを確認している。
 ※2: 外部火災により重大事故等対処設備と設計基準対象施設が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

第3-6図 外部火災に対する重大事故等対処施設への評価フロー

4. 設備を防護する建屋の離隔距離
 外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備を内包する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。
 この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離（約 21m）以上あることから、外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備に対して、森林火災が熱影響をおよぼすことはないと評価できる（添付資料-2 3. 危険距離及び温度評価 参照）。
 なお、防火帯に最も近く森林火災時の外壁面の温度上昇が大きい固体廃棄物処理建屋（壁厚：0.4m）については内気の温度評価を実施する。



※1: ばい煙を取り込まない、若しくは取り込んでも機能維持可能なことを確認している。
 ※2: 外部火災により重大事故等対処設備と設計基準対象施設が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

第3-4図 外部火災に対する重大事故等対処施設への評価フロー

4. 設備を防護する建物の離隔距離
 外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備を内包する各建物について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。
 この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離以上あることから、外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備に対して、森林火災が熱影響を及ぼすことはないと評価できる。（添付資料-2 3. 危険距離及び温度評価 参照）
 なお、防火帯に近く森林火災時の外壁面の温度上昇が大きい固体廃棄物貯蔵所D棟（壁厚：0.5m）については内気の温度評価を実施する。

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. 12 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																										
<p style="text-align: center;">第4-1表 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離※</p> <table border="1" data-bbox="163 346 905 1050"> <thead> <tr> <th>設備を防護する建屋</th> <th>離隔距離※</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6号炉 原子炉建屋</td><td>約 439m</td></tr> <tr><td>7号炉 原子炉建屋</td><td>約 540m</td></tr> <tr><td>6号炉 タービン建屋</td><td>約 434m</td></tr> <tr><td>7号炉 タービン建屋</td><td>約 568m</td></tr> <tr><td>コントロール建屋</td><td>約 504m</td></tr> <tr><td>廃棄物処理建屋</td><td>約 532m</td></tr> <tr><td>補助ボイラ建屋</td><td>約 264m</td></tr> <tr><td>水処理建屋</td><td>約 195m</td></tr> <tr><td>給水建屋</td><td>約 401m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物貯蔵庫</td><td>約 147m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物処理建屋</td><td>約 105m</td></tr> <tr><td>5号炉 原子炉建屋</td><td>約 297m</td></tr> <tr><td>使用済燃料輸送容器保管建屋</td><td>約 650m</td></tr> <tr><td>焼却炉建屋</td><td>約 234m</td></tr> </tbody> </table> <p>※：防火帯外縁から建屋までの最短距離</p>	設備を防護する建屋	離隔距離※	6号炉 原子炉建屋	約 439m	7号炉 原子炉建屋	約 540m	6号炉 タービン建屋	約 434m	7号炉 タービン建屋	約 568m	コントロール建屋	約 504m	廃棄物処理建屋	約 532m	補助ボイラ建屋	約 264m	水処理建屋	約 195m	給水建屋	約 401m	固体廃棄物貯蔵庫	約 147m	固体廃棄物処理建屋	約 105m	5号炉 原子炉建屋	約 297m	使用済燃料輸送容器保管建屋	約 650m	焼却炉建屋	約 234m		<p style="text-align: center;">第4-1表 各建物の防火帯外縁からの離隔距離</p> <table border="1" data-bbox="1742 346 2493 955"> <thead> <tr> <th>設備を防護する建物</th> <th>離隔距離※</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>原子炉建物</td><td>約147m</td></tr> <tr><td>タービン建物</td><td>約186m</td></tr> <tr><td>制御室建物</td><td>約166m</td></tr> <tr><td>廃棄物処理建物</td><td>約129m</td></tr> <tr><td>海水ポンプエリア</td><td>約277m</td></tr> <tr><td>排気筒</td><td>約259m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物貯蔵所A棟</td><td>約71m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物貯蔵所B棟</td><td>約33m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物貯蔵所C棟</td><td>約68m</td></tr> <tr><td>固体廃棄物貯蔵所D棟</td><td>約24m</td></tr> <tr><td>サイトバンカ建物</td><td>約23m</td></tr> <tr><td>緊急時対策所</td><td>約90m</td></tr> <tr><td>ガスタービン発電機建物</td><td>約41m</td></tr> </tbody> </table> <p>※：防火帯外縁から建物までの最短距離</p>	設備を防護する建物	離隔距離※	原子炉建物	約147m	タービン建物	約186m	制御室建物	約166m	廃棄物処理建物	約129m	海水ポンプエリア	約277m	排気筒	約259m	固体廃棄物貯蔵所A棟	約71m	固体廃棄物貯蔵所B棟	約33m	固体廃棄物貯蔵所C棟	約68m	固体廃棄物貯蔵所D棟	約24m	サイトバンカ建物	約23m	緊急時対策所	約90m	ガスタービン発電機建物	約41m	
設備を防護する建屋	離隔距離※																																																												
6号炉 原子炉建屋	約 439m																																																												
7号炉 原子炉建屋	約 540m																																																												
6号炉 タービン建屋	約 434m																																																												
7号炉 タービン建屋	約 568m																																																												
コントロール建屋	約 504m																																																												
廃棄物処理建屋	約 532m																																																												
補助ボイラ建屋	約 264m																																																												
水処理建屋	約 195m																																																												
給水建屋	約 401m																																																												
固体廃棄物貯蔵庫	約 147m																																																												
固体廃棄物処理建屋	約 105m																																																												
5号炉 原子炉建屋	約 297m																																																												
使用済燃料輸送容器保管建屋	約 650m																																																												
焼却炉建屋	約 234m																																																												
設備を防護する建物	離隔距離※																																																												
原子炉建物	約147m																																																												
タービン建物	約186m																																																												
制御室建物	約166m																																																												
廃棄物処理建物	約129m																																																												
海水ポンプエリア	約277m																																																												
排気筒	約259m																																																												
固体廃棄物貯蔵所A棟	約71m																																																												
固体廃棄物貯蔵所B棟	約33m																																																												
固体廃棄物貯蔵所C棟	約68m																																																												
固体廃棄物貯蔵所D棟	約24m																																																												
サイトバンカ建物	約23m																																																												
緊急時対策所	約90m																																																												
ガスタービン発電機建物	約41m																																																												

第4-2表 外部事象防護対象施設 (1/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器※1	場所※2	影響評価
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	R/B	熱影響評価
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カプリング・制御棒駆動機構	R/B	熱影響評価
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物、燃料集合体	R/B	熱影響評価
	原子炉停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒、制御棒駆動系)	R/B	熱影響評価
MS-1	未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系)	R/B	熱影響評価
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての開機能)	R/B	熱影響評価
	原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、逃がし安全弁(手動逃がし機能)、自動減圧系(手動逃がし機能)、サブレーションプール)	R/B	熱影響評価
	炉心冷却機能	復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	熱影響評価
	放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	非常用炉心冷却系(残留熱除去系(低圧注水モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、自動減圧系(逃がし安全弁)、サブレーションプール) 復水補給水系(復水貯蔵槽) 原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管、主蒸気流量制限器、残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード) 原子炉建屋原子炉区域(ブローアウアトパネル付き)	R/B Rw/B R/B Rw/B R/B 屋外(建屋)	熱影響評価 熱影響評価 熱影響評価 熱影響評価 熱影響評価 熱影響評価

※1: 間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (1/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類			抽出結果
			①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構築物等	②安全評価し、必要となる成分のクラス3に属する構築物等	③及び④を包摂する建屋	
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能 2) 過剰反応度の印加防止機能 3) 炉心形状の維持機能	該当する 電気、機械装置のうち主な施設: ・原子炉圧力容器 ・原子炉再循環ポンプ ・配管、弁 ・隔離弁 ・制御棒駆動機構ハウジング ・中性子束計装置ハウジング ・制御棒カプリング ・制御棒駆動機構カプリング ・炉心シュラウド ・シュラウドサポート ・上部格子板 ・炉心支持板 ・燃料支持金具 ・燃料集体内管 ・制御棒案内管 ・燃料集合体の下部部分 〔上部タイプレート、下部タイプレート〕 ・燃料集合体(スベータ)	○	○	○ X X X X

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の機能を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過剰反応度及び設計異常事故解析
 ※3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (1/15)

重要度分類指針			島根原子力発電所2号炉		外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価				
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器								
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く。)	原子炉圧力容器 原子炉再循環系ポンプ 配管・弁 隔離弁 制御棒駆動機構ハウジング 中性子束計装置ハウジング	○ ○ ○ ○ ○ ○	R/B	熱影響評価				
			2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カプリング	制御棒カプリング 制御棒駆動機構カプリング			○ ○			
			3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管、燃料集体内管、燃料集合体(ただし、燃料を除く。))	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管 制御棒案内管 制御棒駆動機構ハウジング 燃料集合体(上部タイプレート、下部タイプレート、スベータ、チャンネルボックス)			○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○			
		1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))	制御棒 制御棒案内管 制御棒駆動機構 水圧制御ユニット(スクラムパイロット弁、スクラム弁、アキュムレータ、窒素容器、配管・弁)			○ ○ ○ ○	R/B	熱影響評価	
				2) 未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系)			制御棒 制御棒カプリング 制御棒駆動機構カプリング 制御棒駆動機構ハウジング 制御棒駆動機構 ほう酸水注入系(ほう酸水注入ポンプ、注入弁、タンク出口弁、ほう酸水貯蔵タンク、ポンプ吸込配管・弁、注入配管・弁)			○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
				3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての開機能)			逃がし安全弁(安全弁開機能)			○

※1 R/B: 原子炉建屋, C/B: 制御室建屋, T/B: タービン建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 4-2 表 外部事象防護対象施設 (2/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器※1		場所※2	影響評価
		安全保護系	安全保護系		
MS-1	工学的な安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 安全上特に重要な関連機能	非常用交流電源系 (発電機から非常用負荷までの配電設備及び電炉)	非常用交流電源系 (発電機から非常用負荷までの配電設備及び電炉)	R/B, C/B	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機 (屋内設備)	非常用ディーゼル発電機 (屋内設備)	R/B	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機 (屋外設備; 消音器)	非常用ディーゼル発電機 (屋外設備; 消音器)	C/B, T/B	熱影響評価
		軽油タンク	軽油タンク	屋外	ばい煙・有毒ガスによる影響評価
		非常用ディーゼル発電機燃料移送系 中央制御室及び遮蔽・中央制御室換気空調系	非常用ディーゼル発電機燃料移送系 中央制御室及び遮蔽・中央制御室換気空調系	屋外	熱影響評価
PS-2	原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	R/B	熱影響評価
		非常用直流電源系・計測制御用電源設備	非常用直流電源系・計測制御用電源設備	T/B, C/B	熱影響評価
		原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分)、主蒸気系 原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン	原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分)、主蒸気系 原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン	R/B, C/B	熱影響評価
		逃がし安全弁 (吹き止まり機能に關する部分)	逃がし安全弁 (吹き止まり機能に關する部分)	R/B	熱影響評価

※1: 間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (2/22)

分類	安全機能の重要度分類			抽出結果
	定義	機能	構築物、系統又は機器	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能 2) 未臨界維持機能	逃がす 電気、機械装置のうち主な施設※1	抽出結果 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設
		原子炉停止系の制御棒による系 (制御棒及び制御棒駆動系 (スクラム機能)) 原子炉停止系 (制御棒による系、ほうじん水注入系)	①安全重要度分類のクラス 1, 2 に属する構築物等 ②安全重要度分類のクラス 3 に属する構築物等 ③及び④を内包する建屋	○: Yes X: No - : 該当せず
		原子炉停止系 (制御棒による系、ほうじん水注入系) 3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	・制御棒 ・制御棒室内管 ・制御棒駆動機構 (スクラム機能) ・制御棒 ・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング ・ほうじん水注入系 (ほうじん水注入ポンプ、注水弁、タンク出口弁、ほうじん水貯蔵タンク、ポンプ吸込配管及び弁、注入配管及び弁) ・逃がし安全弁 (安全弁開閉機能)	○: Yes X: No - : 該当せず

※1: 電気、機械装置のうち主な施設の定義は、当該系の施設を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
 ※3: 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (2/15)

重要度分類	定義	機能	島根原子力発電所 2号炉		外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
			構築物、系統又は機器				
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統 (残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイス、逃がし安全弁 (手動逃がし機能)、自動減圧系 (手動逃がし機能))	残留熱除去系 (ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管・弁、熱交換器バイパス配管・弁) 原子炉隔離時冷却系 (サブプレッション・プール冷却モード) 原子炉隔離時冷却系 (ポンプ、サブプレッション・プールから注水先までの配管・弁、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールのストレーナ) タービンへの蒸気供給配管・弁 潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管 高圧炉心スプレイス系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイス先までの配管・弁、スプレイスバージャ、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールのストレーナ) 逃がし安全弁 (手動逃がし機能) 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管 逃がし安全弁アキュムレータ、逃がし安全弁アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁 自動減圧系 (手動逃がし機能) 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管 逃がし安全弁 自動減圧系アキュムレータ、自動減圧系アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁	○	R/B	熱影響評価
					○	R/B	熱影響評価
					○	R/B	熱影響評価
					○	R/B	熱影響評価
					○	R/B	熱影響評価
					○	R/B	熱影響評価

※1 R/B: 原子炉建屋, C/B: 制御室建屋, T/B: タービン建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第4-2表 外部事象防護対象施設 (3/3)

分類	機能	構築物、系統又は機器※1	場所※2	影響評価
MS-2	安全上特に重要な関連機能の間接関連系	非常用所内電源系空調	R/B C/B, T/B	熱影響評価
	使用済燃料プール水の補給機能	残留熱除去系 (使用済燃料プール水の補給), サブプレッションプール	R/B	熱影響評価
MS-2	放射性物質放出の防止機能	燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	R/B	熱影響評価
	事故時のプラント状態の把握機能	原子炉建屋原子炉区域 (ブローアウトパネル付き)	屋外 (建屋)	熱影響評価
MS-2	事故時室外からの安全停止機能	事故時監視計器の一部 (格納容器エアモニタ等)	C/B	熱影響評価
	制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	R/B	熱影響評価

※1: 間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (3/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類		抽出結果
			Step1	Step2	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パウンドラの過渡圧を防止し、敷地周辺公衆への過渡放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1) 原子炉停止後の除熱機能	該当する電気、機械空調のうち主な施設※1	①及び②を内包する建屋	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設
		構築物、系統又は機器	残留熱を除去する系 (ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードのループ、サブプレッション・プール、タービン、原子炉冷却材圧力パウンドラ、高圧冷却系、高圧冷却系 (手動運転がし機能)、自動減圧系 (手動運転がし機能))	○	×
		機能	残留熱を除去する系 (ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードのループ、サブプレッション・プール、タービン、原子炉冷却材圧力パウンドラ、高圧冷却系、高圧冷却系 (手動運転がし機能)、自動減圧系 (手動運転がし機能))	○	×
		安全機能の重要度分類	①安全重要度分類 1, 2 に属する構築物等	○	×
			②安全評価上、期待する安全重要度分類 3 に属する構築物等	○	×
			抽出結果	○	×

○: Yes X: No -: 該当せず

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (3/15)

重要度分類指針	島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所	影響評価
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器			
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パウンドラの過渡圧を防止し、敷地周辺公衆への過渡放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 (低圧炉心スプレイス系、低圧注水系、高圧炉心スプレイス系、自動減圧系)	○	R/B	熱影響評価
			残留熱除去系 (低圧注水モード) (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管・弁 (熱交換器バイパスライン含む)、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールストレータ)			
			高圧炉心スプレイス系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイス先までの配管・弁、スプレイスバージャ、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールストレータ)	○	R/B	熱影響評価
			低圧炉心スプレイス系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイス先までの配管・弁、スプレイスバージャ、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールストレータ)	○	R/B	熱影響評価
			自動減圧系 (逃がし安全弁)	○		
			原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管	○		
			自動減圧系アキュムレータ、自動減圧系アキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁	○	R/B	熱影響評価
			ジェットポンプ (事故時の炉心再冠水維持機能)	○		

※1 R/B: 原子炉建屋, C/B: 制御室建屋, T/B: タービン建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (4/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類		該当する電気、機械装置のうち主な施設※1	Step1		抽出結果	
			①安全重要度分類のクラス1、2に属する構造物等	②安全評価上、維持する安全重要度分類のクラス3に属する構造物等		①及び②を内包する建屋	Step2		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	3) 炉心冷却機	非常用炉心冷却系 (低圧炉心スプレイ系、低圧注水系、高圧炉心スプレイ系、自動減圧系)	○	低圧炉心スプレイ系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド) ・残留熱除去系 (低圧注水系・ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁 (熱交換器バイパスライン含む)、注水ヘッド) ・高圧炉心スプレイ系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド) ・自動減圧系 (遮がし安全弁)	○	○	○	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、前後関係及び関係図系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事象解析
 ※3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (4/15)

重要度分類指針			島根原子力発電所2号炉		外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価		
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器						
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器 (格納容器本体、貫通部 (ベネトレーション)、所員用エアロック、機器搬入ハッチ)	○	R/B	熱影響評価		
				原子炉格納容器	○				
				ベント管	○				
				スプレイ管	○				
				真空破断弁	○				
				逃がし安全弁排気管のクエンチャ	○				
				原子炉建物 (原子炉建物原子炉棟 (原子炉建物燃料取扱階ブローアウトパネルを含む。))	○			屋外	熱影響評価
				原子炉格納容器隔離弁及び格納容器パウンダリ配管	○			R/B	熱影響評価
				原子炉棟換気系隔離弁	○				
				主蒸気隔離弁アキュムレータ、主蒸気隔離弁アキュムレータから主蒸気隔離弁までの配管・弁	○				
				主蒸気流量制限器	○				
				残留熱除去系 (格納容器冷却モード) (ポンプ、熱交換器、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからスプレイ先 (ドライウエル及びサブプレッション・プール気相部) までの配管・弁、格納容器スプレイ・ヘッド (ドライウエル及びサブプレッション・プール)、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールのストレーナ)	○				
非常用ガス処理系 (排気ファン、フィルタ装置、原子炉建物原子炉棟吸込口からタービン建物壁面までの配管・弁、乾燥装置 (乾燥機能部分))	○	R/B	熱影響評価						
非常用ガス処理系 (タービン建物壁面から排気筒頂部までの配管)	○	屋外	熱影響評価						
排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)	○	R/B	熱影響評価						
可燃性ガス濃度制御系 (再結合装置、格納容器から再結合装置までの配管・弁、再結合装置から格納容器までの配管・弁)	○								
残留熱除去系 (再結合装置への冷却水供給を司る部分)	○								
遮蔽設備 (原子炉遮蔽、一次遮蔽、二次遮蔽)	○								

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (5/22)

Table with columns: 分類, 定義, 機能, 構造物, 系統又は機器, 抽出結果. Includes a legend for Step1 and Step2 results (O: Yes, X: No, -:該当せず).

※1 電圧、機械的強度のうち主な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、当該関連系及び関係設備の記載は省略した。
※2 運転時の異常な過熱変化及び設計基準等取扱い
※3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (5/15)

Table with columns: 重要度分類指針, 分類, 定義, 機能, 構築物, 系統又は機器, 外部事象防護対象施設, 設置場所, 影響評価. Includes a legend for facility types (R/B, C/B, T/B, etc.).

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (7/22)

分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	安全機能の重要度分類				抽出結果	
				該当する電気、機械装置のうち主要な施設*	①安全重要度のクラス1、2に属する構造物等	②安全評価停止#1の安全重要度のクラス3に属する構造物等	①及び②を内包する建屋		Step2
MS-1	安全上必要な他の構造物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動伝身の発生機能 2) 安全上特に重要な関連機能	安全保護系 非常用炉内電源系 制御室及びその連へい、非常用換気装置系、非常用補機冷却系、非常用電源系 (いずれも、MS-1関連のもの)	○	○	○	○	○	○

○: Yes, X: No, -: 該当せず

*1 電気、機械装置のうち主要な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、直接関連系及び関連連系の記載は省略した。
*2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準外事故等
*3 外部事象防護対象施設として抽出しない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (7/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所 2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所 ①	影響評価
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器				
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	主蒸気系、原子炉冷却材浄化系 (いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ)	主蒸気系 (格納容器隔離弁の外側)	○	R/B T/B	熱影響評価
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射線廃棄物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの)、使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)	原子炉浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分) 原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで)	○	○	R/B
2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能 (吹き止り機能に関連する部分)	逃がし安全弁 (吹き止り機能に関連する部分)	燃料プールの新燃料貯蔵ラックを防止する機能 (新燃料貯蔵ラック)	燃料取替機	○	Rw/B	熱影響評価
			燃料貯蔵ラックを防止する機能 (新燃料貯蔵ラック)	原子炉ウエル	○	R/B	熱影響評価
			燃料貯蔵ラックを防止する機能 (新燃料貯蔵ラック)	原子炉建物天井クレーン	○	R/B	熱影響評価
			逃がし安全弁 (吹き止り機能に関連する部分)		○	R/B	熱影響評価

*1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (8/22)

分類	定義	機能	構造物、系統又は機器	安全機能の重要度分類			抽出結果
				該当する電気、機械装置のうち主要な施設※1	①安全重要度のクラス1, 2に属する構造物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構造物等	
MS-1	安全上必要なその他の構造物、系統及び機器	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその連係、非常用換気空調系、非常用補給機冷却水系、直流電源系(いずれも、MS-1関連のもの)	○	○	○	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設
			非常用所内電源系(ディーゼル機関、発電機、発電機から非常用具荷までの配電設備及び電路) ・中央制御室及び中央制御室連係 ・中央制御室換気空調系(放射線防護機能及び有毒ガス防護機能) (非常用所内換気送風機、非常用所内換気ファン、送風機、排風機、ダクト及びダクトバ)	○	○	○	外部火災の影響を受けうる屋外施設 (原子炉建屋に内包) (原子炉建屋で評価) (原子炉建屋で評価) (原子炉建屋で評価)

※1 空気、機械装置のうち主要な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、直交関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事象解析
 ※3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (8/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器				
MS-2	1) PS-2の構造物、系統及び機器の損傷又は故障により、敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようとする構造物、系統及び機器	1) 燃料プールの補給機能 2) 放射性物質放出の防止機能	非常用補給水系 放射線気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能以外)	残留熱除去系(ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから燃料プールまでの配管・弁、ポンプミニマムフローライン配管・弁、サブプレッション・プールストレータ) 排ガス処理系隔離弁 排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分) 燃料プール冷却系の燃料プール入口逆止弁	○	R/B	熱影響評価
			燃料集合体落下事故時放射線放出を低減する系	原子炉建物(原子炉建物原子炉棟(原子炉建物燃料取扱階ブローアウトパネルを含む。)) 非常用ガス処理系(排気ファン、フィルタ装置、原子炉建物原子炉棟吸込口からタービン建物壁面までの配管・弁、乾燥装置(乾燥機能部分)) 非常用ガス処理系(タービン建物壁面から排気筒頂部までの配管) 排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能)	○	屋外	熱影響評価

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (9/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
分類	定義	機能	構造物、系統又は機器				
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構造物、系統及び機器	1) 事故時のプラント状態の把握機能 2) 異常状態の緩和機能 3) 制御室外からの安全停止機能	事故時監視計器の一部 BWRは対象外 制御室外原子炉停止装置(安全停止に関連するもの)	中性子束、原子炉スクラム用電磁接触器の状態又は制御棒位置 原子炉水位(広帯域、燃料域)、原子炉圧力 原子炉格納容器圧力、格納容器エリア放射線量率、サブプレッション・プール水温 「低温停止への移行」 原子炉圧力、原子炉水位(広帯域) 「ドライウエルスブレイ」 原子炉水位(広帯域、燃料域)、格納容器圧力 「サブプレッション・プール冷却」 原子炉水位(広帯域、燃料域)、サブプレッション・プール水温 「可燃性ガス濃度制御系起動」 原子炉格納容器水素濃度、原子炉格納容器酸素濃度	○	R/B C/B Rw/B	熱影響評価
					○	—	—
					○	R/B	熱影響評価

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (9/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類	該当する電気・機械装置のうち主な施設*	Step1			抽出結果	
					①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構造物等	②安全評価上重要度分類のクラス3に属する構造物等	③及び④を内包する関連施設		
M/S-1	安全上必要なその他の構造物、系統及び機器	安全上特に重要な関連機能	安全機能の重要度分類	該当する電気・機械装置のうち主な施設* ・残留熱除去系海水系 (ポンプ、熱交換器、配管、弁、ストレートナ) ・ダイゼン発電機海水系 (ポンプ、配管、弁、ストレートナ) ・配電系統 (蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び送電 (M/S-1関連)) ・計測・計装制御電源系 (蓄電池から非常用計装制御電源までの配電設備及び送電 (M/S-1関連)) その他 放水塔ゲート	○	○	○	○	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設 ・残留熱除去系海水系ポンプ ・残留熱除去系海水系ストレートナ (その他は原子炉建屋で評価) ・非常用ダイゼン発電機 (高圧心スプレイ系ダイゼン発電機を含む。) 用海水ポンプ ・非常用ダイゼン発電機 (高圧心スプレイ系ダイゼン発電機を含む。) 用海水ストレートナ (その他は原子炉建屋で評価)
					○	○	○	○	放水塔ゲート

*1 蓄電池、機械装置のうち主な施設の配置は、当該系の施設を代表して記載し、単に関連施設及び関係関連施設の記載は省略した。
*2 運転時の重要な機軸変化及び設備異常事故解析
*3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (10/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所 2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所 ^{※1}	影響評価		
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器						
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2 以外のもの)	計装配管、試料採取管	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される小口径配管・弁	計装配管・弁 試料採取系配管・弁 ドレン配管・弁 ベント配管・弁	× × × ×	屋内	防火帯による防護建物による防護	
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	原子炉再循環系ポンプ配管・弁 ライザ管 (炉内) ジェットポンプ	× × ×	屋内			防火帯による防護建物による防護
		3) 放射性物質の貯蔵機能	サブプレッジョン・プール水排水系、復水貯蔵タンク、放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの)	復水貯蔵タンク 液体廃棄物処理系 (タンク) 固体廃棄物処理系 (タンク、固体廃棄物貯蔵所 (ドラム缶))	× × ×				

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第4-3表 その他の安全施設 (1/5)

分類	機能	構造物、系統又は機器※1		場所※4	防護
		非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)		
MS-1	放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)	R/B 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※2 防火帯による防護 熱影響評価※3
	原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射線物質を貯蔵する機能	遮蔽設備 (原子炉遮蔽壁、一時遮蔽壁)	遮蔽設備 (二次遮蔽壁)	R/B 屋外 (建屋)	防火帯による防護 建屋による防護 熱影響評価※3
PS-2	燃料を安全に取り扱う機能	使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)、新燃料貯蔵庫 (臨界を防止する機能)	気体廃棄物処理系 (活性炭式希ガスホルドアップ装置)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	放射性物質放出の防止機能	燃料交換機、原子炉建屋クレーン、原子炉ウエル	放射性気体廃棄物処理系 (OG系) 隔離弁	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
MS-2	放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分)	非常用ガス処理系	屋外	防火帯による防護 熱影響評価※3
		非常用ガス処理系		R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2

※1: 間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの距離を第4-1表に記載

※3: 代替手段が無く建屋による防護も期待できないため熱影響評価を実施

※4: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (10/22)

○: Yes X: No -: 該当せず

分類	安全機能の重要度分類			抽出結果	
	機能	構築物、系統又は機器	該当する電圧、機械装置のうち主な施設※1		
PS-2	1) その施設又は設備により発生する事象によって、炉心の重大な破損を引き起こすおそれがないが、事故外への過渡の放射線物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分) ※主蒸気室	○及び内包する建屋	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射線物質を貯蔵する機能	放射性気体廃棄物処理系 (放射線インベントリの人員も、ドアップ装置)	原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外圍閉鎖下風からタービン止まりまで)	○
MS-2	放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能	原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能 (放射線インベントリの人員も、ドアップ装置)	○	X (原子炉建屋)
		原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能	原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能 (放射線インベントリの人員も、ドアップ装置)	○	X (原子炉建屋)
		原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能	原子炉冷却材貯蔵プールの放射線遮蔽機能 (放射線インベントリの人員も、ドアップ装置)	○	X (原子炉建屋)

※1: 電圧、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、系統間の接続及び閉鎖状態の記載は省略した。

※2: 漏洩時の異常な過熱劣化及び設計基準事象発生時

※3: 外部事象防護対象施設として抽出しているため、本項目には該当しない (Step2へ)

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (11/15)

重要度分類	定義	機能	島根原子力発電所2号炉		外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
			構築物、系統又は機器				
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機及びその励磁装置	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				軸密封装置	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	発電機水素ガス冷却装置	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				固定子冷却装置	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	励磁電源系	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				蒸気タービン (主タービン、主要弁、配管)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	主蒸気系 (主蒸気/駆動源)	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				タービン制御系	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	タービングランド蒸気系	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				タービン潤滑油系 (配管・弁等)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	抽気系 (配管・弁等)	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				タービンヒータベント系 (配管・弁)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	タービンヒータドレン系 (配管・弁)	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				補助蒸気系	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	復水系 (復水器、復水ポンプ、配管・弁)	X	屋外	防火帯による防護
				抽出空気系 (配管・弁)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	給水系 (電源駆動給水ポンプ、タービン駆動給水ポンプ、給水加熱器、配管・弁)	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				循環水系 (循環水ポンプ、配管・弁)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	取水設備 (屋外トレンチ含む)	X	屋外	防火帯による防護
				常用所内電源系 (発電機又は外部電源から所内負荷までの配電設備及び電路 (MS-1関連以外))	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	直流電源系 (蓄電池、蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路 (MS-1関連以外))、充電器	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				計制御電源系 (電源装置から常用計制御装置までの配電設備及び電路 (MS-1関連以外))	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	送電線	X	屋外	防火帯による防護
				変圧器 (所内変圧器、起動変圧器、予備変圧器、電路)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	油劣化防止装置	X	屋外	防火帯による防護
				変圧器 冷却装置	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	開閉所 (母線、遮断器、断路器、電路)	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザを含む。)	X		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系 (復水器を含む。)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	原子炉核計装の一部	X	屋内	防火帯による防護建物による防護
				原子炉プラントプロセス計装の一部	X		

※1 R/B: 原子炉建物, C/B: 制御室建物, T/B: タービン建物, Rw/B: 廃棄物処理建物
屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第4-3表 その他の安全施設 (2/5)

分類	機能	構造物、系統又は機器※1	場所※3	防護	
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2以外のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管、弁	R/B	防火帯による防護※2	
	原子炉冷却材の循環機能	冷却材再循環系	R/B	防火帯による防護	
	放射性物質の貯蔵機能	圧力制御室プール水排水系 (圧力制御室プール水サージタンク)	屋外	屋外	建屋による防護※2
		復水貯蔵槽、液体廃棄物処理系、固体廃棄物処理系	Rw/B	Rw/B	遮蔽壁による防護
	電源供給機能 (非常用を除く)	固体廃棄物貯蔵庫	屋外 (建屋)	屋外 (建屋)	防火帯による防護
		固体廃棄物処理建屋	屋外 (建屋)	屋外 (建屋)	建屋による防護※2
		焼却炉建屋	屋外 (建屋)	屋外 (建屋)	建屋による防護※2
		新燃料貯蔵庫、新燃料貯蔵ラック	R/B	R/B	建屋による防護※2
	電源供給機能 (非常用を除く)	使用済燃料輸送容器保管建屋	屋外 (建屋)	屋外 (建屋)	防火帯による防護
		タービン、発電機及び励磁装置、復水系 (復水器を含む)、給水系、循環水系	T/B	T/B	建屋による防護※2
送電線		屋外	屋外	建屋による防護※2	
変圧器、開閉所	屋外	屋外	建屋による防護※2		

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関するのみ記載)

※2：各建屋の防火帯外縁からの距離距離を第4-1表に記載

※3：R/B：原子炉建屋、C/B：コントロール建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋、T/B：タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (11/22)

分類	定義	安全機能の重要度分類			抽出結果
		機能	構築物、系統又は機器	Step1	
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の低燃を直ちに引き起こすおそれはないが、放熱外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていない放射性物質を貯蔵する機能	該当する電気、機械装置のうち主な施設等	①安全重要度分類1, 2に属する構築物等	外部火災の影響を受けうる屋外施設
	3) 燃料を安全に取り扱う機能	放射線遮蔽物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの)、使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。)	・使用済燃料乾式貯蔵容器	○	× (使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包)
	1) 安全弁及び過沸防止の吹き止まり機能	燃料交換機、原子炉建屋クレーン	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	○	× (原子炉建屋に内包)
	2) 通常運転時及び過渡時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであり、炉心の故障に起因する可能性の高い構築物、系統及び機器	過沸し安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	・過沸し安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	○	× (使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包)

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 過沸時の異常な過渡変化及び設計基準事象解析
 ※3 外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (12/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所	影響評価
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器				
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ、計装用圧縮空気系	所内ボイラ設備 (所内ボイラ、給水タンク、給水ポンプ、配管・弁)	×	屋外	防火帯による防護
				油系統 (重油サービスタンク、重油ポンプ、配管・弁)	×	屋外	防火帯による防護
				所内蒸気系 (配管・弁)	×	屋内 屋外	防火帯による防護
				計装用空気系 (空気圧縮機、配管・弁、中間冷却器、後部冷却器、気水分離器、空気貯槽)	×	屋内	防火帯による防護
				原子炉補機冷却系 (MS-1 関連以外) (配管・弁)	×	屋内	防火帯による防護
				タービン補機冷却系 (ポンプ、熱交換器、配管・弁、サージタンク)	×	屋内	防火帯による防護
				タービン補機海水系 (ポンプ、配管・弁、ストレーナ)	×	屋外	防火帯による防護
				復水輸送系 (ポンプ、配管・弁)	×	屋内	防火帯による防護
				復水貯蔵タンク	×	屋外	防火帯による防護

※1 R/B：原子炉建屋、C/B：制御室建屋、T/B：タービン建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋
 屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

第4-3表 その他の安全施設 (3/5)

分類	機能	構築物、系統又は機器※1	場所※3	防護
PS-3	プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	原子炉制御系(制御棒価値ミニマイザ含む)、原子炉核計装の一部、原子炉プラントプロセス計装	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	プラント運転補助機能	所内ボイラ設備	補助ボイラ建屋	防火帯による防護 建屋による防護※2
		所内蒸気系及び戻り系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		計装用圧縮空気系	T/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		原子炉補機冷却水系(MS-1) 関連以外(配管/弁)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		タービン補機冷却水系・タービン補機冷却海水系	T/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		燃料被覆管	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		核分裂生成物の原子炉冷却材中の放射防止機能	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		原子炉冷却材の浄化機能	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		復水浄化系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3：R/B：原子炉建屋、C/B：コントロール建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋、T/B：タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (12/22)

分類	定義	安全施設の重要度分類		抽出結果
		Step1 ①安全重要度分類のクラス1、2に属する構築物等	Step2 ②及び③を内包する建物	
MS-2	1) PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により緊急停止に与える放射線の影響を十分小さくする構築物、系統及び機器	①安全重要度分類のクラス1、2に属する構築物等	②及び③を内包する建物	外部事故の影響を受ける屋外施設 外部事故の影響を受ける屋外施設 のうら評価対象施設 X (原子炉建屋で評価) X (タービン建屋で評価) X (タービン建屋で評価)
MS-3	2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	①安全重要度分類のクラス1、2に属する構築物等	②及び③を内包する建物	外部事故の影響を受ける屋外施設 外部事故の影響を受ける屋外施設 のうら評価対象施設 X (原子炉建屋で評価) X (タービン建屋で評価) X (タービン建屋で評価)

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の重要度を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計異常事故
 ※3 外部事故防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (13/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器				
PS-3	2) 原子炉冷却材中放射物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放射防止機能 2) 原子炉冷却材の浄化機能	燃料被覆管 原子炉冷却材浄化系、復水浄化系	燃料被覆管、上/下部端栓、タイロッド 原子炉浄化系(再生熱交換器、非再生熱交換器、ポンプ、ろ過塩装置、配管・弁) 復水浄化系(復水の過装置、復水脱塩装置、配管・弁)	X X	屋内	防火帯による防護 建物による防護
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1、MS-2とあわせて、事故を緩和する構築物、系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁(逃がし弁機能)、タービンバイパス弁	逃がし安全弁(逃がし弁機能) タービンバイパス弁 原子炉圧力容器から逃がし安全弁までの主蒸気配管 逃がし安全弁アクキュムレータ、逃がし安全弁アクキュムレータから逃がし安全弁までの配管・弁 原子炉圧力容器からタービンバイパス弁までの主蒸気配管 タービンバイパス弁アクキュムレータ、タービンバイパス弁アクキュムレータからタービンバイパス弁までの配管・弁	O X	屋内	熱影響評価 防火帯による防護 建物による防護
		2) 出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系(再循環ポンプトリップ機能)、制御棒引抜監視装置	原子炉再循環系(再循環ポンプトリップ機能) 制御棒引抜監視装置	O O	屋内	熱影響評価

※1 R/B：原子炉建屋、C/B：制御室建屋、T/B：タービン建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋
 屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

第4-2表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (14/15)

重要度分類指針		島根原子力発電所2号炉			外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器				
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1、MS-2とあわせて、事故を緩和する構築物、系統及び機器	3) 原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系(ポンプ、復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管・弁、ポンプサクションフィルタ、ポンプミニマムフローライン配管・弁) 復水貯蔵タンク 原子炉隔離時冷却系(ポンプ、タービン、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管・弁、ポンプミニマムフローライン配管・弁) タービンへの蒸気供給配管・弁 潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管	X X X X	屋外(ダクト) 屋外 屋内	防火帯による防護 建物による防護 防火帯による防護 建物による防護

※1 R/B：原子炉建屋、C/B：制御室建屋、T/B：タービン建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋
 屋内：R/B、C/B、T/B、Rw/B内、屋外：R/B、C/B、T/B、Rw/B外

第 4-3 表 その他の安全施設 (4/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※3	防護
MS-3	原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	出力上昇の抑制機能	タービンバイパス弁	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	原子炉冷却材の補給機能	冷却材再循環系流量制御系 (ポンプトリップ機能), 制御棒引抜監視装置	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	制御棒駆動水圧系, 原子炉炉隔離時冷却系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		冷却材再循環ポンプ MG セット	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2

※1: 間接関係は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの距離距離を第 4-1 表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (13/22)

○: Yes X: No - :該当せず

分類	定義	安全機能の重要度分類				抽出結果		
		機能	構築物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス 1, 2 に属する構築物等			
MS-2	2) 異常状態への対応上重要な構築物, 系統及び機器	1) 事故時のプラント状態の把握機能 2) 異常状態の緩和機能 3) 制御室外からの安全停止機能	事故時監視計器の一部 一部	当該する電気, 機械装置のうち主な施設※1 紙組停止への移行 ・原子炉水位 (広帯域) ・ドライウェルズブレイ ・原子炉水位 (広帯域, 燃料床) ・原子炉格納容器圧力 ・サブプレッシャ・プールの理 ・原子炉水位 (広帯域, 燃料床) ・サブプレッシャ・プールの理 ・原子炉格納容器水位 ・原子炉格納容器水位 ・原子炉格納容器水位	○	①安全評価上 ②及び③を内包する建屋	抽出結果	
					○	-	X	X (原子炉建屋で評価)

※1 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系の機能を代表して記載し, 直前直後系及び関係設備の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な状態変化及び設計異常事故診断
 ※3 外部事象防護対象施設として抽出していない。(Step2へ)

第 4-2 表 外部事象防護対象施設及びその他の安全施設 (15/15)

重要度分類	定義	機能	島根原子力発電所 2号炉	外部事象防護対象施設	設置場所※1	影響評価	
MS-3	2) 異常状態への対応上必要な構築物, 系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所, 試料採取系, 通信連絡設備, 放射線監視設備, 事故時監視計器の一部, 消火系, 安全避難通路, 非常用照明	緊急時対策所 (緊急時対策所, 情報収集設備, 通信連絡設備, 資料及び器材, 遮蔽設備) 試料採取系 (異常時に必要な以下の機能を有するもの。原子炉冷却材放射性物質濃度サンプリング分析, 格納容器雰囲気放射性物質濃度サンプリング分析)	X	屋外	防火帯による防護 建物による防護
					X	屋内	防火帯による防護 建物による防護
				通信連絡設備 (1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	X	屋内 屋外	防火帯による防護 建物による防護
				排気筒モニタ	○	屋外	熱影響評価
				放射線監視設備 (排気筒モニタ以外)	X	屋外	防火帯による防護
				事故時監視計器の一部	X	屋内 屋外	防火帯による防護 建物による防護
				消火系 水消火設備 (補助消火水槽, サイトバンカ建物消火タンク, 44m 盤消火タンク, 45m 盤消火タンク, 50m 盤消火タンク, ポンプ, 配管・弁等) 泡消火設備	X	屋内 屋外	防火帯による防護 建物による防護
				固定式ガス消火設備	X	屋内	防火帯による防護 建物による防護
				火災検出装置 (受信機含む) 防火扉, 防火ダンパ, 耐火壁, 隔壁 (消火設備の機能を維持・担保するために必要なもの) 安全避難通路 安全避難用扉 非常用照明	X X X X X	屋内	防火帯による防護 建物による防護

※1 R/B: 原子炉建屋, C/B: 制御室建屋, T/B: タービン建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋
 屋内: R/B, C/B, T/B, Rw/B内, 屋外: R/B, C/B, T/B, Rw/B外

第4-3表 その他の安全施設 (5/5)

分類	機能	構築物、系統又は機器※1	場所※3	防護	
MS-3	緊急時対策上重要な及び異常状態の把握機能	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※2 代替緊急時対策所により機能維持	
			R/B	防火帯による防護、建屋による防護※2	
		試験採取系	有線系	各建屋 (地下設備含む)	防火帯による防護、 分散配置された代替設備により機能維持
				送電線塔	
		通信設備	有線系	各建屋 (地下設備含む)	防火帯による防護、建屋による防護※2 屋外設備は防火帯による防護とともに代替設備及び復旧(PIS基地局)により機能維持
				屋外設備	
		放射線監視設備	モニタリングポスト	屋外	防火帯による防護はできないが、可搬型モニタリングポストで機能維持可能
				放射能観測車	
		事故時監視計器の一部	可搬型SA設備保管場所 (可搬型重大事故対処設備保管場所)	R/B, T/B, C/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2 熱影響評価
				気象観測装置	
津波監視カメラ	消火系	7号炉 R/B 主排気塔	—		
		給水建屋 水処理建屋	防火帯による防護 建屋による防護※2		
消火系	消火系	ろ過水タンク (屋外配管含む)	防火帯による防護		
		泡消火設備	防火帯による防護 消防車により機能維持可能		
安全避難通路、非常用照明	安全避難通路、非常用照明	各建屋内	防火帯による防護、建屋による防護※2		

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3：R/B：原子炉建屋，C/B：コントロール建屋，Rw/B：廃棄物処理建屋，T/B：タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (14/22)

分類	定義	機能	安全構築物の重要度分類		抽出結果		
			Step1	Step2			
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであってPS-1, PS-2以外のもの。 2) 原子炉冷却材の循環機能。 3) 放射性物質の貯蔵機能	1) 原子炉冷却材保持機能 (P-S-1, PS-2以外のもの)。 2) 原子炉冷却材の循環機能。 3) 放射性物質の貯蔵機能	構築物、系統又は機器	該当する電気、機械装置のうち主要施設*	① 安全重要度分類のクラス1, 2に属する構築物等	抽出結果	
					計画配管、試料採取管	外部火災の影響を受け得る屋外施設	外部火災の影響を受け得る屋外施設
					原子炉再循環ポンプ、配管、弁、ライザー管 (炉内)、ジェネラター	①及び②を内包する建屋	—
					サブプレッション・チェンバール水貯水系、低圧貯蔵タンク、放射能廃棄物処理施設 (放射能インベントリ的小さいもの)	—	—
					液体廃棄物処理系 (低圧貯蔵タンク、電機圧力調整装置)	—	—
					固体廃棄物処理系 (C/W貯蔵庫、断熱貯蔵タンク、使用済燃料貯蔵タンク、固体廃棄物貯蔵庫 (ドラム缶))	—	—
					給水加圧器保管庫	—	—
					—	—	—
					—	—	—
					—	—	—

※1：電気、機械装置のうち主要施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。

※2：運転時の異常な過熱変化及び停止基準事故解除

第4-3表 重大事故等対処設備 (1/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第37条 重大事故等の拡大防止等	—	—	—	—	
第38条 重大事故等対処施設の地盤	—	—	—	—	
第39条 地震による損傷の防止	—	—	—	—	
第40条 津波による損傷の防止	—	—	—	—	
第41条 火災による損傷の防止	—	—	—	—	
第42条 特定重大事故等対処設備	特定重大事故等対処施設	—申請対象外	—	—	
第43条 重大事故等対処設備	アクセスルート確保	ホイールロード	(防止でも緩和でもない設備)	可搬型設備 保管場所 (屋外)	
第44条 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	代替制御棒挿入機能による制御棒緊急挿入	A TWS緩和設備 (代替制御棒挿入機能)	防止設備	R/B	
		制御棒駆動機構 制御棒駆動水圧系 水圧制御ユニット 制御棒駆動水圧系 配管・弁 [流路]	防止設備	R/B	
	原子炉再循環ポンプ停止による原子炉出力抑制	A TWS緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)	防止設備	C/B R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	ほう酸水注入	ほう酸水注入ポンプ ほう酸水貯蔵タンク ほう酸水注入系 配管・弁 [流路]	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		差圧検出・ほう酸水注入系 配管 (原子炉压力容器内部) [流路]	—	—	—
	出力急上昇の防止	原子炉压力容器 [注入先] 自動減圧起動阻止 スイッチ 代替自動減圧起動阻止 スイッチ	→その他の設備に記載	→46条に記載	—

※1：各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (2/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第45条 原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	高圧原子炉代替注水ポンプによる原子炉の冷却	高圧原子炉代替注水ポンプ 高圧原子炉代替注水系 (蒸気系) 配管・弁 [流路] 主蒸気系 配管 [流路]	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		原子炉隔離時冷却系 (蒸気系) 配管・弁 [流路] 高圧原子炉代替注水系 (注水系) 配管・弁 [流路] 残熱除去系 配管・弁・ストレーナ [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		原子炉浄化系 配管 [流路] 給水系 配管・弁・スパーージャ [流路]	—56条に記載	—	—
		サブプレッション・チェンバール [水源]	→その他の設備に記載	—	—
		原子炉压力容器 [注水先]	→その他の設備に記載	—	—
		原子炉隔離時冷却系 (蒸気系) 配管・弁 [流路] 主蒸気系 配管 [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		原子炉隔離時冷却系 (注水系) 配管・弁・ストレーナ [流路] 原子炉浄化系 配管 [流路] 給水系 配管・弁・スパーージャ [流路]	—56条に記載 (うち、防止設備)	—	—
		サブプレッション・チェンバール [水源]	→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—	—
		原子炉压力容器 [注水先]	→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—	—

※1：各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1.3	影響評価及び防護
第37条 (重大事故等の防止等)	—	—	—	—
第38条 (重大事故等対処施設の設置)	—	—	—	—
第39条 (地震による損傷の防止)	—	—	—	—
第40条 (津波による損傷の防止)	—	—	—	—
第41条 (水災による損傷の防止)	—	—	—	—
第42条 (特定重大事故等対処施設)	特定重大事故等対処施設	→申請範囲外	—	—
第43条 (重大事故等対処設備)	ホイールローダー	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	ATWS緩和設備 (代替制御棒挿入機能)	防止設備	R/B	防火帯による防護※2
	制御棒、制御棒駆動機構 (水圧駆動)、制御棒駆動系水圧制御ユニット	防止設備	R/B	防火帯による防護※2
	ATWS緩和設備 (代替冷却材再循環ポンプ・トリップ機能)	防止設備	R/B	防火帯による防護※2
	ほう酸水注入系	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	自動減圧系の起動阻止スイッチ	→46条に記載	—	—
	高圧代替注水系	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	原子炉隔離時冷却系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
	高圧炉心注水系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
	復水貯蔵槽、サブレーション・チェンバ	→56条に記載	—	—
	ほう酸水注入系	→44条に記載	—	—

※1：可搬型 SA 設備保管場所：可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載
 ※3：R/B：原子炉建屋，C/B：コントロール建屋，Rw/B：廃棄物処理建屋，T/B：タービン建屋

分類	安全機能の重要度分類		Step1	Step2	抽田結果
	機能	構造物、系統又は機器			
PS-3	1) 異常状態の発生 因事象となる ものであって PS-1、I、P S-2以外の 構築物、系統 及び機器	サブレーション・チェンバ ル水排水系、復水貯蔵 タンク、放射線遮 断物処理施設 (放射 能インベントリの小 さいもの)	①安全重要 度分類のク ラス1、2 に属する構 造物等	①及び② を内包す る建屋	外部事象防護対象施設 のうち評価対象施設
	3) 放射用物質 の貯蔵機能	セメント固化装置及 び難固体化装置 (液体及び固体の放射性 廃棄物処理系)	②安全重要 度分類のク ラス3に 属する構 造物等	—	—
	4) 電源供給機 能 (非常用を 除く)	・高熱炉建屋 (新燃料貯蔵タンク) ・発電機及びその励磁装置 (発電機、励磁器) ・蒸気タービン (主タービン、主凝汽、配 管) ・復水系 (復水器を含む) (復水器、復水ポンプ、配 管/弁) ・給水系 (電動型給水ポンプ、タ ービン駆動給水ポンプ、 給水加圧器、配管/弁)	X X X X X X X	—	—

第 I.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (15/22)

○：Yes X：No —：該当せず

※1：電気、機械装置のうち上記の施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、当該関連系の記載は省略した。
 ※2：運転時の異常な過渡状態及び設計基準事故発生

第4-3表 重大事故等対処設備 (3/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第45条 原子炉冷却材圧力バウン ダリ高圧時に発電用原子 炉を冷却するための設備	高圧炉心スプレイ系 による原子炉の冷却	高圧炉心スプレイ・ポンプ 高圧炉心スプレイ系 配管・弁・ストレナ・ スパーチャ [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		サブレーション・チェンバ [水源]	→56条に記載 (うち、防止設備)	—	—
		原子炉圧力容器 [注水先]	→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—	—
		ほう酸水注入系 による進退抑制	ほう酸水注入系	→44条に記載 (うち、防止設備)	—
第46条 原子炉冷却材圧力バウン ダリを減圧するための設 備	逃がし安全弁	逃がし安全弁 [操作対象弁]	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	—	—	—
		主蒸気系 配管・クエンチャ [流路]	—	—	—
	原子炉減圧の自動化	代替自動減圧ロジック (代替自動減圧機能)	防止設備	C/B R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		自動減圧起動阻止 スイッチ	防止設備	C/B	—
		代替自動減圧起動阻止 スイッチ	—	—	—
	可搬型直流電源に よる減圧	可搬型直流電源設備	→57条に記載 (うち、防止設備)	—	—
		SRV用電源切替盤	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	主蒸気逃がし安全弁 用蓄電池による減圧	主蒸気逃がし安全弁用 蓄電池 (補助空室)	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	逃がし安全弁用薬 素ガス供給系	逃がし安全弁用薬 素ガスポンプ 逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ [流路]	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
インターフェイス システムLOCA 隔離弁	残留熱除去系注水弁 (W222-2A, 2B, 2C) 低圧炉心スプレイ系 注水弁 (W223-2)	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
原子炉建屋燃料取替機 プローアウトパネル	原子炉建屋燃料取替機 プローアウトパネル	防止設備	屋外	防火帯による防護	

※1：各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (4/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第47条 原子炉冷却材圧力バウン ダリ低圧時に発電用原子 炉を冷却するための設備	低圧原子炉代替注水 系 (常設) による 原子炉の冷却	低圧原子炉代替注水 ポンプ	防止設備 ・緩和設備	地下構造のため火災 の放射熱を受けない 防火帯による防護	
		低圧原子炉代替注水系 配管・弁 [流路]	防止設備 ・緩和設備	地下構造のため火災 の放射熱を受けない 防火帯による防護 建物による防護※1	
		残留熱除去系 配管・弁 [流路]	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		低圧原子炉代替注水槽 [水源]	→56条に記載	—	—
		原子炉圧力容器 [注水先]	→その他の設備に記載	—	—
	低圧原子炉代替注水 系 (可搬型) による 原子炉の冷却	大量送水車	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		低圧原子炉代替注水系 配管・弁 [流路]	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		残留熱除去系 配管・弁 [流路]	防止設備 ・緩和設備	屋外	防火帯による防護
		ホース・接続口 [流路]	—	—	—
		輪谷貯水槽 (西1) [水源] 輪谷貯水槽 (西2) [水源]	→56条に記載	—	—
		原子炉圧力容器 [注水先]	→その他の設備に記載	—	—
	低圧炉心スプレイ系 による低圧注水	低圧炉心スプレイ・ポンプ 低圧炉心スプレイ系 配管・弁・ストレナ・ スパーチャ [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	サブレーション・チェンバ [水源]	→56条に記載 (うち、防止設備)	—	—	
	原子炉圧力容器 [注水先]	→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—	—	
残留熱除去系 (低圧 注水モード) による 低圧注水	残留熱除去ポンプ 残留熱除去系 配管・弁・ストレナ [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
	サブレーション・チェンバ [水源]	→56条に記載 (うち、防止設備)	—	—	
	原子炉圧力容器 [注水先]	→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—	—	

※1：各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (2/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
第46条 (原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備)	逃がし安全弁 (逃がし弁機能用及び自動減圧機能用アキユムレータ含む)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	代替自動減圧機能	防止設備	R/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	自動減圧系の起動阻止スイッチ	防止設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	可搬型直流電源設備	→57条に記載		—
	AM用切替装置 (SRV)	防止設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	高圧窒素ガスボンベ (供給系配管含む)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	高圧炉心注水系注入隔離弁	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	原子炉建屋ブローアウトパネル	防止設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護

※1: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, T/B: 廃棄物処理建屋, R/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (16/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要区分	抽出結果		
				Step1	Step2	抽出結果
PS-3	異常状態の起因事象となつてPS-1, PS-2以外の機器、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除く) タービン、発電機及びその制御装置、復水器 (復水器を含む)、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉器	① 安全重要度分類のクラス1, 2に属する機器等	② 安全重要度分類のクラス3に属する機器等	③ 及び④を両方とも満たす建屋	外部火災の影響を受ける建屋のうち、評価対象施設のうち、評価対象施設
			X	X	X	—
			X	X	X	—
			X	X	X	—
			X	X	X	—
			X	X	X	—
			X	X	X	—

※1: 電気、機械装置のうち主な風速の記録は、当該施設の施設を代表して記載し、当該箇所の施設及び関係箇所の記録は省略した。

※2: 運転時の異常な過電圧発生及び過電圧発生事故

第4-3表 重大事故等対処設備 (5/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護
第47条 原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード) による原子炉停止時冷却 残留熱除去系熱交換器 残留熱除去系配管・弁・ストレーナ・ジェットポンプ [流路] 原子炉再循環系配管・弁 [流路] 原子炉圧力容器 [注水先]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	原子炉補機冷却系 (原子炉補機海水系を含む。) ※水源は海を使用 原子炉補機冷却系熱交換器 原子炉補機冷却系サージタンク [流路] 原子炉補機冷却系配管・弁・海水ストレーナ [流路]	—48条に記載 (うち、防止設備)		—
	非常用取水設備 取水口 取水管 取水槽	—その他の設備に記載		—
	低圧原子炉代替注水系 (常設) による残存溶融炉心の冷却 低圧原子炉代替注水系 (可搬型)	—低圧原子炉代替注水系 (常設) による原子炉の冷却に記載 (うち、緩和設備) —低圧原子炉代替注水系 (可搬型) による原子炉の冷却に記載 (うち、緩和設備)		—

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (6/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護
第48条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	原子炉補機代替冷却系による除熱卓水用は海を使用 移動式代替熱交換設備 移動式代替熱交換設備ストレーナ 大型送水ポンプ車 原子炉補機代替冷却系配管・弁 [流路] 原子炉補機冷却系配管・弁 [流路] 原子炉補機冷却系サージタンク [流路] 残留熱除去系熱交換器 [流路] ホース・接続口 [流路] 取水口 取水管 取水槽	防止設備 防止設備 防止設備	可搬型設備 保管場所 (屋外) R/B 屋外	防火帯による防護 防火帯による防護 防火帯による防護
	格納容器フィルタベント系による原子炉格納容器内の減圧及び除熱 第1ベントフィルタスクラバ容器 第1ベントフィルタ継ぎジョイント容器 圧力開放板 遠隔手動弁操作機構 第1ベントフィルタ格納槽遮断 配管遮断 格納容器フィルタベント系配管・弁 [流路] 窒素ガス制御系配管・弁 [流路] 非常用ガス処理系配管・弁 [流路] 可搬式窒素供給装置 ホース・接続口 [流路]	—50条に記載 (うち、防止設備)		—
	原子炉格納容器 (サブプレッション・チェンバ、真空破壊装置を含む) [排気]	—その他の設備に記載 (うち、防止設備)		—
	原子炉停止時冷却 残留熱除去ポンプ 残留熱除去系熱交換器 残留熱除去系配管・弁・ストレーナ・ジェットポンプ [流路] 原子炉再循環系配管・弁 [流路] 原子炉圧力容器 [注水先]	—47条に記載 (うち、防止設備)		—
	残留熱除去系 (サブプレッション・プール冷却モード) によるサブプレッション・チェンバ・プール水の冷却 残留熱除去系熱交換器 サブプレッション・チェンバ [流路] 残留熱除去系配管・弁・ストレーナ [流路] 原子炉格納容器 [注水先]	—49条に記載 (うち、防止設備)		—

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (3/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第 47 条 (原子炉冷却材圧力バウナダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	低圧代替注水系 (常設) [復水移送ポンプ]	防止設備・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	復水貯蔵槽	→56 条に記載		—
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	低圧代替注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	残留熱除去系ポンプ	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
低圧注水	残留熱除去系配管, 弁等	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
	サブプレッジョン・チェンバ	→56 条に記載		—
	原子炉補機冷却系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
非常用取水設備 [海水貯留庫, 取水路]	原子炉補機冷却系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護
	原子炉補機冷却系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第 1.1-1 表 評価対象施設の抽出結果 (17/22)

分類	定義	機能	構成物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主な施設*	Step1			抽出結果
					①安全重要度分類上のクラス 1, 2 に属する構成物等	②安全非重要度分類上のクラス 3 に属する構成物等	③及び②を内包する建屋	
PS-3	1) 蒸気供給機 (非常用を除く) 2) 蒸気供給機 (非常用を除く) 3) プラント運転補助機能 (安全位置機能を除く) 4) プラント運転補助機能	タービン, 発電機及びその補助装置, 復水系 (復水器を含む), 給水系, 循環水系, 送電機, 変圧器, 開閉所	原子炉制御系, 運転監視・制御機能 (原子炉制御系を含む), 原子炉冷却材循環系 (原子炉冷却材ポンプ, 原子炉冷却材配管, 原子炉冷却材貯蔵槽の一部)	・変圧器 (所内変圧器, 起動変圧器, 予備変圧器, 電線) ・開閉所 (母線, 遮断器, 断路器, 電路)	X		X	—
					X		X	—
					X		X	—
PS-3	5) プラント運転補助機能 (安全位置機能を除く) 6) プラント運転補助機能	原子炉制御系, 運転監視・制御機能 (原子炉制御系を含む), 原子炉冷却材循環系 (原子炉冷却材ポンプ, 原子炉冷却材配管, 原子炉冷却材貯蔵槽の一部)	・原子炉制御系 (制御棒駆動機構, ミニマイザ, 原子炉冷却材ポンプ, 原子炉冷却材貯蔵槽の一部)	・原子炉制御系 (制御棒駆動機構, ミニマイザ, 原子炉冷却材ポンプ, 原子炉冷却材貯蔵槽の一部)	X		X	—
					X		X	—
					X		X	—

○: Yes X: No —: 該当せず

※1: 電気, 機械装置のうち主な施設は, 当該系の施設を代表して記載し, 当該系の施設が記載されていない場合は省略した。
※2: 運転時の異常な運転状態及び設計基準外解析

第 4-3 表 重大事故等対処設備 (7/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護				
第 48 条 最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	原子炉補機冷却系 (原子炉補機海水系を含む。) ※水源は海を使用	原子炉補機冷却水ポンプ	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}			
		原子炉補機冷却系 熱交換器						
	原子炉補機冷却系 サージタンク [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B T/B 屋外					
	原子炉補機冷却系 配管・弁・海水ストレーナ [流路]							
原子炉補機海水ポンプ	原子炉補機海水ポンプ	防止設備 (設計基準拡張)	屋外	防火帯による防護				
	原子炉補機海水ポンプ	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}				
非常用取水設備	取水口 取水管 取水槽	→その他の設備に記載	→その他の設備に記載	—				
					高圧炉心スプレイドライ冷却水ポンプ	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}
					高圧炉心スプレイドライ冷却系熱交換器			
高圧炉心スプレイドライ冷却系サージタンク [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B T/B 屋外	防火帯による防護					

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載。

第 4-3 表 重大事故等対処設備 (8/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第 49 条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	格納容器代替スプレイドライ系 (常設) による原子炉格納容器内の冷却	低圧原子炉代替注水ポンプ	防止設備・緩和設備	地下格納容器	地下構造のため火災の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		低圧原子炉代替注水系 配管・弁 [流路]	防止設備・緩和設備	地下格納容器	地下構造のため火災の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		残留熱除去系 配管・弁 [流路]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}
	格納容器スプレイドライ系 [水先]	→56 条に記載	—		
	大量送水車	→その他の設備に記載	—		
	可搬型ストレーナ	防止設備・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
	残留熱除去系 配管・弁 [流路]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}	
	格納容器代替スプレイドライ系 配管・弁 [流路]				
	格納容器スプレイドライ系 [水先]				
	ホース・接続口 [流路]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護	
	輪谷貯水槽 (西 1) [水取]	→56 条に記載	—		
	輪谷貯水槽 (西 2) [水取]				
	原子炉格納容器 [注水先]	→その他の設備に記載	—		
	残留熱除去系ポンプ	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}	
	残留熱除去系熱交換器				
残留熱除去系 配管・弁・ストレーナ [流路]					
サブプレッジョン・チェンバ [水取]	→56 条に記載	—			
原子炉格納容器 [注水先]	→その他の設備に記載 (うち, 防止設備)	—			
格納容器スプレイドライ系 [流路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{Q1}		

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (4/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第48条 (最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備)	代替原子炉補機冷却系 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	耐圧強化ベント系 (W/W 及び D/W) [ボンプ, 配管, 弁等]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	格納容器圧力逃がし装置 [フィルタベント]	→50 条に記載 (うち, 防止設備)		-
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	→56 条に記載		-
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		-
	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)	→47 条に記載		-
	残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード, サプレッション・チェンバ・プール水冷却モード)	→49 条に記載		-
	原子炉補機冷却系	(設計基準対象施設)	R/B, T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用取水設備 [海水貯留庫, 取水路等]	→その他の設備に記載		-

※1: 可搬型 SA 設備保管場所; 可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2: 各建屋の防火帯外縁からの距離を第4-1表に記載
 ※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/W/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (18/22)

分類	定義	機能	構造物, 系統又は機器	安全機能の重要度分類			抽出結果
				Step1	Step2	抽出結果	
P S - 3	1) 異常状態の起因事象となるものであって P S - 1, P S - 2 以外の構造物, 系統及び機器	6) プラント運転補助機能	所内ボイラ, 計装用圧縮空気系	①安全重要度のクラス 1, 2 に属する構造物等	②安全評価上期待する安全重要度分類のクラス 3 に属する構造物等	③及び④を内包する建屋	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設
				X	X	X	-
				X	X	X	-
				X	X	X	-
				X	X	X	-

○: Yes X: No -: 該当せず

※1 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系の施設を代表して記載し, 直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

第4-3表 重大事故等対処設備 (9/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第49条 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	残留熱除去系 (サプレッション・プール水冷却モード) による原子炉格納容器内の冷却	残留熱除去ポンプ	防止設備 (設計基準対象)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		残留熱除去系熱交換器			
		残留熱除去系配管・弁・ストレートナ [流路]			
	原子炉補機冷却系 (原子炉補機海水系を含む。) ※水源は海を使用	サプレッション・チェンバ [水源]	→56 条に記載	→その他の設備に記載 (うち, 防止設備)	-
		原子炉格納容器 [注水先]			
		原子炉補機冷却系			
	非常用取水設備	原子炉補機冷却系 (原子炉補機海水系を含む。) ※水源は海を使用	→48 条に記載 (うち, 防止設備)	-	-
		原子炉補機冷却系			
		原子炉補機冷却系			
		原子炉補機冷却系			
原子炉補機冷却系					
非常用取水設備	取水口	→その他の設備に記載	-	-	
	取水管				
	取水槽				

※1: 各建物の防火帯外縁からの距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (10/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護		
第50条 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	格納容器フィルタベント系による原子炉格納容器内の減圧及び除熱	第1ベントフィルタ	防止設備・緩和設備	第1ベントフィルタ格納槽	地下構造のため火災の輻射熱を受けない防火帯による防護	
		スクラウ容器				
		第1ベントフィルタ	防止設備・緩和設備	屋外	地下構造のため火災の輻射熱を受けない防火帯による防護	
		銀ゼオライト容器				
		圧力開放板	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護	
		格納容器フィルタベント系配管・弁 [流路]				
		窒素ガス制御系配管・弁 [流路]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護	
		非常用ガス処理系配管・弁 [流路]				
		遠隔手動弁操作機構	防止設備・緩和設備	第1ベントフィルタ格納槽	地下構造のため火災の輻射熱を受けない防火帯による防護	
		第1ベントフィルタ格納槽遮断配管遮断				
		可搬式窒素供給装置	→52 条に記載			
		ホース・接続口 [流路]	→その他の設備に記載	-	-	
		原子炉格納容器 (サプレッション・チェンバ, 真空破壊装置を含む) [排出元]				
		残留熱代替除去系による原子炉格納容器内の減圧及び除熱	残留熱代替除去ポンプ	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
			残留熱除去系熱交換器			
移動式代替熱交換設備						
大型送水ポンプ車	移動式代替熱交換設備	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護		
	ストレーナ					
	大型送水ポンプ車					
	原子炉補機代替冷却系配管・弁 [流路]					
	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]					
大型送水ポンプ車	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]					
	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]					
	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]					
	原子炉補機冷却系配管・弁 [流路]					
大型送水ポンプ車	格納容器スプレイ・ヘッド [流路]	緩和設備	屋外	防火帯による防護		
	ホース・接続口 [流路]					
	サプレッション・チェンバ [水源]					
大型送水ポンプ車	取水口	→56 条に記載 (うち, 緩和設備)	-	-		
	取水管					
	取水槽					
	原子炉圧力容器 [注水先]					
	原子炉格納容器 [注水先]					
大型送水ポンプ車	取水口	→その他の設備に記載 (うち, 緩和設備)	-	-		
	取水管					
	取水槽					

※1: 各建物の防火帯外縁からの距離を第4-1表に記載。

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第49条 (原子炉格納容器内の冷却等のための設備)	代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) [復水移送ポンプ]	防止設備・緩和設備 →56条に記載	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	復水貯蔵槽	→56条に記載		—
	代替格納容器スプレイ冷却系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2級)]	防止設備・緩和設備 可搬型SA設備保管場所		防火帯による防護 熱影響評価
	防火水槽、淡水貯水池	→56条に記載		—
	代替格納容器スプレイ冷却系 (常設箇所) [接続口、配管等]	防止設備・緩和設備 屋外R/B廻り		防火帯による防護 熱影響評価
	残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード, サプレッション・チェンバ、プール水冷却モード)	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
サブレーション・チェンバ	→56条に記載		—	
原子炉補機冷却系	→48条に記載		—	
非常用取水設備 [海水貯留堰、取水路]	→その他の設備に記載		—	

※1：可搬型SA設備保管場所：可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2：各建屋の防火帯外縁からの距離距離を第4-1表に記載
 ※3：R/B：原子炉建屋，C/B：コントロール建屋，Rw/B：廃棄物処理建屋，T/B：タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (19/22)

○：Yes X：No —：該当せず

分類	安全機能の重要度分類			抽出結果
	Step1	Step2	抽出結果	
PS-3	①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構造物等 ②安全評価上*期待する安全重要度分類のクラス3に属する構造物等 ③及び④を内包する建屋	外部火災の影響を受ける屋外施設	外部火災の影響を受ける屋外施設 外部火災の影響を受ける屋外施設	外部火災の影響を受ける屋外施設
	構造物、系統又は機器 所内ボイラ、計装用圧縮空気系	該当する 電気、機械装置のうち主要な施設*1	①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構造物等 X	X
	機器 プラント運転補助機器	復水補給水系 (復水移送ポンプ、配管/弁)	X	—
	定義 1) 異常状態の起る原因となるものであってPS-1, P, S-2以外の構造物、系統及び機器 2) 原子炉冷却材中放射能物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構造物、系統及び機器	燃料装置管 原子炉冷却材浄化系、復水浄化系	X X	X X

※1：出気、構造物のうちの主要な施設は、当該系の施設を代表して記載し、直結関連系及び間接関連系の施設は省略した。
 ※2：運転中の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

第4-3表 重大事故等対処設備 (11/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第51条 原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	ベDESTAL代替注水系 (常設) による原子炉格納容器下部への注水	低圧原子炉代替注水ポンプ	緩和設備	地下構造のため火災の輻射熱を受けない防火帯による防護	
		低圧原子炉代替注水系配管・弁 [流路]	緩和設備	地下構造のため火災の輻射熱を受けない防火帯による防護	
		コリウムシールド			
		残留熱除去系 配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		格納容器スプレイ・ヘッド [流路]			
		低圧原子炉代替注水槽 [水源]		→56条に記載 (うち、緩和設備)	—
	格納容器代替スプレイ系 (可搬型) による原子炉格納容器下部への注水	大量送水車			
		可搬型ストレータ	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		コリウムシールド			
		残留熱除去系 配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		格納容器代替スプレイ系 配管・弁 [流路]			
		格納容器スプレイ・ヘッド [流路]	緩和設備	屋外	防火帯による防護
ベDESTAL代替注水系 (可搬型) による原子炉格納容器下部への注水	ホース・接続口 [流路]				
	輪谷貯水槽 (西1) [水源]		→56条に記載	—	
	輪谷貯水槽 (西2) [水源]		→56条に記載	—	
	原子炉格納容器 [注水先]		→その他の設備に記載 (うち、緩和設備)	—	
	大量送水車	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
	コリウムシールド				
溶融炉心の落下遅延及び防止	ベDESTAL代替注水系 配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
	ホース・接続口 [流路]	緩和設備	屋外	防火帯による防護	
	輪谷貯水槽 (西1) [水源]		→56条に記載	—	
	輪谷貯水槽 (西2) [水源]		→56条に記載	—	
	原子炉格納容器 [注水先]		→その他の設備に記載 (うち、緩和設備)	—	
	高圧原子炉代替注水系		→45条に記載 (うち、緩和設備)	—	
低圧原子炉代替注水系 (可搬型)	ほう酸水注入系		→44条に記載 (うち、緩和設備)	—	
	低圧原子炉代替注水系		→47条に記載 (うち、緩和設備)	—	
	低圧原子炉代替注水系 (可搬型)		→47条に記載 (うち、緩和設備)	—	

※1：各建物の防火帯外縁からの距離距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (6/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第50条 (原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備)	格納容器 圧力逃がし装置	フィルタ装置, よう素フィルタ, フィルタバント遮蔽壁, 配管等	R/B・屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		ラプチャーデイスク	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		ドレン移送ポンプ, ドレタンク	屋内・屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		遠隔手動弁操作設備・遠隔空気駆動弁操作作用ポンベ	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		スクラバ水 pH制御設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
		可搬型窒素供給装置	→52条に記載	—
		ホース, 接続口	防止設備・緩和設備	防火帯による防護 熱影響評価
		低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2級)]	→56条に記載	—
		防火水槽, 淡水貯水池	→56条に記載	—
		—	—	—

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/W/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (20/22)

分類	定義	安全機能の重要度分類		Step1		Step2		抽出結果
		機能	構築物, 系統又は機器	①安全重要度の分類 1, 2に属する構築物等	②安全重要度の分類 3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	外部火災の影響を受ける屋外施設	
M/S	1) 運転時の異常な過熱変化があらわらば M/S-1, M/S-2とあいまって、事故を誘発する構築物、系統及び機器	1) 原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし装置 (逃がし弁機能), タービンバイパス弁	X	O	—	X	X (原子炉建屋に内包) (原子炉建屋で評価)
—	2) 出力上昇の抑止機能	原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプ、制御リニア機能)、制御棒引抜き装置	原子炉再循環制御系	X	O	—	X	X (原子炉建屋に内包) (原子炉建屋で評価)
—	3) 原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系 (ポンプ、復水貯蔵タンク、復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管及び弁)	X	O	—	X	X (原子炉建屋に内包) (原子炉建屋で評価)

○: Yes X: No —: 該当せず

※1: 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系の施設を代表して記載し、直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2: 運転時の異常な過熱変化及び設計基準事故解析
 ※3: 外部火災防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-3表 重大事故等対処設備 (12/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第52条 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	(窒素ガス制御系)	(設計基準対象施設)	R/B 屋外	防火帯による防護 建物による防護※1
		可搬型窒素供給装置	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		窒素ガス代替注入系配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		ホース・接続口 [流路]	緩和設備	屋外	防火帯による防護
	原子炉格納容器 [注入先]	→その他の設備に記載 (うち、緩和設備)	—	—	
	格納容器フィルタバント系による原子炉格納容器内の水素ガス及び酸素ガスの排出	第1バントフィルタ	スクラバ容器	→50条に記載 (うち、緩和設備)	—
			第1バントフィルタ 継ぎ目オリゴ容器		
		圧力開放板	→58条に記載 (うち、緩和設備)	—	
		第1バントフィルタ 出口水素濃度			
		第1バントフィルタ出口放射モニタ (高レンジ・低レンジ)	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
可搬型窒素供給装置					
遠隔手動弁操作機構		→50条に記載 (うち、緩和設備)	—		
第1バントフィルタ 格納槽遮蔽					
配管遮蔽					
格納容器フィルタバント系 配管・弁 [流路]					
窒素ガス制御系 配管・弁 [流路]	→その他の設備に記載 (うち、緩和設備)	—			
非常用ガス処理系 配管・弁 [流路]					
原子炉格納容器 (サブプレッション・チェンバ、真空破壊装置を含む) [抽出先]	緩和設備	屋外	防火帯による防護		
水素濃度及び酸素濃度の監視	格納容器水素濃度 (SA)	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
	格納容器水素濃度 (B系)				
	格納容器酸素濃度 (SA)				
	格納容器酸素濃度 (B系)				

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (13/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護
第53条 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	静的触媒式水素処理装置による水素濃度抑制	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	静的触媒式水素処理装置 入口温度			
第54条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	原子炉建屋水素濃度	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	大量送水車	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	可搬型ストレータ			
	常設スプレッドヘッド	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	燃料プールスプレッドヘッド			
	ホース・接続口 [流路]	防止設備 ・緩和設備	屋外	防火帯による防護
	輪谷貯水槽 (西1) [水源]	→56条に記載	—	
	輪谷貯水槽 (西2) [水源]			
	燃料プール (サイフォン 防止機能を含む) [注水先]	→その他の設備に記載	—	
	燃料プールスプレッド系 (可搬型スプレッドノズル) による燃料プールへの注水及びスプレッド	大量送水車	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)
可搬型ストレータ				
ホース・弁 [流路]		防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
可搬型スプレッドノズル				
輪谷貯水槽 (西1) [水源]	→56条に記載	—		
輪谷貯水槽 (西2) [水源]				
燃料プール (サイフォン 防止機能を含む) [注水先]	→その他の設備に記載	—		
大気への放射性物質の拡散抑制※水源は海を使用	大型送水ポンプ車	→55条に記載	—	
	ホース [流路]			

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (7/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第50条 (原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備)	復水移送ポンプ	緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	残留熱除去系 (熱交換器等)	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	代替原子炉補機冷却系 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替循環冷却系 (常設箇所) [配管, 弁等]	緩和設備	R/B, T/B, Rw/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	サブプレッション・チェンバ	→56条に記載		—
非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載			—

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (21/22)

分類	定義	機能	安全機能の重要度分類		抽出結果		
			Step1	Step2			
M/S 1-3	2) 異常状態への対応に必要な構築物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能 原子力発電所緊急時対策所、試料採取系、通信連絡設備、放射能監視設備、事故時監視設備の一部、消火器、安全避難通路、非常用照明	①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構築物等 X	②安全評価上重要と期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等 X	①及び②を内包する壁面 X	外部火災の影響を受ける除外施設 のうちの評価対象施設	抽出結果 外部火災影響評価施設 のうちの評価対象施設
			X	X	X	—	—
			X	X	X	—	—
			X	○	○	—	—
			X	X	X	—	—

○: Yes X: No —: 該当せず

※1: 電気、機械設備のうち主な施設の記載は、当該施設の施設を代表して記載し、当該関連系及び関連機器の記載は省略した。
※2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故発生時
※3: 外部火災影響評価対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第4-3表 重大事故等対処設備 (14/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第54条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	燃料プールの監視	燃料プール水位 (SA) 燃料プール水位・温度 (SA) 燃料プールエリア放射線モニタ (高レンジ・低レンジ) (SA) 燃料プール監視カメラ (燃料プール監視カメラ用冷却設備を含む。)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	燃料プール冷却系による燃料プールの除熱	燃料プール冷却系 熱交換器 原子炉補機代替冷却系配管・弁 [流路] 原子炉補機冷却系配管・弁 [流路] 原子炉補機冷却系サージタンク [流路] 燃料プール冷却系配管・弁 [流路] 燃料プール冷却系スキマ・サージ・タンク [流路] 燃料プール冷却系デューザー [流路] 移動式代替熱交換設備 移動式代替熱交換設備ストレーナ 大型送水ポンプ車 ホース・接続口 [流路] 燃料プール [注水先] 取水口 取水管 取水槽	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
			防止設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
			防止設備	屋外	防火帯による防護
				→その他の設備に記載 (うち、防止設備)	—
					—
					—
					—
					—
					—
					—
					—
					—

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (15/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第55条 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備	大気への放射性物質の拡散抑制 海を使用	大型送水ポンプ車 ホース [流路] 放水砲	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	海洋への放射性物質の拡散抑制	放射線物質吸着材 シルトフェンス 小型船舶	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	航空機燃料火災への消火	大型送水ポンプ車 ホース [流路] 放水砲 消火薬剤容器	緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	重大事故等収束のための水源 海を使用	低圧原子炉代替注水槽 サブプレッション・チェンバ	防止設備 ・緩和設備	R/B	地下構造のため火災の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		輪谷貯水槽 (西1) 輪谷貯水槽 (西2) 構内監視カメラ (ガスタービン発電機建物屋上)	— (代替水源) (防止でも緩和でもない設備)	屋外	防火帯による防護
重大事故等収束のための水源	ほう酸水貯蔵タンク	→44条に記載		—	
水の供給	大量送水車 ホース [流路] 大量送水車 ホース [流路] 可搬型ストレーナ 取水口 取水管 取水槽	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
			→その他の設備に記載	—	

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (8/21)		分類	場所※1,3	影響評価及び防護
設置許可基準	重大事故等対処設備	緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	格納容器下部注水系 (常設) [復水移送ポンプ]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	コリウムシールド	→56条に記載 (うち、緩和設備)		—
	復水貯蔵槽	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	格納容器下部注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2級)]	緩和設備	→56条に記載	—
防火水槽, 淡水貯水池	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2	
格納容器下部注水系 (常設箇所) [配管, 弁等]	緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価	
格納容器下部注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	→44条に記載		—	
ほう酸水注入系	→45条に記載		—	
高圧代替注水系, ほう酸水注入系	→47条に記載		—	
低圧代替注水系 (常設), (可搬型)				

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第1.1-1表 評価対象施設の抽出結果 (22/22)

○: Yes X: No —: 該当せず

分類	安全機能の重要度分類			抽出結果
	Step1	Step2	抽出結果	
MS-3	①安全重要度分類のクラス1, 2に属する構造物等	②安全評価上 ^{※1} 維持する安全重要度分類のクラス3に属する構造物等	③及び④を内包する建屋	外部中核防護対象施設のうち評価対象施設
	構造物, 系統又は機器	該当する電気, 機械装置のうち主要な施設 ^{※1}	①及び②を内包する建屋	外部中核防護対象施設のうち評価対象施設
定義	1) 緊急時対策上重要な構造物, 系統及び機器	原子力発電所緊急時対策所, 燃料採取系, 通信連絡設備, 放射線監視設備, 事故時監視計器の一部, 消火系, 安全避難通路, 非常用照明	—	—
MS-3	2) 異常状態への対応上必要な構造物, 系統及び機器	事故時監視計器の一部	X	—
		消火系 (水消火設備, 泡消火設備, 二酸化炭素消火設備, 等)	X	—
		消火系 (中火制御室排煙装置)	X	—
		安全避難通路	X	—
		非常用照明	X	—

※1 電気, 機械装置のうち主要な施設は, 当該系の機能を代表して記載し, 直後関連系及び間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事象解析

第4-3表 重大事故等対処設備 (16/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護
第57条 電源設備	常設代替交流電源設備による給電	防止設備 ・緩和設備	ガスタービン発電機建物	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	ガスタービン発電機用サービスタンク ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁 [燃料流路] ガスタービン発電機用軽油タンク ガスタービン発電機用非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] ガスタービン発電機用SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機用SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機用SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機用高圧発電機車接続プラグ収納箱 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱~原子炉補機代替冷却系電路 [電路]	防止設備 ・緩和設備	屋外	防火帯による防護
	ガスタービン発電機~SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機~SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機~SAロードセンタ電路 [電路] ガスタービン発電機~高圧発電機車接続プラグ収納箱 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱~原子炉補機代替冷却系電路 [電路]	防止設備 ・緩和設備	屋外 R/B	地下構造のため火災の輻射熱を受けない 防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (17/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護
第57条 電源設備	可搬型代替交流電源設備による給電	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	高圧発電機車タンクローリ ホース [燃料流路] ガスタービン発電機用軽油タンク ガスタービン発電機用軽油タンクドレン弁 [燃料流路] 非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク 高圧発電機車~高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物西側) 電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物西側) ~非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] 高圧発電機車~高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) 電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) ~非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] 高圧発電機車~緊急用メタラ接続プラグ電路 [電路] 緊急用メタラ接続プラグ電路~非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物西側) ~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) ~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路] 緊急用メタラ接続プラグ電路~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路]	防止設備 ・緩和設備	屋外 (地下)	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	高圧発電機車~高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) 電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) ~非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] 高圧発電機車~緊急用メタラ接続プラグ電路 [電路] 緊急用メタラ接続プラグ電路~非常用高圧母線C系及びD系電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物西側) ~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路] 高圧発電機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) ~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路] 緊急用メタラ接続プラグ電路~SA1コントロールセンタ及びSA2コントロールセンタ電路 [電路]	防止設備 ・緩和設備	屋外 R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (9/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類 (設計基準 対象施設)	場所※1,3 R/B	影響評価及び防護 防火帯による防護 建屋による防護※2
第52条 (水素爆発による原子炉格納 容器の破損を防止するための設備)	不活性ガス系	→50条に記載	R/B	—
	格納容器圧力逃がし装置	→58条に記載		—
	格納容器圧力逃がし装置[フィルタ 装置出口放射線モニタ, フィルタ装 置水素濃度系]	→50条に記載		—
	格納容器圧力逃がし装置[ホース, 接続 口]	→56条に記載		—
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型 代替注水ポンプ (A-2級)]	→56条に記載		—
	防火水槽, 淡水貯水池	可搬型SA設備保 管場所	防火帯による防護 熱影響評価	
	可搬型窒素供給装置	緩和設備	防火帯による防護 建屋による防護※2	
	サブレーション・チェンバ	緩和設備	—	
	耐圧強化ベント系 (W/W)	→48条に記載	—	
	耐圧強化ベント系 [耐圧強化ベント 系放射線モニタ, フィルタ装置水素 濃度計]	→58条に記載	—	
	水素濃度及び酸素濃度の監視 [格納容器内水素濃度 (SA), 格納容 器内水素濃度, 格納容器内酸素濃度]	緩和設備	防火帯による防護 建屋による防護※2	

※1: 可搬型SA設備保管場所; 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/W/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (18/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護		
第57条 電源設備	所内常設蓄電池式直流 電源設備による給電	B-115V系蓄電池	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B1-115V系蓄電池 (SA)				
		230V系蓄電池 (RCIC)	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B-115V系充電器	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B1-115V系充電器 (SA)				
		230V系充電器 (RCIC)	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B-115V系蓄電池及び 充電器~直流母線電路 [電路]	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B1-115V系蓄電池 (SA) 及び充電器~ 直流母線電路 [電路]				
		230V系蓄電池 (RCIC) 及び充電器~直流母線 電路 [電路]	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		常設代替直流電源 設備による給電	SA用115V系蓄電池	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
			SA用115V系充電器			
			SA用115V系蓄電池及び 充電器~直流母線電路 [電路]			
	可搬型直流電源設備 による給電	高圧発電機車	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
		タンクローリ				
		ホース [燃料流路]	防止設備 ・緩和設備	ガスタービン 発電機建物	防火帯による防護 建物による防護※1	
		B1-115V系充電器 (SA)	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1	
		SA用115V系充電器				
		230V系充電器 (常用)	防止設備 ・緩和設備	屋外	防火帯による防護	
ガスタービン発電機用 軽油タンク						
ガスタービン発電機用 軽油タンクドレン弁 [燃料流路]		防止設備 ・緩和設備	屋外 (地下)	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護		
非常用ディーゼル発電機 燃料貯蔵タンク						
高圧が心スプレイ系 ディーゼル発電機燃料 貯蔵タンク						
高圧発電機車~高圧発電 機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物西側) 電路 [電路]		防止設備 ・緩和設備	屋外 R/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
高圧発電機車接続プラグ 収納箱 (原子炉建物西側) ~直流母線電路 [電路]						
高圧発電機車~高圧発電 機車接続プラグ収納箱 (原子炉建物南側) 電路 [電路]						
高圧発電機車接続プラグ 収納箱 (原子炉建物南側) ~直流母線電路 [電路]						

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (3/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護	
第47条 (原子炉冷却材圧力バウ ンダリ低圧時に発電用原子炉を冷 却するための設備)	低圧代替注水系 (常設) (復水移送 ポンプ)	防止設備・緩 和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2	
	復水貯蔵槽	→56条に記載	→56条に記載	—	
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型 代替注水ポンプ (A-2級)]	防止設備・緩 和設備	可搬型 SA 設備保管場 所	防火帯による防護 熱影響評価	
	防 waters 槽, 淡水貯水池	→56条に記載	→56条に記載	—	
	低圧代替注水系 (可搬型) (常設箇 所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩 和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価	
	低圧 注水	残留熱除去系ポンプ	(設計基準対 象施設)	R/B	防火帯による防護※2
		残留熱除去系配管, 弁等	(設計基準対 象施設)	R/B	防火帯による防護※2
	原子炉補 機冷却	サブレンション・チェ ンバ	→56条に記載	→56条に記載	—
		原子炉補機冷却系ポン プ	(設計基準対 象施設)	R/B	防火帯による防護※2
	原子炉補機冷却系	原子炉補機冷却系配管, 弁等	(設計基準対 象施設)	R/B	防火帯による防護※2
原子炉補機冷却系		→48条に記載	→48条に記載	—	
非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路]	→その他の設備に記載	→その他の設備に記載	→その他の設備に記載	—	

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (19/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第57条 電源設備	可搬型直流電源設備 による給電	高圧発電機車～緊急用メ タクラ接続プラグ整電路 【電路】 緊急用メタクラ接続プラ グ盤～直流母線電路 【電路】	防止設備 ・緩和設備	屋外 R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	代替所内電気設備 による給電	緊急用メタクラ メタクラ切替盤 SA2コントロール センタ SAロードセンタ SA1コントロール センタ 充電器電源切替盤 重大事故機作盤 高圧発電機車接続プラグ 収納箱 緊急用メタクラ接続プラ グ盤 SA電源切替盤 非常用高圧母線D系 非常用高圧母線C系	防止設備 ・緩和設備 防止設備 ・緩和設備 防止設備 ・緩和設備 防止設備 ・緩和設備 防止設備 ・緩和設備 防止設備 ・緩和設備	ガスタービン 発電機建物 R/B R/B R/B R/B R/B R/B R/B R/B R/B	防火帯による防護 建物による防護※1 防火帯による防護 建物による防護※1 地下構造のため火災 の放射熱を受けない 防火帯による防護 建物による防護※1 防火帯による防護 建物による防護※1
非常用交流電源設備	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	防止設備 (設計基準証張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	非常用ディーゼル発電機 燃料デイトンク	高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機燃料デイト ンク	防止設備 ・緩和設備	屋外 (地下)	地下構造のため火災 の放射熱を受けない 防火帯による防護
	非常用ディーゼル発電機 燃料貯蔵タンク	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機燃料 貯蔵タンク	防止設備 (設計基準証張)	R/B 屋外	防火帯による防護
	非常用ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機燃料 移送系 配管・弁 【燃料流路】	防止設備 (設計基準証張)	R/B 屋外	防火帯による防護
	非常用ディーゼル発電機 燃料移送系	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機燃料 移送系 配管・弁 【燃料流路】	防止設備 (設計基準証張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	非常用ディーゼル発電機 ～非常用高圧母線C系及び D系電路【電路】	高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機～非常用 高圧母線HVCS系電路 【電路】	防止設備 (設計基準証張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (11/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第54条 (使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備)	燃料プール代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-1), 可搬型代替注水ポンプ (A-2級)]	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料プール代替注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩和設備	屋外R/B側	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料プール代替注水系 (常設箇所) [常設スプレイヘッド, 配管, 弁等]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	可搬型スプレイヘッド	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	防火水槽, 淡水貯水池	→56条に記載		—
	原子炉建屋放水設備 [大容量送水車 (原子炉建屋放水設備用), 放水砲]	→55条に記載		—
	使用済燃料貯蔵プールの水位・温度 (SA・SA広域)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ・低レンジ)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ (使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置を含む)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2
	燃料プール冷却浄化系	防止設備	R/B	防火帯による防護※2
	代替原子炉補機冷却系 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	防止設備	可搬型SA設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備	→48条に記載	—

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載
 ※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (20/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第57条 電源設備	非常用直流電源設備	A-115V系蓄電池	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		A-115V系充電器			
		B-115V系蓄電池			
		B-115V系充電器			
		B1-115V系蓄電池 (SA)			
		B1-115V系充電器 (SA)			
		高圧炉心スプレイ系蓄電池	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		高圧炉心スプレイ系充電器			
		230V系蓄電池 (RCIC)	防止設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		230V系充電器 (RCIC)			
		A-原子炉中性子計装用蓄電池	防止設備 (設計基準拡張)	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		A-原子炉中性子計装用充電器			
B-原子炉中性子計装用蓄電池	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
B-原子炉中性子計装用充電器					
A-115V系蓄電池及び充電器～直流母線回路 [電路]	防止設備	R/B Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
B-115V系蓄電池及び充電器～直流母線回路 [電路]					
B1-115V系蓄電池 (SA) 及び充電器～直流母線回路 [電路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
230V系蓄電池 (RCIC) 及び充電器～直流母線回路 [電路]					
高圧炉心スプレイ系蓄電池及び充電器～直流母線回路 [電路]	防止設備 (設計基準拡張)	R/B Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1		
A-原子炉中性子計装用蓄電池及び充電器～直流母線回路 [電路]					
B-原子炉中性子計装用蓄電池及び充電器～直流母線回路 [電路]					

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (12/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,2	影響評価及び防護
第55条 (工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備)	原子炉建屋放水設備 [大容量送水車 (原子炉建屋放水設備用)、放水砲等]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [放射性物質吸着材]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [汚濁防止膜]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [小型船舶 (汚濁防止膜設置用)]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	航空機燃料火災への泡消火 [泡原液搬送車、泡原液混合装置]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/W/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (21/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第57条 電源設備	燃料補給設備	ガスタービン発電機用 軽油タンク	防止設備 ・緩和設備	屋外	防火帯による防護
		ガスタービン発電機用 軽油タンクドレン弁 [流路]			
	非常用ディーゼル発電機 燃料貯蔵タンク	防止設備 ・緩和設備	屋外 (地下)	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護	
	高圧炉心スプレイ系ディ ーゼル発電機燃料貯蔵タ ンク				
第58条 計測設備	タンクローリ	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
	ホース [燃料流路]	防止設備 ・緩和設備	ガスタービン 発電機建物	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
	原子炉圧力容器内の 温度	原子炉圧力容器温度 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	原子炉圧力容器内の 圧力	原子炉圧力	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	原子炉圧力容器内の 水位	原子炉水位 (広帯域)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		原子炉水位 (燃料域)			
	原子炉圧力容器への 注水量	原子炉水位 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		高圧原子炉代替注水量			
	原子炉格納容器への 注水量	代替注水量 (常設)	防止設備 ・緩和設備	低圧原子炉 代替注水ポ ンプ格納槽	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		低圧原子炉代替注水量 低圧原子炉代替注水量 (狭帯域用)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護
		原子炉隔離時冷却ポンプ 出口流量	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		高圧炉心スプレイポンプ 出口流量			
		残留熱除去ポンプ 出口流量			
		低圧炉心スプレイポンプ 出口流量			
	残留熱代替除去系 原子炉注水量	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
	原子炉格納容器内の 注水量	代替注水量 (常設)	防止設備 ・緩和設備	低圧原子炉 代替注水ポ ンプ格納槽	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護
格納容器代替スプレイ 流量		防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護	
ベダスタル代替注水量 ベダスタル代替注水量 (狭帯域用)		緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
残留熱代替除去系 格納容器スプレイ流量		緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
ドライウェル温度 (SA)					
原子炉格納容器内の 温度	ベダスタル温度 (SA)	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
	ベダスタル水温度 (SA)				
	サブレーション・ チェンブ温度 (SA)				
	サブレーション・ プールの温度 (SA)				

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (13/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第56条 (重大事故等の取束に必要なとなる水の供給設備)	復水貯蔵槽	防止設備・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	サブレーション・チェンバ	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	ほう酸水注入系貯蔵タンク	→44条に記載		—
	防火水槽	— (代替淡水源)	屋外 (地下埋設)	—
	淡水貯水池	— (代替淡水源)	屋外	—
	大容量送水車 (海水取水用)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替注水ポンプ (A-2級)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載		—

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (22/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第58条 計測設備	原子炉格納容器内の圧力	ドライウェル圧力 (SA) サブレーション・チェンバ 圧力 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	原子炉格納容器内の水位	サブレーション・プール 水位 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		ドライウェル水位	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		ペダスタル水位	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	原子炉格納容器内の水素濃度	格納容器水素濃度 (B系)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		格納容器水素濃度 (SA)	・緩和設備		
	原子炉格納容器内の放射線量率	格納容器雰囲気放射線 モニタ (ドライウェル)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		格納容器雰囲気放射線 モニタ (サブレーション・チェンバ)			
	未臨界の維持又は 監視	中性子層領域計装	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		平均出力領域計装	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
	最終ヒートシンクの 確保 (残留熱代替除去系)	サブレーション・プール水 温度 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		残留熱除去系 熱交換器出口温度	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		残留熱代替除去系 原子炉注水流量	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		残留熱代替除去系 格納容器スプレイ流量			
	最終ヒートシンクの 確保 (格納容器フィルタ ベント系)	スクラバ容器水位	防止設備 ・緩和設備	第1ベント フィルタ 格納槽	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護
スクラバ容器圧力					
スクラバ容器温度					
第1ベントフィルタ出口 放射線モニタ (高レンジ・低レンジ)					
最終ヒートシンクの 確保 (残留熱除去系)	第1ベントフィルタ出口 水素濃度	防止設備 ・緩和設備	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護	
	残留熱除去系熱交換器 入口温度	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
残留熱除去系熱交換器 出口温度					
残留熱除去ポンプ 出口流量					

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (23/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第58条 計測設備	格納容器バイパスの 監視 (原子炉圧力容器内の 状態)	原子炉水位 (広帯域)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		原子炉水位 (燃料域)			
		原子炉水位 (SA)			
		原子炉圧力			
	格納容器バイパスの 監視 (原子炉格納容器内の 状態)	原子炉圧力 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		ドライウェル温度 (SA)			
	格納容器バイパスの 監視 (原子炉建屋内の 状態)	ドライウェル圧力 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		残留熱除去ポンプ 出口圧力			
	水源の確認	低圧原子炉代替注水槽 水位	防止設備 ・緩和設備	R/B	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽			
	原子炉建屋内の水素 濃度	サブレーション・プール 水位 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		原子炉建屋水素濃度			
	原子炉格納容器内の 酸素濃度	格納容器酸素濃度 (B系)	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}
		格納容器酸素濃度 (SA)			
		燃料プール水位 (SA)			
燃料プール水位・温度 (SA)					
燃料プールの監視	燃料プール水位・温度 (SA)	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
	燃料プールエリア放射線 モニタ (高レンジ・低レンジ) (SA)				
	燃料プール監視カメラ (SA)				
	燃料プール監視カメラ 用冷却設備を含む。				
発電所内の通信連絡	安全パラメータ表示 システム (SPDS)	緩和設備	Rw/B 緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	
温度, 圧力, 水位, 注水量の計測・監視	可搬型計測器	防止設備 ・緩和設備	Rw/B 緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護 ^{※1}	

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (14/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第57条 (電源設備)	常設代替交流電源設備 [第一ガスタービン発電機一式]	防止設備・緩和設備	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	常設代替交流電源設備 [ダクローリ (16kL)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 (電源車)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 (常設箇所) [電源車接続箇所]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	号炉間電力融通ケーブル (常設)	防止設備・緩和設備	C/B	防火帯による防護※2 建屋による防護
	号炉間電力融通ケーブル (可搬型)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	所内蓄電式直流電源設備 [AM用直流125V蓄電池・充電器, 直流125V蓄電池・充電器 A, A-2, B]	防止設備・緩和設備	R/B C/B	防火帯による防護※2 建屋による防護
	常設代替直流電源設備 [AM用直流125V蓄電池, 充電器]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護※2 建屋による防護
	可搬型代替直流電源設備 [電源車]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替所内電源設備 [緊急用断路器]	防止設備・緩和設備	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価

※1: 可搬型 SA 設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載
 ※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (24/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第58条 計測設備	その他	ADS用N ₂ ガス減圧弁二次側圧力	防止設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		N ₂ ガスボンベ圧力			
		原子炉補機冷却水ポンプ出口圧力	防止設備 (設計基準拡張)	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		RCW熱交換器出口温度			
		RCWサージタンク水位			
		C-メタクラ母線電圧			
		D-メタクラ母線電圧			
		HPCS-メタクラ母線電圧	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		C-ロードセンタ母線電圧			
		D-ロードセンタ母線電圧			
		緊急用メタクラ電圧	防止設備 ・緩和設備	ガスタービン 発電機建物	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		SAロードセンタ母線電圧	防止設備 ・緩和設備	低圧原子炉 代替注水ポンプ格納槽	地下構造のため火災 の輻射熱を受けない 防火帯による防護
		B1-115V系蓄電池 (SA) 電圧			
		A-115V系直流盤母線電圧	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		B-115V系直流盤母線電圧			
230V系直流盤 (常用) 母線電圧					
SA用115V系充電器盤蓄電池電圧					

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (25/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第59条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	居住性の確保	中央制御室	(重大事故等 対処施設)	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		中央制御室待避室	防止設備 ・緩和設備	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		中央制御室遮蔽	緩和設備	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		中央制御室待避室遮蔽	緩和設備	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		再循環用ファン			
		チャコール・フィルタ・ブースタ・ファン	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		非常用チャコール・フィルタ・ユニット			
		中央制御室換気系弁 [流路]			
		中央制御室換気系ダクト [流路]	防止設備 ・緩和設備	C/B Rw/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		中央制御室待避室正圧化装置 (空気ポンプ)	緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		中央制御室待避室正圧化装置 (配管・弁) [流路]	緩和設備	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		無線通信設備 (固定型)	-62条に記載	-	-
		衛星電話設備 (固定型)			
		プラントパラメータ監視装置 (中央制御室待避室)	(防止でも緩和 でもない設備)	C/B	防火帯による防護 建物による防護 ⁹¹
		差圧計			
酸素濃度計					
二酸化炭素濃度計					
無線通信設備 (屋外アンテナ) [伝送路]					
衛星電話設備 (屋外アンテナ) [伝送路]	-62条に記載	-	-		

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (15/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第57条 (電源設備)	代替所内電源設備 [緊急用電源切替箱断路器, 緊急用電源切替箱接続装置, AM用動力変圧器, MCC等]	防止設備・緩和設備	R/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	代替所内電源設備 [非常用高圧母線C・D系]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用交流電源設備 [非常用ディーゼル発電機, 燃料ダイタンク]	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用交流電源設備 [燃料移送ポンプ, 配管等]	(設計基準対象施設)	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	非常用直流電源設備 [直流125V蓄電池・充電器B, C, D等]	(設計基準対象施設)	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	燃料補給設備 [軽油タンク]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料補給設備 [タンクローリ (4kL) 等]	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※1: 可搬型SA設備保管場所; 可搬型重大事故等対処設備保管場所
 ※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載
 ※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (26/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第59条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	照明の確保	LEDライト (三聯タイプ)	(防止でも緩和でもない設備)	C/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	被ばく線量の低減	非常用ガス処理系 排気ファン	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		前置ガス処理装置 [流路] 後置ガス処理装置 [流路]			
	非常用ガス処理系 配管・弁 [流路]	緩和設備	R/B	T/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	原子炉建物原子炉種 [流路]	→その他の設備に記載	—	—	
	原子炉建物燃料取替階 ブローアウトパネル 閉止装置	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1	

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-3表 重大事故等対処設備 (27/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第60条 監視測定設備	放射線量の代替測定	可搬式モニタリング・ポスト	(防止でも緩和でもない設備)	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		データ表示装置 (伝送路)	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
	放射性物質の濃度の代替測定	可搬式ダスト・よう素 サンブラ	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		NaIシンチレーション・サーベイ・メータ GM汚染サーベイ・メータ			
	気象観測項目の代替測定	可搬式気象観測装置	(防止でも緩和でもない設備)	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		データ表示装置 (伝送路)	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
	放射線量の測定	可搬式モニタリング・ポスト	(防止でも緩和でもない設備)	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
		データ表示装置 (伝送路)	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		電離箱サーベイ・メータ	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		小型船舶	(防止でも緩和でもない設備)	可搬型設備 保管場所 (屋外)	防火帯による防護
	放射性物質の濃度の測定 (空気中, 水中, 土壌中) 及び海上モニタリング	可搬式ダスト・よう素 サンブラ	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時 対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		NaIシンチレーション・サーベイ・メータ GM汚染サーベイ・メータ α・β汚染サーベイ・メータ			
		小型船舶			
モニタリング・ポストの代替交流電源からの給電	常設代替交流電源設備	→57条に記載	—	—	

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (17/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1,3	影響評価及び防護
第60条(監視測定設備)	可搬型モニタリングポスト	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所 R/B(5号炉)	防火帯による防護 熱影響評価
	放射線サーベイ機器 [可搬型ダスト・よう素サンブラ, GM汚染サーベイメータ, NaIシンチレーションサーベイメータ, 電離箱サーベイメータ, ZnSシンチレーションサーベイメータ]	防止でも緩和でもない設備	R/B(5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※2
	可搬型気象観測装置	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	小型船舶(海上モニタリング用)	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	モニタリング・ポスト用発電機	防止でも緩和でもない設備	屋外	防火帯による防護はできないが、可搬型モニタリング・ポストにより機能維持可能

※1: 可搬型SA設備保管場所: 可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※3: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, R/W/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-3表 重大事故等対処設備 (30/30)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設置場所	影響評価及び防護	
第62条 通信連絡を行うために必要な設備	発電所内の通信連絡	有線式通信設備	防止設備 ・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		無線通信設備(固定型)	防止設備 ・緩和設備	C/B	防火帯による防護 建物による防護※1
		衛星電話設備(固定型)	防止設備 ・緩和設備	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		無線通信設備(携帯型)	防止設備 ・緩和設備	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		衛星電話設備(携帯型)	防止設備 ・緩和設備	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		安全パラメータ表示システム(SPDS)	緩和設備	Rw/B 緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		無線通信設備(屋外アンテナ) [伝送路]	防止設備 ・緩和設備	緊急時対策所(屋外)	防火帯による防護
		衛星電話設備(屋外アンテナ) [伝送路]	防止設備 ・緩和設備	Rw/B 緊急時対策所(屋外)	防火帯による防護 建物による防護※1
		無線通信装置 [伝送路]	防止設備 ・緩和設備	R/B 緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		有線(建物内) (有線式通信設備, 無線通信設備(固定型), 衛星電話設備(固定型)に係るもの) [伝送路]	防止設備 ・緩和設備	R/B Rw/B 緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		有線(建物内) (安全パラメータ表示システム(SPDS)に係るもの) [伝送路]	緩和設備	Rw/B 緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1
		発電所外の通信連絡	衛星電話設備(固定型)	緩和設備	C/B 緊急時対策所
	衛星電話設備(携帯型)	緩和設備	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1	
	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1	
	データ伝送設備	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1	
	衛星電話設備(屋外アンテナ) [伝送路]	緩和設備	緊急時対策所(屋外)	防火帯による防護 建物による防護※1	
	衛星通信装置 [伝送路]	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時対策所(屋外)	防火帯による防護 建物による防護※1	
	有線(建物内) (衛星電話設備(固定型)に係るもの) [伝送路]	緩和設備	C/B 緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1	
有線(建物内) (統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備, データ伝送設備に係るもの) [伝送路]	(防止でも緩和でもない設備)	緊急時対策所	防火帯による防護 建物による防護※1		
その他の設備	重大事故時に対処するための流路又は注水先, 注入先, 排出元等	原子炉圧力容器 原子炉格納容器 燃料プール	防止設備 ・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建物による防護※1
	非常用取水設備	原子炉建屋原子炉棟	緩和設備	屋外	防火帯による防護
		取水口	防止設備	屋外	防火帯による防護
		取水管	防止設備 ・緩和設備		
		取水槽	防止設備 ・緩和設備		

※1: 各建物の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載。

第4-4表 重大事故等対処設備 (18/21)		影響評価及び防護		
設置許可基準	重大事故等対処設備	場所※2		
第61条 (緊急時対策所)	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 及び遮断並びに高気密室	防止設備・緩和設備	R/B (5号炉) 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 可搬型陽圧化空調機, 可搬型外気取入送風機	防止設備・緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧化装置 (空気ポンプ)	緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 二酸化炭素吸収装置	防止設備・緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 可搬型エアモニタ	緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, 差圧計 (対策本部)	防止でも緩和でもない設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所), 遮断及び室内遮蔽	防止設備・緩和設備	R/B (5号炉) 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 可搬型陽圧化空調機	防止設備・緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 陽圧化装置 (空気ポンプ)	緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 可搬型エアモニタ	緩和設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1

※1: 各建屋の防火帯外縁からの距離距離を第4-1表に記載
 ※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-4表 重大事故等対処設備 (19/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
第61条 (緊急時対策所)	可搬型モニタリングポスト	→60条に記載		—
	酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, 差圧計 (待機場所)	防止でも緩和でもない設備	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用可搬電源設備	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	安全パラメータ表示システム (SPDS)	→62条に記載		—
	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	通信連絡設備	→62条に記載		—
	5号炉屋外緊急連絡用インターフォン	→62条に記載		—
	軽油タンク, タンクローリ (4tL)	→57条に記載		—

※1: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-4表 重大事故等対処設備 (20/21)		場所※2	影響評価及び防護
設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	
第62条(通信) 連絡を行うため に必要な設備	携帯型音声呼出電話設備	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋による防護※1
	無線連絡設備(常設)(可搬型)	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系,衛星系)により機能維持可能
	所内通信	緩和設備	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)
	安全パラメータ表示システム(SPDS)	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	5号炉屋外緊急連絡用インターフォン	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系,衛星系)により機能維持可能
	所外通信	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋による防護※1
	衛星電話設備(常設)(可搬型), 無線連絡設備(所内通信)	防止設備・ 緩和設備	防火帯による防護 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系,衛星系)により機能維持可能
	有線連絡設備	防止でも緩和でもない設備	防火帯による防護 建屋による防護※1
	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備,データ伝送設備	防止でも緩和でもない設備	防火帯による防護 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系,衛星系)により機能維持可能

※1: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載
 ※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

第4-4表 重大事故等対処設備 (21/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
その他の設備	重大事故等時に対処するための流路, 注水先又は注入先 [原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 使用済燃料プール, 原子炉建屋原子炉区域]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価

※1: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第4-1表に記載

※2: R/B: 原子炉建屋, C/B: コントロール建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋, T/B: タービン建屋

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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2. 影響評価内容</p> <p>(1) 熱影響評価</p> <p>評価対象施設のうち、原子炉建屋内、タービン建屋内及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、当該建屋の外側コンクリート壁の温度評価を実施し、コンクリートの健全性が確保されることを確認する。</p> <p>また、評価対象施設のうち、残留熱除去系海水系ポンプ、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、主排気筒、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。）及び放水路ゲートについては、屋外に設置されていることから、これらの施設の設置状況等を考慮して熱影響を評価する。（第2-1図参照）</p> <div data-bbox="943 940 1706 1480" style="border: 1px solid black; height: 257px; width: 257px; margin: 10px auto;"></div> <p>第2-1図 外部火災に対する評価対象施設配置図</p> <p>(2) 二次的影響評価</p> <p>外部火災の二次的影響評価として、ばい煙等による機器への影響評価を実施する。</p> <p>ばい煙等による機器への影響として、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）及び外気を取り込む屋外設置機器を評価対</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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>象設備として選定し評価する。 また、ばい煙等による中央制御室に対する居住性への影響を評価する。</p> <p>(3) 放水路ゲートについて 評価対象施設のうち放水路ゲートについては、津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。航空機落下を起因として津波が発生することはないこと及び放水路ゲートは、大量の放射性物質を蓄えておらず、原子炉の安全停止（炉心冷却を含む。）機能を有していないため、航空機落下確率を算出する標的面積として抽出しないことから、航空機墜落による火災は設計上考慮しない。</p> <p>(4) 排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋について 評価対象施設のうち排気筒モニタについては、放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。外部火災を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、排気筒モニタ建屋も含め安全機能を損なわない設計とするため、排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋の詳細検討は不要とする。</p> <p>(5) その他の別の評価対象施設に包絡される評価対象施設について 残留熱除去系海水系ストレーナ及び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、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。）室ルーフベントファン及び非常用ガス処理系排気筒については、他の評価対象施設の評価に包絡されるため、詳細検討は不要とする。包絡される根拠を以下に示す。また、各対象の位置を第2-2図に示す。</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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="952 262 1697 760" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1003 787 1644 823">第2-2図 他の評価対象施設に包絡される対象の位置</p> <p data-bbox="991 877 1712 1003">a. <u>残留熱除去系海水系ストレーナ及び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 data-bbox="1020 1012 1712 1272"><u>残留熱除去系海水系ストレーナ及び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。）用海水ストレーナは以下の理由により同じ海水ポンプ室内にあり動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ及び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。）用海水ポンプの評価に包絡される。</u></p> <ul data-bbox="1056 1283 1712 1766" style="list-style-type: none"> <u>・海水ポンプ室内にある機器の評価では、火災源から対象までの離隔距離を一律海水ポンプ室外壁までとしているため、離隔距離が同じとなる。海水ポンプとストレーナの位置を第2-3図に示す。</u> <u>・動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ及び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。）用海水ポンプは、受ける熱の躯体及び冷却空気への影響度を踏まえ、より影響が大きい冷却空気への評価を行っており、この躯体への熱影響の評価は、同じ材質であるストレーナに対しても同じ結果となる。</u> 		

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 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="943 264 1712 762" style="border: 2px solid black; height: 237px; width: 259px; margin-bottom: 10px;"></div> <p data-bbox="1071 789 1581 825" style="text-align: center;">第2-3図 海水ポンプとストレーナの位置</p> <p data-bbox="991 879 1709 1045">b. <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。）吸気口及び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。）室ルーフトファン</u></p> <p data-bbox="1018 1058 1709 1270"><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。）吸気口及び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。）室ルーフトファンは、以下の理由により、主排気筒の評価に包絡される。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1050 1283 1709 1449">・<u>同じ鋼材である主排気筒の方が、吸気口及びルーフトファンより火災源からの離隔距離が短く熱影響が大きい。敷地内の火災源から各対象までの離隔距離を第2-1表に示す。</u> <li data-bbox="1050 1461 1709 1587">・<u>ルーフトファンは、ディーゼル発電機室の排気を行う設備であり、熱影響を受けた排気が他の設備に影響を及ぼすことはない。</u> 		

第2-1表 敷地内の火災源から各対象までの離隔距離

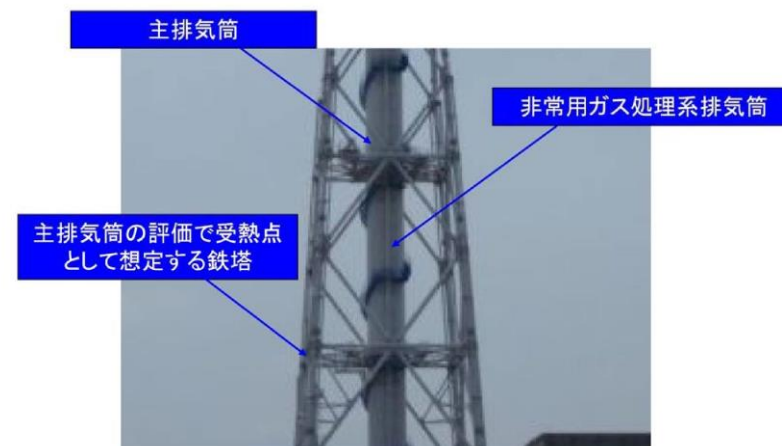
分類	火災源	火災源までの離隔距離	
		吸気口及び ルーフベントファン※1	主排気筒
森林火災	森林火災	267m	266m
敷地内 火災	溶融炉灯油タンク	—※2	21m
	主要変圧器	—※2	—※2
	所内変圧器	—※2	—※2
	起動変圧器	—※2	—※2
航空機火災	F-15	22m	22m

※1 火災源から、吸気口及びルーフベントファンが位置する原子炉建屋までの離隔距離
 ※2 火災源から対象が臨まない

c. 非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は、以下の理由により主排気筒の評価に包絡される。

- ・主排気筒の評価は、主排気筒周囲の鉄塔を評価点としているため、非常用ガス処理系排気筒より火災源からの離隔距離が短く、熱影響が大きい。主排気筒と非常用ガス処理系排気筒の位置を第2-4図に示す。
- ・主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒の熱影響の評価は、同じ材質である非常用ガス処理系排気筒の方が、離隔距離が長いため低い結果となる。

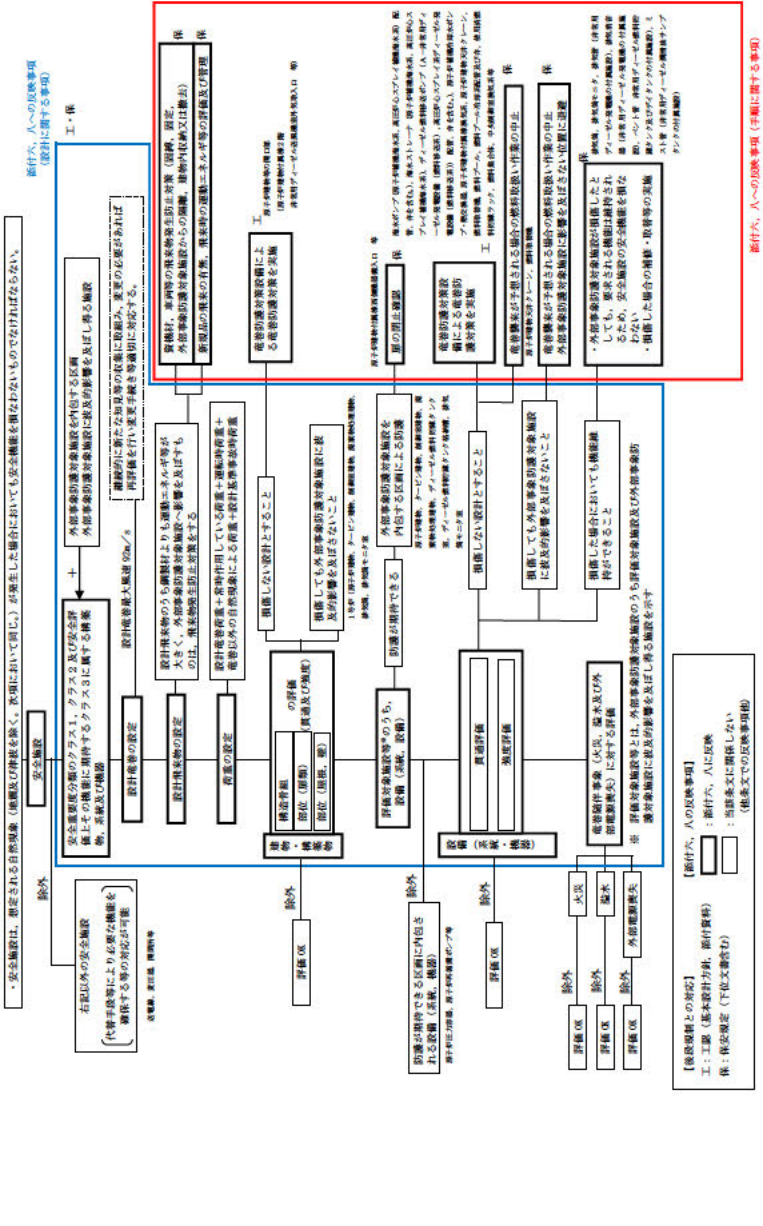
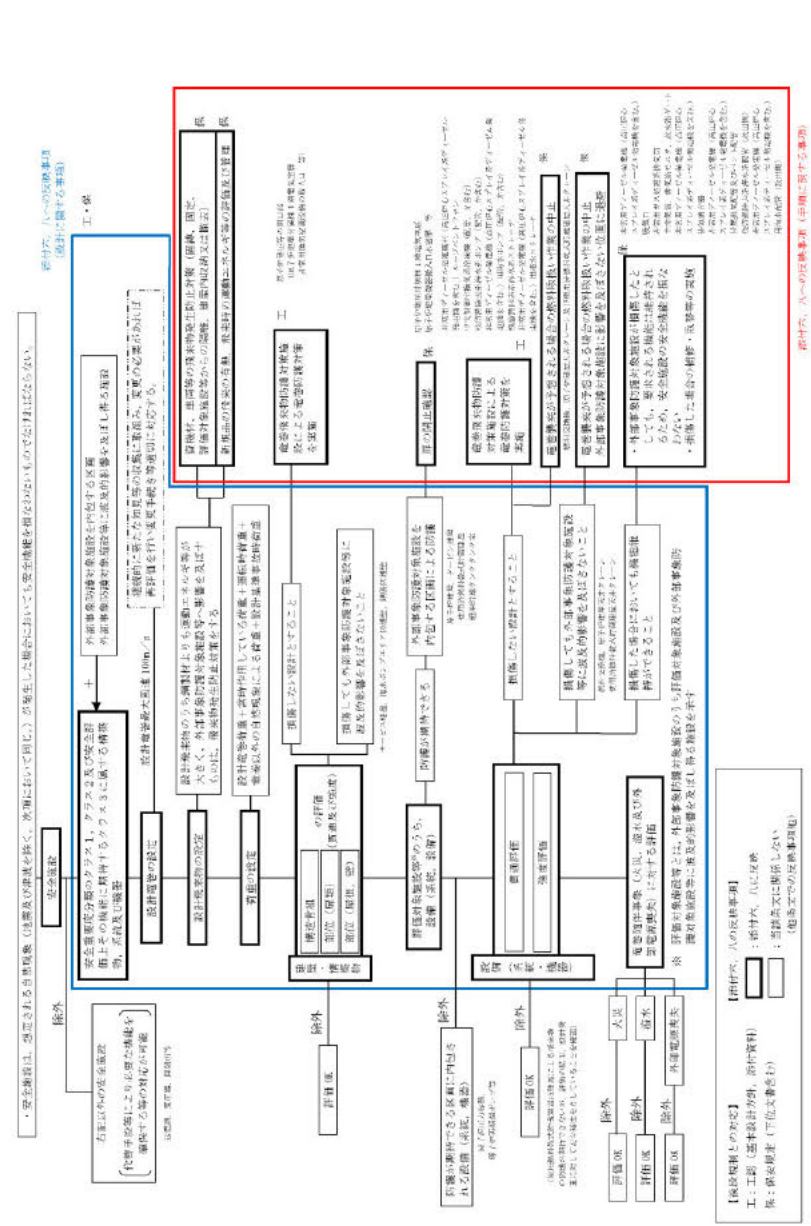


第2-4図 非常用ガス処理系排気筒と主排気筒の位置

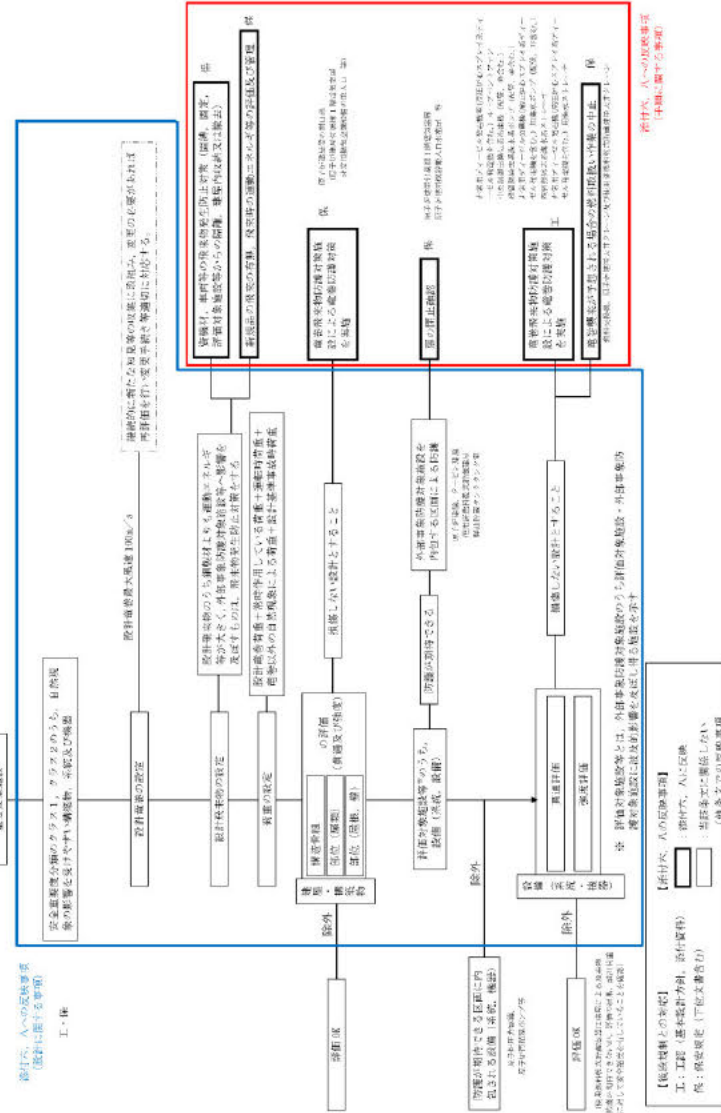
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.12版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3. <u>重大事故等対処設備について</u> <u>評価対象施設を外部火災から防護することにより、外部火災によって重大事故等の発生に至ることはない。</u> <u>また、重大事故等対処設備は、防火帯幅の確保及び建屋外壁等により防護する。</u></p> <p>4. <u>津波防護施設について</u> <u>以下の対応を行い、津波防護施設の機能維持を図る。</u> <u>・森林火災に対しては、離隔距離を確保する。</u> <u>・可燃物火災に対しては、散水を行い津波防護施設の温度上昇を抑制し、万が一、津波防護施設に熱影響が及んでいる可能性がある場合は、当該箇所の健全性を評価し、機能に支障がある場合は、プラントを停止し速やかに強度を保つよう補修を行う。</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>	

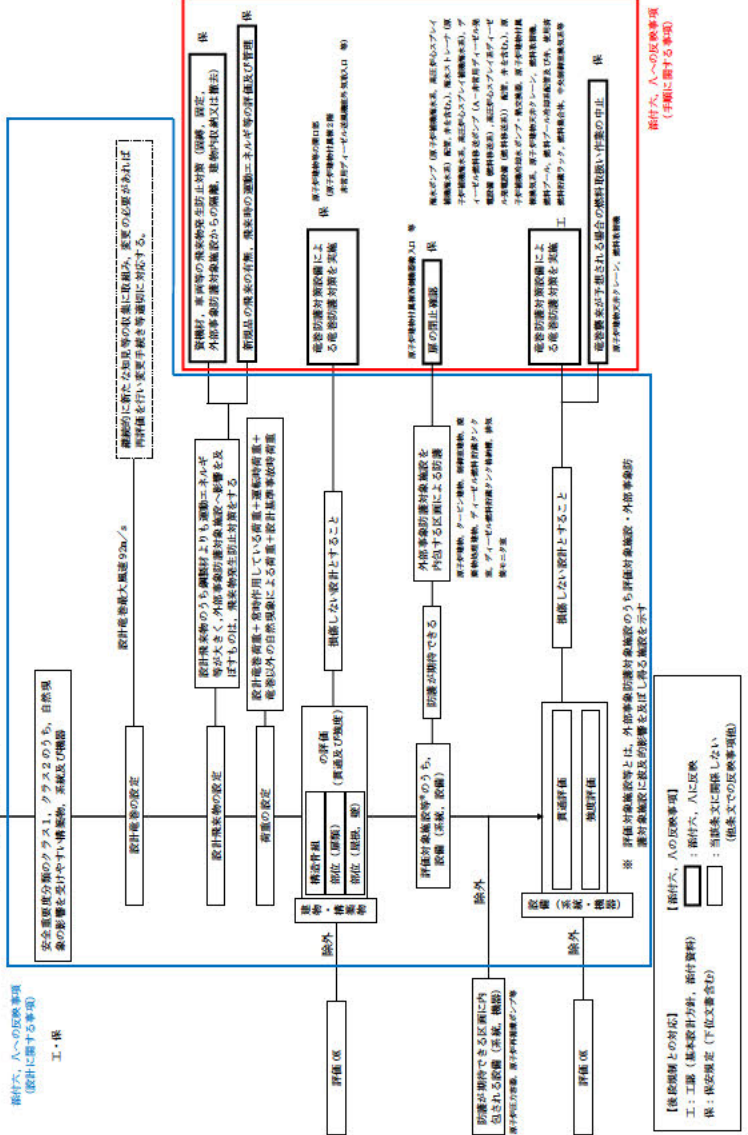


重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると思われる自然現象により当該重要安全施設に作用する事象及び対策と関連して発生する応力を適切に管理したものでなければならぬ。



設計六、八への反映事項
（詳細に示す事項）

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と思われる自然現象により当該重要安全施設に作用する事象及び対策と関連して発生する応力を適切に管理したものでなければならぬ。



設計六、八への反映事項
（詳細に示す事項）

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"> 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。 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 担当室による保守・点検の体制
		体制	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育

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"> 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。 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 担当箇所による保守・点検の体制
		体制	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育

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"> ・ 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"> 〔操作・確認事項〕 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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） ・ 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） ・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用，手順 ・ 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 〔補修〕 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 担当室による作業中止等の実施体制 ・ 担当室による扉閉止確認体制 ・ 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 ・ 担当室による保守・点検の体制 ・ 担当室による損傷箇所の補修体制
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 担当室による作業中止等の実施体制 ・ 担当室による扉閉止確認体制 ・ 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 ・ 担当室による保守・点検の体制 ・ 担当室による損傷箇所の補修体制
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常点検 ・ 定期点検 ・ 損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運用・手順，体制，保守・点検に関する教育

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"> ・ 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"> 〔操作・確認事項〕 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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） ・ 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） ・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の運用，手順 ・ 原子炉建物付風櫃西側機器搬入口等の閉止確認手順 〔補修〕 <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 担当箇所による作業中止等の実施体制 ・ 担当箇所による扉閉止確認体制 ・ 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 ・ 担当箇所による保守・点検の体制 ・ 担当箇所による損傷箇所の補修体制
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 担当箇所による作業中止等の実施体制 ・ 担当箇所による扉閉止確認体制 ・ 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 ・ 担当箇所による保守・点検の体制 ・ 担当箇所による損傷箇所の補修体制
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常点検 ・ 定期点検 ・ 損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運用・手順，体制，保守・点検に関する教育