柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

3. 危険距離及び温度評価

3.1 森林火災の想定

前述の 2.1 森林火災の想定と同じ。

3.2 森林火災による影響の有無の評価

(1) 評価手法の概要

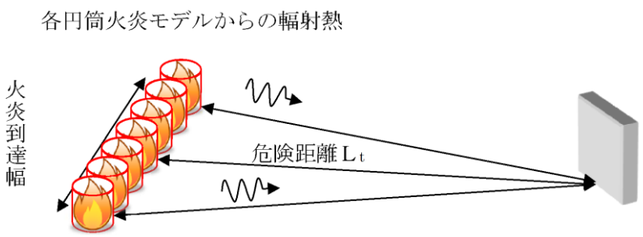
本評価は，輻射強度という指標を用いて，発電用原子炉施設に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 3.2-1 表　　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
火炎到達幅[m]	柏崎刈羽原子力発電所に到達する火炎の横幅
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	森林火災の火炎長より算出する値
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

森林火災の火炎形態については，土地の利用状況（森林，農地，居住地等の分布），地形（標高，傾斜角度等），気象条件（風向・風速，気温，湿度等）に大きく依存することから，これらをすべて反映した火炎モデル仮定することは難しい。したがって，森林火災の火炎は円筒火災をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。なお，危険距離の評価では，発電用原子炉施設への火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする（第 3.2-1 図）。



第 3.2-1 図　　円筒火炎モデルの並べ方

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

3.　危険距離及び温度評価

3.1.　森林火災の想定

前述の2.1.森林火災の想定と同じ。

3.2.　森林火災による影響の有無の評価

(1)　評価手法の概要

本評価は，輻射強度という指標を用いて，発電用原子炉施設に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

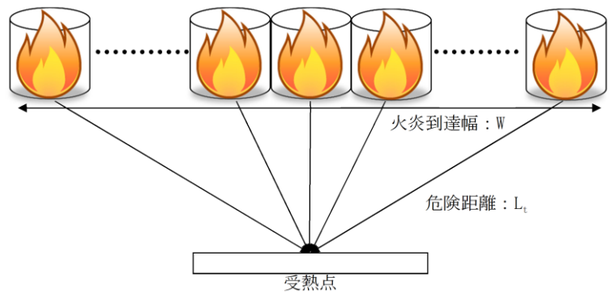
第3.2-1表　評価指標とその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火炎の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
火炎到達幅[m]	島根原子力発電所に到達する火炎の横幅
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	森林火災の火炎長より算出する値
危険距離[m]	火炎による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

森林火災の火炎形態については，土地の利用状況（森林，農地，居住地等の分布），地形（標高，傾斜角度等），気象条件（風向・風速，気温，湿度等）に大きく依存することから，これらをすべて反映した火炎モデルを仮定することは難しい。したがって，森林火災の火炎は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。なお，危険距離の評価では，発電用原子炉施設への火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

（第3.2-1図）。



第 3.2-1 図　円筒火炎モデルの並べ方

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は柏崎刈羽原子力発電所に迫る森林火災とした。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3.2-2 表　　森林火災影響評価に必要なデータ

評価項目	ケース１	ケース２	ケース３
火炎輻射発散度[kW/m²]	94.8	100	78.8
火炎輻射強度[kW/m²]	205	211	222
火線強度[kW/m]	2715	3002	1929
反応強度[kW/m²]	544	560	591
火炎長[m]	2.94	3.08	2.51
火炎到達幅[m]	3730		
燃焼継続時間[min]※1	52	51	57
危険輻射強度[kW/m²]	15.441	15.477	15.275

※1：防火帯周辺の森林（奥行き 100m）が燃える平均時間

(4) 燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径を算出する。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

$$R = \frac{H}{3}$$

R:燃焼半径[m]，H:火炎長[m]

(5) 円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数を算出する。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

$$F = \frac{W}{2R}$$

F：円筒火炎モデル数［-］，W：火炎到達幅［m］，R：燃焼半径[m]

(6) 火炎輻射発散度の算出

火災で発生する発熱量から輻射熱に寄与する割合（輻射熱割合）を考慮し，その輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定し，円筒火炎の火炎輻射発散度 Rf[kW/m²]を求める。発熱量が保存されるため，以下の式で表現できる。

</td>
<td></td>
<td>

(2)　評価対象範囲

評価対象範囲は島根原子力発電所に迫る森林火災とした。

(3)　評価に必要なデータ

評価に必要なデータを以下に示す。

第3.2-2表　森林火災影響評価に必要なデータ

項目	ケース１	ケース２	ケース３	ケース４	ケース５
火炎輻射発散度[kW/m²]	118	99.5	46.9	49.3	52.4
火炎輻射強度[kW/m²]	364	288	346	279	345
火線強度[kW/m]	4,154	3,057	734	811	931
反応強度[kW/m²]	980	776	917	739	930
火炎長[m]	3.6	3.2	1.7	1.7	1.8
火炎到達幅[m]	4,870				
燃焼継続時間[min]※1	23	21	82	81	77
危険輻射強度[kW/m²]	20.265	20.537	17.635	17.652	17.725

※1：防火帯周辺の森林（奥行き50m）が燃える平均時間

(4)　燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径を算出する。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

$$R = \frac{H}{3}$$

R：燃焼半径[m]，H：火炎長[m]

(5)　円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数を算出する。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

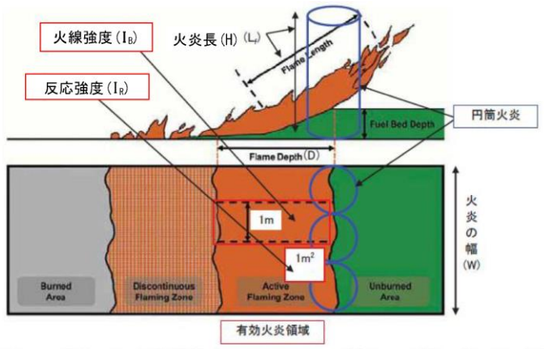
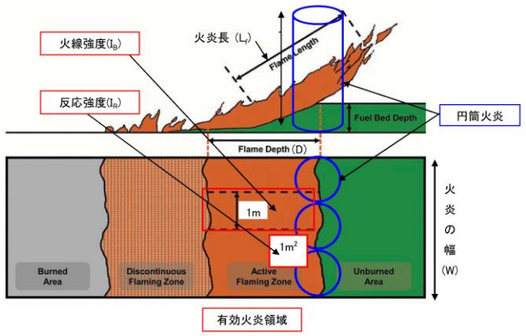
$$F = \frac{W}{2R}$$

F：円筒火炎モデル数［-］，W：火炎到達幅[m]，R：燃焼半径[m]

(6)　火炎輻射発散度の算出

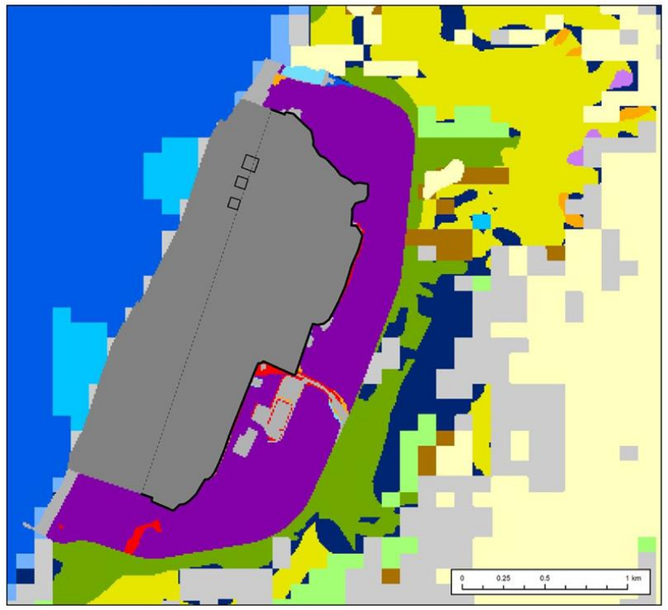
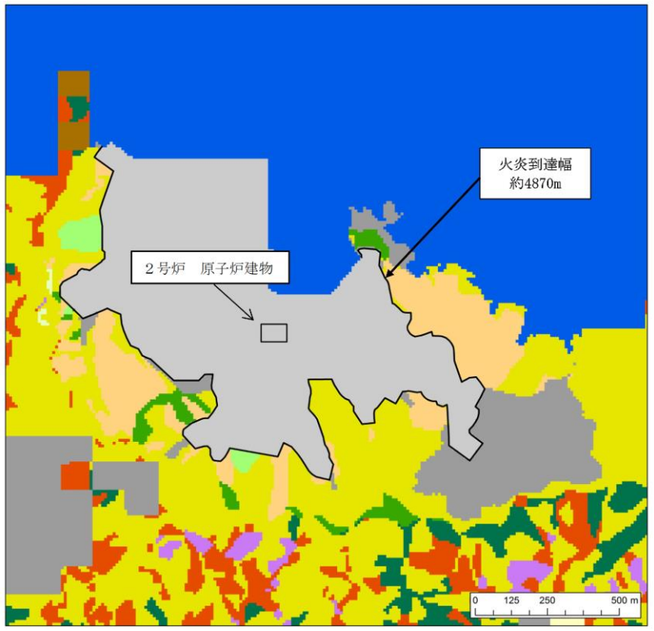
火災で発生する発熱量から輻射熱に寄与する割合（輻射熱割合）を考慮し，その輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定し，円筒火炎の火炎輻射発散度 Rf[kW/m²]を求める。発熱量が保存されるため，以下の式で表現できる。

</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
（円筒火炎１個の側面積＋上部面積[m²]）×円筒火炎個数×火炎輻射発散度[kW/m²]＝火線強度[kW/m]×火炎到達幅[m]×輻射熱割合[-] $\left(2\pi RH+\pi R^2\right)\times F\times Rf=I_B\times W\times\chi$ また，上記(4)(5)の式より，以下の式が求まる。火線強度は 2.2 森林火災による影響の有無の評価で算出された値を用いた。算出結果を第 3.2-4 表に示す。 $Rf=\frac{6\chi I_B}{7\pi H}$ Rf：火炎輻射発散度[kW/m²]，IB：火線強度 [kW/m]，H：火炎長 [m] ＜火炎輻射発散度の算出方法＞ 火線強度（IB）[kW/m]は，第 3.2-2 図に示すような火炎構造（幅 W[m]，奥行き D[m]，火炎長 H[m]）において「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度」と定義でき，反応強度（IR）[kW/m²]とは次の関係にある。 $I_B = I_R\times D$　・・・・・・式①  （出典：Andrews, P.L., et. al.(2011)：How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.） 第 3.2-2 図　　火線強度及び円筒火炎モデルの考え方		（円筒火炎１個の側面積+上部面積[m²]）×円筒火炎個数×火炎輻射発散度[kW/m²]＝火線強度[kW/m]×火炎到達幅[m]×輻射熱割合[-] $\left(2\pi RH+\pi R^2\right)\times F\times Rf=I_B\times W\times\chi$ また，上記(4)(5)の式より，以下の式が求まる。火線強度は 2.2.森林火災による影響の有無の評価で算出された値を用いた。算出結果を第 3.2-4 表に示す。 $Rf=\frac{6\chi I_B}{7\pi H}$ Rf:火炎輻射発散度[kW/m²]，I_B:火線強度[kW/m]，H:火炎長[m] ＜火炎輻射発散度の算出方法＞ 火線強度(I_B) [kW/m]は，第 3.2-2 図に示すような火炎構造(幅:W[m]，奥行き:D[m]，火炎長:L_f[m])において「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度」と定義でき，反応強度：I_R [kW/m²]とは次の関係にある。 $I_B=I_R\times D$　・・・・・・式①  （出典：Andrews, P.L., et. al.(2011)：How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.） 第 3.2-2 図　火線強度及び円筒火炎モデルの考え方	

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
火炎輻射発散度を計算するための円筒火炎モデルでは，第3.2-2 図の有効火炎領域を，火炎の幅（W）に沿って円筒火炎（半径 R[m]，高さ H[m]）を F 個一列に並べて模擬する。ここで，有効火炎領域の発熱量のうち輻射熱割合χ[-]を考慮し，円筒火炎の側面及び上面からの輻射熱として放射されるとして，発熱量が保存されるよう火炎輻射発散度を求める。円筒火炎での火炎輻射発散度を Rf[kW/m²]とすると，有効火炎領域の発熱量は保存されることから，以下の式で表現できる。 総発熱量（側面，上面からの輻射）[kW] ＝火線強度[kW/m]×火炎到達幅[m]×輻射熱割合[-]より $$\left(2\pi RH+\pi R^2\right)\times F\times Rf=I_B\times W\times\chi\left(=I_R\times D\times W\times\chi\right)$$ (2) また，評価ガイドより，円筒火炎モデルは $R=H/3$ (3) $F=W/2R$ (4) と定義されるので，(3)，(4)式を(2)式に代入することにより，次式が得られる。 $$Rf=\frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$ (5) 発電所敷地近傍には草地，針葉樹，落葉広葉樹がある。そのため，輻射熱割合は，草地：0.35（米国国立標準技術研究所(NIST)の使用値），針葉樹：0.377 並びに落葉広葉樹：0.371（米国防火技術者協会（SFPE）が発行しているハンドブック（THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION）より算出）のうち保守的に最も大きい値である 0.377 を採用した。 なお，反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギー（火炎輻射強度）と火炎・煙として対流放出される熱エネルギー（火炎対流発散度）の和により求められることから，針葉樹の輻射熱割合（0.377）は，針葉樹代表種の火炎輻射強度：4.9[kJ/g]と反応強度：13.0[kJ/g]の比（反応強度に対す		火炎輻射発散度を計算するための円筒火炎モデルでは，第3.2-2 図の有効火炎領域を，火炎の幅：W[m]に沿って円筒火炎（半径:R[m]，高さ:H[m]）をＦ個一列に並べて模擬する。ここで，有効火炎領域の発熱量のうち輻射熱割合χ[-]を考慮し，円筒火炎の側面及び上面からの輻射熱として放射されるとして，発熱量が保存されるように火炎輻射発散度を求める。円筒火炎での火炎輻射発散度を Rf[kW/m²]とすると有効火炎領域の発熱量は保存されることから，以下の式で表現できる。 総発熱量(側面，上面からの輻射[kW]) ＝火線強度[kW/m]×火炎到達幅[m]×輻射熱割合[-]より $$\left(2\pi RH+\pi R^2\right)\times F\times Rf=I_B\times W\times\chi\left(=I_R\times D\times W\times\chi\right)$$ ・・・・・・式② また，評価ガイドより，円筒火炎モデルは $R=H/3$ ・・・・・・式③ $F=W/2R$ ・・・・・・式④ と定義されているので，③，④式を②式に代入することにより，次の式が得られる。 $$Rf=\frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$ ・・・・・・式⑤ 発電所敷地近傍には，針葉樹，落葉広葉樹がある。そのため，輻射熱割合は，針葉樹：0.377 及び落葉広葉樹：0.371（米国防火技術者協会（SFPE）が発行しているハンドブック（THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION）より算出）を発火点周辺の植生に合わせ，以下のとおり採用した。 発火点１，２，５：0.371（落葉広葉樹） 発火点３，４　　：0.377（針葉樹） なお，反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギー（火炎輻射強度）と火炎・煙として対流放出される熱エネルギー（火炎対流発散度）の和により求められることから，針葉樹の輻射熱割合（0.377）は，針葉樹代表種の火炎輻射強度：4.9[kJ/g]と反応強度：13.0[kJ/g]の比（反応強度に対す	・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，植生に合わせた値を使用するため，針葉樹だけでなく，広葉樹も記載

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
る火炎輻射強度の割合）から算出した。 針葉樹代表種の発熱量 火炎輻射強度：4.9[kJ/g]＋ 火炎対流発散度：8.1[kJ/g]＝反応強度 13.0[kJ/g] （ΔHrad）　（ΔHcon）　（ΔHch） 輻射熱割合 $\frac{\Delta Hrad}{\Delta Hch} = \frac{4.9\ [kJ/g]}{13.0\ [kJ/g]} = 0.377$ また，火炎輻射強度については，輻射熱割合が火炎輻射強度と反応強度の比であることから，これに反応強度を乗じることにより算出する。 (7) 火炎到達幅の算出 火炎到達幅を第 3.2-3 図の黒線で示す。6 号及び 7 号炉東面から見える林縁（防火帯森林側）の長さを火炎到達幅とする。		る火炎輻射強度の割合）から算出した。同様に，落葉広葉樹の輻射熱割合（0.371）は，落葉広葉樹代表種の火炎輻射強度：4.6[kJ/g]と反応強度：12.4[kJ/g]の比（反応強度に対する火炎輻射強度の割合）から算出した。 針葉樹代表種 火炎輻射強度 4.9[kJ/g]＋火炎対流発散度 8.1[kJ/g]＝反応強度 13.0[kJ/g] 輻射熱割合（針葉樹）＝火炎輻射強度 4.9[kJ/g]／反応強度 13.0[kJ/g] ＝0.377 落葉広葉樹代表種 火炎輻射強度4.6[kJ/g]＋火炎対流発散度7.8[kJ/g]＝反応強度12.4[kJ/g] 輻射熱割合（落葉広葉樹）＝火炎輻射強度4.6[kJ/g]／反応強度12.4[kJ/g] ＝0.371 また，火炎輻射強度については，輻射熱割合が火炎輻射強度と反応強度の比であることから，これに反応強度を乗じることにより算出する。 (7)　火炎到達幅の算出 火炎到達幅を第 3.2-3 図の黒線で示す。FARSITE 評価で延焼した敷地内の林縁（防火帯森林側）の長さを火炎到達幅とする。	・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，植生に合わせた値を使用するため，針葉樹だけでなく，広葉樹も記載

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 3.2-3 図　　火炎到達幅 (8) 燃焼継続時間の算出 燃焼継続時間は，林縁周辺 100m の森林が燃える時間とし，FARSITE 計算結果から次の計算式により算出する。 燃焼継続時間[h]＝林縁の奥行き÷延焼速度 林縁奥行：100[m] 延焼速度：林縁から 100m 以内の延焼速度の平均値 (9) 危険輻射強度の算出 火災の燃焼継続時間の間一定の輻射熱が外壁面に入熱した場合を仮定し，外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し，以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，コンクリートの表面温度が許容限界温度 200℃に達する輻射強度を危険輻射強度として求める（第 3.2-4 図，第 3.2-5(a)(b)(c)図）。		 第 3.2-3 図　火炎到達幅 (8)　燃焼継続時間の算出 燃焼継続時間は，林縁から 50m の範囲の森林が燃える時間とし，FARSITE 計算結果から次の計算式により算出する。 燃焼継続時間[h]　＝　林縁奥行　÷　延焼速度 林縁奥行：50[m] 延焼速度：林縁から50m以内の延焼速度の平均値 (9)　危険輻射強度の算出 火災の燃焼継続時間の間，一定の輻射熱が外壁面に入熱した場合を仮定し，外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し，以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，コンクリートの表面温度が許容限界温度 200℃に達する輻射強度を危険輻射強度として求める。 （第 3.2-4 図，第 3.2-5(a)(b)(c)(d)(e)図）	・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 防火帯幅は，防火帯外縁での火線強度から算出することとし，外縁から一定距離の範囲を考慮し評価

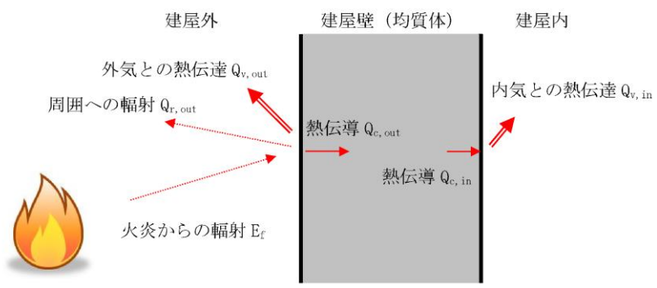
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

$$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，ｔ ：時刻，ｘ ：建物壁内における外面からの距離，
α：熱拡散率
以下に使用したパラメータを示す。

第 3.2-3 表　　輻射強度算出時の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 ℃	日射の影響を考慮し設定
内気温度	45 ℃	非常用ディーゼル発電機室最高温度
外面熱伝達率	62.595 W/m²K	Jurges の式より（風速 16m/s）
内面熱伝達率	3.4883 W/m²K	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
熱拡散率	8.42×10^{-7} m²/s	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
壁面の厚さ	1.5 m	建屋外壁厚さの最大値



第 3.2-4 図　　建屋温度評価体系図

東海第二発電所（2018.9.12 版）

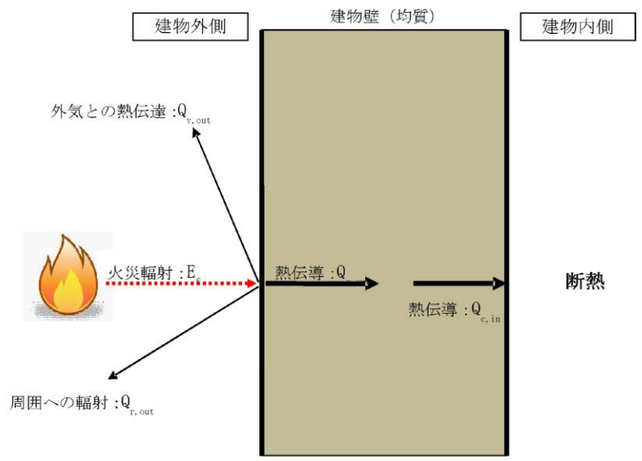
島根原子力発電所　２号炉

$$\frac{dT}{dt}=\kappa\frac{d^2T}{dx^2}$$

T:温度，ｔ：時刻，ｘ：建物壁内における外面からの距離，
κ：熱拡散率
以下に使用したパラメータを示す。

第3.2-3表　輻射強度算出の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 ℃	日射の影響を考慮し設定
内気温度	－	保守的に内気への熱伝達がない条件としているため，本数値は評価結果に影響しない。
外面熱伝達率	80.53 W/m²K	ユルゲスの式より（風速22.1m/s）
内面熱伝達率	0W/m²K（断熱）	保守的にコンクリートから内気に熱伝達がない断熱条件とした。
熱拡散率：κ（κ=k/(ρ・c)）	8.42×10^{-7} m²/s	コンクリート 比熱 c =879.1J/(kg・K) 密度 ρ =2,200kg/m³ 熱伝導率 k =1.628W/(m・K)
壁面の厚さ	0.5 m	各建物のうち最も薄い厚さ

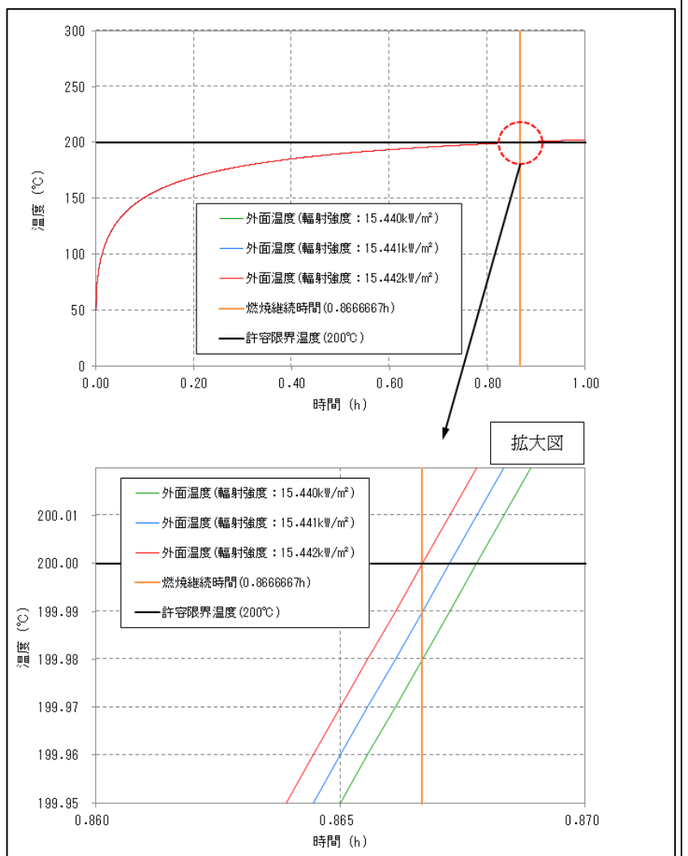


第 3.2-4 図　建物温度評価体系図

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7】
　島根 2 号炉は，壁面と内気との熱伝達が無い断熱条件として評価を実施

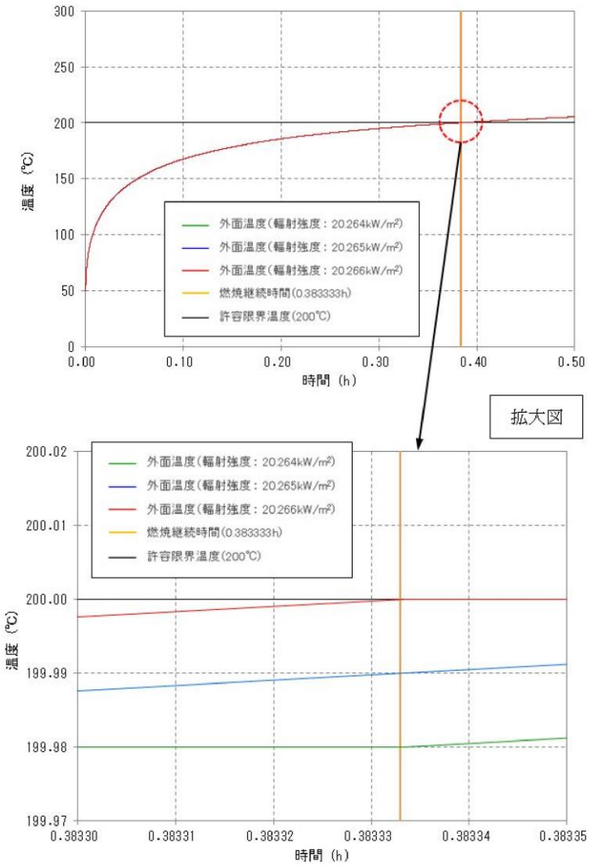
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



燃焼継続時間(0.8666667h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	15.440	0.8666667	199.98
2	15.441	0.8666667	199.99
3	15.442	0.8666667	200.00

第 3.2-5(a)図　危険輻射強度の算出（ケース 1）

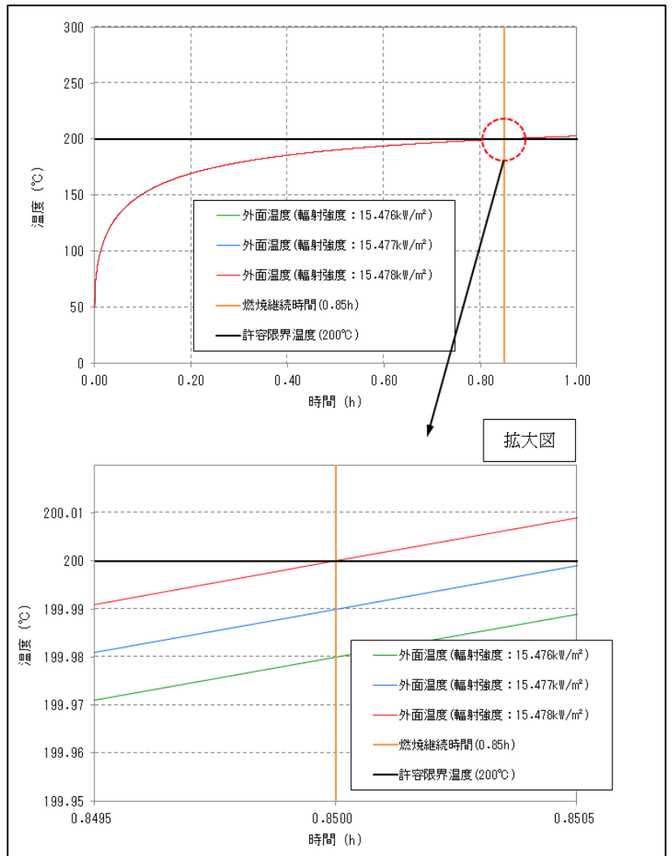


燃焼継続時間(0.383333h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [min]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	20.264	23	0.383333	199.98
2	20.265	23	0.383333	199.99
3	20.266	23	0.383333	200.00

第 3.2-5(a)図　危険輻射強度の算出（ケース１）

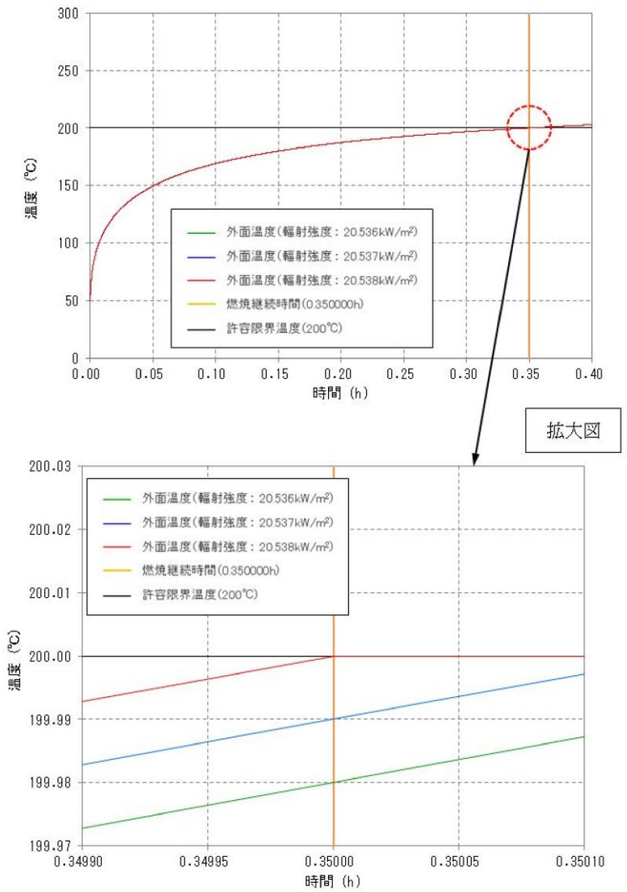
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



燃焼継続時間(0.85h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	15.476	0.85	199.98
2	15.477	0.85	199.99
3	15.478	0.85	200.00

第 3.2-5(b)図　危険輻射強度の算出（ケース 2）

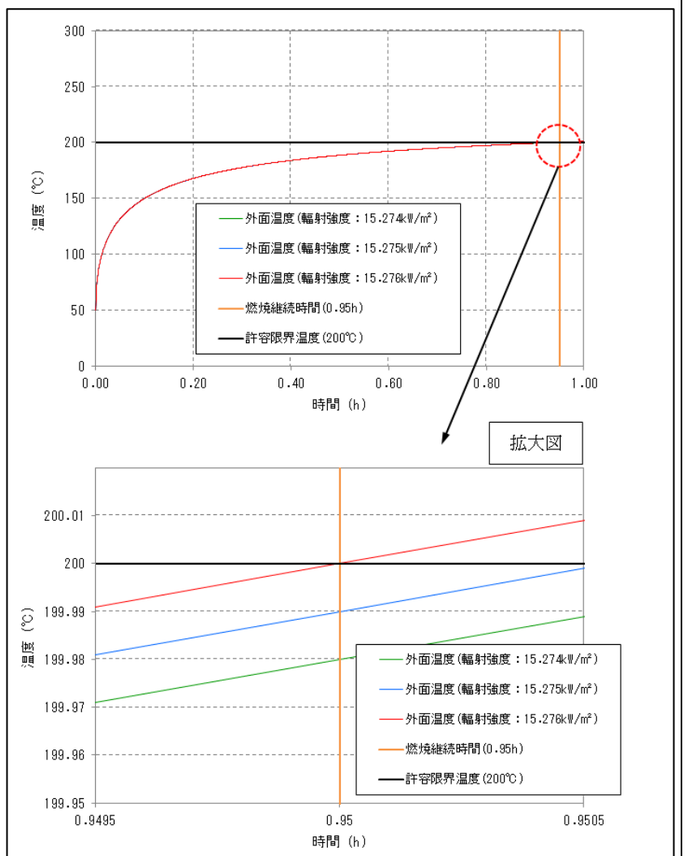


燃焼継続時間(0.350000h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [min]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	20.536	21	0.350000	199.98
2	20.537	21	0.350000	199.99
3	20.538	21	0.350000	200.00

第 3.2-5(b)図　危険輻射強度の算出（ケース２）

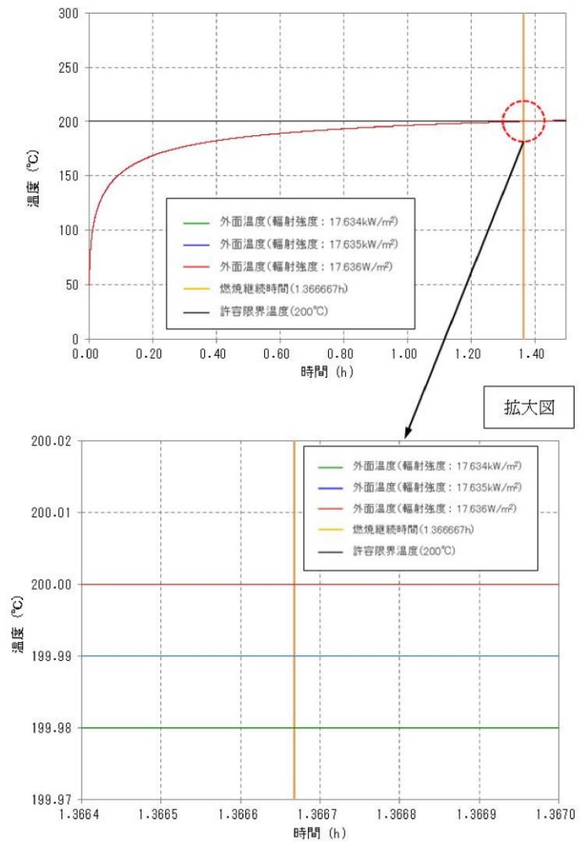
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



燃焼継続時間(0.95h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	15.274	0.95	199.98
2	15.275	0.95	199.99
3	15.276	0.95	200.00

第 3.2-5(c)図　危険輻射強度の算出（ケース 3）

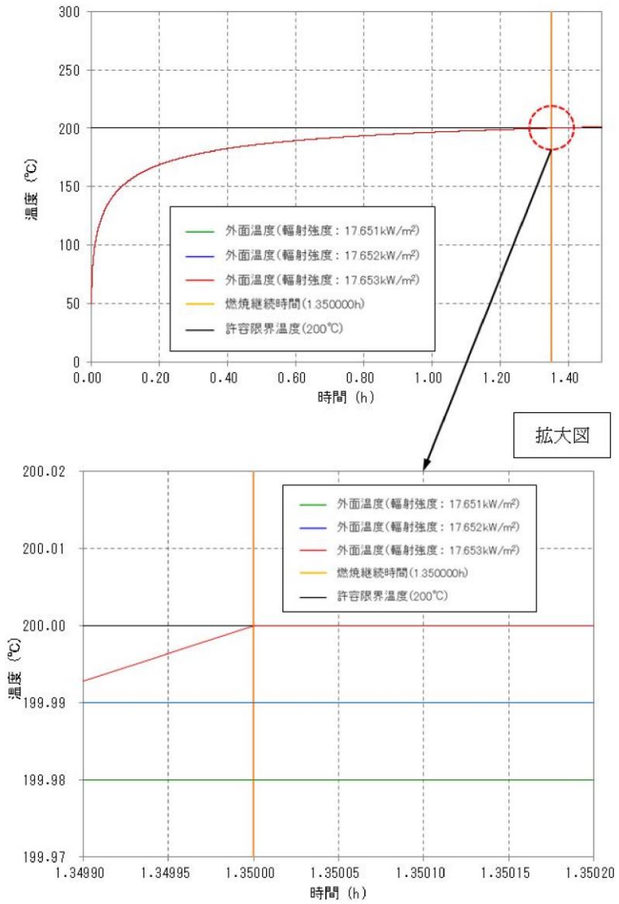


燃焼継続時間(1.366667h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [min]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	17.634	82	1.366667	199.98
2	17.635	82	1.366667	199.99
3	17.636	82	1.366667	200.00

第 3.2-5(c)図　危険輻射強度の算出（ケース３）

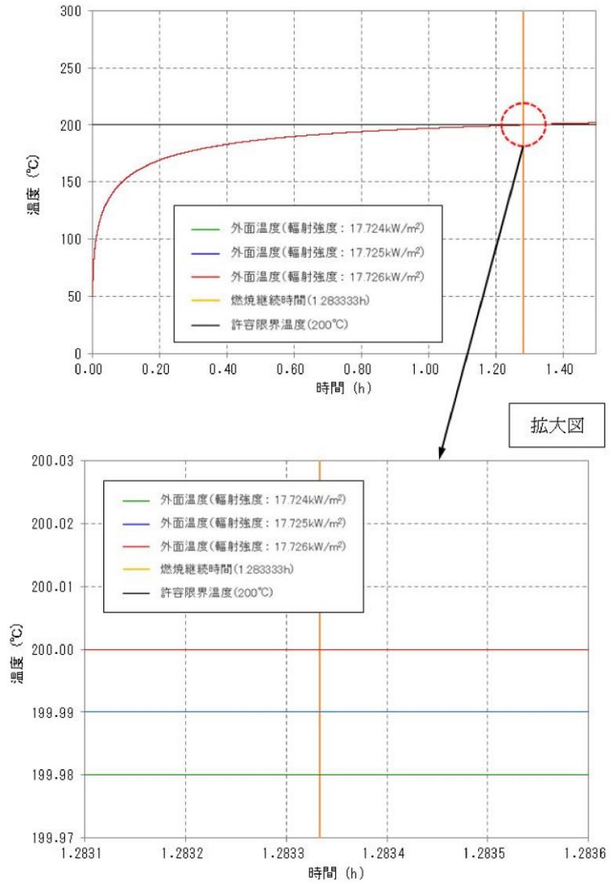
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



燃焼継続時間(0.1333h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度)

No.	輻射強度 [kW/m²]	時間 [min]	時間 [h]	外面温度 [℃]
1	17.651	81	1.350000	199.98
2	17.652	81	1.350000	199.99
3	17.653	81	1.350000	200.00

第 3.2-5(d)図　危険輻射強度の算出（ケース４）

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
		 燃焼継続時間(0.1333h)で外面最高温度が200℃未満になる輻射強度(=危険輻射強度) No. / 輻射強度 [kW/m²] / 時間 [min] / 時間 [h] / 外面温度 [℃] 1 / 17.724 / 77 / 1.283333 / 199.98 2 / 17.725 / 77 / 1.283333 / 199.99 3 / 17.726 / 77 / 1.283333 / 200.00 第 3.2-5(e)図　危険輻射強度の算出（ケース５）	

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
(10) 形態係数の算出 次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出した。算出結果を第 3.2-4 表に示す。 $\phi_i = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ ただし，$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L_i}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$ ϕ_i：各円筒火炎モデルの形態係数，L_i：離隔距離[m]， H：火炎長[m]，R：燃焼半径[m] したがって，各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が，発電用原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕt となる。 $\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots)$ ϕ_t:各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値 なお，1，2，3，･･･，F の円筒火炎モデル数の合計は F 個となる。 (11) 危険距離の算出 輻射熱に対する発電用原子炉施設の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離を確保するものとする。 火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，火炎輻射発散度に形態係数をかけた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。 $E = Rf \cdot \phi$ E：輻射強度［kW/m²］，Rf：火炎輻射発散度［kW/m²］， ϕ：形態係数[-] $\phi > \phi_t$ となる最大の距離として危険距離を算出する。算出結果を第 3.2-4 表 に示す。		(10)　形態係数の算出 次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出した。算出結果を第 3.2-4 表に示す。 $\phi_i = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ ただし，$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L_i}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$ ϕ_i：各円筒火炎モデルの形態係数，L_i：離隔距離[m]， H：火炎長[m]，R：燃焼半径[m] したがって，各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が，発電用原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。 $\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots)$ ϕ_t:各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値 なお，１，２，３，・・・，F の円筒火炎モデル数の合計はF 個となる。 (11)　危険距離の算出 輻射熱に対する発電用原子炉施設の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離を確保するものとする。 火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，火炎輻射発散度に形態係数をかけた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。 $E = R_f \cdot \phi$ E: 輻射強度［kW/m²］，R_f:火炎輻射発散度［W/ m²］， ϕ:形態係数［-］ $\phi > \phi_t$ となる最大の距離として危険距離を算出する。算出結果を第3.2-4　表に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(12) 危険距離の評価結果

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）に対し，柏崎刈羽原子力発電所に設置される防火帯の外縁（火炎側）から発電用原子炉施設の間の離隔距離（約 439m）が危険距離以上あることを確認した。

第 3.2-4 表　　危険距離の評価に伴う評価項目

評価項目	ケース１	ケース２	ケース３
燃焼半径[m]	0.98	1.02	0.83
火炎円筒モデル数[-]	1900	1815	2224
火炎輻射発散度[kW/m²]	94.8	100	78.8
火炎輻射強度[kW/m²]	205	211	222
形態係数[-]	0.162	0.154	0.194
燃焼継続時間[min]	52	51	57
危険輻射強度[kW/m²]	15.441	15.477	15.275
危険距離[m]	19	21	14

東海第二発電所（2018.9.12 版）

4.3　熱影響と危険距離の評価

評価対象施設に対して，森林火災による熱影響評価を行った。

4.3.1　パラメータの算出

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第 4.3.1-1 表，ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データを第 4.3.1-2 表，温度評価の流れを第 4.3.1-1 図に示す。

第 4.3.1-1 表　温度評価に用いたデータ内容

項　目		内　容
FARSITE 解析結果	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該当地点に到達するまでの時間。火炎継続時間の算出に使用する。
	反応強度 (kW/m²)	単位面積当たりの熱放出速度であり，火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
FARSITE 解析結果より算出したデータ	火炎継続時間 (hr)	到達時間から算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	火炎輻射強度 (kW/m²)	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	燃焼半径 (m)	火炎長に基づき算出され，円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
	火炎到達幅 (m)	防火帯外縁における火炎到達セル数×セル幅（10m）

島根原子力発電所　２号炉

(12)　危険距離の評価結果

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（22m）に対し，島根原子力発電所に設置される防火帯の外縁（火炎側）から発電用原子炉施設の間の離隔距離（約 140m）が危険距離以上あることを確認した。

第 3.2-4 表　危険距離の評価に伴う評価項目

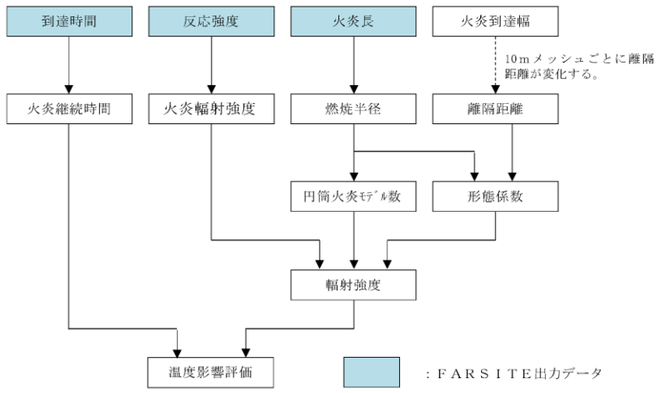
評価項目	ケース１	ケース２	ケース３	ケース４	ケース５
燃焼半径[m]	1.193	1.037	0.537	0.563	0.600
火炎円筒モデル数[-]	2,041	2,349	4,538	4,323	4,059
火炎輻射発散度[kW/m²]	118	99.5	46.9	49.3	52.4
形態係数[－]	0.172	0.205	0.371	0.357	0.333
燃焼継続時間[min]	23	21	82	81	77
危険輻射強度[kW/m²]	20.265	20.537	17.635	17.652	17.725
危険距離[m]	22	16	5	5	6

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 4.3.1-2 表　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データ

項 目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m^2)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330

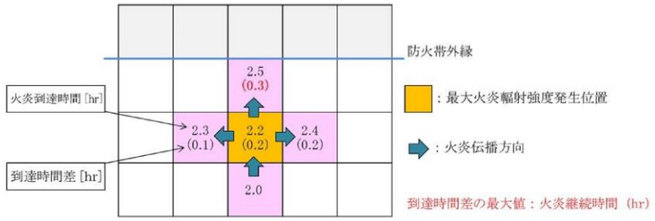


第 4.3.1-1 図　温度評価流れ図

(1)　火炎継続時間

最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2 つ以上の伝播方向がある場合は，最大時間を選択する。火炎継続時間の概念図を第 4.3.1-2 図に示す。

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>



第 4.3.1-2 図　火炎継続時間の概念図

(2)　火炎輻射強度

火炎輻射強度はＦＡＲＳＩＴＥ出力データである反応強度から算出する。

反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギと，火炎・煙として対流放出される熱エネルギの和から求められることから，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求めることで，反応強度から火炎輻射強度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出する。

東海第二発電所の周囲は，針葉樹で囲まれていることから，針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を第 4.3.1-3 表に示す。

反応強度（W／m^2）＝火炎輻射強度（W／m^2）＋火炎対流発散度（W／m^2）

第 4.3.1-3 表　火炎輻射強度と反応強度の発熱量

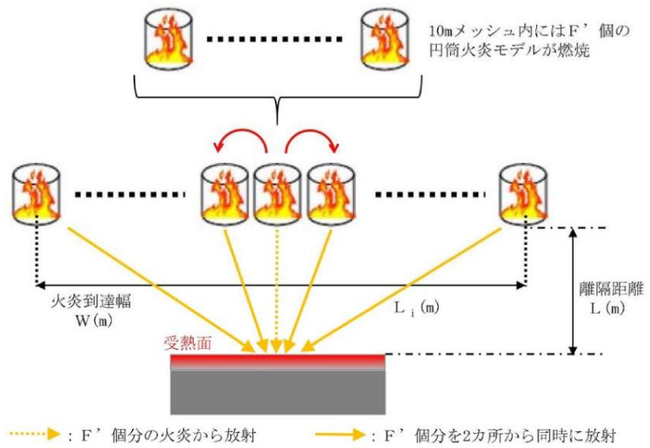
発熱量（⊿H）	火炎輻射強度（⊿Hrad）	火炎対流発散度（⊿Hcon）	反応強度（⊿Hch）	係数（⊿Hrad/⊿Hch）
レッドオーク 発熱量（落葉広葉樹の代表種）	4.6kJ／g	7.8kJ／g	12.4kJ／g	0.371
米松 発熱量（針葉樹の代表種）	4.9kJ／g	8.1kJ／g	13.0kJ／g	0.377

※：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」
（SFPE：米国防火技術者協会）より

</td><td></td></tr>
</table>

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
	(3)　燃焼半径 燃焼半径は，火炎長から算出する。 $R = \frac{H}{3}$ R：燃焼半径(m)　　H：火炎長さ(m) (4)　火炎到達幅 発電所周囲の森林境界に到達した火炎のセル数×10m（セル幅）を火炎到達幅 W として算出する。 (5)　円筒火炎モデル数 円筒火炎モデル数及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数を，火炎到達幅，燃焼半径から算出する。 $F = \frac{W}{2R}$　　$F' = \frac{10}{2R}$ F　：円筒火炎モデル数　　W ：火炎到達幅(m) F’　：円筒火炎モデル数(10m メッシュ)　R ：燃焼半径(m) (6)　形態係数の算出 外部火災の影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。各円筒モデルから受熱面までの距離が異なるため，各円筒火炎モデルにおける形態係数を算出する。 $\phi_i = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left[\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right) - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right)\right]$ $m = \frac{H}{R}$，$n = \frac{L_i}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ_i：円筒火炎モデルの形態係数 L_i：離隔距離（m），H：火炎長（m） R　：燃焼半径（m） (7)　輻射強度の算出 10m メッシュ内には燃焼半径から算出した F’　個の火炎が存在するものとして，受熱面への輻射強度を算出する。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>$E_0=\varnothing_0\times F'\times R_f$　（中心火炎の場合）
$E_i=\varnothing_i\times F'\times R_f\times 2$　（中心以外の火炎の場合）
$\varnothing_i$：形態係数
R_f：最大火炎輻射強度(kW／m^2)
F’：円筒火炎モデル数（10m メッシュ）

(8)　温度評価条件
受熱面への輻射強度は，円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べて，各々の輻射強度を積算し評価した。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが，本評価では保守的に最大火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間である。円筒火炎モデルの概念図を第 4.3.1-3 図に示す。
 

第 4.3.1-3 図　円筒火炎モデルの概念図

4.3.2　熱影響評価
4.3.2.1　建屋外壁の熱影響評価
(1)　影響評価対象範囲
評価対象施設の外壁について，森林火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を用いて評価を行う。評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.1-1 図，第 4.3.2.1-1 表に示す。</td>
<td>3.3 建屋外壁の温度評価
本評価で用いる許容限界温度は，一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。
火災の進展により原子炉建屋外壁面が受ける輻射熱は，FARSITE による森林火災解析結果から，1 メッシュ（10m×10m）ごとに火炎長，単位面積当り発熱量及び火炎到達時間が出力されるので，メッシュごとに円筒火炎モデルを並べ（円筒火炎の</td>
<td>3.3.　建物外壁の温度評価
本評価で用いる許容限界温度は，一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。
火災の進展により原子炉建物外壁面が受ける輻射熱は，FARSITE による森林火災解析結果から，1 メッシュ(10m×10m)ごとに火炎長，単位面積当たりの発熱量及び火炎到達時間が出力されるので，メッシュごとに円筒火炎モデルを並べ（円</td>
<td></td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

直径が 1m であれば，1 メッシュに 10 個の円筒火炎を考慮），各メッシュに火炎が到達してから燃え尽きるまでの間輻射に寄与するとして受熱点の輻射強度を積算する。受熱点への輻射強度計算方法の概念を第 3.3-1 図に示す。

外壁面の温度は，外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する（第 3.3-2 図）。原子炉建屋外壁表面の温度は約 55℃となり，森林火災の熱影響に対して許容温度以下であることを確認した（第 3.3-2 表，第 3.3-3(a)(b)(c)図）。

$$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t ：時刻，x ：建物壁内における外面からの距離，α：熱拡散率

以下に使用したパラメータを示す。

第 3.3-1 表　　建屋外壁温度算出時の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 ℃	日射の影響を考慮し設定
内気温度	45 ℃	非常用ディーゼル発電機室最高温度
外面熱伝達率	62.595 W/m²K	Jurges の式より（風速 16m/s）
内面熱伝達率	3.4883 W/m²K	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
熱拡散率	8.42×10^{-7} m²/s	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
壁面の厚さ	1.5 m	建屋外壁厚さの最大値

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 4.3.2.1-1 図　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

第 4.3.2.1-1 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	原子炉建屋	海水ポンプ室	使用済燃料乾式貯蔵建屋	タービン建屋	放水路ゲート
離隔距離（m）	267	242	37	221	41

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。なお，外壁にはガラリ，配管貫通部等が存在するが，これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度(=危険輻射強度)を算出する。

島根原子力発電所　２号炉

筒火炎の直径が 1m であれば，１メッシュに 10 個の円筒火炎を考慮），各メッシュに火炎が到達してから燃え尽きるまでの間輻射に寄与するものとして受熱点の輻射強度を積算する。受熱点への輻射強度計算方法の概念を第 3.3-2 図に示す。

外壁面の温度は，外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する（第 3.3-3 図）。原子炉建物外壁表面の温度は約 63℃となり，森林火災の熱影響に対して許容温度以下であることを確認した（第 3.3-2 表，第 3.3-4(a)(b)(c)(d)(e)図）。

$$\frac{dT}{dt}=\kappa\frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t ：時刻，x ：建物壁内における外面からの距離，κ：熱拡散率

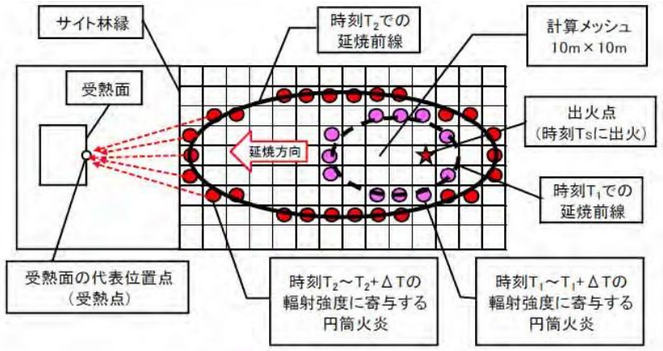
以下に使用したパラメータを示す。

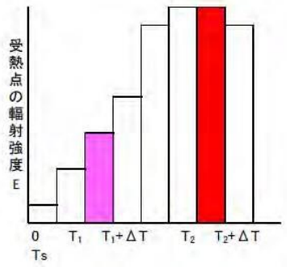
第 3.3-1 表　建物外壁温度算出時の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 ℃	日射の影響を考慮し設定
内気温度	－	保守的に内気への熱伝達がない条件としているため，本数値は評価結果に影響しない。
外面熱伝達率	第 3.3-1 図参照	周囲温度 50℃の場合の自然対流熱伝達率（Bayley の式）
内面熱伝達率	0 W/m²K（断熱）	保守的にコンクリートから内気に熱伝達がない断熱条件とした。
熱拡散率：κ（κ=k/(ρ・c)）	8.42×10^{-7} m²/s	コンクリート 比熱 c =879.1J/(kg・K) 密度 ρ =2,200kg/m³ 熱伝導率 k =1.628W/(m・K)
壁面の厚さ	2.3 m	原子炉建物南面外壁の厚さ

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）





第 3.3-1 図　　受熱点の輻射強度の計算モデル概念図

東海第二発電所（2018.9.12 版）

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E \qquad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T ：初期温度（50℃）※　　E：輻射強度（W／m^2）

ρ ：密度（2,400kg／m^3）　　k：熱伝導率（1.63W／m／K）

C_p：比熱（880J／kg／K）　　L：厚さ[m]

※　水戸地方気象台で観測された過去高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数 Φ を，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，

Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），

Ｒ：燃焼半径（m）

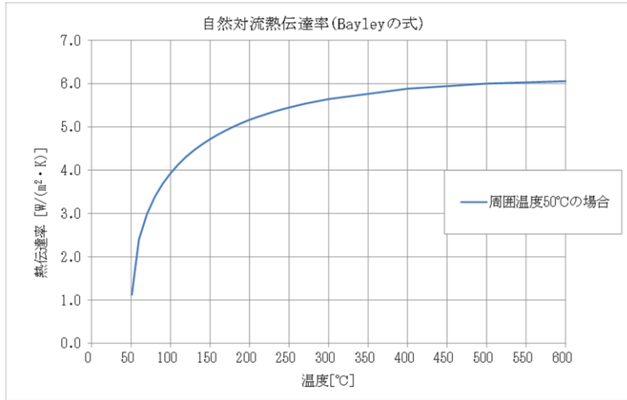
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.3.2.1-2 図，天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第 4.3.2.1-3 図に示す。

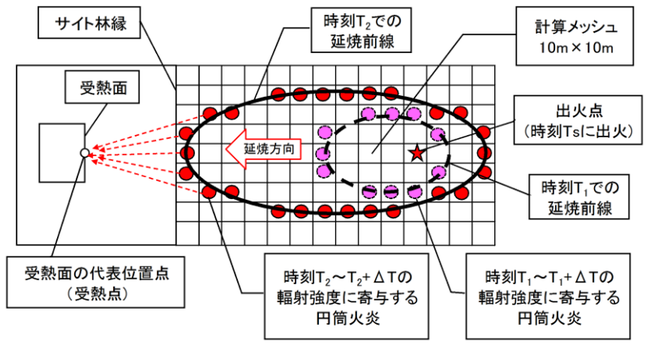
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

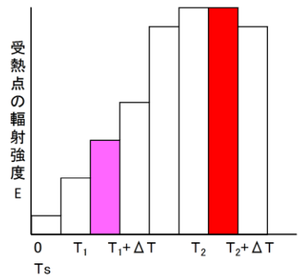
・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

島根原子力発電所　２号炉



第 3.3-1 図　熱伝達率（自然対流熱伝達率 Bayley の式(50℃)）

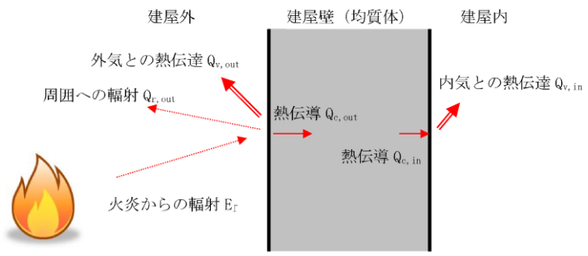




第 3.3-2 図　受熱点の輻射強度の計算モデル概念図

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）



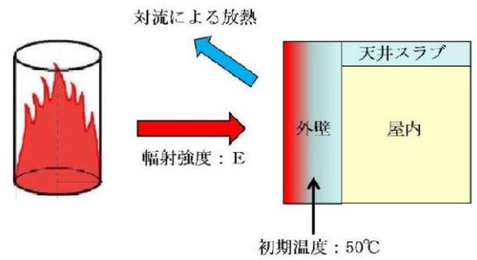
第 3.3-2 図　　外壁面温度評価概念図

3.3-2 表　　輻射強度と壁面温度の評価項目

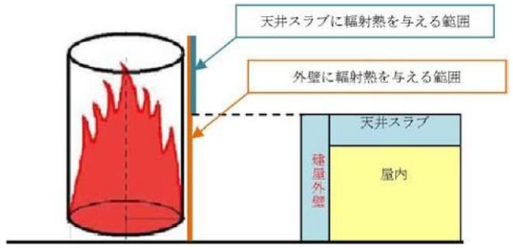
評価項目	ケース１		ケース２		ケース３	
対象	６号炉	７号炉	６号炉	７号炉	６号炉	７号炉
最大輻射強度[W/m²]	369	325	626	593	371	303
最大外壁面温度[℃]	53	53	55	55	53	52
最大内壁面温度[℃]	47	47	47	47	47	47

※外壁面の初期温度は 50℃，内壁面の初期温度は 46.2℃とする。

東海第二発電所（2018.9.12 版）



第 4.3.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2.1-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響概念図

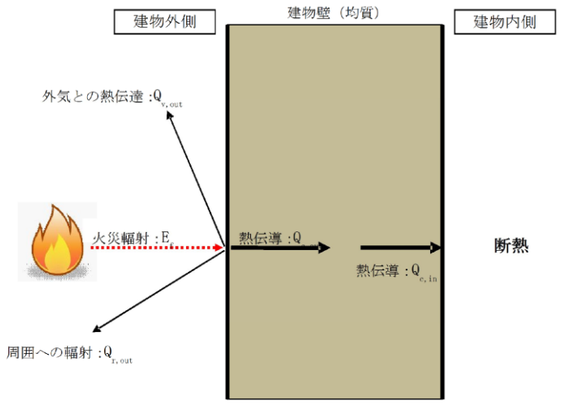
c．評価結果

評価対象施設の外壁外面温度，外壁内面温度及び外壁外面温度が 200℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。また，津波防護施設の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁については，建屋と同じコンクリートであることから，同式により危険距離を評価し，津波防護施設に対しても離隔距離が確保されていることを確認した（別紙 2.5）。外壁外面温度の評価結果を第 4.3.2.1-2 表，外壁内面温度の評価結果を第 4.3.2.1-3 表に，危険距離の評価結果を第 4.3.2.1-4 表に示す

第 4.3.2.1-2 表　外壁外面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	53	52	53	53	53	53	53	＜200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	96	87	93	94	99	91	92	
タービン建屋	54	53	53	53	54	53	53	

島根原子力発電所　２号炉



第 3.3-3 図　外壁面温度評価概念図

第 3.3-2 表　輻射強度と壁面温度の評価項目

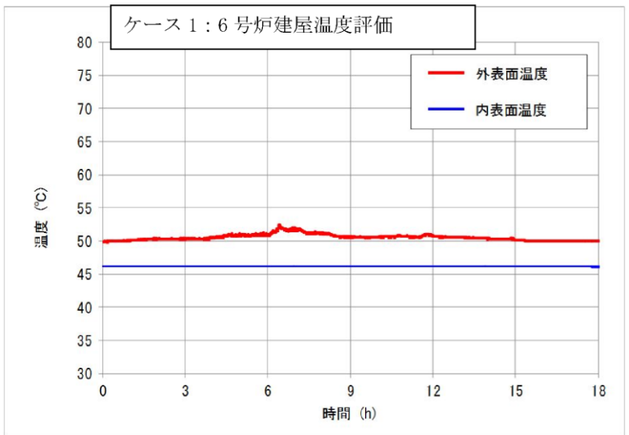
項目	ケース１	ケース２	ケース３	ケース４	ケース５
対象	島根２号炉　原子炉建物南側壁面				
最大輻射強度[W/m²]	2,143	1,550	374	218	238
最大外壁面温度[℃]	63	57	60	58	58
最大内壁面温度[℃]	50	50	50	50	50

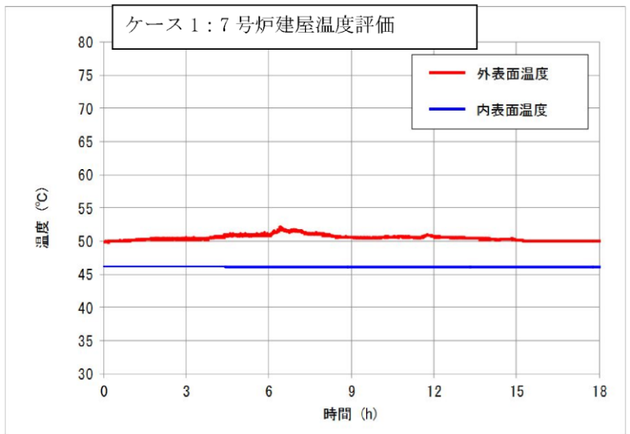
※外壁面の初期温度は 50℃，内壁面の初期温度は 50℃とする。

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7】
　島根２号炉は，壁面と内気との熱伝達が無い断熱条件として評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）





第 3.3-3(a)図　原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇（ケース 1）

東海第二発電所（2018.9.12 版）

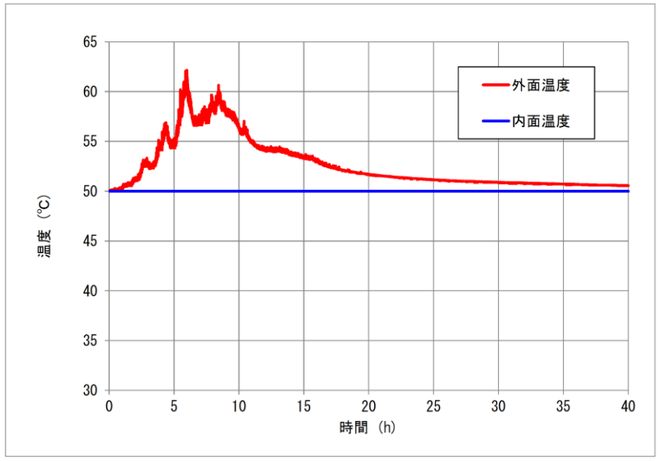
第 4.3.2.1-3 表　外壁内面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	53	52	51	52	52	51	51	＜200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	62	57	56	58	57	55	56	
タービン建屋	52	51	51	52	51	51	51	

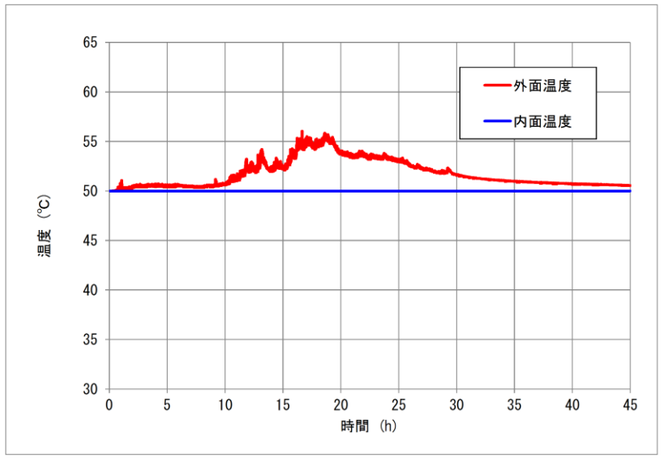
第 4.3.2.1-4 表　評価対象施設に対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	17	15	17	17	18	16	17	267
使用済燃料乾式貯蔵建屋	17	15	17	17	18	16	17	37
タービン建屋	17	15	17	17	18	16	17	221

島根原子力発電所　２号炉

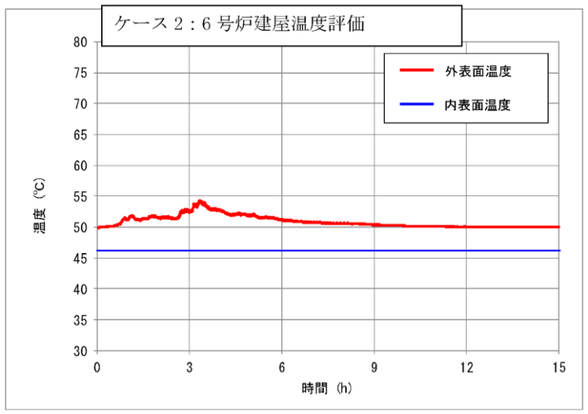
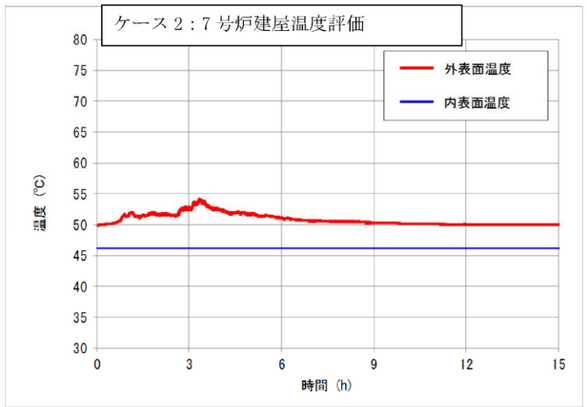
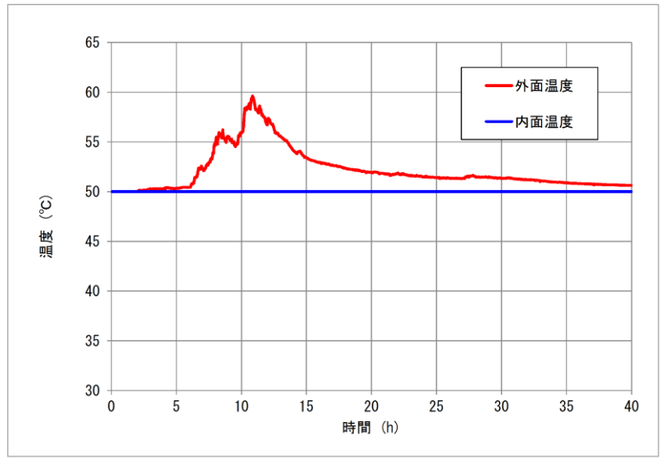
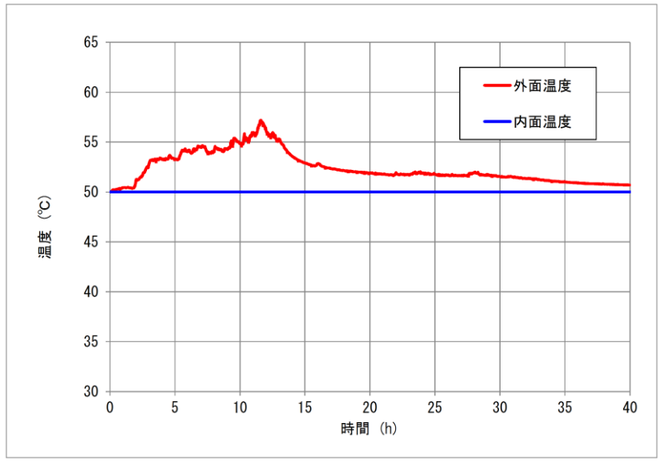


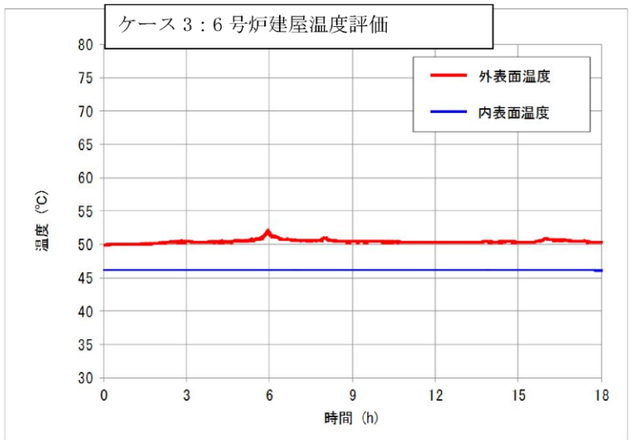
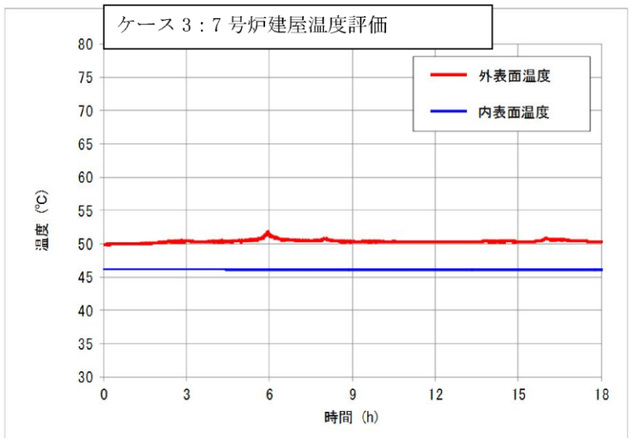
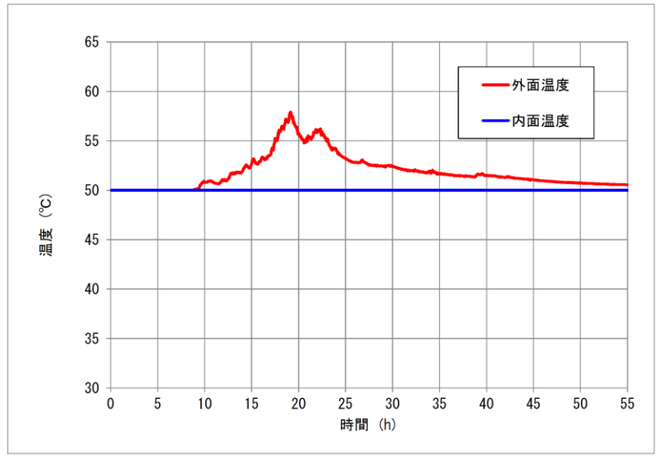
第 3.3-4(a)図　２号炉原子炉建物南側外壁面における温度上昇（ケース１）



第 3.3-4(b)図　２号炉原子炉建物南側外壁面における温度上昇（ケース２）

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
  第 3.3-3(b)図　原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇（ケース 2）		 第 3.3-4(c)図　２号炉原子炉建物南側外壁面における温度上昇（ケース３）  第 3.3-4(d)図　２号炉原子炉建物南側外壁面における温度上昇（ケース４）	

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
  第 3.3-3(c)図　原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇（ケース 3）		 第 3.3-4(e)図　２号炉原子炉建物南側外壁面における温度上昇（ケース５）	

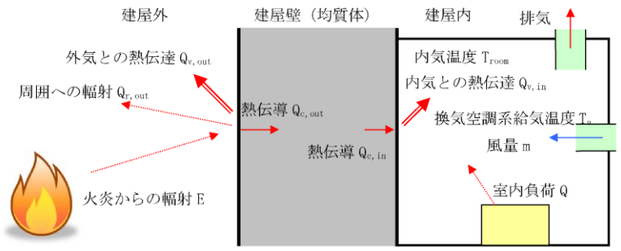
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

3.4 内気温度評価

森林火災において燃焼が継続している間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設が昇温されるものとして，内壁の温度上昇を求め建屋内部に設置されている機器等への影響について評価する。

なお，対象は防火帯に近接している固体廃棄物処理建屋とし，森林火災における最も厳しいケース 2 の条件で評価する。固体廃棄物処理建屋について温度評価を行う。

以下に概念図を示す。



第 3.4-1 図　　伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを以下に示す。

第 3.4-1 表　　内気温度算出時の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度[℃]	50	日射の影響を考慮し設定
外壁面熱伝達率[W/m²K]	62.595	Jurges の式より（風速 16m/s）
内壁面熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの内壁面熱伝達率
壁の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
壁厚[m]	0.4	固体廃棄物処理建屋

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，外壁及び内壁面温度を求める。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

4.3.2.2　建屋内部の室内温度評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設に対し，室内で人員の活動が必要な中央制御室について，森林火災を想定し，室内温度を評価した。

(2)　判断の考え方

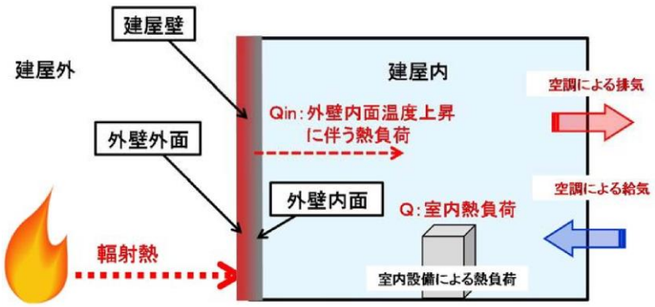
a．許容温度

中央制御室の設計室温から 40℃とする。

b．評価方法

4.3.2.1 の原子炉建屋の評価結果より，外壁内面温度は 53℃を想定した。なお，4.3.2.1 の外壁外面の評価結果は，原子炉建屋南側の壁であり，中央制御室のある東側の壁とは異なるが，保守的に南側の壁の評価結果を想定することとした。

室内温度評価の概念図を第 4.3.2.2-1 図，室内温度評価の評価条件を第 4.3.2.2-1 表に示す。



第 4.3.2.2-1 図　室内温度評価の概念図

第 4.3.2.2-1 表　室内温度評価の評価条件

評価条件項目		中央制御室（原子炉建屋）
壁面寸法	壁面　表面積（m²）	188
熱負荷情報	室内熱負荷(W)	210,579
	風量(m³／h)	42,504
	空調給気温度(℃)	15.5
室内許容温度	室内許容温度(℃)	40

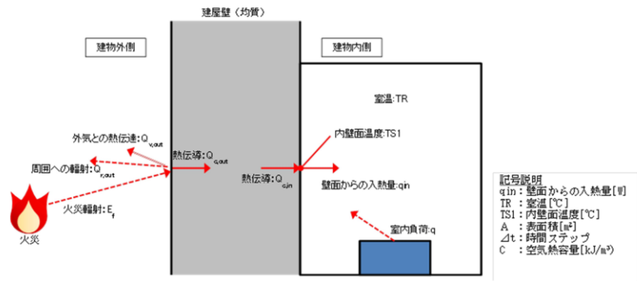
島根原子力発電所　２号炉

3.4.　内気温度評価

森林火災において燃焼が継続している間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設が昇温されるものとして，内壁の温度上昇を求め建物内部に設置している機器等への影響について評価した。

なお，対象は防火帯に近接している固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟とし，森林火災における最も厳しいケース１の条件で評価する。固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟について温度評価を行う。

以下に概念図を示す。



第3.4-1図　内気温度評価概念図

評価に必要なパラメータを以下に示す。

第3.4-1表　内気温度評価算出時の入力パラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度[℃]	50	日射の影響を考慮し設定
内気温度[℃]	50	初期温度は外気温度と同じ 50℃に設定
外壁面熱伝達率 [W/m²K]	第 3.3-1 図参照	周囲温度 50℃の場合の自然対流熱伝達率 (Bayley の式)
内壁面熱伝達率 [W/m²K]	2	伝熱工学資料第５版に基づく自然対流熱伝達率を算出
壁の熱伝導率[W/mK]	1.628	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリート 比熱　c　=879.1J/(kg・K) 密度　ρ　=2,200kg/m³ 熱伝導率 k =1.628W/(m・K)
壁厚[m]	0.5	固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟外壁の厚さ

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，外壁及び内壁面温度を求める。

備考

・条件の相違

【東海第二】

島根 2 号炉は，柏崎 6/7 と同様，防火帯に近接している固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟にて温度評価を実施

・条件の相違

【柏崎 6/7】

島根 2 号炉は，室内の空気は出入りがない条件として評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

$$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t ：時刻，x ：建物壁内における外壁面からの距離，
α：熱拡散率

外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

$$Q_{v,in}=h_{in}A(T_{in}-T_{room})$$

h_{in}：内壁面熱伝達率，A：内壁の表面積，T_{in}：内壁面温度，
T_{room}：内気温度

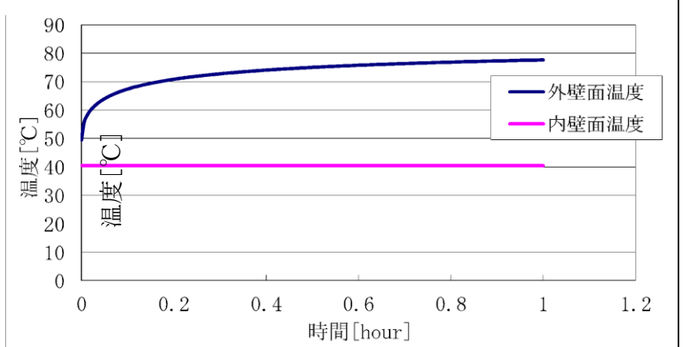
内気温度は，森林火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び換気空調系による除熱を考慮し，次式で求める。

$$T_{room}=\frac{Q+Q_{v,in}}{m\rho C}+T_a$$

Q：室内負荷，m：風量，ρ：空気密度，C:空気比熱，
T_a：換気空調系給気温度

(1) 固体廃棄物処理建屋

森林火災における固体廃棄物処理建屋の評価結果を以下に示す



第 3.4-2 図 外壁及び内壁面温度（固体廃棄物処理建屋）

東海第二発電所（2018.9.12 版）

4.3.2.1 の一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出した第 4.3.2.2-2 表の外壁内面温度より，下式を用いて室内温度評価を算出した。

第 4.3.2.2-2 表　熱評価結果

火災源	評価対象	外壁内面温度[℃]
森林火災 （発火点 1）	中央制御室 （原子炉建屋）	53

$$Q_{in}=h_{in}A\ (T_{in}-T_{room})$$

Q_{in}：外壁内面温度上昇に伴う熱負荷（W）
h_{in}：外壁内面熱伝達率（8.29W／m^2／K）
A　：受熱壁の表面積（m^2）
T_{in}：外壁内面最高温度（℃），T_{room}：室温（℃）

室内温度の評価は，森林火災による外壁内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び空調による除熱を考慮し算出した。

$$T_{room}=\frac{Q+Q_{in}}{m\rho C_p}+T_a$$

Q：室内熱負荷（210,579W），m：風量（42,504m^3／h）
ρ：空気密度（1.2kg／m^3）
C_p：空気比熱（1,007J／kg／K），T_a：空調給気温度（℃）

c．評価結果

森林火災を想定した中央制御室の室内温度を算出した結果，室内温度は許容温度以下であることを確認した。

室内温度評価結果を第 4.3.2.2-3 表に示す。

第 4.3.2.2-3 表　室内温度評価結果

火災源	評価対象	建屋内部の到達温度 （℃）	許容温度 （℃）
森林火災 （発火点 1）	中央制御室 （原子炉建屋）	33	＜40℃

島根原子力発電所　２号炉

$$\frac{dT}{dt}=\kappa\frac{d^2T}{dx^2}$$

T:温度，t:時刻，x:建物壁内における外壁面からの距離，
κ：熱拡散率

内壁面からの入熱量は以下の式より算出される。

$$qin=\alpha 1\times(TR^j-TS1^j)$$

qin：壁面からの入熱量[W]，α1:内面熱伝達率，
TR:室温[℃]，TS1:内壁面温度[℃]

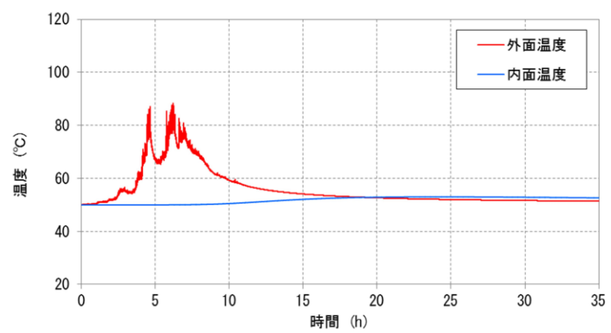
上記の式より，内気温度は，以下の式より求めることができる。

$$TR^{j+1}=TR^j+(q^j-\sum(qin\times A))\times\Delta t/C$$

TR:室温[℃]，qin：壁面からの入熱量[W]，
A:内壁面の表面積[m^2]，Δt：時間ステップ，
C:空気の熱容量[kJ/m^3]，q：室内熱負荷[W]

(1) 固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟

森林火災における固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟の評価結果を以下に示す。



第 3.4-2 図　外壁及び内壁面温度（固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟）

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
地域特性を踏まえた評価条件に伴う評価式の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 3.4-2 表　　森林火災影響評価結果（固体廃棄物処理建屋）

固体廃棄物処理建屋評価	
項目	森林火災（ケース 2）
輻射強度[W/m²]	2840※1
燃焼継続時間[min]※2	51（3060[s]）
外壁面温度[℃]	79
内壁面温度[℃]	39
内気温度[℃]	31
許容温度[℃]	40※3

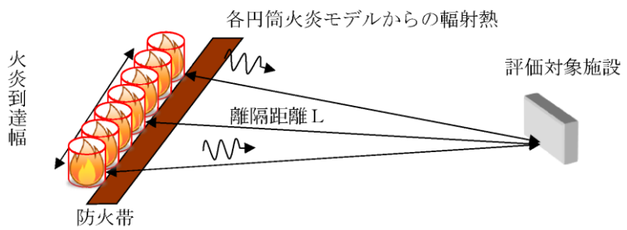
※1：離隔距離を 105m，その他の数値はケース 2 と同様とし，3.2(10) 及び(11) の式より輻射強度を算出
※2：防火帯周辺の森林（奥行き 100m）が燃える平均時間
※3：固体廃棄物処理建屋内の電気設備（固型化処理装置制御盤等）の最高使用温度

評価の結果，内気温度は 31℃（最大値）まで上昇するが，室内の電気設備（固型化処理装置制御盤等）の最高使用温度 40℃を下回ることを確認した。

3.5 屋外施設の影響評価

(1) 評価手法の概要

森林火災の火炎は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。また，火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする（第 3.5-1 図）。



第 3.5-1 図　　円筒火炎モデルの並べ方

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第 3.4-2 表　森林火災影響評価結果（固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟）

固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟評価	
項目	森林火災（ケース1）
輻射強度[W/m²]	15,678※1
燃焼継続時間[min]※2	23（1380[s]）
外壁面温度[℃]	89
内壁面温度[℃]	54
内気温度[℃]	53
許容温度[℃]	100※3

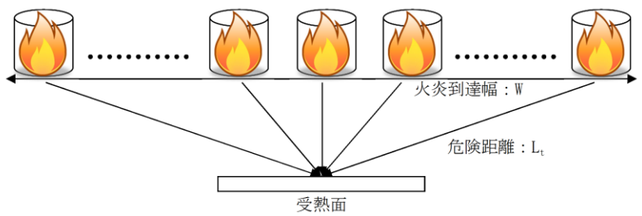
※1:外壁面の初期温度は50℃，内壁面の初期温度は50℃とする。
※2:防火帯周辺森林（奥行き50m）が燃える平均時間
※3:固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟内部に保管する低レベル放射性固体廃棄物用ドラム缶で使用しているパッキンの耐熱温度限度（100℃）

評価の結果，内気温度は 53℃（最大値）まで上昇するが，室内に保管する低レベル放射性固体廃棄物用ドラム缶で使用しているパッキンの耐熱温度限度 100℃を下回ることを確認した。

3.5.　屋外施設の影響評価

(1)　評価手法の概要

森林火災の火炎は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。また，火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。（第 3.5-1 図）



第 3.5-1 図　円筒火炎モデルの並べ方

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(2) 必要データ

評価に必要なデータは以下のとおり。

火炎輻射発散度が最も大きい森林火災（ケース 2）のデータを用いて評価する。

第 3.5-1 表　　屋外施設影響評価時の入力データ

項目	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））※1	主排気筒
火炎輻射発散度[kW/m²]	100		
火炎輻射強度[kW/m²]	211		
火炎長[m]	3.08		
火炎到達幅[m]	3730		
燃焼継続時間[min]	51		
離隔距離[m]	390	539	494
初期温度[℃]	38※2	38※3（55※2）	50※2
許容（限界）温度[℃]	225※4	100※5	325※6
受熱面輻射強度[W/m²]	680	470	520

※1：燃料移送ポンプの温度評価体系は，「別紙 2－4　2.2 軽油タンク火災以外の外部火災時」を参照。
※2：柏崎市の過去最高気温（気象庁）に日射の影響を考慮
※3：燃料移送ポンプは防護板の裏面に設置されており日射の影響を受けないため，柏崎市の過去最高気温（気象庁）とする。
※4：軽油の発火点（理科年表）
※5：端子ボックスパッキンの耐熱温度（JIS K6380）
燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）の外面温度をもって，燃料移送ポンプに熱影響が及ばないことを確認する。この場合，当該ポンプの許容限界温度（100℃）を踏まえ，防護板外面の許容温度を 100℃とする（防護板（鋼板）の外面温度が 100℃以下であれば，燃料移送ポンプ（エリア）の温度は 100℃を超えない）。
※6：鋼材の制限温度（建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター）

(3) 温度評価

a. 軽油タンクの温度評価

一定の輻射強度で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より，軽油の温度上昇を求め，軽油の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第 3.5-2 図に，評価結果を第 3.5-2 表に示す。

$$T = \frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - \left(\frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - T_0 \right) e^{\left(\frac{h S_2}{C}\right) t}$$

T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m²]，C:軽油タンク及

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

(2)　必要データ

評価に必要なデータは以下のとおり。

火炎輻射強度が最も大きい森林火災（ケース１）のデータを用いて評価する。

第 3.5-1 表　屋外施設影響評価時の入力データ

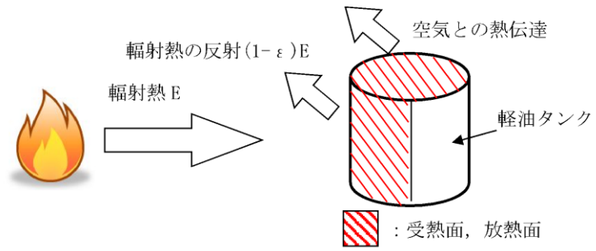
項目	海水ポンプ※1	排気筒※1
火炎輻射発散度[kW/m²]	118	
火炎輻射強度[kW/m²]	364	
火炎長[m]	3.58	
火炎到達幅[m]	4,870	
燃焼継続時間[min]	23	
離隔距離[m]	270	250
初期温度[℃]	40※3	50※2
許容（限界）温度[℃]	55※4	325※5
受熱面輻射強度[W/m²]	1,451	1,576

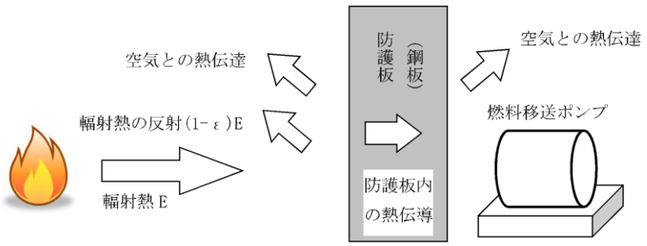
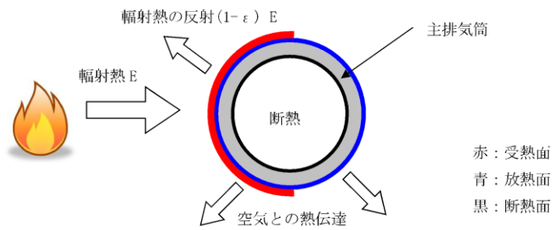
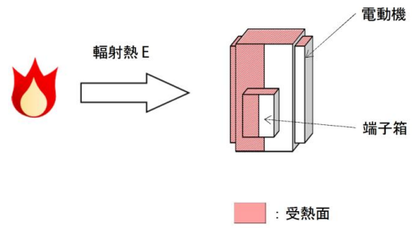
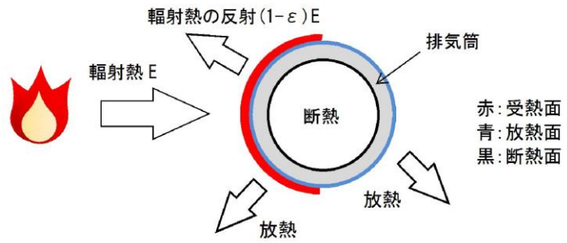
※1：温度評価体系は，「別紙 2-4」を参照。
※2：鹿島地区の最高気温（気象庁）に日射の影響を考慮
※3：冷却空気の初期温度のため鹿島地区の最高気温（気象庁）に保守性を持たせた値
※4：下部軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から冷却空気の初期温度 40℃を差し引いた 55℃を冷却空気の許容温度とする。
※5：鋼材の制限温度（建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター）

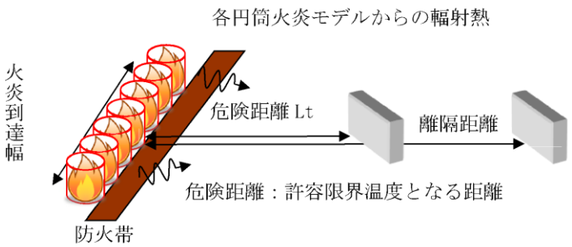
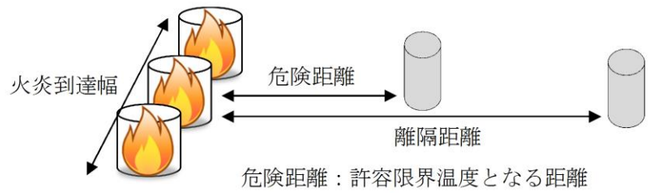
(3)　温度評価

備考

・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため，影響評価対象

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
び軽油の熱容量[8.72×10^8J/K]，t：燃焼継続時間［s］，T_{air}：外気温度[℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧  第 3.5-2 図　　軽油タンクの熱影響評価（概念図） b. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度評価 一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より，防護板（鋼板）の最大温度を求め，防護板（鋼板）の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第 3.5-3 図に，評価結果を第 3.5-2 表に示す。 $$T=\frac{\varepsilon E\frac{S}{2}+hST_{air}}{hS}-\left(\frac{\varepsilon E\frac{S}{2}+hST_{air}}{hS}-T_o\right)e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t}$$ T_0：初期温度[55℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S：防護板（鋼板）　放熱面積[32.4m^2]（S/2：受熱面積は外面のみ），C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10^6J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧		a．海水ポンプの温度評価 一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より，冷却空気の温度上昇を求め，海水ポンプの冷却空気温度が許容温度以下であるか評価を実施した。 評価体系を第 3.5-2 図に，評価結果を第 3.5-2 表に示す。 $$T=T_0+\frac{E\times A_T}{G\times C_p}$$ T：評価温度[℃]，T_0：通常運転時の上昇温度[℃]，E：輻射強度[W/m^2]，A_T：受熱面積[m^2]，G：重量流量[kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1：伝熱工学資料	外。 また，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
 第 3.5-3 図　燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の熱影響評価（概念図） c．主排気筒の温度評価 一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，主排気筒の最大温度を求め，主排気筒の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第 3.5-4 図に，評価結果を第 3.5-2 表に示す。 $T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：主排気筒表面の放射率(0.9)※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧  第 3.5-4 図　主排気筒の熱影響評価（概念図） (4)危険距離評価 評価対象設備の許容限界温度となる離隔距離を危険距離とし，危険距離を算出する。危険距離の考え方について第 3.5-5 図に示す。		 第3.5-2図　海水ポンプの熱影響評価（概念図） b．排気筒の温度評価 一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の最大温度を求め，排気筒の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。 評価体系を第 3.5-3 図に，評価結果を第 3.5-2 表に示す。 $T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0:初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h:排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和・衛生工学便覧  第 3.5-3 図　排気筒の熱影響評価（概念図） (4)　危険距離評価 評価対象設備の許容限界温度となる離隔距離を危険距離とし，危険距離を算出する。危険距離の考え方について第 3.5-4 図に示す。	

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 3.5-5 図　　危険距離の考え方 a．危険輻射強度の算出 (a)軽油タンクの危険輻射強度の算出 一定の輻射強度で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より，許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.5-2 表に示す。 $E_{max}=\frac{ThS_2-hS_2T_{air}\left(1-e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}\right)-hS_2T_0e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}}{\varepsilon S_1\left(1-e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}\right)}$ T_0：初期温度[38℃]，T：許容限界温度[℃]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m²]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[℃] ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 (b)燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の危険輻射強度の算出 一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より，許容温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.5-2 表に示す。 $E_{max}=\frac{2}{\varepsilon S}\left(\frac{hS(T-T_{air})}{1-e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t}}\right)$		 第 3.5-4 図　危険距離の考え方 a．危険輻射強度の算出 (a)　海水ポンプの危険輻射強度の算出 一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より，許容温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.5-2 表に示す。 $Emax=(T-T_0)\times\frac{G\times C_p}{A_T}$	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 また，放水路ゲートについても，設置していないため，影響評価対象外。 また，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，S：防護板（鋼板）受熱面積[16.2m^2]，h:防護板(鋼板)表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10^{6}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T：許容温度[100℃]，T_{air}：外気温度（初期温度）[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 (c)主排気筒の危険輻射強度の算出 一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.5-2 表 に示す。 $E_{max} = \frac{2h(T-T_0)}{\varepsilon}$ T_0：初期温度[50℃]，T：許容限界温度[℃]，ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 b．形態係数の算出 次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出する。算出結果を第 3.5-2 表 $\phi_i = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ ただし，$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L_i}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$ ϕ_i：各円筒火炎モデルの形態係数，L_i：離隔距離[m]，H：火炎長[m]，R：燃焼半径[m] したがって，各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が，発電用原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。 $\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots\cdot)$ ϕ_t:各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値		T：許容温度[℃]，T_0：通常運転時の上昇温度[℃]， A_T：受熱面積[m^2]，G：重量流量[kg/s]， C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1：伝熱工学資料 (b)　排気筒の危険輻射強度の算出 一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.5-2 表に示す。 $E_{max} = \frac{2h(T-T_0)}{\varepsilon}$ T_0:初期温度[50℃]，T:許容限界温度[℃]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h:排気筒表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和・衛生工学便覧 b．形態係数の算出 次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出する。算出結果を第 3.5-2 表に示す。 $\phi_i = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n-1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ ただし，$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L_i}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$ ϕ_i:各円筒火炎モデルの形態係数，L_i:離隔距離[m]， H:火炎長[m]，R:燃焼半径[m] したがって，各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が，発電用原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。 $\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots\cdot)$ ϕ_t:各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

なお，1，2，3，…，F の円筒火炎モデル数の合計は F 個となる。

c．危険距離の算出

輻射熱に対する発電用原子炉施設の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離を確保するものとする。火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，火炎輻射発散度に形態係数をかけた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。

$$E = R_f \cdot \phi$$

E：輻射強度［kW/m²］，Rf：火炎輻射発散度［kW/m²］，
ϕ：形態係数[-]

$\phi > \phi_t$ となるように危険距離を算出する。算出結果を第 3.5-2 表に示す

$$\phi_t = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L_t}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ_t：各火炎モデルの形態係数を合計した値，L_t：危険距離[m]，H：火炎長[m]，
R：燃焼半径[m]

第 3.5-2 表　　温度評価及び危険距離評価結果

	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
最高温度[℃]	39	62	64
危険輻射強度[kW/m²]	266.30	3.37	10.38
形態係数[-]	2.6584444	0.0337244	0.1037108
危険距離[m]	1	90	30
離隔距離[m]	390	539	494

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

なお，1,2,3,…，F の円筒火炎モデル数の合計は F 個となる。

c．危険距離の算出

輻射熱に対する発電用原子炉施設の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離を確保するものとする。火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，火炎輻射発散度に形態係数をかけた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。

$$E = R_f \cdot \phi$$

E：輻射強度［kW/m²］，R_f:火炎輻射発散度[kW/m²]，
ϕ:形態係数

$\phi > \phi_t$ となるように危険距離を算出する。評価結果を第 3.5-2 表に示す。

$$\phi_t = \frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n-1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L_t}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ_t:各火炎モデルの形態係数を合計した値，
L_t:危険距離[m]，H:火炎長[m]，R:燃焼半径[m]

第3.5-2表　温度評価及び危険距離評価結果

	海水ポンプ	排気筒
最高温度[℃]	31	92
危険輻射強度[kW/m²]	5.95	10.39
形態係数[－]	5.06×10^{-2}	8.83×10^{-2}
危険距離[m]	70	41
離隔距離[m]	270	250

備考

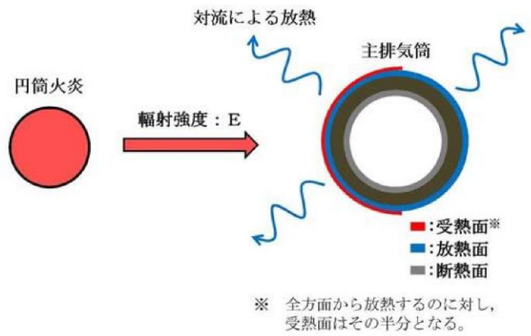
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>3.6 まとめ
以上より，森林火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないこと及び危険距離以上の離隔距離が確保されていることから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。</td>
<td>4.3.2.3　主排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出
(1)　評価対象範囲
主排気筒について，森林火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設の仕様
主排気筒の仕様を第 4.3.2.3-1 表に，主排気筒の外形図を第 4.3.2.3-1 図に示す。

第 4.3.2.3-1 表　評価対象施設の仕様
<table><tr><th colspan="2">名称</th><th>主排気筒</th></tr><tr><td colspan="2">種　類</td><td>鉄塔支持型</td></tr><tr><td colspan="2" rowspan="2">主要寸法</td><td>内径 4.5m</td></tr><tr><td>地表高さ 140m</td></tr><tr><td rowspan="2">材料</td><td>筒身</td><td>SS400</td></tr><tr><td>鉄塔</td><td>SS400，STK400</td></tr><tr><td colspan="2">個　数</td><td>1</td></tr></table>
第 4.3.2.3-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離
評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.3-2 表に示す。

第 4.3.2.3-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離
<table><tr><th>評価対象施設</th><th>離隔距離
(m)</th></tr><tr><td>主排気筒</td><td>266</td></tr></table></td>
<td>3.6　まとめ
以上より，森林火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないこと及び危険距離以上の離隔距離が確保されていることから，発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
	(4)　判断の考え方 ａ．許容温度 主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。 ｂ．評価方法 一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。 $T = T_0 + \frac{E}{2h}$　（式 1） （出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ） Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1 Ｅ：輻射強度（W／m^2），ｈ：熱伝達率（17W／m^2／K）※2 ※１　水戸地方気象台で観測された最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最少となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数 Φ を，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式 2） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数 Φ となる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式 3） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$		

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。 なお，主排気筒は鉄塔と筒身で構成されるが，鉄塔は筒身よりも火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身は SS400 であり物性値がともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 4.3.2.3-2 図に示す。  第 4.3.2.3-2 図　主排気筒の評価概念図 ｃ．評価結果 森林火災によって上昇する主排気筒鉄塔表面温度及び，主排気筒鉄塔表面温度が 325℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。また，津波防護施設の止水ジョイント部の鋼製防護部材については，主排気筒と同じ鋼材であることから，同式により危険距離を評価し，津波防護施設に対しても離隔距離が確保されていることを確認した（別紙 2.5）。主排気筒の熱影響評価結果を第 4.3.2.3-3 表に，主排気筒に対する危険距離を第 4.3.2.3-4 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
第 4.3.2.3-3 表　主排気筒の熱影響評価結果

<table>
<tr><th rowspan="2">評価対象施設</th><th colspan="7">評価温度（℃）</th><th rowspan="2">許容温度（℃）</th></tr>
<tr><th>発火点 1</th><th>発火点 2</th><th>発火点 3</th><th>発火点 4</th><th>発火点 5</th><th>発火点 6</th><th>発火点 7</th></tr>
<tr><td>主排気筒</td><td>51</td><td>52</td><td>52</td><td>52</td><td>52</td><td>52</td><td>52</td><td>＜325</td></tr>
</table>

第 4.3.2.3-4 表　主排気筒に対する危険距離

<table>
<tr><th rowspan="2">評価対象施設</th><th colspan="7">危険距離（m）</th><th rowspan="2">離隔距離（m）</th></tr>
<tr><th>発火点 1</th><th>発火点 2</th><th>発火点 3</th><th>発火点 4</th><th>発火点 5</th><th>発火点 6</th><th>発火点 7</th></tr>
<tr><td>主排気筒</td><td>12</td><td>14</td><td>20</td><td>15</td><td>19</td><td>20</td><td>19</td><td>266</td></tr>
</table>

4.3.2.4　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。）に対する熱影響評価と危険距離の算出

(1)　評価対象範囲

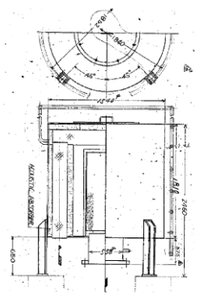
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様及び外形

空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口仕様を第 4.3.2.4-1 表に，外形図を第 4.3.2.4-1 図に示す。

第 4.3.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><td>名称</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）吸気口</td></tr>
<tr><td>種　類</td><td>円筒縦形</td></tr>
<tr><td>主要寸法</td><td>外径　　：1.54m
円筒高さ：2.46m</td></tr>
<tr><td>材　料</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>6</td></tr>
</table>



第 4.3.2.4-1 図　吸気口の外形図
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため，影響評価対象外。
また，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(3)　評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第4.3.2.4-2 表に示す。

第 4.3.2.4-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

<table>
<tr><td>評価対象施設</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）</td></tr>
<tr><td>離隔距離
（m）</td><td>267</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，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。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　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。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が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。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（＝危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

Ｔ：許容温度（53℃），T_0：初期温度（40℃）※1，

Ｅ：輻射強度（W／m^2），

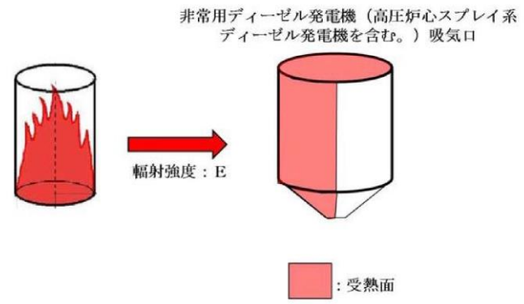
Ｇ：重量流量（4kg／s）※2，Ａ：輻射を受ける面積（7.8m^2）

C_p：空気比熱（1,007J／kg／K）※3

ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　ディーゼル発電機の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。 ディーゼル発電機吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60 ※３　日本機械学会　伝熱工学資料 ※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，森林火災によって上昇する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。）に流入する空気の温度が，許容温度 53℃以下であるか評価を実施した。また，危険距離が離隔距離以下となるか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の評価概念図を第 4.3.2.4-2 図に示す。		



第 4.3.2.4-2 図　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。）吸気口の評価概念図

ｃ．評価結果

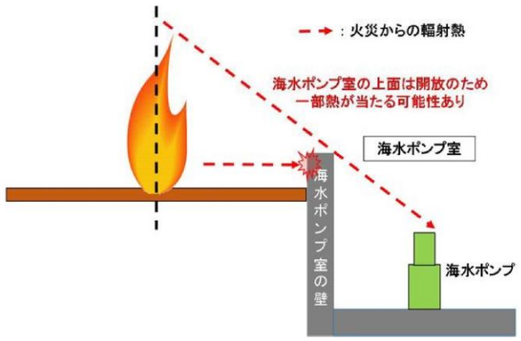
森林火災によって上昇する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）を通して流入する空気の温度及び，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口を通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。

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。）の熱影響評価結果を第 4.3.2.4-3 表に，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。）に対する危険距離を第 4.3.2.4-4 表に示す。

第 4.3.2.4-3 表　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。）の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）	45	45	45	45	45	45	45	＜53

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
第 4.3.2.4-4 表　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。）に対する危険距離
<table>
<tr><th rowspan="2">評価対象施設</th><th colspan="7">危険距離（m）</th><th rowspan="2">離隔距離（m）</th></tr>
<tr><th>発火点 1</th><th>発火点 2</th><th>発火点 3</th><th>発火点 4</th><th>発火点 5</th><th>発火点 6</th><th>発火点 7</th></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）</td><td>18</td><td>21</td><td>28</td><td>22</td><td>28</td><td>28</td><td>27</td><td>267</td></tr>
</table>
4.3.2.5　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。）用海水ポンプに対する熱影響評価と危険距離の算出
(1)　評価対象範囲
残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 4.3.2.5-1 図に示す。
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため，影響評価対象外。
また，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
	 第 4.3.2.5-1 図　火災発生位置と海水ポンプの位置関係 (2)　評価対象施設の仕様 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。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 4.3.2.5-2 図，外形図を第 4.3.2.5-3 図に示す。仕様を第 4.3.2.5-1 表に示す。 第 4.3.2.5-2 図　海水ポンプの配置図		

第 4.3.2.5-3 図　海水ポンプの外形図

第 4.3.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400, SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

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。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.5-2 表に示す。

第 4.3.2.5-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	海水ポンプ室
離隔距離 (m)	242

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部

軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 4.3.2.5-3 表に示す。

第 4.3.2.5-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	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
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価方法

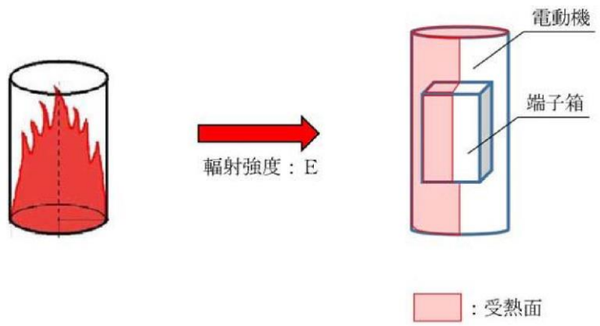
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 4.3.2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 4.3.2.5-4 表に，評価概念図を第 4.3.2.5-4 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

Ｔ：評価温度（℃），T_0：初期温度（39℃）※1，
Ｅ：輻射強度（W／m^2），
Ｇ：重量流量（kg／s），Ａ：輻射を受ける面積（m^2）
C_p：空気比熱（1,007J／kg／K），
ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔＴｂ＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

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
	第 4.3.2.5-4 表　評価に用いた諸元 残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機 ／ 非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機 Ｇ：重量流量（kg／s）　2.6　0.72 Ａ：輻射を受ける面積（m^2）　12　1.6  第 4.3.2.5-4 図　評価概念図 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度（W／m^2），Ｒｆ：火炎輻射強度（W／m^2）， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド）		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
c．評価結果
輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第4.3.2.5-5 表，第4.3.2.5-6 表に示す。

第4.3.2.5-5 表　熱影響評価結果
<table>
<tr><th rowspan="2">評価対象施設</th><th colspan="7">評価温度（℃）</th><th rowspan="2">許容温度（℃）</th></tr>
<tr><th>発火点1</th><th>発火点2</th><th>発火点3</th><th>発火点4</th><th>発火点5</th><th>発火点6</th><th>発火点7</th></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ポンプ</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>＜70</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>＜60</td></tr>
</table>

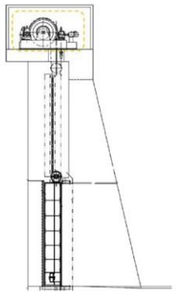
第4.3.2.5-6 表　危険距離の評価結果
<table>
<tr><th rowspan="2">評価対象施設</th><th colspan="7">危険距離（m）</th><th rowspan="2">離隔距離（m）</th></tr>
<tr><th>発火点1</th><th>発火点2</th><th>発火点3</th><th>発火点4</th><th>発火点5</th><th>発火点6</th><th>発火点7</th></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ポンプ</td><td>17</td><td>19</td><td>27</td><td>21</td><td>26</td><td>27</td><td>26</td><td>242</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ</td><td>14</td><td>16</td><td>23</td><td>18</td><td>23</td><td>23</td><td>22</td><td>242</td></tr>
</table>

4.3.2.6　放水路ゲートに対する熱影響評価と危険距離の算出
(1)　評価対象範囲
放水路ゲートについて，森林火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設の仕様及び外形
放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第4.3.2.6-1 表に，外形図を第4.3.2.6-1 図に示す。
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎6/7，東海第二】
島根2号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため，影響評価対象外。
また，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 4.3.2.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 4.3.2.6-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.6-2 表に示す。

第 4.3.2.6-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	放水路ゲート
離隔距離 (m)	41

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

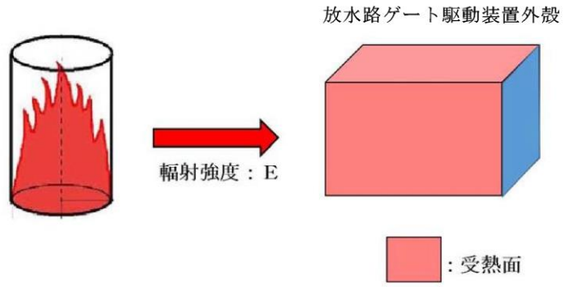
放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	$T = T_0 + \frac{E}{2h}$ （式１） （出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ） Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1 Ｅ：輻射強度（W／m²），ｈ：熱伝達率（17W／m²／K）※2 ※１　水戸地方気象台で観測された最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最少となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ （式２） Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m²)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ （式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m） Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 4.3.2.6-2 図に示す。		



第 4.3.2.6-2 図　放水路ゲートの評価概念図

c．評価結果

森林火災によって上昇する放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度及び，放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が325℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。熱影響評価結果を第 4.3.2.6-3 表に，危険距離を第 4.3.2.6-4 表に示す。なお，放水路ゲート駆動装置は津波防護施設が障壁となり，森林火災の影響を受ける可能性は低いが，外殻内面への熱影響防止のため，外殻裏面に断熱材を設置し，内部の放水路ゲート駆動装置へ熱影響がない設計とする。（別紙 2.11）

第 4.3.2.6-3 表　放水路ゲートの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	85	93	126	99	121	125	119	＜325

第 4.3.2.6-4 表　放水路ゲートに対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	12	14	20	15	19	20	19	41

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
別紙 2－1 防火帯の管理方針について 1. はじめに 森林火災評価結果に基づき，森林火災による外部火災防護施設への延焼防止対策として，発電所構内道路及び地形状況等を考慮し，約 20m 幅の防火帯を設定する。 防火帯内に他の法令要求等により可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限の機器等とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする必要があるため，防火帯の管理方法について以下に示す。 2. 防火帯の管理方針 防火帯の設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除し，除草剤の散布やモルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区分するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，常時可燃物のない状態を維持する。 防火帯内には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器は，原則設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては発電所敷地内道路配置及び地形形状等を考慮して設定したことから，防火帯内の一部には他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器等が存在する。このため，防火帯内に設置された機器等の延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講ずる設計とする。 第 1 表に防火帯に設置される機器等の管理方針について示す。	別紙 2.6 防火帯の管理方針について 1. はじめに 森林火災評価結果に基づき，森林火災による発電用原子炉施設への延焼防止対策として，発電所構内道路及び地形を考慮し，約 23m 幅の防火帯を設定する。 防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方針について以下に示す。 2. 防火帯の管理方針 防火帯の設定に当たっては，樹木を伐採する等，可燃物を排除し，モルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区別するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，原則的に可燃物がない状態を維持する。 防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は，原則的に設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては構内道路等の条件を考慮して設定するため，他の法令要求等により標識等を設置する場合は，延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講じる設計とする。 表 1 に防火帯内に設置される機器等の例について示す。	別紙 2-1 防火帯の管理方針について 1. はじめに 森林火災評価結果に基づき，森林火災による外部火災防護施設への延焼防止対策として，発電所内道路及び地形状況等を考慮し，約21m幅の防火帯を設定する。 防火帯内に他の法令要求等により可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限の機器等とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする必要があるため，防火帯の管理方針について以下に示す。 2. 防火帯の管理方針 防火帯の設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除し，除草剤の散布やモルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区分するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，常時可燃物のない状態を維持する。 防火帯内には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器は，原則設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては発電所敷地内道路配置及び地形形状等を考慮して設定したことから，防火帯内の一部には他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器等が存在する。このため，防火帯内に設置された機器等の延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講ずる設計とする。 第1表に防火帯内に設置される機器等の管理方法について示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 1 表 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

分類		機器例	評価及び管理方針
不燃性の機器		・送電線 ・ガードパイプ ・マンホール（鋼製）	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
可燃物を含む機器	局所的な設置機器	・標識 ・カーブミラー	局所的な火災となる。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
	防火帯を横断して設置	なし	－

東海第二発電所（2018.9.12 版）

表１　防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		・送電線 ・津波防護施設 ・防潮扉 ・ｹｰﾌﾞﾙ	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，当該対象に対して対策は不要である。
可燃性を含む機器等	局所的な設置機器	・標識 ・津波・構内監視カメラ	局所的な火災に留まるため防火帯の機能に影響はない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，当該対象に対して対策は不要である。
	防火帯を横断して設定	・道路	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止，可燃物を配置しない管理を行うことで，延焼防止効果に影響を与えない。

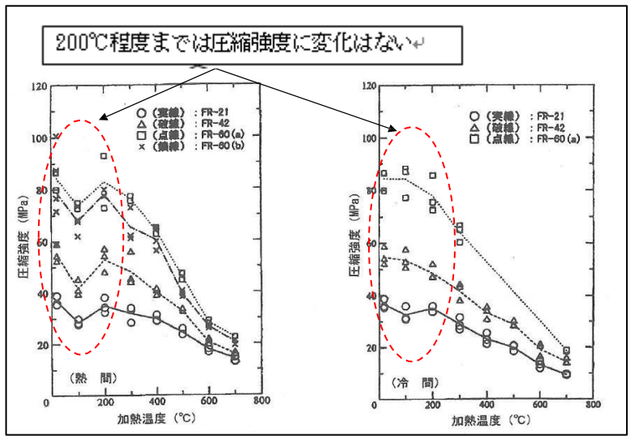
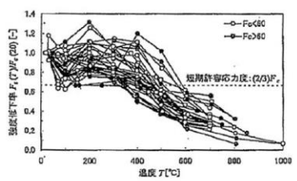
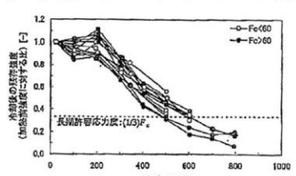
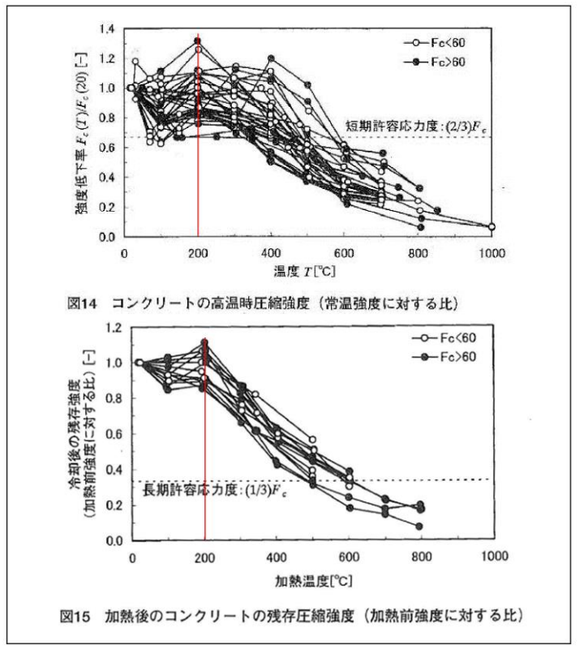
以　　上

島根原子力発電所　２号炉

第1表　防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方法

分類		機器例	評価及び管理方法
不燃性の機器		・送電線 ・フェンス ・配管（鋼製）	火災により延焼しないため，防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
可燃物を含む機器	局所的な設置機器	・監視カメラ ・照明	局所的な火災となるため，防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
	防火帯を横断して設置	・ケーブル	防火帯の延焼防止効果に影響を及ぼすことが想定されるため，以下の対策を実施。 ・不燃性の電線管，トレイ内に敷設 ・埋設化，不燃材で養生

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙 2－2 コンクリートの許容限界温度 200℃の設定根拠について コンクリートの圧縮強度は，200℃程度までは常温とほとんど変わらないかむしろ増加する。しかし，その後は徐々に低下し，500℃で常温強度の 2/3 に低下する。火災後（冷却後）の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。*1 また，他の文献*2 では，コンクリートの強度を著しく低下させる温度の境界を 300℃とし，コンクリート表面の受熱温度が 300℃以下で許容ひび割れ幅以上のひび割れが認められない場合の構造体は健全であり，仕上げのみの補修でよいとしている。第 1 図にコンクリートの強度と温度の関係，第 1 表，第 2 表に火災によるコンクリートの被害等級及びその補修・補強方法について示す。 よって本評価では，保守的に圧縮強度に変化がないとされる 200℃を許容限界温度とし，評価を実施する。  第１図　コンクリートの強度と温度の関係*2 *1：建築火災のメカニズムと火災安全設計，原田和典 *2：建物の火害診断及び補修・補強方法，日本建築学会	別紙 2.1 許容温度について 1. コンクリート及び鋼材の許容温度 「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」に基づき，常温時の強度が維持される保守的な温度（コンクリートは 200℃，鋼材は 325℃）を許容温度とする。 以下に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。 コンクリートの許容温度に係る抜粋 （1）素材の高温強度 常温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は 200℃程度までは常温と殆ど変わらないか，むしろ上昇する。しかし，その後は徐々に低下して 500℃で常温強度の 2／3 に，800℃では殆ど零となる。2／3 はコンクリートの短期許容応力に相当するので，500℃が素材としての限界温度と考えられる。また，図 15 に示すように高温から冷却した後の残存強度は，高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の 1／3 相当と考えると，火災後の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。  図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）（参考文献 18）～23)のデータより作成  図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）（参考文献 24）～26)）のデータより作成	別紙 2-2 コンクリートの許容限界温度200℃の設定根拠について 「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人　日本建築センター）」では，コンクリートの圧縮強度は，200℃程度までは常温と殆ど変らないかむしろ上昇するが，その後は徐々に低下して，500℃で常温強度の 2/3 になるとしている。また，火災後（冷却後）の残存強度を確保する場合には 450℃が限界としている※1。 よって本評価では，保守的に圧縮強度に変化がないとされる 200℃を許容限界温度とし，評価を実施する。  第1図　コンクリートの強度と温度の関係※1（一部加筆） ※1：建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター	・条件の相違 【柏崎 6/7】 引用している文献の相違

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

第 1 表 火害等級と状況*1

火害等級	状況
Ⅰ級	無被害の状態で，たとえば， ①被害全くなし， ②仕上げ材料等が残っている。
Ⅱ級	仕上げ部分に被害がある状態で，例えば， ①躯体にすす，油煙等の付着， ②コンクリート表面の受熱温度が 300℃以下， ③床・梁のはく落わずか。
Ⅲ級	鉄筋位置へ到達しない被害で，例えば， ①コンクリートの変色はピンク色 ②微細なひびわれ， ③コンクリート表面の受熱面温度が 300℃以上， ④柱の爆裂わずか。
Ⅳ級	主筋との付着に支障がある被害で，例えば， ①表面に数 mm 幅のひびわれ， ②鉄筋一部露出。
Ⅴ級	主筋の座屈などの実質的被害がある状態で，例えば， ①構造部材としての損傷大 ②爆裂広範囲， ③鉄筋露出大， ④たわみが目立つ， ⑤健全時計算値に対する固有振動数測定値が 0.75 未満， ⑥載荷試験において，試験荷重時最大変形に対する残留変形の割合が A 法で 15%，B 法で 10%を超える。

第 2 表 鉄筋コンクリート構造物の火害等級と補修・補強の基本*

火害等級	状況	補修・補強の基本
Ⅰ級	無被害の状態	－
Ⅱ級	仕上げ部材に被害がある状態	仕上げのみの補修
Ⅲ級	鉄筋位置へ到達しない被害	強度，耐久性が低下している場合は，かぶりコンクリートをはつり落とし，現場打コンクリートまたはモルタルで被覆するなどの処置をとる。
Ⅳ級	主筋との付着に支障がある被害	部材体力が低下しているので，かぶりコンクリートをはつり落とし，主筋を完全に露出させ，現場打コンクリートで被覆する。場合により補修も行う。
Ⅴ級	主筋の座屈などの実質的な被害がある状態	補強，取替え，増設

＊：建物の火害診断及び補修・補強方法，日本建築学会

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

別紙 2－3

主排気筒の許容限界温度 325℃の設定根拠について

一般的に，鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが，その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方，発電用原子力設備規格 設計・建設規格（一般社団 法人日本機械学会）では，鋼材の制限温度を 350℃としていること，また，文献※1 では，鋼材の温度上昇に伴う強度低下率κ(T)が示されており，一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば，その強度が常温時と変わらない（κ(T)=1）※2 としている（第 1 図）。

よって本評価では，保守的に鋼材の強度が常温時と変わらないとされる 325℃を許容限界温度とし，評価を実施する。

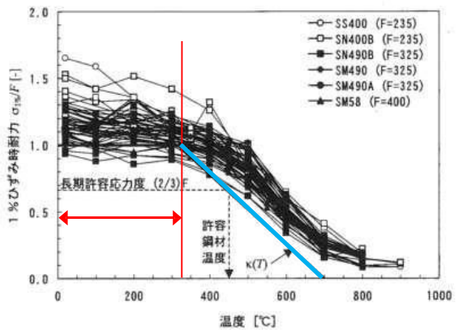


図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)～6)] のデータから作成）

2）国土交通省住宅局建築指導課ほか編、「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院、2001年３月
3）建設省総合プロジェクト「防耐火性能評価技術の開発」平成６年度報告書（構造分科会）、1995年3月
4）同上、平成７年度報告書（構造分科会）、1996年3月
5）(社)日本鋼構造協会：鉄筋コンクリート用棒鋼・鋼線の高温ならびに加熱後の機械的性質；JSSC, Vol. 5(No.45), 1969
6）(社)日本建築学会、鋼構造耐火設計指針、1999

第１図　　鋼材の温度上昇に伴う強度低下率※1（一部加筆）

※1：建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
※2：各温度における鋼材の 1%ひずみ時耐力の測定値を常温の基準強度（F）で割ったものが強度低下率κ(T)であり，鋼材の強度が常温時と変わらない場合は，κ(T)=1 となる。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

鋼材の許容温度に係る抜粋

(1) 鋼材の高温耐力

図４は，各種温度における構造用鋼材（SM490A，基準強度[2]325N／mm²）の応力―ひずみ曲線の測定例である。常温での応力―ひずみ関係は，よく知られたように 0.2%程度まで弾性変形し，その後は耐力がほぼ１定のままひずみが増加する領域（ひずみ硬化域）がある。

高温での応力―ひずみ曲線の形は常温とことなる。降伏棚が消滅し，曲線は全体的に丸みを帯びる。耐力値そのものは，300℃では常温よりも上昇し，400℃を超えると急激に低下し始める。600℃以上ではひずみが増加しても耐力が減少する領域（ひずみ軟化域）がある。この領域に入ってしまうと，変形が歯止めなく進行して崩壊に向かう。

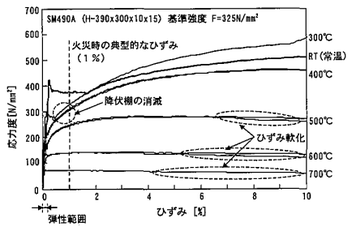


図４　構造用鋼材の応力－歪曲線の例[2)]
（出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院）

このような鋼材の特性を踏まえ，高温時の構造計算には 1%ひずみ時の耐力を用いる。図５に，各種鋼材の 1%ひずみ時耐力の測定結果を示す。縦軸の値は，各温度での測定値を常温の基準強度（P 値）で割ったものであり，これを鋼材の強度低下率と呼ぶ。構造耐火設計のためには，測定値の下限をとり次式で強度低下率が定義されている[2)]。

$$\kappa(T)=\frac{\sigma_y(T)}{F}=\begin{cases}\boxed{1 \quad (T\le 325)} \\ \dfrac{700-T}{375} \quad (325<T\le 700)\end{cases} \qquad (4)$$

強度が変わらない最高温度である 325℃を許容温度に設定

これを用いると，素材としての限界温度を求めることができる。例えば，鋼材の長期許容応力度は基準強度の 2/3 なので，長期許容応力度一杯で設計された部材では，

$$0.667=\frac{700-T}{375} \qquad (5)$$

より，450℃が許容鋼材温度となる。

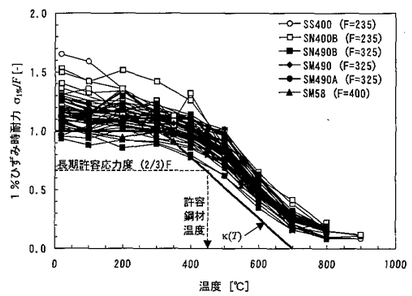


図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)～6)] のデータから作成）

島根原子力発電所　２号炉

別紙2-3

排気筒の許容限界温度325℃の設定根拠について

一般的に，鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが，その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方，発電用原子力設備規格　設計・建設規格（一般社団法人　日本機械学会）では，鋼材の制限温度を350℃としていること，また，文献※1では，鋼材の温度上昇に伴う強度低下率κ(T)が示されており，一般的な鋼材において温度が325℃以下であれば，その強度が常温時と変わらない（κ(T)＝１）※2としている。（第1図）

よって本評価では，保守的に鋼材の強度が常温時と変わらないとされる 325℃を許容限界温度とし，評価を実施する。

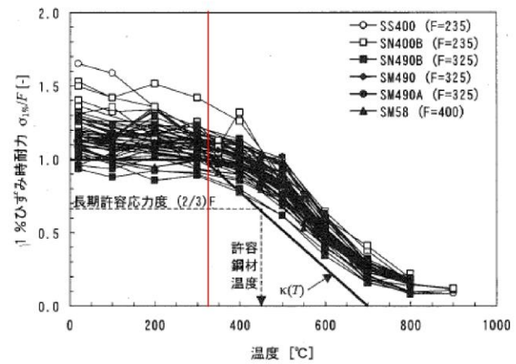
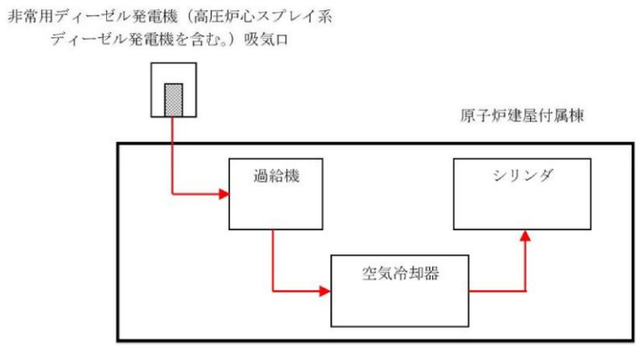


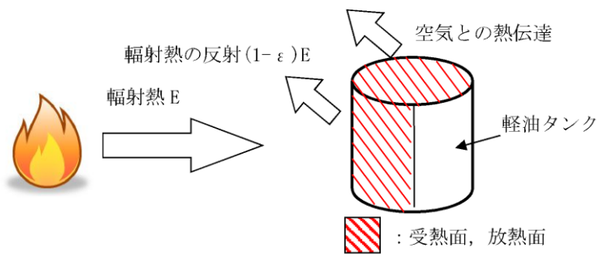
図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)～6)] のデータから作成）

第1図　鋼材の温度上昇に伴う強度低下率※1（一部加筆）

※1：建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
※2：各温度における鋼材の１％ひずみ時耐力の測定値を常温の基準強度（F）で割ったものが強度低下率κ(T)であり，鋼材の強度が常温時と変わらない場合は，κ(T)＝１となる。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2. 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。）の許容温度 過給機効率ηｃの算出式①より，流入空気温度を求める式②に変換し，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。）の性能維持に必要な流入空気温度 53℃を算出し許容温度に設定した。 $\eta_c = T_0 \times \{(P_1 / P_0)^{0.286} - 1\} / (t_1 - t_0)$　・・・① $t_1 = T_0 \times \{(P_1 / P_0)^{0.286} - 1\} / \eta_c + t_0$　・・・② T_0：流入空気温度（K）（$= t_0 + 273$） t_1：ｼﾘﾝﾀﾞへの必要空気量を確保するための過給機出口最高温度（142℃）※1 t_0：流入空気温度（℃），P_0：過給機入口圧力（0.101MPa）※2 P_1：過給機出口圧力（0.186MPa）※2，η_c：過給機効率（0.7）※3 ※１　空気冷却器での冷却が可能な最高温度 ※２　試験記録より ※３　製品仕様より  図　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。）概略図		・設備の相違 【東海第二】 評価対象としている設備の相違

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
別紙 2－4 各施設等の温度評価体系 1. 軽油タンクの温度評価体系 ・火災時の輻射熱が軽油タンクに入射し，軽油及びタンク構造物の温度上昇に寄与すると想定する。 ・空気との熱伝達による放熱を考慮する。 ・軽油タンクの受熱時の面積 S_1 及び放熱時の面積 S_2 は，タンク屋根面積＋タンク側面面積／2 とする。 $S_1 - S_2 = \pi \frac{D_0}{4} + \frac{\pi}{2} D_0 H$ ［m²］ ・熱容量 C は，軽油の熱容量＋タンク構造物の熱容量とする。 $C = \rho_p V c_p + \rho_s \left\{ \pi \frac{D_o^2 - D_i^2}{4} H + \pi \frac{D_0^2}{4} (e_1 + e_2) \right\} c_s$ ［J/K］ ・タンクの温度上昇，輻射による入熱及びタンク表面からの放熱の関係は以下の式で表される。 $C \frac{dT}{dt} = \varepsilon E S_1 - h(T - T_{air}) S_2$ ［W］ T_{air}：外気温度［℃］ 温度 T は以下の式となる。 $T = \frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - \left(\frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - T_0 \right) e^{\left(-\frac{h S_2}{C}\right) t}$ ［℃］ ・使用するパラメータを第 1 表に示す  第 1 図　軽油タンク温度評価体系図		別紙 2-4 各施設等の温度評価体系	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

第１表　評価に使用するパラメータ

パラメータ	数値	単位	備考
T_0：初期温度	38	℃	柏崎市の最高気温
ε　：放射率	0.9	[-]	伝熱工学資料
ρ_p：軽油密度	918	[kg/m³]	NUREG-1805
c_p　：軽油比熱	1700	[J/kg･K]	石油便覧
V　：軽油体積	528	[m³]	保安規定による最低保有油量
ρ_s：タンク構造材密度	7860	[kg/m³]	伝熱工学資料
c_s　：タンク構造材比熱	473	[J/kg･K]	伝熱工学資料
D_i　：タンク内径	9.8	[m]	基本設計計算書
D_0　：タンク外形	9.872	[m]	設計図書
e_1　：タンク屋根厚	0.022	[m]	設計図書
e_2　：タンク底板厚	0.009	[m]	基本設計計算書
H　：タンク高さ	9.5	[m]	基本設計計算書
h　：熱伝達率	17	[W/m²K]	空気調和衛生工学便覧
C　：熱容量	8.72×10^8	[J/K]	計算

2. 燃料移送ポンプの温度評価体系

燃料移送ポンプは，その周囲に設置する防護板によって，外部火災からの輻射による熱影響を受けないよう防護する。 防護板は，燃料移送ポンプの近傍で発生する軽油タンク火災を想定し，火炎の方向に面した箇所は，竜巻防護用の鋼板に耐火材・断熱材を設置することにより，その輻射による熱影響を受けないようにする。

なお，それ以外の面については，他の外部火災による熱影響が軽微であることから，耐火材・断熱材を設置しない竜巻防護用の鋼板のみの仕様とする。

防護板の仕様としては，以下のとおり。

① 防護板（断熱） 燃料移送ポンプに隣接している軽油タンク火災を想定。
燃料移送ポンプ が輻射による熱影響を受けないようにするため，火炎に面した箇所に設置する耐火材・断熱材・鋼板（竜巻防護用）を有する防護板。

② 防護板（鋼板） 熱影響が軽微な面に設置する防護板。耐火材・断熱材は設置せず，竜巻防護用の鋼板のみの仕様。

</td>
<td></td>
<td>

1. 海水ポンプの温度評価体系

・火災時の輻射熱が海水ポンプに入射し，冷却空気の温度上昇に寄与すると想定する。

・電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び上部，下部軸受であり，そのうち許容温度が低い下部軸受を対象とする。

・海水ポンプ電動機の冷却空気が一定の輻射強度によって昇温されるものとして，比熱と熱容量の関係式より温度Ｔは以下の式となる。

$$T = T_0 + \frac{E\times A_T}{G\times C_p} \qquad [℃]$$

</td>
<td></td>
</tr>
</table>

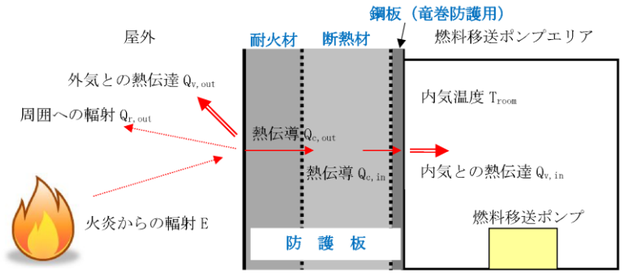
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

防護板の仕様を踏まえた燃料移送ポンプの温度評価体系は，以下のとおり。

2.1 軽油タンク火災時

・火災時の一定の輻射熱が燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（断熱）外面に入射し，一定時間維持されたと想定する。

以下に概念図を示す。



第 2 図　防護板（断熱）における伝熱の概念図

・以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，防護板（断熱）の内面並びに燃料移送ポンプエリア温度を求める。

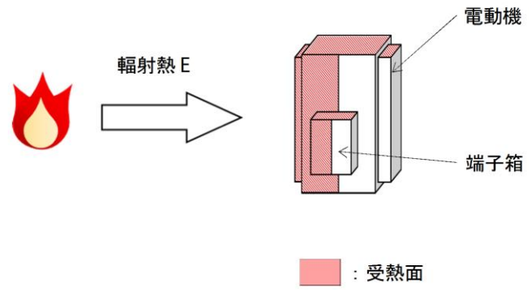
$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t ：時刻，x ：防護板（断熱）外面からの距離，α：熱拡散率

・防護板（断熱）の外面及び内面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

$$Q_{v,in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room})$$

h_{in}：防護板（断熱）内面熱伝達率，A：防護板（断熱）内面の表面積，T_{in}：防護板（断熱）内面温度，T_{room}：燃料移送ポンプエリア温度

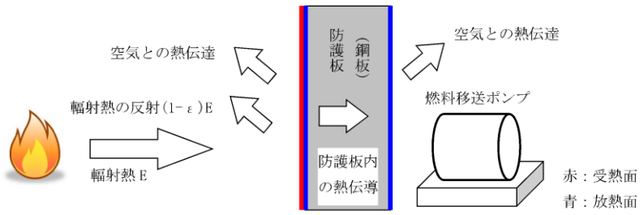
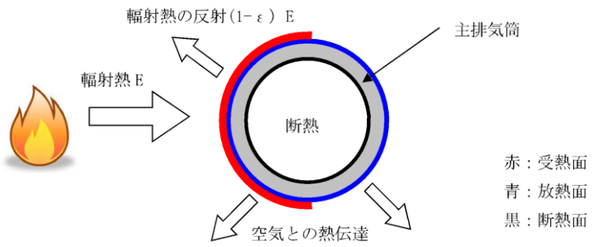
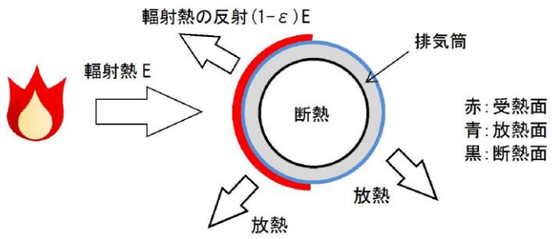


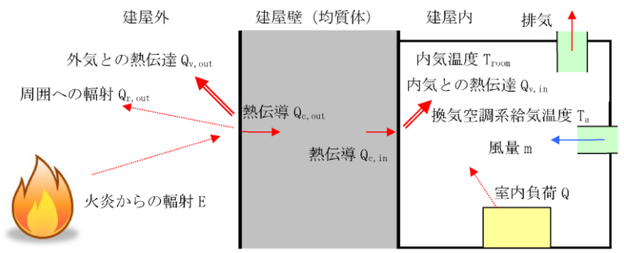
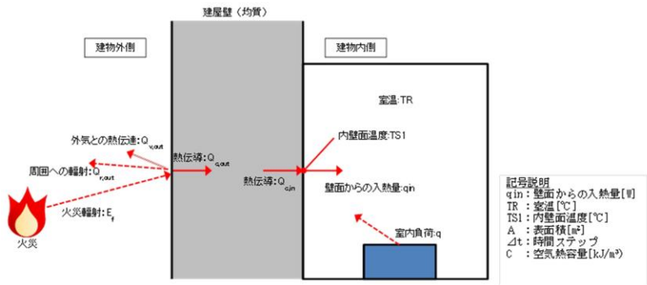
第１図　海水ポンプの温度評価体系図

第１表　評価に使用するパラメータ

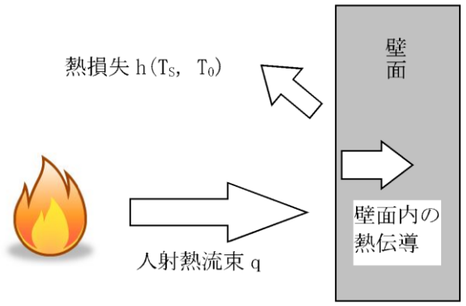
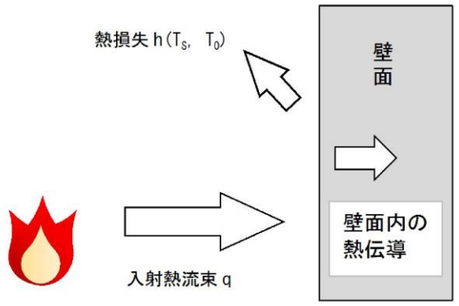
パラメータ	数値	備考
T_0：通常運転時の上昇温度[℃]	下部軸受：22	設計値
A_T：受熱面積[m^2]	10.93	構造図
G：重量流量[kg/s]	1.96	設計値
C_p:空気比熱[J/(kg・K)]	1007	伝熱工学資料

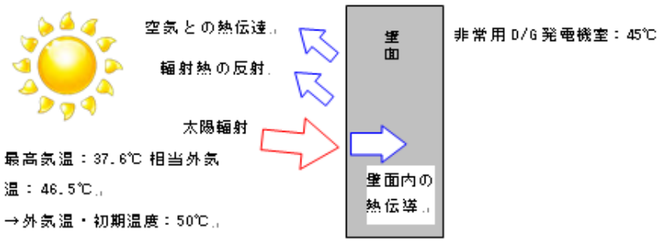
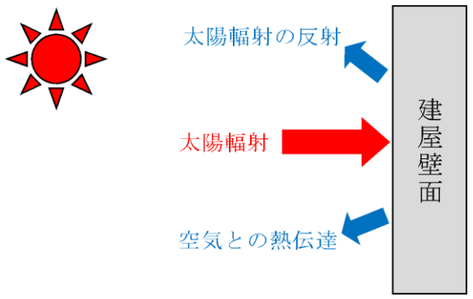
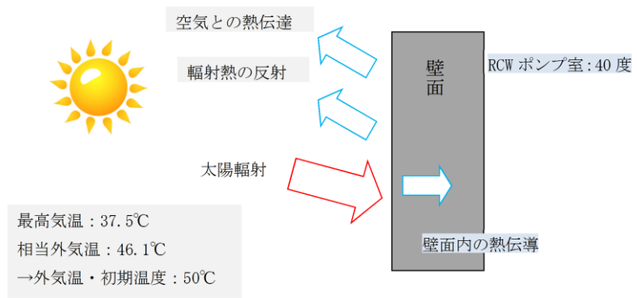
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
・燃料移送ポンプエリア温度は，火災による防護板（断熱）内面温度上昇に伴う熱負荷がポンプエリア内に蓄熱されることを考慮し，次式で求める。 $\Delta T_{room} = \frac{Q_{v,in}}{\rho C \mathrm{V}}$ ρ：空気密度，C:空気比熱，V：ポンプエリア体積 2.2 軽油タンク火災以外の外部火災時 ・軽油タンク火災以外の外部火災時は，保守的に輻射熱が防護板（鋼板）に入射し，防護板（鋼板）の温度上昇に寄与すると想定する。 ・空気との熱伝達による放熱を考慮する。 ・防護板（鋼板）の外面にて受熱（面積 S/2），放熱は外面及び内面（面積 S）とし，受熱は，面積が最大となるよう側面の 2 面とした。 ・熱容量 C は，防護板（鋼板）の熱容量とする。 $C = \rho c V$　［J/K］ ・防護板（鋼板）の温度上昇，輻射による入熱及び防護板（鋼板）からの放熱の関係は以下の式で表される。 $C\frac{dT}{dt} = \varepsilon E \frac{S}{2} - h(T - T_{air})S$　［W］ T_{air}：外気温度［℃］ 温度 T は以下の式となる。 $T = \frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} - \left(\frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} - T_o\right) e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t}$　［℃］ ＜記号＞ T_0：初期温度［℃］，E：輻射強度［W/m^2］，ε：防護板（鋼板）外面の放射率［-］※1，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率［W/m^{2}K］※2，S：防護板（鋼板）放熱面積［m^2］（S/2：受熱面積は外面のみ），C:防護板（鋼板）の熱容量［J/K］，ρ：密度［kg/m^3］※1，c：比熱［kJ/kgK］※1，v：体積［m^3］，t：燃焼継続時間［s］，T_{air}：外気温度［℃］ ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学			

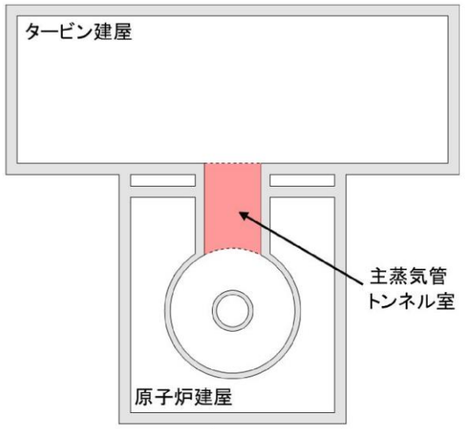
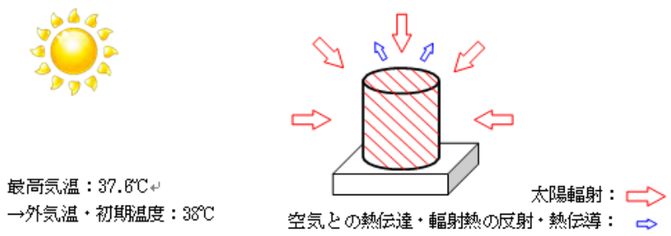
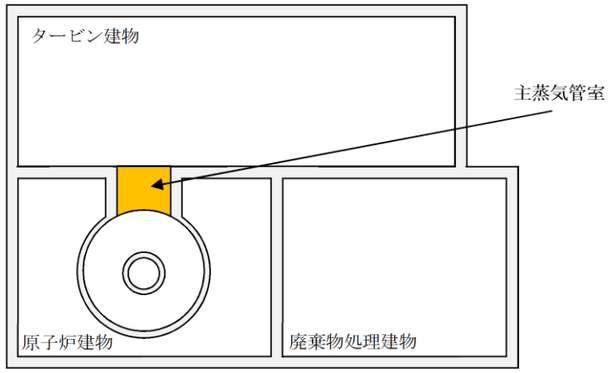
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 3 図 防護板（鋼板）温度評価体系図 3. 主排気筒の温度評価体系 ・火災時の輻射熱が主排気筒に入射し，主排気筒の温度上昇に寄与すると想定する。 ・主排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く。 $\rho CV\frac{dT}{dt}=\varepsilon E\frac{S}{2}-h(T-T_0)S$ t→∞の場合で最大温度となり，その温度は以下の式となる。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ ρ：主排気筒部材密度[kg/m³]，C:主排気筒部材比熱[J/kg/K]，S：主排気筒単位長さあたりの外周面積[m²]，V：主排気筒単位長さあたりの体積[m³]，T：最高温度[℃]，T_0：初期温度[℃]（柏崎市の最高気温）※1，E：輻射強度[W/m²]，h：熱伝達係数[W/m²/K]（出典：空気調和・衛生工学便覧），ε：反射率[-]（出典：伝熱工学資料） ※1:別紙 2－5 参照  第 4 図　主排気筒温度評価体系図		2. 排気筒の温度評価体系 ・火災時の輻射熱が排気筒に入射し，排気筒の温度上昇に寄与すると想定する。 ・排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く。 $\rho CV\frac{dT}{dt}=\varepsilon E\frac{S}{2}-h(T-T_0)S$ t→∞の場合で最大温度となり，その温度は以下の式となる。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ ρ：排気筒部材密度[kg/m³]，C:排気筒部材比熱[J/kg/K]，S：排気筒単位長さあたりの外周面積[m²]，V：排気筒単位長さあたりの体積[m³]，T：最高温度[℃]，T_0：初期温度[℃]，E：輻射強度[W/m²]，h：熱伝達係数[W/m²/K]（出典：空気調和・衛生工学便覧），ε：反射率[-]（出典：伝熱工学資料）  第 2 図　排気筒の受熱面が受ける輻射の割合	

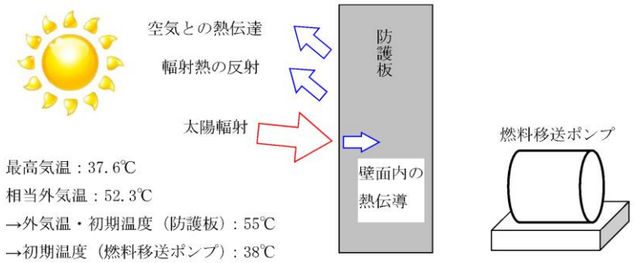
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4. 建屋内気温度の温度評価体系 ・火災時の一定の輻射熱が建屋外壁面に入射し，一定時間維持されたと想定する。 以下に概念図を示す。  第 5 図　伝熱の概念図 ・以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，外壁及び内壁面温 度を求める。 $\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$ T：温度，t：時刻，x：建物壁内における外壁面からの距離，α：熱拡散率 ・外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。 $Q_{v,in}=h_{in}A(T_{in}-T_{room})$ h_{in}：内壁面熱伝達率，A：内壁の表面積，T_{in}：内壁面温度，T_{room}：内気温度 ・内気温度は，火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び換気空調系による除熱を考慮し，次式で求める。 $T_{room}=\frac{Q+Q_{v,in}}{m\rho C}+T_a$ Q：室内負荷，m：風量，ρ：空気密度，C:空気比熱，T_a：換気空調系給気温度		3. 建物内気温度の温度評価体系 ・火災時の一定の輻射熱が建物外壁面に入射し，一定時間維持されたと想定する。 以下に概念図を示す。  第 3 図　伝熱の概念図 ・以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，外壁及び内壁面温度を求める。 $\frac{dT}{dt}=\kappa\frac{d^2T}{dx^2}$ T:温度，t:時刻，x:建物壁内における外壁面からの距離，κ：熱拡散率 ・内壁面からの入熱量は以下の式より算出される。 $qin=\alpha 1\times(TR^j-TS1^j)$ qin：壁面からの入熱量[W]，α1:内壁面熱伝達率，TR:室温[℃]，TS1:内壁面温度[℃] ・上記の式より，内気温度は，次式で求める。 $TR^{j+1}=TR^j+(q^j-\sum(qin\times A))\times\Delta t/C$ TR:室温[℃]，qin：壁面からの入熱量[W]，A:内壁面の表面積[m²]，Δt：時間ステップ，C:空気の熱容量[kJ/m³]，q：室内熱負荷[W]	・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，室内の空気は出入りがない条件として評価を実施 ・条件の相違 【柏崎 6/7】 地域特性を踏まえた評価条件に伴う評価式の相違

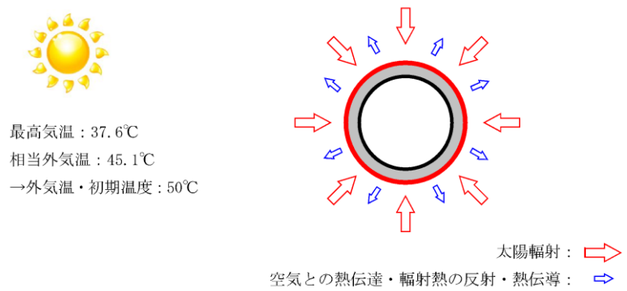
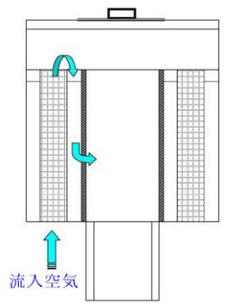
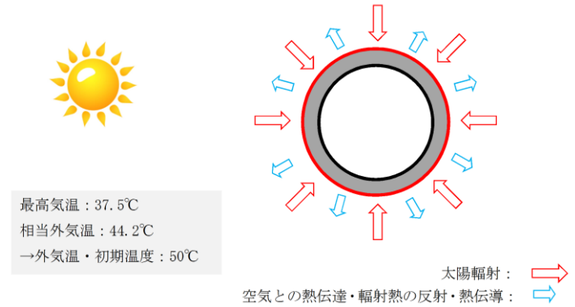
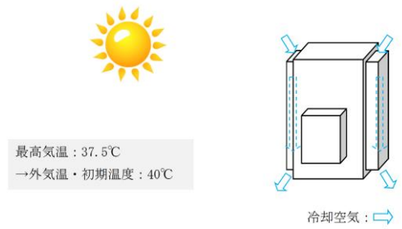
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
5．一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系 十分に厚い固体の表面が放射熱で加熱される場合の温度分布は，以下の一次元の熱伝導方程式により表すことができる。 $\rho c\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial T}{\partial x})$ これを表面（ｘ＝０）における境界条件 $\varepsilon q=h\{T(0,t)-T_0\}-k\left.\frac{\partial T}{dx}\right\|_{x=0}$ の下で入射熱流束が時間的に一定であれば，次式が得られる。 $T_s(t)=T_0+\frac{\varepsilon q}{h}\{1-\exp(\frac{h^2t}{k\rho c})\mathrm{erfc}(\sqrt{\frac{h^2t}{k\rho c}})\}$ ただし，erfc(z)は余誤差関数であり，T_s（t）＝T（0,t）とおいた。 また，εq／h（T_s-T_0）＜10 の範囲では，以下のとおり近似できる。 $\frac{\varepsilon q}{h(T_s-T_0)}=\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h}\frac{1}{\sqrt{t}}+1$ $T_s=T_0+\frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon q}}$ ＜記号＞ c：比熱[kJ/kgK]，T_0：初期温度[K]，erfc(z)：余誤差関数，T_s：表面温度[K]， h：熱伝達率[kW/m^{2}K]，ε：表面の放射率，k：熱伝導率[kW/mK]，ρ：密度[kg/m^3]， q：入射熱流束[kW/m^2]，t：燃焼継続時間[s] 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター		4.　一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系 十分に厚い固体の表面が放射熱で加熱される場合の温度分布は，以下の一次元の熱伝導方程式により表すことができる。 $\rho c\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)$ これを表面（ｘ＝０）における境界条件 $\varepsilon q=h\{T(0,t)-T_0\}-k\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right\|_{x=0}$ の下で入射熱流束が時間的に一定であれば，次式が得られる。 $Ts(t)=T_0+\frac{\varepsilon q}{h}\left\{1-\exp\left(\frac{h^2t}{kpc}\right)erfc\left(\sqrt{\frac{h^2t}{kpc}}\right)\right\}$ ただし，erfc(z)は余誤差関数であり，$Ts(t)=T(0,t)$とおいた。 また，$\varepsilon q/h\ (Ts-T_0)$＜10 の範囲では，以下のとおり近似できる。 $\frac{\varepsilon q}{h(T_s-T_0)}=\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h}\frac{1}{\sqrt{t}}+1$ $T=T_0+\frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon q}}$ ＜記号＞ c：比熱[ｋJ/kgK]，T_0：初期温度[K]，erfc(z)：余誤差関数， Ts 表面温度[K]，h：熱伝達率[kW/m^{2}K]，ε：表面の放射率， k：熱伝導率[kW/mK]，ρ：密度[kg/m^3]，q：入射熱流束[kW/m^2]， t：燃焼継続時間[s] 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計， 日本建築センター	

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
 第 6 図　建屋温度評価体系図		 第4図　建物温度評価体系図	

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
別紙 2－5 初期温度の考え方 1.　外壁（コンクリート）面の初期温度 空気調和・衛生工学便覧をもとに，日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げた値を外気温及び評価対象施設の初期温度として設定した。なお，受熱面は各壁面の方向（東西南北）とした。 柏崎市の最高気温 37.6℃に対して，外壁面の相当外気温の最大値は 46.5℃となる。46.5℃を切り上げ，50℃を外気温及び初期温度として設定する。 なお，原子炉建屋内で最も室温が高いのは，主蒸気管トンネル室（設計温度：55℃）であり，外壁面の初期温度 50℃より高いものの，その外壁は原子炉建屋とタービン建屋の間に位置しており，外部火災による輻射の影響を受けない。  第 1 図　原子炉建屋外壁面温度評価体系図	別紙 2.2 初期温度の考え方について 1.　外壁の初期温度 空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げ，評価対象の初期温度として設定した。 水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量とコンクリートの日射吸収率 0.7 を考慮すると，外壁面の相当外気温の最大値は 45.5℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。 なお，原子炉建屋内で最も室温が高いのは，主蒸気管トンネル室（設計温度：60℃）であり，外壁面の初期温度 50℃より高いものの，その外壁は原子炉建屋とタービン建屋の間に位置しており，外部火災による輻射の影響を受けない。 次に室温が高いのは，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（設計温度：40℃）となるが，外壁面の初期温度 50℃未満であることから，初期温度の設定は妥当なものと考えられる。  第 1 図　外壁の評価概念図	別紙 2-5 初期温度の考え方 1.　外壁（コンクリート）面の初期温度 空気調和・衛生工学便覧を基に，日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げた値を外気温及び評価対象施設の初期温度として設定した。なお，受熱面は各壁面の方向（東西南北）とした。 鹿島地区の最高気温 37.5℃に対して，外壁面の相当外気温の最大値は 46.1℃となる。46.1℃を切り上げ，50℃を外気温及び初期温度として設定する。 なお，原子炉建物内で最も室温が高いのは，主蒸気管室（設計温度：60℃）であり，外壁面の初期温度 50℃より高いものの，その外壁は原子炉建物とタービン建物の間に位置しており，外部火災による輻射の影響を受けない。  第 1 図　原子炉建物外壁面温度評価体系図	

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
 第 2 図　主蒸気管トンネル室の位置 2. 軽油タンクの初期温度 太陽輻射熱は，日の出から日中の日射の最大値約 1kW/m² まで増加するので，平均的には 0.5kW/m² の日射が最大値となるまでの 7 時間(6～13 時)継続して軽油タンクを加熱すると仮定する。最大値以降は日射量の減少に伴う放熱により軽油温度は減少に向かうと考える。受熱面はタンクの側面及び上面とする。 日中の軽油タンクの最高温度は，最低気温の最高値 27℃から，日射及び外気から の入熱による温度上昇分 6.7℃を加味し，33.7℃と算定される。  第 3 図　軽油タンク温度評価体系図		 第 2 図　主蒸気管室の位置（イメージ）	・設備の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
3. 燃料移送ポンプ（防護板）の初期温度 空気調和・衛生工学便覧をもとに，日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げた値を外気温及び評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面はポンプ周囲に設置している防護板とする。 柏崎市の最高気温 37.6℃に対して，燃料移送ポンプの周囲に設置している防護板外表面の相当外気温の最大値は 52.3℃となる。52.3℃を切り上げ，55℃を外気温度の初期温度として設定する。また，燃料移送ポンプについては，周囲に防護板が設置されており，日射の影響を受けないことから，柏崎市の最高気温の最高値 37.6℃を切り上げ，38℃を初期温度として設定する。  第 4 図　燃料移送ポンプ温度評価体系図 4. 主排気筒の初期温度 空気調和・衛生工学便覧をもとに，日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げた値を外気温及び評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は主排気筒の側面とした。 柏崎市の最高気温 37.6℃に対して，主排気筒外表面の相当外気温の最大値は 45.1℃となる。45.1℃を切り上げ，50℃を初期温度として設定する。	2. 主排気筒の初期温度 空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げ，評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は主排気筒の側面とした。 水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量と主排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，主排気筒の相当外気温の最大値は 48.6℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。	2. 排気筒の初期温度 空気調和・衛生工学便覧を基に，日射影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げた値を外気温及び評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は排気筒の側面とした。 鹿島地区の最高気温 37.5℃に対して，排気筒外表面の相当外気温の最大値は 44.2℃となる。44.2℃を切り上げ，50℃を初期温度として設定する。	

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
 第 5 図　主排気筒温度評価体系図	 第 2 図　主排気筒の評価概念図 3.　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。），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。）用海水ポンプ内への流入空気の初期温度 　水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃を切り上げた 39 ℃を流入空気の初期温度とした。  第 3 図　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。）の評価概念図	 第 3 図　排気筒温度評価体系図 3.　海水ポンプの冷却空気初期温度 　鹿島地区の最高気温 37.5℃を切り上げた 40℃を冷却空気の初期温度とした。  第 4 図　海水ポンプ温度評価体系図	

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

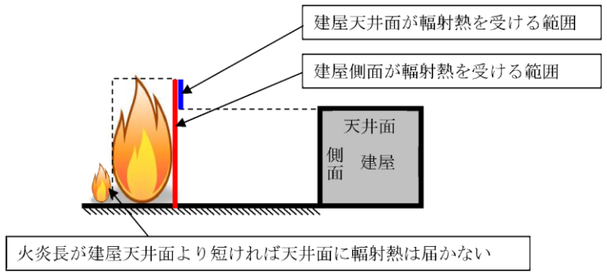
別紙 2－6

建屋天井面への熱影響評価

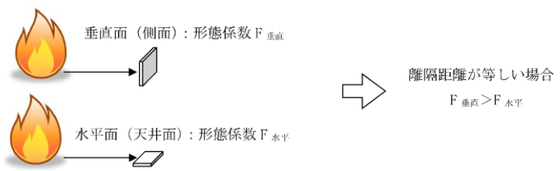
建屋側面への熱影響を実施したが，天井面についての熱影響を検討する。

・火炎長が建屋天井面より短い場合は天井面に輻射熱は届かないことから熱影響はない。（第 1 図）
・火炎長が建屋天井面より長くなる場合は輻射熱が天井面に届くが，その輻射熱は側面の輻射熱より小さい。（第 1 図）
・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（側面）と水平面（天井面）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井面の熱影響は側面に比べて小さい。（第 2 図）
・コンクリートの厚さは側面より天井面の方が薄いことから，天井面の方が建屋内側の熱伝達による放熱の効果が大きくなるため熱影響は小さい。

以上より，側面の熱影響を実施することで天井面の熱影響は包絡されることを確認した。



第１図　天井面への輻射熱の影響



第 2 図 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

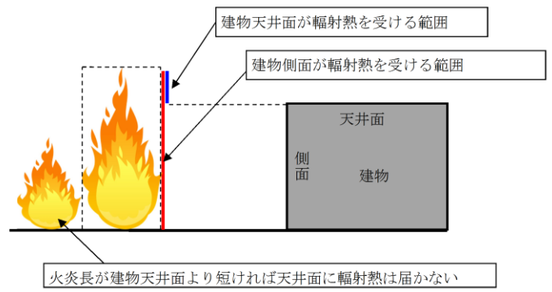
別紙 2-6

建物天井面への熱影響評価

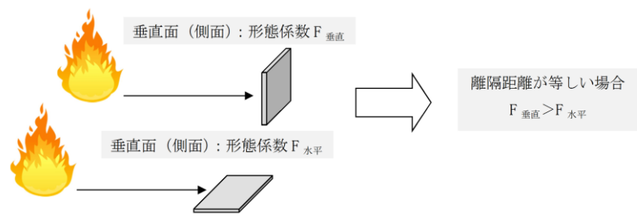
建物側面への熱影響評価を実施したが，天井面についての熱影響を検討する。

・火炎長が建物天井面より短い場合は天井面に輻射熱は届かないことから熱影響はない。（第 1 図）
・火炎長が建物天井面より長くなる場合は輻射熱が天井面に届くが，その輻射熱は側面の輻射熱より小さい。（第 1 図）
・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（側面）と水平面（天井面）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井面の熱影響は側面に比べて小さい。（第 2 図）
・コンクリートの厚さは側面より天井面の方が薄いことから，天井面の方が建物内側の熱伝達による放熱の効果が大きくなるため熱影響は小さい。

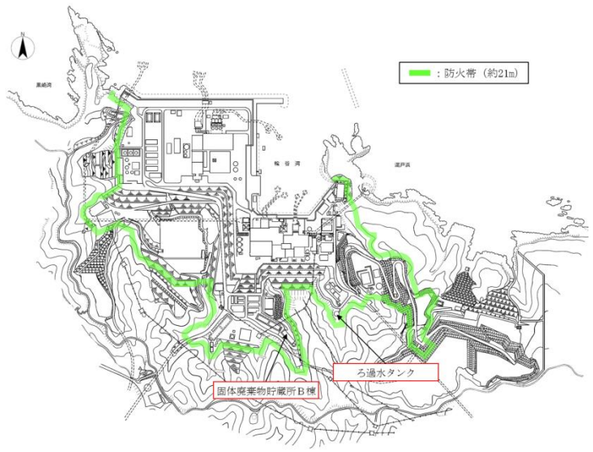
以上より，側面の熱影響評価を実施することで天井面の熱影響は包絡されることを確認した。



第1図　天井面への輻射熱の影響



第 2 図　垂直面と水平面の形態係数の大きさ

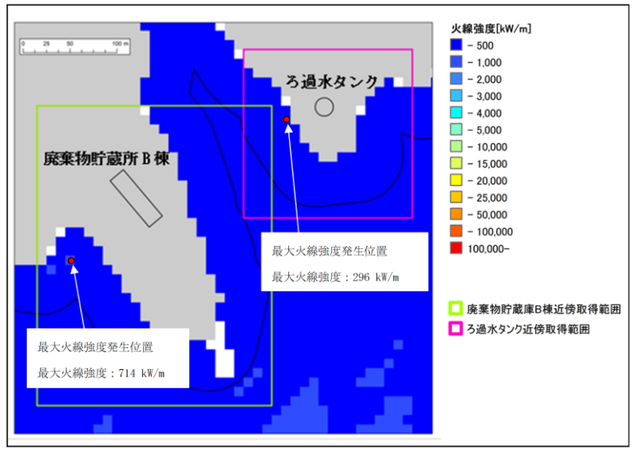
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		別紙2-7 防火帯が入り組んでいる箇所の影響評価について 1.　概要 防護対象設備については，モニタリング・ポストを除き防火帯内側に設置しているため火災影響はないが，防火帯が入り組んでいる箇所の防護対象設備に対する影響評価を行う。 2.　評価対象施設 (1)　固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟 (2)　ろ過水タンク  第1図　評価対象施設位置 3.　影響評価 (1)火線強度による評価 評価対象施設周辺の最大火線強度は，林縁で最大火線強度となる条件で評価した結果，固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟で715kW/m，ろ過水タンクで296kW/mとなることを確認した。発電所での最大火線強度（4,154kW/m）に対し，十分な余裕を確保していることを確認した。 なお，固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟及びろ過水タンクは，下り勾配の位置にあり，火災が延焼し難いことから火線強度が大き	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉特有の防火帯が入り組んでいる箇所について，影響評価を実施

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

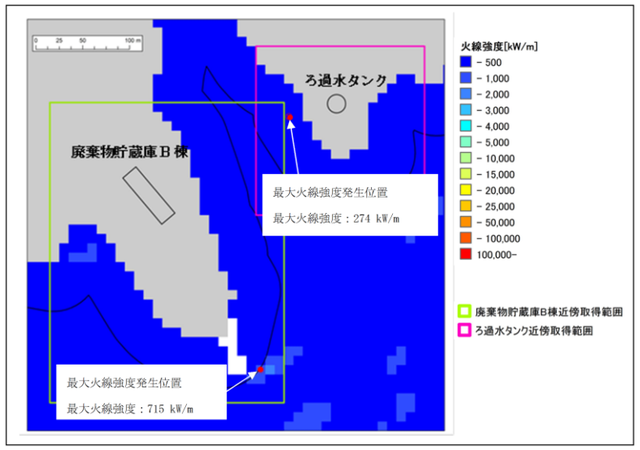
くなり難い。

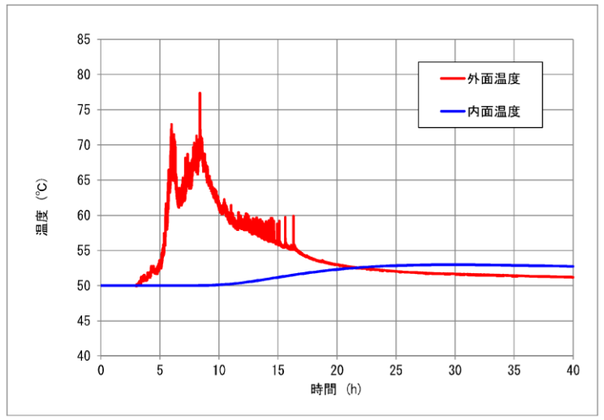
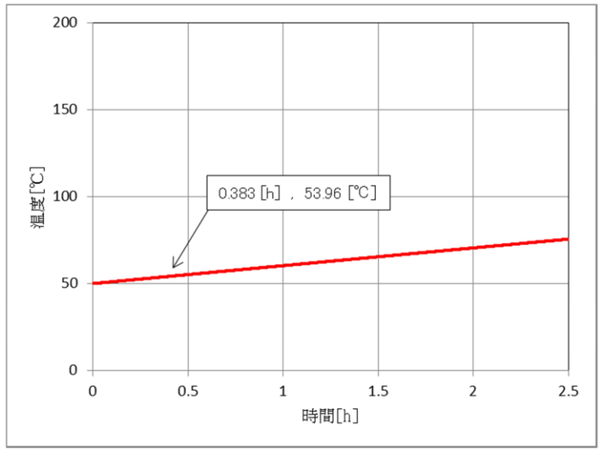
第1表　近傍の火線強度の最大値

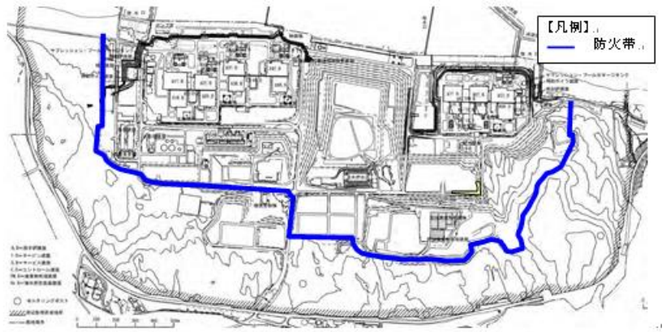
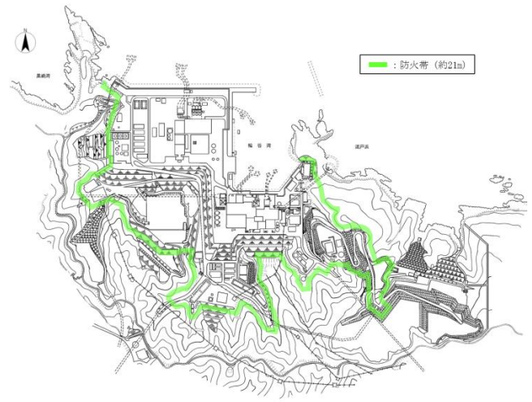
ケース	対象施設	近傍の火線強度最大値（kW/m）	可燃物
1	①ろ過水タンク	296	落葉広葉樹
	②固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟	714	スギ 10 年生
2	①ろ過水タンク	274	落葉広葉樹
	②固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟	715	落葉広葉樹



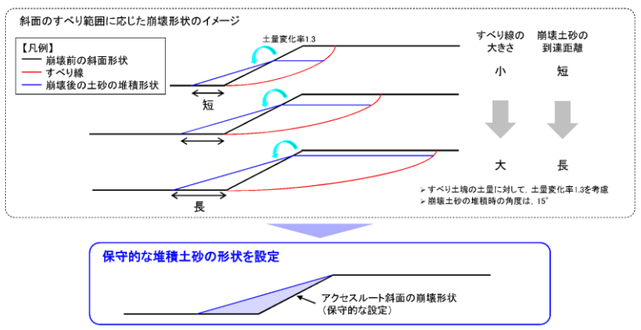
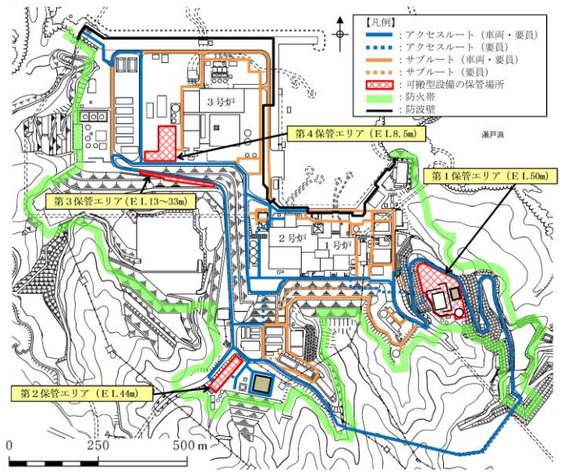
第2図　ろ過水タンク及び固体廃棄物貯蔵所（Ｂ棟）周辺の FARSITEの結果（ケース１の場合）

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第3図　ろ過水タンク及び固体廃棄物貯蔵所（Ｂ棟）周辺のFARSITEの結果（ケース2の場合） (2)　熱影響評価 ａ．　固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟 固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟については，熱影響評価の結果，外面温度が最大約 78℃と 200℃（コンクリートの許容温度）を下回っていることを確認した。 また，内面温度については，最大約 53℃となり，固体廃棄物貯蔵所の内部に保管する低レベル放射性固体廃棄物用ドラム缶で使用しているパッキンの耐熱温度限度（100℃）を下回ることを確認した（第４図） ｂ．　ろ過水タンク ろ過水タンクについては，熱影響評価の結果，外面の温度が約 54℃と 325℃（鋼材の許容温度）を下回っていることを確認した。（第５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
		 第4図　固体廃棄物貯蔵所Ｂ棟南壁面温度の時間変化 （ケース1の場合）  第5図　ろ過水タンク壁面温度の時間変化 （ケース1の場合）	

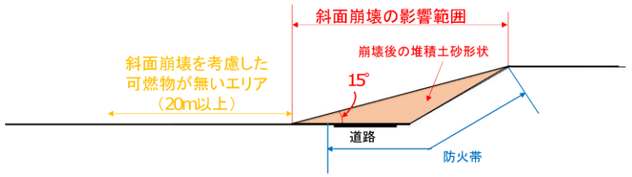
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙 2－7 斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方について 1. 防火帯の概要 防火帯は，第 1 図に示すとおり発電所設備の配置状況等を考慮し，干渉しないように設定している。 設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除し，その後，除草剤を散布した上で，モルタル吹付け等を行い，草木の育成を抑制し，可燃物がない状態を維持する。  第 1 図 防火帯位置 2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価 (1) 評価方針について 地震が起因となり，発電所敷地外にて森林火災が発生することは否定できないことから，安全上の配慮として，仮に地震と森林火災が重畳した場合を想定し，地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価を行う。	別紙 2.4 斜面に設定している防火帯の地盤安定性について 斜面に設定する防火帯範囲を下図に示す。この斜面については，基準地震動を想定した地盤安定性評価を実施しており，崩落しないことを確認している。このため，斜面に設定している防火帯が斜面の崩落により機能を喪失することはない。	別紙2-8 斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方について 1. 防火帯の概要 防火帯は，第1図に示すとおり発電所設備の配置状況等を考慮し，干渉しないように設定している。 設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除し，その後，除草剤を散布したうえで，モルタル吹付け等を行い，草木の育成を抑制し，可燃物がない状態を維持する。  第1図　防火帯位置図 2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価 (1) 評価方針について 地震が起因となり，発電所敷地外にて森林火災が発生することは否定できないことから，安全上の配慮として，仮に地震と森林火災が重畳した場合を想定し，地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価を行う。	・条件の相違 【東海第二】 島根 2 号炉，柏崎 6/7 は，安全上の配慮として評価を実施

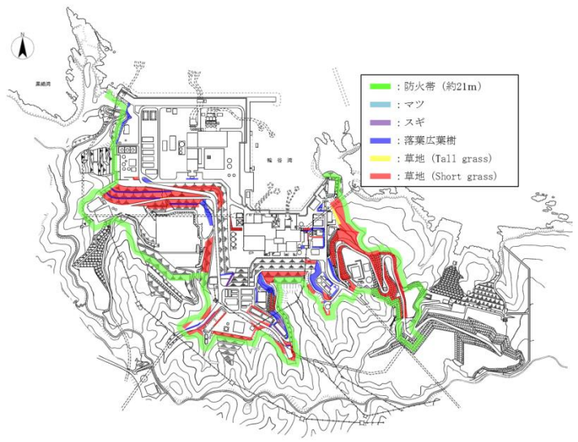
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(2)森林火災が防火帯を突破する可能性について 森林火災（単独事象）の影響評価では，下記に示す保守的な前提条件としている。 ① 気象条件（湿度，気温，風速）は，過去 10 年間における森林火災発生件数の多い 3～5 月のうち，最も厳しい条件の組み合わせとしている。 ② 植生は，現地調査等で特定した樹種ごとに，より厳しい評価となるような 林齢及び下草を設定している。 ③ 日照時間の影響を考慮し，防火帯近傍における火線強度が最大となるよう に森林火災の発火時刻を設定している。 自然現象の重畳を検討する場合，主事象（地震）に対して，副事象（森林火災）の規模を小さくすることは一般的に用いられている手法である。 森林火災については，定量的な規模を示すことは困難であるが，同様に，主事象である地震と重畳する森林火災の規模が単独事象の森林火災より小さくなると考えられ，防火帯内に多くの可燃物（草木等）が流入しなければ，防火帯の延焼防止機能が直ちに喪失することはない。 (3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について 第 2 図に防火帯とアクセスルートを示す。 防火帯については，アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方※に基づき（第 3 図），斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し，延焼防止機能に影響がある場合は，機能の低下を想定する。 防火帯の機能が低下した場合，防火帯の内側への森林火災の延焼が想定されるものの，発電所敷地内には道路（幅 10m 程度）や非植生のエリアが多くあることから，更なる延焼の可能性は低いと考えられる（「別紙 2－8 防火帯内植生による火 災について」参照）。 斜面崩壊の影響を受けるアクセスルートの範囲を第 4 図に，地震時におけるアクセスルートを第 5-1 図，第 5-2 図に示す。 地震時に使用するアクセスルートのうち，中央交差点及び荒浜側高台保管場所付近については，地震時の斜面崩壊の影響を	図　崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係	(2)　森林火災が防火帯を突破する可能性について 森林火災（単独事象）の影響評価では，下記に示す保守的な前提条件としている。 ① 気象条件（湿度，気温，風速）は，過去 10 年間における森林火災発生件数の多い３～８月のうち，最も厳しい条件の組み合わせとしている。 ② 植生は，現地調査等で特定した樹種ごとに，より厳しい評価となるような林齢及び下草を設定している。 ③ 日照時間の影響を考慮し，防火帯近傍における火線強度が最大となるように森林火災の発火時刻を設定している。 自然現象の重畳を検討する場合，主事象（地震）に対して，副事象（森林火災）の規模を小さくすることは一般的に用いられている手法である。 森林火災については，定量的な規模を示すことは困難であるが，同様に，主事象である地震と重畳する森林火災の規模が単独事象の森林火災より小さくなると考えられ，防火帯内に多くの可燃物（草木等）が流入しなければ，防火帯の延焼防止機能が直ちに喪失することはない。 (3)　地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について 第２図に防火帯とアクセスルートを示す。 アクセスルート周辺の防火帯については，アクセスルートの周辺斜面の安定性評価と同様の考え方※に基づき安定性評価を行っており，アクセスルートへの影響がないことを確認している。 アクセスルート周辺以外の斜面は，安定性評価を実施していないため，斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し，延焼防止機能に影響がある場合は，機能の低下を想定する。 防火帯の機能が低下した場合，防火帯の内側への森林火災の延焼が想定されるものの，発電所敷地内には道路（概ね幅員７m）や非植生のエリアがあることから，更なる延焼の可能性は低いと考えられる。 ※：「技術的能力　添付資料　1.0.2　可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて」参照	・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，アクセスルート周辺の安定性評価を実施し，崩落の影響がないことを確認

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
受けないことから，防火帯の機能は維持され，当該箇所のアクセスルートは通行可能であり重大事故等に対処できる。 ※アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方は，「技術的能力 添付資料 1.0.2 可搬型重大事故等 対処設備保管場所及びアクセスルートについて」と同様とする。 また，地震時に使用するアクセスルートのうち，中央交差点及び荒浜側高台保管場所付近を除く範囲については，森林火災が発生し，防火帯機能が低下する範囲から延焼してきたとしても，防火帯の内側への更なる延焼の可能性は低いことから，当該箇所のアクセスルートは通行可能（仮復旧の実施を含む）であり重大事故等に対処できる。さらに，現場の状況に応じた自衛消防隊による予防散水により，防火帯内への森林火災の延焼リスク低減も可能である。 第 2 図　防火帯とアクセスルート  第 3 図　斜面崩壊時の堆積土砂の形状		 第2図　防火帯とアクセスルート	

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
第 4 図　斜面崩壊の影響を受けるアクセスルートの範囲 第 5-1 図　地震時におけるアクセスルートの選定結果			

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
第 5-2 図　　地震時におけるアクセスルートの選定結果 (4) 斜面崩壊に対する対策について (3)に示すような斜面の崩壊によって防火帯の延焼防止機能低下が想定される場合は，安全上の配慮として当該箇所の延焼防止機能の低下を緩和するために，崩壊後の堆積土砂の影響範囲※を考慮した可燃物がないエリアを設定する。 第 6 図及び第 7 図に，対策を行う範囲の例を示す。 ※崩壊後の堆積土砂による影響範囲は，「技術的能力 添付資料 1.0.2 可搬型重大事故等対処設備保管場所 及びアクセスルートについて」と同様とする。			

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
 第 6 図 防火帯の延焼防止機能の低下緩和対策イメージ 第 7 図 可燃物がないエリア			

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
別紙 2－8 防火帯内植生による火災について 第 1 図に防火帯内の植生（平成 27 年 1 月現在）を示す。 発電用原子炉施設の周囲の植生は一部が低中木や広葉樹であるものの大半が芝地である。また，重大事故等対処設備の周囲は広葉樹や 10 年生以上のマツで火線強度が低くなる植生であることから，防火帯内の植生による発電用原子炉施設及び重大事故等対処設備に対しての影響はない。 なお，重大事故等対処設備からの出火を想定した場合，炎感知器やサーモカメラにて火災の早期検知が可能であること，周囲の広葉樹等に延焼した場合を想定したとしても，柏崎刈羽原子力発電所の防火帯内には道路（幅 10m程度）や非植生のエリアが多くあることから，更なる延焼の可能性は低い。 第 1 図　発電所防火帯内植生図	別紙 2.3 防火帯内植生による評価対象施設への火災影響について 防火帯内の植生調査結果（平成 28 年 8 月現在）を基に作成した防火帯内植生図を下図に示す。 発電所敷地内で，現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は，社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱うことから，敷地内植生に火が延焼することはなく，火災が発生することはない。万が一火災が発生した場合でも，防火帯内の発電用原子炉施設周囲の主な植生は，火線強度が低い，マツ（樹齢 10 年以上）や短い草であり，道路（幅約 10m）や非植生のエリアも多くあることに加え，防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認しており，迅速に消火対応が可能であるため発電用原子炉施設への影響はない。 図　防火帯内植生図	別紙2-9 防火帯内植生による火災について 第1図に防火帯内の植生（平成31年2月現在）を示す。 発電用原子炉施設，可搬型重大事故等対処設備の保管エリア及びアクセスルート近傍の防火帯内側については，樹木等伐採することとしており，防火帯内の植生による発電用原子炉施設及び重大事故等対処設備に対しての影響はない。 なお，重大事故等対処設備の発火を想定した場合，炎感知器や熱感知器にて火災の早期検知が可能であること，近傍の樹木等を伐採していること及び島根原子力発電所の防火帯内には道路や非植生のエリアが多くあることから，更なる延焼の可能性は低い。  第 1 図　発電所防火帯内植生図	・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉は，可搬型重大事故等対処設備の保管エリア及びアクセスルート近傍の防火帯内側は，樹木等伐採

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

参考資料 2－1

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて以下に示す。

なお，被ばく評価は，柏崎刈羽原子力発電所からの放射性物質の拡散状況を把握するために発電所構内の気象観測所のデータを用いている。一方，森林火災は発電所構外からの火災の進展を評価するため，発電所周辺の気象を代表するように発電所構外の気象観測所のデータを用いている。

第 1 表 被ばく評価で使用している気象条件との違い

	森林火災	被ばく評価
データ取得場所	柏崎気象観測所 新潟気象台	発電所構内気象観測装置
データ取得期間	過去 10 年（2003～2012 年）	1985 年 10 月から 1 年間（KK7）
風速	3～5 月の最大風速 風速が大きい方が延焼しやすく保守的	大気安定度の算出に使用 風速が小さい方が拡散しやすくなる
風向	3～5 月の卓越風向（16 方位）	16 方位の風向出現回数を考慮して評価
気温	3～5 月の最高気温 気温が高い方が可燃物の水分量が少なくなり保守的	評価には使用しない
湿度	3～5 月の最小湿度 湿度が低い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない
日射量	最大日射量（雲なし）とする 日射量が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	大気安定度の算出に使用 日射量が大きい方が拡散しやすくなる
降雨量	降水量なしとする 降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない

参考2-1

被ばく評価で使用している気象条件との違い

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて以下に示す。

なお，被ばく評価は，島根原子力発電所からの放射性物質の拡散状況を把握するために発電所構内の気象観測所のデータを用いている。一方，森林火災は発電所構外からの火災の進展を評価するために，発電所周辺の気象を代表するように発電所構外の気象観測所のデータを用いている。

第1表　被ばく評価で使用している気象条件との違い

項目	森林火災	被ばく評価
評価項目	森林火災の延焼	放射性物質の大気拡散
データ取得場所	鹿島観測所，松江気象台	発電所構内気象観測装置
データ取得期間	過去 10 年（2003～2012）	2009 年 1 月～12 月の 1 年間
風速	３～８月の最大風速 風速が大きいほど延焼しやすく保守的	大気安定度の算出に使用 風速が小さい方が高濃度で拡散しやすくなる
風向	３～８月の卓越風向（16 方位）	16 方位の風向出現回数を考慮して評価
気温	３～８月の最高気温 気温が高い方が可燃物の水分量が少なくなり保守的	評価には使用しない
湿度	３～８月の最低湿度 湿度が低い方が可燃物の水分量が少なくなり保守的	評価には使用しない
日射量	最大日射量（雲なし）とする 日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり保守的	大気安定度の算出に使用 日射量が大きい方が拡散しやすくなる
降雨量	降水量なしとする 降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない

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
参考資料 2－2 マツ 10 年生と設定することの妥当性について マツ 10 年生未満とマツ 10 年生では，可燃物データのうち生きた木質の fuel 量のみ異なり他のパラメータは同じである。 10 年生未満のマツが１本でも存在していれば 10 年生未満のマツを選択するのではなく，10 年生未満のマツが一様に広がり，生きた木質の fuel 量が少ない状態であれば 10 年生未満とする。10 年以上のマツが存在している中に 10 年生未満のマツが存在するようなエリアであれば，10 年生未満よりも生きた木質の fuel 量は多く延焼を抑制する効果があることから 10 年生未満のデータではなく 10 年生のデータを用いることは適当である。 また，発電所構内の森林簿から生きた木質の fuel 量を算出すると※2，約 80ton/ha であり，マツ 10 年生の生きた木質の fuel 量より大きいことから，10 年生のデータを入れることは妥当である。 第 1 表 マツ及び落葉広葉樹の可燃物データ パラメータ ｜ 下草の有無 ｜ 1時間以内に乾燥する木質の fuel 量※1 ｜ 10時間以内に乾燥する木質の fuel 量※1 ｜ 4日以内に乾燥する木質の fuel 量※1 ｜ 生きた草の fuel 量※1 ｜ 生きた木質の fuel 量※1 ｜ 1時間以内に乾燥する木質の表面積／体積 ｜ 生きた草の表面積／体積 ｜ 生きた木質の表面積／体積 ｜ 林床可燃物の深さ ｜ 1時間以内に乾燥する木質で延焼が止まる水分量 ｜ 枯死可燃物の熱容量 ｜ 生体可燃物の熱容量 単位 ｜ － ｜ ton/ha ｜ ton/ha ｜ ton/ha ｜ ton/ha ｜ ton/ha ｜ 1/cm ｜ 1/cm ｜ 1/cm ｜ cm ｜ % ｜ J/kg ｜ J/kg マツ 10 年生未満 ｜ 有 ｜ 6.75 ｜ 4.48 ｜ 11.23 ｜ 0 ｜ 15.71 ｜ 70.44 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 182.9 ｜ 31 ｜ 19958 ｜ 19958 マツ 10 年生 ｜ 有 ｜ 6.75 ｜ 4.48 ｜ 11.23 ｜ 0 ｜ 44.24 ｜ 70.44 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 182.9 ｜ 31 ｜ 19958 ｜ 19958 マツ 20 年生 ｜ 有 ｜ 4.48 ｜ 2.24 ｜ 1.12 ｜ 0 ｜ 75.03 ｜ 70.44 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 182.9 ｜ 31 ｜ 19958 ｜ 19958 マツ 30 年生 ｜ 無 ｜ 4.48 ｜ 2.24 ｜ 1.12 ｜ 0 ｜ 102.56 ｜ 70.44 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 6.1 ｜ 31 ｜ 19958 ｜ 19958 マツ 40 年生 ｜ 無 ｜ 1.66 ｜ 0 ｜ 0 ｜ 0 ｜ 130.20 ｜ 70.44 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 6.1 ｜ 31 ｜ 19958 ｜ 19958 落葉広葉樹 ｜ 有 ｜ 6.75 ｜ 4.48 ｜ 11.23 ｜ 0 ｜ 62.66 ｜ 149.48 ｜ 59 ｜ 48 ｜ 182.9 ｜ 25 ｜ 18524 ｜ 18524 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES) 平成 24 年 6 月より抜粋 ※1:fuel 量とは，単位面積当たりの可燃物（燃料）の量[ton/ha] ※2:森林簿に記載の区画ごとの面積 S[ha]，材積 V[m^3]及び，マツの気乾比重 520[kg/m^3]※3 から，生きた木質の fuel 量[ton/ha] を算出した。 生きた木質の fuel 量＝520×V÷S×1000 ※3:一般財団法人日本木材総合情報センターより 気乾比重：大気中に放置された木材が大気の温度条件と湿度条件に対応し，含有水分が平衡に達した状態での比重			・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，植生調査の結果，発電所構内に 10 年生未満のマツは存在しない

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>

参考資料 2－3

8 月の気象条件及び 3～5 月の気象条件を適用した解析結果の比較について

1. 森林火災の想定

森林火災の想定における気象条件は，過去 10 年間（2003～2012 年）を調査し，森林火災の発生件数の多い 3～5 月の卓越風向，最大風速，最高気温，及び最小湿度の組み合わせとしているが，新潟県，柏崎市・刈羽村・出雲崎町における森林火災発生件数は，3～5 月を除き，8 月にも発生している。このため，8 月の気象条件を適用した森林火災について，現在のプラント状況と植生等が異なっている箇所はあるが，過去に感度解析を実施している。

発火点は最大火線強度が大きくなると考えられるケース 2 の発火点とし，これを代表ケースとした解析結果の比較である。

(1) 気象条件の設定

8 月における過去 10 年間の気象条件を調査した結果を第 1 表（上段）に示す。

第 1 表 8 月の気象条件を適用した気象条件と 3～5 月の気象条件との比較

<table>
<tr><th></th><th>風向[16 方位]</th><th>最大風速[m/s]</th><th>最高気温[℃]</th><th>最小湿度[%]</th></tr>
<tr><td>8 月</td><td>南南東</td><td>11.0</td><td>37.5</td><td>31</td></tr>
<tr><td>3～5 月
（ケース 2）</td><td>南南東</td><td>16.0</td><td>31.9</td><td>12</td></tr>
</table>

(2) 必要データ

気象条件以外の植生データ等の FARSITE 入力データは，ケース 2 と同等とする。

(3) 火線強度および火炎の到達時間の算出結果

火線強度および火炎の到達時間の算出結果を第 2 表に示す。

</td><td></td><td></td><td>

・条件の相違
【柏崎 6/7】
地域特性を踏まえた，森林火災における気象条件の相違

</td></tr>
</table>

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
第 2 表 火線強度および火炎の到達時間 評価項目 ｜ 8 月 ｜ 3～5 月 最大火線強度[kW/m] ｜ 1362 ｜ 2948※1 火炎の到達時間[hour] ｜ 6.094 ｜ 2.952※2 ※1：ケース 2 の火線強度（最大値） ※2：ケース 3 の火炎の到達時間（最小値） 2. 評価結果 過去に実施した解析であるが，8 月の気象条件を適用したケースでは，これまでと同様に，気象条件における気温の上昇に対して，風速の低下や湿度の上昇による影響が大きく最大火線強度が低下する傾向を示しており，発電用原子炉施設への熱影響はケース 2 の評価に包絡される結果となっている。なお，最大火線強度の低下に対して，風速と湿度のうち，どちらの影響が大きいかについては確認できていない。 また，同様の影響によって延焼速度が遅く，火炎の到達時間はケース 3 に対して 2 倍以上となっており，自衛消防隊の対応に影響をおよぼすことはないと評価する。			

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
別紙 2.5

津波防護施設等に対する森林火災影響について

1.　評価対象の検討
津波防護施設のうち森林火災の影響を受ける対象を表 1，各対象の設置箇所を図 1 に示す。

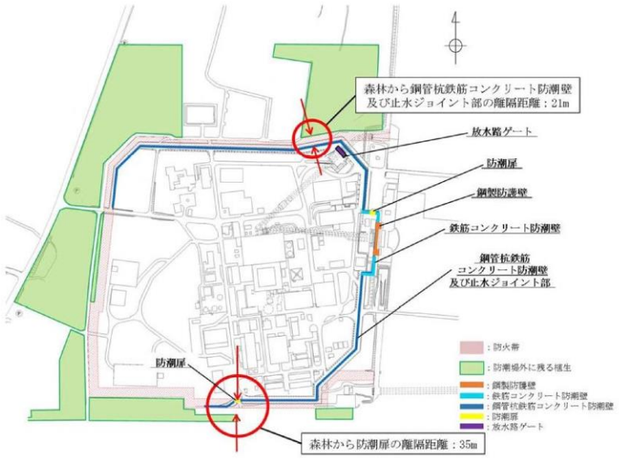
表 1　森林火災の影響を受ける対象
<table>
<tr><th>対象名</th><th>設置箇所</th><th>構造概要</th></tr>
<tr><td>鋼管杭鉄筋
ｺﾝｸﾘｰﾄ防潮壁</td><td>全体</td><td>・丸ﾊﾟｲﾌﾟ形状の鋼管を地下に埋設
・地上部は厚さ 70cm のｺﾝｸﾘｰﾄ被覆
・地上高さ（上端）：T.P.+18m～T.P.20m</td></tr>
<tr><td>止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部</td><td>鋼管杭鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ防潮壁のうち一定間隔の施工ﾌﾞﾛｯｸの境界</td><td>・鋼製ｱﾝｶｰ，止水ｺﾞﾑ，鋼製防護部材等から構成される。
・地上高さ（上端）：T.P.+18m～T.P.20m</td></tr>
<tr><td>防潮扉</td><td>敷地南側境界付近</td><td>・鋼材製
・地上高さ（上端）：T.P.+17m</td></tr>
</table>


図 1　津波防護施設における森林火災の評価対象施設
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【東海第二】
島根 2 号炉は，評価対象となる津波防護施設等は存在しない</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

2.　津波防護施設等に対する影響評価

2.1　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に対する熱影響評価

(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要図

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（以下「防潮壁」という。）は，地上部表面は鉄筋コンクリート製であるため，評価対象は鉄筋コンクリートとして熱影響評価を実施した。

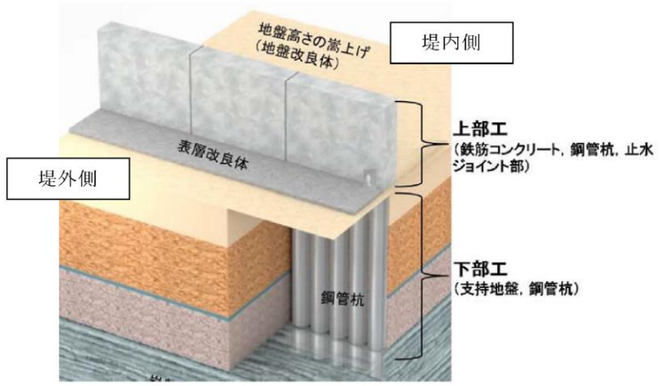


図２　防潮壁の概要図

(2)　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2 に示す。

表２　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	防潮壁
離隔距離 (m)	21

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。 $\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$　（式１） $-k \frac{\partial T}{\partial x} = E$　(x=0) $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$　(x=L) （出典：伝熱工学，東京大学出版会） T ：初期温度（50℃）※　E：輻射強度（W／m²） ρ：密度（2,400kg／m³）　k：熱伝導率（1.63W／m／K） C_p：比熱（880J／kg／K）　L：厚さ（m） ※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m²)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 防潮壁の危険距離を算出した結果，森林からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。防潮壁の評価結果を表 3 に示す。		

表３　防潮壁の評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
防潮壁	18	21

2.2　止水ジョイント部及び防潮扉に対する熱影響評価

(1) 止水ジョイント部及び防潮扉の概要図

止水ジョイント部は鋼製防護部材で表面を覆っているため，鋼製防護部材を熱影響対象として評価を実施した。

防潮扉は鋼製の防潮扉を熱影響対象として評価を実施した。

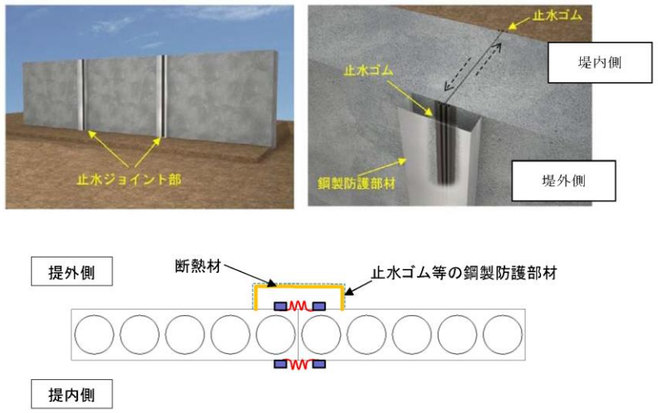


図３　止水ジョイント部の概要図

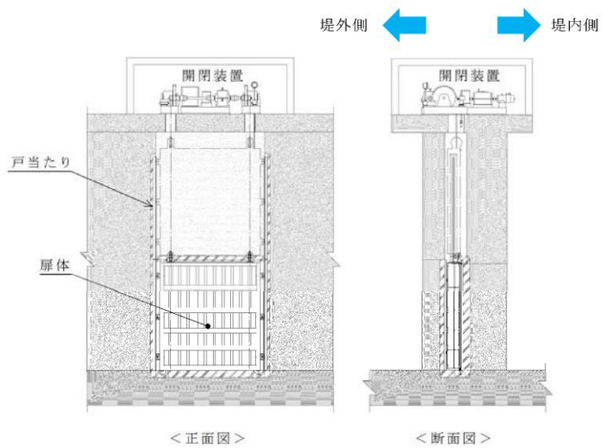


図４　防潮扉の概要図

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(2)　各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離

各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離を表４に示す。

表４　各対象から最も近い森林火災位置までの離隔距離

評価対象施設	止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	防潮扉
離隔距離 (m)	21	35

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

鋼製防護部材及び防潮扉の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で鋼製防護部材及び防潮扉が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により鋼製防護部材及び防潮扉の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式１）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1

Ｅ：輻射強度（W／m^2），ｈ：熱伝達率（17W／m^2／K）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最少となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数 Φ を，式２より算出する。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，最も近い森林火災位置から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。 ｃ．評価結果 止水ジョイント部は，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の裏面には不燃性の断熱材を設置するため，止水ジョイント部への影響はない。（別紙 2.10） 防潮扉は，鋼製の扉に対して危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，防潮扉には水密ゴムがあるが，直接火災の影響を受けることはなく，周囲に火災が迫った際は必要に応じ散水し温度上昇を抑制する。また万が一，防潮扉からの熱により水密ゴムの機能が喪失した場合には，速やかに取り替え等の対応を図る。		

表５　止水ジョイント部及び防潮扉の評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部 （鋼製防護部材で評価）	20	21
防潮扉	20	35

(4) その他の設備

その他の設備として津波監視設備がある。津波防護施設上部に設置している④北西側及び⑦南西側の津波・構内監視カメラは森林から近い位置にあるため，火災の影響を受け機能を喪失する可能性があるが，他の津波・構内監視カメラを用いて監視することで対応は可能である。また，状況を確認し速やかに予備品と交換する対応をとる。各津波・構内監視カメラの位置を図５に，主な監視範囲を表６に示す。

図５　津波・構内監視カメラの配置図

表６　津波・構内監視カメラの主な監視範囲

設置場所		主な監視範囲							
		敷地				津波防護施設			放水路 ｹﾞｰﾄ等
		東側	西側	南側	北側	東側	南側	北側	
原子炉建屋 屋上	① 北東側	○			○				
	② 北西側		○		○				
	③ 南東側	○		○					
津波防護施設 上部	④ 北西側		○		○			○	
	⑤ 北東側	○			○	○		○	○
	⑥ 南東側	○		○		○	○		○
	⑦ 南西側		○	○			○		○

以　　上

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>別紙 2.7

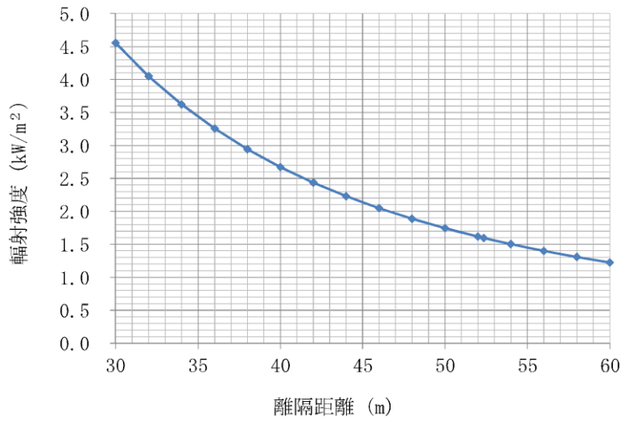
特定の安全重要度分類のクラス３施設に対する熱影響評価

放射性物質を内包する施設及び人員が長時間居住する可能性がある安全重要度分類のクラス３施設に対して，森林火災により上昇する外壁表面温度が許容温度 200℃以下であることを確認した。各外壁表面温度を下表，該当する施設の位置と離隔距離を下図に示す。

表　該当する安全重要度分類のクラス３施設の外壁表面温度
<table><tr><th>該当する施設</th><th>評価温度
（℃）</th></tr><tr><td>固体廃棄物貯蔵庫※</td><td>60</td></tr><tr><td>廃棄物処理建屋</td><td>54</td></tr><tr><td>緊急時対策所建屋</td><td>89</td></tr></table>※：防火帯外縁からの距離が近く火災影響が大きいＢ棟を代表として評価

図　該当する施設の位置と離隔距離</td><td></td><td>・設備の相違
【東海第二】
島根 2 号炉は，防火帯に近接している固体廃棄物貯蔵所Ｄ棟を評価</td></tr>
</table>

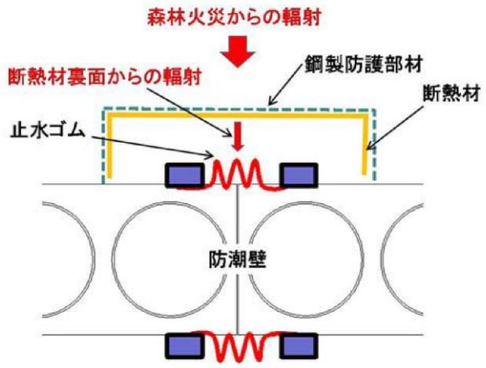
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙 2.8 可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートへの熱影響について 1.　概要 森林火災の延焼による影響を防止するため，可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートは防火帯の内側に配備している。 このうち，防火帯近傍に配備する可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについては，森林外縁からの必要な離隔距離を確保しており，森林火災による熱影響を受けることはない。 2.　森林火災の熱影響評価 ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果に基づき，防火帯外縁において最も高い火炎輻射強度が，一様に防火帯外縁に存在すると保守的に仮定し，一定の離隔距離において物体が受ける輻射強度を算出した。離隔距離と輻射強度の関係を図１に示す。 図１より，防火帯外縁から 53m 以上の離隔距離を確保することにより，輻射強度は，「人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度」とされる 1.6kW／m^2以下となり，森林火災による熱影響を受けるおそれがないことを確認した。放射熱（＝輻射強度）の影響に関する知見を表１に示す。		・条件の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，アクセスルートへの熱影響については，保管アクセス側で詳細に評価

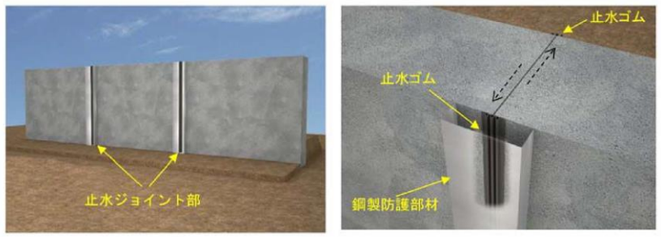
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 図１　離隔距離と輻射強度の相関図 表１　輻射強度の影響（石油コンビナートの防災アセスメント指針より抜粋） 表 5.17 放射熱の影響 放射熱強度 (kW/m²) / (kcal/m²h) / 状況および説明 / 出典 0.9 / 800 / 太陽（真夏）放射熱強度 / *1) 1.3 / 1,080 / 人が長時間暴露されても安全な強度 / *2) 1.6 / 1,400 / 長時間さらされても苦痛を感じない強度 / *5) 2.3 / 2,000 / 露出人体に対する危険範囲（接近可能） 1 分間以内で痛みを感じる強度 **現指針（平成 13 年）に示されている液面火災の基準値** / *3) 2.4 / 2,050 / 地震時の市街地大火に対する避難計画で用いられる許容限界 / *4) 4.0 / 3,400 / 20 秒で痛みを感じる強度。皮膚に水疱を生じる場合があるが、致死率 0% / *5) 4.6 / 4,000 / 10～20 秒で苦痛を感じる強度 古い木板が長時間受熱すると引火する強度 フレアスタック直下での熱量規制（高圧ガス保安法他） / *2) 8.1 / 7,000 / 10～20 秒で火傷となる強度 / *2) 9.5 / 8,200 / 8 秒で痛みの限界に達し、20 秒で第 2 度の火傷（赤く斑点ができ水疱が生じる）を負う / *5) 11.6 / 10,000 / **現指針（平成 13 年）に示されているファイヤーボールの基準値（ファイヤーボールの継続時間は概ね数秒以下と考えられることによる）** / *3) 11.6～ / 10,000～ / 約 15 分間に木材繊維などが発火する強度 / *2) 12.5 / 10,800 / 木片が引火する、あるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー / *5) 25.0 / 21,500 / 長時間暴露により木片が自然発火する最小エネルギー / *5) 37.5 / 32,300 / プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度 / *5) *1) 理科年表 *2) 高圧ガス保安協会：コンビナート保安・防災技術指針（1974） *3) 消防庁特殊災害室：石油コンビナートの防災アセスメント指針（2001） *4) 長谷見雄二，重川希志依：火災時における人間の耐放射限界について，日本火災学会論文集，Vol.31，No.1(1981) *5) Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, ed.P.J.Kayes. Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank. (1985)		

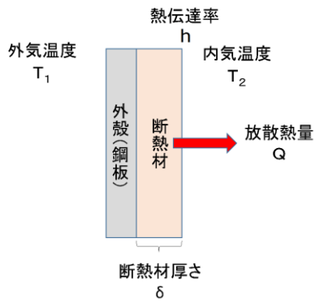
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.　森林火災による熱影響評価結果 保管場所に近接した場所で森林火災が発生し，火炎が防火帯外縁まで到達した場合，輻射強度が 1.6kW／m^2※以下となる森林からの離隔距離は 53m となるが，西側及び南側保管場所の可搬型重大事故等対処設備保管スペースは，森林から 53m 以上の離隔を確保しているため，熱影響を受けない。また，熱影響を受けないアクセスルートを確保していることから，可搬型設備の走行及び運搬に影響はない。輻射強度が 1.6kW／m^{2}以上となる範囲を図 2 に示す。 ※　人が長時間さらされても苦痛を感じない強度（出典：石油コンビナートの防災アセスメント指針） 図 2　輻射強度が 1.6kW／m^{2}以上となる範囲		

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
	別紙 2.9 外部火災を想定したモニタリングポストＡへのホース展張検証 1．ホース展張距離が長いケース (1) 検証日時，場所 日時：平成 26 年 11 月 18 日(火) 14:00～15:00 場所：モニタリングポストＡエリア (2) 検証内容 水槽付消防ポンプ自動車及び化学消防自動車を連結させ，約 900m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 20 分で展張可能であることを確認した。 (3) 検証結果の分析 防火帯内の屋外消火栓から防火帯周辺までの最も離隔距離が長い敷地北西側は，300m 程度のホース展張が必要となる。この敷地南西側に，最も早く到達する発火点３の結果（火炎到達時間 0.7 時間（約 40 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 900m を 20 分で実施しているため，長いホース展張が必要となる箇所であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。 図１　検証概要図（モニタリングポストＡ消火）		・条件の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，一番厳しいケースでもホース展開が可能なことを既に記載

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.　火炎到達時間が短いケース (1)　検証日時，場所 日時：平成 26 年 10 月 23 日(木) 14:30～15:30 場所：モニタリングポストＤエリア (2)　検証内容 水槽付消防ポンプ自動車及び化学消防自動車を用いて，約 150m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 10 分で移動からホース展張までが可能であることを確認した。 (3)　検証結果の分析 防火帯外縁に最も早く到達する発火点１の結果（火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 150m を 10 分で実施しているため，防火帯外縁に最も早く到達する火災であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。 図２　検証概要図（モニタリングポストＤ消火）		

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
	別紙 2.10 止水ゴム等を防護する鋼製防護部材について 1.　鋼製防護部材の裏面に設置する断熱材 鋼製防護部材が火災影響になり高温になると，裏面にある止水ゴム等に影響を与える可能性があるため，鋼製防護部材の裏面に断熱材を設置する。 断熱材は一般的なグラスウールを想定した場合，断熱材厚さが約 1cm 程度で，裏面の止水ゴム等に影響を与えないことを確認した。評価概念図と評価結果を以下に示す。  図１　鋼製防護部材と断熱材の概念図 $d = \frac{\lambda \times (T_{out} - T_{in})}{h \times (T_{in} - T)} = 0.015m$ （出典：JIS 9501 2016） d：断熱材の厚さ（m） λ：断熱材の熱伝導率（0.034W／（m・K））※1 T_{out}：断熱材表面（鋼製部材側）温度（325℃）※2 T_{in}：断熱材裏面（止水ゴム側）温度（100℃）※3 T：周囲空気温度（37℃）※4 h：熱伝達率（8.29W／（m^2・K））※5 ※１　伝熱工学資料（グラスウールの値） ※２　短期温度上昇時において鋼材の強度が維持される		・設備の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，評価対象となる津波防護施設等は存在しない

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
	温度 ※３　裏面への放熱が太陽輻射熱強度（0.9kW／m²）未満となる温度（100℃） ※４　水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温 ※５　空気調和・衛生工学便覧（静止空気に対する垂直表面の値） 2.　鋼製防護部材の構造 鋼製防護部材は，止水ジョイント部の側面を防護するよう設置する。ＦＡＲＳＩＴＥ解析の結果，津波防護施設周囲で発生する森林火災の最長の火炎長 1.6m であり，津波防護施設の地上高さは約 3m 以上で火炎長よりも高くなるため，津波防護施設上部が熱影響を受ける可能性は低い。万一，火炎長が高い森林火災が発生した際には，必要に応じ，地上高さが低い敷地北西側の津波防護施設を優先して散水活動により温度上昇を抑制する。  図２　止水ジョイント部と鋼製防護部材		

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
	別紙 2.11 放水路ゲート駆動装置外殻への断熱材設置について 放水路ゲート駆動装置外殻が火災影響になり高温になると，内部にある駆動装置に影響を与える可能性があるため，裏面に断熱材を設置する。 断熱材は一般的に使用されている硬質ウレタンフォームを想定し，断熱材厚さが約 27cm 程度で，放水路ゲート駆動装置外殻裏面の温度上昇は 1℃未満となり内部への熱影響を与えないことを確認した。評価概念図と評価結果を以下に示す。 $Q=\dfrac{(T_1-T_2)}{\left(\dfrac{1}{h}+\dfrac{\delta}{\lambda}\right)}$ $t'=\dfrac{Q}{h}+T_2$ Q　：放散熱量（W／m²） λ　：断熱材の熱伝導率（0.021W／m／K）※1 T_1：外殻表面温度（126℃）※2 T_2：内気温度（20℃） t’：断熱材表面温度（℃） h　：熱伝達率（8.29W／m²／K）※3 ※１　硬質ウレタンフォーム断熱材の熱伝導率 ※２　森林火災の熱影響を受けた場合の到達温度 ※３　空気調和・衛生工学便覧（静止空気に対する垂直表面の値）  図　評価概念図		・設備の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，評価対象となる津波防護施設等は存在しない

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
添付資料－３	添付資料-3	添付資料-3	
石油コンビナート等の火災・爆発について	石油コンビナート等の火災・爆発について	石油コンビナート等の火災・爆発について	

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
1. はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が柏崎刈羽原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	1.　目　　的 発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。 2.　危険物貯蔵施設等の抽出の考え方 発電所周辺 10km 以内の石油コンビナートの有無を確認した。また，石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設については，周辺自治体に資料開示請求を行い，必要に応じてこれらの施設を有する事業者への聞き取り調査を行い確認し，ガスパイプラインについては周辺事業者への聞き取り調査を行い確認した。	1.　はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が島根原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	
2. 石油コンビナート等の火災・爆発影響評価 発電用原子炉施設の周りには周辺監視区域があり，敷地境界との間には少なくとも約 811m の離隔距離が確保されている。仮に火災・爆発が発生した場合に影響が大きいと考えられるものとして，爆発物や化学物質を大量に扱う石油コンビナート等について評価を実施する。 (1) 評価対象範囲 評価対象は，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。なお，石油コンビナート等とは，石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所とする。	3.　石油コンビナート等に対する評価 3.1　評価対象範囲 評価対象は，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。 茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である。 石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令【別表抜粋】	2.　石油コンビナート等の火災・爆発影響評価 発電用原子炉施設の周りには周辺監視区域があり，敷地境界との間には少なくとも約560mの離隔距離が確保されている。仮に火災・爆発が発生した場合に影響が大きいと考えられるものとして，爆発物や化学物質を大量に扱う石油コンビナート等について評価を実施する。 (1)　評価対象範囲 評価対象は，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。なお，石油コンビナート等とは，石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所とする。	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>(2) 評価結果
石油コンビナート等災害防止法で規制される新潟県内の特別防災区域は「直江津地区」「新潟西港地区」「新潟東港地区」の三カ所存在するが，これらは，それぞれ柏崎刈羽原子力発電所から約 39km，約 72km 及び約 84km であり，いずれも柏崎刈羽原子力発電所から 10km 以遠である（第 2-1 図）。また，コンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が評価対象範囲に存在しないことを新潟県防災局に確認した。以上より，評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず，発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。

注）図の位置は，おおよその場所を表している
第 2-1 図　新潟県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置と柏崎刈羽原子力発電所までの距離</td>
<td>十三　鹿島臨海地区
イ　茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，宇南浜山及び宇海岸砂地，大字泉川字北浜山，宇南浜山，宇浜屋敷及び宇沢東，大字新浜並びに大字粟生宇海岸の区域　同市大字光字光並びに大字粟生字東山及び字浜の区域のうち主務大臣の定める区域　これらの区域に介在する道路の区域
ロ　茨城県神栖市光，居切宇海岸砂地並びに深芝宇海辺，宇藤豊及び宇原芝の区域　同市北浜，奥野谷字浜野及び字東和田，東和田並びに東深芝の区域のうち主務大臣の定める区域

3.2　評価結果
第 3.2-1 図に示すとおり，茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されている鹿島臨海地区は東海第二発電所から約 50km 離れており，評価対象範囲の 10km 以上離れていることから，評価対象となる石油コンビナートは存在しないことを確認した。

第 3.2-1 図　鹿島臨海地区と発電所の位置関係</td>
<td>(2)　評価結果
石油コンビナート等災害防止法で規制される島根県内の特別防災区域は存在しない。また，島根原子力発電所から最寄の特別防災区域である「福山・笠岡地区」，「水島臨海地区」まではそれぞれ約 120km であり，いずれも島根原子力発電所から 10km 以遠である（第 2-1 図）。
以上より，評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず，発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。

第 2-1 図　周囲の石油コンビナート等特別防災区域の位置と島根原子力発電所までの距離</td>
<td>・条件の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
地域特性を踏まえた条件の相違</td>
</tr>
</table>

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
	4.　石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する評価 発電所から 10km 以内に位置する危険物貯蔵施設のうち，評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し，その火災影響又は爆発影響を評価した。		
3.　石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価 柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設（危険物貯蔵施設，高圧ガス貯蔵施設，ガスパイプライン）を抽出し，柏崎刈羽原子力発電所から最も近い施設及び柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出する。なお，危険物貯蔵施設については柏崎市消防本部並びに長岡市消防本部，高圧ガス貯蔵施設については新潟県防災局，ガスパイプラインについては天然ガス鉱業会に確認した。 柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内の危険物施設を第 3-1 図及び第 3-1～3 表に示す。 第 3-1 図　柏崎刈羽原子力発電所から10km 圏内に位置する危険物施設	4.1　危険物貯蔵施設 4.1.1　評価対象施設の抽出 発電所から 10km 以内（敷地内を除く）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することを自治体への聞き取り調査から確認した。 第一類から第六類の危険物のうち，周辺での取扱量が多く，引火性液体であるため広範囲に漏えいし大規模火災発生の可能性がある第四類危険物貯蔵施設を火災源と想定する。ここで，発電所 10km 以内には多数の第四類危険物貯蔵施設が存在するため，影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。 ⅰ）　発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから，半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL※1 とした。ここで，第四類危険物のうち，最も輻射発散度が高い n-ヘキサン※2 が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し，その危険距離を算出した結果 1,329m※2 となった。 ※１　「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量 ※２　算出方法は別紙 3.1 参照 ⅱ）　ⅰ）項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，発電所から 1.4km 以内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して影響評価を行う。発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設を第 4.1.1-1 表に，発電所との位置関係を第 4.1.1-1 図に示す。	3.　石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価 島根原子力発電所から10km圏内に位置する危険物施設（危険物貯蔵施設，高圧ガス貯蔵施設，ガスパイプライン）を抽出し，島根原子力発電所から最も近い施設及び島根原子力発電所から10km圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出する。なお，危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設については松江市消防本部に確認した。（平成30年6月に開示請求を実施） 確認した結果，島根原子力発電所から10km圏内には，高圧ガス貯蔵施設及びガスパイプラインは確認されていない。 また，LNG基地及び石油備蓄基地は存在しないことを確認している。 島根原子力発電所から 10km 圏内の危険物施設を第 3-1 図及び第 3-1 表に示す。 第 3-1 図　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設	・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉は，LNG 基地及び石油備蓄基地が存在せず，評価対象外

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
第 3-1 表　柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】(1/3) [redacted]	第 4.1.1-1 表　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に存在する第四類危険物貯蔵施設 [redacted] 第 4.1.1-1 表の 1.4km 以内に存在する危険物貯蔵施設のうち，屋外貯蔵である [redacted] について，影響評価を実施した。なお，[redacted] の危険物貯蔵施設は地下貯蔵であるため，評価対象外とした。 [redacted] 第 4.1.1-1 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設	第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物施設】(1／8) [redacted]	

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
第 3-1 表　柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設（2/3）		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物施設】（2／8）	

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
第 3-1 表　柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】(3/3) ※1：柏崎刈羽原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離である ※2：柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する最大貯蔵量の危険物貯蔵施設である 第 3-2 表　柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【高圧ガス貯蔵施設】(1/2)		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物施設】(3／8)	

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
第 3-2 表　柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【高圧ガス貯蔵施設】(2/2) ※1：柏崎刈羽原子力発電所から10km 圏内に位置する最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設である ※2：柏崎刈羽原子力発電所から最短の高圧ガス貯蔵施設までの距離である 第 3-3 表　柏崎刈羽原子力発電所から10km圏内に位置する危険物施設【ガスパイプライン】 ※1：柏崎刈羽原子力発電所からの最短のガスパイプライン（バルブ施設）までの距離である。		第3-1表　島根原子力発電所から10km圏内に位置する危険物施設【危険物施設】(4／8)	

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
		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設 【危険物施設】（5／8）	

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
		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設 【危険物施設】（6／8）	

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
		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設 【危険物施設】（7／8）	

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
		第 3-1 表　島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設 【危険物施設】（8／8） ※1：島根原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設まで距離である。 ※2：島根原子力発電所から 10km 圏内に位置する最大貯蔵量の危険物貯蔵施設である。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

3.1　危険物貯蔵施設

柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における危険物貯蔵施設の最大貯蔵量は，[redacted] であり，柏崎刈羽原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離は約 2.3kmである（第 3.1-1 図）。

仮に最短距離の危険物貯蔵施設に最大貯蔵量 [redacted] が有ったと仮定し，熱影響評価を実施したところ，危険距離は約 56m であり，柏崎刈羽原子力発電所との距離約2.3kmよりも小さいことを確認した。

よって，発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

第 3.1-1 表　　10km 圏内における最大の危険物貯蔵施設の貯蔵量

種類	貯蔵量[kl]
原油	[redacted]
メチルアルコール	[redacted]
合計	[redacted]

東海第二発電所（2018.9.12 版）

4.1.2　火災の影響評価

4.1.2.1　評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定の条件

ａ．評価対象とする危険物貯蔵施設は 4.1.1 で抽出した [redacted] を想定した。

ｂ．評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，ａ．で想定した危険物貯蔵施設位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．危険物貯蔵施設の破損等により危険物が流出しても，防油堤内に留まるものとする。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

ｇ．火災の形態はタンク内及び防油堤内の全面火災とした。

(2)　輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

4.1.2.2　共通データの算出

各外壁，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。），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。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する危険距離評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第 4.1.2.2-1 表に示す。

島根原子力発電所　２号炉

3.1　危険物施設

島根原子力発電所から10km圏内（敷地内を除く）における危険物貯蔵施設の最大貯蔵量は，[redacted]であり，島根原子力発電所敷地内にある重油タンク（No.1,2,3）の貯蔵量2,700kLよりも少ない。

また，発電所に最も近い石油類貯蔵施設との離隔距離は約 1.5kmであり，仮に最短距離の危険物貯蔵施設に最大貯蔵量 [redacted] が有ったと仮定した場合でも，燃料保有量が敷地内危険物の最大貯蔵量に比べ少ないことから，危険距離は重油タンク（No.1,2,3）による火災の評価結果に包絡される。（第3.1-1図）

よって，発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても島根原子力発電所への影響はないことを確認した。

第3.1-1表　10km圏内における最大の危険物貯蔵施設の貯蔵量

種類	貯蔵量[kL]
ガソリン	[redacted]
軽油	[redacted]
灯油	[redacted]
合計	[redacted]

備考

・条件の相違

【柏崎 6/7，東海第二】

島根 2 号炉は，発電所敷地外で最も燃料保有量が多い施設が，発電所敷地内の危険物施設（重油タンク）に比べ燃料保有量が少ないため，発電所敷地内の危険物施設（重油タンク）にて代表的に評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 3.1-1 図　　最大貯蔵量の危険物貯蔵施設と最短距離の危険物貯蔵施設

(1) 評価条件

以下に示すとおり，輻射発散度は原油の方が大きいことから，原油の輻射発散度を用いる。また，燃焼継続時間は原油とメタノールが同じ防油堤の中に設置されていることから，原油とメタノールの燃焼継続時間を加算した値を用いて評価を実施する。

第 3.1-2 表　　原油とメタノールの評価条件

燃料の種類	原油	メタノール
燃料量[kl]		
防油堤面積[m^2]		
輻射発散度[W/m^2] 1)	41×10^3	9.8×10^3
質量低下速度[$kg/m^2\cdot s$] 2)	0.022～0.045	0.017
燃料密度[kg/m^3] 2)	830～880	796
燃焼速度[m/s] 3)	2.5～5.4×10^{-5}	2.135×10^{-5}

1) 評価ガイド付属書Ｂより
2) NUREG-1805 より
3) 燃焼速度＝質量低下速度÷燃料密度

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 4.1.2.2-1 表　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量（m^3）	輻射発散度（kW/m^2）※1	質量低下速度（$kg/m^2/s$）※2	燃料密度（kg/m^3）※3	防油堤面積（m^2）

※1　評価ガイド 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５ 記載値
※3　ＭＳＤＳ（製品安全データシート） 記載値

島根原子力発電所　２号炉

第3.1-1図　最短距離の危険物貯蔵施設

(1)　評価条件

島根原子力発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における危険物貯蔵施設において貯蔵量が最大な油種は重油であることから，発電所敷地内に設置している，より貯蔵量の大きい重油タンク（No.１，２，３）により評価を実施する。

第 3.1-2 表　重油の評価条件

燃料の種類	重油
燃料量[kL]	900
防油堤面積[m^2]	491.7
輻射発散度[W/m^2]※1	23×10^3
質量低下速度[$kg/m^2\cdot s$]※2	0.035
燃料密度[kg/m^3]※2	1,000
燃焼速度[m/s]※3	3.5×10^{-5}

※１：評価ガイド附属書Ｂより
※２：NUREG-1805 より
※３：燃焼速度＝質量低下速度÷燃料密度

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉は，発電所敷地外で最も燃料保有量が多い施設が，発電所敷地内の危険物施設（重油タンク）に比べ燃料保有量が少ないため，発電所敷地内の危険物施設（重油タンク）にて代表的に評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(2) 燃焼半径の算出

燃焼面積は，防油堤面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S：防油堤面積（火炎円筒の底面積）＝[redacted]

R＝[redacted]

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m^3]，R：燃焼半径[m]，v：燃焼速度[m/s]

M：質量低下速度[kg/m^2･s]，ρ：密度[kg/m^3]，m：質量[kg]

ここで，$V_{原油}$＝[redacted]，$v_{原油}$=2.5×10^{-5}[m/s]，$V_{メタノール}$＝[redacted]，$v_{メタノール}$＝2.135×10^{-5}[m/s]として，燃焼継続時間を求めると，

t＝[redacted]＝35740[s]

＝9.92[h]

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 4.1.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第 4.1.2.2-2 表　危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
[redacted]		

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 4.1.2.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)

R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)

M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 4.1.2.2-3 表　危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
[redacted]					

4.1.2.3　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

島根原子力発電所　２号炉

(2)　燃焼半径の算出

燃焼面積は，防油堤面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S：防油堤面積（火炎の円筒の底面積）=491.7[m^2]

R=（491.7／π）$^{0.5}$=12.51[m]

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times \nu},\quad \nu=\frac{M}{\rho}\quad より，\quad t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$$

t:燃焼継続時間[s]，V:燃料量[m^3]，R:燃焼半径[m]，

v:燃焼速度[m/s]，M:質量低下速度[kg/(m^2・s)]，

ρ:密度[kg/m^3]，

t =52297[s]

=14.53[h]

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>(4) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。
$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$
出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
T_0:初期温度[50℃],E:輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリート表面の放射率(0.95)※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m^{2}K]※，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m^3]※，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※，t：燃焼継続時間[s]
※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書</td>
<td>評価対象施設の外壁について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第4.1.2.3-1 表に示す。

第 4.1.2.3-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離
<table><tr><th>想定火災源</th><th>原子炉建屋
(m)</th><th>タービン建屋
(m)</th><th>使用済燃料
乾式貯蔵建屋(m)</th></tr><tr><td></td><td>1,100</td><td>1,200</td><td>800</td></tr></table>
(3) 判断の考え方
a．許容温度
火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。
b．評価方法
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。
$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$ （式１）
（出典：伝熱工学，東京大学出版会）
T：許容温度（200℃），T_0：，初期温度（50℃）※，
E：輻射強度（W／m^2）
κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率（=λ／ρC_p）（7.7×10^{-7}m^2／s）
ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度（2,400kg／m^3），
C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱（880J／kg／K）
λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率（1.63W／m／K），t：燃焼継続時間（28,701s）
x：温度評価の対象となる深さ位置（外壁表面：0m）
※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値</td>
<td>(4) 危険輻射強度の算出

a.外壁面の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。
$T = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$
出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人　日本建築センター
T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリートの表面の放射率[0.94]※1，h：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※2，t：燃焼継続時間[s]
※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
E＝6762[W/m^2] b. 軽油タンクの危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険 輻射強度を求める。 $T=\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-\left(\frac{\varepsilon \mathrm{ES}_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-T_0\right)e^{\left(\frac{hS_2}{C}\right)t}$ T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m^2]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t：燃焼継続時間［s]，T_{air}：外気温度[℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝24460[W/m^2] c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。 $E_{max}=\frac{2}{\varepsilon S}\left(\frac{hS(T-T_{air})}{1-e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t}}\right)$ ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，S：防護板（鋼板）受熱面積[16.2m^2]，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10^{6}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T：許容温度[100℃]，T_{air}：外気温度（初期温度）［55℃]		E=4,761[W/m^2] b. 海水ポンプの危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度が 55℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{E\times A_T}{G\times C_p}$ T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m^2]，A_T：受熱面積[10.93m^2]，G：重量流量[1.96kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，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。 また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。 なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>
※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧

E＝1700[W/m²]

d. 主排気筒の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$

T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：主排気筒表面の放射率(0.9)※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2
※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧

E＝10388[W/m²]

(5) 形態係数の算出
火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

Emax＝Rf×φ
Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

第 3.1-3 表　形態係数の算出結果
<table>
<tr><th></th><th>建屋</th><th>軽油タンク</th><th>燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））</th><th>主排気筒</th></tr>
<tr><td>危険輻射強度[W/m²]</td><td>6762</td><td>24460</td><td>1700</td><td>10388</td></tr>
<tr><td>輻射発散度[W/m²]</td><td colspan="4">41×10³</td></tr>
<tr><td>形態係数</td><td>0.1649447</td><td>0.5965911</td><td>0.0414750</td><td>0.2533875</td></tr>
</table>
</td>
<td>
式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。
Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２）
Ｅ：輻射強度（W／m²），Ｒｆ：輻射発散度（W/m²），
Φ：形態係数
（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３）

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），
Ｒ：燃焼半径（m）
（出典：評価ガイド）
</td>
<td>
※1:伝熱工学資料

E=5,948[W/m²]

c. 排気筒の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より排気筒の表面温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$

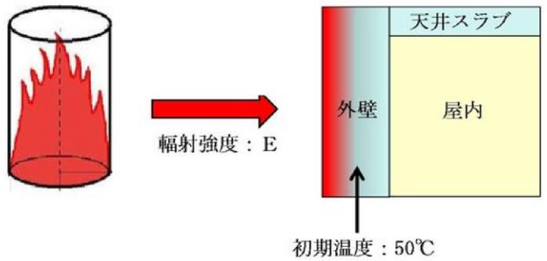
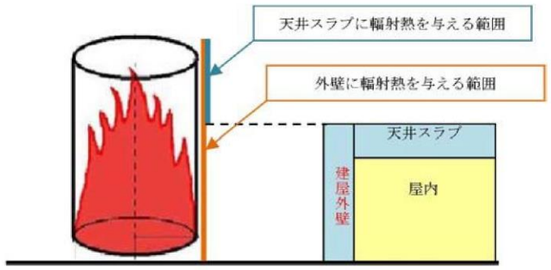
T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2
※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧

E=10,388[W/m²]

(5) 形態係数の算出
火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

Emax＝Rf×φ
Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，
φ：形態係数

第3.1-3表　形態係数の算出結果
<table>
<tr><th></th><th>建物</th><th>海水ポンプ</th><th>排気筒</th></tr>
<tr><td>危険輻射強度[W/ m²]</td><td>4,761</td><td>5,948</td><td>10,388</td></tr>
<tr><td>輻射発散度[W/ m²]</td><td colspan="3">23×10³</td></tr>
<tr><td>形態係数</td><td>6.90×10⁻²</td><td>8.60×10⁻²</td><td>1.50×10⁻¹</td></tr>
</table>
</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
	上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.1.2.3-1 図に示す。 ・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。 ・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 4.1.2.3-2 図に示す。 ・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。  第 4.1.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図  第 4.1.2.3-2 図　天井スラブの評価概念図		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，R：燃焼半径[m]

第3.1-4表　危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
形態係数	0.1649447	0.5965911	0.0414750	0.2533875
燃焼半径[m]	[redacted]			
危険距離[m]	約 56	約 20	約 134	約 39

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも約134mであり,離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって，発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.3-2 表に示す。

第 4.1.2.3-2 表　外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離（m）	離隔距離（m）
原子炉建屋	41	1,100
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

島根原子力発電所　２号炉

(6)　危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ：形態係数，L：離隔距離[m]，H:火炎の高さ[m]，R:燃焼半径[m]

第3.1-4表　危険距離の算出結果

	建物	海水ポンプ	排気筒
形態係数	6.90×10^{-2}	8.60×10^{-2}	1.50×10^{-1}
燃焼半径[m]	12.51		
危険距離[m]	63	56	38

(7)　火炎による熱影響の有無の評価

重油タンク（No.１，２，３）における危険距離は最大でも約 78m であり，離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって，発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても島根原子力発電所への影響はない。

備考

・設備の相違

【柏崎 6/7，東海第二】

島根 2 号炉では，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。

また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。

なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

4.1.2.4　主排気筒に対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

主排気筒について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 4.1.2.4-1 表に，主排気筒外形図を第 4.1.2.4-1 図に示す。

第 4.1.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><td colspan="2">名称</td><td>主排気筒</td></tr>
<tr><td colspan="2">種　類</td><td>鉄塔支持型</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">主要寸法</td><td>内径 4.5m</td></tr>
<tr><td>地表高さ 140m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料</td><td>筒身</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>鉄塔</td><td>SS400, STK400</td></tr>
<tr><td colspan="2">個　数</td><td>1</td></tr>
</table>

第 4.1.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.4-2 表に示す。

第 4.1.2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

<table>
<tr><th>想定火災源</th><th>主排気筒(m)</th></tr>
<tr><td>[redacted]</td><td>1,200</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

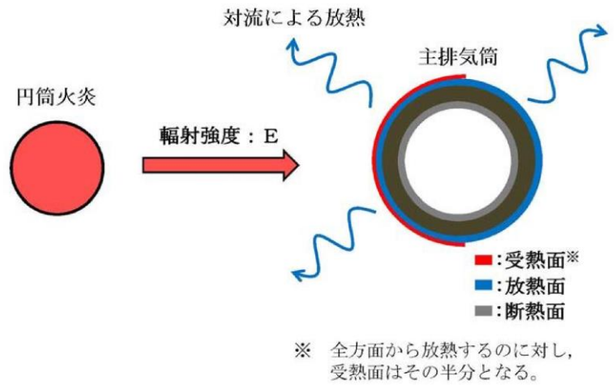
</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	ｂ．評価方法 一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。 $T = T_0 + \frac{E}{2h}$　（式１） （出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ） Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1 Ｅ：輻射強度（W／m²），ｈ：熱伝達率（17W／m²／K）※2 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度（W/m²），Ｒｆ：輻射発散度（W／m²）， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m）		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が危険物貯蔵施設との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第4.1.2.4-2図に示す。



第4.1.2.4-2図　主排気筒の評価概念図

c．評価結果

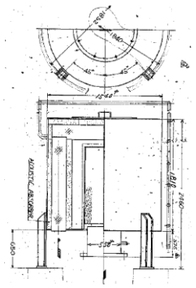
主排気筒鉄塔の表面温度が325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4.1.2.4-3表に示す。

第4.1.2.4-3表　主排気筒への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 （m）	離隔距離 （m）
主排気筒	10	1,200

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

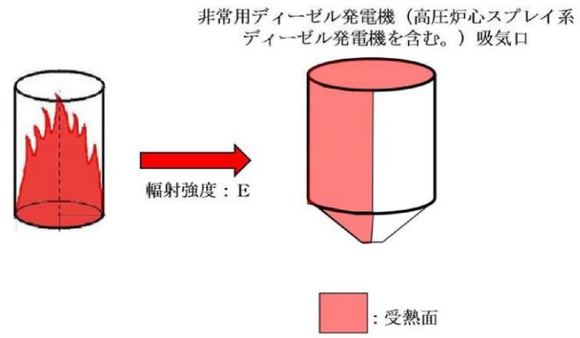
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
4.1.2.5　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設の仕様
空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の仕様を第 4.1.2.5-1 表に，外形図を第 4.1.2.5-1 図に示す。

第 4.1.2.5-1 表　評価対象施設の仕様
<table>
<tr><td>名称</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）吸気口</td></tr>
<tr><td>種　類</td><td>円筒縦形</td></tr>
<tr><td>主要寸法</td><td>外径　　：1.54m
円筒高さ：2.46m</td></tr>
<tr><td>材　料</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>6</td></tr>
</table>

第 4.1.2.5-1 図　評価対象施設の外形図

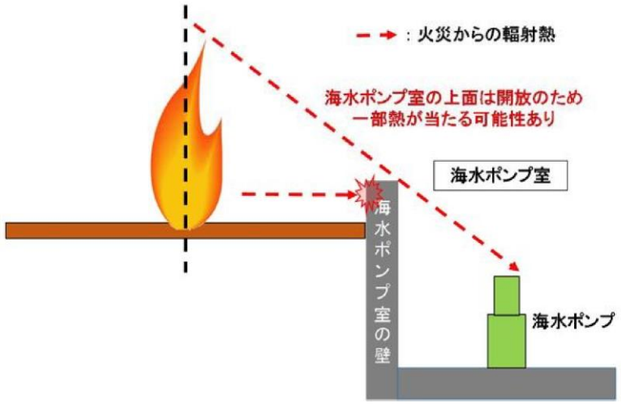
(3)　評価対象施設までの離隔距離
想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.5-2 表に示す。

第 4.1.2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離
<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）（m）</td></tr>
<tr><td>[redacted]</td><td>1,100</td></tr>
</table>
(4)　判断の考え方
ａ．許容温度
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。）の流入空気の許容温度は，火災時におけ
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，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。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
	る温度上昇を考慮した場合において，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。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。 ※　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。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。 ｂ．評価方法 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が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。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。 $T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$　（式１） Ｔ：許容温度（53℃），T_0：初期温度（39℃）※1， Ｅ：輻射強度（W／m^2） Ｇ：重量流量（4kg／s）※2，Ａ：輻射を受ける面積（7.8m^2） C_p：空気比熱（1,007J／kg／K）※3， ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　ディーゼル発電機の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。 ディーゼル発電機吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60 ※３　日本機械学会　伝熱工学資料 ※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度（W／m^2），Ｒｆ：輻射発散度（W／m^2）， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド）		

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
	式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の評価概念図を第4.1.2.5-2 図に示す。  第 4.1.2.5-2 図　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。）吸気口の評価概念図 ｃ．評価結果 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。）吸気口を通して流入する空気の温度が53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.5-3 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
第 4.1.2.5-3 表　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。）への危険物貯蔵施設火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）</td><td>17</td><td>1,100</td></tr>
</table>
4.1.2.6　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。）用海水ポンプに対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 4.1.2.6-1 図に示す。
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，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。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
	 第 4.1.2.6-1 図　火災発生位置と海水ポンプの位置関係 (2)　評価対象施設の仕様 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。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 4.1.2.6-2 図，外形図を第 4.1.2.6-3 図に示す。仕様を第 4.1.2.6-1 表に示す。 第 4.1.2.6-2 図　海水ポンプの配置図		

第 4.1.2.6-3 図　海水ポンプの外形図

第 4.1.2.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

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。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 4.1.2.6-2 表に示す。

第 4.1.2.6-2 表　評価対象施設から火災源までの離隔距離

評価対象施設	海水ポンプ室
離隔距離 (m)	1,300

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 4.1.2.6-3 表に示す。

第 4.1.2.6-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

<table>
<tr><th>名称</th><th>残留熱除去系海水系ポンプ電動機</th><th>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。）用海水ポンプ電動機</th></tr>
<tr><td>軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度</td><td>70℃※1</td><td>60℃※2</td></tr>
</table>

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 4.3.2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 4.1.2.6-4 表に，評価概念図を第 4.1.2.6-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad （式１）$$

Ｔ：評価温度（℃），T_0：初期温度（39℃）※1，
Ｅ：輻射強度（W／m^2），
Ｇ：重量流量（kg／s），Ａ：輻射を受ける面積（m^2）
C_p：空気比熱（1,007J／kg／K），
ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

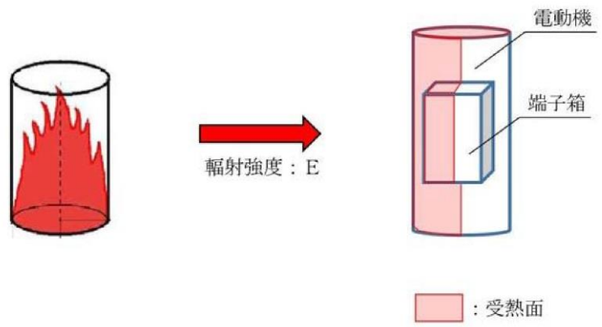
※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔT_b＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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

第 4.1.2.6-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
G：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
A：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 4.1.2.6-4 図　評価概念図

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ　　（式２）

Ｅ：輻射強度（W／m^2），Ｒｆ：輻射発散度（W／m^2），

Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}\quad（式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），

Ｒ：燃焼半径（m）

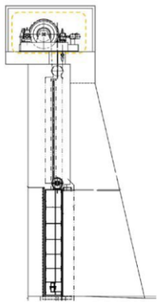
（出典：評価ガイド）

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

c．評価結果
輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.6-5 表に示す。

第 4.1.2.6-5 表　危険物貯蔵施設火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>16</td><td>1,300</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>12</td><td>1,300</td></tr>
</table>

4.1.2.7　放水路ゲートに対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
放水路ゲートについて，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設の仕様
放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 4.3.2.7-1 表に，外形図を第 4.1.2.7-1 図に示す。

第 4.1.2.7-1 表　評価対象施設の仕様
<table>
<tr><th>名称</th><th>放水路ゲート駆動装置</th></tr>
<tr><td>床面高さ</td><td>T.P.＋11.0m</td></tr>
<tr><td>外殻材料</td><td>炭素鋼</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>3</td></tr>
</table>


第 4.1.2.7-1 図　評価対象施設の外形図
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，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。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第4.1.2.7-2 表に示す。

第 4.1.2.7-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

<table>
<tr><th>想定火災源</th><th>放水路ゲート(m)</th></tr>
<tr><td></td><td>1,600</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式１）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

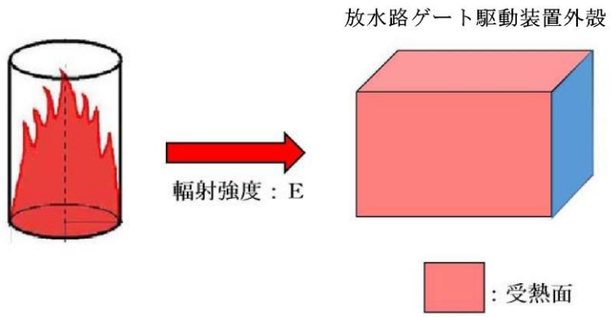
Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1

Ｅ：輻射強度（W／m^2），ｈ：熱伝達率（17W／m^2／K）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度（W／m²），Ｒｆ：輻射発散度（W／m²）， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 4.1.2.7-2 図に示す。  第 4.1.2.7-2 図　放水路ゲートの評価概念図 c．評価結果 放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>
3.2　高圧ガス貯蔵施設
柏崎刈羽原子力発電所から10km圏内(敷地内を除く)における高圧ガス貯蔵施 設の最大貯蔵量は，[　　]であり，柏崎刈羽原子力発電所から最短の高圧ガス貯蔵 施設までの距離は約5kmであった（第3.2-1図）。
仮に最短距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量[　　]が有ったと仮定し，熱影響評価及び爆風圧による影響評価を実施したところ，危険距離は約 30m，危険限界距離は[　　]となり，柏崎刈羽原子力発電所との距離約5kmよりも小さい ことを確認した。また，飛来物の影響について評価を実施し，飛来物の最大飛散　距離は[　　]となり，柏崎刈羽原子力発電所との距離約 5kmよりも小さいこ　とを確認した。
よって，発電所敷地外の石油類貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合に　おいても柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。
[　　]
第3.2-1表　10km圏内における最大の高圧ガスの貯蔵量
<table>
<tr><th>種類</th><th>貯蔵量[t]</th></tr>
<tr><td>液化石油ガス</td><td>[　　]</td></tr>
</table>
</td>
<td>
隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4.1.2.7-3表に示す。
第4.1.2.7-3表　放水路ゲートへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td>放水路ゲート</td><td>10</td><td>1,600</td></tr>
</table>
4.2　高圧ガス貯蔵施設
</td>
<td></td>
<td>
・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
地域特性を踏まえた評価条件の相違
</td>
</tr>
</table>

第3.2-1図　最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設と最短距離の高圧ガス貯蔵施設

3.2.1　熱影響評価

(1) 熱影響評価の評価条件 評価に必要なデータを以下に示す。

第3.2.1-1表　プロパンの評価条件

評価条件	
燃料の種類	プロパン
燃料量[t]	
防油堤面積[m^2]	
輻射発散度[W/m^2][1)]	74×10^3
質量低下速度[$kg/m^2\cdot s$][2)]	0.099

1) 評価ガイド付属書Ｂより
2) NUREG-1805 より

(2) 燃焼半径の算出

燃焼面積は，防油堤面積に等しいものとする。したがって，

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
燃焼半径R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。 R＝（S／π）$^{0.5}$ S：防油堤面積（火炎円筒の底面積）＝[redacted] R＝[redacted] (3) 燃焼継続時間の算出 燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。 $t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$，$v=\frac{M}{\rho}$　より，$t=\frac{m}{\pi R^2\times M}$ t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，v：燃焼速度[m/s] M：質量低下速度[kg/m²･s]，ρ：密度[kg/m³]，m：質量[kg] ここで，[redacted]，M=0.099[kg/m²･s]として，燃焼継続時間を求めると， t＝[redacted]＝2419[s]＝0.671[h] (4) 危険輻射強度の算出 a. 外壁面の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式　の解の式より,コンクリートの表面温度が200℃となる危険輻射強度を求める。 $T_s=T_0+\frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：コンクリート表面の放射率(0.95)※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m³]※，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※，t：燃焼継続時間[s] ※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書 E＝10333[W/m²] b. 軽油タンクの危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油　タンクが昇温されるものとし			

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
て，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険 輻射強度を求める。 $T=\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-\left(\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-T_0\right)e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}$ T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m^2]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[℃] ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝336369[W/m^2] c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板）の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板）の温度が100℃となる危険輻射 強度を求める。 $E_{max}=\frac{2}{\varepsilon S}\left(\frac{hS(T-T_{air})}{1-e^{\left(-\frac{hs}{C}\right)t}}\right)$ ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，S：防護板（鋼板）受熱面積[32.4m^2]，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10^{6}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T：許容温度[100℃]，T_{air}：外気温度（初期温度）[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝4001[W/m^2] d. 主排気筒の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2 ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧			

E＝10388［W/m²］

(5) 形態係数の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

Emax＝Rf×φ

Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

第3.2.1-2表　形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
危険輻射強度［W/m²］	10333	336369	4001	10388
輻射発散度［W/m²］	74×10^3			
形態係数	0.1396392	4.5455275	0.0540748	0.1403903

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

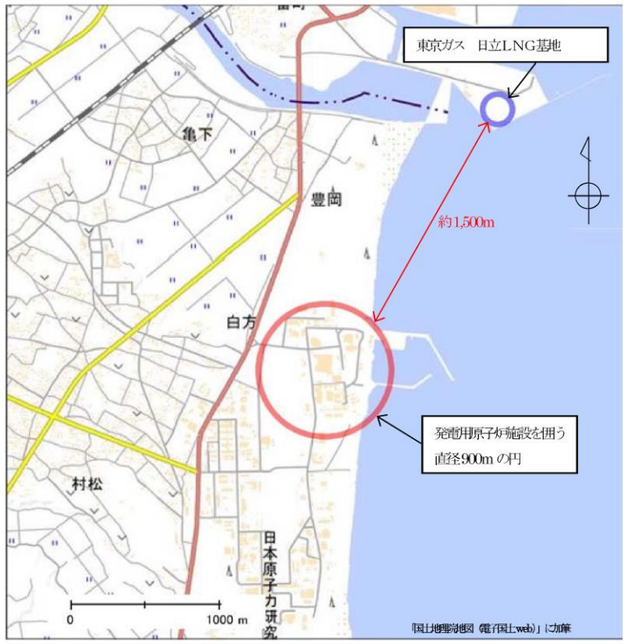
φ：形態係数，L：危険距離［m］，H：火炎高さ［m］，R：燃焼半径［m］

第3.2.1-3表　危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
形態係数	0.1396392	4.5455275	0.0540748	0.1403903
燃焼半径［m］	[redacted]			
危険距離［m］	約 30	約 10	約 54	約 30

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設における危険距離は最大でも約54mであり，離隔距離が危険距離を上回っていること

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
を確認した。よって，発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災が発生した場合においても柏崎刈羽原子力発電所へ影響はない。 3.2.2　爆風圧の影響評価 評価ガイドの付属書Ｂに基づき爆風圧の評価を行ったところ，評価上必要とされる危険限界距離（爆風圧が 0.01MPa 以下となる距離）に対し，柏崎刈羽原子力発電所までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認する。	4.2.1　爆風圧の影響評価 (1)　評価対象施設の抽出及び評価に係るデータ 東海第二発電所から 10km 以内（敷地内を除く）には高圧ガス貯蔵施設が多数存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，評価対象施設の抽出を行った。 ｉ）　発電所から約 1,500m の位置に，10km 以内（敷地内を除く）で最大の高圧ガス貯蔵施設が稼働中であるため，この高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）を選定した。位置関係を第 4.2.1-1 図に示す。 ⅱ）　当該ＬＮＧ基地に設置されるＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクについて危険限界距離を算出し，この危険限界距離の範囲内に位置する高圧ガス貯蔵施設を評価対象として抽出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。  第 4.2.1-1 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第3.2.2-1表　高圧ガス爆発の評価条件

評価条件	
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵ガスＫ値	888×1000（プロパン）
貯蔵量	[redacted]
処理設備のＷ値	[redacted]
爆発形態	高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生

危険限界距離の算出方法

評価ガイドに基づき，危険限界距離を以下の式から算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \times W}$$

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離14.4[m･kg$^{-1/3}$]，K：石油類の定数，W：設備定数

[redacted]

となり，危険限界距離X [redacted] となる。

よって，柏崎刈羽原子力発電所との離隔距離は5kmあることから，爆風圧による柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 4.2.1-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

	日立ＬＮＧ基地※1	
	ＬＮＧタンク	ＬＰＧタンク
貯蔵ガス	液化天然ガス（メタン）	液化石油ガス（プロパン）
貯蔵量(m^3)	230,000	50,000
貯蔵量(t)	97,704	31,000
密度(t／m^3)	0.4248※2	0.62※3
貯蔵ガスＫ値※4	714	888
貯蔵設備Wt 値※5	358.753	

※１　2016 年３月より稼働中
※２　伝熱工学資料第５版記載値
※３　ＪＩＳ Ｋ 2240-2013 記載値
※４　コンビナート等保安規則第５条別表第二記載値
※５　合計貯蔵量が 1t 以上となるため，合計貯蔵量の平方根の数値

日立ＬＮＧ基地にはＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクの２種類が設置されるため，評価ガイドに基づき，以下のとおり危険限界距離を算出した。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド【一部抜粋】

貯蔵設備内に２つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量（単位：トン）の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るKを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出する。また、処理設備内に２以上のガスがある場合においては、それぞれのガスについてK・Wを算出し、その数値の合計により、危険限界距離を算出する。

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

$$X = 0.04\lambda \sqrt[3]{K \times W}$$

X:危険限界距離[m]、λ:換算距離 14.4[m･kg$^{-1/3}$]、K: 石油類の定数[-]、W:設備定数[-]

上記のとおり，ガス量の当該合計量に対する割合は，

ＬＮＧタンク：A＝97,704÷(97,704＋31,000)＝0.759

ＬＰＧタンク：B＝31,000÷(97,704＋31,000)＝0.241

$$Wt = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

島根原子力発電所　２号炉

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 4.2.1-1 表の評価条件より

$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(714\times1{,}000\times A\times Wt)+(888\times1{,}000\times B\times Wt)}=373$

以上より，危険限界距離は 373m となる。発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設は，発電所から 900m の位置にある [redacted] であり，発電所敷地から 400m 以内に，高圧ガス貯蔵施設が存在しないことを確認した。これにより発電所より 10km 以内において，日立ＬＮＧ基地の爆発影響を超える高圧ガス貯蔵施設はないことを確認した。

発電所に最も近いパイプラインは，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインであり，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインの影響はタンクの影響に包絡される。また，日立ＬＮＧ基地構外へ延びるパイプラインは埋設され，発電所から遠ざかるため影響はない。

(2)　爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発における危険限界距離は 373m であり，敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.1-2 表に，位置関係を第 4.2.1-2 図に示す。

第 4.2.1-2 表　抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

<table>
<tr><th>想定爆発源</th><th>ガス種類</th><th>容量
(t)</th><th>危険限界距離
(m)</th><th>離隔距離※
(m)</th></tr>
<tr><td>ＬＮＧタンク</td><td>メタン</td><td>97,704</td><td rowspan="2">373</td><td rowspan="2">1,500</td></tr>
<tr><td>ＬＰＧタンク</td><td>プロパン</td><td>31,000</td></tr>
</table>

※　敷地境界までの距離

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>3.2.3　飛来物の影響評価
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月 消防庁特殊災 害室)※に基づき，飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ，評価上必要と される距離に対し，柏崎刈羽原子力発電所までの離隔距離が評価上必要となる 距離以上あることを確認する。
※：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成す るに当たって，災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

第3.2.3-1表　飛来物の評価条件
<table><tr><th colspan="2">評価条件</th></tr><tr><td>貯蔵ガス</td><td>液化石油ガス</td></tr><tr><td>貯蔵量</td><td></td></tr><tr><td>爆発形態</td><td>高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生</td></tr></table>
飛来物の最大飛散距離の算出方法
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき，容器の破損による破 片の飛散範囲を以下の式にて算出する。</td>
<td>第 4.2.1-2 図　発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

4.2.2　爆発飛来物の影響評価</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
$L = 465M^{0.10}$ L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg] [redacted] となり，飛来物の最大飛散距離Lは [redacted] となる。 よって，柏崎刈羽原子力発電所との離隔距離は5kmあることから，飛来物による柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。 以下に石油コンビナートの防災アセスメント指針の抜粋を示す。	(1)　評価対象施設の抽出 高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（ＢＬＥＶＥ：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は，可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが，加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し，タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため，ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。 また，大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く，ＢＯＧ圧縮機※1等でタンク内圧を一定に制御しているため，加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く，ＢＬＥＶＥは発生し難いが※2，ＢＬＥＶＥ以外の爆発形態を想定し，発電所から1,500m先にある日立ＬＮＧ基地の低温貯蔵型タンクについて，爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。 ※１　タンクから発生するボイルオフガスを再液化し，タンク内圧を一定に制御する。 ※２　出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」 (2)　爆発飛来物の影響評価結果 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年3月　消防庁特殊災害室）に基づき，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を以下の式にて算出した。		

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
	Ｌ＝90M$^{0.333}$　（容積 5m^{3}未満の容器） Ｌ＝465M$^{0.10}$　（容積 5m^{3}以上の容器） Ｌ：破片の最大飛散範囲，Ｍ：破裂時の貯蔵物質量 飛来物の飛散距離を算出した結果，飛散距離は離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.2-2 表に示す。 また，低温貯蔵型タンクは，日立ＬＮＧ基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても，想定飛散距離は約 570m であり，発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから，低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。（別紙 3.3） 第 4.2.2-2 表　爆発飛来物の影響評価結果 ※　敷地境界までの距離 以下に，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。		

施設名称	貯蔵量（kg）	飛散距離（m）	離隔距離※（m）

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
(6) 飛散物 容器の破裂による破片の飛散範囲は、破裂エネルギーのほか、破片の数、重量や形状、射出角度や初速度により異なってくる。文献 11）には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが、防災アセスメントのような事前評価において、これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし、LPG 容器の BLEVE に伴う破片の飛散範囲に関しては、次のような簡易式が示されている[11]。 $L = 90\,M^{0.333}$（容積 5m³未満の容器） $= 465\,M^{0.10}$（容積 5m³以上の容器）　（式 31） ただし、 L：破片の最大飛散範囲(m) M：破裂時の貯蔵物質量(kg) この式を東日本大震災の LPG 爆発火災（M＝300,000kg）に適用すると次のようになる。 $L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640\text{m}$ この事故では、タンク破片が最大約 1,300m、板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり、揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方、タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には、落下・衝突による被害が懸念されるが、この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると、式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお、プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため、過去の事故事例などをもとに推定することになる。	（６）飛散物 容器の破損による破片の飛散範囲は，破裂エネルギーのほか，破片の数，重量や形状，射出角度や初速度によって異なってくる。文献 11)には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが，防災アセスメントのような事前評価において，これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし，ＬＰＧ容器のＢＬＥＶＥに伴う破片の飛散範囲に関しては，次のような簡易式が示されている[11]。 $L = 90M^{0.333}$　（容積 5m³未満の容器） $= 465M^{0.10}$　（容積 5m³以上の容器）　（式 31） ただし，Ｌ：破片の最大飛散範囲(m) Ｍ：破裂時の貯蔵物質量(kg) この式を東日本大震災のＬＰＧ爆発火災（Ｍ＝300,000kg）に適用すると次のようになる。 $L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640\text{m}$ この事故では，タンク破片が最大約 1,300m，板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり，揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方，タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には，落下・衝突による被害が懸念されるが，この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると，式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお，プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため，過去の事故事例などをもとに推定することになる。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

別紙 3.1

仮想危険物貯蔵施設の危険距離の算出について

1.　評価条件

(1)　想定の条件

ａ．評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を想定した。

ｂ．評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，ａ．で想定した危険物貯蔵施設位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．消防法で定める最大の防油堤（80,000m^2）内の全面火災を想定した。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2)　輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

(3)　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第 1 表に示す。

第 1 表　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)※1	質量低下速度 M (kg／m^2／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m^3)※2	防油堤面積 S (m^2)
仮想危険物貯蔵施設	n-ヘキサン	100,000	85	0.074	650	80,000

※1　評価ガイド記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値

</td><td></td><td>・評価対象の相違
【東海第二】
島根 2 号炉は調査結果に基づき，10km の範囲内の最大貯蔵量の危険物施設が最も発電所に近い危険物施設の場所にあったと仮定して評価を実施</td></tr>
</table>

2.　評価結果

(1)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第２表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第２表　危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物貯蔵施設	80,000	160

(2)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第３表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)

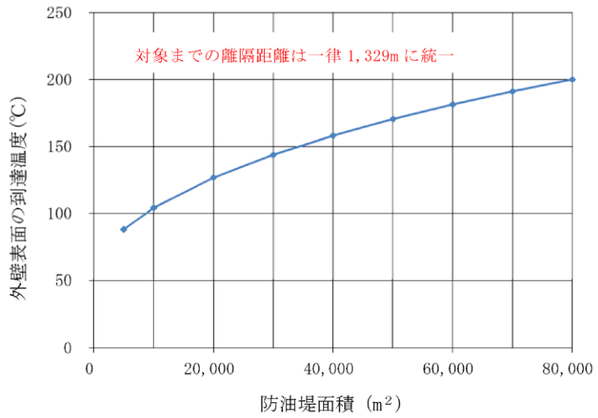
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)

Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第３表　危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
仮想 危険物 タンク	100,000	160	0.074	650	10,984

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
	(3)　危険距離の算出 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より求まるコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を，評価ガイドに基づく形態係数の算出式に代入し，危険距離について解くと結果は 1,329m となるため，保守的に 1.4km を抽出範囲とした。 なお，外壁以外の評価対象施設は以下の理由により，外壁の評価に包絡される。評価結果を第 4 表に示す。 ・主排気筒は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。 ・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。），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。）用海水ポンプ内の空気は流れており，熱が蓄積される効果が小さいため，外壁の方が評価上厳しい。 $$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$ T：許容温度（200℃），T_0：初期温度（50℃）， E：輻射強度（W／m^2） κ：コンクリート温度伝導率（=λ／ρC_p） （7.7×10^{-7}m^2／s） ρ：コンクリート密度（2,400kg／m^3）， C_p：コンクリート比熱（880J／kg／K） λ：コンクリート熱伝導率（1.63W／m／K）， t：燃焼継続時間（10,984s） x：コンクリート壁表面深さ（0m）		

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
	第４表　外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果 想定火災源：危険距離（m） 仮想危険物貯蔵施設：1,329 (4)　想定した防油堤面積の保守性について 下図に示すとおり，防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから，消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。  第１図　防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係		

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙 3.2 主排気筒の評価結果 10m の妥当性について 主排気筒の許容温度 325℃に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。 $E=2h\left(T-T_0\right)=2\times17\times\left(325-50\right)=9,350$ Ｔ：許容温度（325℃），T_0：初期温度（50℃）※1 ｈ：熱伝達率（17W／m^2／K）※2，Ｅ：輻射強度（W／m^2） ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。） 上記で算出した輻射強度は □ に対するものであるため，評価ガイドに基づく算出式より，この火災の形態係数は以下の通り算出される。 $E=Rf\times\Phi \Rightarrow \Phi=Rf\div E=$ □ $\div9,350$ $=0.00245989$ 評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり，この式に形態係数を代入し，離隔距離Ｌを逆算する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m）		・条件の相違 【東海第二】 地域特性を踏まえた評価対象の相違

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
	この結果より離隔距離は 10m となり，評価ガイドに基づき算出されている。また，軽油等の他の燃料と比較すると [redacted] は同じ離隔距離での輻射強度が低い。比較結果を下図に示す。 [redacted] 図　離隔距離と輻射強度の関係		

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙 3.3 地上設置の低温貯蔵タンク爆発による飛来物影響評価について 1.　評価の概要 　添付３の 4.2 で示した低温貯蔵タンクの爆発により発生する飛来物の最高速度を評価し，この最高速度を初速度とした場合の最大飛散距離を評価した。この最大飛散距離が爆発地点から発電用原子炉施設までの離隔距離より短いことを確認し，評価対象施設への影響はないことを示す。 2.　評価結果 　容量が大きいタンクほど飛来物の最大飛散距離は長くなる。このため，発電用原子炉施設の近くに位置する貯蔵タンクのうち，容量が最大となるものを評価対象候補として抽出した。抽出した対象は第１表のとおり。 第１表　添付３の 4.2 で抽出した評価対象候補 タンクの種類 ／ 内容物 ／ 貯蔵容量（m^3） ／ 発電用原子炉施設からの離隔距離（m） ＬＮＧ貯蔵タンク ／ ＬＮＧ ／ 230,000 ／ 1,500 ＬＰＧ貯蔵タンク ／ ＬＰＧ ／ 50,000 ／ 1,500 2.1　タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出 　低温貯蔵タンクの評価では，「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn)」に基づき，飛来物の速度を爆発エネルギから求めた。以下に抜粋を示す。		・条件の相違 【東海第二】 　地域特性を踏まえた評価対象の相違

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

Step 3a2　Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3　Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad \text{(m/s)} \qquad (7.15)$$

where

E_{av} = liberated energy [J]

M_v = total mass of empty vessel [kg]

A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.

Upper limit　$A_{ke} = 0.6$

Rough estimate　$A_{ke} = 0.2$

BLEVE　$A_{ke} = 0.04$

(1)　評価対象タンクのデータ

評価対象タンクのデータは第 2 表のとおり。なお，タンク材重量については，保守的に評価を行うため，各タンクを球状タンクと仮定して算出した。

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad \Rightarrow \quad r = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S = 4\pi r^2$$

$$M = St\rho$$

Ｖ：タンクの体積（m^3），Ｓ：タンクの表面積（m^2）

ｒ：球状タンクと仮定した場合のタンクの半径（m）

Ｍ：タンクの質量（kg），ｔ：タンク外層の厚さ（m）

ρ：タンク材密度（kg／m^3）

第 2 表　評価対象タンクのデータ

タンクの種類	内容物	貯蔵容量（m^3）	タンク体積※1（m^3）	タンク材密度※2（kg／m^3）	比熱比（−）	タンク壁厚※3（m）	タンク材重量※4（kg）
ＬＮＧ貯蔵タンク	ＬＮＧ	230,000	253,000	7,850	1.3	0.01	7.6×10^6
ＬＰＧ貯蔵タンク	ＬＰＧ	50,000	55,000	7,850	1.1	0.01	2.7×10^6

※１　消防法に基づき空間容積を 10%として算出

※２　合金鋼の密度

※３　多層構造となっているが，保守的に内槽側板の平均厚さを設定

※４　タンク材重量＝タンク表面積×タンク材質密度×タンク壁厚

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(2)　飛来物の最高速度の算出

爆発により発生するエネルギが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第３表のとおり。

$$E=\frac{(\rho_1-\rho_2)V}{\gamma-1}$$

$$v=\sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

ｖ：飛来物の最高速度（m/s）
Ｍ：タンクの質量（kg），
Ｅ：タンク爆発により発生するエネルギ（J）
ρ_1：タンク内の圧力(0.2MPa※1)，ρ_2：大気圧力(0.1MPa)
Ｖ：タンクの体積（m^3），γ：比熱比（-）
Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.2※2）
※１　代表とした日立ＬＮＧ基地のＬＮＧ貯蔵タンクの値を設定
※２　Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1), 3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第３表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ (J)	飛来物の最高速度 (m／s)	発電用原子炉施設までの離隔距離（m）
ＬＮＧ貯蔵タンク	8.2×10^{10}	66	1,500
ＬＰＧ貯蔵タンク	5.3×10^{10}	89	1,500

飛来物の最高速度の評価結果より，発電用原子炉施設までの離隔距離が同じであれば，最高速度が速いほど遠くまで飛散する。このため，同じ離隔距離にあるタンクのうち最高速度が速い，ＬＰＧ貯蔵タンクを対象に以下で最大飛散距離の算出を実施する。

</td><td></td></tr>
</table>

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
	2.2　最大飛散距離の算出 大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクでは大規模な爆発は発生し難いが，小規模な爆発は発生するおそれがあるため評価を行った。 飛来物の想定に当たり，日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク構造図を参考とした。飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体及び配管(鋼製パイプ)を抽出した。ステージなどタンク屋根部に位置する部品は，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。抽出した飛来物に対して，第１図のとおりの日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンクより推定したＬＰＧタンク構造図を基に,「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。なお，低温貯蔵型のタンクは，低圧貯蔵であるため破裂エネルギが小さいことから飛散距離は短く，また，外部事象防護対象施設等に衝突する水平方向の飛散角度は数度程度の範囲に限られるため，飛来物が外部事象防護対象施設等に衝突する可能性は低い。 タンク高さは 13m 程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価として配管(鋼製パイプ)についてはタンク高さの 13m での評価を実施する。また，タンク本体の破片としてはタンク側面部分の破損を想定し 13m×22m 程度が最大と考えられ，平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンク屋根部分を包絡する破片を想定する。厚さについては，ＬＮＧタンクの構造から 0.01m とする。ＬＰＧタンク概要図を第１図に示す。 空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。 水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$ 鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$ $F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

ｍ：飛来物の質量（kg），Ｆ：空気抵抗による外力（-）
ｇ：重力加速度（m／s²），C_D：流体抗力係数（-）
Ａ：飛来物の速度方向に対する投影面積（m²）
Ｖ：飛来物の速度（m／s），ρ：空気密度（kg／m³）

想定飛来物の諸元及び飛散距離の計算結果を第 4 表に示す。離隔距離 1,500m は，最大飛散距離である鋼製パイプの 557m を上回ることから，飛来物が発電用原子炉施設に到達することはなく，影響はない。

以上より，地上設置の低温貯蔵タンク爆発飛来物が発電所に到達することはない。

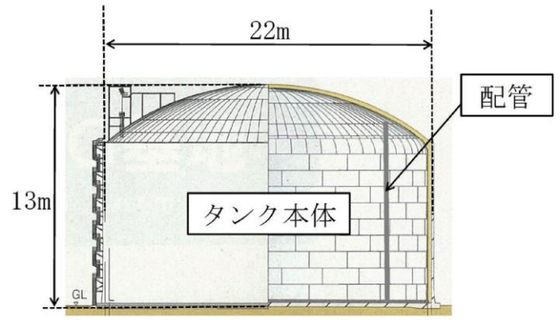


図１図　ＬＰＧタンク概要図

第４表　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ（配管）	コンクリート板（タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径（13×1）	長さ×幅×厚さ（13×22×0.01）
質量（t）	5※1	22※2
放出角（°）	40	35
飛散距離（m）	557	244
離隔距離（m）	1,500（日立ＬＮＧ基地から発電所敷地境界までの距離）	

※1　鋼製パイプの質量は，厚さ 15.9mm の配管を参考に設定した。
※2　実際のＬＮＧタンクを参考に設定した。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
添付資料－4 燃料輸送車両の火災・爆発について	添付資料-4 燃料輸送車両の火災・爆発について	添付資料-4 燃料輸送車両の火災・爆発について	

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
1. はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が柏崎刈羽原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	1. 目的 発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。	1. はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が島根原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	
2. 燃料輸送車両の火災影響評価 (1) 燃料輸送車両の火災の想定の条件 ・発電所敷地外 10km 以内の施設において液化石油ガス輸送車両が許可申請されていることから，最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こした場合を想定する。 ・燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの（16t※）と する。 ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。 ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。 ・発電所敷地境界の道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。 ※：LP ガスタンクローリ製造会社，LP ガスプラント協会への聞き取り及び JX 日鉱日石エネルギー石油便覧より。なお，家庭業務用では容器（主として 10～50kg 容器）で，中・大規模工場ではバルク容器（1～1,000 kg型）やタンクローリ（主として 8～11t 積み）のものが使われている。	2. 燃料輸送車両の火災影響評価 発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。 燃料輸送車両は，消防法令（危険物の規則に関する政令第 15 条第 1 項三号）において，移動タンク貯蔵所の上限量が定められており，公道を通行可能な上限量（＝30m^3）のガソリンが積載された状況を想定した。 また，火災発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号線上の評価対象施設に最も近い場所を想定した。	2. 燃料輸送車両の火災影響評価 (1) 燃料輸送車両の火災の想定の条件 ・非常用ディーゼル発電機の燃料を運搬するタンクローリが火災を起こした場合を想定する。 ・燃料積載量は消防法令（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）に定められている移動タンク貯蔵所（タンクローリ）の上限量（30kL）とする。 ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。 ・輸送燃料は軽油とする。 ・発電所出入口ゲートでの燃料輸送車両の全面火災を想定する。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。	・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉は，発電所敷地周辺の道路状況や運用状況を踏まえ，軽油を輸送している車両について影響評価を実施
(2) 評価手法の概要 本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する燃料輸送車両の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。		(2) 評価手法の概要 本評価は，島根原子力発電所に対する燃料輸送車両の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-1 表　　評価指標及びその内容

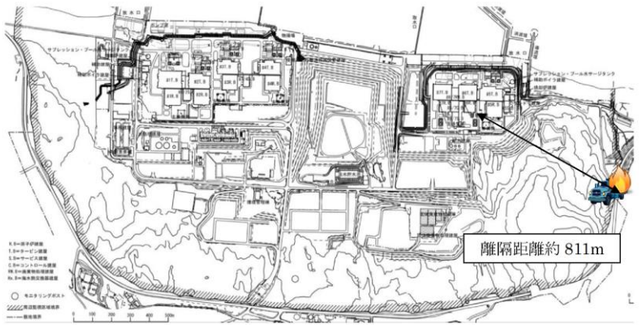
評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	燃料輸送車両の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所敷地境界の道路で出火する最大規模の燃料輸送車両とする（第 2-1 図）。なお，発電所構内には，1kl 未満の軽油を貯蔵したタンクローリが存在するが，6 号及び 7 号炉に設置している軽油タンクが 565kl であり，発電用原子炉施設からの距離がタンクローリ配置位置より軽油タンクの方が近いことから軽油タンクの火災影響評価に包絡される。



第 2-1 図　　燃料輸送車両の離隔距離

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第 2-1 表　評価指標及びその内容

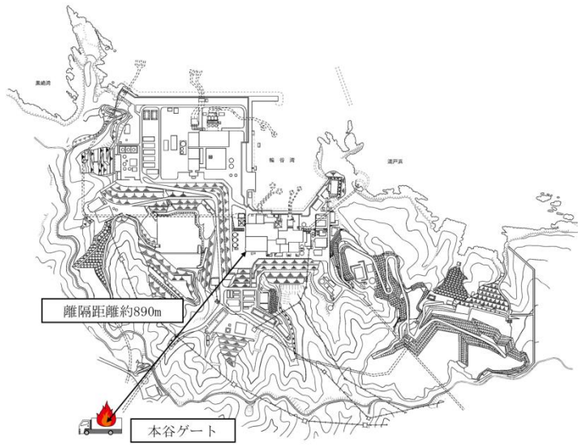
評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	燃料輸送車両の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が３m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3)　評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所出入口ゲートで出火するタンクローリ（30kL）とする（第 2-1 図）。



第 2-1 図　燃料輸送車両の離隔距離

備考

・条件の相違

【柏崎 6/7】

島根 2 号炉は，発電所敷地周辺の道路状況や運用状況を踏まえ，軽油を輸送している車両について影響評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 2-2 表　　プロパンの評価条件

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton]	16
輻射発散度[W/m^2][1)]	74×10^3
質量低下速度[kg/m^2・s][2)]	0.099
燃料輸送車両投影面積[m^2][3)]	16.5×2.5

1) 評価ガイド付属書Ｂより
2) NUREG-1805 より
3) 車両長 16.5[m]：車両制限令 第三条
　車両幅 2.5[m]　：道路運送車両の保安基準 第二条

(5) 燃焼半径の算出

燃料輸送車両の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが，円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は，燃料輸送車両の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]は燃料輸送車両の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S：燃料輸送車両の投影面積（火炎円筒の底面積）＝41.25［m^2］

R＝（41.25／π）$^{0.5}$＝3.62［m］

東海第二発電所（2018.9.12 版）

2.1　共通データの算出

各外壁，主排気筒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。），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。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

燃料輸送車両及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に示す。

第 2.1-1 表　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量（m^3）	輻射発散度（kW／m^2）※1	質量低下速度（kg／m^2／s）※2	燃料密度（kg／m^3）※3	燃焼面積（m^2）
燃料輸送車両	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8

※1　評価ガイド 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５ 記載値
※3　ＭＳＤＳ（製品データ安全シート）

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は延焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径（m），S：燃焼面積（m^2）

第 2.1-2 表　燃料輸送車両の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S（m^2）	燃焼半径 R（m）
燃料輸送車両	28.8※	3.029

※　28kL タンクローリのトレーラ全長（11.57m）と全幅（2.49m）の積

島根原子力発電所　２号炉

(4)　必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 2-2 表　軽油の評価条件

燃料の種類	軽油
燃料量[m^3]	30
輻射発散度[W/m^2][1)]	42×10^3
質量低下速度[kg/m^2・s][2)]	0.044
燃料タンク投影面積[m^2]	10.17×2.45

1)評価ガイド附属書Ｂより
2)NUREG-1805
3)車両長10.17[m]
　車両幅2.45[m]

(5)　燃焼半径の算出

燃料輸送車両の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが，円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は，燃料輸送車両の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]は燃料輸送車両の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S:燃料輸送車両の投影面積（火炎円筒の底面積）＝24.91[m^2]

R＝(24.91／π)$^{0.5}$＝2.82[m]

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v},\quad v=\frac{M}{\rho}\quad より，\quad t=\frac{m}{\pi R^2\times M}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m^3]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]M：質量低下速度[kg/m^2・s]，
ρ：密度[kg/m^3]，m：質量[kg]
ここで，m＝ρV＝16000[kg]，M＝0.099[kg/m^2・s]として，燃焼継続時間を求めると，
t＝16000／（41.25×0.099）＝3918[s]＝1.08[h]

(7) 危険輻射強度の算出

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 2.1-3 表　燃料輸送車両火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
燃料輸送車両	30	3.029	0.055	783	14,826

2.2　評価結果

2.2.1　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.1-1 表に，位置関係を第 2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.1-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
燃料輸送車両	510	450	520

島根原子力発電所　２号炉

(6)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v},\quad v=\frac{M}{\rho}\quad より，\quad t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m^3]，R：燃焼半径[m]，
v:燃焼速度[m/s],M:質量低下速度[kg/m^2・s]，ρ：密度[kg/m^3]

ここで，ρ＝918[kg/m^3]，M＝0.044[kg/m^2・s]として，燃焼継続時間を求めると，
v＝0.044／918＝4.79×10^{-5}
t＝30／（24.91×4.79×10^{-5}）＝25148[s]＝6.99[h]

(7)　危険輻射強度の算出

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
a．外壁面の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇が 200℃となる危険輻射強度を求める。 $$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター T_s：外表面温度[200℃]，T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]， ε：コン クリート表面の放射率（0.95）※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m^{2}K]※，k：コンクリート熱伝導	第 2.2.1-1 図　火災発生場所と評価対象施設の位置関係 (3)　判断の考え方 a．許容温度 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。 b．評価方法 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。 $$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right] \quad （式１）$$ （出典：伝熱工学，東京大学出版会） T：ｺﾝｸﾘｰﾄ許容温度（200℃）　T_0：初期温度（50℃）※1 a：熱伝達率（17W／m^2／K）※2 κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝達率（=λ／ρC_p）（7.7×10^{-7}m^2／s） ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度（2,400kg／m^3） C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱（880J／kg／K） λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率（1.63W／m／k），E：輻射強度（W／m^2） t：燃焼継続時間（14,826s）	a．外壁面の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。 $$T = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人　日本建築センター T：外表面温度[200℃]，T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリート表面の放射率[0.94]※1，h：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m³]※，ｃ：コンクリート比熱[879J/kgK]※，ｔ：燃焼継続時間[s]
※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

E＝9295[W/m²]</td>
<td>ｘ：温度評価の対象となる深さ位置（外壁表面：0m）
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。）

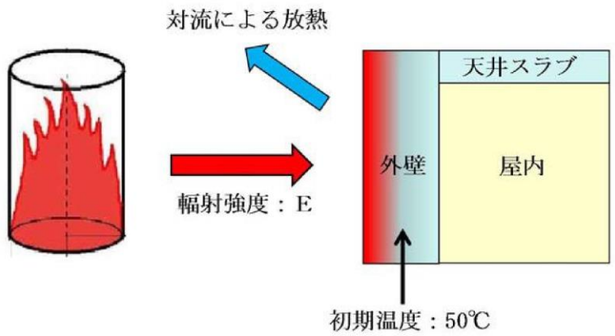
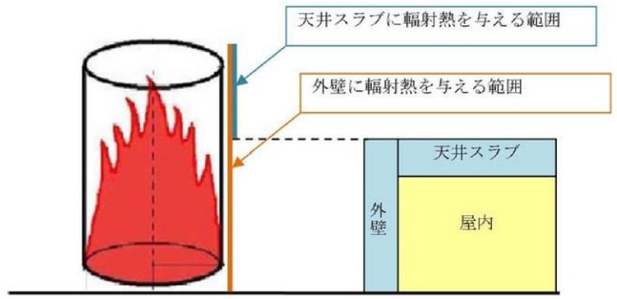
式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。
Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２）
Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m²)，
Φ：形態係数
（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$ （式３）
ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$
Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），
Ｒ：燃焼半径（m）
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。
・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことか</td>
<td>ｃ：コンクリート比熱[879J/kgK]※2，ｔ：燃焼継続時間[s]

※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書

E=5,224[W/m²]</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
	ら，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。 建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-3 図に示す。  第 2.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図  第 2.2.1-3 図　天井スラブの評価概念図 c．評価結果 評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。 評価結果を第 2.2.1-2 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>b. 軽油タンクの危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険輻射強度を求める。
$$T=\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-\left(\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-T_0\right)e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}$$
T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m^2]，
C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t：燃焼継続時間［s]，T_{air}：外気温度[℃]
※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧

E＝208372[W/m^2]

c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。</td>
<td>第 2.2.1-2 表　外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果
<table><tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr><tr><td>原子炉建屋</td><td rowspan="3">23</td><td>510</td></tr><tr><td>タービン建屋</td><td>450</td></tr><tr><td>使用済燃料乾式貯蔵建屋</td><td>520</td></tr></table></td>
<td>b．海水ポンプの危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度が 55℃となる危険輻射強度を求める。</td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
$E_{max}=\frac{2}{\varepsilon S}\left(\frac{hS(T-T_{air})}{1-e^{(-\frac{hS}{C})t}}\right)$ ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，S：防護板（鋼板）受熱面積[16.2m²]，h:防護板(鋼板)表面熱伝達率[17W/m²K]※2，C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10⁶J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T：許容温度[100℃]，T_{air}：外気温度（初期 温度）[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝2873[W/m²] d. 主排気筒の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝10388［W/m²］ (8) 形態係数の算出 火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。 Emax＝Rf×φ Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数		$T=T_0+\frac{E\times A_T}{G\times C_p}$ T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m²]，A_T：受熱面積[10.93m²]，G：重量流量[1.96kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1:伝熱工学資料 E=5,948[W/m²] c．排気筒の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]， ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1， h：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧 E=10,388[W/m²] (8) 形態係数の算出 火炎からの任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。 Emax＝Rf×φ Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-3 表　　形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
危険輻射強度[W/m²]	9295	208372	2873	10388
輻射発散度[W/m²]	74×10^3			
形態係数	0.1256088	2.8158438	0.0388239	0.1403903

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，
R：燃焼半径[m]

第 2-4 表　　危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
形態係数	0.1256088	2.8158438	0.0388239	0.1403903
燃焼半径[m]	3.62			
危険距離[m]	約 13	約 4	約 26	約 12

(10) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，燃料輸送車両において火災が発生した場合を想定したとしても，離隔距離(約 811m)が危険距離(最大約 26m)以上であることから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第2-3表　形態係数の算出結果

	原子炉建物	海水ポンプ	排気筒
危険輻射強度[W/m²]	5,224	5,948	10,388
輻射発散度[W/m²]	42×10^3		
形態係数	1.23×10^{-1}	1.41×10^{-1}	2.47×10^{-1}

(9)　危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，
R：燃焼半径[m]

第2-4表　危険距離の算出結果

	原子炉建物	海水ポンプ	排気筒
形態係数	1.23×10^{-1}	1.41×10^{-1}	2.47×10^{-1}
燃焼半径[m]	2.82		
危険距離[m]	10	9	6

(10)　火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，燃料輸送車両において火災が発生した場合を想定したとしても，離隔距離（約 890m）が危険距離（最大 10m）以上であることから，発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

2.2.2　主排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

なお，主排気筒の評価にあたっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 2.2.2-1 表に，主排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

第 2.2.2-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><td colspan="2">名称</td><td>主排気筒</td></tr>
<tr><td colspan="2">種　類</td><td>鉄塔支持型</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">主要寸法</td><td>内径 4.5m</td></tr>
<tr><td>地表高さ 140m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料</td><td>筒身</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>鉄塔</td><td>SS400，STK400</td></tr>
<tr><td colspan="2">個　数</td><td>1</td></tr>
</table>

第 2.2.2-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>主排気筒
(m)</td></tr>
<tr><td>燃料輸送車両</td><td>610</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	b．評価方法 一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。 $T = T_0 + \frac{E}{2h}$　（式 1） （出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ） Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1 Ｅ：輻射強度(W／m²)，ｈ：熱伝達率(17W／m²／K)※2 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。） 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m²)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$		

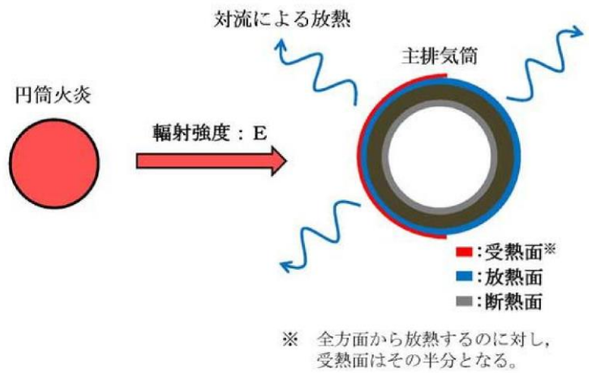
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），
Ｒ：燃焼半径（m）

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が燃料輸送車両との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

主排気筒の評価概念図を第2.2.2-2図に示す。



第2.2.2-2図　主排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

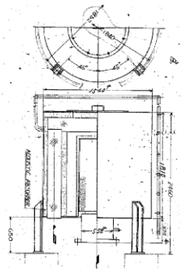
主排気筒鉄塔の表面温度が325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第2.2.2-3表に示す。

第2.2.2-3表　主排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離（m）	離隔距離（m）
主排気筒	9	610

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

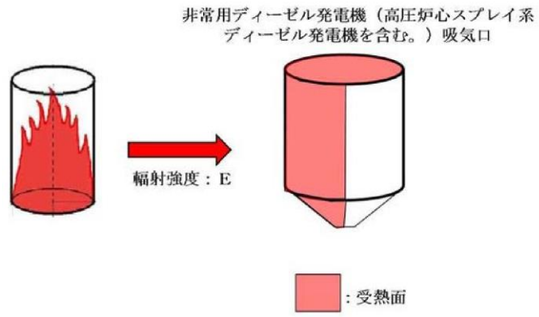
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
2.2.3　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。
(2)　空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の仕様を第 2.2.3-1 表に，外形図を第 2.2.3-1 図に示す。

第 2.2.3-1 表　評価対象施設の仕様
<table>
<tr><td>名称</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）吸気口</td></tr>
<tr><td>種　類</td><td>円筒縦形</td></tr>
<tr><td>主要寸法</td><td>外径　　：1.54m
円筒高さ：2.46m</td></tr>
<tr><td>材　料</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>6</td></tr>
</table>

第 2.2.3-1 図　評価対象施設の外形図

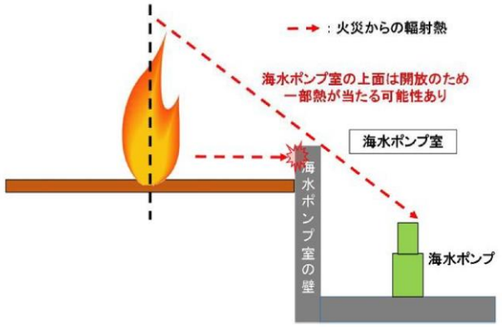
(3)　評価対象施設までの離隔距離
想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離
<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）（m）</td></tr>
<tr><td>燃料輸送車両</td><td>510</td></tr>
</table>
(4)　判断の考え方
ａ．許容温度
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。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，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。）の性能維持に必
</td>
<td></td>
<td>
・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施
</td>
</tr>
</table>

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
	要な温度 53℃以下※とする。 ※　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。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。 ｂ．評価方法 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が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。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。 $T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$　（式 1） Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(39℃)※1， Ｅ：輻射強度(W／m^2)， Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2) Ｃｐ：空気比熱(1,007J／kg／K)※3， ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60 ※３　日本機械学会 伝熱工学資料 ※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド）		

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
	式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。  第 2.2.3-2 図　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。）吸気口の評価概念図 ｃ．評価結果 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。）に流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-3 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
第 2.2.3-3 表　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。）への燃料輸送車両火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）</td><td>14</td><td>510</td></tr>
</table>
2.2.4　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。）用海水ポンプに対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.2.4-1 図に示す。
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
	 第 2.2.4-1 図　火災発生位置と海水ポンプの位置関係 (2)　評価対象施設の仕様 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。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.2.4-2 図，外形図を第 2.2.4-3 図に示す。仕様を第 2.2.4-1 表に示す。 第 2.2.4-2 図　海水ポンプの配置図 第 2.2.4-3 図　海水ポンプの外形図		

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

第 2.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

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。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室
燃料輸送車両	760

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.2.4-3 表に示す。

第 2.2.4-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第2.2.4-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギーの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.2.4-4 表に，評価概念図を第 2.2.4-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad \text{（式１）}$$

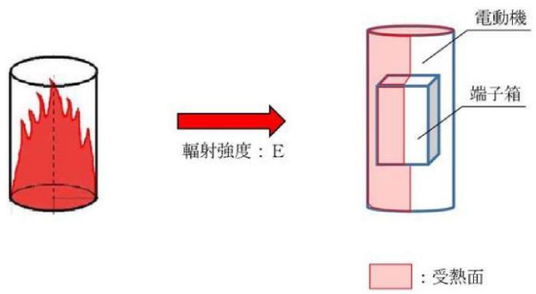
Ｔ：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)
Ｃｐ：空気比熱(1,007J／kg／K)，
ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔT_b＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 2.2.4-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 2.2.4-4 図　評価概念図

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。
Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２）
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，
Φ：形態係数
（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$ （式３）
ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$
Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），
Ｒ：燃焼半径（m）
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

ｃ．評価結果
輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第2.2.4-5 表に示す。

第 2.2.4-5 表　燃料輸送車両火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>13</td><td>760</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>11</td><td>760</td></tr>
</table>

2.2.5　放水路ゲートに対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
放水路ゲートについて，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。
</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポン</td>
</tr>
</table>

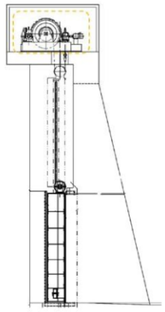
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 2.2.5-1 表に，外形図を第 2.2.5-1 図に示す。

第 2.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><td>名称</td><td>放水路ゲート駆動装置</td></tr>
<tr><td>床面高さ</td><td>T.P.＋11.0m</td></tr>
<tr><td>外殻材料</td><td>炭素鋼</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>3</td></tr>
</table>



第 2.2.5-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.5-2 表に示す。

第 2.2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>放水路ゲート
(m)</td></tr>
<tr><td>燃料輸送車両</td><td>600</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

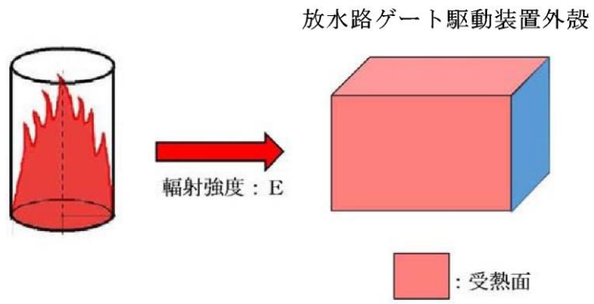
放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

</td><td></td><td>プ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても，設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td></tr>
</table>

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
	$T = T_0 + \frac{E}{2h}$ （式 1） （出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ） Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1 Ｅ：輻射強度(W／m²)，ｈ：熱伝達率(17W／m²／K)※2 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／Ｋを用いる。） 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ （式２） Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m²)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$ （式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 2.2.5-2 図に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>


第 2.2.5-2 図　放水路ゲートの評価概念図

c．評価結果
放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.5-3 表に示す。

第 2.2.5-3 表　放水路ゲートへの燃料輸送車両火災影響評価結果
<table>
<tr><th>評価対象施設</th><th>危険距離
（m）</th><th>離隔距離
（m）</th></tr>
<tr><td>放水路ゲート</td><td>9</td><td>600</td></tr>
</table>
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>3. 燃料輸送車両の爆発影響評価
(1) 燃料輸送車両の火災の想定の条件
・発電所敷地外 10km 以内の施設において液化石油ガス輸送車両が許可申請されていることから，最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こした場合を想定する。
・燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの（16t）とする。
・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
・発電所敷地境界の道路での高圧ガス漏えい，引火による燃料輸送車両の爆発を想定する。
・気象条件は無風状態とする。</td>
<td>3.　燃料輸送車両の爆発影響評価
(1)　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ
発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

可燃性ガスを輸送する燃料輸送車両は，最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）に液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）が積載された状況を想定した。評価条件を第 3-1 表に示す。

また，爆発発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号線上の評価対象施設に最も近い場所を想定した。</td>
<td>3.　燃料輸送車両の爆発影響評価
(1)　燃料輸送車両の爆発の想定条件
・ＬＰガスボンベを運搬する車両が発電所出入口ゲートで爆発を起こした場合を想定する。
・燃料輸送車両は運用上の最大値（0.5 トン）を積載した状態とする。
・輸送燃料はＬＰガス（プロパン）とする。
・発電所出入口ゲートでの高圧ガス漏えい，引火による燃料輸送車両の爆発を想定する。
・気象条件は無風状態とする。</td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉は，発電所敷地周辺の道路状況や運用状況を踏まえ，プロパンガスボンベを輸送している車両について影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(2) 評価手法の概要

本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する燃料輸送車両のガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 3-1 表　　評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所敷地境界の道路で出火する燃料輸送車両とする。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3-2 表　　高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則第 5 条別表第二に掲げる数値 K＝888000（プロパンの最大値）
貯蔵設備又は処理設備の W 値	コンビナート等保安規則第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位:トン）の数値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあっては，貯蔵能力（単位:トン）の数値），圧縮ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位:立方メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量（単位:トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して得られた数値が一未満のものにあっては，当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位:トン）の数値 $W=16^{1/2}=4$
離隔距離[m]	発電所敷地境界の道路から発電用原子炉施設までの距離 約 811[m]

(5) W 値の算出

最大規模の燃料輸送車両の積載量を貯蔵能力とし，W 値を算出する。

積載量（貯蔵能力）＝16[t]

$W=16^{1/2}=4$

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 3-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

	燃料輸送車両	
貯蔵ガス	液化天然ガス（メタン）	液化石油ガス（プロパン）
貯蔵量(t)	15.1	15.1
貯蔵ガスＫ値※1	714	888
貯蔵設備Ｗ値※2	4	4

※１　評価ガイド 記載値

※２　貯蔵量は 1t 以上となるため，貯蔵量の平方根の数値

島根原子力発電所　２号炉

(2)　評価手法の概要

本評価は，島根原子力発電所に対する燃料輸送車両のガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 3-1 表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離

(3)　評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所出入口ゲートで出火する燃料輸送車両とする。

(4)　必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3-2 表　高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則第５条別表第二に掲げる数値 K＝888000（プロパンの常用の温度 10 以上 40 未満の K 値 328 に 1,000 を乗じた値）
貯蔵設備又は処理設備の W 値	コンビナート等保安規則第５条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位：トン）の数値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあっては，貯蔵能力（単位：トン）の数値），圧縮ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位：立方メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量（単位：トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して得られた数値が一未満のものにあっては，当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位：トン）の数値 W＝0.5
離隔距離[m]	発電所出入口ゲートから発電用原子炉施設までの距離 約 890m

(5)　W 値の算出

貯蔵能力が 1 トン未満のものは，貯蔵能力（単位：トン）の数値とすることから，W 値を算出する。

積載量（貯蔵能力）＝0.5[トン]

W＝0.5

備考

・条件の相違

【柏崎 6/7】

地域特性を踏まえた評価対象及び評価条件の相違

・条件の相違

【柏崎 6/7】

地域特性を踏まえた評価条件の相違

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>(6) 危険限界距離の算出
次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が燃料輸送車両と発電用原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。
$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \times W}$

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m･kg$^{-1/3}$]，K：石油類の定数，W：設備定数
K＝888000，W＝4 として，危険限界距離を求める。
X＝約 88[m]

(7) 爆発による影響評価結果
以上の結果から，燃料輸送車両において爆発が発生した場合を想定したとしても，離隔距離（約 811m）が危険限界距離(約 88m)以上であることから，発電用原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

4. 燃料輸送車両の飛来物の影響評価
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）※に基づき，飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ，最大飛散距離に対し柏崎刈羽原子力発電所までの離隔距離が評価上必要となる距離以下であった。
このため，飛来物を想定した上での詳細な評価を実施したところ，飛来物は発電用原子炉施設に衝突することはない。

※：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するに当たって，災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法 を示した指針

第 4-1 表　飛来物の評価条件
<table>
<tr><th colspan="2">評価条件</th></tr>
<tr><td>貯蔵ガス</td><td>液化石油ガス</td></tr>
<tr><td>貯蔵量</td><td>16t</td></tr>
<tr><td>爆発形態</td><td>高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生</td></tr>
</table>
</td>
<td>(2) 危険限界距離の算出
評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 3-2 表に示す

$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$

X：危険限界距離（m），K：石油類の定数（-），W：設備定数（-）

第 3-2 表　外壁への燃料輸送車両爆発影響評価結果
<table>
<tr><th>想定爆発源</th><th>ガス種類</th><th>容量
(t)</th><th>危険限界距離
(m)</th><th>離隔距離※
(m)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">燃料輸送車両</td><td>メタン</td><td>15.1</td><td>81</td><td rowspan="2">450</td></tr>
<tr><td>プロパン</td><td>15.1</td><td>88</td></tr>
</table>
※　防護対象施設のなかで国道２４５号線から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

4. 燃料輸送車両の爆発飛来物影響評価</td>
<td>(6) 危険限界距離の算出
次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が燃料輸送車両と発電用原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。
$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \times W}$

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離14.4[m･kg$^{-1/3}$]，
K：石油類の定数，W：設備定数，
K＝888,000，W＝0.5として，危険限界距離を求める。
X＝約 44 [m]

(7) 爆発による影響評価結果
以上の結果から，燃料輸送車両において爆発が発生した場合を想定したとしても，離隔距離（約 890m）が危険限界距離（約 44m）以上であることから，発電用原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

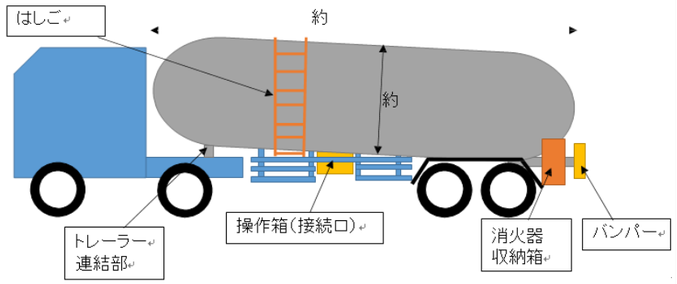
4. 燃料輸送車両の飛来物の影響評価
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成25年３月　消防庁特殊災害室）※に基づき，飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ，最大飛散距離に対し，島根原子力発電所までの離隔距離が評価上必要となる距離以上であった。
このため，飛来物は発電用原子炉施設に衝突することはない。

※：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するにあたって，災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

第4-1表　飛来物の評価条件
<table>
<tr><th colspan="2">評価条件</th></tr>
<tr><td>貯蔵ガス</td><td>LPガス</td></tr>
<tr><td>貯蔵量</td><td>0.5トン</td></tr>
<tr><td>爆発形態</td><td>高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生</td></tr>
</table>
</td>
<td>・評価結果の相違
【柏崎 6/7】
条件の相違に伴う評価結果の相違</td>
</tr>
</table>

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
(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき，容器の破損による 破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。 $L = 465M^{0.10}$ L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg] $L = 465 \times (16{,}000)^{0.10} = 1{,}224.23$ となり，飛来物の最大飛散距離 L は約 1,225m となる。	4.1　飛来物の最大飛散距離の簡易評価 国道２４５号線を通る加圧貯蔵の燃料輸送車両について，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月　消防庁特殊災害室）に基づき，下式よりタンクの破損による破片の飛散範囲を算出した。 $L = 465M^{0.10}$　（容積 5m^{3}以上の容器） Ｌ：破片の最大飛散範囲，Ｍ：破裂時の貯蔵物質量 算出したタンク破片の飛散距離は 1,218m であり発電所敷地に到達することを確認した。このため，より現実的な飛来物形状等の想定を踏まえた詳細評価を実施することとした。	(1)　飛来物の最大飛散距離の算出方法 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき，容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。 $L = 90M^{0.333}$ L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg] $L = 90 \times 500^{0.333} = 712.85$ となり，飛来物の最大飛散距離Ｌは約 713m となる。	・評価結果の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 条件の相違に伴う評価結果の相違
(2) 飛来物の最大飛散距離の詳細な評価 上記「石油コンビナート防災アセスメント指針」に基づく飛散範囲の推定式によると，飛来物が発電用原子炉施設に到達するおそれがあることから，燃料輸送車両（第 4-1 図参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。 飛来物の想定にあたり，BLEVE 現象※1 を引き起こす可能性がある液化石油ガス輸送車両のうち積載量が国内最大クラスものの構造図をもとに，飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体・はしご・バンパー部が抽出された。台車部等タンク下部に位置する部品は，爆発力の方向をふまえると，発電用原子炉施設に到達せず，また横 転した場合を考えても，下部の部品の飛散方向は発電所周辺道路の地形の高まりや森林の樹木に干渉し発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。トレーラーについては，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。 抽出した飛来物に対して，第 4-2 表のとおり液化石油ガス輸送車両の構造図，車両制限令に定められる限界値，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的	4.2　飛来物の最大飛散距離の詳細評価 上記「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づく飛散範囲の推定式によると，飛来物が発電用原子炉施設に到達するおそれがあることから，燃料輸送車両（第 4.2.2-1 図参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。 飛来物の想定に当たり，ＢＬＥＶＥを引き起こす可能性がある加圧貯蔵の燃料輸送車両のうち積載量が国内最大クラスの構造図を基に，飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体（鋼板）及びはしご（鋼製パイプ）を抽出した。 台車部などタンク下部に位置する部品は，爆発力の方向を踏まえると，発電用原子炉施設に到達せず，また横転した場合を考えても，タンク下部の部品の飛散方向は発電所周辺道路の地形の高まりや森林の樹木に干渉し発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。 抽出した飛来物に対して，第 4.2.2-1 図のとおり燃料輸送車両の構造図，車両制限令に定められる限界値，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。なお，現実的には以下に示す車両の部品は存在しな		

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
な飛来物を設定する。 はしご及び，バンパーの長さはともに 2.5m 程度である。棒状の物体は長さが大きくなると飛距離が大きくなる傾向にあることから，保守的な評価として鋼製パイプ及び鋼製材については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m での評価を実施する。 また，タンク板の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが，平板は幅，長さが大きくなるほど，飛距離が大きくなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m，長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m の平板について評価を実施する。厚さについては，構造図から 0.01m とする。 竜巻飛来物の飛行解析モデル（Simiu and Cordes，1976）（東京工芸大，2011）（江口ら，2014 及び 2015）と同じモデルを使用し，空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとする。 「BLEVE 時の破片最大速度は 150-200m/s」（Handbook of Hazardous Materials Spills Technology の 22.4.4 節）であることから，初期条件として地上にあるタンクローリ破片の初期速度を 200m/s とする。また，感度解析の結果より，もっとも遠くまで到達する放出角を鋼製パイプ及び鋼製材は 31°，鋼板は 30°とする。 想定飛来物の諸元及び，飛散距離の計算結果を第 4-2 表に示す。離隔距離 811m は，最大飛散距離である鋼製パイプの 550m を上回ることから，飛来物が発電用原子炉施設に到達することはなく，影響はない。 ※1：BLEVE 現象（沸騰液膨張蒸気爆発）：液化ガスを貯蔵するタンク火災等で，タンクが破損した場合に急激に液化ガスが気化することに伴う爆発現象。	いが，飛散距離を保守的に評価するため，存在すると仮定して評価を実施する。 トラクターについては，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。 はしご（鋼製パイプ）の長さは 2.5m 程度である。棒状の物体は長くなるほど飛散距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてはしご（鋼製パイプ）については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 17.0m での評価を実施する。 また，タンク本体（鋼板）の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが，平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛散距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m，長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 17.0m の平板での評価を実施する。厚さについては，構造図※から 0.01m とする。 ※　高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会） 4.2.1　タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出 タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出は，別紙 3.3 と同様に「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn)」に基づき求めた。以下に抜粋を示す。 *Step 3a2　Calculate the liberated energy, E_{av}* Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2. *Step 3a3　Calculate initial velocity, v_i* This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation: $v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}}$　(m/s)　(7.15) where E_{av} = liberated energy [J] M_v = total mass of empty vessel [kg] A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation. Upper limit　$A_{ke} = 0.6$ Rough estimate　$A_{ke} = 0.2$ BLEVE　$A_{ke} = 0.04$		



第 4-1 図　　燃料輸送車両概要図

第 4-2 表　　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ（はしご）	鋼製材（バンパー）	鋼板（タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径 16.5※1×0.05※2	長さ×幅×奥行 16.5※1×0.3※3×0.2※3	長さ×幅×厚さ 16.5※1×2.5※1×0.01※4
質量（kg）	69.3※2	530.4※3	3238.1
飛散距離（m）	550	505	404
離隔距離(m)	811		

※1：車両制限令に定められる車両の幅 2.5m，長さ 16.5m（高速自動車国道を通行するセミトレーラ連結車）の最大限度。
※2：鋼製パイプの直径及び質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は，構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。
※3：鋼製材の幅，奥行及び質量は，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。構造図上のバンパー部の幅約 0.3m，奥行約 0.2m と同程度である。
※4：積載 16t 液化石油ガスタンクローリの構造図よりタンク板厚 10mm

（参考文献）

1）Simiu，E. and Cordes，M.，NBSIR 76-1050 Tornado-Borne Missile Speeds（1976）．2）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）．
3）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）．
4）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，

なお，タンク材重量については，タンク体積が最大の 33m³となる円筒型のタンク形状を想定して算出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。

$$V=\pi r^2 L \Rightarrow L=\frac{V}{\pi r^2}$$

$$M=2\pi r L t \rho+2\pi r^2 t \rho$$

V：タンクの体積(33m³)，L：タンク長さ(m)
r：円筒状タンク底面の半径(1.25m)※1
M：タンクの質量(kg)，t：タンク外層の厚さ(0.01m)※2
ρ：タンク材密度（7,850kg／m³）※3

※1　車両制限令（積載物），道路運送車両の保安基準（車両）により制限される最大幅 2.5m を直径と想定した場合の半径
※2　高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）に記載のタンク厚さ（0.012m）を参考に，薄いほど評価上保守的になるため，厚さを 0.01m に設定
※3　合金鋼の密度

第 4.2.1-1 表　評価対象タンクの評価条件

タンクの種類	内容物	貯蔵容量（m³）	タンク体積※1 V（m³）	タンクの質量※2 M（kg）
燃料輸送車両	ＬＰＧ	30	33	4.9×10³

※1　消防法に基づき空間容積を 10%として算出
※2　タンク体積が 33m³となる円筒形状タンクを想定

爆発により発生するエネルギが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第 4.2.1-2 表のとおり。

$$E=\frac{(\rho_1-\rho_2)V}{\gamma-1}$$

$$v=\sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

Vol.81, No.823, [DOI: 10.1299/transjsme.14-00478] (2015).
5) J. Casal, J. Arnaldos, H. Montiel, E. Planas-Cuchi, and J. A. V1´lchez,
Modeling and Understanding BLEVEs, in Handbook of Hazardous Materials Spills Technology (ed.:M. Fingas), chapter 22 (2002)

ｖ：飛来物の最高速度（m／s），Ｍ：タンクの質量(kg)
Ｅ：タンク爆発により発生するエネルギ(Ｊ)
ρ１：タンク内の圧力（3.4MPa※1），ρ２：大気圧力（0.1MPa）
Ｖ：タンクの体積（33m^3），γ：比熱比（1.1）
Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.04※2）

※１　高圧ガス例示基準を参考とし，安全弁設定圧力×1.2と設定

※２　Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第 4.2.1-2 表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ E (J)	飛来物の最高速度 v (m／s)
燃料輸送車両	1.1×10^9	133

4.2.2　最大飛散距離の算出

空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び，平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。

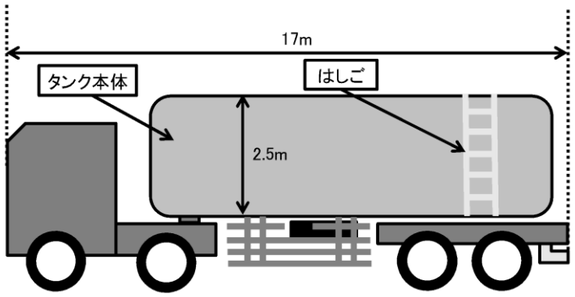
水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

ｍ：飛来物の質量（kg），Ｆ：空気抵抗による外力（-）
ｇ：重力加速度（9.8m／s^2），ＣＤ：流体抗力係数（-）
Ａ：飛来物の速度方向に対する投影面積（m^2）
Ｖ：飛来物の速度(m／s)，ρ：空気密度(1.2kg／m^3)

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>(3) 飛来物影響評価結果
燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ，離隔距離（約 811m）が最大飛散距離（約 550m）を上回る結果となった。したがって，発電所周辺道路で燃料輸送車両が事故等により爆発し，なおかつその飛来物が発電用原子炉施設に衝突することはなく，影響はない。</td>
<td>燃料輸送車両概要図を第 4.2.2-1 図に，想定飛来物の諸元及び，飛散距離の計算結果を第 4.2.2-1 表に示す。
 

第 4.2.2-1 図　燃料輸送車両概要図

第 4.2.2-1 表　想定飛来物の諸元・飛散距離
<table><tr><th>飛来物の種類</th><th>鋼製パイプ
（はしご）</th><th>鋼板
（タンク本体）</th></tr><tr><td>サイズ（m）</td><td>長さ×直径
（17.0※1×0.05※2）</td><td>長さ×幅×厚さ
（17.0※1×2.5※1×0.01※4）</td></tr><tr><td>質量（kg）</td><td>71※2</td><td>3,336※3</td></tr><tr><td>飛散距離（m）</td><td>435</td><td>330</td></tr><tr><td>離隔距離（m）</td><td colspan="2">450
（国道２４５号線から最も近い発電用原子炉施設（タービン建屋）までの距離）</td></tr></table>
※1　車両制限令第３条３項及び通達で定められた指定道路を通行できるセミトレーラー車両の最大限度（長さ 17.0m，幅 2.5m）
※2　鋼製パイプの直径及び，質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は，構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。
※3　鋼板の質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。
※4　「高圧ガスタンクローリーの事故防止について」（高圧ガス保安協会）の構造図よりタンク板厚 0.01m と設定した。

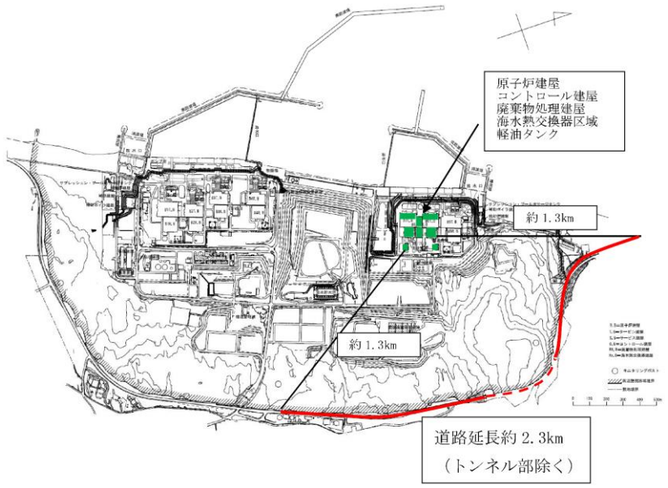
鋼製パイプの評価結果である最大飛散距離 435m は，離隔距離 450m を下回ることから，燃料輸送車両の爆発飛来物により評価対象施設の安全機能を喪失することはない。</td>
<td>(2)　飛来物影響評価結果
燃料輸送車両からの飛来物を想定したうえでの評価を実施したところ，離隔距離（約 890m）が最大飛散距離（約 713m）を上回る結果となった。したがって，発電所の敷地境界（発電所出入口ゲート）で燃料輸送車両が事故等により爆発し，なおかつその飛来物が発電用原子炉施設に衝突することはなく，影響はない。</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
参考資料 4－1 燃料物性値について 燃料輸送車両の火災影響評価では，爆発による影響が大きいことを考慮し，最大クラスの液化石油ガス輸送車両が火災・爆発を起こした場合を想定している。液化石油ガスはガソリンに対して，輻射発散度が大きく輻射強度も大きくなるため保守的であるが，質量低下速度が速く燃焼時間が短い。このため，燃料積載量が大きいガソリンを搭載したタンクローリと比較し，想定の妥当性について評価する。 評価に必要なデータを以下に示す。 第 1 表 プロパンとガソリンの評価条件 燃料の種類 ／ プロパン ／ ガソリン 燃料量[ton] ／ 16 ／ 23.4（30[ton]） 輻射発散度[W/m^2][1)] ／ 74×10^3 ／ 58×10^3 質量低下速度[kg/m^2・s][2)] ／ 0.099 ／ 0.055 燃料輸送車両投影面積[m^2] ／ 41.25[3)] ／ 41.25[3)] 1）評価ガイド付属書 B より 2）NUREG-1805 より 3）車両長 16.5[m]　：車両制限令 第三条 車両幅 2.5[m]　：道路運送車両の保安基準 第二条 火災による熱影響（危険距離）は 2.(5)から(9)と同様に算出する。 第 2 表 危険距離の算出結果 　 ／ プロパン ／ ガソリン 危険距離[m][※] ／ 約 32m ／ 約 28m ※：最大値（燃料移送ポンプの場合）を記載 以上の結果から，プロパンとガソリンの燃料物性値の相違による評価結果への影響はない。なお，離隔距離(約 811m)が危険距離以上であることから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。			・設備の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，発電所敷地周辺の道路状況や運用状況を踏まえ，プロパンガスボンベを輸送している車両について影響評価を実施

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
参考資料 4－2 燃料輸送車両の飛来物による影響評価について 1. はじめに 柏崎刈羽原子力発電所では，燃料輸送車両の爆発時の飛来物の影響について，離隔距離が十分であることから影響はないとしている。一方，「石油コンビナート防災アセスメント指針」に基づく評価によると，離隔距離(811m)が，最大飛散距離（1,225m）以下であることから，参考として，頻度及び影響度の観点からリスクについて評価する。 2. 燃料輸送車両の飛来物による影響がないことについて (1) 発電所周辺道路の交通状況 発電所周辺道路としては国道 352 号線があるが，発電所付近は工業地域を走行する道路ではなく，より高規格で直線的な線形の道路である国道 116 号線に加え，国道 8 号線や高速自動車国道が並走しているため，新潟市（新潟東港地区・新潟西港地区）－（刈羽村・柏崎市）－上越市（直江津地区）等のコンビナート間の通過交通に積極的に使用される道路ではない。また，発電所周辺 10km 以内において液化石油ガスの許可申請を実施している 15 事業所に聞き取りを実施したところ，回答を得られた 12 事業所のうち，定常的に敷地付近の主要な道路である国 352 号線の発電所付近を通過するタンクローリを取扱い，受け入れするのは 1 事業所のみであり，繁忙期においても週 1 回程度の低頻度である。 (2) 爆発時の発電用原子炉施設への影響 燃料輸送車両は，高圧ガス保安法等の規制のもと製造・維持・管理されており，信頼性が確保されているが，万が一燃料輸送車両の爆発により飛来物が発生したとしても，周辺道路からの離隔距離は 811m 以上であり，BLEVE 現象※1 により容器が破損した場合の最大飛散範囲 1,225m に及ばないものの一定の離隔距離が確保されており影響は緩和される。発電用原子炉施設に衝突するものは多くても数個程度，また重量も小さいものであると考えられ，建屋が一定の頑健性を持っていることを踏まえ			・設備の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，発電所敷地周辺の道路状況や運用状況を踏まえ，プロパンガスボンベを輸送している車両について影響評価を実施

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
ると，同時に複数の設備に影響を与えることは考え難い。したがって，広範な影響を及ぼす可能性のある地震，津波を初めとする自然現象・人為事象に比べ，影響が小さいと言える。 　また，次項に述べるような確率論的な考察によっても，リスクが小さいと言える。 以上のように，発電所周辺においては燃料輸送車両の交通が少ないことに加え，最大飛距離には及ばないものの一定の離隔があること，また事象が生じた際の影響が小さく一部設備にとどまることから，燃料輸送車両の爆発に伴う飛来物による発電用原子炉施設への影響はないと判断できる。 ※1：BLEVE 現象（沸騰液膨張蒸気爆発）：液化ガスを貯蔵するタンク火災等で，タンクが破損した場合に急激に液化ガスが気化することに伴う爆発現象。 3. 燃料輸送車両の飛来物による影響の確率論的考察について 　前項で述べたとおり，燃料輸送車両が爆発した際の影響は小さく無視できると考えられるが，本項では，過去の事故発生頻度を用いて燃料輸送車両の爆発飛来物が発電用原子炉施設へ損傷を与える可能性がある確率を算出しても極めて低い値となることを確認する。 (1) 評価条件 ・評価対象は原子炉建屋・コントロール建屋・廃棄物処理建屋・海水熱交換器区域・軽油タンクとする。 ・敷地付近の主要道路である国道 352 号線を通行する燃料輸送車両の火災を想定する。 ・積載物としては，BLEVE 現象を引き起こす，液化石油ガスを想定する。 ・燃料積載量は，液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスの 16t を想定する。 (2) 評価方法 　評価に使用する各パラメータについて第 1 表に示す。 a. 新潟県内での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度 　発電用原子炉施設に影響を及ぼすような爆発を想定する車両として，BLEVE 現象を引きおこすおそれがある，可燃			

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
性の高圧ガスを積載した車を考える。新潟県内では平成 16 年から平成 26 年までの 10 年間で 3 件の，可燃性の高圧ガスを積載したタンクローリに関する事故が発生している。これらは，いずれも漏えい等に留まり爆発事故には至っていないが，保守的な値として新潟県内において燃料輸送車両の爆発事故が発生する頻度を次のように求める。 3 / 10 = 0.3[件/年] b. 周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づく，容器の破損による破片の飛散範囲 L は以下のとおり約 1.3km である。 $L = 465 \times (16,000)^{0.10} = 1,224.23$ [m] したがって，爆発事故が発生した際に，飛来物が発電用原子炉施設に影響を与え得る道路延長は第 1 図のとおり，約 2.3km である。 周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度は，県内の燃料輸送車両の事故が，すべて新潟県内の高速自動車国道（実延長 379.5km）あるいは一般国道（実延長 1781.9km）で発生したと仮定し算出する。高速自動車国道及び一般国 道の実延長は 379.5 + 1781.9 = 2161.4 km から 2000km，周辺道路の長さは約 2.3km から 3km とそれぞれ保守的に設定する。 周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度は次のようになる。 $b.3 \times 3 / 2000 = 4.5 \times 10^{-4}$ [件/年] c. 飛来物の発電用原子炉施設衝突確率 燃料輸送車両の爆発時に飛来物が発電用原子炉施設に到達する確率は，燃料輸送車両を中心とする半径が最大飛距離 1,225m の円内に飛来物が等しい確率で落下すると仮定し算出する。評価対象施設の合計面積は，11843.5m^2 であるから飛来物の発電用原子炉施設衝突確率は $11843.5 / (\pi \times 1225^2) = 2.51 \times 10^{-3}$ となる。			

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
(3) 評価結果 以上を踏まえると，燃料輸送車両による爆発により発電用原子炉設備に影響を与える確率は， $4.5\times10^{-4}\times2.5\times10^{-3}=1.1\times10^{-6}$ 程度と算出される。 (4) 結論 燃料輸送車両が爆発しその飛来物が，発電用原子炉施設に落下する確率は 1.1×10^{-6} と極めて小さく，稀にしかおこらない。また建屋による防護にも期待できることから影響は無視できる。  第 1 図 敷地内概要図			

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

第 1 表 各種入力条件

	パラメータ	備考
燃料輸送車両爆発頻度	0.3［/年］	平成 16 年～平成 26 年の 10 年間に新潟県内での高圧ガス積載車両の爆発事故発生回数３回より設定 出典：平成 26 年度高圧ガス事故事例データベース（経済産業省・高圧ガス保安協会）
到達距離	1225［m］	「石油コンビナートの防災アセスメント指針」掲載の式より設定
原子炉建屋へ影響を与え得る範囲の道路延長	3［km］	飛来物が発電用原子炉施設に到達する可能性がある道路延長約 2.3km より保守的に設定（第１図）
新潟県内　国道総延長	2000［km］	一般国道：1781.9km 高速自動車国道：379.5km （道路統計年報 2014） 合計 2161.4km より保守的に設定
標的面積	11843.5［m^2］	原子炉建屋・コントロール建屋・廃棄物処理建屋・海水熱交換器区域・軽油タンクの合計面積

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
添付資料－5 漂流船舶の火災・爆発について	添付資料-5 漂流船舶の火災・爆発について	添付資料-5 漂流船舶の火災・爆発について	

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
1. はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が柏崎刈羽原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	1. 目　　的 発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。	1. はじめに 本評価は，発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災やガス爆発が島根原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	
2. 漂流船舶の火災・爆発の影響評価について 本評価は漂流船舶の火災に対する防護の有効性を確認することが目的であるため，敷地周辺において現実的に想定される船舶に比べ，火災影響が厳しくなる保守的な船舶の規模として，入港可能な最大の船舶が敷地へ到達することを仮定した評価を実施する。 (1) 想定の条件 ・漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く，発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定する。 ・漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量 1021t）を想定する。 ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。 ・港湾内での漂流船舶の全面火災を想定する。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。	2. 漂流船舶の火災影響評価 発電所敷地周辺に漂流物を想定した軌跡解析を実施した結果，いずれの評価点においても最初の地点の近辺に留まるか，発電所から離れていく結果となったことから，発電所敷地外で発生する漂流物は発電所へ接近してくることはないが，本評価では保守的に対象船舶の喫水位置から火災発生位置を特定し評価することとした。 ａ．発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（以下「ＬＮＧ輸送船」及び「ＬＰＧ輸送船」という。），内航船及び発電所港湾内に定期的に入港する燃料等輸送船（以下「定期船」という。）の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。 ｂ．輸送船の喫水は [redacted] であり，[redacted] である発電所岸壁から [redacted] の位置までしか近づけないことから，[redacted] のポイントから評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。 ｃ．内航船及び定期船のうち火災影響が最大となる船舶の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。内航船及び定期船は満載時でも喫水が [redacted] と浅く，発電所岸壁まで接近可能であるため，発電所岸壁から評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。	2. 漂流船舶の火災・爆発の影響評価について 本評価は漂流船舶の火災に対する防護の有効性を確認することが目的であるため，敷地周辺において現実的に想定される船舶のうち，火災影響が厳しくなる保守的な船舶の規模として，入港可能な最大の船舶が敷地へ到達することを仮定した評価を実施する。 (1) 想定の条件 ・漂流船舶は，島根原子力発電所前面の海域に船舶の主要な航路がないことから，港湾内へ入港する船舶を想定する。 ・漂流船舶は，入港する船舶の中で燃料保管量が最大の重油運搬船（保管容量：1,246kL）を想定する。 ・漂流船舶は，燃料を満載した状態を想定する。 ・港湾内での漂流船舶の全面火災を想定する。 ・気象条件は，無風状態とする。 ・火災は，円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。	・条件の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，喫水位置によらず港湾内へ船舶が漂流するとして評価を実施 ・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉は，発電所近傍に液化石油ガスの輸送船舶が航行することはないため，発電所港湾内の運用状況を踏まえ，入港する最大規模の船舶である重油運搬船について影響評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(2) 評価手法の概要

本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する漂流船舶の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 2-1 表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	船舶の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお，以前は船舶にて構内の重油タンクへの重油の補給を行っていたが，現在は重油タンクの運用を廃止しており，発電所構内に入港する危険物輸送船舶は存在しないことから，発電所前面の海域で航行中の船舶が漂流し，港湾内に進入し，出火した場合を想定する。

仮に，津波による船舶の漂流を想定したとしても，カーテン・ウォールの高さ（T.M.S.L+3.2m），基準津波による最大水位の高さ(T.M.S.L+7.2m)，想定している船舶の喫水(5.7m)

東海第二発電所（2018.9.12 版）

2.1　共通データの算出

各外壁，主排気筒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。），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。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　船舶及び燃料に係るデータ

船舶及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に，各対象との位置関係を第 2.1-1 図，第 2.1-2 図に示す。

第 2.1-1 表　船舶及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量（m³）	輻射発散度（kW／m²）※1	質量低下速度（kg／m²／s）※2	燃料密度（kg／m³）※3	燃焼面積（m²）

※1　評価ガイド 記載値
※2　NUREG-1805 記載値
※3　ＭＳＤＳ(製品データ安全シート)
※4　ＬＰＧ輸送船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多いＬＮＧ輸送船に包絡されるため評価対象外とした。
※5　内航船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多い定期船に包絡されるため評価対象外とした。

島根原子力発電所　２号炉

(2)　評価手法の概要

本評価は，島根原子力発電所に対する漂流船舶の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 2-1 表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱面）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	船舶の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が３m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

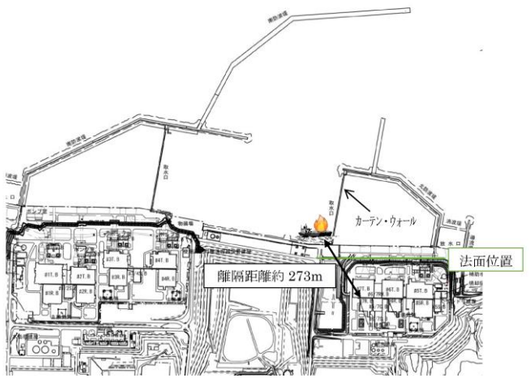
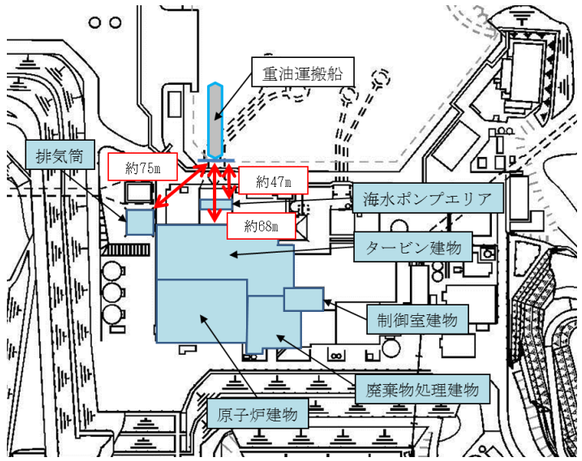
輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し，輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3)　評価対象範囲

評価対象範囲は，発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお，評価に用いる離隔距離は，喫水深さ等を考慮せず保守的に港湾内で発電用原子炉施設に対し最も接近する位置（護岸の境）から出火した場合を想定する。（第 2-1 図）

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7】
島根 2 号炉は，喫水位置によらず港湾内へ船舶が漂流するとして評価を実施

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
の関係※から，船舶がカーテン・ウォールを乗り越えて発電用原子炉施設に接近することはない（第 2-1 図）。 ※：水面はカーテン・ウォールより 4.0m 高い位置となるが，船舶の水面から船底の最深部までの垂直深さが 5.7m であり，水面がさらに上昇しなければ乗り越えることはない。なお，カーテン・ウォールが地震・津波により損傷した場合，敷地内の海側で低いエリア（T.M.S.L+3.0m）及び基準津波の検討における大湊側遡上域の最大水位（7.5m）より上陸可能な船舶の喫水は4.5m以下である。 取水口エリア近傍の法面高さが約 12m（T.M.S.L+12.0m）となっており，これ以上，発電用原子炉施設に接近することはない。よって，この位置における発電用原子炉施設との離隔距離（約 178m）が積載量最大の船舶にて評価した危険距離（最大約 148m）以上であることに加え，喫水 4.5m 程度の船舶の積載量（960ton 程度）が最大積載量（1021ton）未満であることから，想定している船舶の評価に包絡される。  第 2-1 図　　漂流船舶の離隔距離	第 2.1-1 図　ＬＮＧ輸送船火災と評価対象施設の位置関係 第 2.1-2 図　定期船火災と評価対象施設の位置関係	 第2-1図　対象施設と重油運搬船の位置関係	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 2-2 表　　プロパンの評価条件

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton] 3)	1021
輻射発散度[W/m²] 1)	74×10³
質量低下速度[kg/m²・s] 2)	0.099
漂流船舶投影面積[m²] 3)	67.77×13

1) 評価ガイド付属書 B より
2) NUREG-1805 より
3) 内航船舶明細の LPG 船舶の中で容積が最大の船舶の値

(5) 燃焼半径の算出

漂流船舶の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが，円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は，漂流船舶の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]は漂流船舶の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S：漂流船舶の投影面積（火炎円筒の底面積）＝881［m²］

R＝（881／π）$^{0.5}$＝16.74［m］

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

</td>
<td>

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

なお，船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定し、燃焼面積は船舶の全長と船幅より四角形として算出している。

算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積(m²)

第 2.1-2 表　船舶の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m²)	燃焼半径 R (m)

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

</td>
<td>

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 2-2 表　重油の評価条件

燃料の種類	重油
燃料量[kL]※3	1,246
輻射発散度[W/m²] ※1	23×10³
質量低下速度[kg/m²・s] ※2	0.035
漂流船舶投影面積[m²] ※3	678

※1：評価ガイド附属書 B より
※2：NUREG-1805 より
※3：入港する船舶の中で容積が最大の船舶の値

(5) 燃焼半径の算出

漂流船舶の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが，円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は，漂流船舶の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径 R[m]は漂流船舶の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S:漂流船舶の投影面積（火炎円筒の底面積）＝678[m²]

R＝（678／π）$^{0.5}$＝14.69[m]

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

</td>
<td></td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$，　$v=\frac{M}{\rho}$　より，$t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v:燃焼速度[m/s]M:質量低下速度[kg/m²･s]，ρ:密度[kg/m³]，
m：質量[kg]
ここで，m＝ρV＝1,021,000[kg]，M＝0.099[kg/m²･s]として，
燃焼継続時間を求めると，
t＝1,021,000／（881×0.099）＝11,706[s]＝3.25[h]

(7) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンク</td>
<td>$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m³)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m²／s)，ρ：燃料密度(kg／m³)

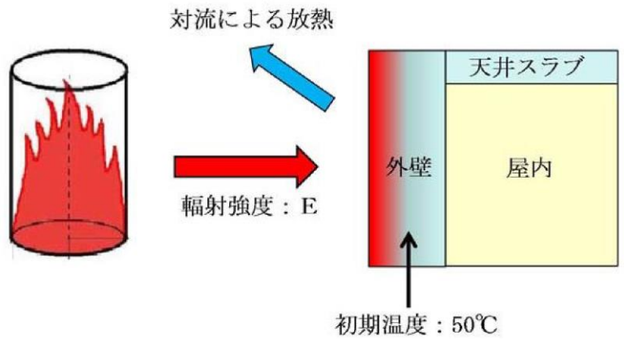
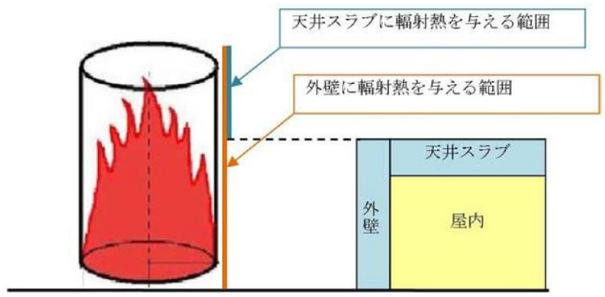
第 2.1-3 表　船舶火災の燃焼継続時間
<table><tr><th>想定火災源</th><th>燃料量
V
(m³)</th><th>燃焼半径
R
(m)</th><th>質量低下速度
M
(kg／m²／s)</th><th>燃料密度
ρ
(kg／m³)</th><th>燃焼継続時間
t
(s)</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>
2.2　外壁に対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
評価対象施設の外壁について，船舶の火災を想定して評価を実施した。
(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2-1 表に示す。
第 2.2-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離
<table><tr><th>想定火災源</th><th>原子炉建屋
(m)</th><th>タービン建屋
(m)</th><th>使用済燃料
乾式貯蔵建屋(m)</th></tr><tr><td rowspan="2"></td><td>1,100</td><td>1,100</td><td>1,300</td></tr><tr><td>300</td><td>280</td><td>530</td></tr></table>
(3)　判断の考え方
a．許容温度
火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。
b．評価方法
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の</td>
<td>$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$，　$v=\frac{M}{\rho}$　より，$t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]，M：質量低下速度[kg/m²・s]，
ρ：密度[kg/m³]
ここで，ρ＝1000[kg/m³]，M＝0.035[kg/m²・s]として，燃焼継続時間を求めると，
v＝0.035／1000＝3.5×10⁻⁵
t＝1246／（678×3.5×10⁻⁵）＝52477[s]＝14.58[h]

(7)　危険輻射強度の算出

a．外壁面の危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コ</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
リートの表面の温度上昇が 200℃となる危険輻射強度を求める。 $T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計， 日本建築センター T_s:外表面温度[200℃],T_0:初期温度[50℃],E:輻射強度[W/m^2], ε：コンクリート表面の放射率（0.95）※，ｈ：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m^{2}K]※，ｋ：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m^3]※, ｃ：コンクリート比熱[879J/kgK]※，ｔ：燃焼継続時間[s] ※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書 E＝7701[W/m^2]	温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。 $T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$　（式 1） （出典：伝熱工学，東京大学出版会） Ｔ：表面からｘ（m）の位置の温度（℃）， T_0：初期温度（50℃）※ α：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率（=λ／ρC_p）（7.7×10^{-7}m^2／s） ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度（2,400kg／m^3）， C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱（880J／kg／K） λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率（1.63W／m／K），Ｅ：輻射強度（W／m^2） ｔ：燃焼継続時間（s） ｘ：温度評価の対象となる深さ位置（外壁表面：0m） ※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数 Φ を，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ Ｅ：輻射強度（W／m^2），Ｒｆ：輻射発散度（W／m^2）， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数 Φ となる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式 3） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド）	ンクリートの表面温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。 $T = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\frac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計， 財団法人　日本建築センター T：外表面温度[200℃]，T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリートの表面放射率[0.94]※1，ｈ：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，ｋ：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，ｃ：コンクリート比熱[879J/kgK]※2，ｔ：燃焼継続時間[s] ※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書 E=4,759[W/m^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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。 ・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。 ・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。 ・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。 建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2-2 図に示す。  第 2.2-1 図　建屋外壁の評価概念図  第 2.2-2 図　天井スラブの評価概念図		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>b. 軽油タンクの危険輻射強度
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険輻射強度を求める。
$$T=\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-\left(\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-T_0\right)e^{\left(\frac{hS_2}{C}\right)t}$$
T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m^2]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[℃]
※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧
E＝70930[W/m^2]</td>
<td>c．評価結果
評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。
なお，ＬＮＧ輸送船について積載量が 0m^{3}の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は 1,100m（原子炉建屋）であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.2-2 表に示す。

第 2.2-2 表　外壁への船舶火災影響評価結果
<table><tr><th>想定火災源</th><th>評価対象施設</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr><tr><td rowspan="6"></td><td>原子炉建屋</td><td rowspan="3">263</td><td>1,100</td></tr><tr><td>タービン建屋</td><td>1,100</td></tr><tr><td>使用済燃料乾式貯蔵建屋</td><td>1,300</td></tr><tr><td>原子炉建屋</td><td rowspan="3">85</td><td>300</td></tr><tr><td>タービン建屋</td><td>280</td></tr><tr><td>使用済燃料乾式貯蔵建屋</td><td>530</td></tr></table></td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
c．燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。 $E_{max}=\frac{2}{\varepsilon S}\left(\frac{hS(T-T_{air})}{1-e^{(-\frac{hS}{C})t}}\right)$ ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，S：防護板（鋼板）受熱面積[16.2m²]，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m²K]※2，C:防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10⁶J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T：許容温度[100℃]，T_{air}：外気温度（初期 温度）[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝1825[W/m²] d. 主排気筒の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の温度が325℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 E＝10388 [W/m²] (8) 形態係数の算出 火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。 Emax＝Rf×φ Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数		b．海水ポンプの危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度が 55℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{E\times A_T}{G\times C_p}$ T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m²]，A_T：受熱面積[10.93m²]，G：重量流量[1.96kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1:伝熱工学資料 E=5,948[W/m²] c．排気筒の危険輻射強度 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。 $T=T_0+\frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧 E=10,388[W/m²] (8) 形態係数の算出 火災からの任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。 Emax＝Rf×φ Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 また，放水路ゲートについても設置していないため影響評価対象外。 なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-3 表　形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
危険輻射強度[W/m²]	7.70	70.9	1.82	10.3
輻射発散度[W/m²]	74×10^3			
形態係数	0.1040675	0.9585140	0.0246699	0.1403903

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，
R：燃焼半径[m]

第 2-4 表　　危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
形態係数	0.1040675	0.9585140	0.0246699	0.1403903
燃焼半径[m]	16.7			
危険距離[m]	約 66	約 17	約 148	約 53

(10) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，漂流船舶において火災が発生した場合を想定したとしても，離隔距離（約 273m）が危険距離（最大約 148m）以上であることから，外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

なお，発電所港湾内に入港する船舶火災の影響評価については，発電所港湾内に入港する危険物輸送船舶がないことを踏まえると，入港船舶の燃料積載量は運航に必要な程度であり，その熱影響は漂流船舶における火災影響評価において想定した液化石油ガス輸送船舶のものより小さく，漂流船舶の火災影響評価に包絡される。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第2-3表　形態係数の算出の結果

	タービン建物	海水ポンプ	排気筒
危険輻射強度[W/m²]	4,759	5,948	10,388
輻射発散度[W/m²]	23×10^3		
形態係数	2.06×10^{-1}	2.58×10^{-1}	4.51×10^{-1}

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

ϕ:形態係数，L:離隔距離[m]，H:火炎高さ[m]，
R:燃焼半径[m]

第2-4表　危険距離の算出結果

	タービン建物	海水ポンプ	排気筒
形態係数	2.06×10^{-1}	2.58×10^{-1}	4.51×10^{-1}
燃焼半径[m]	14.69		
危険距離[m]	35	28	17
離隔距離[m]	68	47	75

(10) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，漂流船舶において火災が発生した場合を想定したとしても，各発電用原子炉施設の離隔距離が危険距離以上であることから，外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

なお，隠岐諸島と島根半島（七類港等）を結ぶ定期船（フェリー等）については，発電所付近を航行しておらず，漂流等の影響はないと考えるが，仮に漂流し，発電所周辺に到達した場合であっても，燃料積載量（フェリー：約 180kL）から，重油運搬船の評価結果に包絡される。（第 2-2 図）

備考

・条件の相違
【柏崎 6/7】
地域特性を踏まえた対象の相違

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
2.3　主排気筒に対する危険距離評価
(1)　評価対象範囲
主排気筒について，船舶の火災を想定して評価を実施した。
なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。
(2)　評価対象施設の仕様
主排気筒仕様を第 2.3-1 表に，主排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

第 2.3-1 表　評価対象施設の仕様
<table>
<tr><td colspan="2">名称</td><td>主排気筒</td></tr>
<tr><td colspan="2">種　類</td><td>鉄塔支持型</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">主要寸法</td><td>内径 4.5m</td></tr>
<tr><td>地表高さ 140m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">材料</td><td>筒身</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>鉄塔</td><td>SS400，STK400</td></tr>
<tr><td colspan="2">個　数</td><td>1</td></tr>
</table>

第 2.3-1 図　評価対象施設の外形図
(3)　評価対象施設までの離隔距離
想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.3-2 表に示す。
</td>
<td>

第 2-2 図　島根原子力発電所周辺の主要航路
</td>
<td>
・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	主排気筒 (m)
[redacted]	1,100
	250

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，
財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

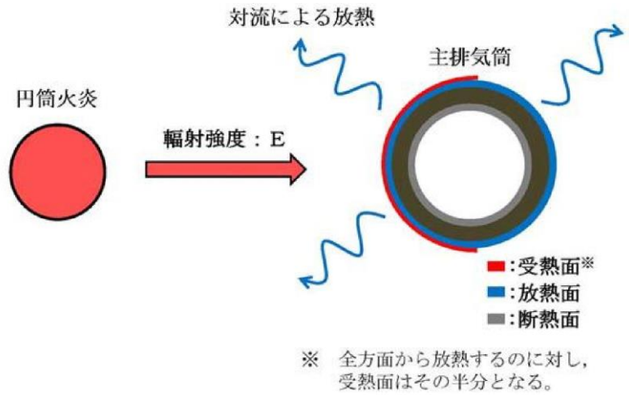
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が当該船舶との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。 主排気筒の評価概念図を第2.3-2図に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>



第 2.3-2 図　主排気筒の評価概念図

c．評価結果

主排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。なお，ＬＮＧ輸送船について積載量が 0m^{3}の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は 850m であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.3-3 表に示す。

第 2.3-3 表　主排気筒への船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	87	1,100
	29	250

2.4　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。）に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

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。）の流入空気温度について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

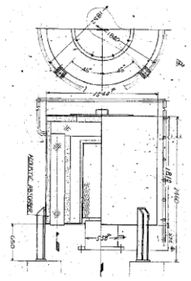
</td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の仕様を第 2.4-1 表に，外形図を第 2.4-1 図に示す。

第 2.4-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><td>名称</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）吸気口</td></tr>
<tr><td>種　類</td><td>円筒縦形</td></tr>
<tr><td>主要寸法</td><td>外径　　：1.54m
円筒高さ：2.46m</td></tr>
<tr><td>材　料</td><td>SS400</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>6</td></tr>
</table>



第 2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.4-2 表に示す。

第 2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）(m)</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>1,100</td></tr>
<tr><td>330</td></tr>
</table>

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，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。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　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。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

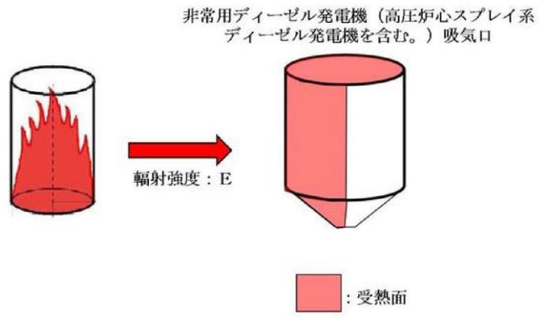
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	b．評価方法 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。 $T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$　（式1） Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(39℃)※1， Ｅ：輻射強度(W／m^2)， Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2) C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)※3， ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。 ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60 ※３　日本機械学会 伝熱工学資料 ※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m），
Ｒ：燃焼半径（m）

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける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。）吸気口の評価概念図を第 2.4-2 図に示す。



第 2.4-2 図　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。）吸気口の評価概念図

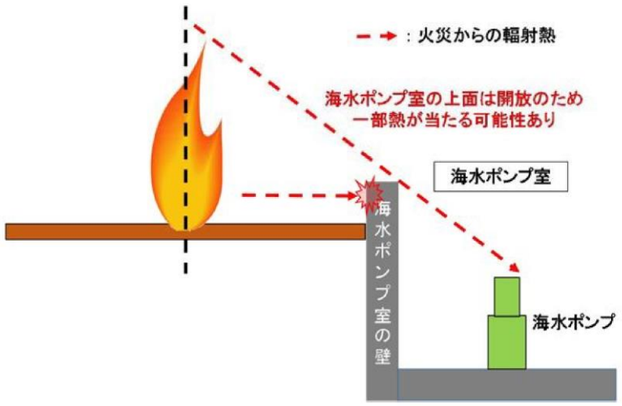
ｃ．評価結果

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。）に流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.4-3 表に示す。

第 2.4-3 表　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。）への船舶火災影響評価結果

<table>
<tr><th>想定火災源</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>153</td><td>1,100</td></tr>
<tr><td>50</td><td>330</td></tr>
</table>

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	2.5　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。）用海水ポンプに対する危険距離評価 （1）　評価対象範囲 残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.5-1 図に示す。 電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。  第 2.5-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係		・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 また，放水路ゲートについても設置していないため影響評価対象外。 なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
	(2)　評価対象施設の仕様 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。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.5-2 図，外形図を第 2.5-3 図に示す。仕様を第 2.5-1 表に示す。 第 2.5-2 図 海水ポンプの配置図 第 2.5-3 図 海水ポンプの外形図		

第 2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

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。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から各火災源までの離隔距離を第 2.5-2 表に示す。

第 2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室 (m)
[redacted]	940
	70

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.5-3 表に示す。

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 2.5-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※1　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※2　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギーの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.5-4 表に，評価概念図を第 2.5-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$$

Ｔ：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，
ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

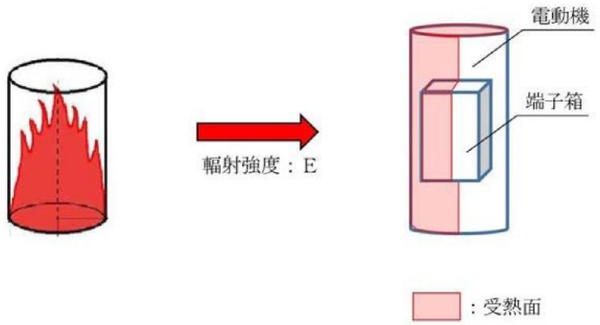
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔT_b＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 2.5-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	 第 2.5-4 図　評価概念図 式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ （式２） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式３） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。 ｃ．評価結果 輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2.5-5 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 2.5-5 表　船舶火災影響評価結果

<table>
<tr><th>想定火災源</th><th>想定火災源</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td>残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>142</td><td rowspan="2">940</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>111</td></tr>
<tr><td>残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>47</td><td rowspan="2">70</td></tr>
<tr><td>非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ</td><td>37</td></tr>
</table>

2.6　放水路ゲートに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

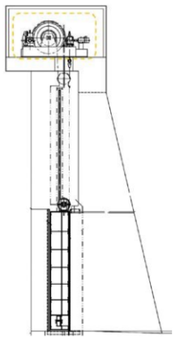
放水路ゲートについて，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 2.6-1 表に，外形図を第 2.6-1 図に示す。

第 2.6-1 表　評価対象施設の仕様

<table>
<tr><th>名称</th><th>放水路ゲート駆動装置</th></tr>
<tr><td>床面高さ</td><td>T.P.＋11.0m</td></tr>
<tr><td>外殻材料</td><td>炭素鋼</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>3</td></tr>
</table>



第 2.6-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.6-2 表に示す。

</td><td></td><td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
また，放水路ゲートについても設置していないため影響評価対象外。
なお，島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 2.6-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	放水路ゲート (m)
[redacted]	1,050
	220

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

（式 1）

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

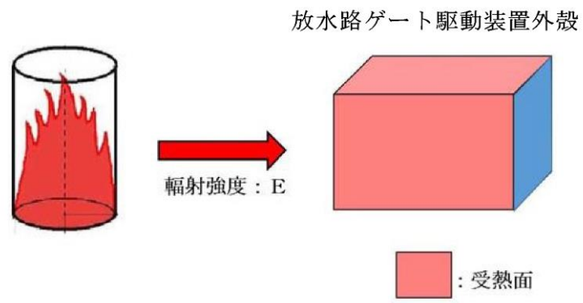
Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。 Ｅ＝Ｒｆ・Φ　（式 2） Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)， Φ：形態係数 （出典：評価ガイド） 式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。 $\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$　（式 3） ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$ Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離（m），Ｈ：炎の高さ（m）， Ｒ：燃焼半径（m） （出典：評価ガイド） 上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 2.6-2 図に示す。  第 2.6-2 図　放水路ゲートの評価概念図 ｃ．評価結果 放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.6-3 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>
3. 漂流船舶の爆発の想定
(1) 想定の条件
・漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く，柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定する。
・漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量 1021t）を想定する。
・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
・港湾内での高圧ガス漏えい，引火による漂流船舶の爆発を想定する。
・気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要
本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する漂流船舶のガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 3-1 表　　評価指標及びその内容
<table>
<tr><th>評価指標</th><th>内容</th></tr>
<tr><td>危険限界距離[m]</td><td>ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離</td></tr>
</table>

(3) 評価対象範囲
評価対象範囲は，発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお，以前は船舶にて構内の重油タンクへの重油の補給を行っていたが，現在は重油タンクの運用を廃止しており，発電所構内に入港する危険物輸送船舶は存在しないことから，発電所前面の海域で航行中の船舶が漂流し，港湾内に進入し，出火した場合を想定する。
</td>
<td>
第 2.6-3 表　放水路ゲートへの船舶火災影響評価結果
<table>
<tr><th>想定火災源</th><th>危険距離
(m)</th><th>離隔距離
(m)</th></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>87</td><td>1,050</td></tr>
<tr><td>29</td><td>220</td></tr>
</table>

3. 漂流船舶の爆発影響評価
(1) 評価対象船舶の抽出
発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（内航船含む）の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。
爆発地点は，火災発生と同じ場所を想定した。評価条件を第 3-1 表に，各対象との位置関係を第 3-1 図，第 3-2 図に示す。

第 3-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件
<table>
<tr><td></td><td rowspan="8"></td></tr>
<tr><td>貯蔵ガス</td></tr>
<tr><td>貯蔵量(m³)</td></tr>
<tr><td>貯蔵量(t)</td></tr>
<tr><td>密度(t／m³)</td></tr>
<tr><td>喫水(m)</td></tr>
<tr><td>貯蔵ガスＫ値※3</td></tr>
<tr><td>貯蔵設備Ｗ値※4</td></tr>
</table>
※1　伝熱工学資料第５版記載値
※2　ＪＩＳ K2240-2013 記載値
※3　評価ガイド 記載値
※4　貯蔵量は 1t 以上となるため，貯蔵量の平方根の数値
</td>
<td>
3. 漂流船舶の爆発想定
港湾内へ入港する最大規模の漂流船舶である重油運搬船については，重油が爆発する危険性はないことから，影響が無いことを確認している。
なお，爆発の危険性がある液化石油ガス輸送船舶が発電所に入港した実績が無いことを確認している。
</td>
<td>
・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉は，発電所港湾内に入港する最大規模の船舶である重油運搬船を想定しており，重油は爆発の危険性はないため，影響評価対象外
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3-2 表　　高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則第 5 条別表第二に掲げる数値 K＝888000（プロパンの最大値）
貯蔵設備又は処理設備の W 値	コンビナート等保安規則第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位:トン）の数値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあっては，貯蔵能力（単位:トン）の数値），圧縮ガスの貯蔵設備にあっては貯蔵能力（単位:立方メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量（単位:トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して得られた数値が一未満のものにあっては，当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位:トン）の数値 $W=1021^{1/2}=31.95$
離隔距離[m]	発電所港湾岸壁から発電用原子炉施設までの距離 約 273[m]

(5) W 値の算出

港湾内に入港し得る最大船舶の積載量を貯蔵能力とし，W 値を算出する。

積載量（貯蔵能力）＝1021[t]

W＝10211/2＝31.95

(6) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。

ここで算出した危険限界距離が漂流船舶と発電用原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \times W}$$

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m･kg$^{-1/3}$]，

K：石油類の定数，W：設備定数K＝888000，W＝31.95 として，

</td>
<td>

第 3-1 図　発電所とＬＮＧ，ＬＰＧ輸送船の位置関係

第 3-2 図　発電所と内航船の位置関係

(2)　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお，それぞれの輸送船について積載量が 0m^3 の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は，ＬＮＧ輸送船で 680m，ＬＰＧ輸送船で 560m となり危険距離以上となるため，積載量が少ない場合の爆発位置を想定しても危険限界距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 3-2 表に示す。

</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>
危険限界距離を求める。
X＝約 176[m]

(7) 爆発による影響評価結果
以上の結果から，漂流船舶において爆発が発生した場合を想定したとしても，離隔距離(約 273m)が危険限界距離(約 176m)以上であることから，発電用原子炉施設に影響をおよぼすことはない。

4. 漂流船舶の飛来物の影響評価
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）※に基づき，飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ，離隔距離が最大飛散距離以下であった。

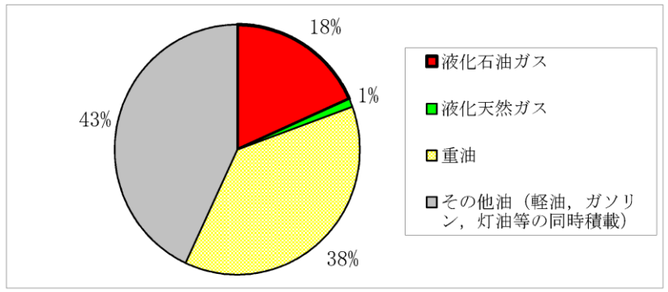
※：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するに当たって，災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法 を示した指針

第 4-1 表　　飛来物の評価条件
<table>
<tr><th colspan="2">評価条件</th></tr>
<tr><td>貯蔵ガス</td><td>液化石油ガス</td></tr>
<tr><td>貯蔵量</td><td>1021t</td></tr>
<tr><td>爆発形態</td><td>高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生</td></tr>
</table>
(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき，容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。
$L = 465M^{0.10}$
L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]
L＝465×(1,021,000)0.10＝1,855.04
となり，飛来物の最大飛散距離 L は約 1,855m となる。
</td>
<td>
$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$
X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

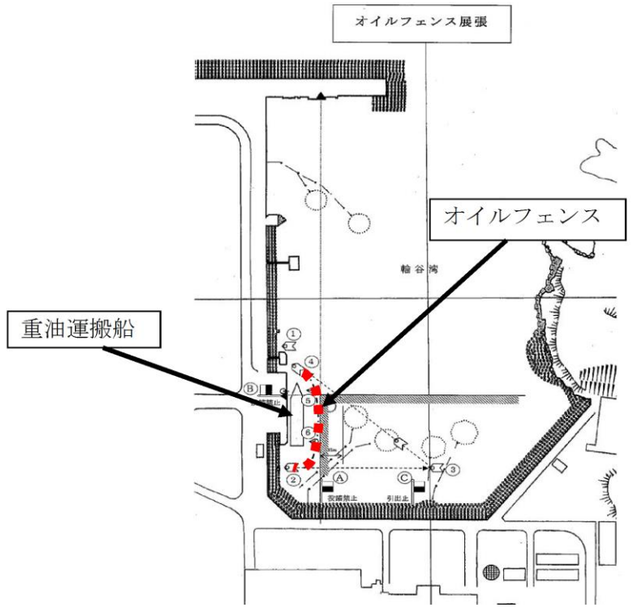
第 3-2 表　船舶の爆風圧影響評価結果
<table>
<tr><th>想定爆発源</th><th>ガス種類</th><th>容量
(t)</th><th>危険限界距離
(m)</th><th>離隔距離※
(m)</th></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3"></td><td>335</td><td rowspan="2">1,100 以上</td></tr>
<tr><td>340</td></tr>
<tr><td>165</td><td>390 以上</td></tr>
</table>
※　海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く，直接爆風圧の影響を受けることはないため，海水ポンプ室は評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室及び放水路ゲートを除いて最も近いタービン建屋までの距離とする。

4.　漂流船舶の爆発飛来物影響評価
発電所周辺を航行する船舶として，日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船があるが，これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には，荷役及び作業を中止した上で，緊急退避又は係留避泊する運用としており，実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いこと等から，想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
(2) 飛来物影響評価結果 飛来物による影響については，離隔距離（約 273m）が最大飛散距離(約 1,855m)以下であるが，発電所遠方で漂流した船舶が飛散距離である 1,855m 以内に流れ着いた後に爆発し，なおかつその飛来物が発電用原子炉施設に衝突する可能性は非常に低いことから，想定した漂流船舶の飛来物の柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。 また，柏崎刈羽原子力発電所付近には石油コンビナートが無く，発電所付近の航路を調査した結果，最も距離の近い航路でも 30km の離隔距離があることを確認した（第 4-1 図）。よって，漂流した船舶が発電所周辺まで流れてくる可能性は低く，それに加えて飛来物が発電用原子炉施設に衝突する可能性は非常に低い。 なお，(1)で用いた「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の計算式は，大規模な爆発を伴う LPG 容器の BLEVE 現象を取り扱うものであるが，発電所港湾内に入港する LPG 輸送船舶等の危険物輸送船舶はなく，発電所港湾内に入港する船舶火災に伴う著しい飛来物の発生は想定されない。 第 4-1 図　発電所周辺の主要航路			

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
別紙 5－1 漂流船舶の選定について 船舶には外航船（国外航路を航行する船舶）及び内航船（国内航路を航行する船 舶）がある。これらの船舶が漂流してきた場合を想定しても外航船の喫水（水面から船底の最深部までの垂直深さ）は 11m程度であり，発電所港湾内まで進入することができない。よって，発電所港湾内まで進入可能な内航船が，漂流し港湾内に進 入し火災・爆発した場合を想定する。 発電所港湾内に進入可能な内航船にも様々な種類の燃料を積載する船舶が存在するが，火災・爆発を想定することから液化ガス輸送船舶を対象とし，その中でも船舶数が多く 1)，発電所前面の海域に航路が存在する 2)液化石油ガス輸送船舶を対象とした。液化石油ガスは，家庭業務用，一般工業用，発電用等があるが，最も使用量の多い家庭業務用のプロパンガス 3,4,5)とした。発電所港湾内に進入可能な内航船の積載燃料別隻数割合を第 1 図に示す。 船舶の規模は，100t 以上の内航船をすべて収録した内航船舶明細書に記載の液化石油ガス船舶の中で，最大の容積のものとし，評価に使用する入力値を以下に示す。 容積 V：2010.28[m^3][6] 全長 L：67.77[m][6] 全幅 H：13[m][6] 密度 ρ：0.5076[t/m^3][7] 投影面積 S＝L×H：881[m^2] 積載量 M＝ρ×V：1021[t]  第 1 図 柏崎刈羽原子力発電所に進入可能な内航船の積載燃料別隻数割合			・設備の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，発電所近傍に液化石油ガスの輸送船舶が航行することはないため，発電所港湾内の運用状況を踏まえ，入港する最大規模の船舶である重油運搬船について影響評価を実施

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
1)平成 13 年度 危険物の海上輸送時の事故対応策の研究報告書（その１），H14.3, 社団法人日本海難防止協会 2)平成 23 年度　新潟港統計年報,H24.12,新潟県新潟地域振興局新潟港湾事務局 3)日本ＬＰガス協会統計資料 LP ガス需給の推移 4)液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則第十二条 5)経済産業省 LPガスの規格 http://www.lpgpro.go.jp/guest/learning/basic/01_03.html 6)内航船舶明細書の LPG 船舶の中で容積が最大の船舶の値 7)日本 LP ガス協会 物性一覧			

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
参考資料 5－1 漂流船舶（火災）の二次的影響について 発電所港湾内で漂流船舶が出火し重油が流出したとしても，港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており，深層取水していることから発電用原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。 また，柏崎刈羽原子力発電所から主要航路までの距離は約 30km である。過去に発生したタンカーからの大規模油流出事故より推定すると，24 時間程度※1 で油がサイトに到達する可能性があるが，海上保安庁より漂流船舶に関する連絡を受けた場合，オイルフェンスの設置に要する時間は 11 時間程度※2 であることから，油の到達時間内にオイルフェンスを設置することができる。 よって，港湾内への油の流入を妨げることが可能であると評価する。 ※1：平成 9 年 1 月 2 日，島根県隠岐島の北北東約 110km の海上において，ロシア国籍タンカー「ナホトカ号」の重油流出事故が発生。流出量としては当時過去 2 番目となる重油約 6240kl（推定）が流出。流出した重油は，2 日間で 60 数 km程度広がった。 ※2：作業員の参集に 3 時間程度，オイルフェンスは作業開始から 7～8 時間程度で設置が可能。設置手順としては，オイルフェンス等の資機材を保管エリアから港湾まで移動（その間に作業船が柏崎港より移動），オイルフェンスを接続後，作業船によりオイルフェンスを展張する。なお，オイルフェンスを設置するための資機材はコンテナに収納し，防火帯内側の資材倉庫エリアにて保管している。	5.　漂流船舶の二次的影響 発電所港湾内で漂流船舶が出火し油が流出したとしても，港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており，深層取水していることから発電用原子炉施設（海水ポンプ）への影響はない。 なお，発電所港湾外で船舶の油が流出した場合は，油の流出を確認し次第，速やかにオイルフェンスを設置し，発電用原子炉施設への影響がないよう対応する。	参考 5－1 オイルフェンスの設置について 重油運搬船の受け入れ時等に，輪谷湾（海上）に油が流出した場合には，公設消防に連絡するとともに，オイルフェンス設置による拡散防止等の油流出災害の拡大防止措置を講じている。 また，深層取水していることから発電用原子炉施設（海水ポンプ）への影響はない。 なお，重油運搬船の受け入れ時には，作業開始前にオイルフェンスを設置する運用を行っているため，重油流出時において緊急でオイルフェンスを設置する必要はない。  第 1 図　オイルフェンス設置範囲	

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
添付資料－6 敷地内における危険物タンクの火災について	添付資料-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	添付資料-6 敷地内における危険物タンクの火災について	

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
1. はじめに 本評価は，発電所敷地内の危険物タンクの火災に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	1. 目的 東海第二発電所敷地内の危険物貯蔵設備の火災・爆発が，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書Ｂ石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び，「附属書Ｃ「原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（ともに以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。	1. はじめに 本評価は，発電所敷地内の危険物タンクの火災に対してより一層の安全性向上の観点から，その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。	
2. 構内危険物タンクの火災影響評価 (1) 構内危険物タンクの火災の想定 ・構内危険物タンクは発電用原子炉施設周辺に設置されており，発電用原子炉施設までの距離が近く貯蔵量の多い各号炉の軽油タンクとする。なお，各号炉の軽油タンクは 2 基隣接して設置しているが，耐震 S クラス設備であり地震随伴事象としても 2 基同時火災の想定はしにくいこと，隣接軽油タンク火災時にもう一方の軽油タンクの温度は発火点まで上昇しないため 2 基同時出火することはないことから，発電用原子炉施設に近い軽油タンク 1 基の火災を想定する。 ・構内危険物タンクは危険物を満載した状態を想定する。 ・構内危険物タンクの損傷等による防油堤内での全面火災を想定する。 ・泡消火設備の消火機能には期待しない。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。 (2) 評価手法の概要 本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する構内危険物タンクの火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。		2. 構内危険物タンクの火災影響評価 (1) 構内危険物タンクの火災の想定 ・構内危険物タンクは発電用原子炉施設周辺に設置されており，発電用原子炉施設までの距離が近く貯蔵量の多いガスタービン発電機用軽油タンク及び貯蔵量の多い重油タンクとする。なお，隣接して設置している危険物タンクについては，同時に火災が発生することを想定する。 ・構内危険物タンクは危険物を満載した状態を想定する。 ・構内危険物タンクの損傷等による防油堤内での全面火災を想定する。 ・泡消火設備の消火機能には期待しない。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。 (2) 評価手法の概要 本評価は，島根原子力発電所に対する構内危険物タンクの火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。	・条件の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，隣接して設置している危険物タンクについては，同時に火災が発生することを想定

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-1 表　　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	危険物タンクから発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁，天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し，温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価ガイドに基づき，発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジン等の危険物タンク火災の影響評価を実施する。消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設（第 2-2(a)(b)(c)表）より，評価対象とする危険物タンク等を抽出する（第 2-1 図のフロー図）。発電所敷地内の発火源となる施設のうち，建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは外部への火災が発生する可能性が低いことから除外し，危険物を貯蔵し屋外に設置しているタンク等を想定発火源とする。発電所敷地内における危険物施設等の位置を第 2-2 図に示す。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

2.　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

2.1　評価対象の考え方

評価ガイドに基づき，発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の危険物貯蔵設備について，火災・爆発の影響評価を実施する。第 2.1-1 図のフローに基づき評価対象を抽出した。火災源の抽出結果を第 2.1-1 表に，爆発源の抽出結果を第 2.1-2 表に示す。

・屋内貯蔵所は評価対象外とした。

・地下タンク貯蔵所については，地表面で火災が発生する可能性は低いことから，評価対象外とした。

・常時「空」状態で運用する設備については，評価対象外とした。

・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。

・火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものについては，当該危険物貯蔵設備において火災・爆発が発生しても，その影響が及ばないため，評価対象外とした。

・発電所構外より入所してくるタンクローリについては，燃料

島根原子力発電所　２号炉

第2-1表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	危険物タンクから発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建物の外壁，天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では，火炎面積の半径が３m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

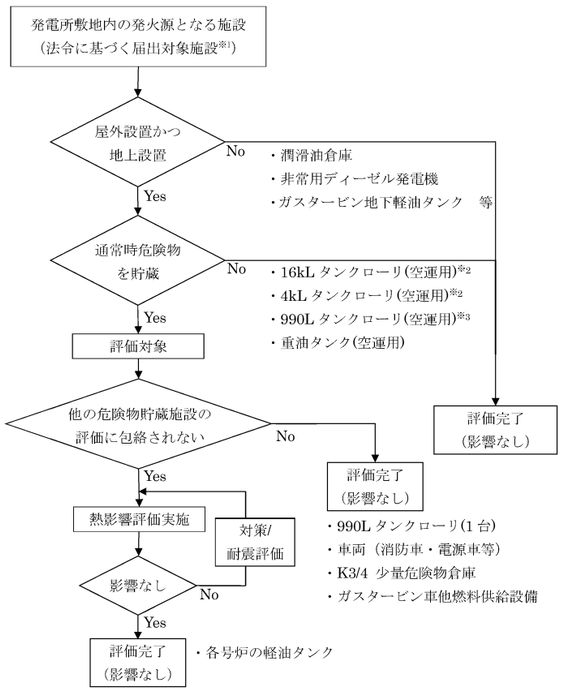
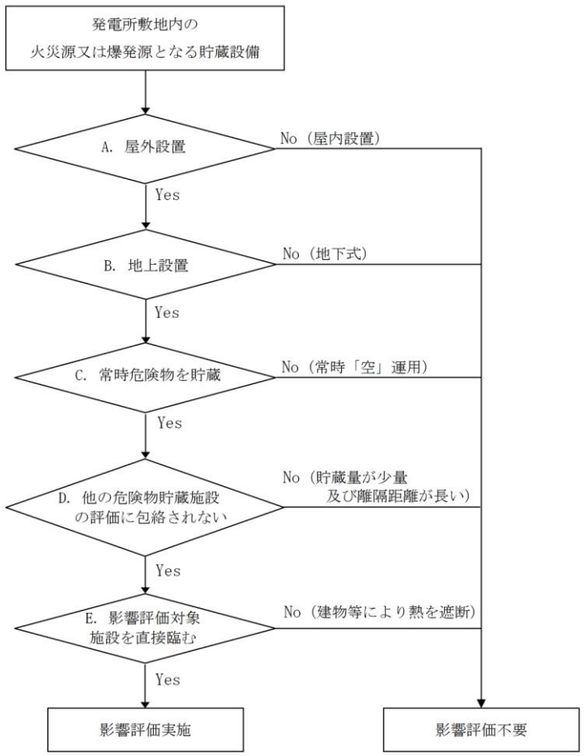
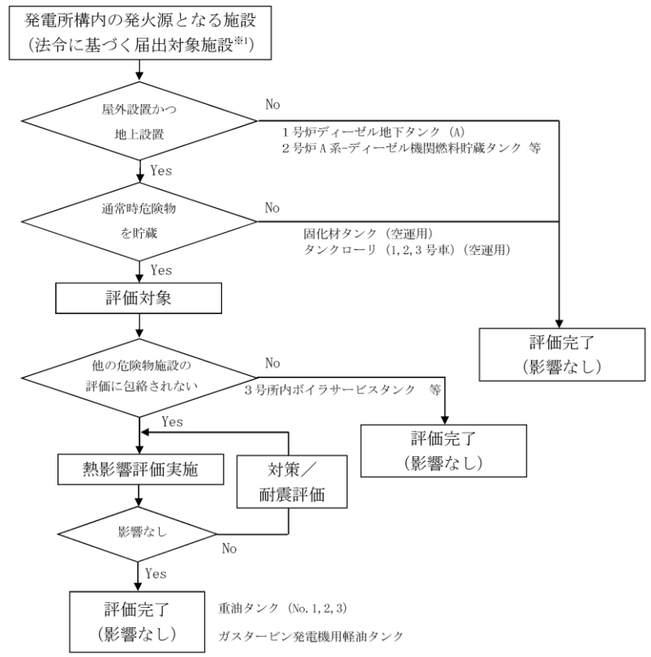
輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し，温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保するものとする。

(3)　評価対象範囲

評価ガイドに基づき，発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジン等の危険物タンク火災の影響評価を実施する。消防法又は松江市火災予防条例に基づく届出対象施設（第 2-2 表）より，評価対象とする危険物タンク等を抽出する（第 2-1 図のフロー図）。発電所敷地内の発火源となる施設のうち，建物内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは外部への火災が発生する可能性が低いことから除外し，危険物を貯蔵し屋外に設置しているタンク等を想定発火源とする。発電所敷地内における危険物施設等の位置を第 2-2 図に示す。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【抜粋】外部火災影響評価ガイド 4.1 考慮すべき発電所敷地外の火災 (2) 近隣の産業施設の火災・爆発 近隣の産業施設で発生した火災・爆発により，原子炉施設が，その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており，その二次的な影響も含めて，原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお，発電所敷地外の 10km 以内を発火点とし，森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。(ただし，発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については，(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。) 発電所構内には，危険物施設のほかにタンクローリ（990L×2 台，4kL×4 台，16kL×1 台）を配備している。990L タンクローリのうち 1 台には指定数量以下の軽油を貯蔵し，訓練後の電源車や消防車等への燃料補給に使用するが，それ以外のタンクローリは通常時「空」の状態で運用している。通常時「空」の状態であるタンクローリは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。同様に，発電所構内には重油タンクがあるが，現在は当該タンクの重油を抜き危険物貯蔵所として廃止届出をしており，重油タンク内の重油は「空」であることから，評価対象から除外する。 以上より，評価対象は，各号炉の軽油タンク，危険物を貯蔵する車両（タンク ローリ），指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（K3/4 少量危険物倉庫）及びガスタービン車他燃料供給設備（一般取扱所）となる。 ここで，指定数量以下の危険物を貯蔵する車両等（タンクローリ）は，貯蔵量が少なく周辺監視区域外に設置・保管されており，評価対象とした軽油タンク火災の評価に包絡され	補給時は監視人が立会を実施し，万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから，評価対象外とした。 敷地内の火災源及び爆発源となる設備及び評価対象施設の位置を第 2.1-2 図に示す。	【抜粋】外部火災影響評価ガイド ４．１　考慮すべき発電所敷地外の火災 （２）近隣の産業施設の火災・爆発 近隣の産業施設で発生した火災・爆発により，原子炉施設が，その影響を受けないような適切な防護措置が施されており，その二次的な影響も含めて，原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお，発電所敷地外の 10km 以内を発火点とし，森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は（１）の森林火災として評価する。(ただし，発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については，（３）の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。) 固化材タンクの火災による熱影響を考慮し，固化材を可燃性の「不飽和ポリエステル樹脂」から「セメント」に変更することから，２号炉運転中において使用する予定はなく，「空」の状態で運用するため，評価対象から除外する。 同様にタンクローリについても，通常時「空」の状態で運用しており，発火の可能性はないことから評価対象から除外する。 また，島根 3 号炉原子炉設置変更許可（平成 17 年 4 月 26 日付け 平成 15・12・18 原第 3 号）を踏まえて設置した「3 号炉非常用ディーゼル発電設備軽油タンク」については，平成 27 年 11 月 13 日付けで「危険物貯蔵所　廃止届出書」を所轄消防に提出し，危険物貯蔵所としての使用を廃止し，軽油を貯蔵しない運用としていることから評価対象から除外する。 以上より，評価対象は，ガスタービン発電機用軽油タンク，重油タンク，補助ボイラ等となる。 ここで，補助ボイラ等は，評価対象としたガスタービン発	・設備の相違 【柏崎 6/7】 評価対象物の抽出結果の相違

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
るため熱影響評価は実施しない。 同様に，指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（K3/4 少量危険物倉庫）は，評価対象とした軽油タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離れた位置に配置しており，貯蔵量が少ないため熱影響評価は実施しない。ガスタービン車他燃料供給設備（一般取扱所）は各号炉の軽油タンクより離れた位置に配置しており貯蔵量も少なく，軽油タンク火災評価に包絡されることから熱影響評価は実施しない。また，他号炉の軽油タンク（6 号炉評価時の 7 号炉軽油タンク）は，自号炉の軽油タンクより距離が離れており自号炉の軽油タンク火災評価に包絡されることから熱影響評価は実施しない。  ※1：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設となる危険物タンク等 ※2：危険物の規制に関する政令第 7 条第 1 項に基づく「危険物貯蔵所変更許可申請書」を柏崎市長に提出している。 ※3：柏崎市火災予防条例第 46 条第 1 項に基づく「少量危険物貯蔵届出書」に加え，タンクローリの運用方法を定めた文書を柏崎市消防長に提出している。 第 2-1 図　　敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー	 第 2.1-1 図　敷地内の火災及び爆発評価対象抽出フロー	電機用軽油タンク及び重油タンクと比べ貯蔵量が少なく，当該評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。  ※1：消防法又は松江市火災予防条例に基づく届出対象施設となる危険物タンク等 第 2-1 図　敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-2(a)表　　危険物製造所等許可施設一覧

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	詳細評価要否
1 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	344kL	○(※1)
1 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	344kL	○(※1)
1 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.5kL	×（屋内設置）
1 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.5kL	×（屋内設置）
1 号炉	非常用ディーゼル発電機（HPCS）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	14kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.5kL	×（屋内設置）
1 号炉	MG セット室	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	12kL	×（屋内設置）
1 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	106kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ	3kL	×（屋内設置）
1 号炉	油ドレン貯蔵タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	廃油	10.763kL	×（屋内設置）
共用	潤滑油倉庫	屋内貯蔵所	4	第 4 石油類	潤滑油	100kL	×（屋内設置）
共用	焼却炉建屋廃油タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	潤滑油	7.2kL	×（屋内設置）
2 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	106kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ	3.8kL	×（屋内設置）
2 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
2 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
2 号炉	MG セット室(A)(B)	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	12kL	×（屋内設置）
2 号炉	非常用ディーゼル発電機（HPCS）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	14kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
2 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	344kL	○(※1)
2 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	344kL	○(※1)
3 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
3 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
3 号炉	非常用ディーゼル発電機（HPCS）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	14kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 2.1-1 表　敷地内の火災源となる設備一覧

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m³）	詳細評価要否（○：対象、×：対象外）
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	絶縁油	18.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	×（屋内設置 → A）
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	×（地下式 → B）
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	×（地下式 → B）
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	×（屋内設置 → A）
			第四類	第三石油類	重油	1.90	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	第3リン酸ｴｽﾃﾙ油	7.93	×（屋内設置 → A）
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	×（屋内設置 → A）
溶融炉灯油タンク	**屋外タンク貯蔵所**	**屋外**	**第四類**	**第二石油類**	**灯油**	**10.00**	○
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	×（地下式 → B）
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.78	×（他評価に包絡 → D）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ラッカー等	0.10	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	軽油	4.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	×（屋内設置 → A）
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	×（屋内設置 → A）
緊急時対策室建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	5.76	×（屋内設置 → A）
緊急時対策室建屋地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	×（地下式 → B）
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	×（常時「空」→C）
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	×（他評価に包絡 → D）
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	×（他評価に包絡 → D）
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	×（地下式 → B）
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	×（他評価に包絡 → D）
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	×（屋内設置 → A）
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	×（屋内設置 → A）
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	×（常時「空」→C）
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	×（地下式 → B）
オイルサービスタンク	少量危険物未満	屋外	第四類	第三石油類	重油	0.39	×（他評価に包絡 → D）
変圧器用屋外消火ポンプ用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.70	×（他評価に包絡 → D）

網掛け箇所：評価対象となる設備

島根原子力発電所　２号炉

第 2-2 表　危険物製造所等許可施設一覧（１／５）

（2019年7月時点）

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	評価要否
1	ディーゼル地下タンク（A）	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	46kL	×地下
1	ディーゼル地下タンク（B）	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	46kL	×地下
1	ディーゼル発電機潤滑油サンプタンク（A，B）	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	2kL×2	×屋内
1	ディーゼル発電機燃料小出槽（A，B）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	490L×2	×屋内
1	再循環ポンプMGセット流体継手室（A，B）	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	10.92kL	×屋内
1	タービン主油タンク（A，B）油清浄機	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	55.7kL	×屋内
1	タービン油計量タンク						×※
2	No.2 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	重油	900kL	○
2	No.3 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	重油	900kL	○
2	A 系-ディーゼル機関燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	170kL	×地下
2	A2 系-ディーゼル機関燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	170kL	×地下
2	HPCS 系-ディーゼル機関燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	170kL	×地下
2	3 号所内ボイラサービスタンク	一般取扱所	4	第 3 石油類	重油	65kL	×※
2	3 号所内ボイラ						×※
2	4 号所内ボイラサービスタンク	一般取扱所	4	第 3 石油類	重油	46kL	×※
2	4 号所内ボイラ						×※
2	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類	タービン油	71kL	×屋内
2	原子炉再循環ポンプMG セット	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	15.6kL	×屋内

※：代表タンクの評価に包絡される。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-2(b)表　　危険物製造所等許可施設一覧

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	詳細評価要否
3 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	106kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	難燃性作動油	3.8kL	×（屋内設置）
3 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
3 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
4 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
4 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
4 号炉	非常用ディーゼル発電機（HPCS）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	14kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
4 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	106kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	難燃性作動油	4kL	×（屋内設置）
4 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
4 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
5 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	106kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ	3kL	×（屋内設置）
5 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
5 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	20kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	6.6kL	×（屋内設置）
5 号炉	MGセット室(A)	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	10.5kL	×（屋内設置）
5 号炉	MGセット室(B)	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	10.5kL	×（屋内設置）
5 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
5 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	344kL	○(※1)
5 号炉	非常用ディーゼル発電機（HPCS）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	14kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
6 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第４石油類	潤滑油	98kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	難燃性作動油	4kL	×（屋内設置）
6 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
6 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第４石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第 2-2 表　危険物製造所等許可施設一覧（２／５）

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	評価要否
2	A 系-非常用ディーゼル発電設備	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	16kL	×屋内
			4	第４石油類	潤滑油	7.65kL	×屋内
2	B 系-非常用ディーゼル発電設備	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	16kL	×屋内
			4	第４石油類	潤滑油	7.65kL	×屋内
2	HPCS 系非常用ディーゼル	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	9kL	×屋内
			4	第４石油類	潤滑油	7.56kL	×屋内
2	固化材タンク	一般取扱所	4	第２石油類	不飽和ポリエステル樹脂	21.6kL	×空運用
2	促進材タンク		4	第２石油類	ナフテン酸コバルト	87.1L	×屋内
2	開始材タンク		5	第二種自己反応性物質	ケトン系過酸化物	267.5kg	×屋内
2	２号―ガスタービン発電機 ２号ガスタービン発電機用サービスタンク	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	52.68kL	×※
3	No.1 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第３石油類	重油	900kL	○
3	補助ボイラ（サービスタンクを含む）	一般取扱所	4	第３石油類	重油	109kL	×※
3	第３危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第１石油類	潤滑油他	6.4kL	×屋内
			4	第２石油類		1.2kL	×屋内
			4	第３石油類		1.4kL	×屋内
			4	第４石油類		40kL	×屋内
3	A-ディーゼル発電機	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	34.3kL	×屋内
			4	第４石油類	潤滑油	7.1kL	×屋内

※：代表タンクの評価に包絡される。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-2(c)表　　危険物製造所等許可施設一覧

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	詳細評価要否
6 号炉	非常用ディーゼル発電機（C）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
6 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	565kL	○(※1)
6 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	565kL	○(※1)
7 号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	98kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	難燃性作動油	3.8kL	×（屋内設置）
7 号炉	非常用ディーゼル発電機（A）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
7 号炉	非常用ディーゼル発電機（B）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
7 号炉	非常用ディーゼル発電機（C）	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	18kL	×（屋内設置）
			4	第 4 石油類	潤滑油	3.9kL	×（屋内設置）
7 号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	565kL	○(※1)
7 号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	565kL	○(※1)
共用	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	107.8kl	×（地下式）
		一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	71.84kl	○(※2)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	144kL	×（地下式）
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	35.52kL	×(※2)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	18kL	×(※2)
共用	No.1 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	重油	3000kL	×（※3）
共用	No.2 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類	重油	320kL	×（※3）

※1：自号炉の軽油タンク火災による熱影響評価を実施する。
※2：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される。
※3：廃止届出済みであり，現在は重油を抜きタンク内に重油は存在しない。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

第 2-2 表　危険物製造所等許可施設一覧（３／５）

号炉	施設名	製造所の別	危険物 類	危険物 品名		数量	評価要否
3	B-ディーゼル発電機	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	34.3kL	×屋内
			4	第 4 石油類	潤滑油	7.1kL	×屋内
3	C-ディーゼル発電機	一般取扱所	4	第 2 石油類	軽油	34.3kL	×屋内
			4	第 4 石油類	潤滑油	7.1kL	×屋内
3	再循環ポンプ MG セット（A,B）	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	16kL	×屋内
3	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類	潤滑油	100kL	×屋内
共通	第 1 危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第一石油類	非水溶性液体	1,300L	×屋内
					水溶性液体	600L	×屋内
			4	アルコール類	アルコール類	600L	×屋内
			4	第 2 石油類	非水溶性液体	19,000L	×屋内
					水溶性液体	200L	×屋内
			4	第 3 石油類	非水溶性液体	3,000L	×屋内
					水溶性液体	400L	×屋内
			4	第 4 石油類	第 4 石油類	36,000L	×屋内
共通	第 2 危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第 1 石油類	非水溶性液体（洗浄液）	3,000L	×屋内
					水溶性液体（現像液）	800L	×屋内
			4	アルコール類	アルコール類	200L	×屋内
			4	第 2 石油類	非水溶性液体（洗い油）	1,000L	×屋内
					水溶性液体	200L	×屋内
			4	第 3 石油類	非水溶性液体（浸透液）	1,000L	×屋内
					水溶性液体	400L	×屋内
			4	第 4 石油類	第 4 石油類	24,000L	×屋内

※：代表タンクの評価に包絡される。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 2-2 表　危険物製造所等許可施設一覧（４／５）

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	評価要否
			類	品名			
共通	ガスタービン発電機用軽油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	560kL	○
共通	タンクローリ（1 号車）	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	灯油・軽油	3,000L	× 空運用
共通	タンクローリ（2 号車）	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	灯油・軽油	3,000L	× 空運用
共通	タンクローリ（3 号車）	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	灯油・軽油	3,000L	× 空運用
共通	免震重要棟ガスタービン発電装置　２基 燃料小出槽(490L)　２基	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	12,048L	× 屋内
共通	A-ガスタービン燃料地下タンク	地下タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	45,000L	× 地下
共通	B-ガスタービン燃料地下タンク	地下タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	45,000L	× 地下
共通	予備一ガスタービン発電機 予備一ガスタービン発電機用サービスタンク	一般取扱所	4	第２石油類	軽油	52.68kL	×※
2 (新設)	B1-ディーゼル燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	100kL	× 地下
2 (新設)	B2-ディーゼル燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	100kL	× 地下
2 (新設)	B3-ディーゼル燃料貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	100kL	× 地下
3 (廃止)	非常用ディーゼル発電設備軽油タンク（A）	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	560kL	× 廃止
3 (廃止)	非常用ディーゼル発電設備軽油タンク（B）	屋外タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	560kL	× 廃止

※：代表タンクの評価に包絡される。

第 2-2 表　危険物製造所等許可施設一覧（５／５）

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	評価要否
			類	品名			
共通	危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第１石油類	第１石油類	440L	× 屋内
			4	アルコール類	エチルアルコール	2L	× 屋内
			4	第２石油類	第２石油類	4,700L	× 屋内
			4	第３石油類	エンジンオイル	200L	× 屋内
			4	第４石油類	潤滑油	400L	× 屋内
共通	危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第１石油類	第１石油類	3,280L	× 屋内
			4	第２石油類	第２石油類	3,500L	× 屋内
共通	8m 盤一般停電用発電機	発変電設備	4	第２石油類	軽油	490L	×※
共通	44m 盤事務所 一般停電用発電機	発変電設備	4	第２石油類	軽油	490L	×※

※：代表タンクの評価に包絡される。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-3 表　　指定数量以下の危険物

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	990L	×(※1)
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	990L	×（常時空）
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	4kL	×（常時空）
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	4kL	×（常時空）
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	4kL	×（常時空）
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	4kL	×（常時空）
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第２石油類	軽油	16kL	×（常時空）
共用	K3/4 少量危険物倉庫	－	4	第１石油類	－	100L	×(※1)
			4	第２石油類	－	450L	×(※1)
			4	ｱﾙｺｰﾙ類	－	15L	×(※1)

※1：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される。

第 2-2 図　危険物タンク及び危険物保存庫の位置（発電所全体）

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 2.1-2 表　敷地内の爆発源となる設備一覧

設備名	内容物	本数(本)	1本当たり容量	総容量	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
H_2，CO_2ボンベ庫	水素	20	7 m^3	140 m^3	×（屋内配置→A）
水素貯槽	水素	—	—	6.7 m^3	○
予備ボンベ庫①	水素	40	7 m^3	280 m^3	×（屋内配置→A）
予備ボンベ庫②	水素	20	7 m^3	140 m^3	×（屋内配置→A）
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50 kg	200 kg	×（屋内配置→A）
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500 kg	2500 kg	×（屋内配置→A）
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	7 kg	21 kg	×（屋内配置→A）
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	7 kg	7 kg	×（屋内配置→A）
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	4	7 m^3	28 m^3	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50 kg	900 kg	×（屋内配置→A）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-2 図　火災源及び爆発源となる設備及び評価対象施設の位置

2.2　発電所敷地内危険物貯蔵設備の熱影響評価

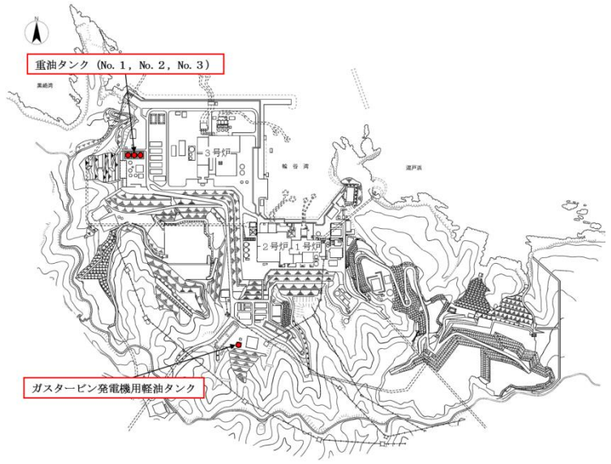
2.2.1　火災源となる設備の火災の想定

火災源となる設備の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

ａ．火災源となる設備は 2.1 で抽出した溶融炉灯油タンクとした。

島根原子力発電所　２号炉



第 2-2 図　危険物タンクの位置（発電所全体）

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>ｂ．火災源となる設備の燃料は満載した状態を想定した。
ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，ａ．で想定した火災源となる設備位置から評価対象施設までの直線距離とした。
ｄ．火災源となる設備の破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
ｅ．気象条件は無風状態とした。
ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とした。
(2)　評価対象施設
原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室（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），主排気筒を評価対象施設とし，直接臨まない使用済燃料乾式貯蔵建屋，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。）及び放水路ゲートは対象外とする。</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>(4) 必要データ
評価に必要なデータを以下に示す。</td>
<td>2.2.2　共通データの算出
各対象施設の外壁及び主排気筒に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。
(1)　火災源となる設備及び燃料に係るデータ
火災源となる設備及び燃料に係るデータを第 2.2.2-1 表に示す。

第 2.2.2-1 表　火災源となる設備及び燃料に係るデータ
<table><tr><th>想定火災源</th><th>燃料の種類</th><th>燃料量
V
(m^3)</th><th>輻射発散度
Ｒｆ
(kW／m^2)※1</th><th>質量低下速度
M
(kg／m^2／s)※2</th><th>燃料密度
ρ
(kg／m^3)※3</th><th>防油堤面積
S
(m^2)</th></tr><tr><td>溶融炉
灯油タンク</td><td>灯油</td><td>10</td><td>50</td><td>0.039</td><td>830</td><td>19.36</td></tr></table>※1　評価ガイド附録Ｂ 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値
※3　ＭＳＤＳ（製品安全データシート）記載値</td>
<td>(4)　必要データ
評価に必要なデータを以下に示す。</td>
<td></td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 2-4 表　　軽油タンク火災影響評価に必要なデータ

データ種類	内容
輻射発散度[W/m²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 42.0×10³[W/m²]（軽油）
防油堤面積[m²]	防油堤の面積 17×17＝289[m²]
離隔距離[m]	建屋に近い軽油タンク防油堤の中心から建屋までの距離 46[m] 隣接軽油タンクまでの距離 12[m] 燃料移送ポンプの防護板（断熱）に近い軽油タンク防油堤の中心から防護板（断熱）までの距離 11[m] 主排気筒に近い軽油タンク防油堤の中心から主排気筒までの距離 77[m]

(5) 燃焼半径の算出

防油堤には貯槽その他不燃障害物が存在し，火災面積はその面積分だけ小さくなるが，防油堤全面火災のような大規模な火災の場合は，多少の障害物も無視できる。したがって，本評価では，防油堤面積と等しい円筒火炎を生ずるものと想定し，次の式から燃焼半径 R[m]を算出する。

$R=(S/\pi)^{0.5}$

S：防油堤面積（火炎円筒の底面積）＝289［m²］

$R=(289/\pi)^{0.5}=9.59$［m］

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m²)

第 2.2.2-2 表　火災源の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m²)	燃焼半径 R (m)
溶融炉 灯油タンク	19.36	2.483

島根原子力発電所　２号炉

第 2-3 表　危険物タンク火災影響評価に必要なデータ

データ種類	内容
輻射発散度[W/m²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 （重油）23×10³[W/m²] （軽油）42×10³[W/m²]
防油堤面積[m²]	防油堤面積 （重油タンク）491.7m² （ガスタービン発電機用軽油タンク）302.7m²
離隔距離[m]	（重油タンク） 建物：568～606[m] 海水ポンプ:587～626[m] 排気筒：526～564[m] （ガスタービン発電機用軽油タンク） 建物：329[m] 海水ポンプ:472[m] 排気筒：434[m]

(5) 燃焼半径の算出

防油堤には貯槽その他の不燃障害物が存在し，火災面積はその面積分だけ小さくなるが，防油堤全面火災のような大規模な火災の場合は，多少の障害物も無視できる。したがって，本評価では，防油堤面積と等しい円筒火炎を生ずるものと想定し，次の式から燃焼半径 R[m]を算出する。

（重油タンク）

$R=(S/\pi)^{0.5}$

S:防油堤面積（円筒火炎の底面積）＝491.7[m²]

$R=(491.7/\pi)^{0.5}=12.51$[m]

（ガスタービン発電機用軽油タンク）

$R=(S/\pi)^{0.5}$

S:防油堤面積（円筒火炎の底面積）＝302.7[m²]

$R=(302.7/\pi)^{0.5}=9.82$[m]

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

φ：形態係数，L：離隔距離，H：火炎高さ，R：燃焼半径

第 2-5 表　　形態係数の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（断熱））	主排気筒
燃焼半径[m]	9.59			
離隔距離[m]	46	12	11	77
形態係数[-]	0.0727229	0.3863990	0.7760717	0.0295969

(7) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

E＝Rf×φ

E：輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

第 2-6 表　輻射強度の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（断熱））	主排気筒
輻射発散度[W/m²]	42.0×10^3			
形態係数[-]	0.0727229	0.3863990	0.7760717	0.0295969
輻射強度[W/m²]	3.05×10^3	16.2×10^3	32.5×10^3	1.2×10^3

東海第二発電所（2018.9.12 版）

島根原子力発電所　２号炉

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

φ：形態係数，L：離隔距離，H：火炎高さ，R:燃焼半径

第 2-4-1 表　重油タンク No.1,2,3 の形態係数算出結果

評価対象		建物	海水ポンプ	排気筒
燃焼半径[m]		12.51		
離隔距離[m]		568～606	587～626	526～564
形態係数[-]	No.1	9.40×10^{-4}	8.80×10^{-4}	1.10×10^{-3}
	No.2	8.77×10^{-4}	8.23×10^{-4}	1.02×10^{-3}
	No.3	8.25×10^{-4}	7.73×10^{-4}	9.54×10^{-4}

第 2-4-2 表　ガスタービン発電機用軽油タンクの形態係数算出結果

評価対象	建物	海水ポンプ	排気筒
燃焼半径[m]	9.82		
離隔距離[m]	329	472	434
形態係数[-]	1.73×10^{-3}	8.38×10^{-4}	9.92×10^{-4}

(7)　輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

E＝Rf×φ

E:輻射強度，Rf:輻射発散度，φ：形態係数

第2-5-1表　重油タンクNo.1,2,3の輻射強度算出結果

評価対象		建物	海水ポンプ	排気筒
輻射発散度[W/m²]		23×10^3		
形態係数[-]	No.1	9.40×10^{-4}	8.80×10^{-4}	1.10×10^{-3}
	No.2	8.77×10^{-4}	8.23×10^{-4}	1.02×10^{-3}
	No.3	8.25×10^{-4}	7.73×10^{-4}	9.54×10^{-4}
輻射強度[W/m²]	No.1	21.7	20.3	25.3
	No.2	20.2	19.0	23.5
	No.3	19.0	17.8	22.0

備考

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>(8) 燃焼継続時間の算出
燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。
$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$，$v=\frac{M}{\rho}$　より，$t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$
t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]，M：質量低下速度[kg/m²･s]，
ρ：密度[kg/m³]

ここで，V＝565[m³]，M＝0.044[kg/m²･s]，ρ＝918[kg/m³] として，燃焼継続時間を求めると，
v＝0.044／918＝4.793×10⁻⁵ [m/s]
t＝565／（289×4.793×10⁻⁵）＝40788[s]＝11.3[h]
（出典）質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 評価結果
a. 建屋外壁の温度評価
(a)許容限界値（許容限界温度）
本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200℃とする。</td>
<td>(3) 燃焼継続時間の算出
燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.2.2-3 表に示す。
$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$
t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m³)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m²／s)，ρ：燃料密度(kg／m³)

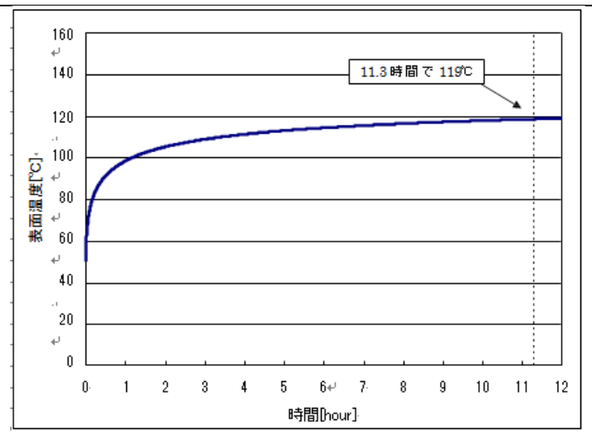
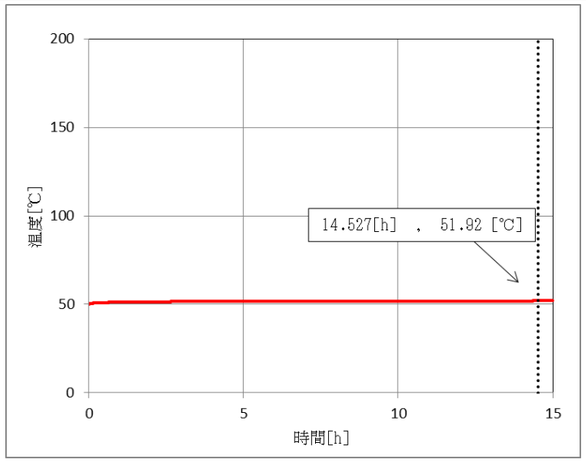
第 2.2.2-3 表　火災源となる設備の燃焼継続時間
<table><tr><th>想定火災源</th><th>燃料量
V
(m³)</th><th>燃焼半径
R
(m)</th><th>質量低下速度
M
(kg／m²／s)</th><th>燃料密度
ρ
(kg／m³)</th><th>燃焼継続時間
t
(s)</th></tr><tr><td>溶融炉
灯油タンク</td><td>10</td><td>2.483</td><td>0.039</td><td>830</td><td>11,008</td></tr></table></td>
<td>第2-5-2表　ガスタービン発電機用軽油タンクの輻射強度算出結果
<table><tr><th>評価対象</th><th>建物</th><th>海水ポンプ</th><th>排気筒</th></tr><tr><td>輻射発散度[W/m²]</td><td colspan="3">42×10³</td></tr><tr><td>形態係数[-]</td><td>1.73×10⁻³</td><td>8.38×10⁻⁴</td><td>9.92×10⁻⁴</td></tr><tr><td>輻射強度[W/m²]</td><td>72.8</td><td>35.2</td><td>41.7</td></tr></table>
(8) 燃焼継続時間の算出
燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。
$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$，$v=\frac{M}{\rho}$　より，$t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$
t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]，M：質量低下速度[kg/m²・s]，
ρ：密度[kg/m³]

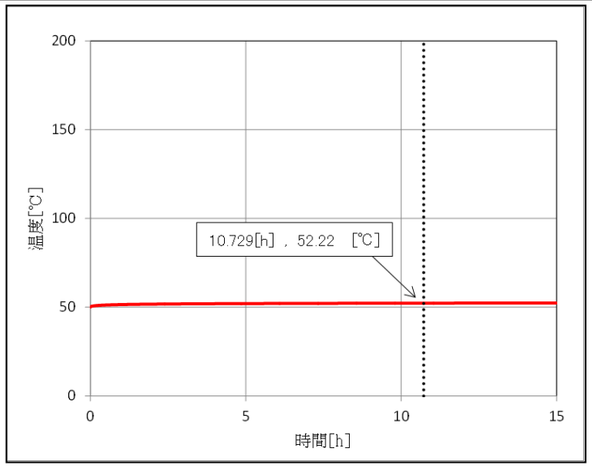
（重油タンクNo.1,2,3）
ここで，V＝900[m³]，ρ＝1000[kg/m³]，M＝0.035[kg/m²・s]として，燃焼継続時間を求めると，
v＝0.035／1000＝3.50×10⁻⁵[m/s]
t＝900／（491.7×3.50×10⁻⁵）＝14.53[h]

（ガスタービン発電機用軽油タンク）
ここで，V＝560[m³]，ρ＝918[kg/m³]，M＝0.044[kg/m²・s]として，燃焼継続時間を求めると，
v＝0.044／918＝4.79×10⁻⁵
t＝560／（302.7×4.79×10⁻⁵）＝10.73[h]
（出典）質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 評価結果
a．建物外壁の温度評価
(a) 許容限界値（許容限界温度）
本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200℃とする。</td>
<td></td>
</tr>
</table>

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
(b)耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇を求め，コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 119℃となり，許容温度を下回ることを確認した（第 2-3 図）。 $T_s = T_0 + \dfrac{1}{\left(\dfrac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\dfrac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリート表面の放射率（0.95）※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m^{2}K]※，k：コンクリ ート熱伝導率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m^3]※，c：コ ンクリート比熱[879J/kgK]※，t：燃焼継続時間[s] ※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書		(b)　耐火性能の評価結果 ア．重油タンク（No.1,2,3） 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇を求め，コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 52℃となり，許容温度を下回ることを確認した。（第 2-3 図） $T = T_0 + \dfrac{1}{\left(\dfrac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\dfrac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人　日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリートの表面の放射率[0.94]※1，h：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※2，t：燃焼継続時間[s] ※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書	

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
 第 2-3 図　外壁面の温度推移		 第2-3図　タービン建物外壁面の温度推移 イ．ガスタービン発電機用軽油タンクの評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇を求め，コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 53℃となり，許容温度を下回ることを確認した。（第 2-4 図） $T = T_0 + \dfrac{1}{\left(\dfrac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1\right)\dfrac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人　日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリートの表面の放射率[0.94]※1，h：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※2，t：燃焼継続時間[s] ※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書	



第2-4図　原子炉建物外壁面の温度推移

2.2.3　外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2)　火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離を第2.2.3-1 表に示す。

第 2.2.3-1 表　火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)		
	原子炉建屋	タービン建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋
溶融炉灯油タンク	45	77	－※

※　直接臨まないため評価対象外とした。

(3)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.3-2 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし

$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ， $n=\frac{L}{R}$ ， $A=(1+n)^2+m^2$ ， $B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

第 2.2.3-2 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	45 （原子炉建屋）	2.483	5.9639×10^{-3}
	77 （タービン建屋）	2.483	2.0248×10^{-3}

(4)　輻射強度の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.3-3 表に示す。

$E=Rf\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.3-3 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	離隔距離 L (m)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	45 （原子炉建屋）	50	5.9639×10^{-3}	298.20
		77 （タービン建屋）		2.0248×10^{-3}	101.24

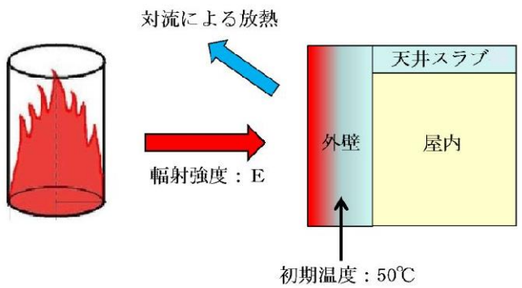
(5)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

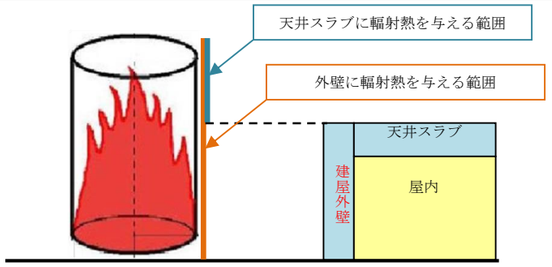
ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。
なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 2.2.3-1 図に示す。
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。
・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。
$$T=T_0+\frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$
T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※
κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)
C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)
t：燃焼継続時間(11,008s)，x：コンクリート壁表面深さ(0m)
※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
 

第 2.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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

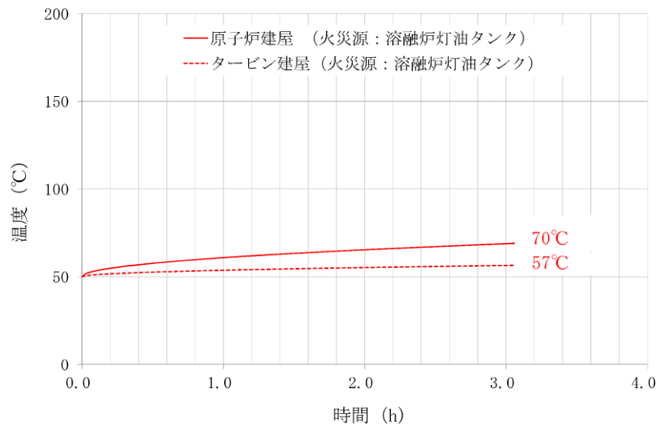


第 2.2.3-2 図　天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-4 表，第 2.2.3-4 図に示す。

第 2.2.3-4 表　外壁に対する熱影響評価結果

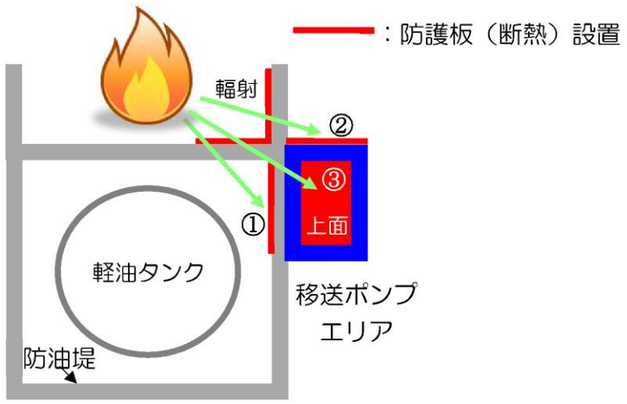
想定火災源	評価対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	70	＜200
	タービン建屋	57	

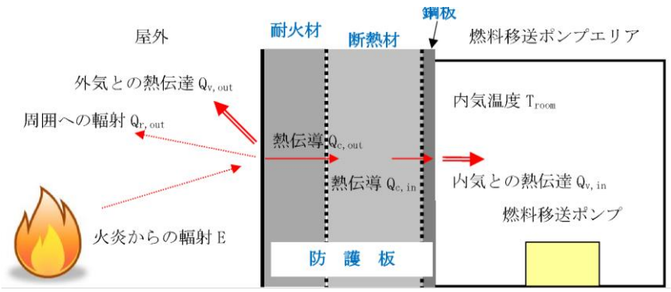


第 2.2.3-4 図　評価対象施設外壁表面の到達温度

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
b. 軽油タンクの温度評価 (a)許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，軽油の発火点225℃とする。 (b)耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より，軽油の温度上昇を求め，軽油の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，軽油の温度は約178℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T = \frac{\varepsilon ES_1 + hS_2T_{air}}{hS_2} - \left(\frac{\varepsilon ES_1 + hS_2T_{air}}{hS_2} - T_0\right)e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}$ T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク受熱・放熱面積[m^2]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t： 燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[℃] ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧			・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
c．燃料移送ポンプの温度評価 燃料移送ポンプは，軽油タンクの近傍に設置されており，当該タンクにて火災が発生した場合，その輻射による熱影響を受ける。このため，燃料移送ポンプを熱影響から防護するための防護板（断熱）をその周囲に設置する。第 2-4 図に防護板（断熱）設置範囲の例を示す。 以下，防護板（断熱）の設置を考慮した場合の熱影響評価を実施する。 (a) 許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，端子ボックスパッキンの耐熱温度 100℃とする。パッキンの耐熱温度は，JIS 規格に基づく耐熱性を決定するための試験温度であり，この温度以下であれば，発火することなく，パッキンとしての性能が維持できることから，燃料移送ポンプの機能に影響はない。 (b) 評価条件 (4) 必要データから(8) 燃焼継続時間に，以下の条件を加えて評価する。 ・第 2-4 図における①及び②の位置に設置する防護板（断熱）は，防油堤により全ての面に輻射は当たらないが，全面に輻射が当たる上面（③）の防護板（断熱）も含め，保守的に，火炎から最短距離にて算出した最も厳しい条件の輻射が①～③の全ての面に当たるものとする。なお，①～③の防護板（断熱）に対する熱影響が支配的であることから，これらについては評価上考慮するが，それ以外の面については，燃料移送ポンプエリアに接する面が小さく，コンクリート製の防油堤もあること から評価上考慮しない。 ・輻射が当たる面は，防護板（断熱）のみとして評価した防護板（断熱）と燃料移送ポンプ間に防油堤が設置されている箇所①については，防油堤による伝熱の低減は考慮しない。 ・輻射を受けない面は，保守的に断熱とする。		b．海水ポンプの温度評価 (a)　許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，海水ポンプ電動機の下部軸受の許容温度55℃とする。	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
 第 2-4 図　　防護板（断熱）の設置概要と設置範囲の例 (c) 耐火性能の評価 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプエリアに設置している防護板（断熱）が昇温されるものとして，下記により，燃料移送ポンプ周囲の最大温度（燃料移送ポンプの最大温度）を求め，許容限界温度以下であるか評価を実施する。 以下に概念図を示す。		(b) 耐火性能の評価結果 ア．重油タンク（No.1,2,3） 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，海水ポンプの冷却空気温度は約23℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$ T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m^2]，A_T：受熱面積[10.93m^2]，G：重量流量[1.96kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1:伝熱工学資料	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 評価対象物の抽出結果の相違



第 2-5 図　　伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを以下に示す。

第 2-7 表　　燃料移送ポンプエリア温度算出時の入力パラメータ

項目			パラメータ	備考
外気温度[℃]			55	日射の影響を考慮した相当外気温（切り上げ）
ポンプエリア初期温度[℃]			38	柏崎市の最高気温（37.6℃）を切り上げた温度（防護板（断熱）の裏面であり，日射の影響はない）
防護板	耐火材	厚さ[mm]	100	
		熱伝導率[W/mK]		メーカ仕様
		密度[kg/m³]		
		比熱[J/(kg･K)]		
		最高使用温度[℃]		
		材質		
	断熱材	厚さ[mm]	150	
		熱伝導率[W/mK]		メーカ仕様
		密度[kg/m³]		
		比熱[J/(kg･K)]		
		最高使用温度[℃]		
		材質		
	鋼板	厚さ[mm]	20	
		熱伝導率[W/mK]	51.6	軟鋼 300K の値※
		密度[kg/m³]	7860	軟鋼 300K の値※
		比熱[J/(kg･K)]	473	軟鋼 300K の値※

※：日本機械学会，“伝熱工学資料　改訂第５版，”　2009 年 5 月 20 日

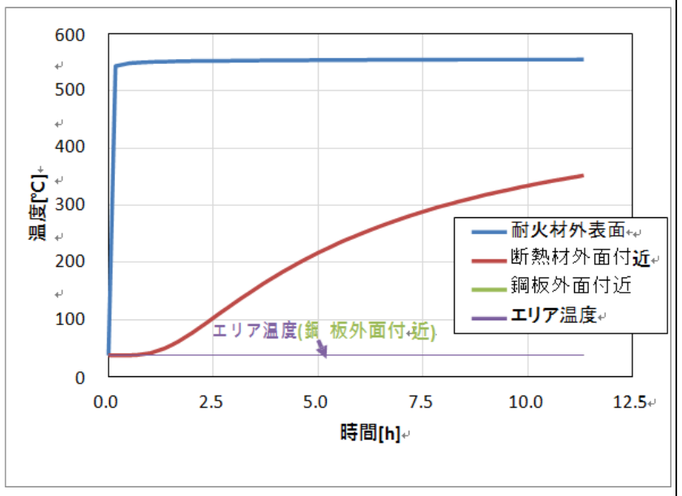
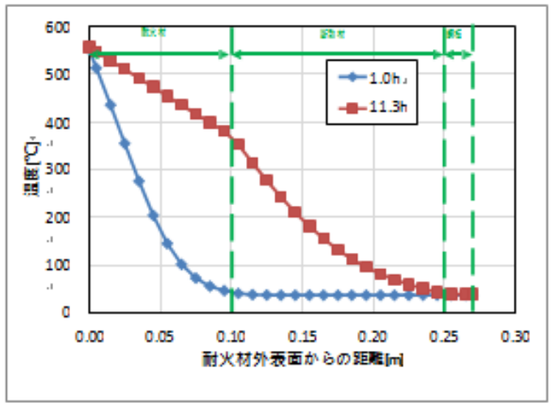
イ．ガスタービン発電機用軽油タンク

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，海水ポンプの冷却空気温度は約23℃となり，許容温度を下回ることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m²]，
A_T：受熱面積[10.93m²]，G：重量流量[1.96kg/s]，
C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1
※1:伝熱工学資料

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
以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，防護板(断熱)の内面並びに燃料移送ポンプエリア温度を求める。 $$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$ T：温度，t ：時刻，x ：防護板（断熱）からの距離，α：熱拡散率 防護板（断熱）及び防護板（断熱）内面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。 $$Q_{v,in}=h_{in}A(T_{in}-T_{room})$$ h_{in}：防護板（断熱）内面熱伝達率，A：防護板（断熱）内面の表面積， T_{in}： 防護板（断熱）内面温度，T_{room}：燃料移送ポンプエリア温度 燃料移送ポンプエリア温度は，軽油タンク火災による防護板（断熱）内面温度上昇に伴う熱負荷がエリア内に蓄熱されることを考慮し，次式で求める。 $$\Delta T_{room}=\frac{Q_{v,in}}{\rho C\mathrm{V}}$$ ρ ：空気密度，C:空気比熱，V：ポンプエリア体積 (d)耐火性能の評価結果 軽油タンク火災における燃料移送ポンプの評価結果を以下に示す。			

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第 2-6 図　防護板（断熱）各部温度並びに燃料移送ポンプエリア温度  第 2-7 図　防護板（断熱）内部の温度分布			

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

第 2-8 表　　燃料移送ポンプ影響評価結果

項目	軽油タンク火災
輻射強度[W/m²]	32.5×10³
燃焼継続時間[h]	11.3
防護板(断熱)外面温度[℃]	555
防護板(断熱)内面温度[℃]	41
ポンプエリア温度[℃]	41
許容温度[℃]	100※1

※1：燃料移送ポンプ端子ボックスパッキンの耐熱温度

評価の結果，ポンプエリア（燃料移送ポンプ）の温度は約41℃となり，許容温度を下回ることを確認した。

d. 主排気筒の温度評価

(a)許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，主排気筒鋼材の許容温度325℃とする。

(b)耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の最大温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，主排気筒の温度は約 83℃となり，許容温度を下回ることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$$

T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1，h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2

※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧

</td>
<td></td>
<td>

c．排気筒の温度評価

(a)　許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，排気筒鋼材の許容温度325℃とする。

(b)　耐火性能の評価結果

ア．重油タンク（No.1,2,3）

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の最大温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，排気筒の温度は約52℃となり，許容温度を下回ることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$$

T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2

※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧

イ．ガスタービン発電機用軽油タンク

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の最大温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，排気筒の温度は約52℃となり，許容温度を下回ることを確認した。

</td>
<td></td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>
e．タービン建屋非常用電気品室の温度評価
6 号及び 7 号炉の軽油タンクは山側にあり，タービン建屋は海側にあることから，直接輻射熱が届くことはない。5 号炉の軽油タンクは海側にあり輻射熱を受けることから熱影響評価を実施する（第 2-8 図）。5 号炉軽油タンク火災時の6号炉タービン建屋の熱影響評価を実施するにあたり使用するパラメータを以下に示す。また，(9)で熱影響評価を実施している 6 号炉軽油タンク火災時の6号炉原子炉建屋での熱影響評価に使用したパラメータを並べて示す。それぞれを比較すると，6 号炉軽油タンク火災の方が防油堤面積が大きく，離隔距離が短く，燃焼継続時間が長いことから，5 号炉軽油タンク火災時の 6 号炉タービン建屋熱影響評価は 6 号炉原子炉建屋での熱影響評価に包絡される。よって，5号炉軽油タンク火災時には，6 号炉タービン建屋への熱影響はない。なお，5 号炉軽油タンクから 7 号炉のタービン建屋までの距離は，6 号炉までの距離より離 れていることから同様に熱影響はない。

第 2-9 表　　各建屋に対する軽油タンク火災の影響
<table>
<tr><th></th><th>5 号炉軽油タンク火災
タービン建屋への影響</th><th>6 号炉軽油タンク火災
原子炉建屋への影響</th></tr>
<tr><td>防油堤面積[m²]</td><td>185</td><td>289</td></tr>
<tr><td>離隔距離[m]</td><td>91</td><td>46</td></tr>
<tr><td>燃料貯蔵量[kl]</td><td>344</td><td>565</td></tr>
<tr><td>質量低下速度[kg/m²・s]1)</td><td colspan="2">0.044</td></tr>
<tr><td>密度[kg/m³]1)</td><td colspan="2">918</td></tr>
<tr><td>燃焼速度[m/s]2)</td><td colspan="2">4.79×10^{-5}</td></tr>
<tr><td>燃焼継続時間[hour]</td><td>10.7</td><td>11.3</td></tr>
</table>
1)　NUREG-1805 より
2)　評価ガイドより，以下の式から算出
</td>
<td></td>
<td>
$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$$
T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※2
※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧
</td>
<td>
・設備の相違
【柏崎 6/7】
6 号及び 7 号炉によって評価対象が相違
</td>
</tr>
</table>

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
$t=\frac{V}{S\times v}$，　$v=\frac{M}{\rho}$ t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m^3]，S：防油堤面積[m^2]，v：燃焼速度[m/s] M：質量低下速度[$kg/m^2\cdot s$]，ρ：密度[kg/m^3] 第 2-8 図　　非常用電気品室と危険物タンクまでの距離 (10) 火災による熱影響の有無の評価 以上の結果から，軽油タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。		(10)　火災による熱影響の有無の評価 以上の結果から，重油タンク及びガスタービン発電機用軽油タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。	

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

2.2.4　主排気筒に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 2.2.4-1 表に，主排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

第 2.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400，STK400
個　数		1

第 2.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	21

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.4-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 2.2.4-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	21	2.483	2.6826×10^{-2}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.4-4 表に示す。

$E=Rf\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.4-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	2.6826×10^{-2}	1343.13

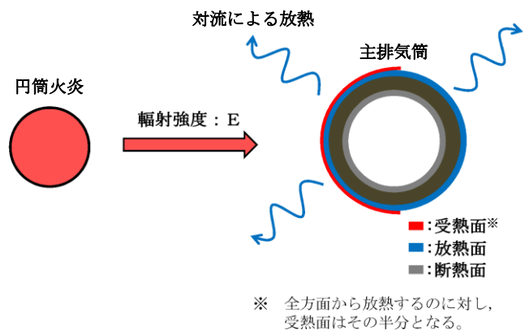
(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価結果

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により主排気筒鉄塔表面の温度上昇を求

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
	め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。 　なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 2.2.4-2 図に示す。 $T = T_0 + \frac{E}{2h}$ T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1 E：輻射強度(W／m²)，h：熱伝達率(17W／m²／K)※2 ※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※2　空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。）  第 2.2.4-2 図　主排気筒の評価概念図 　主排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.4-5 表に示す。		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

第 2.2.4-5 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度 （℃）	許容温度 （℃）
主排気筒	90	＜325

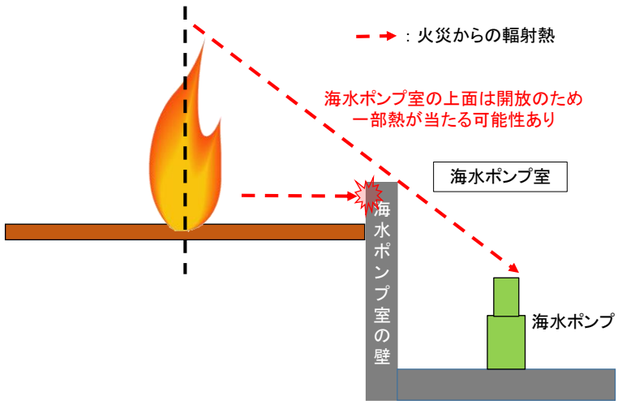
2.2.5　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.2.5-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

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
	 第 2.2.5-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係 (2)　評価対象施設の仕様 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。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.2.5-2 図，外形図を第 2.2.5-3 図に示す。仕様を第 2.2.5-1 表に示す。 第 2.2.5-2 図 海水ポンプの配置図		

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 2.2.5-3 図 海水ポンプの外形図

第 2.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

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。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 2.2.5-2 表に示す。

第 2.2.5-2 表　火災源となる設備から海水ポンプ室までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	185

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.5-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 2.2.5-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	185	2.483	3.473×10^{-4}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.5-4 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.5-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	3.473×10^{-4}	17.37

(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.2.5-5 表に示す。

</td><td></td><td></td></tr>
</table>

第 2.2.5-5 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	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。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機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。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 2.2.5-5 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.2.5-6 表に，評価概念図を第 2.2.5-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad （式１）$$

Ｔ：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

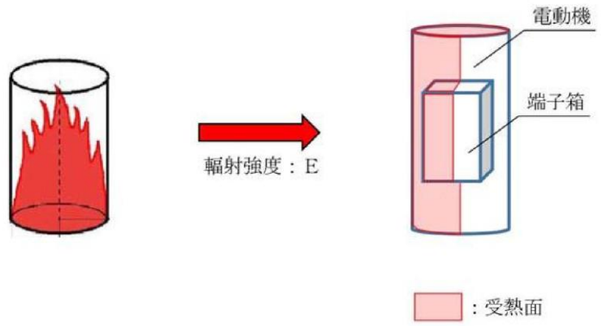
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔT_b＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 2.2.5-6 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第 2.2.5-4 図　評価概念図

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.5-7 表に示す。

第 2.2.5-7 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜70
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜60

2.3　爆風圧影響評価

2.3.1　想定事象

(1)　評価対象とする爆発源となる設備は 2．1 で抽出した，水素貯槽とした。

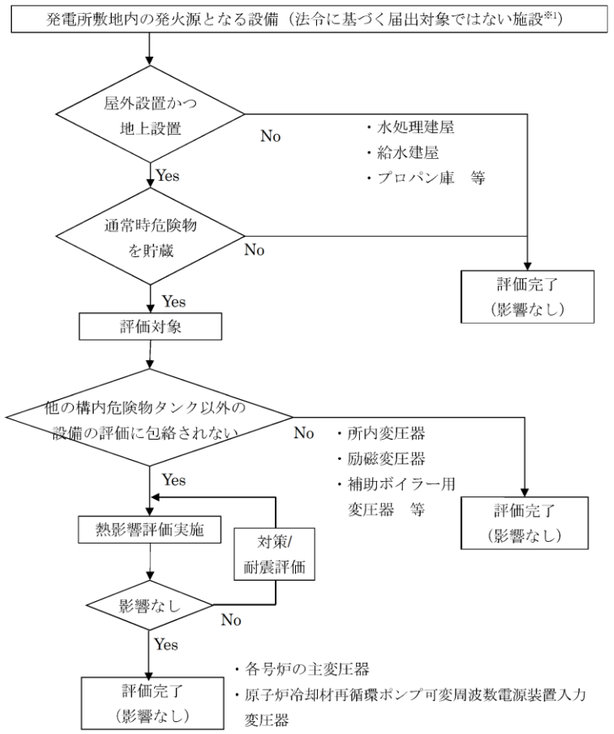
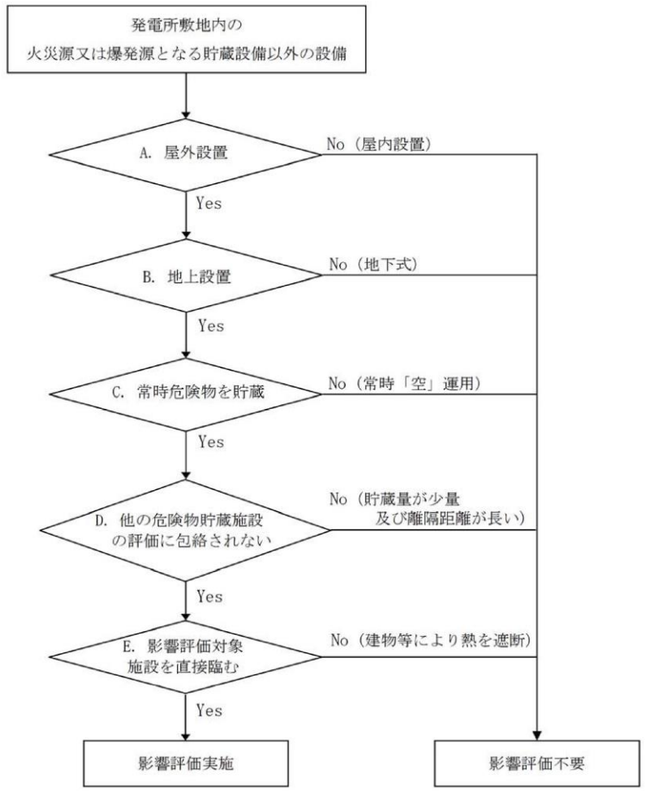
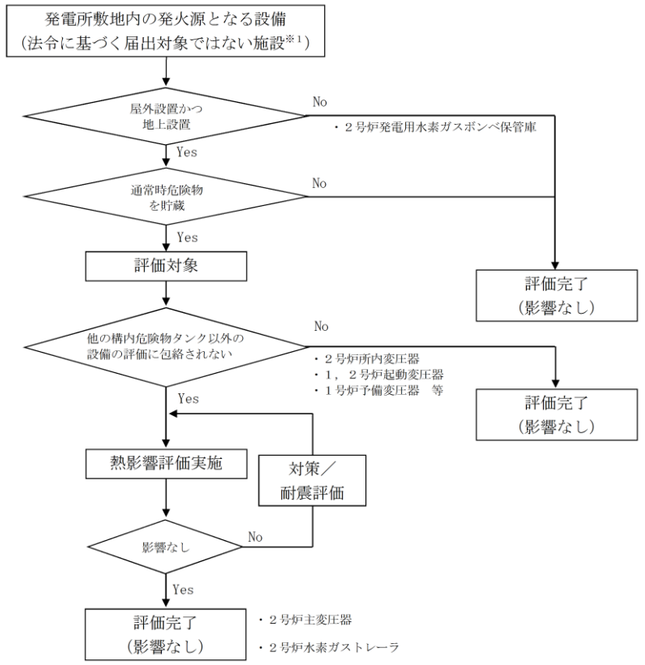
(2)　水素貯槽は，ガスを満載した状態を想定した。

2.3.2　爆発源となる設備及びガスに係るデータ

爆発源となる設備及びガスに係るデータを第 2.3.2-1 表に示す。

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 2.3.2-1 表　爆発源となる設備及びガスに係るデータ 水素貯槽 貯蔵ガス：水素 貯蔵量（m^3）：6.7 密度（kg/m^3）：0.08988※1 貯蔵ガスＫ値※2：2,860 貯蔵設備Ｗ値：0.0006 ※１　一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値 ※２　コンビナート等保安規定第５条別表第二記載値 2.3.3　危険限界距離の算出 評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.3-1 表に示す。 $X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$ X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-) 第 2.3.3-1 表　爆発源となる設備と評価対象施設までの離隔距離 評価対象施設：タービン建屋 危険限界距離（m）：7 離隔距離※（m）：35 ※　評価対象施設のなかで水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離		

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
3. 構内危険物タンク以外の設備の火災影響評価 評価対象範囲 消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない施設について，火災影響評価を実施する。評価対象とする設備を危険物タンクと同様に第 3-1 図のフローに基づき抽出する（第 3-1 表）。危険物を貯蔵し屋外に設置している設備を想定発火源（主変圧器，水素ガストレーラー）とする。 なお，薬品を取り扱う設備は輻射熱を受けない屋内設置であること，外部への火災が発生する可能性が低いことから，評価対象から除外する（第 3-2 表）。	3. 敷地内貯蔵設備以外の影響評価 3.1 評価対象範囲 敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備を，第 3.1-1 図のフローに基づき抽出した。抽出結果を第 3.1-1 表に示す。 ・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。可搬型重大事故等対処設備及び自主設備（第 3.1-2 表）についても，同じフローに基づき評価対象を抽出した。 敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。	3. 構内危険物タンク以外の設備の火災影響評価 (1) 評価対象範囲 消防法又は松江市火災予防条例に基づく届出対象設備ではない施設について，火災影響評価を実施する，評価対象とする設備を危険物タンクと同様に第3-1図のフローに基づき抽出する（第3-1表）。危険物を貯蔵し屋外に設置している設備を想定発火源（主変圧器，水素ガストレーラ）とする。 なお，薬品を取り扱う設備は輻射熱を受けない屋内設置であること，外部への火災が発生する可能性が低いことから，評価対象から除外する。	

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
 ※1：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない変圧器等 第 3-1 図　　構内危険物タンク以外の設備のうち評価対象抽出フロー	 第 3.1-1 図　敷地内貯蔵設備以外の設備の対象抽出フロー	 ※１：消防法又は松江市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない変圧器等 第3-1図　構内危険物タンク以外の設備のうち評価対象抽出フロー	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 3-1(a)表　　その他の危険物

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	193.00kL	○（※1）
2 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	198.00kL	○（※1）
3 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	193.00kL	○（※1）
4 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	190.00kL	○（※1）
5 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	190.00kL	○（※1）
6 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	200.00kL	○（※1）
7 号炉	主変圧器	1 種 2 号 鉱油	214.00kL	○（※1）
1 号炉	所内変圧器　1A，1B	1 種 2 号 鉱油	18.40kL	×（※2）
2 号炉	所内変圧器　2A，2B	1 種 2 号 鉱油	17.20kL	×（※2）
3 号炉	所内変圧器　3A	1 種 2 号 鉱油	17.20kL	×（※2）
3 号炉	所内変圧器　3B	1 種 2 号 鉱油	17.30kL	×（※2）
4 号炉	所内変圧器　4A，4B	1 種 2 号 鉱油	18.10kL	×（※2）
5 号炉	所内変圧器　5A，5B	1 種 2 号 鉱油	18.10kL	×（※2）
6 号炉	所内変圧器　6A	1 種 2 号 鉱油	20.50kL	×（※2）
6 号炉	所内変圧器　6B	1 種 2 号 鉱油	21.00kL	×（※2）
7 号炉	所内変圧器　7A，7B	1 種 2 号 鉱油	19.20kL	×（※2）
共用	ＮＯ．１　高起動変圧器	1 種 2 号 鉱油	78.30kL	×（※2）
共用	ＮＯ．２　高起動変圧器	1 種 2 号 鉱油	70.00kL	×（※2）
共用	ＮＯ．３　高起動変圧器	1 種 2 号 鉱油	70.00kL	×（※2）
1 号炉	低起動変圧器　1ＳＡ，1ＳＢ	1 種 2 号 鉱油	25.90kL	×（※2）
3 号炉	低起動変圧器　3ＳＡ，3ＳＢ	1 種 2 号 鉱油	25.20kL	×（※2）
5 号炉	低起動変圧器　5ＳＡ，5ＳＢ	1 種 2 号 鉱油	17.05kL	×（※2）
6 号炉	低起動変圧器　6ＳＡ，6ＳＢ	1 種 2 号 鉱油	24.60kL	×（※2）
1 号炉	励磁変圧器	1 種 2 号 鉱油	13.20kL	×（※2）
2 号炉	励磁変圧器	1 種 2 号 鉱油	13.50kL	×（※2）
3 号炉	励磁変圧器	1 種 2 号 鉱油	13.50kL	×（※2）
4 号炉	励磁変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.50kL	×（※2）
5 号炉	励磁変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.50kL	×（※2）
共用	ＮＯ．１　工事用変圧器	1 種 2 号 鉱油	8.585kL	×（※2）
共用	ＮＯ．２　工事用変圧器	1 種 2 号 鉱油	11.50kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　3A	1 種 2 号 鉱油	31.80kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　4A	1 種 2 号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　4B	1 種 2 号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　4C	1 種 2 号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	高圧ボンベ倉庫 （ＮＯ．1～3）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.9%	2,520m³	×（屋内設置）
1 号炉	屋外ボンベ室（K1）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m³	×（屋内設置）
1 号炉	屋外（K1） （水素ガストレーラー）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	13,987m³	○

東海第二発電所（2018.9.12 版）

第 3.1-1 表　敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備一覧

設備名	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m³）	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
主要変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136	○
所内変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	○
所内変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	× （他評価に包絡 → Ｄ）
起動変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	× （他評価に包絡 → Ｄ）
起動変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	46.75	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	× （他評価に包絡 → Ｄ）
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× （他評価に包絡 → Ｄ）
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× （他評価に包絡 → Ｄ）
６６ｋＶ非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	× （他評価に包絡 → Ｄ）
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.026	× （常時「空」 → Ｃ）

第 3.1-2 図　火災源となる変圧器及び評価対象施設の設置位置

島根原子力発電所　２号炉

第 3-1 表　その他の危険物

（2019年7月時点）

号炉	設備名	危険物の種類	数量	評価要否
1	起動変圧器	絶縁油	46kL	×（※１）
1	予備変圧器	絶縁油	10kL	×（※１）
1	44m 盤高圧ガス貯蔵所	水素	1155m³	×（屋内）
2	主変圧器	絶縁油	77kL	○
2	所内変圧器（A,B）	絶縁油	20kL	×（※１）
2	起動変圧器	絶縁油	24kL	×（※１）
2	水素ガストレーラ	水素	12086m³	○
2	発電用水素ガスボンベ保管庫	水素	140m³	×（屋内）
3	主変圧器	絶縁油	141kL	×（※１）
3	所内変圧器	絶縁油	21kL	×（※１）
3	補助変圧器	絶縁油	37kL	×（※１）
3	発電機用水素ガスボンベ保管庫	水素	1477.5m³	×（屋内）

※１：２号の主変圧器火災による熱影響評価に包含される。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3-1(b)表　　その他の危険物

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
2 号炉	屋外ボンベ室（K2）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m^3	×（屋内設置）
3 号炉	屋外ボンベ室（K3）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m^3	×（屋内設置）
4 号炉	屋外ボンベ室（K4）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m^3	×（屋内設置）
5 号炉	屋外ボンベ室（K5）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m^3	×（屋内設置）
6 号炉	屋外ボンベ室（K6）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	210m^3	×（屋内設置）
7 号炉	屋外ボンベ室（K7）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	210m^3	×（屋内設置）
共用	予備変圧器	1 種 2 号 鉱油	33.50kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　５Ａ	1 種 2 号 鉱油	30.80kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器　５Ｂ	1 種 2 号 鉱油	30.80kL	×（※2）
3 号炉	PLR-INV(A)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	8.20kL	○（※1）
3 号炉	PLR-INV(B)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	8.20kL	○（※1）
4 号炉	PLR-INV(A)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.70kL	○（※1）
4 号炉	PLR-INV(B)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.70kL	○（※1）
6 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	3.61kL	○（※1）
6 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	13.70kL	○（※1）
6 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-1)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	3.61kL	○（※1）
6 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	13.70kL	○（※1）
7 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	3.70kL	○（※1）
7 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.50kL	○（※1）
7 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-1)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	3.70kL	○（※1）
7 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器	1 種 2 号 鉱油	9.50kL	○（※1）
共用	水処理建屋	第 2 石油類 軽油	330L	×（屋内設置）
共用	給水建屋	第 2 石油類 軽油	400L	×（屋内設置）
1 号炉	荒浜側焼却建屋プロパン庫	ＬＰガス	4000kg	×（屋内設置）
5 号炉	大湊側焼却建屋プロパン庫	ＬＰガス	4000kg	×（屋内設置）

※1：自号炉の変圧器火災による熱影響評価を実施する。
※2：自号炉の主変圧器火災による熱影響評価に包絡される。
※3：燃料タンクは「空」であることから，評価対象から除外する。

第 3.1-2 表　可搬型重大事故等対処設備及び自主設備一覧

設備名	数量	危険物の類		品名	燃料量[L] （1 数量あたり）	配備位置	詳細評価要否 （○：対象，×：対象外）
可搬型代替注水大型ポンプ※1※3	7台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 900（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替低圧電源車※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
タンクローリ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	100（車 両） 4,000（タンク）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
ホイールローダ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	177	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
窒素供給装置※1※3	4台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 380（装置）	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
窒素供給装置用電源車※1※3	2台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
油圧ショベル※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	65	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
ブルドーザ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	470	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
ホース展張車※2	10台	第四類	第二石油類	軽油	130	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型ケーブル運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	100	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型整流器運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
放水砲／泡消火薬剤運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
汚濁防止膜運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
小型船舶運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替注水中型ポンプ※1※2※3	6台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 125（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
ホース展張車（消火用）※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
水槽付消防ポンプ自動車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 100（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	西側保管場所 監視所付近	× （他評価に包絡 →D）
化学消防自動車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 100（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 監視所付近	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機運搬用トレーラー※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	390	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機交換用クレーン※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	500（車両） 300（ｸﾚｰﾝ）	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型高圧窒素供給装置（小型）※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 350（装置）	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
放射能観測車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）

※1　可搬型重大事故等対処設備
※2　自主設備
※3　予備

第 3.1-3 図　可搬型重大事故等対処設備及び自主設備保管場所の設置位置

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>

第 3-2 表　薬品類

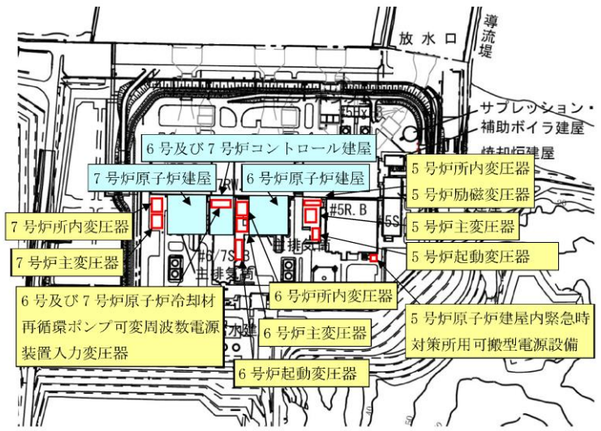
号炉	設備名	薬品の種類	数量	備考
1 号炉	ＣＷＰ建屋（K1）	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	×（屋内設置）
2 号炉	ＣＷＰ建屋（K2）	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	×（屋内設置）
共用	大湊側　補助ボイラー	希硫酸 濃度：35%	250L	×（屋内設置）
共用	大湊側　補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：60%	20L	×（屋内設置）
共用	大湊側　補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：1%	700L	×（屋内設置）
共用	水処理建屋	塩酸 濃度：35%	5.9m^3	×（屋内設置）
共用	水処理建屋	苛性ソーダ 濃度：25%	5m^3	×（屋内設置）
共用	水処理建屋	重亜硫酸ソーダ 濃度：35%	240L	×（屋内設置）

3.1　変圧器の火災影響評価について

発電所敷地内の変圧器の火災に対して，より一層の安全性向上の観点から，その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価 するものである。

3.1.1　評価対象変圧器

評価対象は，5～7 号炉周辺の屋外（建屋屋上を含む）に設置してある変圧器を対象とする。各変圧器の設置場所を第 3.1.1-1 図，保有油量を第 3.1.1-1 表に示す。



第 3.1.1-1 図　変圧器の位置

</td>
<td></td>
<td>

3.1　変圧器の火災影響評価について

発電所敷地内の変圧器の火災に対して，より一層の安全性向上の観点から，その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

3.1.1　評価対象変圧器

評価対象は，２号炉周辺の屋外に設置してある変圧器を対象とする。各変圧器の設置場所を第 3.1.1-1 図，保有油量を第 3.1.1-1 表に示す。

第 3.1.1-1 図　変圧器の位置

</td>
<td>

・条件の相違

【柏崎 6/7】

島根 2 号炉は，建物屋上に変圧器等の評価対象を設置していない

</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 3.1.1-1 表　変圧器保有油量

設備名	品名	保有油量
5 号炉主変圧器	1 種 2 号鉱油	190.00kL
6 号炉主変圧器	1 種 2 号鉱油	200.00kL
7 号炉主変圧器	1 種 2 号鉱油	214.00kL
低起動変圧器　5SA，5SB	1 種 2 号鉱油	17.05kL
低起動変圧器　6SA，6SB	1 種 2 号鉱油	24.60kL
所内変圧器　5A，5B	1 種 2 号鉱油	18.10kL
所内変圧器　6A	1 種 2 号鉱油	20.50kL
所内変圧器　6B	1 種 2 号鉱油	21.00kL
所内変圧器　7A，7B	1 種 2 号鉱油	19.20kL
5 号炉励磁変圧器	1 種 2 号鉱油	9.50kL
6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1),(B-1)入力変圧器	1 種 2 号鉱油	3.61kL
6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2),(B-2)入力変圧器	1 種 2 号鉱油	13.70kL
7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1),(B-1)入力変圧器	1 種 2 号鉱油	3.70kL
7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2),(B-2)入力変圧器	1 種 2 号鉱油	9.50kL

3.1.2　発電用原子炉施設（外壁面）及び屋外施設の影響評価

(1) 変圧器の火災の想定

・発電用原子炉施設周辺に設置されており，発電用原子炉施設までの距離が近く，内包している絶縁油の多い主変圧器を対象とする。なお，主変圧器の周辺に所内変圧器等も設置しているが，防火壁を設置していることから，隣接変圧器への延焼は考慮しない。

・変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定する。

・変圧器防災設備（防火水幕装置）の消火機能等には期待しない。

・気象条件は無風状態とする。

・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

東海第二発電所（2018.9.12 版）

3.2　熱影響評価

3.2.1　変圧器火災の想定

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

a．評価対象とする火災源は 3.1 で抽出した主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂとした。なお，隣接する変圧器間には耐火壁があるため，隣接変圧器への延焼は考慮しない。

b．変圧器の防火設備の消火機能等※には期待しない。

c．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a．で想定した変圧器設置位置から評価対象施設までの直線距離とした。

d．変圧器の破損等による変圧器の全面火災を想定した。

e．気象条件は無風状態とした。

f．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

※　変圧器の防火対策として，水噴霧の自動消火設備を設置していることに加え，耐震性向上対策を行っている。（別紙 6.4）

島根原子力発電所　２号炉

第 3.1.1-1 表　変圧器保有油量

設備名	品名	保有油量
２号炉主変圧器	絶縁油	77kL
２号炉所内変圧器（A,B）	絶縁油	20kL
２号炉起動変圧器	絶縁油	24kL

3.1.2　発電用原子炉施設（外壁面）及び屋外施設の影響評価

(1)　変圧器の火災の想定

・発電用原子炉施設周辺に設置されており，発電用原子炉施設までの距離が近く，内包している絶縁油の多い主変圧器を対象とする。なお，主変圧器の周辺に所内変圧器等も設置しているが，防火壁を設置していることから，隣接変圧器への延焼は考慮しない。

・変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定する。

・変圧器消火設備の消火機能等には期待しない。

・気象条件は無風状態とする。

・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の３倍とする。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(2) 評価手法の概要

本評価は，柏崎刈羽原子力発電所に対する変圧器の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 3.1.2-1 表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]※	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[－]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	変圧器規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	変圧器から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[－]	建屋の外壁，軽油タンク，主排気筒が想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

※：油の液面火災では，火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

(3) 評価対象範囲

5～7 号炉周辺の屋外には，主変圧器，所内変圧器，起動変圧器，励磁変圧器が存在するが，貯蔵量の多い主変圧器を評価対象とする。

」

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(2)　輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2.2　共通データの算出

各対象施設の外壁に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　変圧器及び燃料に係るデータ

変圧器及び燃料に係るデータを第 3.2.2-1 表に示す。

第 3.2.2-1 表　火災源の輻射強度

想定火災源	油の種類	油量 V (m³)	輻射発散度 Rf (kW／m²)※1	質量低下速度 M (kg／m²／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m³)※2
主要変圧器	絶縁油	136.00	23	0.035	900
所内変圧器２Ａ		21.00			
起動変圧器２Ｂ		46.75			

※1　絶縁油は重油と同じ第３石油類であるため，重油の評価ガイド附録Ｂ記載値を採用
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値

島根原子力発電所　２号炉

(2)　評価手法の概要

本評価は，島根原子力発電所に対する変圧器の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第3.1.2-1表　評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m²]※	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	変圧器規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	変圧器から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建物の外壁，海水ポンプ，排気筒が想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は，受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

※：油の液面火災では，火炎面積の半径が３ｍ を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが，本評価では保守的な判断を行うために，火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

(3)　評価対象範囲

２号炉周辺の屋外には，主変圧器，所内変圧器，起動変圧器が存在するが，貯蔵量の多い主変圧器を評価対象とする。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3.1.2-2 表　変圧器火災影響評価に必要なデータ

データ種類	内容
輻射発散度[W/m²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 23.0×10³[W/m²]（重油）※1
主変圧器の投影面積[m²]※2	6 号炉：14.5×10.3（150[m²]） 7 号炉：14.6×10.6（155[m²]）
離隔距離[m]※3	建屋に近い主変圧器の中心から建屋までの距離 13[m]※4 軽油タンクに近い主変圧器の中心から軽油タンクまでの距離　67[m]※5 燃料移送ポンプに近い主変圧器の中心から燃料移送ポンプ（防護板（鋼板）までの距離　62[m]※5 主排気筒に近い主変圧器の中心から主排気筒までの距離　23[m]※5

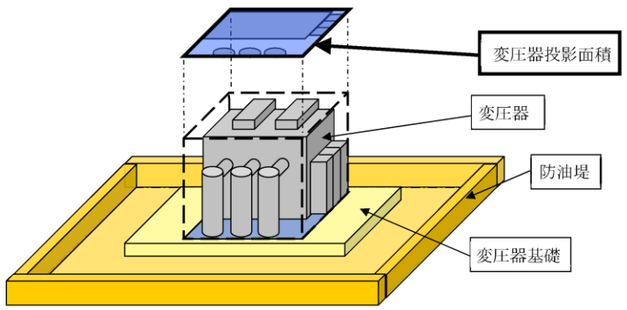
※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため，絶縁油の輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

※2：第 3.1.2-1 図に変圧器の投影面積を示す。

※3：6 号及び 7 号炉の主変圧器は油量がほぼ同等であることから，発電用原子炉施設との距離がより近い主変圧器にて熱影響の評価をする。

※4：6 号及び 7 号炉コントロール建屋と 6 号炉主変圧器との距離

※5：7 号炉軽油タンク，7 号炉燃料移送ポンプ（防護板（鋼板）），7 号炉主排気筒と 7 号炉主変圧器との距離



第 3.1.2-1 図　変圧器の投影面積

(5) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること，及び漏えいした油を回収する防災地下タンクを設置していることから防油堤の全面火災が生じることは考えにくい。よって，変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じること

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(2) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから，防油堤の全面火災が生じることはない。したがって，変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし，燃

島根原子力発電所　２号炉

(4) 必要データ

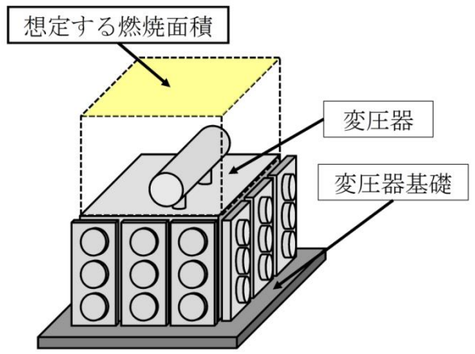
評価に必要なデータを以下に示す。

第3.1.2-2表　主変圧器火災影響評価に必要なデータ

データ種類	内容
輻射発散度[W/m²]	燃焼する可燃物によって決まる係数 23×10³[W/m²]（重油）※1
主変圧器の投影面積[m²]※2	4.2×8.5＝35.7[m²]
離隔距離[m]	主変圧器の中心からタービン建物までの離隔距離 8[m] 主変圧器の中心から海水ポンプまでの離隔距離 18[m] 主変圧器の中心から排気筒までの離隔距離 88[m]

※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため，絶縁油の輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

※2：第3.1.2-1図に変圧器の投影面積を示す。



第 3.1.2-1 図　主変圧器の投影面積

(5) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること，及び漏えいした油は，装置下の防油堤内に滴下することから防油堤の全面火災が生じることは考えにくい。よって，変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし，燃

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

とし，燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径は変圧器の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。6 号炉主変圧器について示す。（　）内は 7 号炉。

R＝（S／π）0.5

S：投影面積（火炎円筒の底面積）＝150［m²］（155[m²]）

R＝（150／π）0.5＝6.91［m］（7.03[m]）

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

φ：形態係数，L：離隔距離，H：火炎高さ，R：燃焼半径

第 3.1.2-3 表　形態係数の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
燃焼半径[m]	6.91	7.03	7.03	7.03
離隔距離[m]	13	67	62	23
形態係数[-]	0.2619634	0.0213565	0.0248130	0.1341728

(7) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

E＝Rf×φ

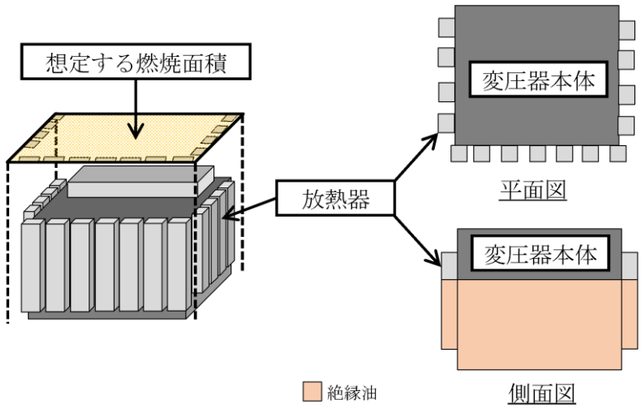
E：輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

東海第二発電所（2018.9.12 版）

焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとして燃焼半径を算出する。変圧器の投影面積を第 3.2.2-1 図に，算出結果を第 3.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m²)



第 3.2.2-1 図　変圧器の投影面積

第 3.2.2-2 表　火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m²)	燃焼半径 R (m)
主要変圧器	97.00	5.557
所内変圧器２A	22.45	2.674
起動変圧器２B	58.91	4.331

島根原子力発電所　２号炉

焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径は変圧器の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）$^{0.5}$

S：投影面積（火炎円筒の底面積）＝35.7[m²]

R＝（35.7／π）$^{0.5}$＝3.37[m]

(6)　形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong 3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

φ：形態係数，L：離隔距離，H:火炎高さ，R：燃焼半径

第3.1.2-3表　形態係数の算出結果

評価対象	建物	海水ポンプ	排気筒
燃焼半径[m]	3.37		
離隔距離[m]	8	18	88
形態係数[-]	1.85×10^{-1}	6.01×10^{-2}	2.82×10^{-3}

(7)　輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

E＝Rf×φ

E：輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第 3.1.2-4 表　輻射強度の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））	主排気筒
輻射発散度［W/m²］	23.0×10^{3}			
形態係数［-］	0.2619634	0.0213565	0.0248130	0.1341728
火炎面積の直径［m］	13.8	14.0	14.0	14.0
輻射強度［W/m²］	6.02×10^{3}	0.49×10^{3}	0.57×10^{3}	3.08×10^{3}

(8) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。6 号炉主変圧器について示す。（　　）内は 7 号炉。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v},\quad v=\frac{M}{\rho}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]，M：質量低下速度[kg/m²･s]，
ρ：密度[kg/m³]

ここで，V＝200[m³]（214[m³]），M＝0.035[kg/m²･s]，ρ＝960[kg/m³] として，燃焼継続時間を求めると，

v＝0.035／960＝3.645×10^{-5} [m/s]

t ＝ 200 ／（$150\times3.645\times10^{-5}$）＝ 36553[s] ＝ 10.1[h]（10.4[h]）

（出典）質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 評価結果

a. 建屋外壁の温度評価

(a)許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200℃とする。

(b)耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定

東海第二発電所（2018.9.12 版）

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3.2.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m³)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m²／s)，ρ：燃料密度(kg／m³)

第 3.2.2-3 表　各変圧器の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m²／s)	燃料密度 ρ (kg／m³)	燃焼継続時間 t (s)
主要変圧器	136.00	5.557	0.035	900	36,131
所内変圧器２A	21.00	2.674			24,094
起動変圧器２B	46.75	4.331			20,447

島根原子力発電所　２号炉

第3.1.2-4表　輻射強度の算出結果

評価対象	建物	海水ポンプ	排気筒
輻射発散度［W/m²］	23×10^{3}		
形態係数［-］	1.85×10^{-1}	6.01×10^{-2}	2.82×10^{-3}
火炎面積の直径［m］	6.74		
輻射強度［W/m²］	4.26×10^{3}	1.39×10^{3}	6.49×10^{1}

(8) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v},\quad v=\frac{M}{\rho}\quad より，\ t=\frac{V\times\rho}{\pi R^2\times M}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]，R：燃焼半径[m]，
v：燃焼速度[m/s]，M：質量低下速度[kg/m²・s]，
ρ：密度[kg/m³]

ここで，V＝77[m³]，M＝0.035[kg/m²・s]，ρ＝1000[kg/m³] として，燃焼継続時間を求めると，

v＝0.035/1000＝3.50×10^{-5}

t＝77/（$35.7\times3.50\times10^{-5}$）＝17.12[h]

（出典）質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 評価結果

a．建物外壁の温度評価

(a) 許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容温度）については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200℃とする。

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇を求め，コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，発電用原子炉施設外壁の表面温度は約184℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T_s = T_0 + \dfrac{1}{\left(\dfrac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\dfrac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリート表面の放射率（0.95）※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m^{2}K]※，k：コンクリ ート熱伝導率[1.6W/mK]※，ρ：コンクリート密度[2200kg/m^3]※，c：コ ンクリート比熱[879J/kgK]※，t：燃焼継続時間[s] ※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書	3.2.3　外壁に対する熱影響評価 (1)　評価対象範囲 評価対象施設の外壁について，主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂの火災を想定して評価を実施した。 (2)　変圧器と評価対象施設までの離隔距離 変圧器と評価対象施設までの離隔距離を第3.2.3-1表に示す。	一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，コンクリートの表面の温度上昇を求め，コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 187℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T = T_0 + \dfrac{1}{\left(\dfrac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}}+1\right)\dfrac{h}{\varepsilon E}}$ 出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人　日本建築センター T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：コンクリートの表面の放射率[0.94]※1，h：コンクリート表面熱伝達率[23.3W/m^{2}K]※2，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※2，ρ：コンクリート密度[2,200kg/m^3]※2，c：コンクリート比熱[879J/kgK]，t：燃焼継続時間[s] ※1:伝熱工学資料，※2:原子炉建物　構造計算書	

第 3.2.3-1 表　各変圧器と評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	影響対象	離隔距離 (m)
主要変圧器	タービン建屋	22
所内変圧器２Ａ	タービン建屋	8
起動変圧器２Ｂ	タービン建屋	13

(3)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 3.2.3-2 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 3.2.3-2 表　各変圧器の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
主要変圧器	22 （タービン建屋）	5.557	1.0160×10^{-1}
所内変圧器２Ａ	8 （タービン建屋）	2.674	1.5128×10^{-1}
起動変圧器２Ｂ	13 （タービン建屋）	4.331	1.5063×10^{-1}

(4)　輻射強度の評価

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.3-3 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，

Φ：形態係数

第 3.2.3-3 表　各変圧器の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Rf (kW／m²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m²)
主要変圧器	絶縁油	23	1.0160×10^{-1}	2,336.84
所内変圧器２Ａ	絶縁油		1.5128×10^{-1}	3,479.47
起動変圧器２Ｂ	絶縁油		1.5063×10^{-1}	3,464.49

(5)　判断の考え方

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。建屋外壁の評価概念図を第 3.2.3-1 図に示す。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 3.2.3-2 図に示す。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T=T_0+\frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

Ｔ：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

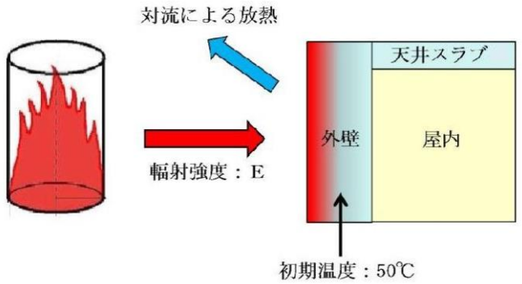
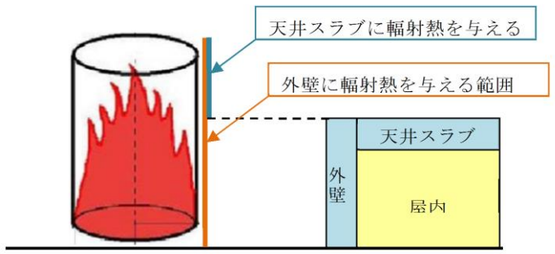
κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×10^{-7}m²／s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg／m³)

C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m²)

ｔ：燃焼継続時間(s)，ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

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
	※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。）  第 3.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図  第 3.2.3-2 図　天井スラブの評価概念図 ただし，上式で算出した建屋表面温度が許容温度である 200℃を超える場合には，周囲への放熱を考慮した次式を用いて算出する。なお，現実的に起こり得る放熱量を上回ることがないよう，放熱量が低くなる保守的な条件を設定した。 $T = T_0 + \frac{E}{h}\left[1 - \exp\left(\frac{h^2}{\lambda \rho C_p} t\right) \mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{\lambda \rho C_p}}\right)\right]$		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>b. 軽油タンクの温度評価
(a)許容限界値（許容限界温度）
本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，軽油の発火点225℃とする。

(b)耐火性能の評価結果
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より，軽油の温度上昇を求め，軽油の温度が許</td>
<td>Ｔ：表面からｘ(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)
C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)
ｔ：燃焼継続時間(11,008s)，ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

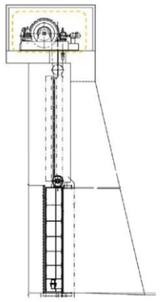
コンクリート表面の温度上昇を評価した結果，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を第 3.2.3-4 表に示す。

第 3.2.3-4　外壁に対する熱影響評価結果
<table><tr><th>想定火災源</th><th>評価対象施設</th><th>評価温度※
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr><tr><td>主要変圧器</td><td rowspan="3">タービン建屋</td><td>149</td><td rowspan="3">＜200</td></tr><tr><td>所内変圧器２Ａ</td><td>187</td></tr><tr><td>起動変圧器２Ｂ</td><td>182</td></tr></table>※　放熱なしの条件では許容温度を上回るため，放熱を考慮して評価を実施</td>
<td></td>
<td>・設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。
島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施</td>
</tr>
</table>

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
容温度以下であるか評価を実施した。その結果，軽油の温度は約 42℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T=\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-\left(\frac{\varepsilon ES_1+hS_2T_{air}}{hS_2}-T_0\right)e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}$ T_0：初期温度[38℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，h：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S_1＝S_2：軽油タンク 受熱・放熱面積[m^2]，C:軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10^{8}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[℃] ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 c．燃料移送ポンプの温度評価 (a)許容限界値（許容限界温度） 燃料移送ポンプの許容限界値（許容限界温度）が端子ボックスパッキンの耐熱温度100℃であることを踏まえ，燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）の許容温度を当該ポンプの許容限界温度と同様の 100℃とする。 (b)耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプの防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より防護板（鋼板）の最大温度を求め，防護板（鋼板）の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，燃料移送ポンプの温度は 71℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T=\frac{\varepsilon E\frac{S}{2}+hST_{air}}{hS}-\left(\frac{\varepsilon E\frac{S}{2}+hST_{air}}{hS}-T_o\right)e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t}$ T_0：初期温度[55℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）※1，h：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2，S:防護板(鋼板)放熱面積[32.4m^2](S/2：受熱面積は外面のみ)，C:防護板（鋼板）の熱容量［2.41×10^{6}J/K]，t：燃焼継続時間[s]，T_{air}：外気温度[55℃] ※1:伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧		b．海水ポンプの温度評価 (a)　許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，海水ポンプ電動機の下部軸受の許容温度 55℃とする。 (b)　耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして，下記の式より海水ポンプの冷却空気温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，海水ポンプの冷却空気温度は約 30℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T=T_0+\frac{E\times A_T}{G\times C_p}$ T_0：通常運転時の上昇温度[22℃]，E：輻射強度[W/m^2]，A_T：受熱面積[10.93m^2]，G：重量流量[1.96kg/s]，C_p:空気比熱[1007J/(kg・K)]※1 ※1:伝熱工学資料	・設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根 2 号炉では，軽油タンク，燃料移送ポンプ，非常用ディーゼル発電機は，地下構造等の屋内設備のため影響評価対象外。 島根 2 号炉では，海水ポンプは，屋外設置のため影響評価を実施

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
d. 主排気筒の温度評価 (a)許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，主排気筒鋼材の許容温度325℃とする。 (b)耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして，下記の式より主排気筒の最大温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，主排気筒の温度は約132℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]， ε：主排気筒表面の放射率（0.9）※1， h：主排気筒表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2：空気調和･衛生工学便覧 (10) 火災による熱影響の有無の評価 以上の結果から，変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。		c．排気筒の温度評価 (a)　許容限界値（許容限界温度） 本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，排気筒鋼材の許容温度 325℃とする。 (b)　耐火性能の評価結果 火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より，排気筒の最大温度を求め，許容温度以下であるか評価を実施した。その結果，排気筒の温度は約 52℃となり，許容温度を下回ることを確認した。 $T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$ T_0：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m^2]，ε：排気筒表面の放射率[0.9]※1，h：排気筒表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※2 ※1：伝熱工学資料，※2:空気調和・衛生工学便覧 (10)　火災による熱影響の有無の評価 以上の結果から，変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても，許容限界温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
3.2.4　放水路ゲートに対する熱影響評価
(1)　評価対象範囲
放水路ゲートについて主要変圧器及び所内変圧器２Ａの火災を想定して評価を実施した。
(2)　評価対象施設の仕様
放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置機械室の仕様を第 3.2.4-1 表に，外形図を第 3.2.4-1 図に示す。

第 3.2.4-1 表　評価対象施設の仕様
<table>
<tr><td>名称</td><td>放水路ゲート駆動装置</td></tr>
<tr><td>床面高さ</td><td>T.P.＋11.0m</td></tr>
<tr><td>外殻材料</td><td>炭素鋼</td></tr>
<tr><td>個　数</td><td>3</td></tr>
</table>

第 3.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離
火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離を第 3.2.4-2 表に示す。

第 3.2.4-2 表　火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離
<table>
<tr><td>想定火災源</td><td>離隔距離
L
(m)</td></tr>
<tr><td>主要変圧器
所内変圧器２Ａ</td><td>270</td></tr>
</table>
(4)　形態係数の算出
以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 3.2.4-3 表に示す。
</td>
<td></td>
<td>・評価対象の相違
【東海第二】
島根 2 号炉は，評価対象となる津波防護施設はない</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 3.2.4-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
主要変圧器	270	5.557	8.202×10^{-4}
所内変圧器２Ａ	270	2.674	1.887×10^{-4}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.4-4 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m²)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m²)，

Φ：形態係数

第 3.2.4-4 表　火災源となる設備の輻射強度

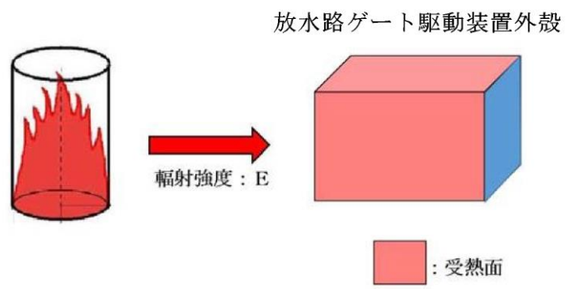
想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m²)
主要変圧器	絶縁油	23	8.202×10^{-4}	19
所内変圧器２Ａ	絶縁油	23	1.887×10^{-4}	4

(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置機械室外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

</td><td></td></tr>
</table>

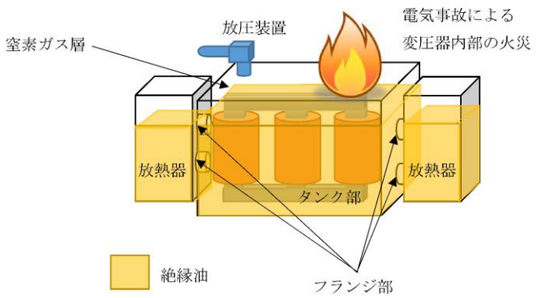
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	ｂ．評価結果 一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置機械室外殻が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により放水路ゲート駆動装置機械室外殻表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。放水路ゲートの評価概念図を第 3.2.4-2 図に示す。 $T = T_0 + \frac{E}{2h}$ Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1 Ｅ：輻射強度(W／m²)，ｈ：熱伝達率(17W／m²／K)※2 ※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値 ※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m²／K を用いる。）  第 3.2.4-2 図　放水路ゲートの評価概念図 放水路ゲート駆動装置外殻表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 3.2.4-5 表に示す。		

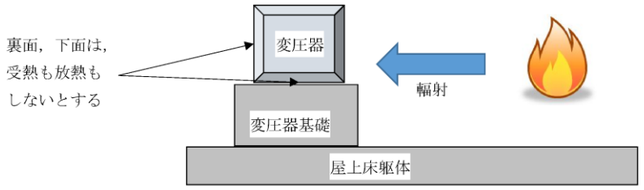
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.12 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>3.1.3　発電用原子炉施設（屋上）の影響評価
コントロール建屋の屋上に設置している原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器に対しては，(1)～(3)のような設計上の配慮がなされて いる。

(1)火災の発生防止
変圧器は基準地震動に対して絶縁油が漏えいしない設計としていることから，地震の際に漏えい・火災発生のおそれはない（別紙 6－1 参照）。中越沖地震以前の主変圧器等の設置状況とは異なり，変圧器・ブッシング等がコントロール建屋屋上に設置されており，同一の躯体上にあることから相対変位を生じることはなく，地盤沈下に伴うブッシング部の破損による漏えいや火災発生はない。
また中越沖地震後の点検においても異常は確認されていない。定期的な点検や絶縁油分析を行い，信頼性を確保している。なお，更なる安全性向上の観点から，万が一絶縁油が漏えいした場合であっても，他号炉側の原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器へ絶縁油が流出することを防止するため防油堰を設ける。（第 3.1.3-1 図）

(2) 火災の感知，消火
変圧器のエリアは中央制御室より ITV による状況の確認が可能である。また，油火災に対応した大型消火器を設置している。なお，更なる安全向上の観点から，感知器の設置を行い，早期の検知，消火が可能な設計とする。
「危険物の規制に関する規則」(昭和 34 年総理府令第 55 号）では，「危険物は，指定数量の十倍を一所要単位とすること」と定めており，変圧器絶縁油（第4類 第3石油類非水溶性）の指定数量が 2,000ℓであることをふまえると所要単</td>
<td>第 3.2.4-5 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果
<table><tr><th>想定火災源</th><th>評価対象施設</th><th>評価温度
(℃)</th><th>許容温度
(℃)</th></tr><tr><td>主要変圧器</td><td rowspan="2">放水路ゲート</td><td>51</td><td rowspan="2">＜325</td></tr><tr><td>所内変圧器２Ａ</td><td>51</td></tr></table></td>
<td></td>
<td>・条件の相違
【柏崎 6/7】
島根 2 号炉は，建物屋上に変圧器等の評価対象を設置していない</td></tr>
</table>

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
位は3.1単位となる。変圧器近傍には油火災用 B-20（20 単位）の能力を持った消火器を各号炉 1 台備え付けており所要能力を満たしている。 なお，同様の考え方から，JEAG 5002「変電所等における防火対策指針」では，「消火器具の所要能力単位は，全主要変圧器内に貯蔵された絶縁油量を20,000ℓで除した値以上」と定めており，当該エリアでは同じく 3.1 単位が必要な能力値となる。 (3) 火災の影響軽減 コントロール建屋の屋上面や，周辺建屋はその外壁の厚さにより，変圧器火災の影響を受けない設計としている。（3.1.3.2 変圧器の火災による発電用原子炉施設（屋上）への影響参照） 以上のように，原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器に対しては，火災防護上の対策がなされていることから，安全施設への影響はないと考えられるが，以下では万が一火災が生じた場合の影響評価を実施する。 単なる漏えいでは周囲に火源がないことから，火災には至らない。したがって，火災としては，地絡，短絡等電気事故に伴うものが考えられるが，事故時には保護継電器が作動し事故電流を遮断し，仮に過熱により内圧が上昇した場合でも変圧器上部に設置した放圧装置により放圧する構造であるため，タンクは損傷には至らず，変圧器上部での火災となる。放圧する場合でも変圧器内は窒素ガスが封入されており変圧器上部には窒素ガスの層があることと，受け容器へ導かれることから油が吹き出すことはない。燃焼する位置は，酸素供給の観点から放圧装置等が設置されている上部が考えられ，この場合，タンクの貫通部である放熱器フランジについては，液位が高い間には絶縁油の液相部に浸っており火炎にさらされないことから，著しい漏えいは生じない。（第3.1.3-2 図） 以上を踏まえ，変圧器は設計基準地震動に対して漏えいしない設計としており，複数台の同時火災は想定されないため，変圧器1台の投影面積での火災を想定し評価する。			

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
第 3.1.3-1 図　変圧器・防油堰配  第 3.1.3-2 図　変圧器火災の概要図 3.1.3.1変圧器の火災における延焼の危険性 原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器において，火災が起こったとしても周囲の変圧器に影響を及ぼさないことを評価するもので ある。 (1) 変圧器の火災の想定の条件 ・周囲への熱影響を考慮し，保有油量が最大である 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器の全面火災を想定する。 ・配置上，油量が最大である 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器と向かい合い，油量が少なく最も接近している7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器が輻射熱を受ける状態を想定する。受熱面は下面と裏面を除く全ての面			

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
とし，表面以外の面は発熱源に最も近い表面と同等の輻射熱を受けるものとする。また，輻射熱を受けない面は保守的に断熱とし，大気への放熱は輻射を受ける面（下面と裏面を除く全ての面）からのみなされるものとする。（第 3.1.3.1-1 図） ・発熱側・受熱側とも絶縁油を満載した状態を想定する。 ・変圧器の近傍に配備している大型消火器による消火には期待しない。 ・気象条件は無風状態とする。 ・火災は円筒火炎をモデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。  第 3.1.3.1-1 図 変圧器輻射影響範囲の概要図 (2) 評価対象範囲 評価対象範囲は，コントロール建屋の屋上に設置している全ての変圧器及び発電機とする。発熱側は油量が最も多く燃焼時間が長い 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器，受熱側は油量が少なく最も接近している 7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器とすることにより，他の変圧器等は本評価に包絡される。 (3) 必要データ 評価に必要なデータを以下に示す。			

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.1.3.1-1 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

データの種類	内容
輻射発散度[W/m^2]	燃焼する可燃物によって決まる定数 23.0×10^3[W/m^2] ※1（重油）※2
6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器の投影面積[m^2]	5.15×4.64=23.9[m^2]
離隔距離[m]	変圧器間の最短距離　4.1[m]

※1：評価ガイド付属書Ｂより
※2：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため，輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

(4) 燃焼半径の算出

6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし，燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとする。したがって，燃焼半径は変圧器の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

R＝（S／π）0.5 S：投影面積（火炎円筒の底面積）＝23.9［m^2］

R＝（23.9／π）0.5＝2.75［m］

(5) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v},\quad v=\frac{M}{\rho}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m^3]，R：燃焼半径[m]，v：燃焼速度[m/s]

M：質量低下速度[kg/m^2･s]，ρ：密度[kg/m^3]，m：質量[kg]

ここで，V＝13.7[m^3]，M＝0.035[kg/m^2･s]，ρ＝960[kg/m^3]として，燃焼継続時間を求めると，

v＝0.035/960＝3.645×10^{-5}[m/s]

t＝13.7／（23.9×3.645×10^{-5}）＝15708[s]＝4.36[h]

(6) 危険輻射強度の算出

6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器の火災が発生した時間から燃料が燃え尽き

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
るまでの間，一定の輻射強度で 7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器が昇温されるものとする。輻射による入熱量と対流熱伝達による放熱量の差が変圧器の温度上昇に寄与することを表した下記の式から，重油の温度 T が 200℃※1 となる危険輻射強度を求める。 $C\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = \varepsilon E S_1 - h(T - T_{air})S_2$ T_0：変圧器初期温度[55℃]，T_{air}：外気温度 38[℃]，E：輻射強度[W/m^2]， ε：7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器表面の放射率（0.9）※2，h：7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器表面熱伝達率[17W/m^{2}K]※3，S_1(=S_2)：7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器受熱面積[m^2]，C:7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置（A-1）入力変圧器及び重油の熱容量［6.64× 10^{6}J/K]※1，t：燃焼継続時間[s] ※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため，物性値は重油の値を使用。絶縁油の品質記録に記載されている発火温度の最低値とする。 ※2：伝熱工学資料（変圧器の金属筐体は塗装仕上げされていることから，表面の塗装に類似の塗装として「塗料（エナメル・白)」の値を用いる。非金属の放射率は金属より大きいため，非金属である塗料の値で評価することは保守的である。） ※3：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面（変圧器の側面部に相当），屋根面（変圧器の上面部に相当）の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 15kcal/m^{2}h℃を SI 単位に換算した 17W/m^{2}K を用いる。） 結果として，危険輻射強度は以下になる。 E=7947[W/m^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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

(7) 形態係数の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数をかけた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

Emax＝Rf×φ

Emax：危険輻射強度，Rf：輻射発散度，φ：形態係数

第 3.1.3.1-2 表　　形態係数の算出結果

	7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1) 入力変圧器
危険輻射強度[W/m²]	7.94×10^3
輻射発散度[W/m²]	23×10^3
形態係数	0.3455400

(8) 危険距離の算出 次の式から危険距離を算出する。

$$\phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

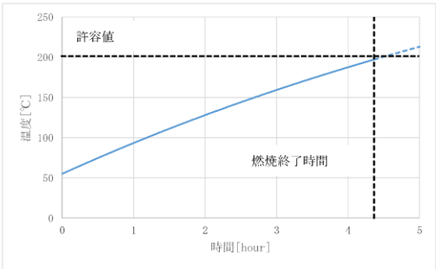
ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

φ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，R：燃焼半径[m]

第 3.1.3.1-3 表 危険距離の算出結果

	7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1) 入力変圧器
形態係数	0.3455400
燃焼半径[m]	2.75
危険距離[m]	約 4.0

また，燃焼終了時点までの変圧器温度の推移を下図に示す。



第 3.1.3.1-2 図 変圧器絶縁油温度の推移

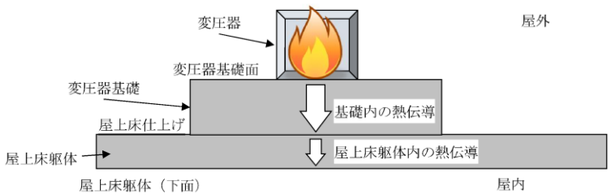
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

(9) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても，離隔距離(4.1m)が危険距離(約 4.0m)以上であることから，向かい合う他の変圧器等に影響を及ぼすことはないと評価できる。

3.1.3.2変圧器の火災による発電用原子炉施設（屋上）への影響

(1) 変圧器の基礎への熱影響 火災が発生した時間から絶縁油が燃え尽きるまでの間，一定の火炎の熱で変圧器の基礎が昇温されるものとして，基礎への熱影響について評価する。以下に概念図を示す。



第 3.1.3.2-1 図 変圧器基礎への熱影響

評価に必要なパラメータを示す。

第 3.1.3.2-1 表 変圧器火災影響評価に必要なパラメータ

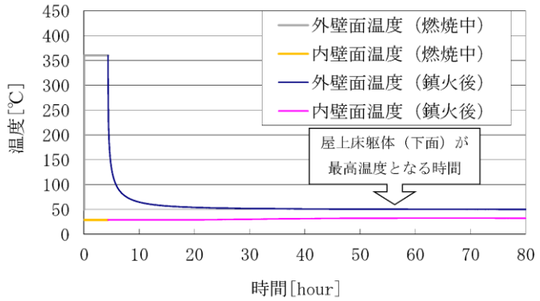
項目	パラメータ	備考
外気温度[℃]	50	日射の影響を考慮し設定
基礎面熱伝達率[W/m²K]	34.883	コンクリートの基礎面熱伝達率
屋上床躯体（下面）熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの屋上床躯体（下面）熱伝達率
基礎・躯体の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
基礎・躯体の熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
基礎＋躯体厚さ[m]	1.19	基礎（0.69m），躯体（0.50m）

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，基礎面から屋上床躯体（下面）までの温度を求める。

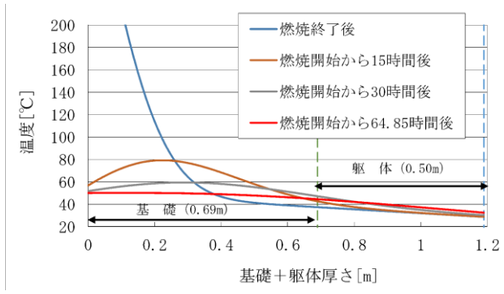
$$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t ：時刻，x ：基礎面からの距離，α：熱拡散率 以下に評価結果を示す。

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第 3.1.3.2-2 図 基礎面・屋上床躯体（下面）の温度



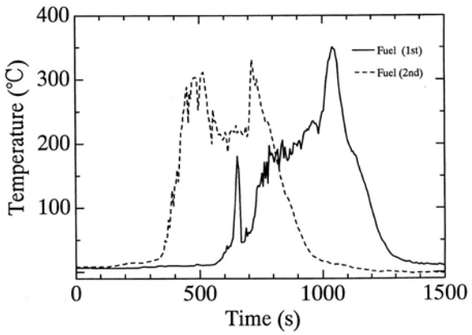
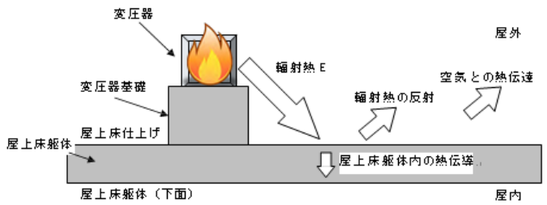
第 3.1.3.2-3 図 基礎・躯体内部の温度変化

第 3.1.3.2-2 表 変圧器基礎面の温度評価結果

6 号炉（変圧器基礎面）	
項目	6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器
火炎温度[℃]	360※1
燃焼継続時間[hour]	4.36
基礎面温度[℃]	360※2（51）※3
屋上床躯体（下面）温度[℃]	29※2（33）※3
基礎・躯体境界温度[℃]	38※2（45）※3
許容温度[℃]	200※4

※1：絶縁油の沸点（出典：機械工学便覧）
※2：燃焼終了直後の温度
※3：屋上床躯体（下面）が最高温度に到達した時の温度（燃焼開始から約 64.8 時間後）
※4：コンクリートの許容限界温度

絶縁油の液面火災において，絶縁油（炎の直下の部分）の温度は沸点近傍で安定すると考えられることから，本評価では加熱温度として絶縁油の沸点を用いる。大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書（平成 11 年，自治省消防庁消防

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
研究所）には，直径 10m のタンクの原油を燃焼させる実験を行った際の原油の温度が掲載されている（第 3.1.3.2-4 図）。これによると，最高温度は 350℃程度である。  第 3.1.3.2-4 図 原油の温度変化（直径 10m のタンク） 評価の結果，基礎の表面（変圧器の設置面）より約 0.12m までコンクリートの許容限界温度を超えているが，屋上床躯体（下面）については許容限界温度を超えないことを確認した。 (2) コントロール建屋の屋上への熱影響 火災が発生した時間から絶縁油が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度でコントロール建屋の屋上面が昇温されるものとして，屋上への熱影響について評価する。  第 3.1.3.2-5 図 建屋屋上への熱影響 評価に必要なパラメータを示す。			

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.1.3.2-3 表 変圧器火災影響評価に必要なパラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度[℃]	50	日射の影響を考慮し設定
屋上面熱伝達率[W/m²K]	34.883	コンクリートの屋上面熱伝達率
屋上床躯体（下面）熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの屋上床躯体（下面）熱伝達率
躯体の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
躯体の熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
躯体厚さ[m]	0.50	-

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて，屋上床仕上げから屋上床躯体（下面）までの温度を求める。

$$\frac{dT}{dt}=\alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

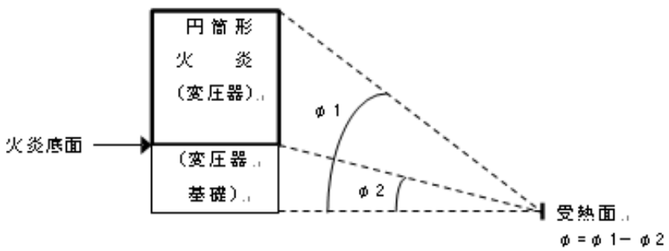
T：温度，t ：時刻，x ：基礎面からの距離，α：熱拡散率

なお，第 3.1.3.2-6 図のように，受熱面が火炎底面と異なる高さにあることから，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」より，下記の考え方に基づき形態係数を算出し輻射強度を求める。

$$\phi=\frac{1}{\pi m}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし，　$m=\frac{H}{R}\cong3, n=\frac{L}{R}, A=(1+n)^2+m^2, B=(1-n)^2+m^2$

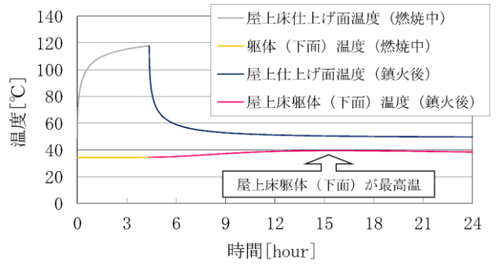
φ：形態係数，L：危険距離[m]，H：火炎高さ[m]，R：燃焼半径[m]



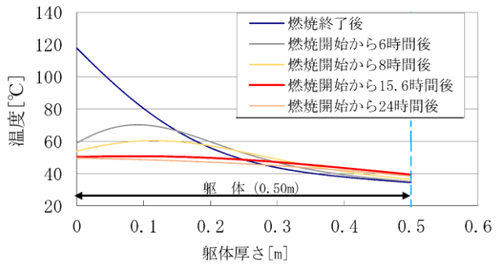
第 3.1.3.2-6 図 受熱面の高さによる形態係数

以下に評価結果を示す。

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（2018.9.12 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第 3.1.3.2-7 図 基礎面・屋上床躯体（下面）の温度



第 3.1.3.2-8 図 躯体内部の温度変化

第 3.1.3.2-4 表 屋上床仕上げ面の温度評価結果

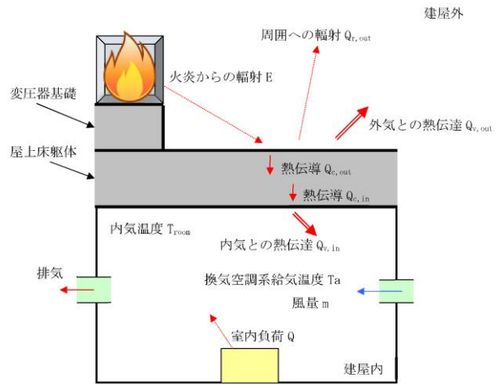
6 号炉（屋上床仕上げ面）	
項目	6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器
輻射強度[W/m²]	3.91×10^5
燃焼継続時間[hour]	4.36
屋上床仕上げ面温度[℃]	118※1（51）※2
屋上床躯体(下面)温度[℃]	35※1（40）※2
許容温度[℃]	200※3

※1：燃焼終了直後の温度
※2：屋上床躯体（下面）が最高温度に到達した時の温度（燃焼開始から約 15.6 時間後）
※3：コンクリートの許容限界温度

評価の結果，屋上床躯体（下面）の温度は燃焼開始から約 15.6 時間後に最高温度に到達しているが，コンクリートの許容限界温度を超えないことを確認した。ただし，屋上床躯体（下面）の温度上昇が確認されたことから，変圧器の下部に位置する中央制御室換気空調機室について，内気の温度評価を実施する。なお，変圧器基礎面からの入熱による内気の温

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
度上昇については，その面積が小さく内気への影響は限定的であることから，屋上床仕上げからの入熱による内気の温度評価に包絡される。 (3) 屋上設置機器への影響 　コントロール建屋屋上階に設置する無線連絡設備及び衛星電話設備のアンテナについては，原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器に対して3.のとおり火災に対する各種対策が取られていることから熱影響を受けるおそれはない。また，万が一変圧器火災が発生し熱影響を受けた場合であっても，送受話器，電力保安通信用電話設備の有線系回線が使用可能であることから，必要な通信連絡の機能は維持される。 3.1.3.3　変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室への影響 　屋上床仕上げ面からの入熱による影響 変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室内の機器等への影響について評価する。 　第 3.1.3.3-1 図に概念図を示す。 　外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷（$Q_{v,in}$）は次式で計算される。 $$Q_{v,in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room})$$ h_{in}：内壁面熱伝達率，A：内壁の表面積，T_{in}：内壁面温度，T_{room}：内気温度			

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



第 3.1.3.3-1 図 伝熱の概念図

以下に評価結果を示す。

第 3.1.3.3-1 表 建屋内気温度の評価結果

6 号炉中央制御室換気空調機室評価（建屋内気温度）	
項目	6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器（屋上面）
内気温度[℃]	38※1
許容温度[℃]	40※2

※1：燃焼終了後も含めた最高温度

※2：中央制御室換気空調機室の最高使用温度

評価の結果，燃焼終了後の温度上昇を踏まえたとしても，内気温度は最高で約 38℃となり，室内設備の最高使用温度 40℃を下回ることを確認した。

3.1.4　まとめ

以上の結果から，コントロール建屋の屋上に設置している変圧器の火災を想定した場合，変圧器の基礎面は許容限界温度を超えるものの，屋上床躯体については許容限界温度を下回ることから，建屋の強度に対する熱影響はないと評価する。

また，変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室の内気温度は最高でも約 38℃であり，室内にある設備の最高使用温度を下回ることから，熱影響はないと評価する。