

玄海原子力発電所 審査資料	
資料番号	D R Y - 1 - 6
提出年月日	2020年11月25日

玄海原子力発電所

設置許可基準規則への適合性について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

< 補足説明資料 >

2020年11月

九州電力株式会社

枠囲みの範囲は、防護上の観点又は商業機密に係る事項のため、公開できません。

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）への適合方針を説明する。

< 目 次 >

3 条 設計基準対象施設の地盤

4 条 地震による損傷の防止

5 条 津波による損傷の防止

6 条 外部からの衝撃による損傷の防止

7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条 火災による損傷の防止

9 条 溢水による損傷の防止等

11 条 安全避難通路等

12 条 安全施設

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

29 条 工場等周辺における直接線等からの防護

30 条 放射線からの放射線業務従事者の防護

- ・ 添付資料 1

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う条文の整理表

- ・ 添付資料 2

使用済燃料貯蔵量の推移

- ・ 添付資料 3

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

6 条

外部からの衝撃による損傷の防止

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部事象)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部事象)

(別添資料1) 外部事象の考慮について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせる。

また、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.4 外部からの衝撃

発電所敷地で想定される自然現象については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に地震、津波、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定する。

安全施設（兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。）を除く。）は、これらの自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮し、適切に組み合わせる。

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の状況を基に飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、これらの発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの

(故意によるものを除く。) に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物(航空機落下)については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等(重大事故等対処設備を含む。)への措置を含める。

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設(兼用キャスクを除く。)は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。以下、「人為による事象」という。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発

生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998年
- (3) Specific Safety Guide(SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成25年6月19日）
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- (6) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定：平成25年6月19日）
- (7) B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC公表
- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」（社）日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会
- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2）」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司、コンクリート工学、vol. 42、2004

- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人、末吉秀一他、
防食技術 Vol. 39、1990
- (16) 「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

1.2 気象等

変更なし

1.3 設備等

該当なし

2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象）

（別添資料）外部事象の考慮について（使用済燃料乾式貯蔵施設）

外部事象の考慮について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 設計方針
 - 1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計
 - 1.2 人為事象に対する設計

2. 自然現象の組合せについて

（資料）

- － 1 気象データの追加調査について

1. 設計方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、外部からの衝撃による損傷の防止について、既設置許可の設計方針に基づき、以下のとおり設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで安全機能を損なわない設計とする。竜巻及び外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）については、安全重要度分類のクラス2施設である乾式キャスクを内包する施設として設計する。

各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針については、以下のとおり設計する。（第1表）

1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また、自然現象の組合せにおいては、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

1.2 人為事象に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火

災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

第1表 各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針について

事象		各事象に対する設計方針等
自然現象	風（台風）	風荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	竜巻	乾式キャスクを内包する建屋とし「6条：外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に記載。
	凍結	安全機能に係る屋外機器で凍結のおそれのあるものは設置しない。
	降水	降水に対して、構内排水路で集水し海域へ排出を行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	積雪	積雪荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	落雷	高さ20mを超えない建屋とし、建築基準法に基づく避雷設備は設置しない設計とする。
	火山の影響	クラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで安全機能を損なわない設計とする。
	生物学的事象	小動物の侵入に対しては、屋外設置の端子箱貫通部等へのシーリングを行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	森林火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	高潮	高潮の影響がない敷地の整地レベルであるEL.+24.5mに設置することにより、高潮により安全機能を損なうことのない設計とする。
人為事象	爆発	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	近隣工場等の火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	有毒ガス	乾式貯蔵建屋は居住性の確保を必要としないため、有毒ガスを考慮する必要はない。
	船舶の衝突	船舶の衝突の影響を受けることのない敷地高さ（EL.+24.5m）に設置する設計とする。
	電磁的障害	発電用原子炉施設で発生する電磁干渉や無線電波干渉等により機能が喪失しない。

2. 自然現象の組合せについて

設置許可基準規則第6条解釈第3項において、安全施設に対して設計上の考慮を要する自然現象の組合せについて要求がある。

自然現象の組合せについては、組み合わせた事象が安全施設に及ぼす影響について、個々の事象の設計に包含されること、同時に発生するとは考えられないこと、又は個々の自然現象が与える影響より緩和されることを確認していることから、荷重以外の自然現象の組合せにより使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能は損なわれない。

自然現象による荷重の組合せに対して、既設置許可にて風（台風）、積雪及び火山による荷重の組合せを設計上考慮することとしている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで自然現象による荷重の組合せにより安全機能を損なわない設計とする。

気象データの追加調査について

(1) 風（台風）、凍結（最低気温）、降水及び積雪について

最寄の気象官署である平戸特別地域気象観測所の1951年～2018年における風（台風）等の気象データについて確認したところ、最大瞬間風速は53.2m/s(1987年8月31日)、最低気温は-5.8℃(1977年2月16日)、日最大1時間降水量は125.5mm(1999年9月2日)、最大積雪量は12cm(1959年1月18日)であった。

(2) 気象データの比較

平成29年1月18日付け原規規発第1701182号をもって設置変更許可を受けた気象データと、今回申請時点における気象データを比較したところ、風（台風）、凍結（最低気温）、降水量（日最大1時間）、積雪について変更がなかった。（詳細は第1表のとおり）

最寄りの気象官署の1951年～2020年における日最高気温等の観測記録（累年順位）を第2表～第6表に示す。

第1表 設置許可申請における気象データの比較

要素	気象官署の場所	統計期間	原規規発第 1701182 号 設置変更許可	統計期間	今回申請
最大瞬間風速	平戸	1951年1月～2012年12月	53.2m/s(1987年8月31日)	1951年1月～2020年11月	原規規発第 1701182 号 設置変更許可の値と同じ
最低気温	平戸	同上	-5.8℃(1977年2月16日)	同上	同上
日最大1時間降水	平戸	同上	125.5mm(1999年9月2日)	同上	同上
最大積雪量	平戸	1951年1月～2000年2月	12cm(1959年1月18日)	1951年1月～2000年2月	同上

* : 2000年3月以降は、平戸特別地域気象観測所となったため、積雪量について観測をしていない。
注 : 太枠は要素ごとの最大値または最小値を示す。

第2表 日最高・日最低気温の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
日最高気温	値(°C)	18.7	20.4	22.3	25.7	29.3	30.7	34.4	35.1	33.6	30.0	24.7	23.1	35.1
	起年日	1953 10	2010 24	2004 29	1998 28	2003 29	2004 20	2018 22	1960 7	2010 1	2016 3	1979 1	2018 4	1960 8月7日
	値(°C)	18.6	20.0	21.7	25.6	28.4	30.5	33.9	34.8	32.8	29.2	24.4	21.0	34.8
日最低気温	起年日	2002 15	2004 21	2015 17	2005 30	2000 25	1978 18	2012 18	1985 8	1981 1	2005 1	2005 6	1953 2	1985 8月8日
	値(°C)	18.5	19.7	21.7	25.1	27.9	30.4	33.8	34.8	32.8	29.1	24.3	20.6	34.8
	起年日	2020 7	2009 13	1952 18	2018 22	2013 24	2011 25	2018 26	1953 16	1967 2	2019 2	1996 9	1954 1	1953 8月16日
日最低気温	値(°C)	-5.7	-5.8	-4.0	1.8	7.8	12.4	16.1	18.4	13.6	5.9	1.7	-3.6	-5.8
	起年日	1970 5	1977 16	1977 5	1962 4	2014 7	1978 1	1976 8	1977 23	1973 28	1986 31	1970 30	1973 24	1977 2月16日
	値(°C)	-5.3	-5.1	-4.0	2.0	8.0	12.7	16.1	18.6	13.8	7.6	2.0	-3.2	-5.7
日最低気温	起年日	1967 15	1981 26	1977 4	1972 2	1965 1	1981 3	1969 10	2019 25	1965 29	1980 31	1966 30	1967 28	1970 1月5日
	値(°C)	-5.0	-4.4	-2.3	2.4	8.2	13.0	16.8	18.7	14.0	7.7	2.8	-2.7	-5.3
	起年日	1967 16	1977 15	1958 3	1972 1	1980 2	2008 1	1976 7	2001 30	1965 28	2002 30	1966 27	1976 27	1967 1月15日

第3表 日最小湿度の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1	値 (%)	21	23	11	11	13	21	37	29	31	25	10	24	10
	起年日	1951 31	2005 14	2004 28	2004 29	2005 11	1990 22	2014 29	2017 28	1987 27	2003 22	2005 10	1999 11	2005 11月10日
2	値 (%)	24	23	16	14	18	21	42	40	32	29	22	25	11
	起年日	2006 3	2002 18	2015 26	2004 17	2019 10	1980 5	1994 20	1990 1	2020 20	2005 22	1994 3	1982 15	2004 4月29日
3	値 (%)	26	24	16	15	19	23	44	41	33	29	24	26	11
	起年日	2006 22	2008 23	1984 25	2009 30	1992 3	1981 3	1978 28	1969 24	2011 22	1977 22	1979 2	1999 27	2004 3月28日

第4表 日・1時間最大降水量の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1 日降水量	値 (mm)	107.8	92.5	103.0	237.6	226.0	359.5	406.9	365.5	222.0	197.8	151.5	100.5	406.9
	起年日	1967 28	1979 22	1979 29	1955 15	1998 11	1953 25	1959 13	2011 23	1997 6	1951 14	1978 12	1996 4	1959 7月13日
	値 (mm)	107.5	85.5	99.0	173.0	164.5	275.0	300.0	329.5	207.0	142.5	136.2	79.5	365.5
2	起年日	2016 29	1989 16	2020 27	2006 10	1995 14	1953 4	1957 25	1980 29	1999 2	2016 8	1966 13	2015 10	2011 8月23日
	値 (mm)	96.0	81.0	98.5	152.5	159.4	229.0	294.5	292.5	198.5	139.5	123.0	73.0	359.5
	起年日	1972 24	1976 28	2012 23	2017 17	1963 10	1985 25	1989 28	2019 28	2016 28	2011 21	2001 29	2019 1	1953 6月25日
1 1時間降水量	値 (mm)	59.5	35.0	42.5	67.1	78.0	88.0	108.0	114.5	125.5	60.5	53.2	53.5	125.5
	起年日	1972 24	2004 28	2020 27	1964 25	1998 11	2016 20	1989 28	2011 23	1999 2	1962 10	1964 1	1996 4	1999 9月2日
	値 (mm)	30.0	34.0	40.0	54.4	57.0	83.5	104.0	86.0	75.0	48.0	51.0	25.0	114.5
2	起年日	2020 23	1979 23	2012 23	1955 15	2016 3	2018 29	1982 23	2019 28	2004 16	2016 8	1957 10	2016 22	2011 8月23日
	値 (mm)	30.0	34.0	37.4	43.5	57.0	73.0	90.0	79.5	72.1	47.0	45.5	25.0	108.0
	起年日	1990 29	1979 22	1953 10	2017 17	1992 15	1985 25	1959 15	2014 15	1962 3	2013 10	1972 3	1992 7	1989 7月28日

第5表 日最大瞬間風速の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	値 (m/s)	31.1	32.3	27.6	30.0	25.0	34.6	42.7	53.2	49.5	42.5	28.9	28.5	53.2
	風向 (16方位)	北西	南	北	南	南	南東	南南東	南	北西	北北東	北北東	北西	南
	起年日	1968 14	1965 20	1965 17	1987 21	1961 28	2003 19	1991 29	1987 31	1991 27	1951 14	1962 16	2005 17	1987 8月31日
2	値 (m/s)	30.2	30.0	27.3	26.1	24.8	29.2	34.1	44.3	42.8	34.6	28.1	28.3	49.5
	風向 (16方位)	北	北	西北西	北	北北東	南	南東	南南東	南東	北	北西	北西	北西
	起年日	2002 2	1968 15	1977 4	1985 12	1988 7	1963 20	1989 28	1993 10	2020 7	1951 15	1995 7	2005 22	1991 9月27日
3	値 (m/s)	29.0	29.9	26.5	25.4	24.7	26.8	33.4	42.4	42.8	32.7	25.6	27.0	44.3
	風向 (16方位)	北西	北北西	南	南	南	北	南南東	北	北北西	北	北	北西	南南東
	起年日	1965 11	1992 1	1967 26	1974 7	1990 31	1997 28	1974 6	2004 30	1991 14	2004 20	1967 20	2005 21	1993 8月10日

第6表 月最深積雪の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2018

順位	月												年
	1	2	3	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
1	値 (cm)	12	7	2	-	6	6	2	-	12	6	12	12
	起年日	1959 18	1966 6	1972 4	-	1967 30	1966 6	1969 13	-	1967 30	1966 21	1959 1月18日	1966 2月6日
2	値 (cm)	6	6	2	-	6	6	2	-	2	2	7	7
	起年日	1963 22	1968 21	1969 13	-	1966 21	1968 21	1969 13	-	1966 21	1966 21	1966 2月6日	1966 2月6日
3	値 (cm)	5	3	-	-	3	3	-	-	1	1	6	6
	起年日	1990 24	1978 1	-	-	1978 1	1978 1	-	-	1980 29	1980 29	1968 2月21日	1968 2月21日

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(竜巻)

<目次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.2 気象等
 - 1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)
(別添資料1) 竜巻に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-1) 安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から想定される竜巻に随伴する事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は、 100m/s とし、設計荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重、並びに、安全施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定する。

安全施設の安全機能を損なわないようにするため、安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する安全施設の構造健全性の維持、安全施設を内包する区画の構造健全性の確保、若しくは、飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材、車両等については飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設定する設計飛来物である鋼製材（長さ 4.2m ×幅 0.3m ×奥行き 0.2m 、質量 135kg 、飛来時の水平速度 51m/s 、飛来時の鉛直速度 34m/s ）より大きなものに対し、固縛、固定、竜巻防護施設等からの離隔、建屋内収納又は撤去を実施する。

(2) 安全設計方針

1.8 竜巻防護に関する基本方針

1.8.1 設計方針

(1) 竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重(常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重)を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下
- d. 外気と繋がっている箇所への風の流入

竜巻から防護する施設としては、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器とする。竜巻から防護する施設のうちクラス1、クラス2に該当する構築物、系統及び機器を竜巻における防護対象施設(以下「竜巻防護施設」という。)として竜巻による影響を評価し設計する。また、竜巻防護施設を内包する施設についても同様に竜巻による影響を評価し設計する。クラス3に属する施設は、損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持されることから、竜巻による影響を評価する対象から除外する。竜巻防護施設については、「1.8.1(3) 竜巻防護施設」にて記載する。竜巻防護施設を内包する施設については、「1.8.1(4) 竜巻防護施設を内包する施設」にて記載する。竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、「1.8.1(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設」にて記載する。

竜巻に対する防護設計を行う、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を「竜巻防護施設等」という。

竜巻防護施設の安全機能を損なわないようにするため、竜巻防護施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性の維持、竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する竜巻防護施設の構造健全性の維持又は竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保において、それらを防護するために設置する竜巻における防護対策施設（以下「竜巻防護対策施設」という。）は、竜巻防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から竜巻防護施設を防護できる設計とする。

(2) 設計竜巻の設定

「添付書類六 7.9 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は 92m/s とする。

設計竜巻の設定に際して、玄海原子力発電所は敷地が平坦であるため、地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）に対する設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、兼用キャスク告示に定める 100m/s とする。

(3) 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、建屋又は構築物（以下「建屋等」という。）に内包され、外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。）、建屋等に内包されるが設計竜巻荷重の影響から防護が期待できない施設（以下「建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」という。）、建屋等に内包されるため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重の影響から防護されるが、外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「建屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。）に分類し、以下のように抽出する。

・建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

建屋等に内包されるが防護が期待できない施設は、「1.8.1 (4) 竜巻防護施設を内包する施設」として抽出した建屋等の構造健全性の評価を行い、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設を抽出する。

・建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋内の施設で外気と繋がっている施設を以下のとおり抽出する。

・換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

竜巻防護施設のうち、屋外施設を以下のとおり抽出する。

・海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

・海水ストレーナ

・排気筒

(4) 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する主な施設を、以下のとおり抽出する。

・原子炉格納容器（原子炉容器他を内包する建屋）

・原子炉周辺建屋（使用済燃料ピット他を内包する建屋）

・原子炉補助建屋（余熱除去ポンプ他を内包する建屋）

・燃料取替用水タンク建屋（燃料取替用水タンク他を内包する建屋）

・燃料油貯油そう基礎（燃料油貯油そうを内包する構築物）

・燃料油貯蔵タンク基礎（燃料油貯蔵タンクを内包する構築物）

・海水ポンプエリア防護壁（海水ポンプ他を内包する構築物）

・海水ポンプエリア水密扉（海水ポンプ他を内包する構築物）

・使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包する建屋）

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設に隣接し倒壊等により竜巻防護施設に影響を及ぼし得る施設並びに建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び外気と繋がっている施設が設計荷重による損傷により竜巻防護施設の機能維持に影響を及ぼし得る施設を竜巻防護施設

設に波及的影響を及ぼし得る施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(竜巻による倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設)

- ・廃棄物処理建屋
- ・タービン建屋
- ・橋型クレーン

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設)

- ・主蒸気逃がし弁 (消音器)
- ・主蒸気安全弁 (排気管)
- ・タービン動補助給水ポンプ (蒸気大気放出管)
- ・ディーゼル発電機 (吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうベント管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備)

- ・換気空調設備 (蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ)

(6) 設計飛来物の設定

プラントウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

竜巻防護施設等 (使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。) への設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して鋼製材を設定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器への設計飛来物については、発電所敷地内外からの飛来物を考慮し、飛来した場合の運動エネルギー及び貫通力を踏まえ大型車

両を設定する。なお、浮き上がらないが横滑りする可能性のある資機材については、摩擦や転倒により運動エネルギーが大幅に減衰するため考慮しない。

第1.8.1表に玄海原子力発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、プラントウォークダウンにより抽出した飛来物や持ち込まれる資機材、車両等の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻防護対策施設に与えるエネルギーが設計飛来物によるものより大きく、竜巻防護施設を防護ができない可能性があるものは固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設からの離隔、建屋内収納又は撤去の対策を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

(7) 荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため、竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重の算出、設計竜巻荷重の組合せの設定、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

a. 竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により竜巻防護施設等に作用する荷重として「風圧力による荷重 (W_w)」、「気圧差による荷重 (W_p)」及び「設計飛来物による衝撃荷重 (W_m)」を以下に示すとおり算出する。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の最大風速による荷重であり、「建築基準法施行令」(昭和25年11月16日政令第338号)、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号(平成12年5月31日)に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数 (施設の形状や風圧力が作用する部位 (屋根・壁等) に応じて設定する。)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ここで、

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してぜい弱と考えられる竜巻防護施設等が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(b) 気圧差による荷重 (W_p)

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる竜巻防護施設等の内外の気圧差による圧力荷重が発生し、保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A$$

ここで、

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{\max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物が竜巻防護施設等に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

b. 設計竜巻荷重の組合せ

竜巻防護施設等の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_p) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

なお、竜巻防護施設等には、 W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

c. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 竜巻防護施設等に常時作用する荷重及び運転時荷重

竜巻防護施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は、積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり⁽¹¹⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

i. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

ii. 雪

影響の程度として竜巻は、数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

iii. ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その質量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は 59m/s ⁽¹²⁾、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

iv. 雨

竜巻と雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(c) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重との組合せは考慮しない。

仮に、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる設備として

は動的機器である海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても海水ポンプの圧力及び温度が変わらず、運転時荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

d. 許容限界

建屋・構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本工業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 時刻歴応答解析 建築物性能評価業務方法書（日本建築センター）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本工業規格
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）

(8) 竜巻防護施設等の防護設計方針

竜巻防護施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋が

っている施設を除く。)

竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、建屋等による防護により設計荷重による影響を受けない設計とする。

ただし、建屋等による防護が期待できない場合には「b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」のとおりとする。

- b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
建屋等に内包される竜巻防護施設のうち、建屋等が設計竜巻の影響により健全性が確保されず、貫通又は裏面剥離が発生し安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋に内包され防護される竜巻防護施設のうち、外気と繋がる施設は、設計荷重の影響を受けても、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の竜巻防護施設は、設計荷重による影響により安全機能を損なわない設計とする。安全機能を損なう場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- d. 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する施設は、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通及び裏面剥離の発生により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- e. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても竜巻防護施設に影響を与えないように、設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

以上の竜巻防護施設等の防護設計を考慮して、設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等を第1.8.2表に、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等を第1.8.3表に、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻対策等を第1.8.4表に示す。

(9) 竜巻防護施設を内包する施設の設計

竜巻防護施設を内包する施設の設計においては、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- a. 原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、設計荷重による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施する。

- b. 燃料油貯油そう基礎及び燃料油貯蔵タンク基礎

設計飛来物が衝突した際に、設計飛来物の貫通を防止するとともに、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- c. 海水ポンプエリア防護壁及び海水ポンプエリア水密扉

設計荷重に対して、構造健全性を維持し当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通又は裏面剥離の発生により、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(10) 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設的设计

竜巻防護施設は、構造健全性を損なわないこと又は取替・補修が可能なことにより、安全機能を損なわない設計とする。また、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、構造健全性を維持すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

建屋等内の竜巻防護施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、燃料油貯油そう基礎、燃料油貯蔵タンク基礎、海水ポンプエリア防護壁又は海水ポンプエリア水密扉に内包され、設計荷重から防護されることによって、安全機能を損なわない設計とする。

b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟は、設計飛来物の衝突に対して壁に貫通が発生することを想定し、燃料取扱棟内部の竜巻防護施設で、設計荷重により影響を受ける可能性がある使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

また、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋については、設計荷重により、開口部の開放又は開口部建具に貫通が発生することを考慮し、開口部建具付近の竜巻防護施設のうち、設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性があるディーゼル発電機他が安全機能を損なわない設計とする。

(a) 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入すると想定した場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、

ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮へい機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とし、使用済燃料ピット水による減速及び使用済燃料ラックにより、使用済燃料ラックに保管される燃料集合体の構造健全性が維持される設計とする。

(b) ディーゼル発電機他

ディーゼル発電機他は、設計飛来物が原子炉周辺建屋又は原子炉補助建屋の開口部建具を貫通し、ディーゼル発電機他に衝突し影響を受けることを考慮して、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋の開口部（竜巻防護施設を設置している区画の出入口扉、点検扉等）に竜巻防護対策施設を設置することにより、設計飛来物のディーゼル発電機他への衝突を防止し、ディーゼル発電機他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

(a) 換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

換気空調設備が原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋に内包されていること並びに竜巻防護対策施設により防護されることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

海水ポンプ（配管及び弁を含む。）は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）に常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(c) 海水ストレーナ

海水ストレーナは、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ストレーナに常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(d) 排気筒

排気筒は、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。

d. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(a) 主蒸気安全弁（排気管）

主蒸気安全弁（排気管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気安全弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(b) 主蒸気逃がし弁（消音器）

主蒸気逃がし弁（消音器）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気逃がし弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(c) タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）

タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりタービン動補助給水ポンプに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(d) ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうべント

管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうベント管及び燃料油貯蔵タンクベント管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

また、ディーゼル発電機（タンクローリ）は、飛来物が衝突したとしても、貫通及び裏面剥離を生じない部材厚さがあり、さらに風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に耐え得る強度を有するタンクローリの車庫等の中に設置し、タンクローリ 2 台を確実に確保することによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(e) 廃棄物処理建屋及びタービン建屋

廃棄物処理建屋及びタービン建屋については、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

(f) 橋型クレーン

橋型クレーンは、竜巻の襲来が予想される場合には、運転を中止し、停留位置に固定することにより、橋型クレーンが損傷したとしても海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに衝突しない離隔を確保し、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(g) 換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）

換気空調設備のうち飛来物により損傷する可能性のある施設は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。

換気空調設備が竜巻防護施設を内包する施設である原子炉補助建屋（3号炉）及び原子炉周辺建屋（4号炉）に内包されていること並びに竜巻防護対策施設によって防護されることを考慮すると、設計竜巻荷重のうち風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。換気空調設備は、気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全

性を維持し安全機能を損なわない設計とし、竜巻防護施設である蓄電池に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(11) 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から、想定される事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生する場合においても、竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

a. 火 災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物資を内包する機器に衝突する場合、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器はなく、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはない。

建屋外については、屋外にある危険物タンク等からの火災がある。竜巻防護施設は外部火災防護施設に包含されていることから、火災源と外部火災防護施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部火災防護施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

火災が発生した場合は、火災防護計画に定める火災発生時の対応を実施することから、竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

b. 溢 水

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合、屋外タンクに飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計竜巻により飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突し、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源がないこと、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはないこと、建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

建屋外については、竜巻による飛来物の衝突による屋外タンクの破損に

伴う溢水を想定し、溢水防護対象設備のうち溢水の影響を受ける設備が安全機能を損なわない設計とすることを「1.7 溢水防護に関する基本方針」に記載する。

c. 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバーストの影響により外部電源喪失が発生する場合には、設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

1.8.2 手順等

竜巻に対する防護については、竜巻に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

- (1) 屋外の作業区画で飛散する恐れのある資機材、車両等については、飛来時の運動エネルギー等を評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設へ影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設から離隔、建屋内収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。
- (2) 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、竜巻防護施設を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順を定める。

第 1.8.1 表 玄海原子力発電所における設計飛来物

飛来物の種類	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	135	51	34
大型車両	長さ×幅×高さ 12.0×2.5×3.75	15,400	42	28

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (1 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等	
海水ポンプ(配管及び弁含む。)海水ストレーナ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との隔離 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	施設を内包する施設 竜巻防護対策施設	—	水密扉の閉止確認	
排気筒			—	鋼製材	補修	
使用済燃料ピット			—	鋼製材	—	
ディーゼル発電機他			—	鋼製材	—	防護扉の閉止確認
			—	鋼製材	—	—

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (2 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
換気空調設備(アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御御室空調系、格納容器排気系、安全補機室換気機室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及びダクト及び外気排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンプ・パタフライ弁)	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設他との離隔 • 建屋内収納 • 撤去 	施設を内包する施設	—	—
クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち上記以外の建屋・構築物内の施設			施設を内包する施設	—	—
クラス 3 に属する施設			—	—	代替設備の確保、補修・取替等

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（1／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
廃棄物処理建屋 タービン建屋	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設他との離隔 • 建屋内収納 • 撤去 	—	鋼製材	—
橋型クレーン			—	鋼製材	竜巻襲来が予測される場合の運転停止及び停置位置への移動
換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）			施設を内包する施設 防護扉他	—	防護扉の閉止確認

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（2／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
主蒸気逃がし弁（消音器） 主蒸気安全弁（排気管） タービン補助給水ポンプ（蒸気放気管） ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯蔵タンク、排気管及び燃料油貯蔵タンク）	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との離隔 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	—	鋼製材	補修等
ディーゼル発電機（タンクローリ）			車庫等 入口扉	—	入口扉の閉止確認

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜 巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

1.2 気象等

7.9 竜巻

7.9.1 竜巻

竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)を参照して実施する。

安全施設(兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器(以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。))を除く。)に対する基準竜巻及び設計竜巻の設定は、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示(平成31年4月2日原子力規制委員会決定)」に定める100m/sとする。

7.9.1.1 竜巻検討地域の設定

玄海原子力発電所が立地する地域と、気象条件の類似性の観点及び局所的な地域性の観点で検討を行い、竜巻検討地域を設定する。

(1) 気象総観場毎の整理

気象条件の類似性の観点では、気象総観場毎の竜巻発生場所を整理し、玄海原子力発電所と類似の地域を抽出する。気象総観場は、気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を基に、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果(以下「東京工芸大学委託成果」という。)⁽¹⁾を参考に、低気圧、台風、停滞前線、局地性降雨(局地性擾乱、雷雨含む)、季節風及びその他の6つに分類する。なお、低気圧には、気圧の谷、暖気の移流、寒気の移流及び前線(停滞前線除く)を含めている(第7.9.1.1図)。

低気圧起因の竜巻は日本全国で発生しており、地域性はないと判断する(第7.9.1.2図)。

次に、停滞前線起因の竜巻は、北海道を除く地域で発生している(第7.9.1.3図)。同様に、台風起因の竜巻は九州から太平洋側の地域で発生している(第7.9.1.4図)。残る局地性降雨、季節風及びその他の竜巻は、日本全国で発生していると判断する。

(2) 抽出した地域を対象とした竜巻発生頻度等の分析

竜巻発生 of 地域性が見られる停滞前線起因と台風起因の発生エリアの

重なりを考慮すると、九州・山口及び太平洋側沿岸において類似性がある。そこで、この九州・山口及び太平洋側沿岸を基本として、竜巻の発生頻度の観点から竜巻検討地域の検討を行う。

九州・山口及び太平洋側沿岸の海岸線から海側陸側各 5 km の範囲を対象として、単位面積当りの竜巻発生数のエリア毎の比較を示す（第 7.9.1.5 図及び第 7.9.1.1 表）。なお、竜巻の数は、台風に限定せず全ての気象要因による発生数である。

これらより、九州から太平洋側沿岸に拡げていくと、九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県に当る①+②+③+④のケースが単位面積当りの竜巻発生数が最も大きくなる。

次に、各ケースに含まれる F スケールが比較的大きな竜巻（F1～F2 以上）の発生数について、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）まで拡げることで F2～F3 などの大きな竜巻も取込めていることがわかる（第 7.9.1.2 表）。

(3) 集中地域における竜巻の発生頻度の確認

局所的な地域性の観点では、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽²⁾に、全国 19 個の竜巻集中地域が示されており、玄海原子力発電所は、いずれの集中地域にも含まれない。なお、玄海原子力発電所に最も近い集中地域⑧（第 7.9.1.6 図）について、海側陸側各 5 km の範囲を対象とした単位面積当りの竜巻発生数及び F スケール規模の大きい竜巻の発生状況の分析結果から、単位面積当りの竜巻発生数は、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）の地域を若干上回るものの、F スケール規模の大きな竜巻が発生していないことを確認している（第 7.9.1.3 表、第 7.9.1.4 表）。

(4) 竜巻検討地域

九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県の海岸線から、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）。第 7.9.1.7 図に竜巻検討地域を示す。

7.9.1.2 基準竜巻の最大風速の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（ V_{B2} ）のうち、大きな風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては、現時点では、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を、十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できるだけの知見を有していないことから、日本で過去に発生した竜巻の観測データを用いて設定する。

なお、今後も地域特性に関する検討、新たな知見の収集やデータの拡充などに取り組み、より信頼性のある評価が可能なように努力する。

日本で過去に発生した最大の竜巻はF3 スケールである。F3 スケールにおける風速 $70\text{m/s} \sim 92\text{m/s}$ であることから、その最大風速を基に過去に発生した最大の竜巻の最大風速 V_{B1} を 92m/s とする。第 7.9.1.5 表に日本における F3 スケールの竜巻一覧を示す。

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、ガイドに従い、既往の算定方法に基づき、具体的には、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照して算定する。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定、並びにハザード曲線の算定によって構成される。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに細分化した場合の評価の 2 通りで算定し、そのうち大きな風速を設定する。

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

b. 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、1961 年～2012 年 6 月までの 51.5 年間の統計量を F スケール別に算出する。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の (a)～(c) の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

(a) 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F スケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な F1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる F2 及び F3

竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数及び標準偏差を用いる。

また、F スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での F スケール不明の竜巻は、被害が少ない F0 竜巻と見なす。

海上で発生しその後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上 5 km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5 km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各 F スケールに分類する。その結果、F スケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第 7.9.1.6 表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

c. 年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し、使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には、ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないが稀な現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、発生状況が必ずしも独立でない稀現象（ある現象が生ずるのは稀であるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば、伝染病の発生件数）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

玄海原子力発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果、竜巻検討地域においても、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れている。

d. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さ

を基に、確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照し、対数正規分布に従うものとする(第7.9.1.8～10図)。

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅又は被害長さが0のデータについては計算に用いておらず、保守的な評価を行っている。

このように、前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

また、1961年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める(第7.9.1.7表)。

e. 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、玄海原子力発電所3号炉及び4号炉はツインプラントであり建屋及び設備が隣接しているため、3号炉及び4号炉の合計値として評価することとする。玄海原子力発電所3号炉及び4号炉の評価対象施設の面積(第7.9.1.8表)及び設置位置を考慮して、評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径360m、面積約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$)として設定する(第7.9.1.11図)。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

f. ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。

前述のとおり、竜巻の年発生数の確率密度分布としては、ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(a)で示される(Wen and Chu⁽³⁾)。

$$P_r(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (a)$$

ここで、Nは竜巻の年発生数、 ν は竜巻の年平均発生数、Tは年数である。 β は分布パラメータであり式(b)で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu} \quad (b)$$

ここで、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。

竜巻影響評価となる対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象を D と定義し、竜巻影響評価の対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とした時、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式 (c) で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)T]^{1/\beta} \quad (c)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式 (d) で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (d)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式 (d) により $R(V_0)$ を推定して、式 (c) により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅を w 、被害長さを l 及び移動方向を α とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は、式 (e) で示される (Garson et al. (4))。

$$\begin{aligned} E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha \\ & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\ & + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV \end{aligned} \quad (e)$$

ここで、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は、それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方

向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため、H及びGともに竜巻影響エリアの直径 360m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。Sは竜巻影響エリアの面積（直径 360m の円の面積：約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$ ）を表す。円の直径をLとした場合の計算式は式（f）で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 & + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned} \tag{f}$$

また、風速の積分範囲の上限値は、ハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として、120m/s に設定する。

また、 $W(V_0)$ は、竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅であり、式（g）で示される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている（Garson et al. ⁽⁴⁾、Garson et al. ⁽⁵⁾）。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{g}$$

ここで、係数の 1.6 について、既往の研究では、例えば 0.5 又は 1.0 などの値も提案されている。ガイドにて参照している Garson et al. ⁽⁵⁾では、観測値が不十分であるため保守的に 1.6 を用いることが推奨されており、本評価でも 1.6 を用いる。また、玄海原子力発電所の竜巻影響評価では、ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値等を設定している。ランキン渦モデルは、高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため、地表から上空まで式（g）を適用できる。なお、式（g）において係数を 1.0 とした場合がランキン渦モデルに該当する。

また、 V_{\min} は、Gale intensity velocity と呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置づけられる。Garson et al. ⁽⁵⁾では、 $V_{\min} = 40 \text{mph} \doteq 18 \text{m/s}$ ($1 \text{mph} \doteq 1.61 \text{km/h}$) を提案している。米国気象局 NWS (National

Weather Service) では、Gale intensity velocity は 34~47 ノット (17.5~24.2m/s) とされている。また、気象庁が使用している風力階級では、風力9は大強風 (strong gale : 20.8~24.4m/s) と分類されており、風力9では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。

以上を参考に、本評価においては、 $V_{min}=25\text{m/s}$ とする。なお、この値は F0 (17~32m/s) のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、69.7m/s となる (第 7.9.1.12 図)。

g. 1 km 範囲ごとに細分化した評価

1 km 範囲ごとに細分化した評価は、1 km 幅は変えずに順次ずらして移動するケース (短冊ケース) を設定して評価する。評価の条件として、被害幅及び被害長さは、それぞれ 1 km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、陸側 4~5 km を対象とした場合の 76.0m/s が最大となる (第 7.9.1.13 図)。

h. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

海側及び陸側それぞれ 5 km 全域の評価と、1 km 範囲ごとに細分化した評価を比較して、竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は、ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし、76.0m/s とする (第 7.9.1.14 図)。

(3) 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=76.0\text{m/s}$ より、玄海原子力発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。

7.9.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

(1) 玄海原子力発電所周辺の地形

玄海原子力発電所敷地周辺の地形を第 7.9.1.15 図に示す。

Forbes⁽⁶⁾によると、下り斜面又は山裾で竜巻の強さは増すことが確認されている。また、Lewellen⁽⁷⁾では、山及び谷の地形を考慮したシミュレーションを行い、Forbes⁽⁶⁾の知見と合致する結果を得ている。

玄海原子力発電所の敷地内は、海側からも陸側からも高低差は小さくほぼ平坦であり、敷地境界外では、陸側から海側に向かってごく緩やかに下がっているが、前述の知見である下り斜面又は山裾に該当する地形は存在しない。

(2) 九州北部地域で過去に発生した竜巻の移動方向

玄海原子力発電所が立地する九州北部地域で過去に発生した竜巻のうち、移動方向が記録されている 8 個の竜巻について、移動方向の実績を整理する（第 7.9.1.16 図）。

その結果、北北東～南向きに集中しており、陸側から発電所に到来する方向（西向きに移動する方向）を記録した竜巻は確認されていない。

竜巻の移動方向の分析結果から、玄海原子力発電所への竜巻の進入ルートは、地形が平坦な海側からとなる可能性が高い（第 7.9.1.17 図）。

(3) 設計竜巻の最大風速

玄海原子力発電所において、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが、基準竜巻の最大風速の数値を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

7.9.1.4 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速（ V_D ）より米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルを仮定して設定する。（第 7.9.1.9 表）

(1) 設計竜巻の移動速度（ V_T ）

設計竜巻の移動速度（ V_T ）は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）

設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、以下の算定式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル⁽¹⁾に準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max}) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ここで、 ρ は空気密度 ($1.22\text{kg}/\text{m}^3$) を示す。

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$$

第 7.9.1.1 表 単位面積当りの竜巻発生数の比較

		面積 (km ²)	竜巻数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
①	九州 (沖縄含)	51.3×10 ³	197	7.46×10 ⁻⁵
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	60.9×10 ³	235	7.49×10 ⁻⁵
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	74.0×10 ³	288	7.56×10 ⁻⁵
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	85.4×10 ³	336	7.64×10 ⁻⁵
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	89.5×10 ³	339	7.35×10 ⁻⁵

第 7.9.1.2 表 Fスケール「F1～F2」以上の竜巻発生数の比較

		発生数 (個)				
		F1～F2	F2	F2～F3	F3	計
①	九州 (沖縄含)	7	16	2	0	25
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	10	18	2	0	30
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	14	21	3	1	39
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	20	26	5	1	52
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	20	26	5	1	52

第 7.9.1.3 表 気象要因抽出地域と集中地域の単位面積当りの竜巻発生数の比較

	面積 (km ²)	竜巻発生数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
① + ② + ③ + ④	85.4 × 10 ³	336	7.64 × 10 ⁻⁵
集中地域 ⑧	3.2 × 10 ³	14	8.44 × 10 ⁻⁵

第 7.9.1.4 表 気象要因抽出地域と集中地域の F スケールごとの竜巻発生数の比較

	発生数 (個)				
	F1~F2	F2	F2~F3	F3	計
① + ② + ③ + ④	20	26	5	1	52
集中地域 ⑧	1	1	0	0	2

第 7.9.1.5 表 日本における F3 スケールの竜巻一覧
(1961 年～2012 年 6 月)

発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
1971 年 07 月 07 日 07 時 50 分	35 度 52 分 45 秒	139 度 40 分 13 秒	埼玉県浦和市
1990 年 12 月 11 日 19 時 13 分	35 度 25 分 27 秒	140 度 17 分 19 秒	千葉県茂原市
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県豊橋市
2006 年 11 月 07 日 13 時 23 分	43 度 58 分 39 秒	143 度 42 分 12 秒	北海道網走支庁佐呂間町
2012 年 05 月 06 日 12 時 35 分	36 度 6 分 38 秒	139 度 56 分 44 秒	茨城県常総市

第 7.9.1.6 表 竜巻発生数の分析結果

竜巻検討地域 (海岸±5km)	発生数の統計	陸上で発生した竜巻						海上で発生して陸上へ移動した竜巻						海上竜巻	総計
		F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F不明	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	38	76	30	3	14	161	13	40	19	3	7	82	98	341
	平均値(年)	0.74	1.48	0.58	0.06	0.27	3.13	0.25	0.78	0.37	0.06	0.14	1.59	1.90	6.62
	標準偏差(年)	1.85	1.50	0.73	0.24	0.66	2.98	0.52	1.28	0.63	0.24	0.40	1.75	4.78	8.07
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	38	47	12	1	10	108	13	30	9	0	5	57	98	263
	平均値(年)	1.77	2.19	0.56	0.05	0.47	5.02	0.61	1.40	0.42	0.00	0.23	2.65	4.56	12.23
	標準偏差(年)	2.56	1.72	0.75	0.22	0.92	3.58	0.67	1.73	0.67	0.00	0.43	2.07	6.63	10.00
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	10	1	0	6	44	7	3	0	0	3	13	73	130
	平均値(年)	4.91	1.82	0.18	0.00	1.09	8.00	1.27	0.55	0.00	0.00	0.55	2.36	13.27	23.64
	標準偏差(年)	3.73	1.73	0.43	0.00	1.64	5.08	0.80	0.58	0.00	0.00	0.58	1.25	9.12	14.87
疑似 51.5年間 (各竜巻)	期間内総数	253	113	30	3	57	456	66	72	19	3	29	189	684	1,329
	平均値(年)	4.91	2.19	0.58	0.06	1.09	8.83	1.27	1.40	0.37	0.06	0.55	3.64	13.27	25.74
	標準偏差(年)	3.73	1.72	0.73	0.24	1.64	4.48	0.80	1.73	0.63	0.24	0.58	2.10	9.12	10.38

分析結果に基づいて整理した竜巻の発生数

疑似 51.5年間 (全竜巻)	統計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計
	期間内総数	870	355	94	11	0	1,330
	平均値(年)	16.89	6.89	1.83	0.21	0.00	25.83
	標準偏差(年)	6.51	3.22	1.31	0.44	0.00	7.40

第 7.9.1.7 表 竜巻風速、被害幅及び被害長さの相関係数

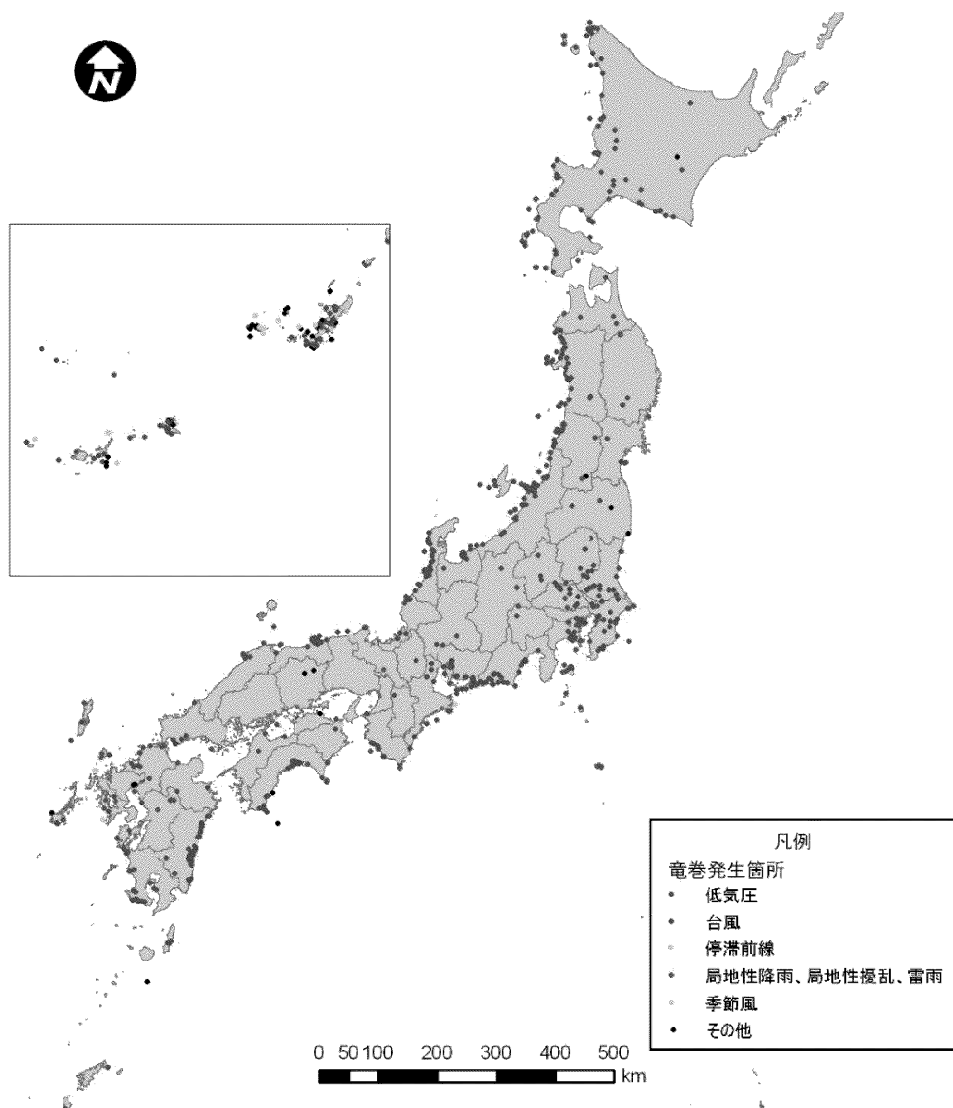
相関係数	風速 (m/s)	被害幅(m)	被害長さ(km)
風速(m/s)	1.000	0.412	0.436
被害幅(m)	—	1.000	0.403
被害長さ(km)	—	—	1.000

第 7.9.1.8 表 評価対象施設の面積

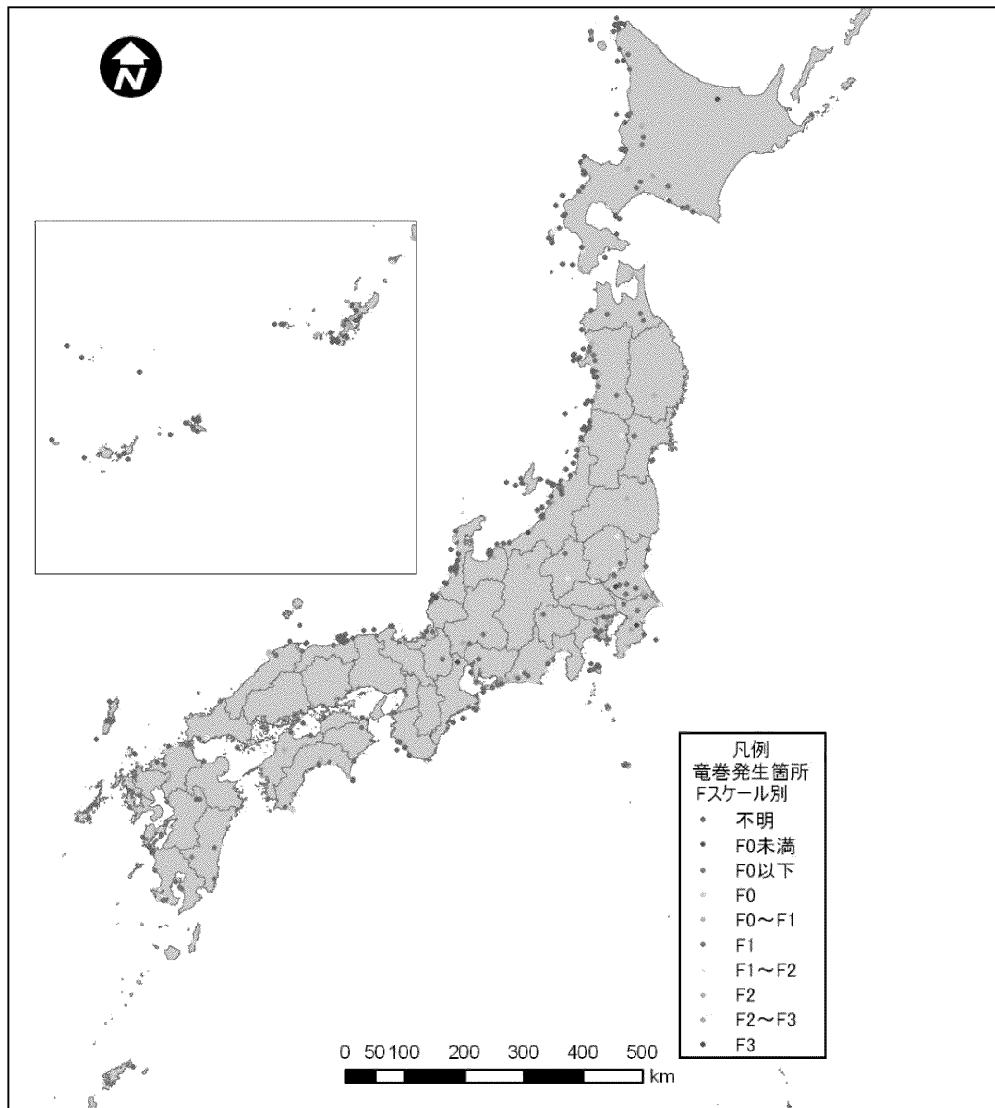
評価対象施設	設置面積 (m ²)		
	3号	4号	計
原子炉格納容器	1,550	1,550	3,100
原子炉周辺建屋	4,510	6,030	10,540
原子炉補助建屋	5,900	—	5,900
タービン建屋	6,570	6,060	12,630
燃料取替用水タンク建屋	1,120	—	1,120
廃棄物処理建屋	1,000	—	1,000
海水ポンプエリア	500	500	1,000
燃料油貯油そう基礎	200	200	400
燃料油貯蔵タンク基礎	230	230	460
合計	21,580	14,570	36,150

第 7.9.1.9 表 設計竜巻の特性値

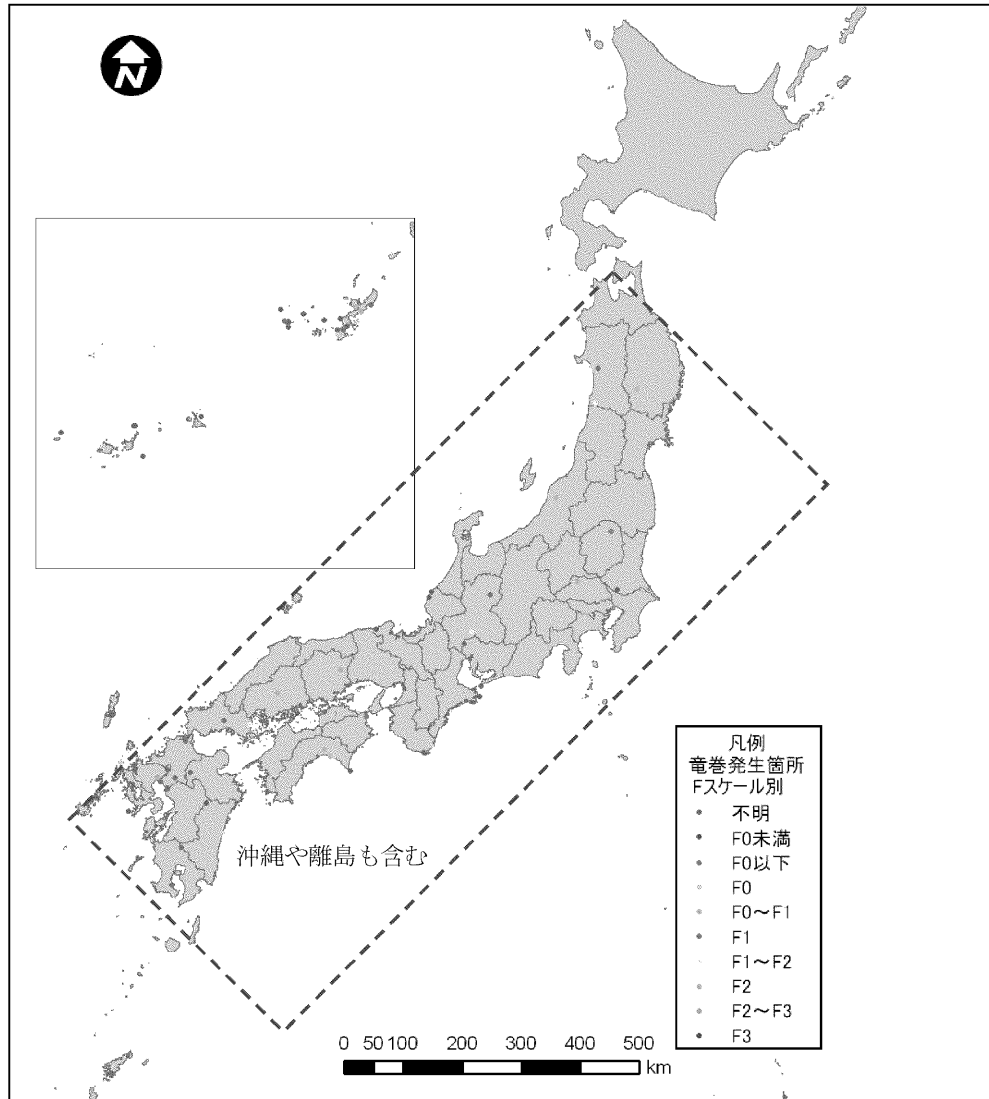
最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45



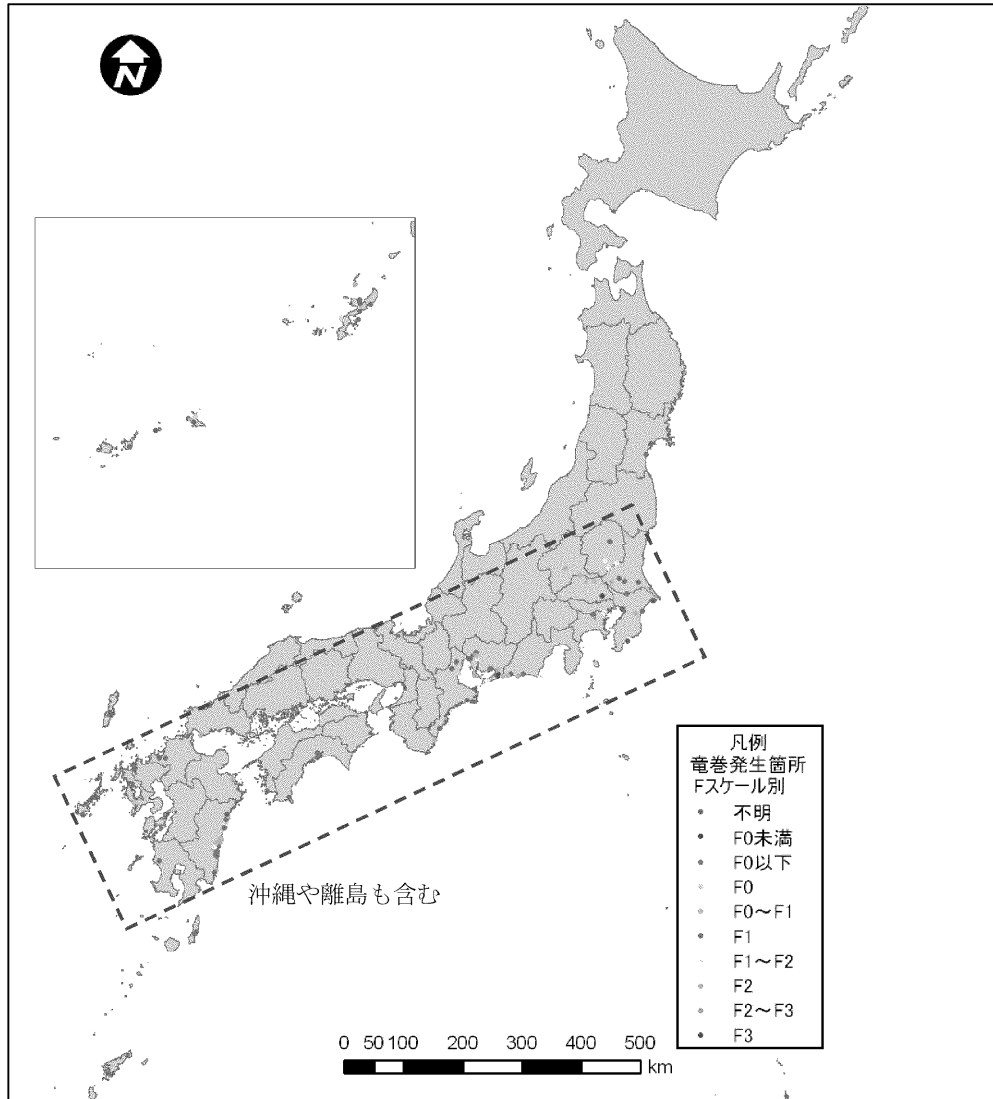
第 7.9.1.1 図 気象要因別の竜巻発生位置



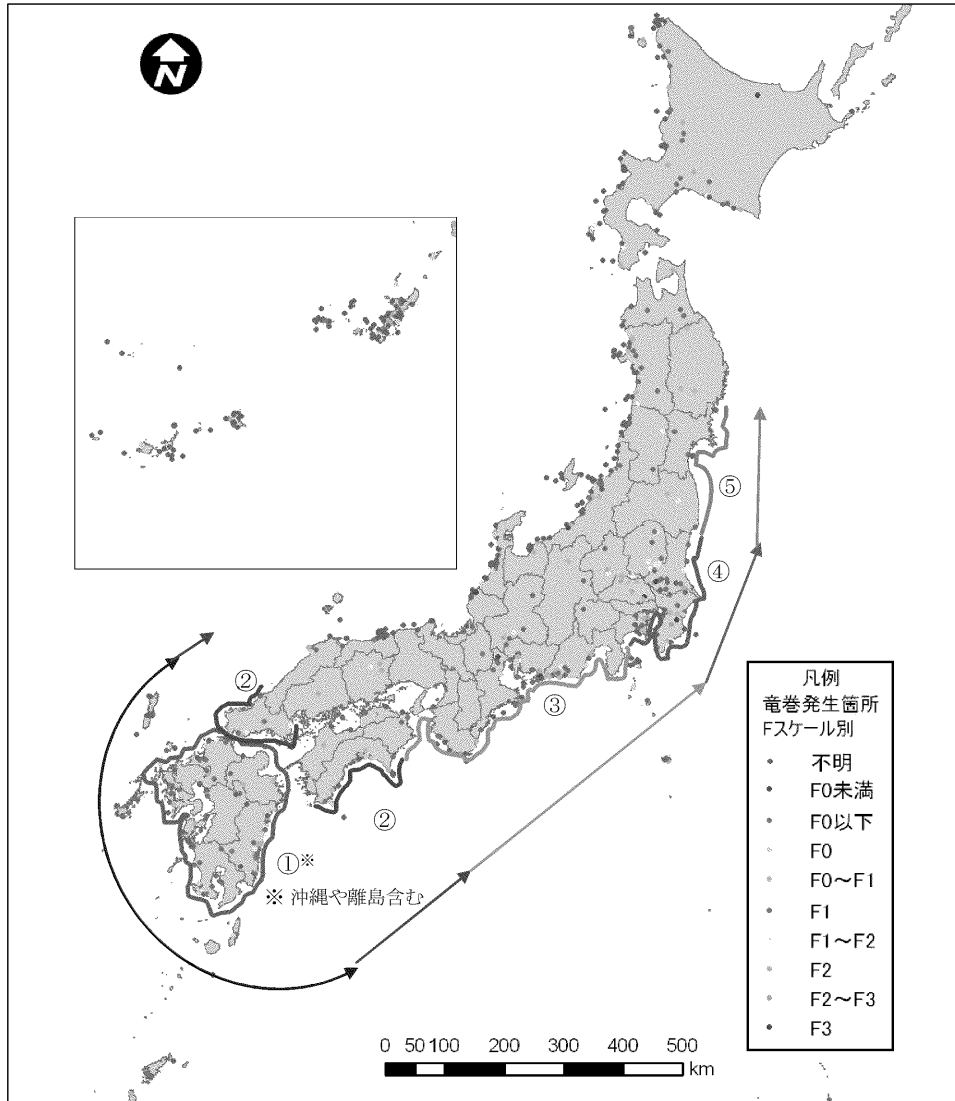
第 7.9.1.2 図 竜巻発生位置（低気圧起因）



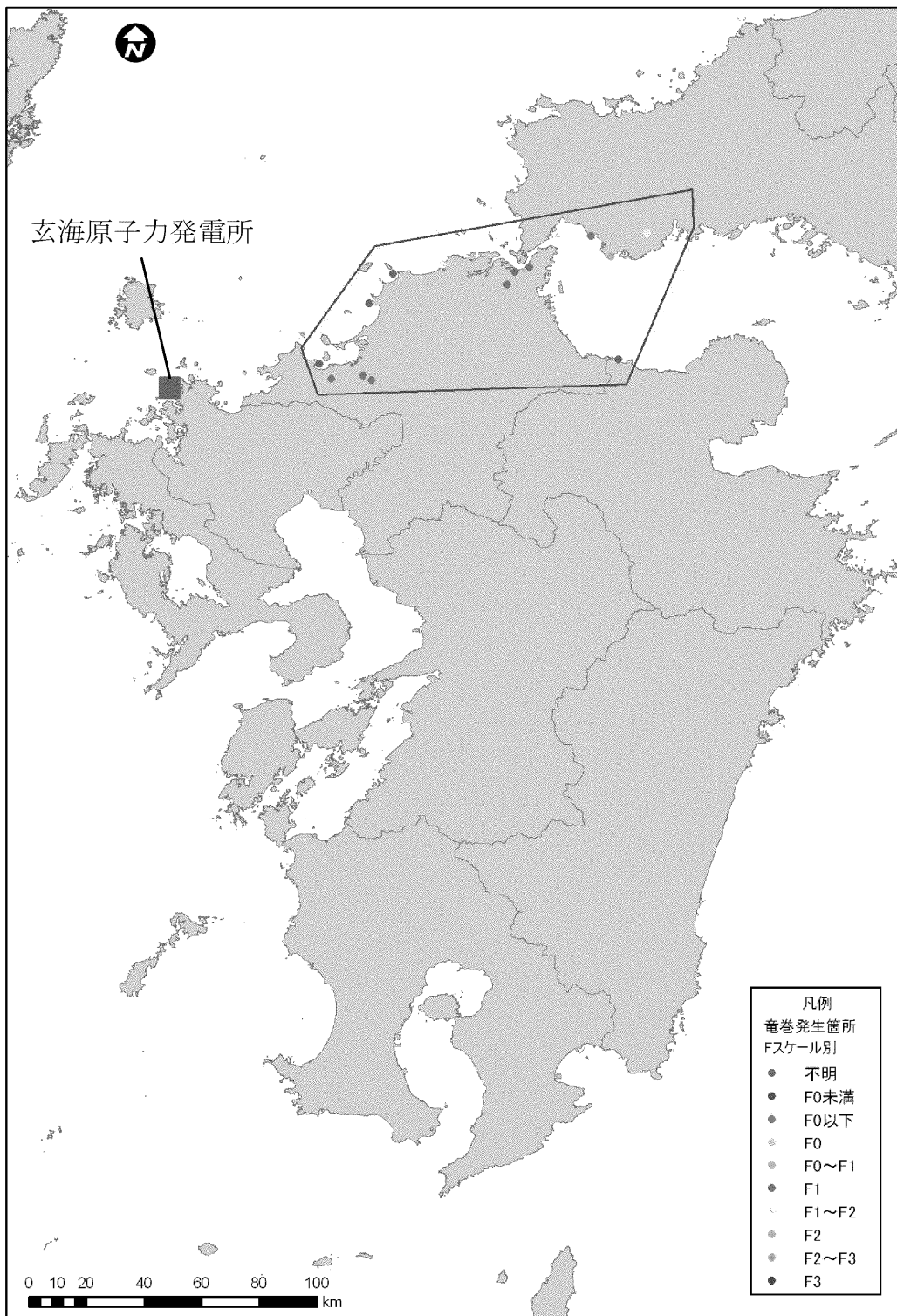
第 7.9.1.3 図 竜巻発生位置 (停滞前線起因)



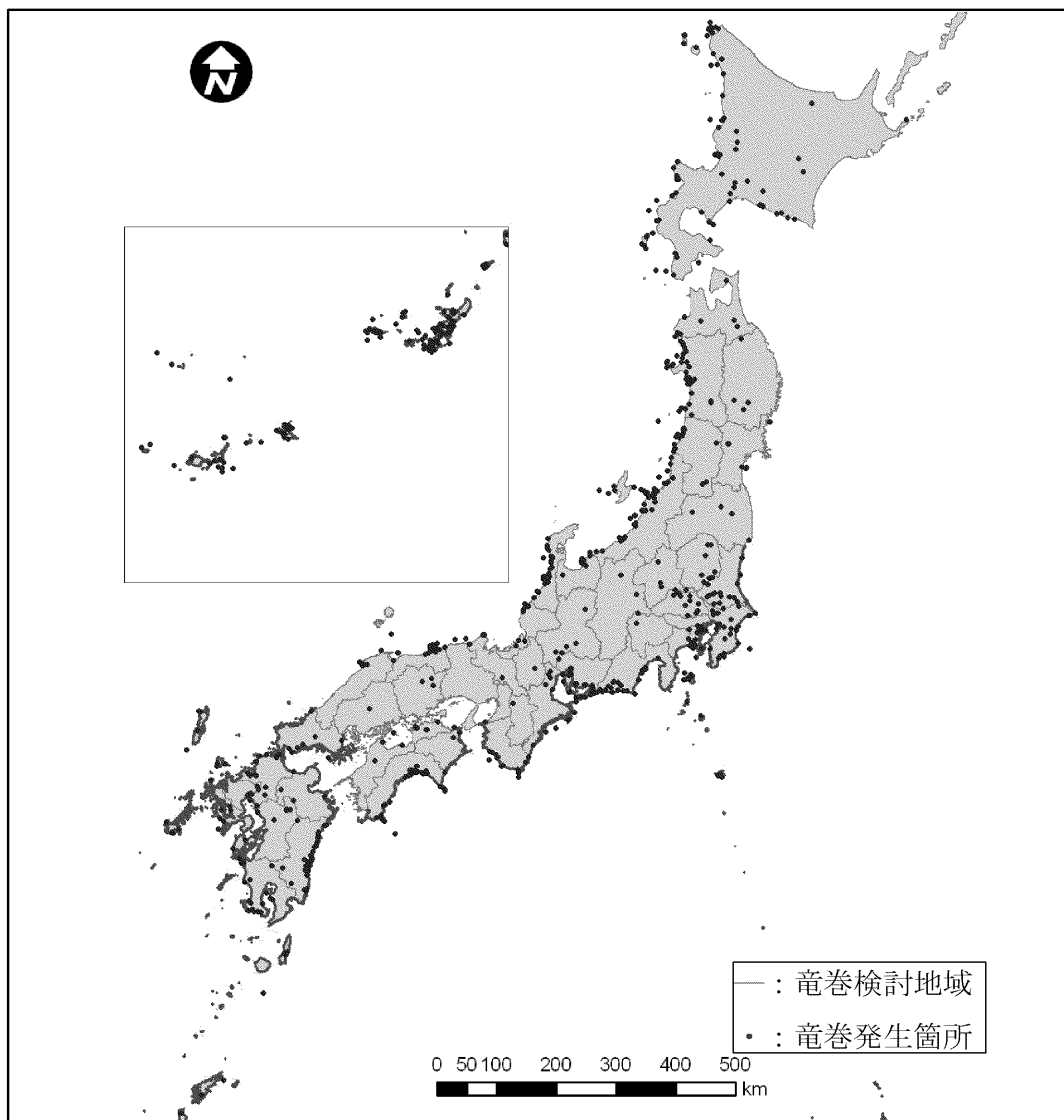
第 7.9.1.4 図 竜巻発生位置（台風起因）



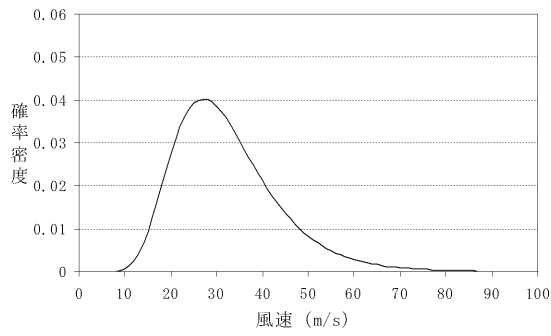
第 7.9.1.5 図 Fスケール別の竜巻発生位置



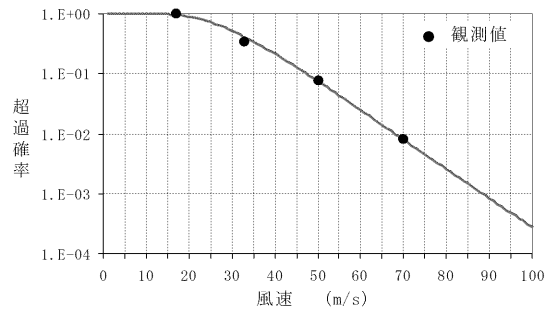
第 7.9.1.6 図 集中地域⑧における F スケール別竜巻発生位置



第 7.9.1.7 図 竜巻検討地域

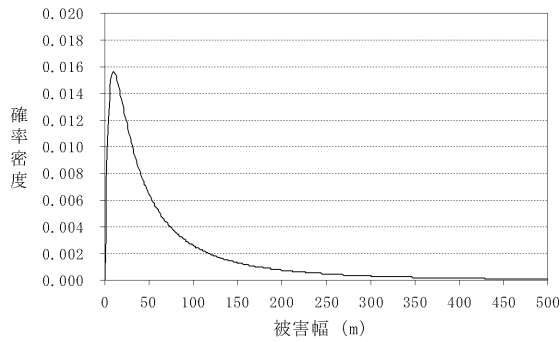


確率密度分布

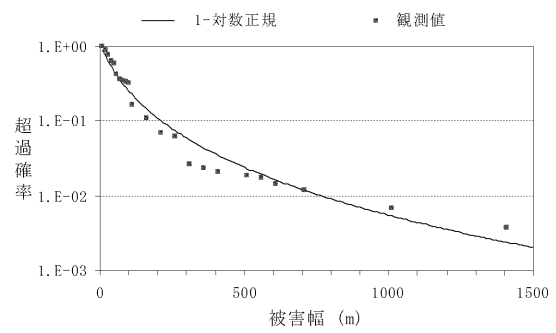


超過確率

第7.9.1.8図 風速の確率密度分布と超過確率

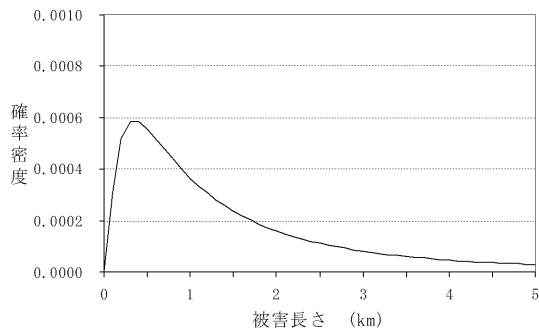


確率密度分布

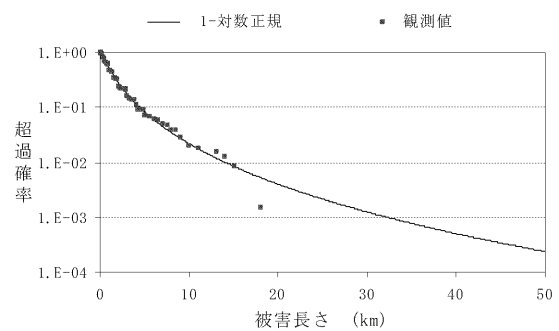


超過確率

第7.9.1.9図 被害幅の確率密度分布と超過確率

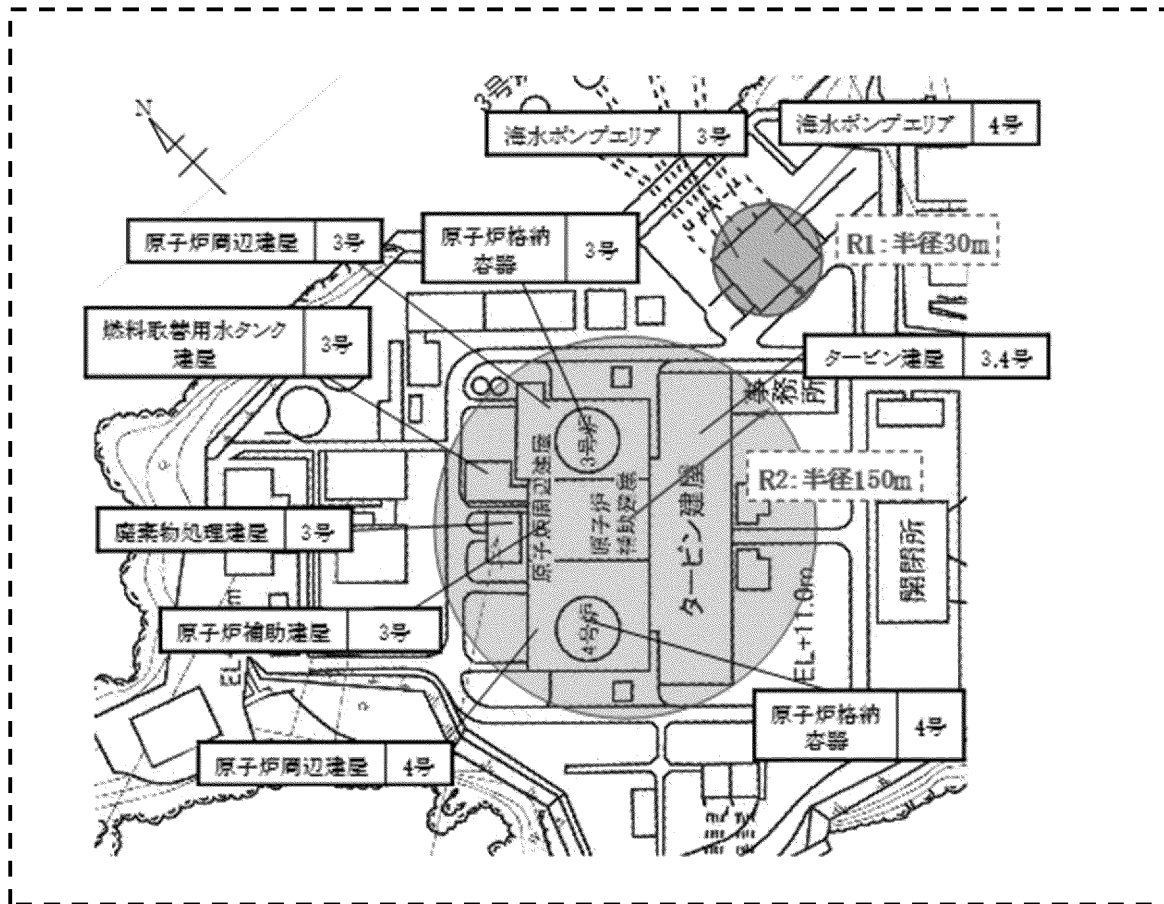


確率密度分布

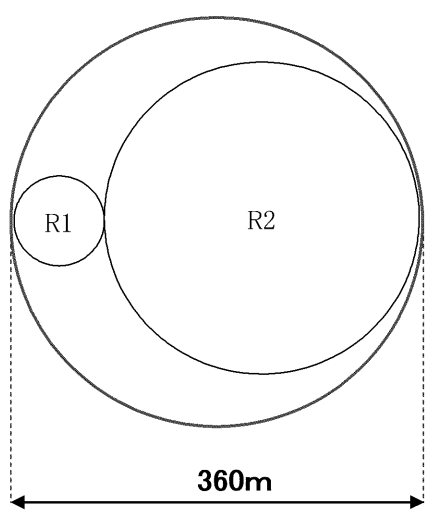


超過確率

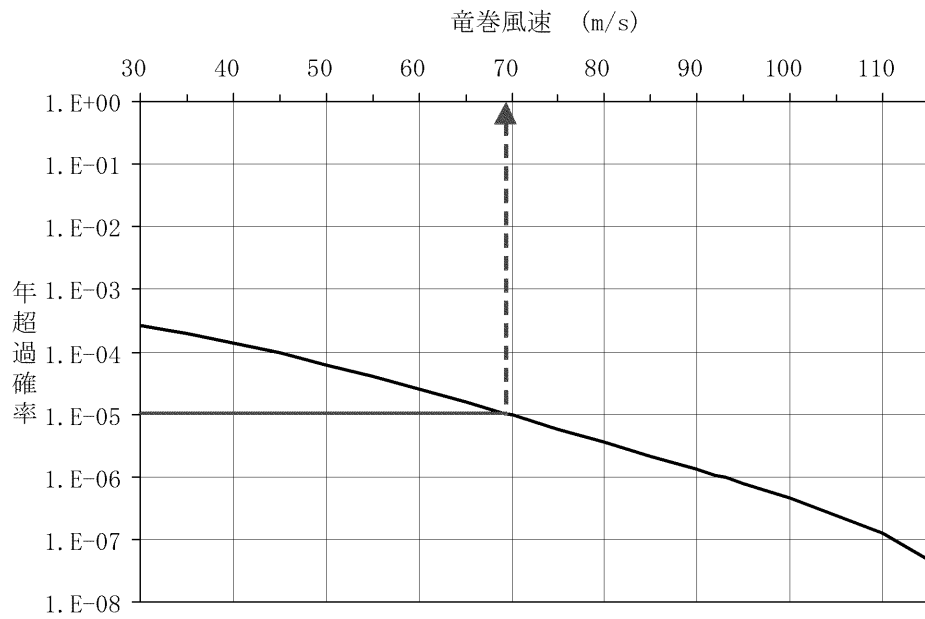
第7.9.1.10図 被害長さの確率密度分布と超過確率



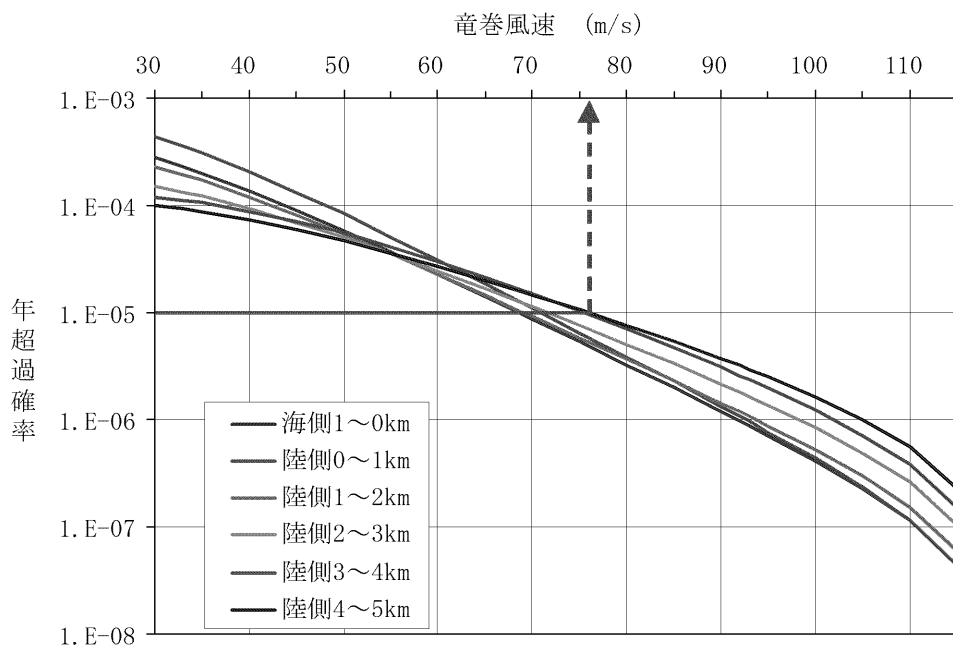
計算上の取扱い



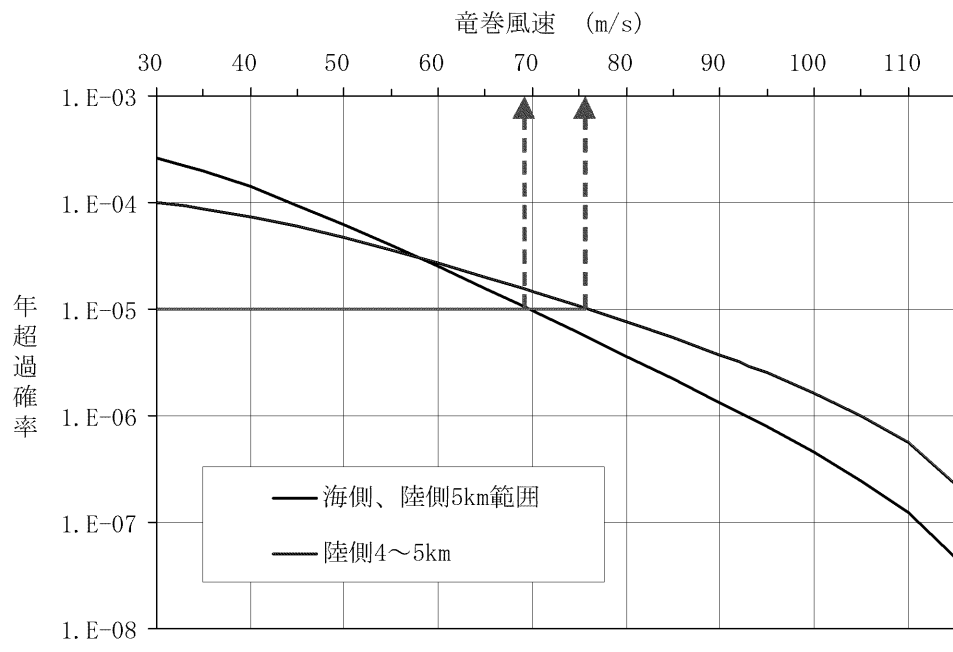
第 7.9.1.11 図 竜巻影響エリア



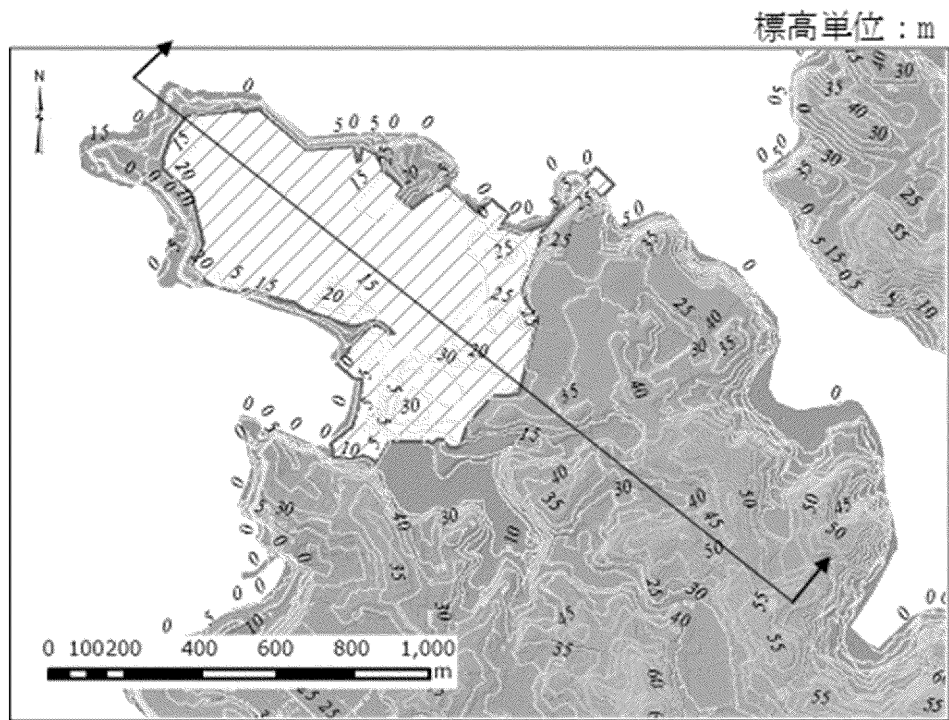
第 7.9.1.12 図 竜巻最大風速のハザード曲線（海側、陸側 5 km 範囲）



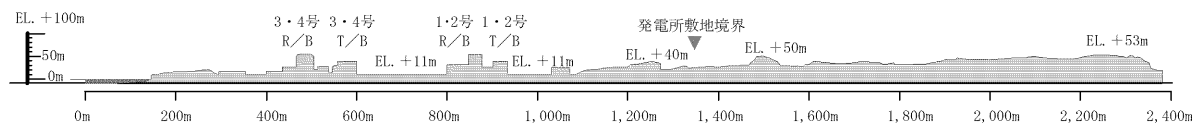
第 7.9.1.13 図 竜巻最大風速のハザード曲線（1 km 範囲）



第 7.9.1.14 図 竜巻最大風速のハザード曲線

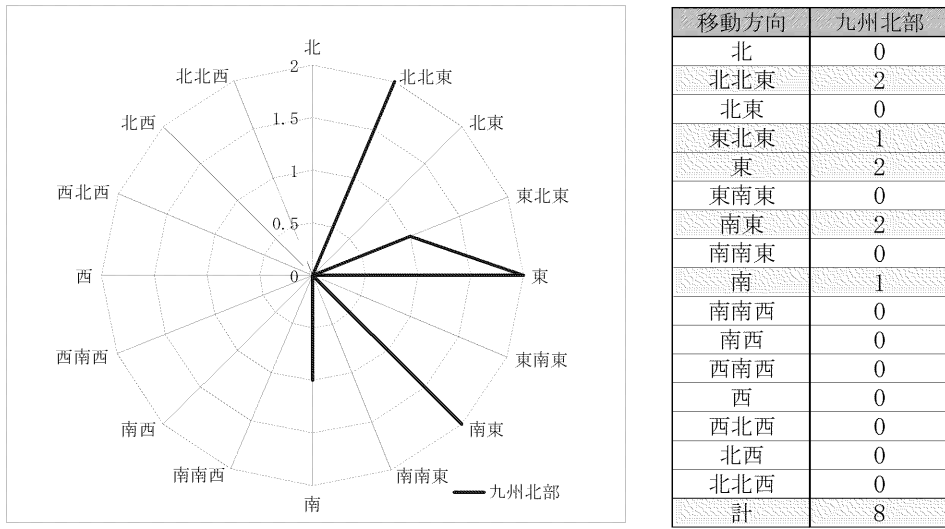


発電所周辺平面図

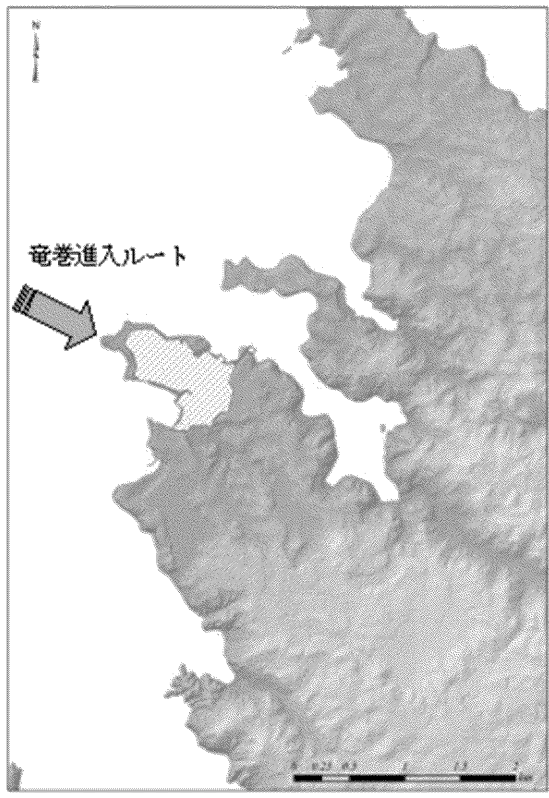


発電所周辺断面図

第 7.9.1.15 図 玄海原子力発電所敷地周辺の地形



第 7.9.1.16 図 九州北部で過去に発生した竜巻の移動方向



第 7.9.1.17 図 玄海原子力発電所の位置と竜巻の移動方向

7.9.2 参考文献

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究報告書
- (2) 独立行政法人原子力安全基盤機構 (2013) : 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (案) 及び解説
- (3) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.99, No. ST12, pp. 2409-2421.
- (4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST9, pp. 1883-1897.
- (5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Risk Evaluation using Wind Speed Profiles. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST5, pp. 1167-1171
- (6) Forbes, G. S. (1998) : Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, 19th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Minneapolis, MN, pp. 269-272.
- (7) Lewellen, D. C. (2012) : Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Nashville, TN, 4B.1.
- (8) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision 1, March 2007

1.3 設備等

該当なし

竜巻に対する防護
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 評価対象施設

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3. 竜巻影響評価
 - 3.1 評価概要
 - 3.2 評価対象施設
 - 3.3 設計荷重の設定
 - 3.4 施設の構造健全性の確認
 - 3.5 竜巻随件事象に対する考慮

(資料)

- － 1 設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ
- － 2 建屋、構築物等の構造健全性の確認
- － 3 使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 基本方針

1.1 基本事項

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、建屋による防護、構造健全性の維持及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

竜巻及びその随件事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)に基づき、安全機能が維持されることを確認する。

1.2 評価対象施設

1.2.1 設計竜巻から防護する施設

設計竜巻から防護する施設としては、安全施設が設計竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3の構築物、系統及び機器とする。

設計竜巻から防護する施設のうち、クラス3に属する施設は損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とすることから、クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。

竜巻防護施設は以下に分類する。

- ・建屋又は構築物(以下「建屋等」という。)に内包され防護される施設(外気と繋がっている施設を除く。)
- ・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
- ・屋外施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている施設

また、竜巻防護施設を内包する建屋及び構築物は、「竜巻防護施設を内包する施設」として抽出する。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、竜巻防護施設の抽出結果を表1.2.1に示す。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器(以下「乾式キャスク」という。)は原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有する安全重要度分類クラス2の設備であることから、乾式キャスク*を竜巻防護施設として抽出した。

※:支持部及び基礎を含む。

表 1.2.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の竜巻防護施設の抽出

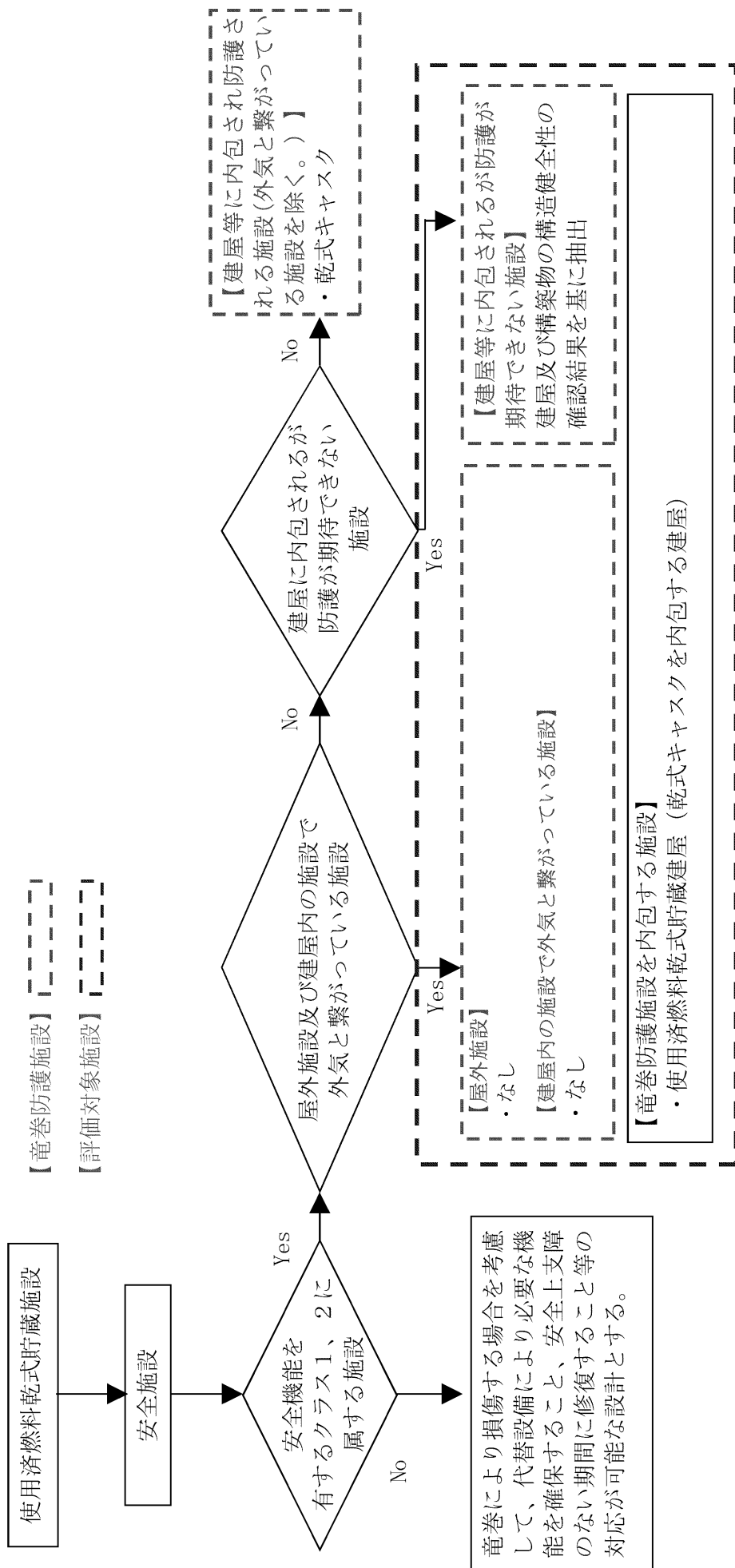
設備	兼用キャスクガイドでの設備分類	安全重要度分類	竜巻防護施設
乾式キャスク※	兼用キャスク, 周辺施設（支持部及び基礎）	PS-2	○
計装設備	周辺施設	—	
クレーン類	周辺施設	—	
使用済燃料乾式貯蔵建屋等 (貯蔵建屋（遮蔽壁含む）)	周辺施設	PS-3	

※: 支持部及び基礎を含む。

使用済燃料乾式貯蔵施設から図 1.2.1 の抽出フローにより、評価対象施設として使用済燃料乾式貯蔵建屋を抽出した。抽出結果を表 1.2.2 に示す。

表 1.2.2 評価対象施設

分類	施設・設備名
竜巻防護施設を内包する施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (乾式キャスクを内包する建屋)



6条(竜巻)-別添1-3

図 1.2.1 評価対象施設抽出フロー

1.2.2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(1) 抽出方針

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設の破損により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(2) 抽出結果

竜巻防護施設を内包する施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と施設の高さを考慮して、施設倒壊により竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る施設として抽出した構築物及び機器を表 1.2.3、図 1.2.2 に示す。施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。


使用済燃料乾式貯蔵建屋は、建屋側面に設けられた単純な開口部からなる給気口から建屋上部に設けられた単純な開口部からなる排気口に向かって空気の流れが自然発生するよう設計されており、竜巻による破損により乾式キャスクに影響を与える可能性のある換気空調設備は設置しない。また、乾式キャスクに屋外から連結する吸排気管はないことから、竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る換気空調設備等はない。

表 1.2.3 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出

構築物及び機器		近傍の竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設	竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設までの最短距離	鉄塔高さ	波及的影響評価対象
EL. 20m	送電線鉄塔 (玄海原子力線 No. 1)	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約 92m	約 45m	対象外
	送電線鉄塔 (500kV)		約 138m	約 98m	対象外
	送電線鉄塔 (220kV)		約 117m	約 37m	対象外
	送電線鉄塔 (66kV)		約 92m	約 26m	対象外



図 1.2.2 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

: 防護上の観点から公開できません

2. 設計竜巻の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 及び特性値は以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の最大風速 V_D

乾式キャスクに対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」に定める 100m/s とする。

(2) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の最大風速は既許可と同じ 100m/s であることから、設計竜巻の特性値は既許可と同じ値を用いる。（表2.1）

表2.1 設計竜巻の特性値（ $V_D=100\text{m/s}$ ）

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

新規制基準適合性審査（平成27年7月15日許可）と同様、以下の方針で評価を行う。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）を適切に設定する。
- (2) 設計荷重に対して評価対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

3.2 評価対象施設

「1.2 評価対象施設」に示したとおりとする。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等における設計竜巻荷重を以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根含む。）に作用する風圧力による荷重(W_w)は、「建築基準法施行令」（昭和25年11月16日政令第338号）、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号（平成12年5月31日）に準拠して、次式のとおり算出する。

なお、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ 、風力係数(C)は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根・壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

W_w ：風圧力による荷重

q ：設計用速度圧

G ：ガスト影響係数(=1.0)

C ：風力係数

A ：施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ ：空気密度

V_D ：設計竜巻の最大風速

(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力による荷重

屋根スラブについては、鉛直方向の風圧力に対する健全性の確認を行う。

- (3) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重 (W_p)

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差による荷重は、最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

- (4) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定 (W_M)

①設計飛来物の選定

プラントウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

乾式キャスクに対する設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、大型車両を設定する。

表3.3.1に乾式キャスクにおける設計飛来物の諸元を示す。

②設計飛来物の速度設定

速度の設定にあたっては、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

③衝撃荷重の設定 (W_M)

表3.3.1の設計飛来物等について、衝突方向（天井部への衝突は鉛直、側面部への衝突は水平）を考慮して竜巻防護施設等に衝突した場合の評価対象物の質量及び速度により衝撃荷重 (W_M) を算出する。

表 3.3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の諸元 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類	大型車両
サイズ(m)	長さ×幅×奥行
	12×2.5×3.75
質量(kg)	15,400
最大水平速度(m/s)	42
最大鉛直速度(m/s)	28
運動エネルギー(水平)(kJ)	13,600
運動エネルギー(鉛直)(kJ)	6,050

(5) 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下の式により算定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_W : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_P : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ施設の特徴に合わせて作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設に自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり^{※1}、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については、今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

②雪

影響の程度として竜巻は数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は59m/s^{※2}、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④雨

竜巻と雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

※1：雷雨とメソ気象 大野久雄、東京堂出版

※2：一般気象学 小倉義光、東京大学出版会

(3) 設計基準事故時荷重

評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋には、考慮すべき設計基準事故による荷重はない。

3.4 施設の構造健全性の確認

3.4.1 概要

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき設定した設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいは竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

3.4.2 建屋及び構築物の構造健全性の確認

設計荷重に対して、建屋及び構築物の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定

竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設に対し、建屋及び構築物の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形や応力等を算定する。

①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} (W_P)、 W_{T2} ($W_W + 0.5W_P + W_M$) により生じるせん断ひずみ、層間変形角又は応力等を算定する。

②設計飛来物の衝突に対する評価

飛来物衝突による貫通及び裏面剥離厚さを算定する。

「①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価」及び「②設計飛来物の衝突に対する評価」の評価結果より竜巻防護施設を内包する区画の健全性が維持できない場合は、竜巻防護施設への影響評価を実施する。

(2) 構造健全性の確認結果

①竜巻防護施設を内包する施設

(a) 複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

i. 構造骨組の評価

地震応答解析モデルにおける部材ごとに算定したせん断ひずみ又は層間変形角が、許容限界を超えないことを確認する。

ii. 外壁及び屋根の評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} により生じる鉄筋等のひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

また、屋根に発生する応力が、許容限界を超えないことを確認した。

(b) 設計飛来物の衝突に対する評価

i. 建屋の外壁及び屋根

飛来物の衝突に対する貫通又は裏面剥離を生じないための必要最小厚さと、建屋の外壁又は屋根の最小厚さを比較し、貫通又は裏面剥離を生じないことを確認する。

②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1.2.2 より、施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻を起因とする二次的影響として、火災、溢水、外部電源喪失事象が考えられる。

火災については、6条（外部火災）において説明する。

溢水については、竜巻防護施設である乾式キャスクは単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）であり、外部から動力の供給を必要としないため、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水から防護すべき対象設備に該当しない。また、屋外の水タンク等から使用済燃料乾式貯蔵建屋は離れており、水タンク破損等による溢水はT.P.+24.5mに設置した使用済燃料乾式貯蔵建屋周りに滞留することはない、T.P.+11.0mの敷地に向かって流れることから問題になることはない。

外部電源喪失事象については、竜巻防護施設である使用済燃料乾式貯蔵容器は電源を必要としないため、問題になることはない。

設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ

目 次

1. 設計飛来物選定の考え方
2. 設計飛来物の選定
3. 設計飛来物の速度等

添付資料 1 空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

添付資料 2 想定飛来物の運動方程式

添付資料 3 設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 設計飛来物選定の考え方

乾式貯蔵施設に対する設計飛来物は、発電所構内外からの飛来物を考慮し、風圧力による荷重によって大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与えるものを設計飛来物として選定する。

2. 設計飛来物の選定

設計飛来物は、ウォークダウンにて浮き上がる資機材等のうち最も大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与える飛来物を選定した。選定結果については、表 2.1 に示す。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (1/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
柔(一部脚)	塊状	2.4	2.6	6	2300	0.01040	○	3213	7	340	竜巻影響評価ガイド記載
柔(一部脚)	塊状	6.99	2.04	2.58	3813	0.00650	○	4363	9	310	想定資機材
柔(一部脚)	塊状	11.99	2.49	3.75	15370	0.00361	○	13513	13	222	想定資機材
柔(一部脚)	塊状	17.345	2.49	2.481	18980	0.00257	×	13703	17	162	
柔(一部脚)	塊状	13.43	3	3.99	40110	0.00174	×	20635	16	98	
柔(一部脚)	塊状	7.61	2.49	2.76	14690	0.00210	×	9108	12	128	
柔(一部脚)	塊状	8.175	2.26	3.04	5080	0.00652	○	5821	9	310	
柔	塊状	3.658	2.438	2.591	6000	0.00272	○	4495	8	171	
柔	塊状	6.058	2.438	2.896	9000	0.00289	○	6998	10	182	
柔	塊状	3.4	1.5	1.92	1110	0.00863	○	1432	6	332	
柔	塊状	5.25	1.81	1.12	1251	0.00918	○	1657	7	335	
柔	塊状	4.88	2.27	2.15	3000	0.00582	○	3275	7	297	
柔(一部脚)	塊状	8.14	2.85	3.48	20675	0.00196	×	12033	12	116	

※1:空力パラメータが0.0025以上で浮き上がる。

※2:空力パラメータが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算値外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (2/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 ハ [°] ラ [°] ク [°] ₁ [°] (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
柔(-部脚)	高機動型作業車	5.755	2.3	3	14000	0.00176	×	7303	10	100	
柔(-部脚)	直流電源用発電機	3.7	2.25	2.475	5040	0.00302	○	4023	8	190	
柔(-部脚)	変圧器車	5.31	2.08	3.15	7300	0.00310	○	5919	9	195	
柔(-部脚)	移動式大容量ポンプ車	12.75	2.495	3.5	35000	0.00161	×	16320	16	86	
柔(-部脚)	代替緊急時対策所用 空気浄化 ¹⁾ ファイブエント	2.8	1.2	2.1	3300	0.00235	×	2238	8	146	
柔(-部脚)	代替緊急時対策所用 空気浄化 ¹⁾ ファン	0.91	0.69	0.955	290	0.00491	○	295	4	273	
柔(-部脚)	水中ポンプ用発電機	3.88	1.855	1.795	2310	0.00500	○	2362	7	276	
柔(-部脚)	消防車(化学車)	7.08	2.28	2.85	7550	0.00374	○	6755	10	228	
柔(-部脚)	可搬型ダイーゼル 注入ポンプ車	9.29	2.49	3.7	21846	0.00202	×	13041	13	121	
柔(-部脚)	タンクローリ(14kl)	9.27	2.49	2.915	9284	0.00408	○	8657	11	243	
柔(-部脚)	フォークリフト	5.38	1.48	2.25	7280	0.00212	×	4546	11	129	
柔(-部脚)	中容量発電機車	17.6	3.7	5.399	52050	0.00228	×	34511	17	141	
柔(-部脚)	ホース展開回収車	8.38	2.49	3.28	12200	0.00306	○	9809	12	192	

※1:空力¹⁾が0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力¹⁾が0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (3/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
乗(一部脚)	塊状 警察車両(パトカー)	4.86	1.78	1.72	1620	0.00818	○	2043	7	329	
乗(一部脚)	塊状 消防車(タンク車)	7.5	2.49	2.85	7720	0.00403	○	7159	10	241	
乗(一部脚)	塊状 警察車両(装甲車)	5.26	2.13	2.62	7330	0.00275	○	5534	10	174	
乗(一部脚)	塊状 高压発電機車	6.83	2.15	3.36	7700	0.00384	○	6981	10	233	
乗(一部脚)	塊状 大型化学高所放水車	10.03	2.49	3.52	18885	0.00241	×	13048	14	151	
乗(一部脚)	塊状 トラック(三菱ふそうスーパー パワーグレート：カーゴ)	11.99	2.49	3.255	24890	0.00204	×	15030	15	123	
乗(一部脚)	塊状 10tダンプトラック(いすゞ ギガ)	7.73	2.49	3.4	19905	0.00179	×	10559	12	102	
乗(一部脚)	塊状 ハイエース	5.38	1.88	2.285	3240	0.00544	○	3437	8	288	
乗(一部脚)	塊状 キャラバン	5.23	1.88	2.285	3330	0.00517	○	3455	8	281	
剛	塊状 コンクリートウエイト	3	1.4	1.4	13600	0.00050	×	1606	7	-	
剛	塊状 コンクリートウエイト	1.5	1.5	1.5	7800	0.00057	×	201	2	-	

※1:空力パラメータが0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力パラメータが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

3. 設計飛来物の速度等

大型車両については、玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討結果及び構外からの飛来物の検討結果に基づき、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

本評価においては、大型車両の速度（水平：42m/s、鉛直：28m/s）の運動エネルギーの耐力で竜巻防護対策施設及び竜巻防護施設を内包する施設の設計及び健全性評価を実施している。

設計飛来物のパラメータを表 3.1 に示す。

表 3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の速度 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類		大型車両
サイズ(m)		長さ×幅×奥行き
		12×2.5×3.75
質量(kg)		15,400
評価に用いる 飛来物の諸元	最大水平速度 (m/s)	42
	最大鉛直速度 (m/s)	28
	運動エネルギー(水平) (kJ)	13,600
	運動エネルギー(鉛直) (kJ)	6,050
	貫通限界厚さ(水平) (mm)	13
	貫通限界厚さ(鉛直) (mm)	8

空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

竜巻の気流性状をランキン渦と仮定し、空気力学モデルによる運動方程式に基づき飛来物の水平最大速度を算出する知見は数が少ない。

想定飛来物の運動エネルギー及び空力パラメータ等の算出はガイドの参考文献（3）※¹を参照することにより、保守的な設定ができると考えられるためガイドの参考文献を活用した。

1. 空力パラメータ

空力パラメータの算出式は（1）式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \dots (1)$$

ここで、 m ：飛来物の質量、 A_1, A_2, A_3 ：飛来物の受圧面積、

c ：係数（0.33）、 C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} は飛来物の抗力係数であり、飛来物の形状より表 1.1 とする。

また、 $A_1 = \text{長さ} \times \text{幅}$ 、 $A_2 = \text{幅} \times \text{高さ}$ 、 $A_3 = \text{高さ} \times \text{長さ}$ とする。

浮き上がり条件については添付資料 3 に示す。

表 1.1 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	c	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状物体	0.33	2.0	2.0	2.0
板状物体	0.33	2.0	1.2	1.2
棒状物体	0.33	2.0	0.7	0.7

2. 飛来物の運動エネルギー

飛来物の運動エネルギーは（2）式により算出する。

$$\text{運動エネルギー} = \frac{mV_{\max}^2}{2} \dots (2)$$

※¹：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、平成 23 年 2 月

想定飛来物の運動方程式

1. 飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さ

竜巻影響評価において飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を計算する。

仮定する風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とし、その風速場の中で、質点系にモデル化した飛来物が、相対速度の2乗に比例した抗力を受けるものとし、想定飛来物の運動方程式は(1)式*1にて求められる。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \dots (1)$$

m : 飛来物の質量、 A : 代表面積、

C_D : 抗力係数 (3方向の面積で重みづけした平均)

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度、 g : 重力加速度、 J : 重力方向成分のみ 1、他成分は 0 ベクトル
評価においては時間刻みを 0.01 秒とし、(1) 式を離散化することで計算をした。

図 1.1 に飛来物軌跡評価のイメージを示す。

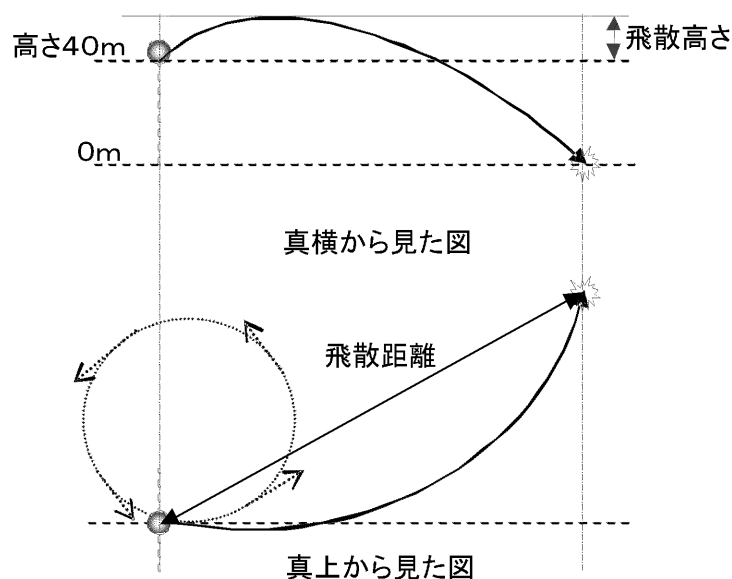


図 1.1 飛来物の軌跡評価イメージ

飛来物となりうる物体は、現実には地上面に設置されている。

本評価における飛来物放出の初期位置は高さ 40mと浮上しており、ランキン渦の各風速成分を受けることになり、初期状態から上昇流を受けることになる。また、地上面と接触していないため、飛来物の横移動に関して摩擦係数を考慮するようなことはしていない。

以上より、本評価における飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは保守的な評価と考える。

※1 : Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

2. 本評価の妥当性について

想定飛来物の運動方程式を使って、文献「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、平成 23 年 2 月」の p. 237 に示されている竜巻条件に相当する計算条件にて、「飛来物最大水平速度」 V_h^{\max} を求め双方を比較した論文が日本流体力学会年会 2013 にて発表^{※2}されている。

図 2.1 に論文より抜粋した文献との比較を示す。

本論文の結論に、「LES 解析結果に基づく非定常風速場を用いる既往研究結果との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について評価したところ、物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{\max} の相対的な大小関係が逆転する傾向が見られるが、竜巻の風速場をランキン渦でモデル化した場合の結果は LES 解析結果に基づく結果と良く整合することが判明した。」と報告されている。

※2 : 「移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価」電中研：江口 譲、杉本 聡一郎、服部 康男、平口 博丸

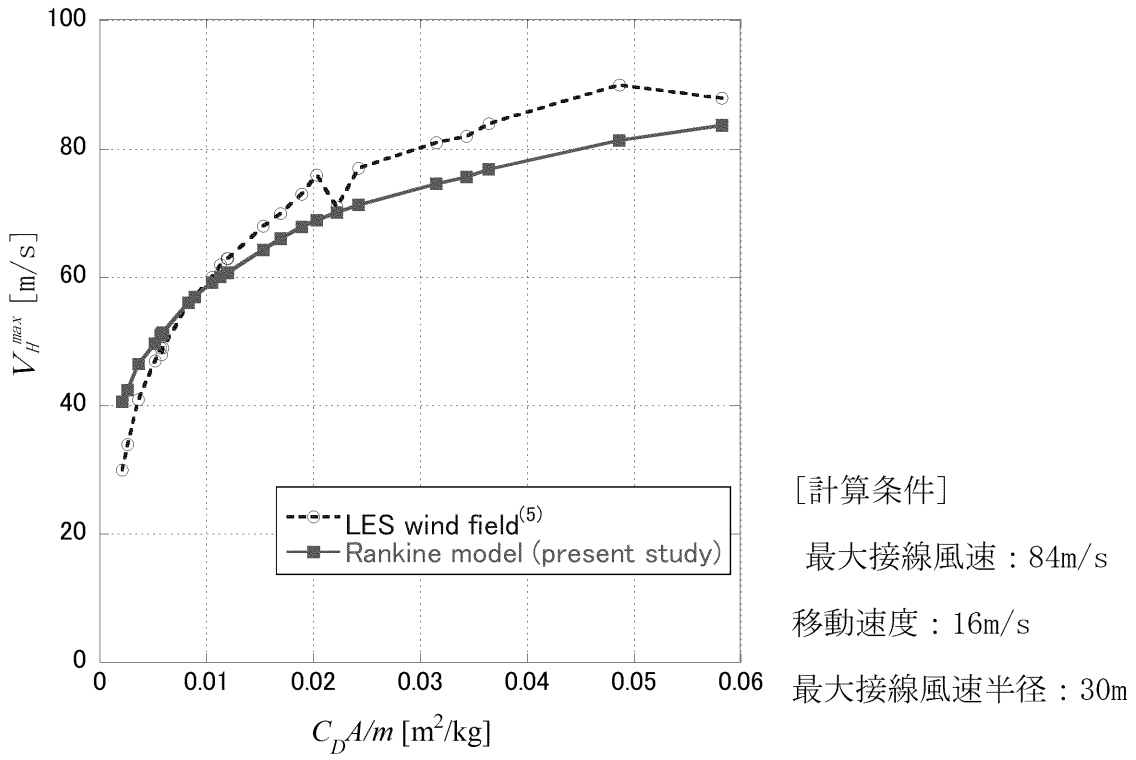


図 2.1 文献との比較

設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 浮き上がり条件及び考察

(1) 浮き上がり条件

a. 想定飛来物の計算概要

竜巻の風速場はランキン渦モデルから得られる周方向風速 V_θ に径方向 V_r 、上昇風速 V_z 、移動方向 V_{tr} を加えたものとしている。(図 1.1)

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_{rot} = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases}$$

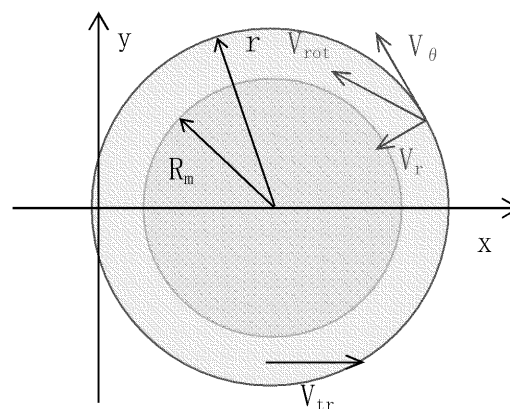


図 1.1 ランキン渦モデルのベクトル図

ただし、 $V_{rot} = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$ 、 $(V_\theta, V_r, V_z) = V_\theta(1, 1/2, 2/3)$ の関係^{*1}があり、静止観測者からみた最大水平風速 V_D は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_{tr}$$

V_θ : 渦の周方向風速、 V_r : 渦の半径方向風速、 V_z : 渦の上昇風速、

V_{tr} : 渦の移動速度、 V_{rot} : 渦の旋回風速、

R_m : 渦コア半径 (渦の水平風速が最大となる半径)、 V_m : 渦の最大旋回風速

※1: 文献「J. R. McDonald, K. C. Mehta, and J. E. Minor “Tornado-Resistant Design of nuclear Power-Plant Structures (NUCLEAR SAFETY, Vol. 15, No. 4, July-August 1974)」において以下のように示されている。

$$V_r = \frac{1}{2} V_\theta, \quad V_z = \frac{2}{3} V_\theta$$

従って、

$$V_{rot} = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} V_\theta\right)^2 + V_\theta^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} V_\theta \text{ より}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

よって

$$V_z = \frac{2}{3} V_\theta = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

b. 想定飛来物の運動方程式（添付資料2再掲）

竜巻は時刻 $t = 0$ において原点に位置し、 x 方向に一定移動速度 V_{tr} で移動するものとする。

想定飛来物の運動方程式は (1) ⁽¹⁾ ⁽²⁾ 式にて求める。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \cdots (1)$$

m : 飛来物の質量

A : 代表面積

C_D : 抗力係数（3方向の面積で重みづけした平均）

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度

g : 重力加速度

J : 重力方向成分のみ 1 のベクトル、他の成分は 0 ベクトル

c. 計算条件

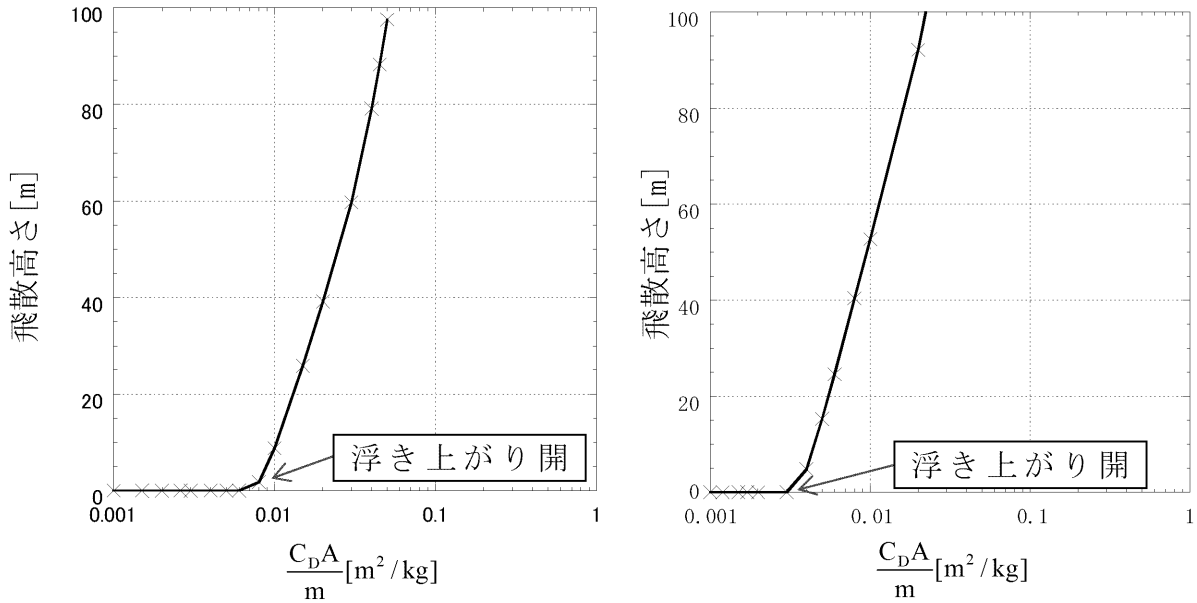
竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元を表 1.1 に示す。

表 1.1 竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元

諸元	記号	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
最大風速 (m/s)	V_D	69	100
移動速度 (m/s)	V_{tr}	10	15
最大旋回風速 (m/s)	V_m	59	85
最大風速半径 (m)	R_m	30	30
空気密度 (kg/m^3)	ρ	1.22	
重力加速度 (m/s^2)	g	9.80665	

d. 計算結果

空力パラメータ ($C_D A/m$) と飛散 (浮き上がり) 高さの関係は図 1.2 になる。



(a) F 2 ($V_D = 69$ m/s) 竜巻

(b) ($V_D = 100$ m/s) 竜巻

図 1.2 空力パラメータと飛散高さの関係

e. 浮き上がり条件

飛散 (浮き上がり) 高さが正となる条件は理論的に (2) 式となる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{4V_m}{3\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{4V_m}{3\sqrt{5}}\right)^2}} \dots \dots (2)$$

竜巻風速 (F 2 : $V_D = 69$ m/s) の場合 : $C_D A/m = 0.0059$

竜巻風速 ($V_D = 100$ m/s) の場合 : $C_D A/m = 0.0028$

浮き上がり条件を表 1.2 に示す。

表 1.2 浮き上がり条件

項 目	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
空力パラメータ $C_D A/m$	0.0059 以上	0.0028 以上 [※]

※飛来物発生防止対策においては、保守的に空力パラメータ 0.0026m²/kg 以上の資機材等に対して対策を実施する。

(2) 考察

空力パラメータを用いた資機材等の浮き上がりと飛散状況について、気象庁藤田スケールにおける被害状況に記述されている自動車を対象として比較をする。

a. 乗用車の空力パラメータ

(乗用車の寸法及び質量)

長さ×幅×奥行き(高さ) : $4.6 \times 1.6 \times 1.4$ [m]

質量 (m) : 2,000 [kg]

(空力パラメータ算出式) ⁽³⁾

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

$$C_{D1} = C_{D2} = C_{D3} = 2.0$$

$$A_1 = 4.6 \times 1.6, \quad A_2 = 1.6 \times 1.4, \quad A_3 = 4.6 \times 1.4$$

$$\text{乗用車の空力パラメータ } (C_D A/m) = \underline{0.0053} [\text{m}^2/\text{kg}]$$

b. 理論式と藤田スケール (Fスケール) の被害指標と比較

藤田スケール (Fスケール) の被害指標 (気象庁HPより) を表 1.3 に示す。

① F 2 レベル (風速 69m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0059 以上であり、ほぼ同じ値であり、乗用車が浮き始める状態になっていると考えられる。(横滑り距離 : 139m)

藤田スケール被害状況では、「自動車が道から吹き飛ばされる。」となっている。

② F 4 レベル (風速 100m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0028 以上であり、乗用車の空力パラメータが大きいので、浮き上がりする状態になっていると考えられる。(飛散距離 : 284m)

藤田スケール被害状況では、「自動車は何十メートルも空中飛行する。」となっている。

以上、空力パラメータを用いた飛散状況については、気象庁藤田スケールにおける被害状況と比較して保守的な結果になると判断できる。

表 1.3 藤田スケールによる被害指標（気象庁HPより）

スケール	風 速	被 害 指 標
F0	17 ～32m/s (約15 秒間の平均)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33 ～49m/s (約10 秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50 ～69m/s (約7 秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70 ～92m/s (約5 秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半は折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93 ～116m/s (約4 秒間の平均)	住家がバラバラになってあたりに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1 トン以上もある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117 ～142m/s (約3 秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などが持ち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

【参考文献】

- (1) Simiu, Emil, and Robert H. Scanlan, Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (2) Simiu and M. Cordes, NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.
- (3) 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、平成 23 年 2 月

2. 設計飛来物の浮き上がりに関する考え方の保守性について

飛来物の軌跡評価は図 2.1 に示すように、竜巻の風速場に地上 40m 地点に飛来物を置き、これを起点として軌跡評価を実施している。(添付資料 2)

飛来物が受ける竜巻風速は以下となる。

(条件) 竜巻最大風速半径 (R_m) = 30m

竜巻旋回風速 (V_m) = 85m/s

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot} = 38.1 \text{ m/s}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot} = 76.1 \text{ m/s}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot} = \underline{50.7 \text{ m/s}}$$

$$V_{rot} = 85 \text{ m/s}$$

(V_r、V_θ、V_z、V_{rot} の考え方は資料 5-添付資料 3-1 1. 項参照)

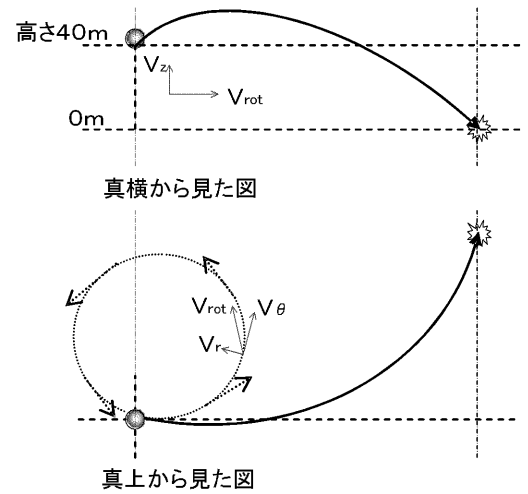


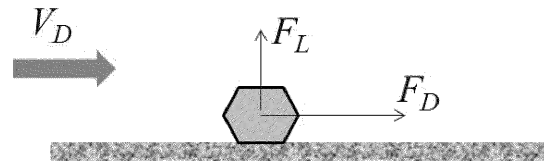
図 2.1 飛来物の軌跡イメージ
(風向きベクトル記載)

飛来物の軌跡評価において、飛来物は風速 50.7m/s の上昇流を受けている。

物体が揚力により浮き上がりする
条件は以下で表される。

$$F_L = \frac{\rho V_D^2 c_L a}{2} > mg$$

① 図 2.2 地上物体が受ける風圧力による荷重



ここで、c_Lは地上での揚力係数、aは地上での見附面積である。

一方、1. (1) . e の (2) 式で V_m=0.85V_D (V_r=0.15V_D) の関係を用いると (2) 式は以下ようになる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{17V_D}{15\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{17V_D}{15\sqrt{5}}\right)^2}} = \frac{2g}{\rho \frac{17\sqrt{1414}V_D^2}{1125}} \approx 3.52 \frac{g}{\rho V_D^2} \quad \text{②}$$

そこで、①式の左辺が式②の左辺の形になるように変形して (以下)、両者を比較する。

$$\frac{C_D A}{m} \geq 2 \left(\frac{C_D A}{c_L a} \right) \frac{g}{\rho V_D^2} \quad \text{③}$$

従って、(2) 式が地上物体の浮き上がり条件として保守的に適用できる条件は以下のようなになる。

$$\frac{C_D A}{c_L a} > \frac{3.52}{2} = 1.76 \quad \text{④}$$

ここで、例として、直径 d 、長さ $14.1d$ の円柱の場合について、式④の成立性を確認する。図 2.3 (出展 : EPRI NP-748) より、

$$C_{La} = 0.2 \times d \times 14.1d = 2.8d^2$$

と算出される。

また、

$$C_{DA} = 0.33(0.7 \times d \times 14.1d + 0.7 \times d \times 14.1d + 2.0 \times \pi \times (d/2)^2) = 7.1d^2$$

であることから、

$C_{DA}/C_{La} = 7.1/2.8 = 2.5$ となり、式④を満たす。従って、(2) 式は地上に置かれた円柱の浮き上がり条件としても保守的に適用できることが分かる。また、一般的に、地上風は地面の影響により減速するため、式④自体に保守性があるので、他の物体に対しても保守的に適用しうるものと考えられる。

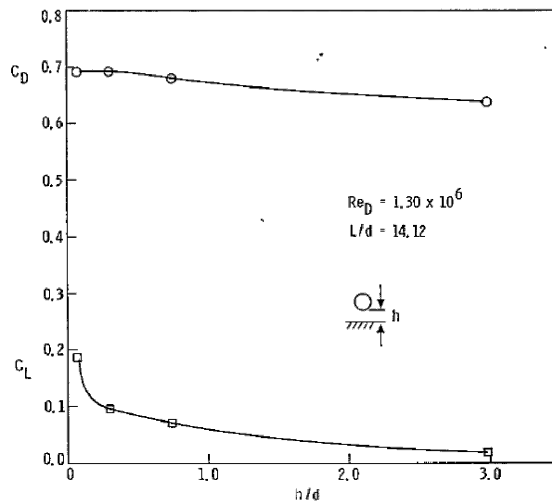


Fig. 3-19. Effect of distance from ground plane on the drag and lift coefficients of open circular cylinder (length/diameter = 14.1) normal to flow ($\psi = 90^\circ$) in supercritical Reynolds Number regime

(出典 : Wind Field and Trajectory Models for Tornado Propelled Objects, EPRI NP-748, p.3-23, 1978.)

図 2.3 円柱の場合の揚力係数と浮き上がり高さの関係図

3. 地上物体が受ける応力・揚力について (①式の考え方)

図3.1及び図3.2に地上にある物体に対して無風時に作用する力と竜巻時に作用する力の概念図を示す。

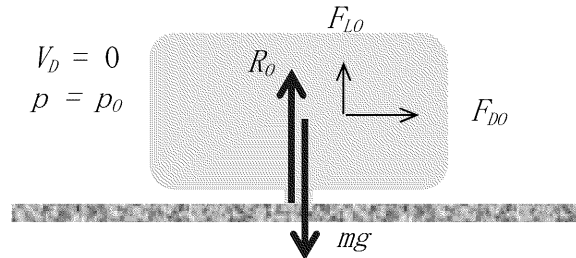


図 3.1 無風時に作用する力

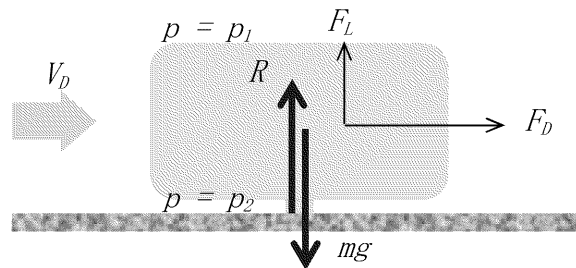


図 3.2 竜巻時に作用する力

【定義】

p_0 : 無風時圧力

p_1 : 竜巻通過時の物体上面圧力

p_2 : 竜巻通過時の物体下面圧力

V_D : 地面での風速

R_0 : 無風時の物体が地面から受ける反力

R : 物体が地面から受ける反力

F_D : 流れ方向流体力

F_L : 流れ直交方向流体力

A : 物体の地面への投影面積

s : 物体と地面の完全接触面積

σ : 物体と地面の完全接触面での応力

無風時は物体が流体に接する全表面で圧力は一定 p_0 とみなせるので、鉛直方向に作用する流体力 F_{L0} は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad \text{⑤}$$

鉛直方向の力の釣り合い式より

$$F_{Lo} + R_o - mg = 0 \quad (6)$$

物体と地面の完全接触面での応力 σ_o は以下で表される。

$$\sigma_o = \frac{R_o}{s} = \frac{mg}{s} + p_o \quad (7)$$

竜巻通過時は物体に圧力差に伴う流体力が作用する。ここでは、簡単のために上面で圧力は一定 p_1 、下面で圧力は一定 p_2 と仮定すると流れ直交方向（鉛直方向の）流体力 F_L は以下のように計算される（圧力分布がある任意形状の物体についても圧力の表面積分を用いれば同様に計算できる）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \quad (8)$$

従って、鉛直方向の力の釣り合い式として、以下が成立する。

$$F_L + R - mg = 0 \quad (9)$$

また、物体と地面の完全接触面での応力 σ は以下で表される。

$$\sigma = \frac{R}{s} = \frac{mg + (p_1 - p_2)A + p_2 s}{s} = \sigma_o + \frac{(p_1 - p_2)A + (p_2 - p_o)s}{s} \quad (10)$$

従って、地上に無拘束で置かれている物体の浮き上がり条件は、以下のように式⑨で $R=0$ とすることにより表される。

$$F_L - mg = 0 \quad \text{つまり、} -p_1 A + p_2 (A - s) - mg = 0 \quad (11)$$

一方、地上での揚力係数 c_L は、 a を地上での見附面積として、以下で定義される。

$$c_L = \frac{F_L - F_{Lo}}{0.5 \rho V_D^2 a} \quad (12)$$

これに式⑤及び浮き上がり条件式⑪を代入すると以下を得る。

$$\frac{1}{2} \rho V_D^2 a c_L = mg + p_o s \quad (13)$$

$p_o s > 0$ を考慮すると、 $\frac{1}{2} \rho V_D^2 c_L a > mg$ が浮き上がりのための必要条件となる。つまり、 $\frac{1}{2} \rho V_D^2 c_L a > mg$ の条件によって浮き上がりの可能性を保守的に評価することができる。

建屋・構築物等の構造健全性の確認

目 次

1. 概要
2. 評価対象施設
3. 設計竜巻荷重の設定
4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

- 添付資料 1 風力係数の設定に関する補足説明
- 添付資料 2 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明
- 添付資料 3 竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明

1. 概要

設計竜巻による荷重及びその他の組み合わせるべき荷重（以下「設計荷重」という。）に対して、建屋の構造健全性が維持されていることを確認する。

(1) 設計荷重によって建屋に生じる変形、応力等の算定

建屋の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形、応力等を算定する。

(2) 構造健全性の確認

(1) で算定した変形、応力等に基づき、評価対象施設が以下の構造健全性評価基準を満足していることを確認する。

a. 竜巻防護施設を内包する施設

設計荷重に対し、竜巻防護施設を内包する施設が倒壊しないこと、施設の各部位が損壊しないこと及び竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認する。

2. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設を内包する施設

①使用済燃料乾式貯蔵建屋

竜巻防護施設を内包する施設の配置図を第2-1図に示す。



「」: 防護上の観点から公開できません

第2-1図 竜巻防護施設を内包する施設の配置図

3. 設計竜巻荷重の設定

(1) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値を第3-1表に示す。

第3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP (N/m ²)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	8,900	45

(2) 設計竜巻による風圧力による荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D によって施設に作用する設計竜巻による風圧力による荷重 W_w は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会、平成26年9月17日改定）（以下「ガイド」という。）」に基づき、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示1454号」に準拠して、下式により算定する。同式において、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ とする。また、風力係数 C は、施設の形状及び風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。風力係数の設定の詳細は、添付資料1に示す。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数(=1.0)

C : 風力係数

A : 施設の受圧面積

(3) 設計竜巻による気圧差による荷重の設定

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差によって生じる気圧差による荷重 W_p は、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ここで、

ΔP : 最大気圧低下量

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度

V_{Rm} : 設計竜巻の最大接線風速

A : 施設の受圧面積

(4) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

設計飛来物の諸元を第3-2表に示す。玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体の調査・検討結果に基づき、設計飛来物の最大水平速度及び最大鉛直速度を算定する。

第3-2表 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元	大型車両
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き
	12×2.5×3.75
質量 (kg)	15,400
最大水平速度 (m/s)	42
最大鉛直速度 (m/s)	28

設計飛来物による衝撃荷重は、建屋の全体的な応答の評価において、設計飛来物と被衝突体の接触時間を設定し、設計飛来物の衝突前の運動量と衝撃荷重による力積が等しいものとする事で、下式により算定する。衝撃荷重 W_M の算定結果を第3-3表に示す。

$$W_M = F_m = m \cdot V/t = m \cdot V^2/L$$

$$I = F_m \cdot t = m \cdot V$$

ここで、

- I : 衝撃荷重による力積(N・s)
- F_m : 静的な値として算定した設計飛来物による衝撃荷重(N)
- m : 設計飛来物の質量(kg)
- V : 衝突速度(m/s)
- t : $t = \frac{L}{V}$ (設計飛来物と被衝突体の接触時間) (s)
- L : 設計飛来物の最も短い辺の全長(m)

第3-3表 衝撃荷重 W_M の算定における評価条件及び結果

設計飛来物の質量 m (kg)	衝突速度 V (m/s)	設計飛来物の最も短い 辺の全長 L (m)	衝撃荷重 W_M (N)
15,400	42	2.5	1.09×10^7

(5) 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 及び設計飛来物による衝撃荷重 W_M を組み合わせた複合荷重とし、以下の式により算定する。

評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

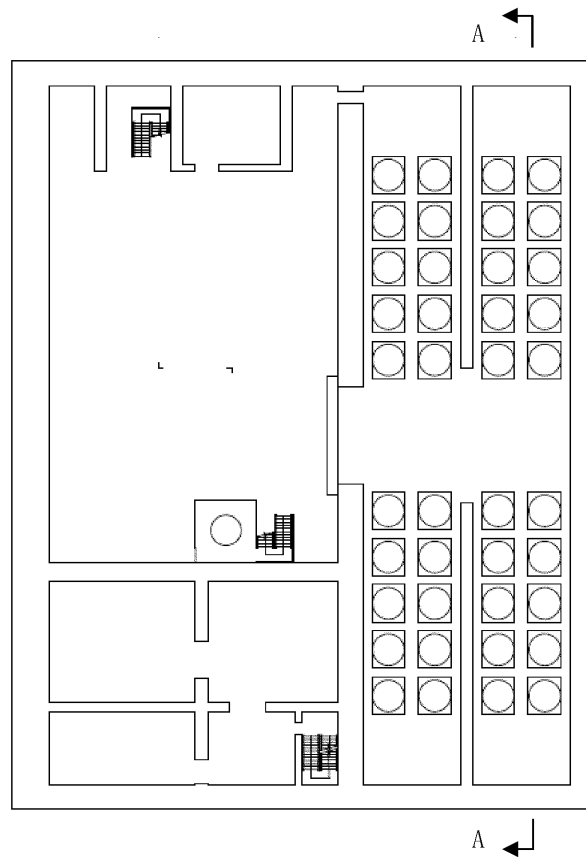
4.1 評価対象施設の概要

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

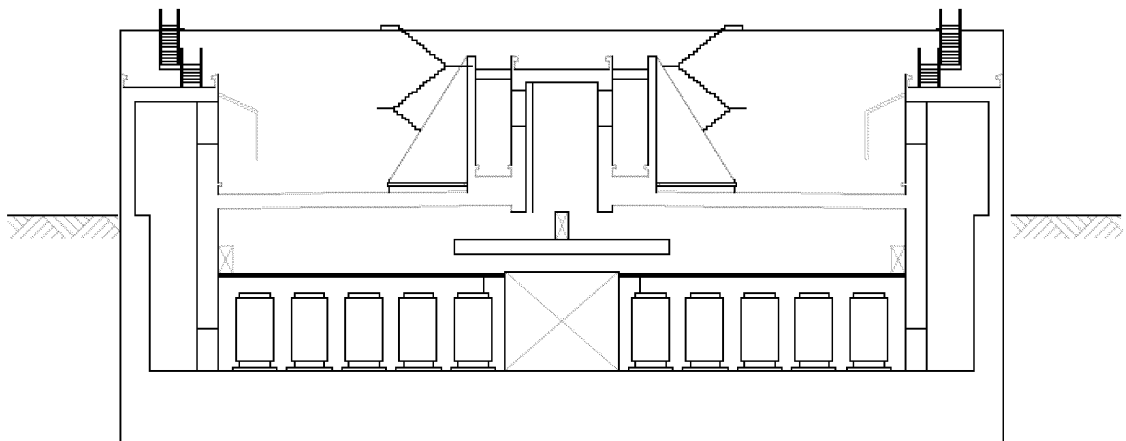
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を第4-1表、概略平面図及び概略断面図を第4-1図及び第4-2図に示す。

第4-1表 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の概要

施設名	構造種別	主要仕上
使用済燃料乾式貯蔵建屋	鉄筋コンクリート造	屋根 : 鉄筋コンクリート 外壁 : 鉄筋コンクリート



第4-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第4-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図
(A-A断面)

4.2 建屋の評価

(1) 概要

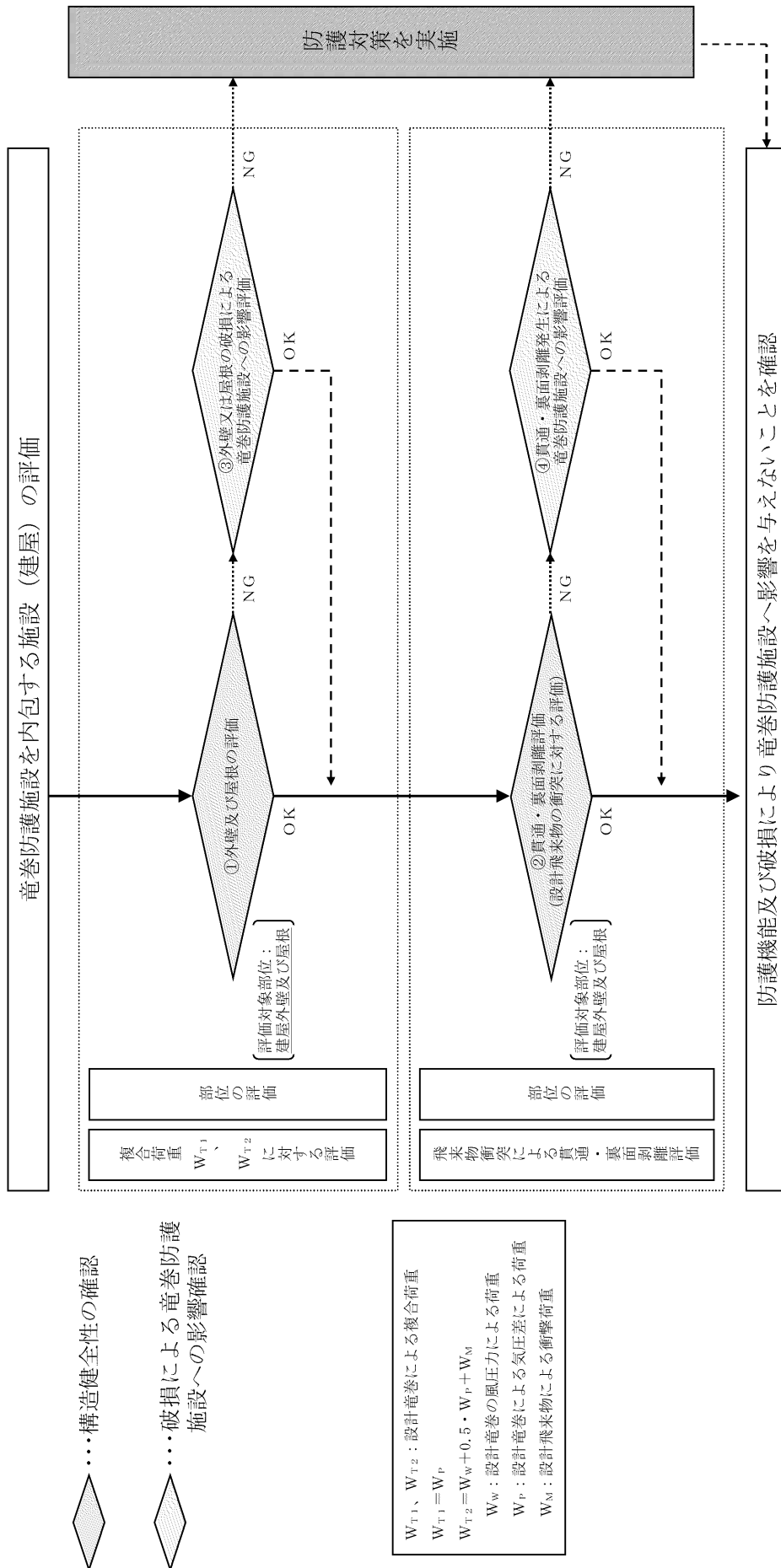
竜巻防護施設を内包する施設に求められる機能は、防護機能及び破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことである。

防護機能については、竜巻防護施設を内包する施設の構造健全性を確認することにより、内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認する。構造健全性の確認は、複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する建屋の部位の評価並びに設計飛来物の衝突に対する貫通・裏面剥離評価を行う。

外壁又は屋根等の竜巻防護施設を内包する施設の各部に破損が生じる場合は、破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことを確認する。

竜巻防護施設への影響がある場合は、竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を実施する。

竜巻防護施設を内包する施設の評価フローを第4-3図に示す。また、竜巻防護施設を内包する施設の評価に関する対象荷重及び評価内容を第4-2表に示す。



第4-3 図 竜巻防護施設を内包する施設（建屋）に関する評価フロー

第4-2表 竜巻防護施設を内包する（建屋）の構造健全性の評価内容

	評価項目	評価対象部位	荷重	評価項目	許容限界
①	外壁及び屋根の評価	外壁、屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の応力等	終局強度以下
②	貫通・裏面剥離評価	外壁及び屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の最小厚さ	貫通限界厚さ以上
					裏面剥離限界厚さ以上

(3) 外壁及び屋根の評価

a. 評価方法

竜巻防護施設を内包する施設の外壁及び屋根を評価対象とし、設計荷重に対し発生する応力等が、許容限界を超えないことを確認する。

風圧力による荷重 W_w 及び気圧差による荷重 W_p は、設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対し、荷重が十分小さいことから考慮しない。

設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対する評価については、外壁及び屋根を一方向版とみなし、設計飛来物による衝突力を静的な荷重とした場合の応力を算出し、部材の許容限界（終局強度）を超えないことにより、建屋部材の健全性を確認する。

本評価において評価対象の外壁及び屋根の厚さは、1.0mとする。

b. 評価結果

設計飛来物の衝突に対する外壁及び屋根の発生応力と許容限界の比較を第4-3表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

外壁及び屋根の評価の詳細は、添付資料2に示す。

第4-3表 設計飛来物の衝突に対する評価結果

評価項目	評価結果	許容限界
外壁の発生曲げモーメント(kN・m)	5.054×10^3	6.171×10^3
屋根の発生曲げモーメント(kN・m)	3.055×10^3	3.937×10^3

(5) 貫通・裏面剥離評価

a. 外壁及び屋根

(a) 評価方法

設計飛来物の衝突に対する貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算定し、外壁及び屋根の最小厚さが貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ以上となるように設計する。

貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価は、それぞれ、Degen式及びChang式を用いる。貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価式及び入力値の詳細は、添付資料3に示す。

(b) 評価結果

貫通限界厚さを第4-4表、裏面剥離限界厚さを第4-5表に示す。

第4-4表 外壁及び屋根の貫通評価結果

施設名		貫通限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	44	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	31	

第4-5表 外壁及び屋根の裏面剥離評価結果

施設名		裏面剥離 限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	87	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	67	

風力係数の設定に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数の設定について説明するものである。

設計竜巻により施設に作用する風圧力による荷重 W_w の算定において、風力係数は、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示 1454 号」に準拠して算定する。

2. 竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数

2.1 外壁及び屋根の評価

陸屋根形状の建屋である使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁に対する風圧力による荷重 W_w 算定において、風力係数は、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説 2004」及び「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」に準拠して、下式により算定する。

陸屋根形状建屋の外壁に対する風圧力による荷重 W_w 算定に用いる風力係数 C を第 2-1 表に示す。

$$C = C_{pe} - C_{pi}$$

ここで、

C_{pe} : 外圧係数

水平方向では、 $C_{pe}=1.2k_z$ （風上側）、 -0.4 （風下側）

となるため、 $C_{pe}=0.8-(-0.4)=1.2$

k_z : 高さ方向の分布係数

$$k_z=1.0^{*1}$$

C_{pi} : 内圧係数

$$C_{pi}=0.0$$

第 2-1 表 陸屋根形状の建屋外壁の風力係数 C

位置		風力係数 C	備考
外壁	風上	0.8	解析モデルに対する 加力方向を正とする
	風下	-0.4	

※ 1 : 竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値は、ランキン渦モデルを仮定して設定しており、ランキン渦では高さ方向によって、風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定しているため、高さ方向の分布係数 k_z は、1.0 とする。

竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち、外壁及び屋根の評価の詳細について説明するものである。

2. 設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対する評価

2.1 評価方法

使用済乾式燃料貯蔵建屋のうち、外壁及び屋根それぞれにおいて部材厚 1.0m、スパン 8.0m の一方向版を評価対象とし、衝突解析により外壁及び屋根に発生する応力を算出する。

設計飛来物の衝突位置は、モデル全体とする。また、衝突姿勢に応じて衝突荷重が影響する部材範囲が変わるが、大型車両の長辺が評価対象となるスパンより長いことから、荷重を等分布荷重として評価する。解析モデルの境界条件は、モデル両端を完全拘束とする。

第 2-1 表 設計飛来物 (大型車両) の諸元

名称	長さ	幅	高さ	質量	最大水平速度	最大鉛直速度
	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	m1 (kg)	Vh (m/s)	Vv (m/s)
大型車両	12.0	2.5	3.75	15,400	42	28

2.2 評価結果

(1) 外壁

設計飛来物の衝突に対する外壁の発生応力と許容限界の比較を第 2-2 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

(2) 屋根

設計飛来物の衝突に対する屋根の発生応力と許容限界の比較を第 2-3 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

第2-2表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考	
躯体条件	スパン	m	8.00		
	コンクリート厚	m	1.00		
	単体体積重量	kN/m ³	24.00		
	空気密度	kg/m ³	1.22		
	竜巻風速	m/s	100.00		
風荷重	速度圧	kN/m ²	6.10	$q=1/2*\rho*Vd^2$	
	ガスト係数	—	1.20		
	風力係数	—	1.00		
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$	
	受圧面積	m ²	46.00	$A=L*b$	
	風荷重	kN/m	42.09	$Ww=q*G*C*A/L$	
	発生曲げモーメント	M_風_端部	kNm	224.48	$M_{風_端部}=Ww*L^2/12$
		M_風_中央	kNm	112.24	$M_{風_中央}=Ww*L^2/24$
	衝突荷重	P1	kN/m	905.52	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
		M_衝_端部	kNm	4829.44	$M_{衝_端部}=P1*L^2/12$
M_衝_中央		kNm	2414.72	$M_{衝_中央}=P1*L^2/24$	
応答結果	M_端部	kNm	5053.92	M=M_風+M_衝	
	M_中央	kNm	2526.96		
	M	kNm	5053.92		

第 2-2 表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D32	
鉄筋量	at_m	mm ² /m	3176.80	
鉄筋断面積	at	mm ²	794.20	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm ²	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm ²	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	6171.14	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.22	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果

第2-3表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考	
躯体条件	スパン	m	8.00		
	コンクリート厚	m	1.00		
	単体積重量	kN/m ³	24.00		
	コンクリート自重	kN/m ²	24.00	$G_{con} = \gamma * t$	
	防水層自重	kN/m ²	2.10		
	機器配管サポート	kN/m ²	0.50		
	積載荷重	kN/m ²	3.00		
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$	
	作用面積	m ²	46.00	$A=L*b$	
	自重+積載荷重	kN/m ²	29.60		
自重及び積載荷重	G+P	kN/m	170.20	$(G+P)*A/L$	
	発生曲げモーメント	M _{G+P_端部}	kNm	907.73	$M_{風_端部}=(G+P)*L^2/12$
		M _{G+P_中央}	kNm	453.87	$M_{風_中央}=(G+P)*L^2/24$
	衝突荷重	P1	kN/m	402.45	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
		M _{衝_端部}	kNm	2146.42	$M_{G+P_端部}=P1*L^2/12$
	発生曲げモーメント	M _{衝_中央}	kNm	1073.21	$M_{G+P_中央}=P1*L^2/24$
		M _{端部}	kNm	3054.15	$M= M_{G+P}+M_{衝}$
	発生曲げモーメント	M _{中央}	kNm	1527.08	
		M	kNm	3054.15	
	応答結果				

第2-3表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D25	
鉄筋量	at_m	mm ² /m	2026.80	
鉄筋断面積	at	mm ²	506.70	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm ²	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm ²	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	3937.19	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.29	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果

竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の貫通及び裏面剥離限界厚さ算定における評価式及び入力値について説明するものである。

2. 評価式及び入力値

2.1 鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Degen 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-1 表に示す。

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合、

$$e = \alpha_c \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

$1.52 \geq X/d$ の場合、

$$e = \alpha_c \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで、貫入深さ (X) は、

$X/d \leq 2.0$ の場合、

$$X/d = 2 \{ (12,145 / \sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8} \}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$ の場合、

$$X/d = (12,145 / \sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8} + 1$$

第 2-1 表 Degen 式における記号の定義及び入力値

記号	単位	定 義		入力値
e	cm	貫通限界厚さ(鉄筋コンクリート部材)		—
α_e	—	低減係数		0.65
X	cm	貫入深さ		—
d	cm	設計飛来物直径		346
F_c	kgf/cm ²	コンクリートの 設計基準強度	使用済燃料乾式貯蔵建屋	306
N	—	設計飛来物の形状係数		0.72
D	kgf/cm ³	設計飛来物直径密度 $D=W/d^3$		0.000373
W	kgf	設計飛来物重量		15,400
V	m/s	設計飛来物の衝突速度(水平)		42
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)		28

2.2 鉄筋コンクリート部の裏面剥離限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Chang 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-2 表に示す。

$$S=1.84\alpha_s\cdot\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13}\cdot\frac{\left(\frac{W\cdot V^2}{g}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\cdot f_c^{0.4}}$$

第 2-2 表 Chang 式における記号の定義及び入力値

記号	単 位	定 義		入力値
g	cm/s ²	重力加速度		980
S	cm	裏面剥離限界厚さ		—
α_s	—	低減係数		0.6
V	cm/s	設計飛来物の衝突速度(水平)		4,200
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)		2,800
V ₀	cm/s	飛来物基準速度		6,096
d	cm	設計飛来物直径		346
f' _c	kgf/cm ²	コンクリートの 設計基準強度	使用済燃料乾式貯蔵建屋	306
W	kgf	設計飛来物重量		15,400

3. Degen 式及び Chang 式の採用について

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算定においては、以下に基づき、それぞれ、Degen 式、Chang 式を用いている。

①飛来物衝突に対する評価式として、NEI07-13^{※1}及び米国NRCの基準類^{※2}に算定式として記載されている。

②「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において、電力中央研究所の実験結果^{※3}に基づき、貫通限界厚さの評価式としてDegen式、裏面剥離限界厚さの評価式としてChang式の適用性が高いとされている。

また、評価式における各係数については、NEI07-13^{※1}、「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」等を踏まえ、安全側の値として、第3-1表に示す値を用いる。

第3-1表 評価式における形状係数および低減係数

	NEI07-13 ^{※1}	文献 ^{※4}	文献 ^{※5}	採用値
想定飛来物	【剛飛来物】 大型商用機の エンジン	—	【剛飛来物】 航空機エンジン	大型車両
貫通限界厚さ 形状係数	0.72	0.72～ 1.14	—	0.72
貫通限界厚さ 低減係数	0.60	—	0.65	0.65
裏面剥離限界厚さ 低減係数	0.55	—	0.60	0.60

※1 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : U. S NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3. 5. 3 BARRIER DESIGN PROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3-March 2007

※3 : 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法 電力中央研究所

※4 : 構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法, 土木学会,

※5 : Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles Part 4: Overall Evaluation of Local Damage, Kiyoshi Muto, etc., 10th SMIRT

使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 設計方針

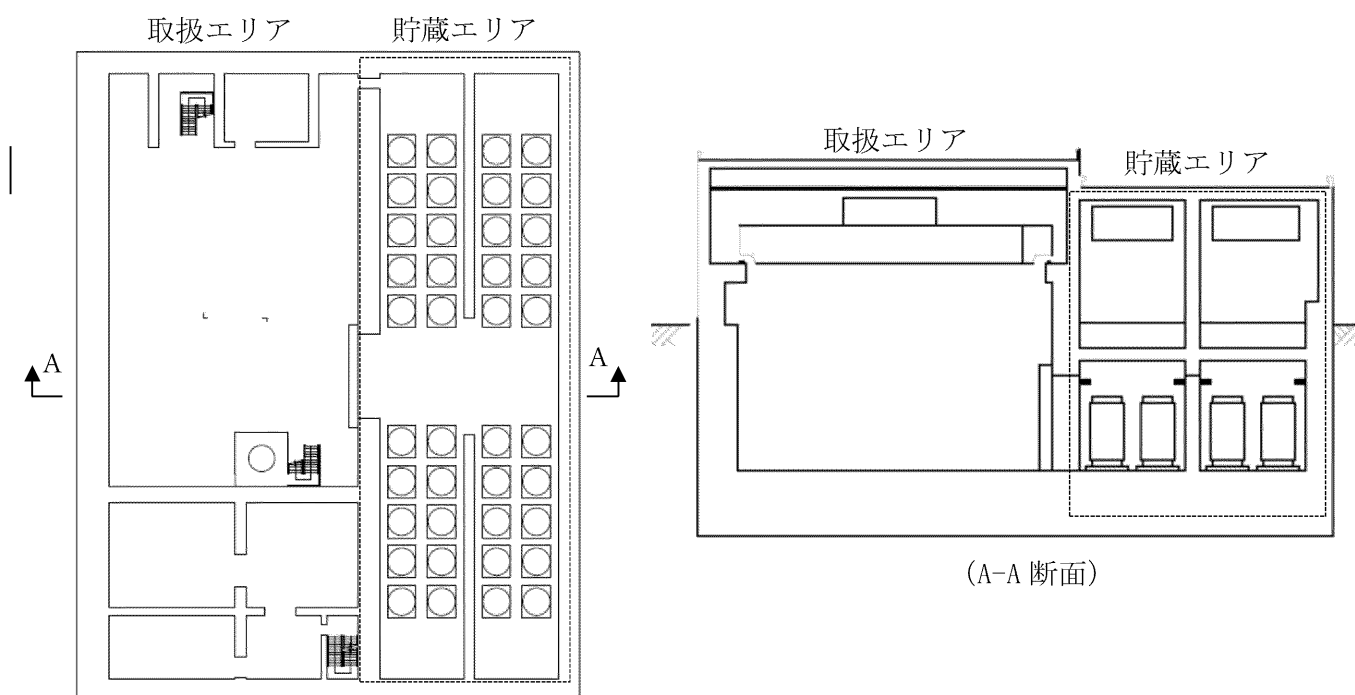
竜巻防護施設を内包する施設の設計は、設計荷重に対して構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損より当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計としている。

ただし、設計荷重による影響により当該建屋内の竜巻防護施設に影響を及ぼす場合には、必要により竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施するとしている。

乾式貯蔵建屋のうち貯蔵エリアについては、貯蔵時の敷地等境界線量の影響評価において、敷地等境界線量の目標値である年間 $50\mu\text{Sv}$ 以下を満足するためには、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい機能が必要であることから、竜巻防護設計においても貯蔵エリアについては、設計竜巻による荷重に対し構造健全性を維持することで、乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

乾式貯蔵建屋のうち取扱エリアについては、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は乾式キャスク取扱中であるため作業員がいることから、竜巻の発生が予想される場合には設計飛来物の侵入を考慮して、乾式キャスクを設計飛来物の影響を受けない位置へ移動する運用とする。

乾式貯蔵建屋の概略図を第1図に示す。



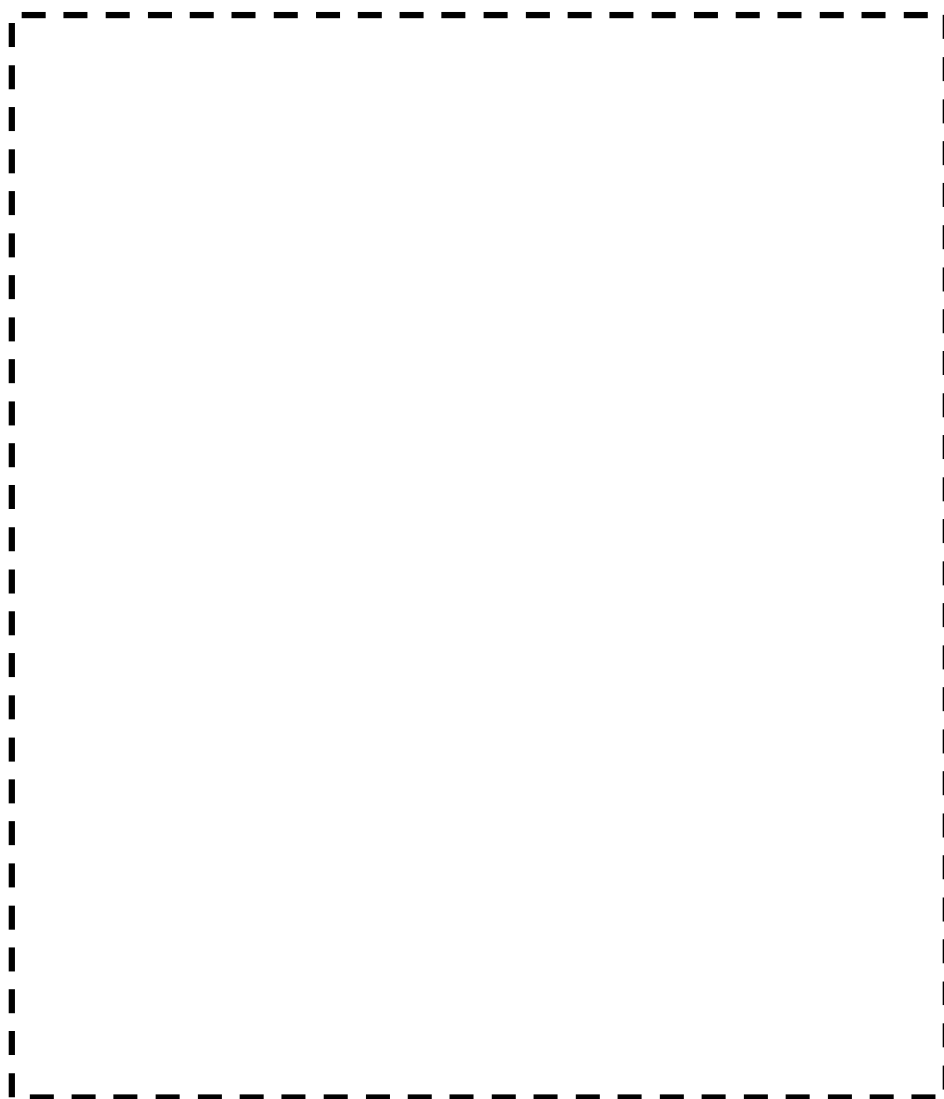
第1図：乾式貯蔵建屋の概略図

2. 建屋外周部建具の損傷による影響確認

建屋外周部建具に飛来物が衝突し損傷が生じ、建屋内に飛来物が侵入した場合の影響を確認した。

搬出入口からの設計飛来物の侵入を考慮し、設計飛来物が乾式キャスクに衝突しないよう、竜巻の発生が予測される場合には乾式キャスクを飛来物の影響を受けない位置に移動する。

飛来物による影響範囲を第2図に示す。



第2図：飛来物影響範囲

┌───┐：防護上の観点から公開できません

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)

(別添資料1) 外部火災に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-3) 安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

自然現象として想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度から算出される防火帯（約 35m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また、森林火災による熱影響については、火炎輻射強度（ $500\text{kW}/\text{m}^2$ ）の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）として、想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(2) 安全設計方針

1.10 外部火災防護に関する基本方針

1.10.1 設計方針

安全施設が外部火災に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護、障壁による防護及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

想定する外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び船舶の火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.10.1表に示す。

また、想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 外部火災防護施設

安全施設に対して外部火災の影響を受けた場合において、原子炉の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とする。外部火災防護施設を第1.10.2表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

(a) クラス1及びクラス2に属する屋内施設

屋内のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、内包する建屋により防護する設計とし、以下の建屋を対象とする。

i 原子炉格納容器

- ii 原子炉補助建屋
- iii 原子炉周辺建屋
- iv 燃料取替用水タンク建屋
- v 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(b) クラス1及びクラス2に属する屋外施設

屋外のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、以下の施設を対象とする。

i. 海水ポンプ

b. 外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

- (a) 換気空調設備
- (b) ディーゼル発電機
- (c) 海水ポンプ
- (d) 主蒸気逃がし弁、排気筒等
- (e) 安全保護系計装盤
- (f) 制御用空気圧縮機

また、クラス3に属する施設については、外部火災発生時は、建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等により安全機能を損なわない設計とするため、影響評価対象から除外する。

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSITE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火災が防火帯外縁に到達するまでの時間、クラス

1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を確保すること等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

(a) 森林火災における各樹種の可燃物量は、佐賀県から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また、林齢は、樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。

(b) 気象条件は、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データを調査し、佐賀県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合わせとする。

(c) 風向については、最大風速における風向と卓越風向を調査し、森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して、最大風速記録時の風向を設定する。

(d) 発火点については、防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し、FARSITE より出力される最大火線強度及び反応強度の高い値を用いて評価するため、発電所から直線距離 10km の間で風向及び人為的行為を考慮し、2 地点を設定する。

i. 発電所周辺のうち、卓越風向である東北東の風による延焼を考慮し、他の場所よりも火災発生の可能性が高いと想定される寮（発電所敷地から約 0.4km の距離）を「発火点 1」として設定する。

ii. 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、3 月、4 月の最大風速時の風向の南風による延焼を考慮し、発火点 1 とは森林火災の進行方向が異なる方角となる南東の道路沿い（発電所敷地から約 0.5km の距離）を「発火点 2」として設定する。

(e) 森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定

する。

b. 評価対象範囲

発電所は北側に延びる細長い値賀崎に位置しており、発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は南北 13km、東西 13km の範囲を対象に評価を行う。

c. 必要データ (FARSITE 入力条件)

(a) 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の土地の標高、地形等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」(国土地理院データ)を用いる。

(b) 土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の建物用地、交通用地等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」(国土交通省データ)を用いる。

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体(佐賀県)より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内の植生データについては、発電所内の樹木を管理している緑地図を用いる。

また、発電所構内及び発電所周辺の植生データについて、現地調査し、FARSITE 入力データとしての妥当性を確認のうえ植生区分を設定する。

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データのうち、佐賀県で発生した森林火災の実績より、発生頻度が高

い 2 月から 5 月の気象条件（最多風向、最大風速、最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度（ 1.23m/s （発火点 1））や火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））を算出する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間^{注1}（46 分（発火点 2））を算出し、森林火災が防火帯に到達するまでの間に発電所に常駐している自衛消防隊による屋外消火栓等を用いた消火活動が可能であり、万が一の飛び火等による火炎の延焼を防止することで外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、防火帯の外側にあるクラス 3 施設としては、モニタリングポスト等があり、火災発生時は、化学消防自動車、小型動力ポンプ付水槽車による消火活動及び代替設備（可搬型モニタリングポスト、可搬型エリアモニタ）の確保が可能な設計とする。

注 1：火炎が防火帯に到達する時間

f. 防火帯幅の設定

FARSITE から出力される最大火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））^{注1}により算出される防火帯幅 29.7m に対し、約 35m の防火帯幅を確保することにより外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について、第 1.10.1 図に示す。

注 1：火線強度は反応強度と延焼速度の関連で算出されるため、延焼速度が速い発火点 1 が最大となることから発火点 1 の火線強度を用いて評価する。

- g. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、FARSITEから出力される反応強度から求める火炎輻射強度 ($404\text{kW}/\text{m}^2$)^{注1、2}に安全側に余裕を考慮した $500\text{kW}/\text{m}^2$ とする。

- (a) 火災の想定

i. 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。

ii. 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより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。

iii. 気象条件は無風状態とする。

- (b) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき算出する、防火帯の外縁（火炎側）から最も近く（約90m）に位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注3}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (c) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注 1 : 保守的な入力データにより FARSITE で評価した火炎輻射強度

注 2 : 火炎輻射強度は反応強度と比例することから反応強度が高い発火点 1 の火炎輻射強度を用いて評価する。

注 3 : 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⁽¹⁶⁾

- h. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ ^{注 1} に基づき算出する危険距離以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離（約 90m）を危険距離以上確保することで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (b) 海水ポンプの危険距離の確保

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損な

わない設計とする。

注 1 : 「g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響」の評価に用いた値

注 2 : 発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の間に必要な離隔距離

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出したうえで発電所との離隔距離を確保すること、及び、発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物タンク等を選定し、危険物タンク等の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保、障壁による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約 12km の唐津地区である。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約 120m の山林の障壁があり、火災時の熱輻射及びガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約 1 km のところに一般国道 204 号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。

このため、一般国道 204 号線上で車両火災が発生したとしても、外部火災防護施設に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンク等を第 1.10.3 表及び第 1.10.2 図に示す。

(a) 火災の想定

- i. 危険物タンク等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク等の位置からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- iii. 危険物タンク等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- iv. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- v. 気象条件は無風状態とする。

(b) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物タンク等とする。

なお、屋外に設置する危険物タンク等のうち、地下タンク貯蔵所は埋設しているため評価対象外とする。

また、燃料補給用のタンクローリについては、燃料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、評価対象から除外する。

- i. 補助ボイラ燃料タンク
- ii. 高温焼却炉用燃料タンク

(c) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

i 3 号炉原子炉周辺建屋及び燃料取替用水タンク建屋への熱影響

(i) 補助ボイラ燃料タンク

補助ボイラ燃料タンクを対象に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 ($2,047\text{W}/\text{m}^2$) で 3 号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

(ii) 高温焼却炉燃料タンク

高温焼却炉燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($3,910\text{W}/\text{m}^2$) で燃料取替用水タンク建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

ii 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、EL. +11m 以上に設置している屋外の危険物タンク等との間には、高低差があり、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、

海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注 1：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⁽¹⁶⁾

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災について落下カテゴリ毎に選定した航空機を対象に、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。また、航空機落下による火災と発電所敷地内の危険物タンク等による火災の重畳を考慮する設計とする。

a. 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリ毎に落下確率を求める。ここで、落下事故の実績がないカテゴリの事故件数は保守的に 0.5 回として扱う。また、カテゴリ毎の対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第 1.10.4 表に示す。

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こるこ

とを想定する。

- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 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。

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} （回／炉・年）以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置するクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設とする。

カテゴリ毎の対象航空機の離隔距離を第1.10.4表に示す。

d. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 建屋への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

カテゴリ毎の対象航空機の輻射強度を第1.10.4表に示す。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

e. 航空機墜落に起因する敷地内危険物タンク等の火災の

熱影響

航空機墜落による火災のうち評価結果が最も厳しい大型民間航空機の B747-400 と、B747-400 墜落による火災が発生した場合に燃焼する可能性のある敷地内危険物タンク等のうち評価結果が最も厳しい 1, 2 号炉補助ボイラ燃料タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注 1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

注 1：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⁽¹⁶⁾

(5) 発電所港湾内に入港する船舶火災の熱影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、荷揚岸壁に停泊する船舶を選定し、船舶の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

対象の船舶を第 1.10.5 表及び第 1.10.3 図に示す。

a. 火災の想定

- (a) 燃料保有量は満積とした状態とする。
- (b) 離隔距離は、評価上厳しくなるよう荷揚岸壁からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- (c) 船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定する。
- (d) 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(e) 気象条件は無風状態とする。

b. 評価対象範囲

発電所港湾内に入港し荷揚岸壁に停泊する、大型の船舶である燃料等輸送船の火災により影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を評価対象とする。

c. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

燃料等輸送船を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $105.8\text{W}/\text{m}^2$ ）で3号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、燃料等輸送船の火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注1：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⁽¹⁶⁾

(6) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、安全機能が損なわれるおそれがある構築物、系統及び機器として外気を取り込むクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を抽出したうえで、第1.10.6表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施するこ

とでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調設備

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中間補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

外部火災発生時のばい煙については、数 μm 以上のものを想定しており、これらの外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙粒子については、平型フィルタにより侵入を阻止することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、主蒸気主給水管室空調装置等は、外気取入ダンパを閉止し、外気取入れを遮断することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備については、外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機

ディーゼル発電機機関の吸気消音器に付属するフィルタ（粒径 $120\mu\text{m}$ 以上において約 90% 捕獲）で比較的大粒径のばい煙粒子が捕獲され、粒径数 $\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 程度のばい煙粒子が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく、閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

c. 海水ポンプ

海水ポンプモータは電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して電動機内部に外気を直接取り込まない全閉外扇形の冷却方式であるため、ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また、空気冷却器冷却管の内径は約 17mm であり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気逃がし弁、排気筒等

主蒸気逃がし弁は、建屋外部に排気管を有する設備であるが、ばい煙が排気管内に侵入した場合でも、主蒸気逃がし弁の吹出力が十分大きいいため、微小なばい煙粒子は吹き出されることにより主蒸気逃がし弁の安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒及び主蒸気安全弁については、主蒸気逃がし弁と同様に、建屋外部の配管にばい煙が侵入した場合でも、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることにより排気筒及び主蒸気安全弁の安全機能を損なわない設計とする。

e. 安全保護系計装盤

安全保護系計装盤が設置されている部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて空調管理されており、本空調装置の外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ よ

り大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、極めて細かな粒子のばい煙が侵入した場合において、ばい煙の付着による短絡等を発生させる可能性は小さいことにより安全保護系計装盤の安全機能を損なわない設計とする。

f. 制御用空気圧縮機

制御用空気圧縮機が設置されている部屋は、中間補機棟換気装置にて空調管理されており、本換気装置の外気取入口には平型フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、ばい煙が侵入した場合にも、ばい煙の付着により機器内の損傷を発生させる可能性は小さいことにより制御用空気圧縮機の安全機能を損なわない設計とする。

(7) 有毒ガスの影響

a. 有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響については、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機

開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中央補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

このうち、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことによりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置以外の換気空調設備については、空調ファンを停止すること等によりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. 発電所周辺地域からの有毒ガス影響評価

発電所周辺地域には、以下の交通運輸状況及び産業施設がある。

発電所周辺地域の主要道路としては、一般国道204号線がある。

鉄道路線としては、唐津市をJR唐津線が通っており、発電所の南東方向約13kmに最寄りの西唐津駅がある。

一般航路は発電所から離隔距離が確保されている。また、燃料輸送船が発電所港湾内に入港する。

発電所周辺の石油コンビナート施設等については、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しない。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約12kmの唐津地区である。

これらの主要道路、鉄道路線、一般航路及び石油コンビナート施設等は、発電所から離隔距離が確保されており、危険物を積載した車両及び船舶を含む事故等による発電所への有毒ガスを考慮する必要はない。

1.10.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡責任者、運転員及び専属消防隊が常駐するとともに、火災発生時には、所員により編成する自衛消防組織を所長の判断により設置する。

自衛消防組織の組織体制を第1.10.4図に示す。

1.10.3 手順等

外部火災における手順等については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、手順等を整備し、実施する。
- (2) 初期消火活動においては、手順を整備し、火災発生現場の確認、中央制御室への連絡、消火栓、化学消防自動車及び小型動力ポンプ付水槽車等を用いた初期消火活動を実施する。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置している平型フィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

第 1.10.1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外10km以内に発火点を設定した発電所に迫る火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km以内に存在する石油コンビナート施設等の火災・爆発
	発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災
船舶の火災	発電所港湾内に入港する船舶の火災

第 1.10.2 表 外部火災防護施設

1. 火災の直接的な影響を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設を内包する建屋	原子炉格納容器 原子炉補助建屋 原子炉周辺建屋 燃料取替用水タンク建屋 <u>使用済燃料乾式貯蔵建屋</u> ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離及び障壁等で防護
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する屋外施設	海水ポンプ ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと火災時に直接熱影響を受けないよう配置上の考慮を行うことにより防護
安全機能の重要度分類 「クラス3」に属する施設	タービン建屋 開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 モニタリングポスト他 ※建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等

2. 火災の二次的影響（ばい煙）を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設	換気空調設備 ディーゼル発電機 海水ポンプ 主蒸気逃がし弁、排気筒等 安全保護系計装盤 制御用空気圧縮機

第 1.10.3 表 発電所敷地内に設置している
屋外の危険物タンク等設置状況

タンク名称	燃料	容量 (数量)	影響先	離隔 距離
補助ボイラ 燃料タンク	重油	500kℓ ^{注1} (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	48m
高温焼却炉 燃料タンク	重油	44.2kℓ ^{注2} (1基)	燃料取替用水タンク建屋	11m
油計量タンク	タービ ン油	133kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	67m
大容量空冷式 発電機用燃料タンク	重油	30kℓ (2基)	—注3	
燃料油貯油そう (3号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯油そう (4号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯蔵タンク	重油	200kℓ (4基)		
1、2号炉補助ボイラ 燃料タンク	重油	350kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	349m
油倉庫	軽油 ／ 重油等	10kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	216m

注1 貯蔵量低減対策として、230kℓで管理している。

注2 貯蔵量低減対策として、8kℓで管理している。

注3 地下タンク貯蔵所のため、評価対象外とする。

第 1.10.4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔 ^{注 3} 距離	輻射強度	
計器飛行方式 民間航空機	大型民間航空機	B747-400	109m	1.8×10^3 W/m ²	
有視界飛行方式 民間航空機					小型民間航空機 ^{注 2}
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域内 で訓練中及 び訓練空域 外を飛行中	空中給油機等、高 高度での巡航が想 定される大型固定	KC-767	197m	3.9×10^2 W/m ²
		その他の大型固定 翼機、小型固定翼 機及び回転翼機	F-15	37m	1.3×10^3 W/m ²
	基地－訓練空域間往復時	CH-47JA	26m	1.6×10^3 W/m ²	

注 1：有視界飛行方式民間航空機のうち、小型機の評価対象航空機は、自衛隊機又は米軍機の「基地－訓練空域間往復時」に包絡される。

注 2：計器飛行方式民間航空機の小型機は、原則として有視界飛行方式による飛行形態をとっていることから、有視界飛行方式として評価する。

注 3：離隔距離の設定にあたり、落下実績がない場合は、保守的に 0.5 回を用いた。

第 1.10.5 表 荷揚岸壁に停泊する船舶

船舶	燃料	容量	影響先	離隔距離
燃料等輸送船	重油	560kℓ	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	475m

第 1.10.6 表 ばい煙による影響評価


	分類	影響評価設備
機器への影響	外気を取り入れる空調設備	換気空調設備
	外気を設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機
		海水ポンプ
		主蒸気逃がし弁、排気筒等
	室内の空気を取り込む機器	安全保護系計装盤
制御用空気圧縮機		



第 1.10.1 図 防火帯設置図

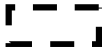


第 1.10.2 図 危険物タンク等配置図

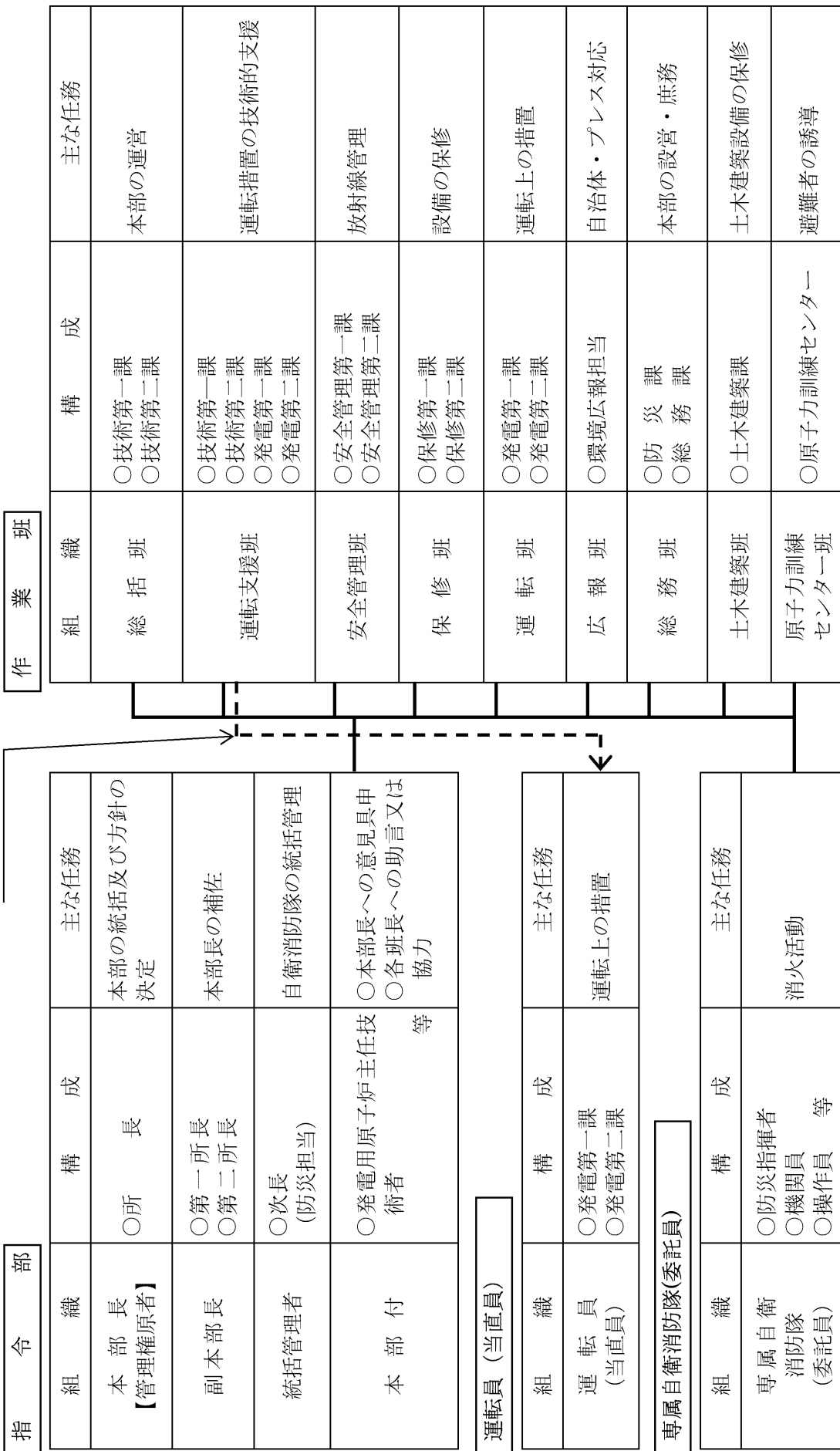
: 防護上の観点から公開できません



第 1.10.3 図 船舶配置図

 : 防護上の観点から公開できません

技術的支援



第 1.10.4 図 自衛消防組織体制図

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱放射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1kmのところの一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の放射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の放射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の放射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の放射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998年
- (3) Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定：平成25年6月19日）
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- (6) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定：平成25年6月19日）
- (7) B.5.b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC公表
- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」（社）日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会

- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2）」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」 武若耕司、
コンクリート工学、vol.42、2004
- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」 出雲茂人、末吉秀一他、
防食技術 Vol.39、1990
- (16) 「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

1.2 気象等

変更なし

1.3 設備等

該当なし

外部火災に対する防護
(使用済燃料乾式貯蔵容器)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 想定する外部火災
 - 1.3 外部火災防護
 2. 火災の熱影響評価
 - 2.1 各火災源からの熱影響評価について
- 資料
- － 1 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

1. 基本方針

1.1 基本事項

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないもの及び兼用キャスクは、想定される森林火災及び工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発・火災に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「ガイド」という。）に基づき外部火災影響評価を行い、外部火災により安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣産業施設の火災、爆発、航空機墜落による火災及び船舶の火災を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- ・森林火災
- ・近隣産業施設の火災、爆発
- ・航空機墜落による火災
- ・船舶火災

なお、近隣産業施設の火災、爆発のうち石油コンビナート施設の火災及び爆発は、発電所敷地外 10 km以内の範囲において安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、安全施設への影響については考慮する必要はない。

1.3 外部火災防護

(1) 評価する外部火災防護施設

安全施設は、外部火災の影響を受けた場合、原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象設備（以下「外部火災防護施設」という。）とする。

安全機能を有する設備としては、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類審査指針」という。）において、安全機能を有する設備とされるクラス1、2及び3に該当する構築物、系統及び機器が該当する。

また、ガイドでは発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設（安全機能を

有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。)へ影響を与えないこと等を評価することとされており、使用済燃料乾式貯蔵施設は外部火災防護施設に該当する。

(2) 影響評価の内容について

a. 火災に対する直接的な影響評価について

外部火災防護施設のうち、高い信頼性を要求されるクラス1及び2に該当する構築物、系統及び機器については、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、想定される外部火災に対して構築物固有の熱影響評価を実施する。具体的には、使用済燃料乾式貯蔵容器を設置する建屋については、建屋のコンクリート壁の耐性評価を実施し、建屋内の設備に影響を及ぼさないことを確認する。

b. 二次的影響評価について

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

2. 火災の熱影響評価

2.1 各火災源からの熱影響評価について

外部火災の熱影響評価は、火災源の輻射強度、火災源からの距離及び外部火災防護施設の壁厚さを入力条件として評価する。各火災源の輻射強度については、既許可から変更は無い。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁厚さは、厚く1.0mである。

このため、各火災源から原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋及び燃料取替用水タンク（以下「原子炉周辺建屋等」という。）のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較する。（表1、2）

また、図1、図2に火災源から外部火災防護施設との離隔距離を示す。

各火災源から原子炉周辺建屋等のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較し、森林火災及び船舶火災以外については、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。森林火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離約400mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は約90mとなり、離隔距離が短くなるが危険距離[※]35m以上の離隔が確保できていることから、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。

船舶火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離795mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は475mとなり、離隔距離が短くなるため、熱影響評価を実施する。（添付資料-1）

※防火帯外縁（火災側）から火災防護施設の間に必要な離隔距離

表 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

	離隔距離 (m)	
	原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設
森林火災	400 (危険距離 : 35)	90
補助ボイラ燃料タンク	48	730
高温焼却炉燃料タンク	11	820
油計量タンク	67	610
1、2 号炉補助ボイラ燃料タンク	349	360
油倉庫	60	560
船舶	795	475



図 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

表 2 火災源から外部火災防護施設の離隔距離（航空機墜落）

カテゴリ		離隔距離（m）		対象 航空機	
		原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設		
計器飛行方式及び有視 界飛行方式民間航空機	大型民間航空機	109	201	B747 -400	
	小型民間航空機	75	166	—	
自衛隊機又 は米軍機	訓練空域 外飛行中	空中給油機等、高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	197	308	KC-767
		その他の大型固定翼機、小型固 定翼機及び回転翼機	37	85	F-15
	基地－訓練空域間往復時	26	72	CH-47JA	

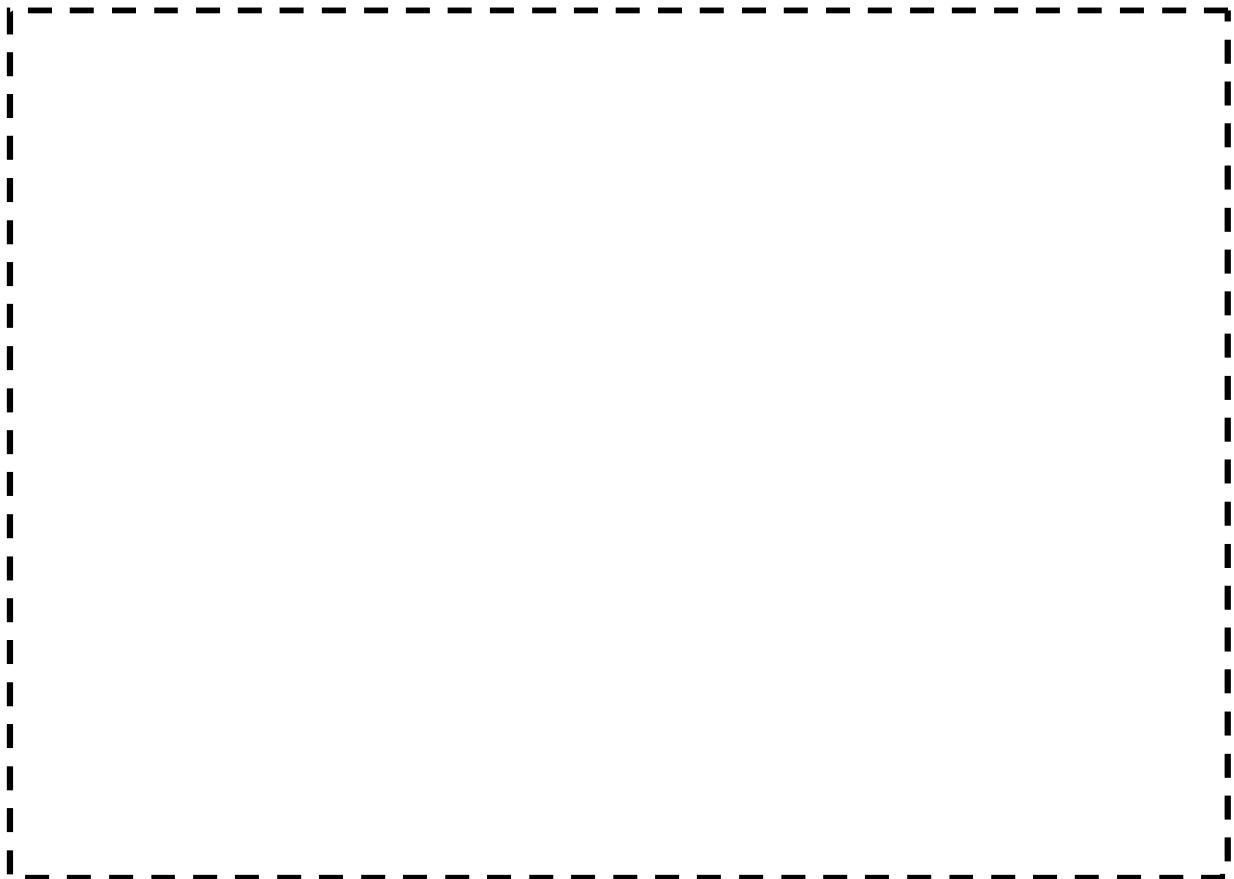


図 2 離隔距離の算出イメージ（代表例：72m）

┌──┐：防護上の観点から公開できません

使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

1. 評価対象船舶の想定について

評価対象船舶の想定については、既許可の評価条件から変更はなく、以下の通りとする。

発電所の港湾内に定期的に入港する大型船舶として燃料等輸送船があるため、この船舶が積載している燃料が接岸中に発火したことを想定し、以下の通りクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設への熱影響評価を実施した。

2. 燃料等輸送船火災時の熱影響評価について

2.1 火災の想定

火災を想定するうえで以下を考慮した。

- a. 燃料保有量は満積とした状態とする。
- b. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう発電所の荷揚岸壁からクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設までの直線距離とする。
- c. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- d. 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する。
- e. 気象条件は無風状態とする。

2.2 評価要領

発電所の荷揚岸壁に接岸中の船舶で火災が発生することを想定し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁のうち、垂直外壁面及び天井スラブから選定した火災の輻射に対して最も厳しい箇所に対する熱影響評価を評価した。(図1)



図1 船舶と外部火災防護施設位置図

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

2.3 影響評価

(1) 評価に用いる諸元

評価に用いる諸元は表1に示すとおりである。

表1 評価に用いる諸元

		評価指標	
船舶の仕様等	燃料量 [m ³]	560	
	燃焼面積 [m ²]	1,650	
	離隔距離 [m]	使用済燃料 乾式貯蔵施設	475
燃料の物性値	火炎輻射強度 [W/m ²]	23,000	
	燃料密度 [kg/m ³]	1,000	
	燃焼速度 [m/s]	3.5 × 10 ⁻⁵	
	質量低下速度 [kg/m ² ・s]	0.035	

(2) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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
なお、燃焼半径 R と燃焼面積 S は次の関係式となる。

$$S = \pi R^2, R = (S / \pi)^{0.5}$$

(3) 受熱側の輻射強度算出

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となる。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 受熱側輻射強度 [W/m²]、R_f : 火炎輻射発散度 [W/m²]、 ϕ : 形態係数

(4) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値となる。

$$t = V / (\pi R^2 \times v)$$

ただし $v = M / \rho$

V : 燃料量 [m³]、v ($v = M / \rho$) : 燃焼速度 [m/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²・s]、 ρ : 燃料密度 [kg/m³]

(5) 外壁の温度評価

火災源からの輻射熱による外部火災防護施設への熱影響評価を行うに当たって、一次元非定常熱伝導方程式の解である半無限固体での温度評価式を用いて、外壁の温度を評価する。

条件として、受熱側の輻射強度は一定値で変化しないものと仮定し、外壁表面の対流熱損失は考慮しないものとする。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha_c t}}{\lambda_c} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\chi^2}{4\alpha_c t}\right) - \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}}\right) \right]$$

T : コンクリート温度 [°C]

T₀ : 初期温度 (50 [°C])

α_c : コンクリート温度伝導率 (7.53 × 10⁻⁷ [m²/s])

[α_c = λ_c / (ρ × C_p)]

C_p : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])

ρ : コンクリート密度 (2,300 [kg/m³])

λ_c : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])

χ : コンクリート深さ [m]、E: 受熱側輻射強度 [W/m²]

t : 燃焼継続時間 [秒]

なお、本式は半無限固体を想定した温度評価式であるが、既許可の評価において、火災継続時間及び燃焼面積が大きい補助ボイラ燃料タンクにて外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ

$$\chi = (3.6(\alpha t)^{1/2}) \quad (\text{出典: 伝熱工学、東京大学出版会})$$

を算出すると約0.35mであり、外壁厚さを下回るため、本温度評価式が適用できる。(別紙1)

2.4 判断の考え方 (評価結果)

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁の耐性評価

「2.3 項(5) 外壁の温度評価」の評価式を適用し、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)が昇温されるものとしてコンクリートの表面の温度上昇を評価した結果、使用済燃料乾式貯蔵施設の外壁の表面の温度は約56°Cとなり、許容温度200°Cを下回ることを確認した。(図2) また、コンクリート外壁の裏面温度は初期温度の50°Cから上昇しないことを確認した。

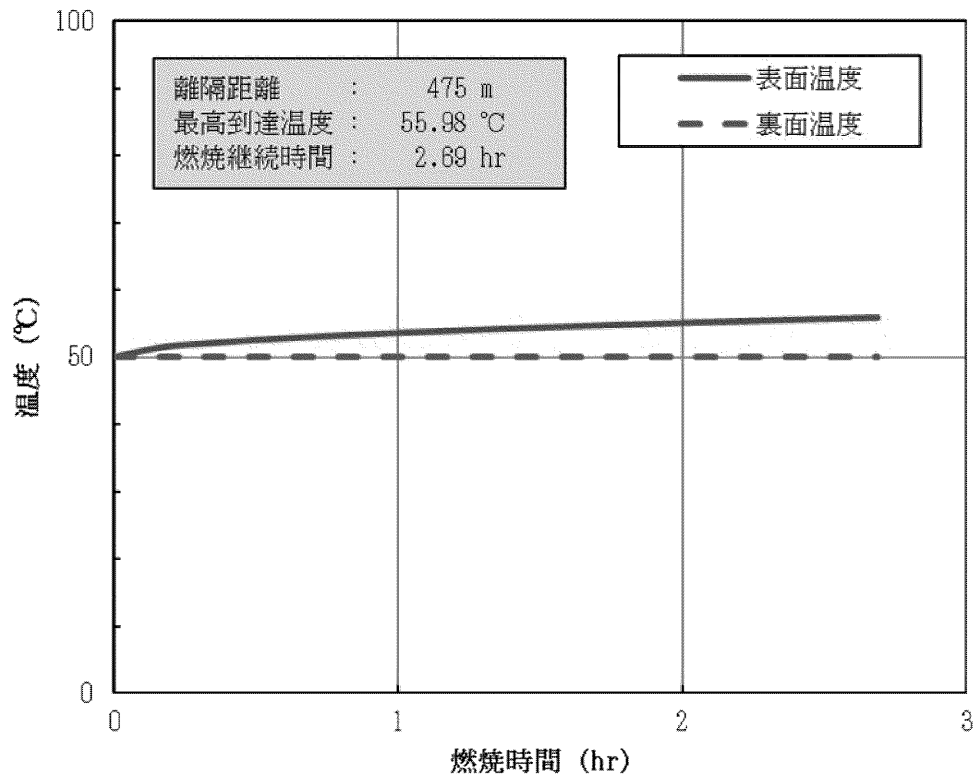


図2 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁における温度上昇の評価結果

コンクリート外壁温度評価式の適用性について

1. 温度浸透厚さについて

火災源からの輻射熱による外壁温度の評価にあたっては、半無限固体での温度評価式を用いて算出しているが、その温度評価式の適用性についてコンクリート厚さの観点より問題ないことを以下のとおり確認している。

外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ χ （温度浸透厚さ）を算出した。

$$\chi = 3.6 (\alpha t)^{1/2} \quad (\text{出典：伝熱工学、東京大学出版会})$$

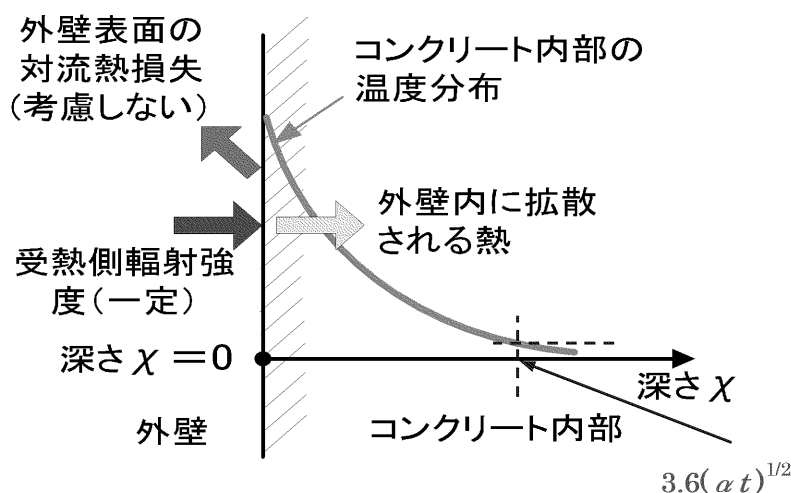


図1 外壁温度上昇評価モデル

外壁温度上昇が最も大きい補助ボイラ燃料タンクにて、深さ χ （温度浸透厚さ）を求めた結果、約0.35mとなり、外壁厚さ0.4mを下回ることから、本温度評価式の適用性に問題ないことを確認している。

「伝熱工学 東京大学出版会」では、熱伝導を問題にする際は、温度が伝わる領域が薄い場合は、物体の大きさが有限であっても半無限物体として扱えると記載している。

上記の文献では、半無限物体内の温度変化は、表面に近い一定の領域に限定され、表面温度の1%となる深さを温度浸透厚さと定義されている。

なお、温度浸透深さは「 $(\chi) = 3.6 (\alpha t)^{1/2}$ 」にて算出され、その深さ以上の物体であれば、半無限物体として扱っても問題ない。

温度の主たる変化は表面に近い一定の領域に限定されている。温度が表面温度の1%となる深さ χ を温度浸透厚さと定義すると、 χ は、ほぼ $3.6(\alpha t)^{1/2}$ である。

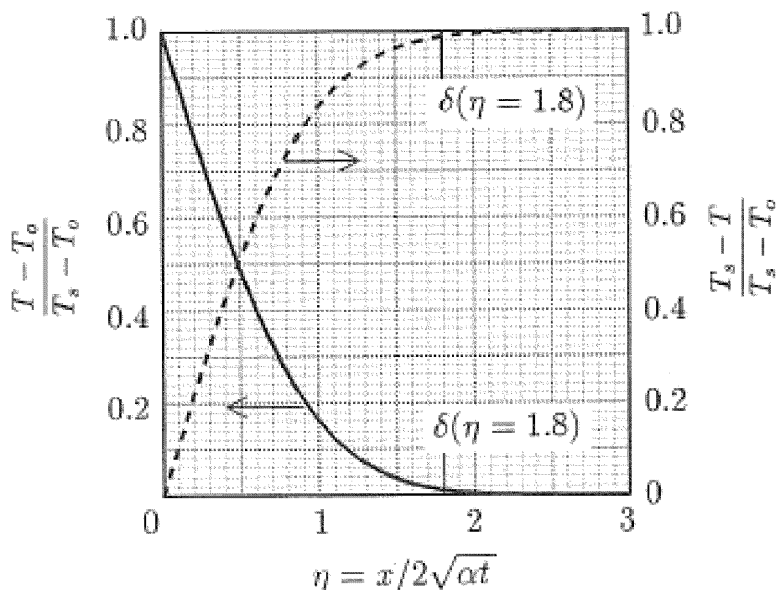


図2 半無限物体の温度分布

$T - T_0 / T_s - T_0$ は、温度上昇を示しており、表面温度1%とは、縦軸の0.01のことを示し、横軸 $\eta =$ 約1.8となる。

$$\eta = \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha t}}$$

に代入すると次のようになり、

$$1.8 = \chi / (2\sqrt{\alpha t})$$

整理すると、前頁の式 $\chi = 3.6(\alpha t)^{1/2}$ となる。
数値を代入すると

$$\chi = 3.6 \times (7.86 \times 10^{-7} \times 1.20 \times 10^4)^{1/2} = 3.50 \times 10^{-1} \text{ m} \doteq 0.40 \text{ m}$$

α : コンクリート温度伝導率 (7.86×10^{-7} [m²/s])

[$\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$]

C_p : コンクリート比熱 (963[J/kgK])、 ρ : コンクリート密度 (2,300[kg/m³])

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/mK])、 t : 燃焼継続時間 (1.20×10^4 [秒])

2. 建屋外壁表面温度の評価式について

図3に示すように始め一様な温度 T_0 にあった半無限物体の表面の温度をあ

る瞬間から温度 T_s に保持したとし、内部発熱がなく、物性を一定とすると熱伝導方程式は以下のようになる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

初期条件： $t = 0$ で $T = T_0$ 、境界条件： $x = 0$ で $T = T_s$ 、 $x = \infty$ で $T = T_0$ とする。この方程式を差分形式で表記すると以下のようになる。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^n + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n$$

なお、上記の熱伝導方程式を有限厚さにおける差分式で表して評価した温度分布と次式の外壁温度評価式の解析解を比較した結果、図4に示すように一致しており評価に使用できることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right]$$

- T_0 : 初期温度
- q : 輻射強度 [W/m^2]
- α : コンクリート温度伝導率
[$\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$]
- C_p : コンクリート比熱
- ρ : コンクリート密度
- λ : コンクリート熱伝導率
- χ : コンクリート深さ [m]
- t : 燃焼継続時間 [秒]

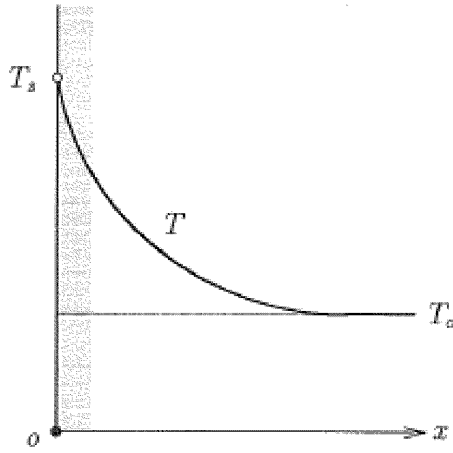


図3 半無限固体の熱伝導

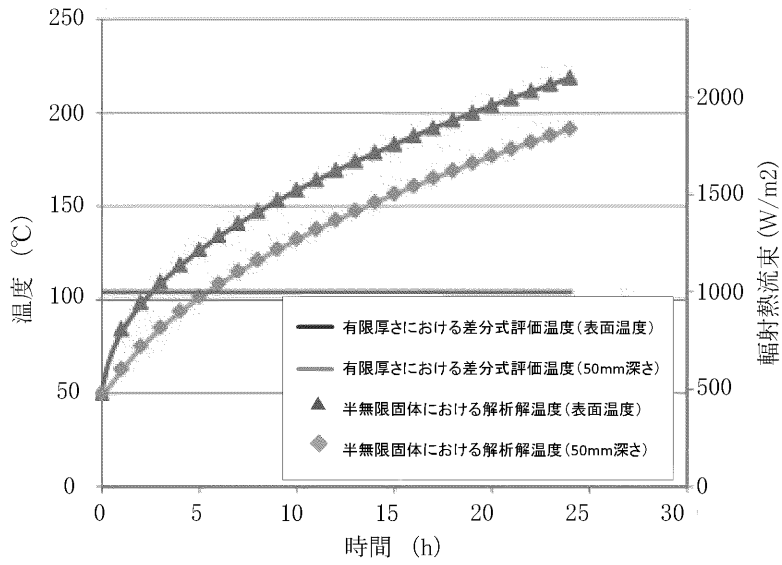


図4 半無限固体における解析解と有限厚さにおける差分式評価温度の比較

29 条

工場等周辺における直接線等からの防護

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置、構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 工場等周辺における直接線等からの防護

(別添資料)

工場等周辺における直接線等からの防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ. 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、以下の基本方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(x) 発電所周辺における直接線等からの防護

設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率が、十分に低減（発電所内の使用済燃料乾式貯蔵施設を除く他の施設からのガンマ線と使用済燃料乾式貯蔵施設からの中性子及びガンマ線とを合算し、実効線量で1年間当たり $50 \mu\text{Sv}$ 以下となるように）できる設計とする。

イ. 核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物による放射線被ばくの管理の方法

(1) 放射線防護に関する基本方針・具体的方法

放射線の被ばく管理及び放射性廃棄物の廃棄に当たっては、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という。）及び「労働安全衛生法」を遵守し、本発電所に起因する放射線被ばくから発電所周辺の一般公衆並びに放射線業務従事者及び一時立入者（以下「放射線業務従事者等」という。）を防護するため十分な放射線防護対策を講じる。

さらに、発電所周辺の一般公衆に対する線量については、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」（以下「線量目標値に関する指針」という。）に基づき、合理的に達成できる限り低くすることとする。

具体的方法については、以下のとおりとする。

- (i) 本発電所に係る放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で遮へい設備、換気空調設備、放射線管理設備及び放射性廃棄物廃棄施設を設計し、運用する。
- (ii) 放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、管理区域を設定して、立入りの制限を行い、外部放射線に係る線量当量、空气中若しくは水中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を監視する。
- (iii) 放射線業務従事者に対しては、線量を測定評価し線量の低減に努める。
- (iv) 管理区域の外側には、周辺監視区域を設定して、人の立入りを制限する。
- (v) 気体及び液体廃棄物の放出については、放出管理目標値を定め、これを超えないように努める。

なお、発電用原子炉施設は、通常運転時において原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地等境界外の空間放射線量率が十分に低減できるものとする。

ハ. 周辺監視区域の外における実効線量の算定の条件及び結果

「線量目標値に関する指針」に基づき、気体廃棄物中の希ガスの γ 線に起因する実効線量、液体廃棄物中に含まれる放射性物質（よう素を除く。）に起因する実効線量並びに気体廃棄物中及び液体廃棄物中に含まれるよう素に起因する実効線量を、「線量目標値に対する評価指針」及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価する。

(2) 線量の評価結果

敷地等境界外における1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉からの気体廃棄物中の希ガスの γ 線に起因する実効線量、液体廃棄物中に含まれる放射性物質（よう素を除く。）に起因する実効線量及びよう素に起因する実効線量は、それぞれ年間約 $2.5\mu\text{Sv}$ 、年間約 $2.8\mu\text{Sv}$ 及び年間約 $2.5\mu\text{Sv}$ となり、合計は年間約 $7.8\mu\text{Sv}$ である。

この値は、「線量目標値に関する指針」に示される線量目標値の年間 $50\mu\text{Sv}$ を下回る。

なお、発電用原子炉施設の設計及び管理によって、通常運転時において原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による実効線量が、人の居住の可能性のある敷地等境界外において年間 $50\mu\text{Sv}$ を下回るようにする。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.1 放射線被ばく

平常運転時、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等に対し、「原子炉等規制法」に基づき定められている線量限度を超える放射線被ばくを与えないように設計する。さらに、設計に当たっては発電所周辺の一般公衆に対し、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に定められている線量目標値を超える放射線被ばくを与えないように努める。

(3) 適合性説明

(工場等周辺における直接線等からの防護)

第二十九条 設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

通常運転時において、使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を、合理的に達成でき

る限り小さい値になるように施設を設計する。具体的には、年間 $50 \mu\text{Sv}$ を超えない設計とする。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

8.3 遮へい設備

8.3.1 概要

遮へい設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時において、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の被ばく線量を低減するもので、次のものから構成される。

- (1) 原子炉 1 次遮へい
- (2) 原子炉 2 次遮へい
- (3) 外部遮へい
- (4) 補助遮へい
- (5) 燃料取扱遮へい
- (6) 中央制御室遮へい
- (7) 一時的遮へい
- (8) 緊急時対策所遮へい

8.3.2 設計方針

- (1) 発電所周辺の一般公衆が受ける線量については、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められた周辺監視区域外の線量限度より十分小さくなるようにするとともに、直接線量及びスカイシャイン線量については、人の居住の可能性のある区域において、発電所内の使用済燃料乾式貯蔵施設を除く他の施設からのガンマ線と使用済燃料乾式貯蔵施設からの中性子及びガンマ線とを合算し、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$ を超えないような遮へい設計とする。
- (4) 遮へい設計に際しては、放射線業務従事者等が立入場所において不必要な放射線被ばくを受けないように、関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、放射線業務従事者等の放射線被ばくが十分に安全に管理できるように、外部放射線に係る線量率が下記の遮へい設計基準 (1) を満足するように設計する。

なお、雑固体溶融処理建屋、4 - 固体廃棄物貯蔵庫及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については、下記の遮へい設計基準 (2) を満足するように設計する。

遮へい設計基準 (1)

区 分	外部放射線に係る設計基準	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分 $\leq 0.00625\text{mSv/h}$	非管理区域
管理区域内*1	第Ⅱ区分 $\leq 0.01\text{mSv/h}$	一般通路等
	第Ⅲ区分 $\leq 0.15\text{mSv/h}$	操作用通路等
	第Ⅳ区分 $> 0.15\text{mSv/h}$	機器室等

*1：「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に基づき、 $1.3\text{mSv}/3\text{月}$ を超えるか又は超えるおそれのある区域を管理区域に設定する。

遮へい設計基準 (2)

区 分	外部放射線に係る設計基準	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分 $\leq 1.3\text{mSv}/3\text{月}$	非管理区域
管理区域内	第Ⅱ区分 $\leq 0.01\text{mSv/h}$	一般通路等
	第Ⅲ区分 $\leq 0.15\text{mSv/h}$	操作用通路等
	第Ⅳ区分 $> 0.15\text{mSv/h}$	機器室等

通常運転時の区分概略を、第8.3.1図～第8.3.9図に示す。

8.3.3 主要設備

(1) 原子炉1次遮へい

原子炉1次遮へいは、原子炉容器を直接とり囲む最小厚さ約2.8mの鉄筋コンクリートの構造物で、通常運転時の発電用原子炉からの放射線を減衰させるとともに、原子炉停止時に1次冷却設備の補修が可能な程度に、発電用原子炉からの放射線を減衰させる。

原子炉1次遮へいは、原子炉容器からの熱伝達及びコンクリート内部で吸収される放射線による過熱脱水を防止するため、原子炉容器室冷却設備により空気で冷却する。

(2) 原子炉2次遮へい

原子炉2次遮へいは、原子炉格納容器内の1次冷却系機器配管をとり囲む内部コンクリート壁であり、主要なものは厚さ約1.1mの鉄筋コンクリート構造の蒸気発生器側壁である。

原子炉 2 次遮へいは、原子炉 1 次遮へいと外部遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納容器外側での放射線量率を第 I 区分に減衰させる。

(3) 外部遮へい

外部遮へいは、円筒部厚さ約 1.3m、ドーム部厚さ約 1.1mのプレストレストコンクリート造原子炉格納容器で、原子炉 1 次遮へいと原子炉 2 次遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納容器外側での放射線量率を第 I 区分に減衰させる。また、発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する厚さである。

(4) 補助遮へい

補助遮へいは、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋内の放射性廃棄物廃棄施設、化学体積制御設備、試料採取設備、廃棄物処理建屋及び雑固体溶融処理建屋内の放射性廃棄物廃棄施設等の放射性物質を内蔵する機器及び配管、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋に貯蔵する使用済燃料乾式貯蔵容器を取り囲む構造物で、建屋内の通路を第 II 区分にするとともに、原則として隣接した機器室からの放射線量率を第 III 区分にし、隣接設備の停止あるいは除染を行わずに、各機器室における補修を可能にする。ただし、バルブエリアにおいては、隣接した機器室からの放射線量率が 1 mSv/h 以下になるように遮へいする。

(5) 燃料取扱遮へい

燃料取扱遮へいは、燃料取替時に原子炉キャビティに張る水及びチャンネル壁、使用済燃料ピットに張る水等からなり、3号炉では燃料取替時、燃料移送時、使用済燃料貯蔵時及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料貯蔵時、4号炉では燃料取替時、燃料移送時及び使用済燃料貯蔵時に放射線業務従事者等が安全に作業できるようにする。燃料取替時の原子炉キャビティに張る水は、ほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約 12m、また、使用済燃料ピットに張る水もほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約 8m である。更に、原子炉キャビティ又は使用済燃料ピットにおいて燃料集合体を取り扱う場合でも、燃料集合体頂部までの水深を 3m 以上確保する。

(6) 中央制御室遮へい

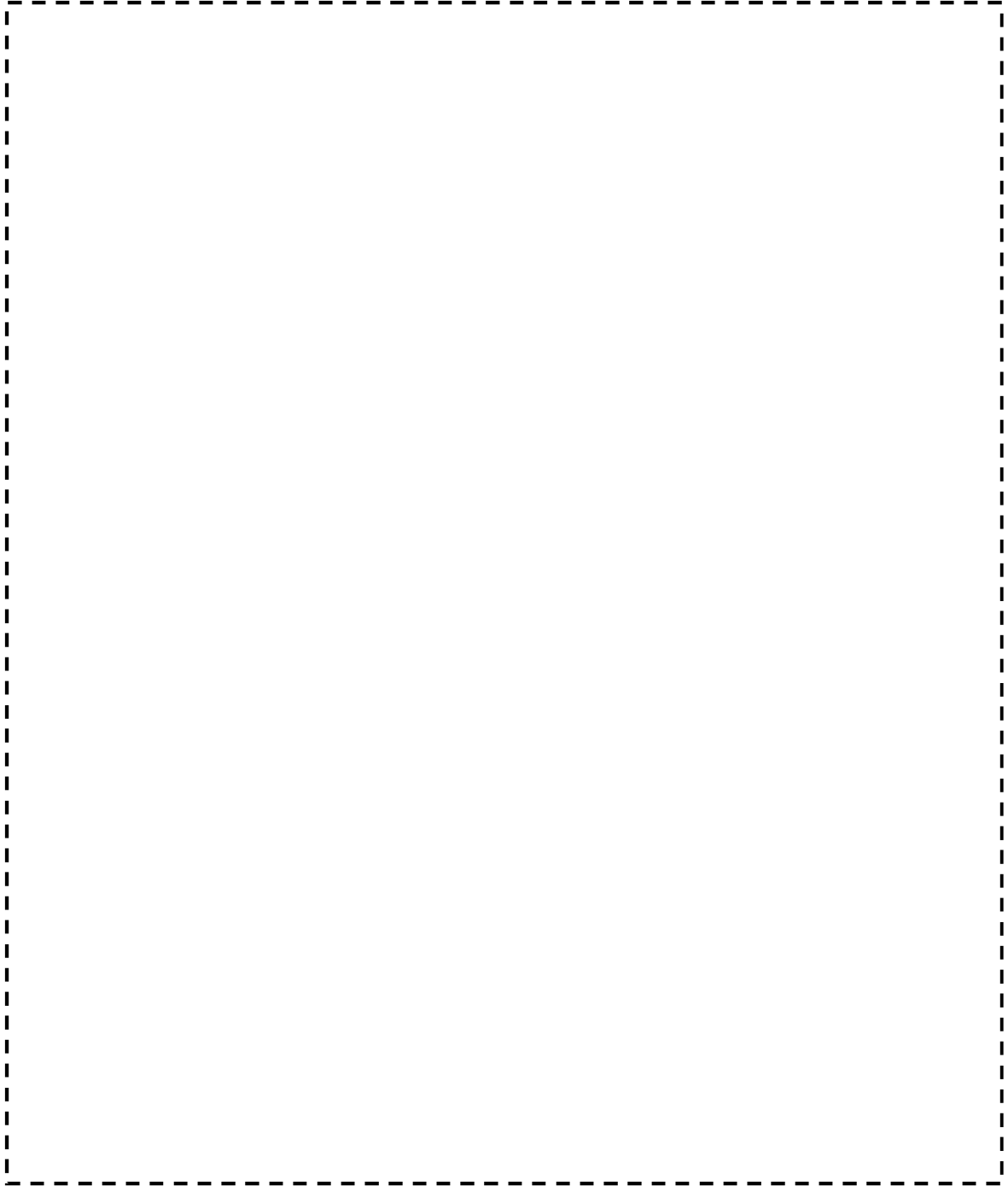
a. 通常運転時等


中央制御室遮へい（3号及び4号炉共用）は、原子炉補助建屋内に設置し、原子炉冷却材喪失等の設計基準事故時に、中央制御室内にとどまり必要な操作、措置を行う運転員が過度の放射線被ばくを受けないよう施設する。また、運転員の勤務形態を考慮し、事故後

30 日間において、運転員が中央制御室に入り、とどまっても、中央制御室遮へいを透過する放射線による線量、中央制御室に侵入した外気による線量及び入退域時の線量が、中央制御室空調装置等の機能とあいまって、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に示される 100mSv を下回る遮へいとする。

(7) 一時的遮へい

一時的遮へいは、放射性物質を内蔵する機器及び設備の補修時あるいは事故時の保守等のために一時的に使用するもので、コンクリートブロック、鉛、鉄板等でできた可搬式遮へい構造物であり、必要に応じて設置する。



: 防護上の観点から公開できません。

第 8.3.9 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮へい設計区分概略図

2. 工場等周辺における直接線等からの防護

(別添資料)

工場等周辺における直接線等からの防護について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

工場等周辺における
直接線等からの防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 遮へい設計

2. 評価条件

3. 評価結果

添付1：工場等周辺における直接線等からの防護について（使用済燃料乾式貯蔵施設）補足説明資料

1. 遮へい設計

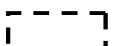
使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計については、工場等周辺（以下、敷地等境界外という）における直接線量及びスカイシャイン線量が、既設建屋に使用済燃料乾式貯蔵建屋からの寄与を加えても発電所として年間 $50 \mu\text{Sv}$ を超えないよう設計することとしている。


以下に、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい機能について評価条件、方法及び結果を示す。

2. 評価条件

2.1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい厚^{※1}

(1) 貯蔵エリア

壁 厚： (コンクリート^{※2})

天井厚： (コンクリート^{※2})

※1：遮へい計算に用いる遮へい厚は、公称値からマイナス側許容誤差 (5mm) を引いた値とする。

※2：コンクリート密度： 2.15g/cm^3

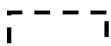
2.2 線源

兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）の線源は、第2-1表のとおりとする。乾式キャスクの線源強度は、敷地等境界外における線量が保守的な評価結果となるように、コンクリートの透過率を考慮してエネルギースペクトルを保守側に設定するとともに、容器表面から1mの位置における線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化している。また、乾式キャスクからの放射線の線質を全て中性子または全てガンマ線とした条件においてそれぞれ線量評価し、保守的な評価結果を求める。

第2-1表 線源条件

線源	基数	線源強度	スペクトル
乾式キャスク	貯蔵エリア：40基	容器表面1mの線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化	包絡スペクトル ^(注)

(注) 原子力安全研究協会「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕」(H12.3) 参照

：防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません。

2.3 評価モデル

ガンマ線と中性子の両方について線量評価を行い、最終的な評価値としては、両者のうちより保守的な線量評価を採用する。

敷地等境界外における直接線評価では乾式キャスクを円筒形の線源で模擬して評価する。貯蔵エリアにおける線量評価では乾式キャスクの配置を考慮し40基の乾式キャスクを考慮する。(第2-1図参照)

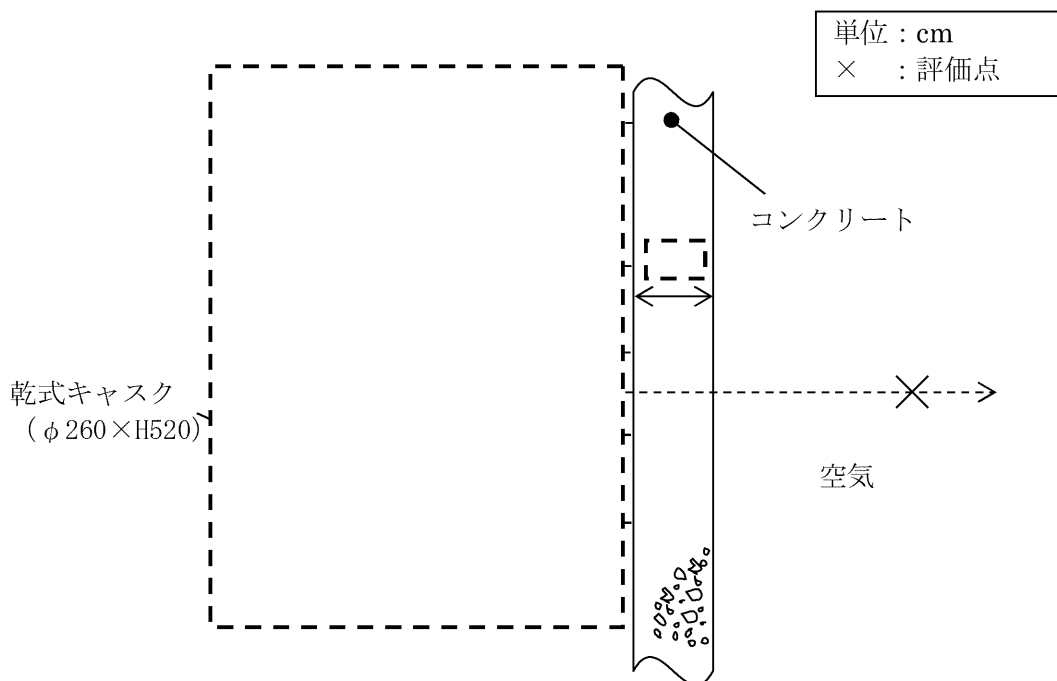
敷地等境界外におけるスカイシャイン線評価では、容器の最大高さに40基分の線源強度の点線源があるものとして評価する。(第2-2図参照)

敷地等境界外における直接線・スカイシャイン線中性子評価では、容器の最大高さに40基分の線源強度の点線源があるものとして評価する。(第2-3図参照)

2.4 評価地点

2.4.1 敷地等境界外線量評価地点

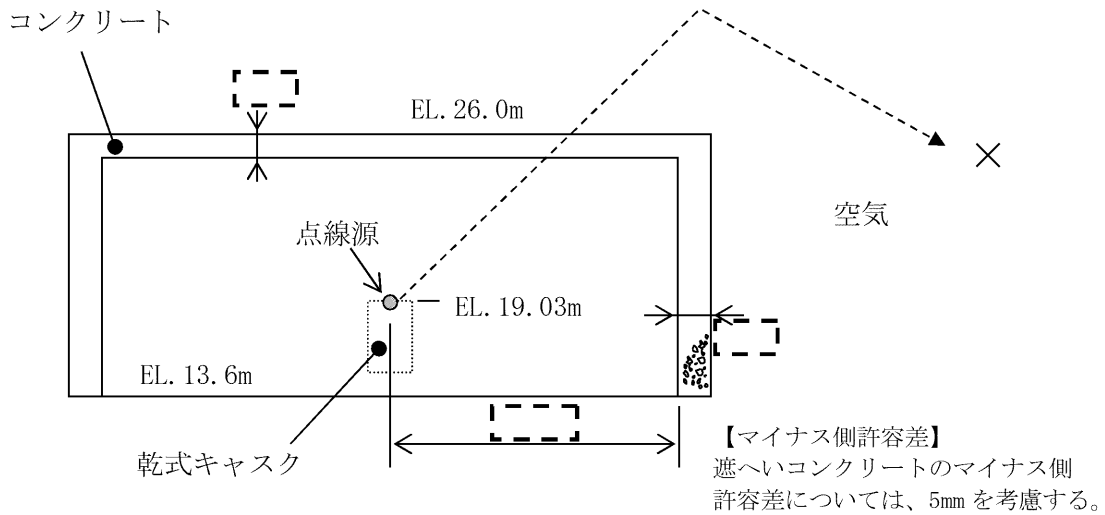
評価地点は、既設建屋を含めた線量合計が最大となる地点(A)及び使用済燃料乾式貯蔵施設から最短距離となる地点(B)とする。(第2-4図参照)。



第2-1図 ガンマ線の直接線評価モデル (QAD-CGGP2R コード)

--- : 防護上の観点又は機密に係る事項
であるため、公開できません。

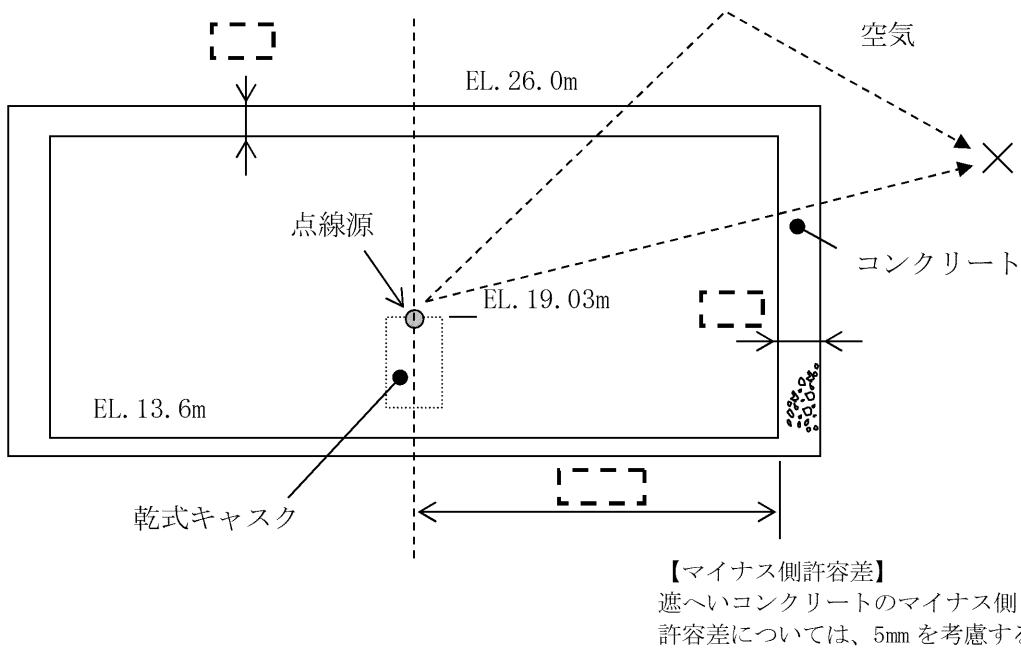
単位 : cm
 × : 評価点



※ : 乾式キャスクの最大高さに 40 基分の線源強度の点線源を設定

第 2-2 図 ガンマ線のスカイシャイン線評価モデル (SCATTERING コード)

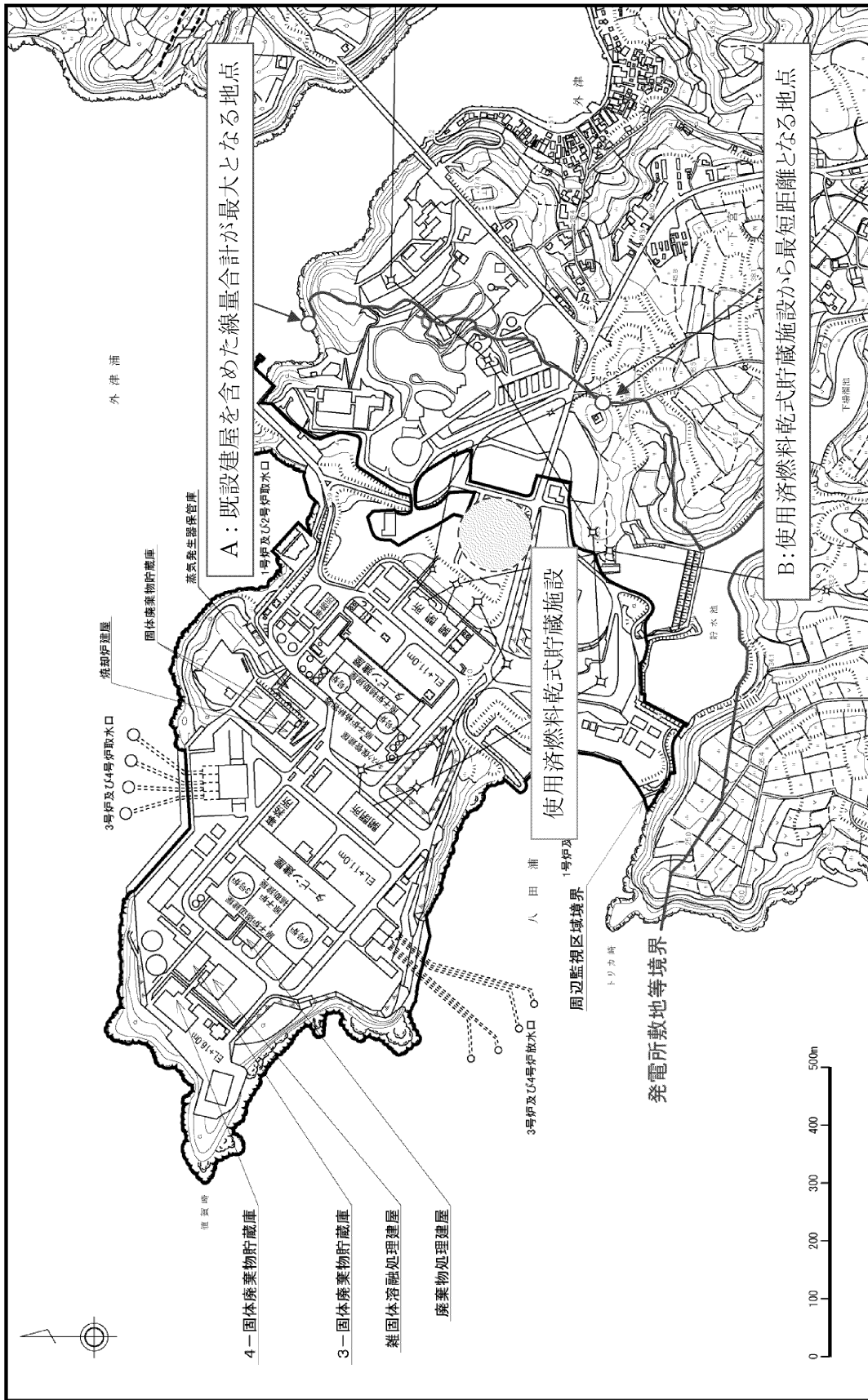
単位 : cm
 × : 評価点



※ : 乾式キャスクの最大高さに 40 基分の線源強度の点線源を設定

第 2-3 図 中性子の直接・スカイシャイン線評価モデル (DORT コード)

【 】 : 防護上の観点又は機密に係る事項
 であるため、公開できません。



第 2-4 図 線量評価地点

3. 評価結果

3.1 敷地等境界外

前記条件を用いて、乾式キャスクからのガンマ線は QAD-CGGP2R コード（直接線）および SCATTERING コード（スカイシャイン線）、中性子は DORT コードにより評価した。

評価結果を第 3-1 表に示す。また、既設建屋を含めた敷地等境界外における年間線量を第 3-2 表に示す。なお、敷地等境界における直接線量及びスカイシャイン線量のうち、1 及び 2 - 固体廃棄物貯蔵庫による線量が大きいため、使用済燃料乾式貯蔵施設から最短距離となる地点（B）における既設建屋を含めた線量が最大となることはない。（第 3-3 表参照）

第 3-1 表 敷地等境界外における年間線量

評価地点	EL (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋からの距離 (m)	年間線量 (μSv)		
			全てガンマ線とした場合 ^{※1}		全て中性子とした場合 ^{※2}
A	約 3	約 450	直接線： 2.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}	6.3×10^{-2}
			スカイシャイン線： 2.7×10^{-3}		
B	約 34	約 260	直接線： 1.1×10^0	1.1×10^0	4.2×10^{-1}
			スカイシャイン線： 2.0×10^{-2}		

※1：空気カーマから実効線量への換算は保守的に $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ とした。

※2：フルエンスから実効線量への換算は ICRP Publication 74「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」表 A.41 の換算係数を使用した。

第3-2表 評価地点Aにおける直接線量及びスカイシャイン線量

建屋名			評価結果 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$) ^{※3}
既設建屋	原子炉格納容器 ^{※1}	3、4号炉	6.4×10^{-3}
	原子炉補助建屋 ^{※1}	1、2号炉	3.8×10^{-1}
		3、4号炉	1.1×10^{-2}
	1-固体廃棄物貯蔵庫 ^{※1}		1.1×10^1
	2-固体廃棄物貯蔵庫 ^{※1}		4.0×10^0
	3-固体廃棄物貯蔵庫 ^{※1}		5.8×10^{-3}
	4-固体廃棄物貯蔵庫 ^{※1}		2.7×10^{-3}
	雑固体溶融処理建屋 ^{※1}		5.1×10^{-3}
	蒸気発生器保管庫 ^{※1}		2.8×10^{-1}
使用済燃料乾式貯蔵施設 ^{※1}			2.0×10^{-1}
合計 ^{※2}			約 16
判断基準			50

※1：有効数字2桁で四捨五入した値

※2：有効数字2桁で切り上げた値

※3：空気カーマから実効線量への換算は保守的に $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ とした

第3-3表 1及び2-固体廃棄物貯蔵庫からの線量

	既設建屋を含めた線量 合計が最大となる地点 (A) ^{※1、※2}	使用済燃料乾式貯蔵施設 から最短距離となる地点 (B) ^{※1、※2、※3}
1-固体廃棄物貯蔵庫	約 11	約 8
2-固体廃棄物貯蔵庫	約 4	約 3
合計	約 15	約 11

※1：単位 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)

※2：空気カーマから実効線量への換算は保守的に $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ とした

※3：既設建屋からの線量合計が最大となる地点から、距離概算した値

以上の結果より、2. 評価条件に示した使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい厚を満足することで、敷地等境界外における直接線量及びスカイシャイン線量が、使用済燃料乾式貯蔵建屋からの寄与を加えても発電所として年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足することができる結果となる。

(添付1)

工場等周辺における
直接線等からの防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)
補足説明資料

目 次

1. 評価コードの概要
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用するスペクトルの保守性について
3. 敷地等境界外における線量の実効線量への換算について
4. ストリーミングの影響について
5. 乾式キャスク線源配置の感度について

1. 評価コードの概要

ガンマ線の直接線の評価には QAD-CGGP2R コード、スカイシャイン線の評価には SCATTERING コード、中性子の評価には DORT コードを用いている。

これら評価コードの概要を第 1-1～1-3 表に示す。なお、いずれも許認可での使用実績があるコードである。

第 1-1 表 QAD-CGGP2R コードの概要

コード名 項目	QAD-CGGP2R
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所及び日本原子力研究開発機構
開発時期	1967 年
バージョン	Ver. 1.04
使用目的	遮へい計算（使用済燃料乾式貯蔵建屋内の乾式キャスクからの直接線計算）
コードの概要	<p>本解析コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法解析コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取り入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源及び遮へい体を直方体、円筒、球などの三次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を点減衰核積分法により計算することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの直接線計算について、QAD-CGGP2Rコードを使用して実施している。</p> <p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ QAD-CGGP2R コードは、線量率計算を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮へい体条件である。これら計算条件が与えられれば線量率計算は可能であり、QAD-CGGP2R コードは直接線量計算に適用可能である。 </p> <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。 <ul style="list-style-type: none"> ・ JRR-4 散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子力第 1 船遮蔽効果確認実験報告書」JNS-4（日本原子力船開発事業団、1967））と計算値を比較した。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、実験孔からのガンマ線を遮へい体に入射させ、遮へい体透過後のガンマ線の線量率の実験値と QAD-CGGP2R コードによる計算値を比較している。 ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの直接線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、ガンマ線の補助遮へいの遮へい体透過後の線量率を計算する。 ・ 今回の直接線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」（JEAC4615-2008）では、乾式キャスク保管建屋等の補助遮へいのための点減衰核積分コード/散乱線計算コードとして、SPAN コード、SCATTERING コード、QAD コードが、燃料移送遮へいのための点減衰核積分コードとして SPAN-SLAB が挙げられている。 </p>

第 1-2 表 SCATTERING コードの概要

コード名 項目	SCATTERING
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所及び三菱重工業（株）
開発時期	1974 年
バージョン	Ver. 90m
使用目的	遮へい計算（使用済燃料乾式貯蔵建屋内の乾式キャスクからのスカイシャイン線計算）
コードの概要	点減衰核積分法を使用した 1 回散乱近似法によるスカイシャイン線量の解析コードであり、ガンマ線が空气中で散乱を受けた後、観測点に到達する散乱線量（スカイシャイン線量）を計算する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからのスカイシャイン線計算について、SCATTERING コードを使用して実施している。</p> <p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。 ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ SCATTERINGコードは、線量率計算を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮へい体条件である。これら計算条件が与えられれば線量率計算は可能であり、SCATTERINGコードはスカイシャイン線量計算に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。 ・ 米国Radiation Research Associates (RRA) が1977年に米国カンザス州立大学において⁶⁰Co線源を用いたスカイシャイン線のベンチマーク試験の実験値と計算値を比較した。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、横壁よりも天井が薄い形状で、スカイシャイン線量が比較的多い体系での実験による実験値と、SCATTERINGコードによる計算値を比較している。 ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからのスカイシャイン線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、遮へいが側壁より薄い天井を透過した後のスカイシャイン線の線量率を計算する。 ・ 今回のスカイシャイン線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。</p> <p>また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」(JEAC4615-2008)では、乾式キャスク保管建屋等の補助遮へいのための点減衰核積分コード/散乱線計算コードとして、SPANコード、SCATTERINGコード、QADコードが、燃料移送遮へいのための点減衰核積分コードとしてSPAN-SLABが挙げられている。</p>

第 1-3 表 DORT コードの概要

コード名 項目	DORT
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1987 年
バージョン	Ver. 3.2
使用目的	遮へい計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内の乾式キャスクからの中性子計算)
コードの概要	<p>本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮へい計算を目的として開発されたコードであり、2次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能であり、DORT コードの後継コードである。</p> <p>今回の評価では、JENDL-3.3 をもとに作成された断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 (日本原子力研究所にて整備されたもの) を用いている。本ライブラリは許認可での使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの中性子計算について、DORTコードを使用して実施している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ DORT コードは、中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮へい体条件である。これら解析条件が与えられれば中性子の放射線束分布解析は可能であり、線量換算係数を乗じることで DORT コードは中性子線量計算に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ OKTAVIAN 施設からの中性子スカイシャイン測定値 (T. Nakamura, et al, "Neutron Skyshine from Intense 14-MeV Neutron Source Facility," Nucl. Sci. Eng., 90, 281-297 (1985)) と計算値を比較した。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、天井の薄い実験施設からの中性子スカイシャインの測定値と DOT コードによる計算値を比較している。 ・ DOT コードは、DORT コードのバージョンアップ前の計算コードであり、バージョン変更において解析機能に有意な差がないことを確認している。 ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの中性子線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、天井の薄い体系での中性子スカイシャインによる線量率を計算する。 ・ 今回の中性子線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・ また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」(JEAC4615-2008)では、乾式キャスク保管建屋等の補助遮へいのための輸送計算コードとして、ANISN コード及び DORT コードの前身である DOT コードが挙げられている。 ・ 断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 については、TRANSX コード (ver. 2.15、修正パッチ (International Atomic Energy Agency Nuclear Data Services, "TRANSX patches", https://www-nds.iaea.org/fendl20/transx-patches.htm)) 適用により、計算コード入力用に処理して用いている。 ・ MATXSLIB-J33 については、海上技術安全研究所による実験値 (大西世紀ほか、「252Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」、海上技術安全研究所報告 第 7 巻 第 3 号 研究報告, (2007)) と MATXSLIB-J33 による計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 <p>上記妥当性確認では、放射線エネルギーが乾式キャスクのエネルギースペクトルと同等となっており、今回の使用目的と合致している。</p>

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用するスペクトルの保守性について

2.1 基本的考え方

使用済燃料乾式貯蔵施設では、専用の乾式キャスクを使用し、鉄筋コンクリート造の貯蔵建屋内で貯蔵することから、それぞれの乾式キャスク表面のエネルギースペクトルによるコンクリートの透過率を考慮する必要がある。

このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用する乾式キャスク表面のエネルギースペクトルは、乾式キャスクの設計から得られた乾式キャスク表面でのエネルギースペクトル（以下、「設計スペクトル」という。）と比べて、コンクリート透過率が高くなるように設定する。

2.2 設定した線源スペクトル

本評価では、財団法人 原子力安全研究協会「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕（平成12年3月）」における線量評価用の表面エネルギースペクトル（以下、「包絡スペクトル」という。）を採用した。設定結果は以下のとおりである。

○ガンマ線の包絡スペクトル

乾式キャスク表面での線量当量率が、事業所外運搬に係る法令要求を満足するように設計された乾式キャスクの表面のエネルギースペクトルに対して、コンクリート中の減衰割合が小さくなるように仮想的なエネルギースペクトルを設定

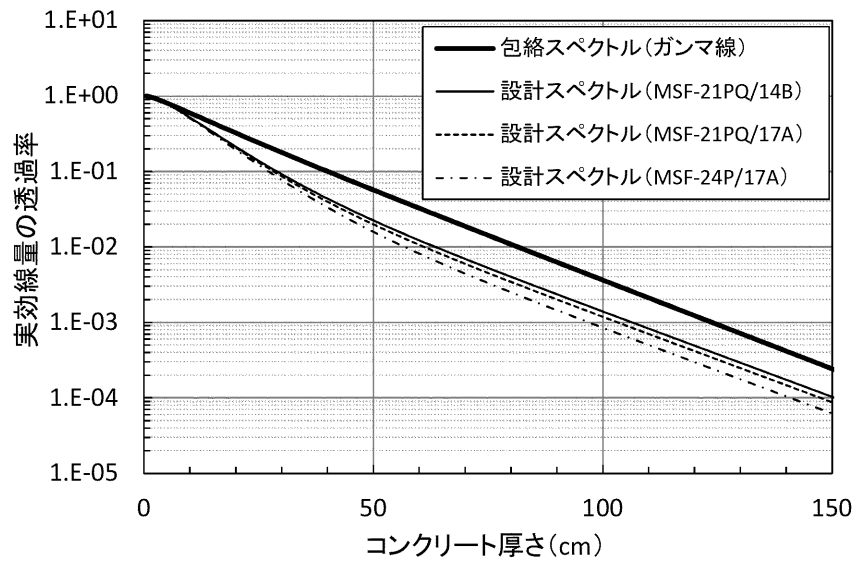
○中性子の包絡スペクトル

使用済燃料の主な中性子源である ^{239}Pu 核分裂、 ^{244}Cm 自発核分裂、 $^{242}\text{Cm}(\alpha, n)$ 反応のうち、コンクリート中の減衰割合が小さくなる $^{242}\text{Cm}(\alpha, n)$ 反応のスペクトルを設定

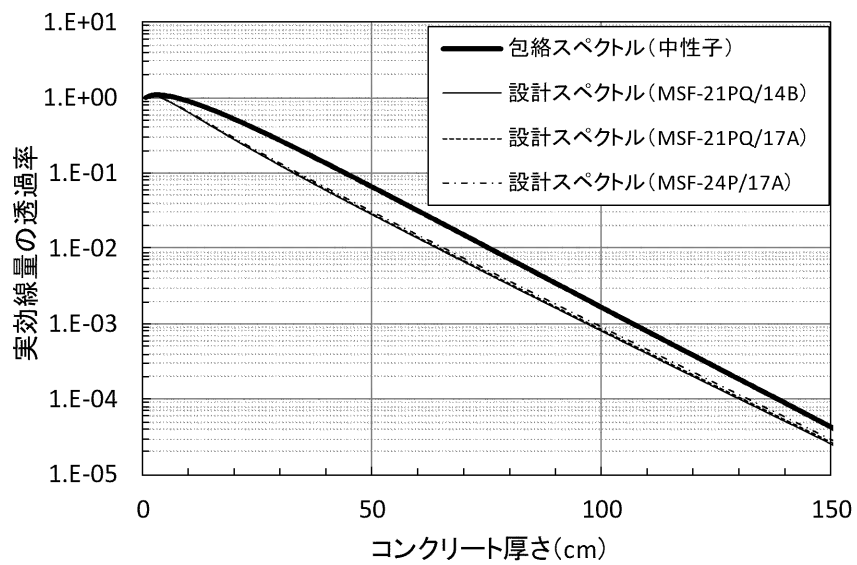
2.3 線源スペクトルの保守性

保守性の確認のため、包絡スペクトルと設計スペクトルに対するコンクリート中での実効線量率の減衰率を比較した。1次元輸送計算コードANISNで計算した結果を第2-1図（ガンマ線）及び第2-2図（中性子）に示す。

包絡スペクトルは、設計スペクトルに比べ、コンクリートの透過性が高く、保守的であることがわかる。



第2-1図 コンクリート中での実効線量の減衰率（ガンマ線）



第2-2図 コンクリート中での実効線量の減衰率（中性子）

3. 敷地等境界外における線量の実効線量への換算について

敷地等境界外のガンマ線評価については、空気カーマを評価し、敷地等境界外における公衆の照射形態を考慮して、保守側に事故時評価と同様、換算係数 1 Sv/Gy として実効線量を計算している。

敷地等境界外の中性子評価については、同様に敷地等境界外における公衆の照射形態を考慮し、ICRP Publication 74「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」に示される ROT ジオメトリーとして実効線量を計算している。

表 A.41. 成人人体形状計算モデルにいろいろなジオメトリーで入射する単一エネルギー中性子に対する、単位中性子フルエンスあたりの実効線量 E/Φ (単位 pSv cm²)。これらのデータは図 22 と図 A.35 (付属書 1) に図示されている。

エネルギー (MeV)	AP	PA	RLAT	LLAT	ROT	ISO
1.0 × 10 ⁻⁹	5.24	3.52	1.36	1.68	2.99	2.40
1.0 × 10 ⁻⁸	6.55	4.39	1.70	2.04	3.72	2.89
2.5 × 10 ⁻⁸	7.60	5.16	1.99	2.31	4.40	3.30
1.0 × 10 ⁻⁷	9.95	6.77	2.58	2.86	5.75	4.13
2.0 × 10 ⁻⁷	11.2	7.63	2.92	3.21	6.43	4.59
5.0 × 10 ⁻⁷	12.8	8.76	3.35	3.72	7.27	5.20
1.0 × 10 ⁻⁶	13.8	9.55	3.67	4.12	7.84	5.63
2.0 × 10 ⁻⁶	14.5	10.2	3.89	4.39	8.31	5.96
5.0 × 10 ⁻⁶	15.0	10.7	4.08	4.66	8.72	6.28
1.0 × 10 ⁻⁵	15.1	11.0	4.16	4.80	8.90	6.44
2.0 × 10 ⁻⁵	15.1	11.1	4.20	4.89	8.92	6.51
5.0 × 10 ⁻⁵	14.8	11.1	4.19	4.95	8.82	6.51
1.0 × 10 ⁻⁴	14.6	11.0	4.15	4.95	8.69	6.45
2.0 × 10 ⁻⁴	14.4	10.9	4.10	4.92	8.56	6.32
5.0 × 10 ⁻⁴	14.2	10.7	4.03	4.86	8.40	6.14
1.0 × 10 ⁻³	14.2	10.7	4.00	4.84	8.34	6.04
2.0 × 10 ⁻³	14.4	10.8	4.00	4.87	8.39	6.05
5.0 × 10 ⁻³	15.7	11.6	4.29	5.25	9.06	6.52
1.0 × 10 ⁻²	18.3	13.5	5.02	6.14	10.6	7.70
2.0 × 10 ⁻²	23.8	17.3	6.48	7.95	13.8	10.2
3.0 × 10 ⁻²	29.0	21.0	7.93	9.74	16.9	12.7
5.0 × 10 ⁻²	38.5	27.6	10.6	13.1	22.7	17.3
7.0 × 10 ⁻²	47.2	33.5	13.1	16.1	27.8	21.5
1.0 × 10 ⁻¹	59.8	41.3	16.4	20.1	34.8	27.2
1.5 × 10 ⁻¹	80.2	52.2	21.2	25.5	45.4	35.2
2.0 × 10 ⁻¹	99.0	61.5	25.6	30.3	54.8	42.4
3.0 × 10 ⁻¹	133	77.1	33.4	38.6	71.6	54.7
5.0 × 10 ⁻¹	188	103	46.8	53.2	99.4	75.0
7.0 × 10 ⁻¹	231	124	58.3	66.6	123	92.8
9.0 × 10 ⁻¹	267	144	69.1	79.6	144	108
1.0 × 10 ⁰	282	154	74.5	86.0	154	116
1.2 × 10 ⁰	310	175	85.8	99.8	173	130
2.0 × 10 ⁰	383	247	129	153	234	178
3.0 × 10 ⁰	432	308	171	195	283	220
4.0 × 10 ⁰	458	345	198	224	315	250
5.0 × 10 ⁰	474	366	217	244	335	272
6.0 × 10 ⁰	483	380	232	261	348	282
7.0 × 10 ⁰	490	391	244	274	358	290
8.0 × 10 ⁰	494	399	253	285	366	297
9.0 × 10 ⁰	497	406	261	294	373	303
1.0 × 10 ¹	499	412	268	302	378	309
1.2 × 10 ¹	499	422	278	315	385	322
1.4 × 10 ¹	496	429	286	324	390	333
1.5 × 10 ¹	494	431	290	328	391	338
1.6 × 10 ¹	491	433	293	331	393	342
1.8 × 10 ¹	486	435	299	335	394	345
2.0 × 10 ¹	480	436	305	338	395	343
3.0 × 10 ¹	458	437	324	na ^a	395	na ^a
5.0 × 10 ¹	437	444	358	na	404	na
7.5 × 10 ¹	429	459	397	na	422	na
1.0 × 10 ²	429	477	433	na	443	na
1.3 × 10 ²	432	495	467	na	465	na
1.5 × 10 ²	438	514	501	na	489	na
1.8 × 10 ²	445	535	542	na	517	na

^a データなし。

4. ストリーミングの影響について

4.1 概要

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う、玄海原子力発電所敷地等境界外における通常貯蔵時の線量については、「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）に基づき評価を行っている。

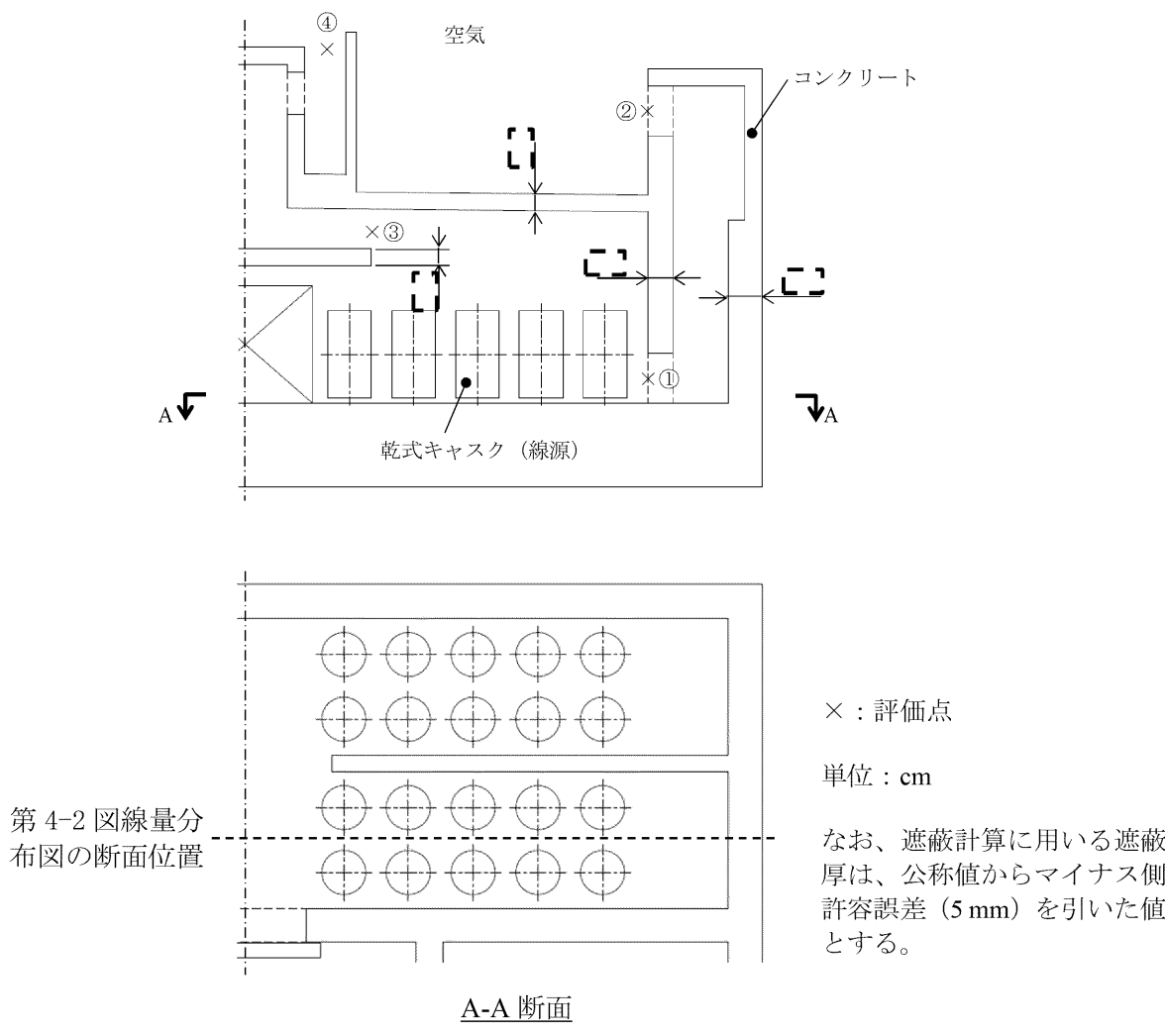
使用済燃料乾式貯蔵建屋については、給排気口からのストリーミングを低減する設計とし、建屋による遮へいにより玄海原子力発電所の敷地等境界外における線量が年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足しているが、ここでは使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口からのストリーミングによる影響について説明する。

なお、給排気口は線源の上方に設置されているため、天井方向の計算と同列であるものとして、ストリーミングによる減衰率と天井による遮へいの減衰率を比較した。

4.2 評価方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口の部分をピックアップし、ストリーミングの影響評価を行った。

具体的には、第 4-1 図に示す評価モデルにて、評価点①～④における線量率を計算し、その割合から迷路構造によるストリーミングの低減効果を評価する。評価は MCNP5 コードを用い、断面積ライブラリはガンマ線評価では MCPLIB84、中性子評価では FSXLIB-J33 をそれぞれ用いた。主な評価条件及び評価コードの概要をそれぞれ第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。



第4-1図 給排気口からのストリーミングの影響評価モデル

┌───┐：防護上の観点から公開できません。

第 4-1 表 主な評価条件

項 目	評価条件	備 考
計算コード	MCNP5 コード	—
断面積ライブラリ	ガンマ線：MCPLIB84 中性子：FSXLIB-J33	—
線源強度	ガンマ線、中性子それぞれ キャスク表面から 1 m 点で 100 μ Sv/h となるように規 格化	—
線源スペクトル	包絡スペクトル	—
線源形状	ϕ 260 cm \times H520 cm	等方線源 キャスク同士の相互遮 へいは無視する
評価モデル	図 4-1 参照	影響評価として使用済 燃料乾式貯蔵建屋の給 排気口の部分をピック アップして解析
評価点 (タリー)	Mesh Tally (トラック・レ ングス・エスティメータ) 約 15cm 幅	Mesh Tally の計算結果 より、開口部分の平均線 量率を概略評価
分散低減	ウェイト・ウィンドウ	—

第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (1 / 2)

コード名 項目	MCNP5
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所 (LANL)
開発時期	2010 年 (初版開発時期 2003 年)
使用した バージョン	1.60
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからのガンマ線及び中性子 線量計算)
コードの概要	<p>三次元連続エネルギーモンテカルロコード MCNP5 コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用モンテカルロコードである。</p> <p>このコードは二次曲面の論理演算によって表現された任意の三次元領域を取扱うことができ、形状モデルや断面積データを正確に取り扱うことができる。</p> <p>幾何形状の設定の自由度が大きいことや、断面積の取り扱いに連続エネルギーを採用していること等の利点がある。</p> <p>今回の評価では、ガンマ線評価では EPDL97 をもとに作成された断面積ライブラリ MCPLIB84 (ロスアラモス国立研究所にて整備されたもの) を、中性子評価では JENDL-3.3 をもとに作成された断面積ライブラリ FSX LIB-J33 (日本原子力研究所にて整備されたもの) を用いている。</p>

第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (2 / 2)

コード名 項目	MCNP5
検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算について、MCNPコードを使用して実施している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ MCNP コードは、ガンマ線及び中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら解析条件が与えられればガンマ線及び中性子の放射線束分布解析は可能であり、線量換算係数を乗じることで MCNP コードはガンマ線及び中性子線量計算に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国カンザス州立大学ガンマ線スカイシャインベンチマーク実験の実測値 (MCNP-ラインビームレスポンス接続による BWR タービンスカイシャイン線量評価手法の適用、日本原子力学会和文論文誌 Vol.4 No. 2 (2005)) 及び露国モスクワ物理工科大学 研究用原子炉 IRT 炉実験の実測値 (MCNP コードの金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設線量評価への適用、日本原子力学会和文論文誌 Vol.6 No.3 (2007)) と計算値を比較した。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、コンクリートを通過あるいは散乱によりストリーミングしたガンマ線あるいは中性子の線量率の実測値と MCNP コードによる計算値を比較している。 ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、コンクリートの深層透過あるいはストリーミングによる放射線束分布を解析し、線量率を計算する。 ・ 今回のガンマ線及び中性子線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・ また、原子力発電所放射線遮へい設計規程 (JEAC4615-2008) では、キャスク保管建屋等の補助遮蔽のための輸送計算コードとして、モンテカルロ法を用いた計算手法の適用が可能とされており、さらに米国では使用済燃料乾式貯蔵施設の審査指針である「Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities」(NUREG-1567) においては遮蔽解析ツールとして MCNP コードが記載されており、遮蔽設計、線量評価等で使用されている。 ・ 断面積ライブラリ MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 については、海上技術安全研究所による実験値 (大西世紀 ほか, 「²⁵²Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」, 海上技術安全研究所報告 第 7 巻 第 3 号 研究報告, (2007)) と MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 による計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・ 上記妥当性確認では、放射線のエネルギーがキャスクのエネルギースペクトルと同等となっており、今回の使用目的と合致している。

4.3 評価結果

4.2 の評価条件をもとに影響評価を行った結果を第 4-3 表に示す。

第 4-3 表のとおり、給気口迷路構造による減衰率 (②/①) 及び排気口迷路構造による減衰率 (④/③) は、天井スラブによる減衰率^(注) (第 2-1 図及び第 2-2 図) と比較して同程度以下であり、ストリーミングを低減できる設計であることを確認している。

(注) 給排気口は線源の上方に設置されているため、両者とも天井方向の計算と同列であるものとして、天井スラブの減衰率と比較した。

参考として建屋内の線量率分布を第 4-2 図に示す。線量率が連続的に変化していることが確認でき、ウェイト・ウィンドウの設定が妥当であると判断できる。また、第 4-2 図がどの断面位置の線量分布を示しているかを、第 4-1 図に破線で示す。

第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（中性子）（1 / 2）

評価点	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) () 内は統計誤差 ^(注)	減衰率
①	3.7×10^2 (0.22 %)	9.0×10^{-4}
②	3.3×10^{-1} (0.83 %)	
③	1.9×10^2 (0.37 %)	5.3×10^{-4}
④	1.0×10^{-1} (8.1 %)	
(参 考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ []		1.7×10^{-3}

(注) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

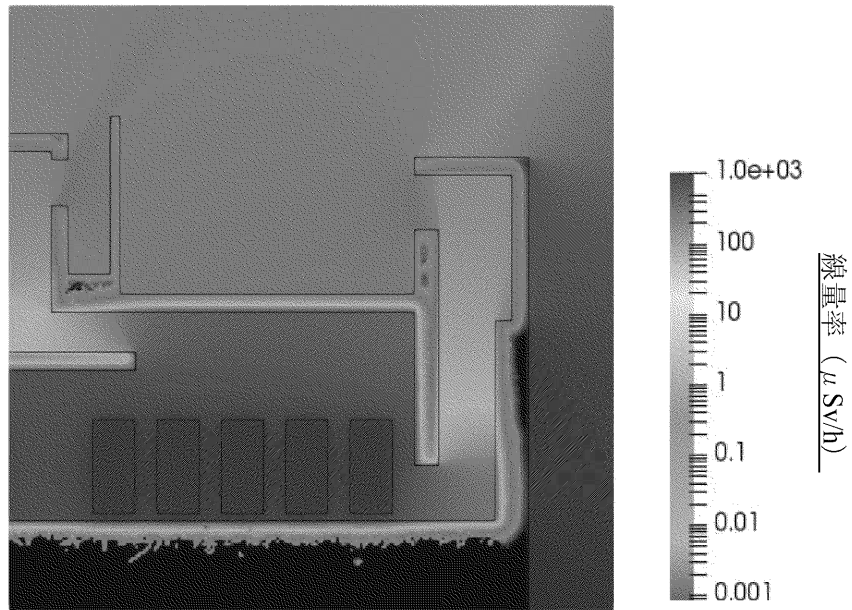
第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（ガンマ線）（2 / 2）

評価点	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) () 内は統計誤差 ^(注1)	減衰率
①	2.1×10^2 (0.39 %)	2.7×10^{-4}
②	5.5×10^{-2} (1.3 %)	
③	7.4×10^1 (0.96 %)	(参 考) 6.4×10^{-5}
④	(参 考) 4.7×10^{-3} (12 %) ^(注2)	
(参 考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ []		3.8×10^{-3}

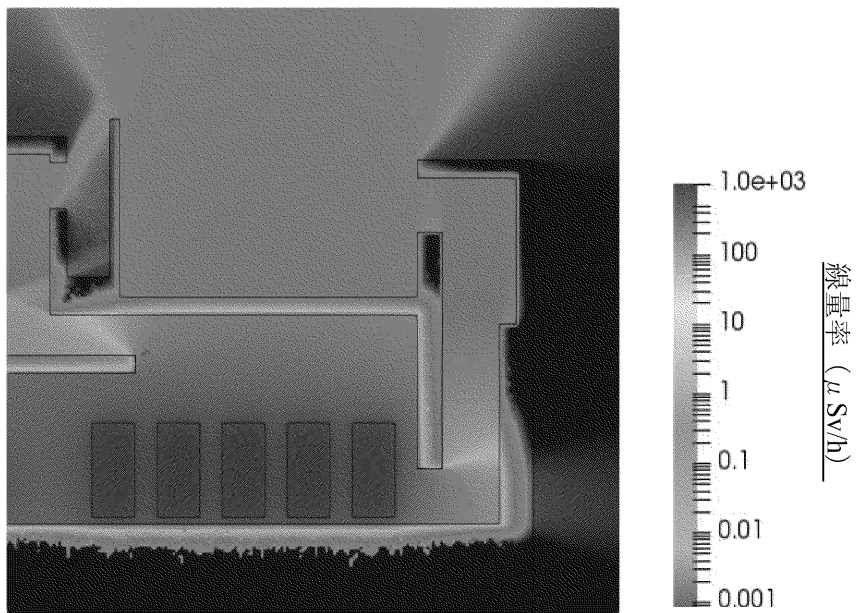
(注1) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

(注2) 統計誤差が大きいため、参考値とする。ただし、放射線が十分減衰されているため、ストリーミングを低減できる設計であることは確認できる。

[] : 防護上の観点から公開できません。



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（中性子）（1 / 2）



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（ガンマ線）（2 / 2）

4.4 まとめ

給排気口からのストリーミングによる影響は天井による遮蔽効果と同等であることから、ストリーミングの影響は申請値の算出に使用している天井透過の評価モデルで代表できるため、評価の保守性と相まって申請評価値に包含される。

5. 遮へい機能に係る線量評価の主な評価条件及び設定の考え方

使用済燃料乾式貯蔵施設の遮へい機能に係る線量を評価するに当たって、解析条件として設定する線源、遮へい及び評価点については、主に以下の項目がある。

(線源)

- ① 線源配置
- ② 線源強度
- ③ スペクトル

(遮へい)

- ④ 遮へい厚さ
- ⑤ 遮へい形状
- ⑥ 周辺環境（地形）
- ⑦ 乾式キャスクの自己遮へい効果
- ⑧ 乾式キャスクの相互遮へい効果

(評価点)

- ⑨ 評価点までの距離
- ⑩ 評価点の標高

評価条件の設定については、不確実さを考慮した条件設定として、貯蔵基数及び配置等の影響が非保守的にならないように解析条件で包絡するように適切に設定している。（第5-1表参照）

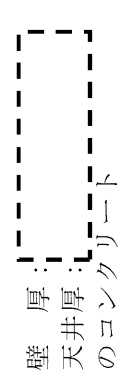

第5-1表 主な評価条件 (1 / 3)

(線源)

	実機条件	評価条件	評価条件設定の考え方
①線源配置	<p>乾式キヤスク (φ260cm × H520cm) を以下のとおり配置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大40基 ・3.8mピッチ <p>4区画に貯蔵</p>	<p>【直接線】 円筒線源 (φ260cm × H520cm) を以下のとおり配置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大40基 ・3.8mピッチ <p>【スカイイン線、中性子】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・40基 ・建屋中心 ・乾式キヤスク上端 	<ul style="list-style-type: none"> ・実機条件を包絡するよう設定。 ・解析コードの制約上、点線源を建屋中心に設定。 ・保守的な評価結果となるよう、建屋中心及びキヤスク上端位置に点線源を設定。
②線源強度	<p>乾式キヤスクの型式や収納する燃料集合体により異なる</p>	<p>乾式キヤスク表面1m離れた位置の線量が100μSv/hとなるように規格化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キヤスク」による使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイドに基づき設定。 ・実機は、乾式キヤスクの型式によって、表面部位ごとに線量当量率に占めるガンマ線と中性子の内訳が異なる。
③スペクトル	<p>設計スペクトル</p>	<p>包絡スペクトル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キヤスク」による使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイドに基づき設定。 ・乾式キヤスクの型式や表面部位ごとに線量当量率に占めるガンマ線と中性子の内訳が異なり、スペクトルを一義的に決定することが困難であるため、設計スペクトルを包絡するよう線源スペクトルを設定。

第5-1表 主な評価条件 (2 / 3)


(遮へい)


	実機条件	評価条件	評価条件設定の考え方
④ 遮へい厚さ	 <p>壁厚： 天井厚： の開口部</p>	 <p>壁厚： 天井厚： の開口部 (施工誤差-5mmを考慮)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 最も遮蔽厚の薄い部分で代表して設定。 施工誤差は日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N に基づき設定。
⑤ 遮へい形状	直方体 (長手・短手方向あり)	<p>【直接線】 評価点方向に存在する遮へい (コンクリート壁) をモデル化</p> <p>【スカイライン線、中性子】 建屋長手方向の距離を半径とし た円筒形</p>	<ul style="list-style-type: none"> 遮へいを透過する成分が実機条件と同様になるよう設定。 建屋天井面を透過し散乱する成分を全て含むことができれば、実機条件より保守的な設定。
⑥ 周辺環境 (地形)	考慮 (土壌等による遮へいあり)	未考慮 (土壌による遮へいなし)	<ul style="list-style-type: none"> 乾式貯蔵施設外の地形が変わることを考慮し、土壌による遮へい効果を考慮せず。
⑦ 自己遮へい効果	考慮	同左	<ul style="list-style-type: none"> 自己遮へい効果を考慮した評価値として、線源強度が 1 m 地点にて 100 μ Sv/h で規格化。
⑧ 相互遮へい効果	考慮	未考慮	<ul style="list-style-type: none"> 乾式キャスクの型式、貯蔵基数、配置位置、評価点の標高・方位、放射線の種類 (ガンマ線・中性子)、放射線の経路 (直接線・スカイライン線) 等により、乾式キャスクの相互遮へい効果は異なる。 配置基数、配置位置等の運用の不確かさを考慮し、キャスク相互遮へい効果を考慮せず。

: 防護上の観点又は機密に係る事項
であるため、公開できません。

第 5-1 表 主な評価条件 (3 / 3)

(評価点)

	実機条件	評価条件	評価条件設定の考え方
⑨評価点までの距離		450m	<ul style="list-style-type: none"> 保守的な結果となるよう、計測された距離を丸めて設定。
⑩評価点の標高差	線源と評価点の標高 (EL.+3m) が異なる。	<p>【直接線】 線源と評価点と同じ高さに配置されたものとして評価</p> <p>【スカイシャイン線、中性子】 線源と評価点の高低差 (EL.+3m) を考慮</p>	<ul style="list-style-type: none"> 評価点を線源中心と同じ高さに設定。 今回の評価において、線源と評価点の高低差を考慮したとしても、評価距離、遮へい内透過距離の相違は小さいことから評価結果に対する影響は小さい。 実態に即した高低差を考慮し、設定。

: 防護上の観点から公開できません。

6. 乾式キャスク線源配置の感度について

使用済燃料乾式貯蔵施設からの線量評価結果は、すべてガンマ線とした場合の評価が代表評価値となるため、ここではガンマ線のスカイシャイン線評価における評価条件「線源配置」において、点線源の高さ方向や水平方向の感度について確認した。

6.1 点線源の高さ方向における感度解析（第 6-1 図）

スカイシャイン線評価における申請書評価の条件では、「点線源の高さ」について、乾式キャスク 40 基分の点線源を建屋中心位置に乾式キャスク上端で設定しているが、感度を確認するため、40 基分の点線源を乾式キャスク中心位置に配置した場合、乾式キャスク下端位置に配置した場合についてそれぞれ評価した。

○申請書評価：乾式キャスク上端

○感度解析①：乾式キャスク中心

○感度解析②：乾式キャスク下端

その他評価条件は、申請書評価と同様。

6.2 点線源の水平方向における感度解析（第 6-2 図）

スカイシャイン線評価における申請書評価の条件では、「点線源の水平方向の配置」について、乾式キャスク 40 基分の点線源を建屋中心位置に設定しているが、感度を確認するため、40 基分の点線源を貯蔵エリア内に分散配置した場合について評価した。また、貯蔵エリアでは、乾式キャスクを 4 基×10 基で配置予定であり、線量評価点の位置（方位）により影響程度が異なるため、建屋短手／長手方向について、それぞれ評価する。

○現行評価：建屋中心に点線源を40基分配置

○感度解析③：40基の点線源を分散配置（評価点：短手方向）

○感度解析④：40基の点線源を分散配置（評価点：長手方向）

評価条件について、建屋形状を矩形（申請書評価は円筒形）としているが、その他評価条件は、申請書評価と同様。

6.3 評価結果

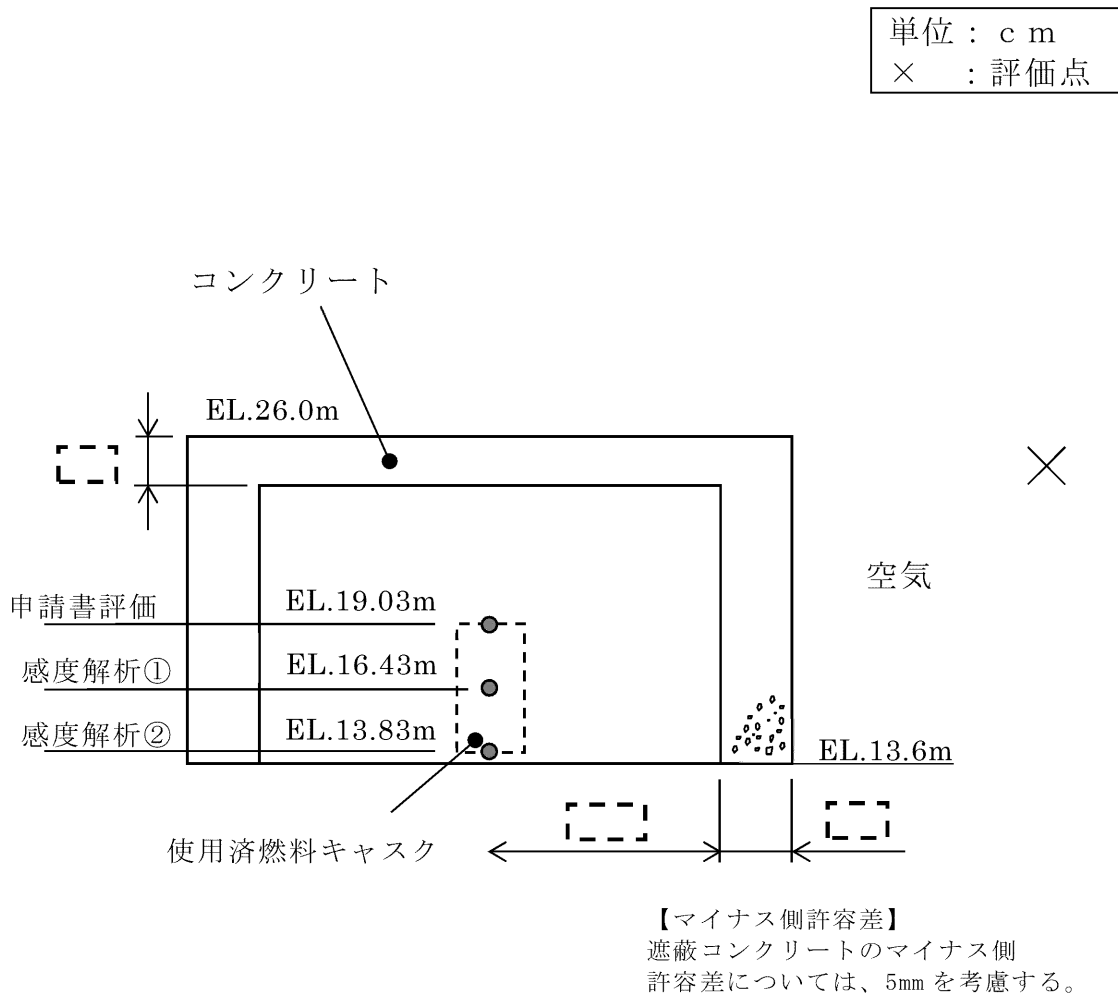
高さ方向の感度解析結果を第 6-1 表に、水平方向の感度解析結果を第 6-2 表に示す。

スカイシャイン線評価における点線源の高さ方向（乾式キャスク中心／下端）の感度は現行評価（乾式キャスク上端）の約 0.97 倍となり、水平方

向（実機と同じ 40 基配置）の感度は現行評価（建屋中心に 40 基）の約 0.75～0.80 倍となっている。

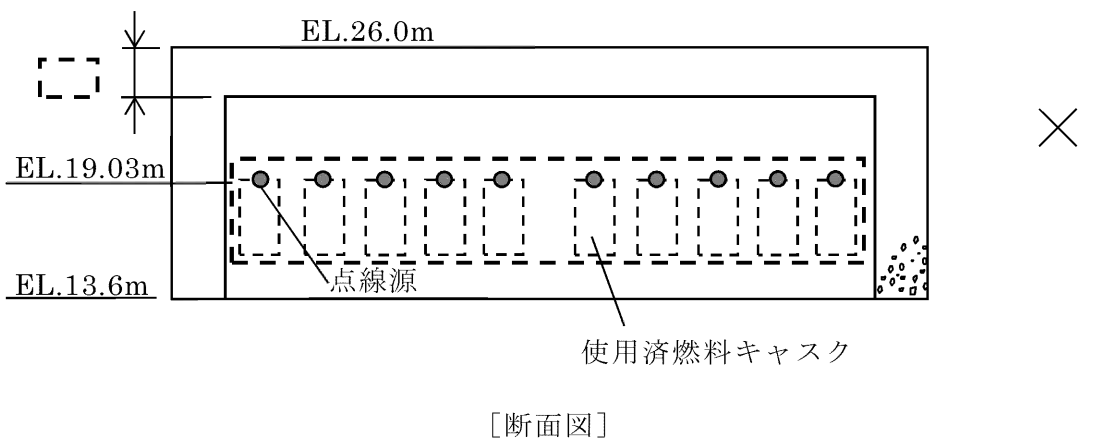
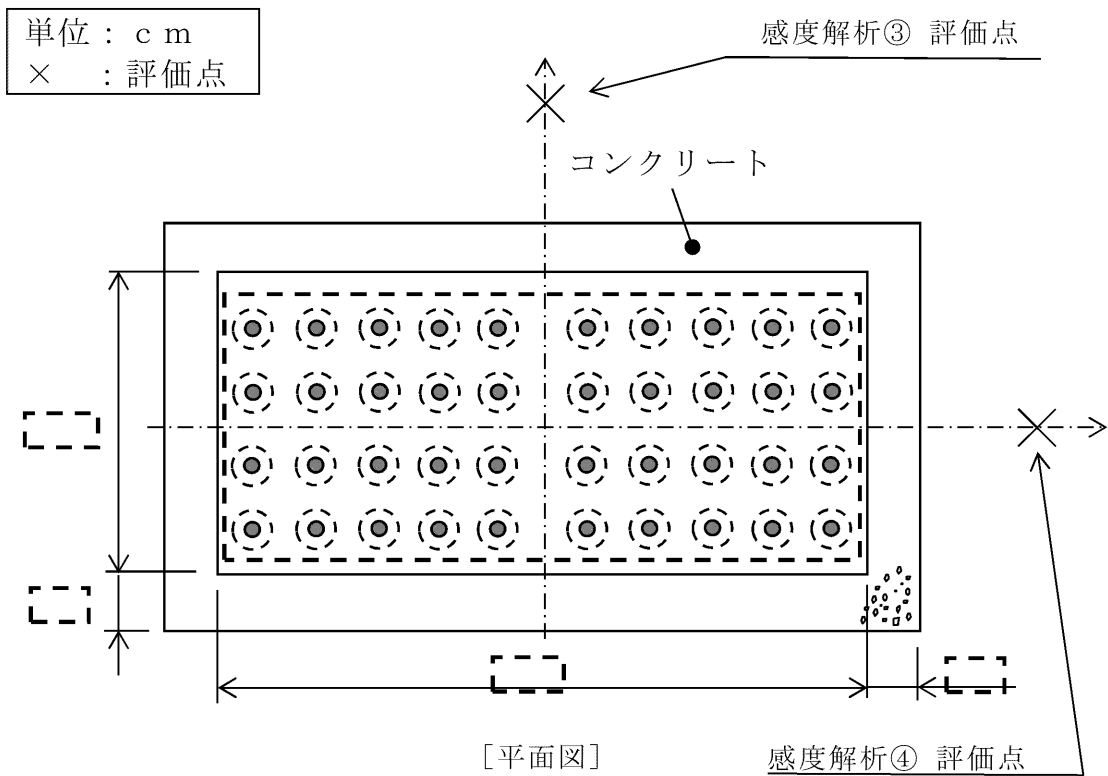
6.4 まとめ

スカイシャイン線の線源配置にあたっては、建屋中心の乾式キャスク上端に乾式キャスク 40 基分の点線源を設定しているが、点線源の高さ方向や水平方向の感度は小さく、現行の評価条件が過度な保守性を有するものではないことを確認した。



第6-1図 点線源分散モデル（高さ方向）

┌───┐: 防護上の観点又は機密に係る事項
 であるため、公開できません。



【マイナス側許容差】
遮蔽コンクリートのマイナス側許容差については、5mmを考慮する。

【放出角の設定】



第6-2図 点線源分散モデル（水平方向）

---: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません。

第6-1表 点線源分散（高さ方向）比較

点線源位置	現行評価： 乾式キャスク上端	感度解析①： 乾式キャスク中心	感度解析②： 乾式キャスク下端
年間線量 [$\mu\text{Sv}/\text{y}$]	2.71×10^{-3}	2.62×10^{-3}	2.62×10^{-3}
比率	1	0.97	0.97

第6-2表 点線源分散（水平方向）比較

項目	現行評価： 建屋中心に点線源 を40基分	40基の点線源を分散配置	
		感度解析③： 短手方向	感度解析④： 長手方向
年間線量 [$\mu\text{Sv}/\text{y}$]	2.71×10^{-3}	2.02×10^{-3}	2.16×10^{-3}
比率	1	0.75	0.80

30 条

放射線からの放射線業務従事者の防護

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 放射線からの放射線業務従事者の防護

(別添資料)

放射線からの放射線業務従事者の防護について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、(1)耐震構造、(2)耐津波構造に加え、以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

a. 設計基準対象施設

(y) 放射線からの放射線業務従事者の防護

設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減でき、放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができる設計とする。

発電用原子炉施設には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設け、放射線管理に必要な情報を中央制御室及びその他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に係るものに限る。）を設ける設計とする。

イ. 核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物による放射線被ばくの管理の方法

(2) 管理区域及び周辺監視区域の設定

(i) 管理区域

炉室、使用済燃料の貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設等の場所であって、その場所における外部放射線に係る線量、空気中の

放射性物質の濃度又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度が、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（以下「線量限度等を定める告示」という。）に定められた値を超えるか又は超えるおそれのある区域は、すべて管理区域とする。

実際には、部屋、建物その他の施設の配置及び管理上の便宜をも考慮して原子炉格納容器、原子炉周辺建屋の大部分、原子炉補助建屋の大部分、燃料取替用水タンク建屋、固体廃棄物貯蔵庫、廃棄物処理建屋、焼却炉建屋、雑固体熔融処理建屋の大部分、使用済燃料乾式貯蔵建屋の大部分等を管理区域とする。

なお、管理区域外において一時的に上記管理区域に係る値を超えるか又は超えるおそれのある区域が生じた場合は、一時的な管理区域とする。

(2) 安全設計方針

1. 安全設計

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.1 放射線被ばく

平常運転時、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等に対し、「原子炉等規制法」に基づき定められている線量限度を超える放射線被ばくを与えないように設計する。さらに、設計に当たっては発電所周辺の一般公衆に対し、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に定められている線量目標値を超える放射線被ばくを与えないように努める。

(3) 適合性説明

(放射線からの放射線業務従事者の防護)

第三十条 設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要

がある場合には、次に掲げるものでなければならない。

- 一 放射線業務従事者（実用炉規則第二条第二項第七号に規定する放射線業務従事者をいう。以下同じ。）が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。
- 2 工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。
- 3 放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。

適合のための設計方針

1 について

- 一 使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮へい、使用済燃料乾式貯蔵容器の配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2 について

使用済燃料乾式貯蔵施設には、放射線管理区域を設定し、使用済燃料乾式貯蔵施設への放射線業務従事者等の出入管理には、既設の出入管理設備を使用する設計とする。また、放射線業務従事者等の個人被ばく管理のため、個人管理関係設備（蛍光ガラス線量計、警報付きポケット線量計等）を設ける。

3 について

使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射線管理区域を設定し、放射線業務従事者が立ち入る場所については、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率及び床等の表面の放射性物質の密度の測定を行うとともに、作業場所の入口付近等に線量当量率等の必要な情報を表示する。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

8.1 放射線管理設備

8.1.1 通常運転時等

8.1.1.1 概要

放射線管理設備は、敷地周辺の一般公衆の放射線被ばくが十分低く保たれていることを監視するとともに、発電所従業員等を本発電所に起因する放射線被ばくから防護するために従業員等の放射線被ばくを十分に監視及び管理するためのもので、放射線管理関係設備、放射線監視設備、放射線計測器の校正設備及び放射線防護設備よりなる。

8.1.1.2 設計方針

通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の放射線被ばくが十分低く保たれていることを監視するため、次の設計方針に基づき、放射線管理設備を設ける。

- (1) 放射線業務従事者等、管理区域内に立入る者及び物品の搬出入に対して、出入管理、汚染管理及び各個人の被ばく管理ができる設計とする。
- (2) 通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、異常な放射性物質の放出、発電所内外の外部放射線量率、放射性物質の濃度等を測定及び監視できる設計とする。
- (3) 万一の事故に備えて、必要な放射線計測器及び防護作業器材を備える。
- (4) 中央制御室及び代替緊急時対策所又は緊急時対策所（緊急時対策棟内）に必要な情報の通報が可能である設計とする。
- (5) 放射線監視設備は、測定対象核種、測定下限濃度、測定頻度、試料採取方法等を適切に定め管理すること等で、通常運転時、発電所外へ放出される放射性物質の放射エネルギーを監視できる設計とする。

なお、放射線監視設備は、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」に適合する設計とする。

- (6) 設計基準事故時に監視が必要な放射線監視設備は、「発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線

計測に関する審査指針」に適合する設計とする。

- (7) モニタリングステーション及びモニタリングポストは、非常用所内電源に接続し、電源復旧までの期間、電源を供給できる設計とする。さらに、モニタリングステーション及びモニタリングポストは、専用の無停電電源装置を有し、電源切替時の短時間の停電時に電源を供給できる設計とする。また、モニタリングステーション及びモニタリングポストから中央制御室までのデータ伝送系及び代替緊急時対策所又は緊急時対策所（緊急時対策棟内）までのデータ伝送系は、有線及び無線により、多様性を有し、指示値は中央制御室で監視及び、代替緊急時対策所又は緊急時対策所（緊急時対策棟内）で監視できる設計とする。モニタリングステーション及びモニタリングポストは、その測定値が設定値以上に上昇した場合、直ちに中央制御室に警報を発信する設計とする。
- (8) 放射性気体廃棄物の放出管理及び発電所周辺の被ばく線量評価並びに一般気象データ収集のため、発電所敷地内で気象観測設備により風向、風速その他の気象条件を測定及び記録できる設計とする。

8.1.1.3 主要設備

- (1) 放射線管理関係設備

出入管理、汚染管理、化学分析、放射性物質の濃度の測定等のため、次の設備を設ける。

a. 出入管理設備

管理区域内への立入りは、出入管理室（3号及び4号炉共用）を通る設計とし、ここで人員の出入管理を行う。また、物品の搬出入についても出入管理室を通る設計とする。ただし、燃料及び大型機器の搬出入に際しては、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、廃棄物処理建屋等の機器搬入口に臨時の出入管理設備を設けて出入管理を行う。

雑固体溶融処理建屋の管理区域への立入りについては、雑固体溶融処理建屋の出入管理室（1号、2号、3号及び4号炉共用）を通る設計とし、ここで出入管理を行う。

また、放射線管理に必要な各種サーベイメータ等を備える。

b. 汚染管理設備

人の退出及び物品の搬出に伴う汚染の管理を行うために汚染管理設備（3号及び4号炉共用）を設ける。これには更衣室、シャワ室、手洗い場、退出モニタ、汚染衣類の洗たく室及び機器除染室がある。

また、雑固体溶融処理建屋の汚染管理設備（1号、2号、3号及び4号炉共用）には、更衣室、シャワ室及び退出モニタを備える。

c. 試料分析関係設備

1次冷却設備、放射性廃棄物廃棄施設、その他各設備からの試料及び環境試料の一般化学分析及び放射化学分析並びに放射能測定を行うために次のようなものを設ける。

(a) 原子炉系試料採取室（3号及び4号炉共用）

各種系統からの試料をこの室で採取する。試料採取設備の詳細については、6.5 試料採取設備に述べるが、当室内にある主な設備は、サンプル冷却器、サンプル取扱設備、サンプルフード等である。

(b) 放射化学室

管理区域内の液体及び気体試料の分析を行うため放射化学室（3号及び4号炉共用）を設ける。

(c) 放射能測定室

各種系統及び作業環境の放射性物質濃度等を測定するために放射能測定室（3号及び4号炉共用）を設ける。

また、雑固体溶融処理建屋に専用の測定室（1号、2号、3号及び4号炉共用）を設け、放射性試料の放射能を測定する。

(d) 環境放射能測定室

海水、海洋生物、土壌、陸上生物等の環境試料中の放射性物質の濃度を測定するため、環境放射能測定室（1号、2号、3号及び4号炉共用）を設ける。

当室内にある主な設備は、試料放射能測定装置、化学分析装置等である。

(e) 校正線源室

サーベイメータ、エリアモニタ等の放射線測定器の校正及び校正用密封線源の保管をするために校正線源室（1号、2号、3号及び4号炉共用）を設ける。

当室内にある主な設備としては、サーベイメータ校正台、個人被ばく測定器照射台、標準照射線量計、校正用密封線

源、線源貯蔵庫、パルス発生器、シンクロスコープ等がある。

d. 個人管理関係設備（3号及び4号炉共用）

発電所従業員等の被ばく管理のために警報付きポケット線量計、蛍光ガラス線量計、ホールボディカウンタ等を備える。

(2) 放射線監視設備

b. エリアモニタリング設備

中央制御室及び管理区域内の主要箇所の外部放射線に係る線量当量率を連続的に測定するため、エリアモニタを設ける。

この設備は、中央制御室で記録、指示するとともに設定値を超えた時は、現場及び中央制御室に警報を発する。検出器には、半導体又は電離箱を使用する。

エリアモニタを設ける区域は、次のとおりである。

- (a) 中央制御室（3号及び4号炉共用）
- (b) ドラム詰室（3号及び4号炉共用）
- (c) 放射化学室（3号及び4号炉共用）
- (d) 充てんポンプ室
- (e) 使用済燃料ピット付近
- (f) 原子炉系試料採取室（3号及び4号炉共用）
- (g) 原子炉格納容器内（エアロック付近）
- (h) 原子炉格納容器内（炉内核計装付近）
- (i) 廃棄物処理建屋内（3号及び4号炉共用）
- (j) 雑固体溶融処理建屋内（3号及び4号炉共用）

なお、燃料取扱い中の原子炉格納容器内（運転操作床面付近）及び保守中の機器室の付近には可搬式エリアモニタ装置を必要に応じて設ける。

さらに、設計基準事故時において十分な測定範囲を有する格納容器エリアモニタを設ける。

d. 放射線サーベイ設備（3、4号炉共用）

所内外の必要箇所、とくに管理区域内で従業員が頻繁に立入る箇所及び原子炉安全運転上必要な箇所については、外部放射線量率、空気中及び水中の放射性物質の濃度並びに表面汚染密度のうち、必要なものを定期的に測定監視する。

測定は、外部放射線量率については携帯用の各種サーベイメータにより、空気中及び水中の放射性物質濃度についてはサンプリングによる放射能測定により、また、表面汚染密度についてはサーベイメータ又はスミヤ法による放射能測定によって行う。

(3) 放射線防護設備（3、4号炉共用）

放射線防護並びに救助活動に必要な資材として、防護衣、呼吸器、防護マスク、無線機等の防護用機器を備える。また、鉛遮へいブロック等の遮へい用器材及び汚染除去器材を備える。

8.2 換気空調設備

8.2.1 換気設備

8.2.1.1 概要

換気空調設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡

変化時、設計基準事故時及び重大事故等時に発電所従業員等に新鮮な空気を送るとともに、空気中の放射性物質を除去低減するもので、格納容器換気空調設備、補助建屋換気空調設備等で構成する。アニュラス空気浄化設備及び安全補機室空気浄化設備は、工学的安全施設の一部として、9.3 アニュラス空気浄化設備及び9.4 安全補機室空気浄化設備の節に述べているので、ここでは省略する。

8.2.1.2 設計方針

- (1) 換気空調設備は、管理区域内、管理区域外の別により、また、それぞれの区域内でも機能の別により系統を分ける。
- (2) 換気は清浄区域に新鮮な空気を供給して、放射能レベルの高い区域に向かって流れるようにし、排気は適切なフィルタを通して行う。
- (3) 各換気系統は、その容量が区域及び部屋の必要な換気並びに除熱を十分に行えるようにする。なお、換気回数は、原子炉格納容器は1.5回/h、原子炉補助建屋等は2回/h以上とする。
- (4) 各換気空調設備のフィルタは、点検及び交換ができるように設計する。
- (5) よう素フィルタには、温度感知設備を設ける。
- (6) 中央制御室空調装置は、事故時には外気との連絡口を遮断し、よう素フィルタを通る閉回路循環方式とし、運転員等を過度の放射線被ばくから防護するように設計する。
- (7) 重要度が特に高い安全機能を有する換気空調設備においては、単一故障を仮定してもその安全機能を失うことのないよう

原則として多重性を備える設計とする。

- (8) 火災の延焼防止が必要な換気ダクトには防火ダンパを設置する。

8.2.1.4 主要設備

(1) 格納容器換気空調設備

格納容器換気空調設備は、格納容器空調装置、格納容器再循環装置、格納容器空気浄化装置、制御棒駆動装置冷却装置、原子炉容器室冷却装置、蒸気発生器室冷却装置、加圧器室冷却装置、格納容器減圧装置等で構成する。系統の概略を第8.2.1図に、主要設備の仕様を第8.2.1表に示す。

a. 格納容器空調装置

原子炉停止中、従業員等が原子炉格納容器内に立入る場合の換気を行うために、格納容器空調装置を設ける。

格納容器空調装置は、格納容器給気系統及び格納容器排気系統で構成する。

なお、格納容器空調装置は、アニュラス部の通常換気にも使用する。

(a) 格納容器給気系統

原子炉格納容器内及びアニュラス部に新鮮な外気を供給するために、格納容器給気ユニット及び格納容器給気ファンを設ける。

格納容器給気ユニットには、冬季の原子炉停止時に原子炉格納容器内の平均温度を10℃以上に保つ

ために、給気を暖める蒸気加熱コイルを内蔵し、補助蒸気で加熱する。

空気供給ダクトの格納容器貫通部には、無漏えい型のバタフライ弁（隔離弁）を直列に2個設ける。原子炉運転中、この弁は全閉して原子炉格納容器内空気の外部への漏出を防ぐ。

(b) 格納容器排気系統

原子炉格納容器内及びアニュラス部の空気の排出のために、格納容器排気ファンと微粒子フィルタを内蔵した格納容器排気フィルタユニットを設ける。

排気ダクトの格納容器貫通部には、無漏えい型のバタフライ弁（隔離弁）を直列に2個設ける。原子炉運転中、この弁は全閉して、原子炉格納容器内空気の外部への漏出を防ぐ。

格納容器排気ファンを出た排気は、排気筒へ導く。

b. 格納容器再循環装置

原子炉運転中、原子炉格納容器内の機器及び配管類からの放散熱を除去し、原子炉格納容器内の平均温度を49℃以下に保つための装置であり、粗フィルタ及び冷却コイルを内蔵した格納容器再循環ユニットと格納容器再循環ファンを設ける。また、原子炉格納容器ドーム部の空気を混合し冷却するために、格納容器再循環装置を通過した冷却空気を供給するドーム部給気ファンを設ける。

c. 格納容器空気浄化装置

原子炉運転中、従業員等が原子炉格納容器内に立入る場合、原子炉格納容器内の空気を浄化し、放射性物質を除去低減させる設備であり微粒子フィルタ及びよう素フィルタを内蔵した格納容器空気浄化フィルタユニットと格納容器空気浄化ファンを設ける。

d. 制御棒駆動装置冷却装置

制御棒駆動装置から発生する熱を除去するために、制御棒駆動装置冷却ユニット及び制御棒駆動装置冷却ファンを設ける。吸引した空気は粗フィルタを通し冷却コイルで冷却する。

e. 原子炉容器室冷却装置

原子炉容器室冷却装置は、原子炉容器の放散熱を除去するとともに、原子炉容器支持構造物を冷却して原子炉容器の熱がコンクリート部に伝わるのを制限する。また、炉外核計装装置も冷却する。

原子炉容器室冷却ファンは、格納容器再循環装置を通過した冷却空気を原子炉容器下部に給気する。

f. 蒸気発生器室冷却装置及び加圧器室冷却装置

蒸気発生器室冷却装置は、蒸気発生器、1次冷却材ポンプ及び1次冷却材管の放散熱を、加圧器室冷却装置は、加圧器の放散熱を除去するとともに、それぞれの支持構造物を冷却して機器及び配管の熱がコンクリート部に伝わるのを制限する。

蒸気発生器室給気ファン及び加圧器室給気ファン

は、格納容器再循環装置を通過した冷却空気を蒸気発生器室、加圧器室にそれぞれ給気する。

g. 格納容器減圧装置

格納容器減圧装置は、配管、弁及び排気フィルタユニットで構成し、原子炉格納容器圧力が一定圧に上昇した際に開弁し、微粒子フィルタ及びよう素フィルタを通して排気筒に導くことにより、原子炉格納容器圧力を下げる。また、本装置は1次冷却材喪失事故後の原子炉格納容器内の水素濃度の制御に使用する。

(2) 補助建屋換気空調設備

補助建屋換気空調設備は、補助建屋空調装置、燃料取扱棟空調装置、試料採取室空調装置、出入管理室空調装置、中央制御室空調装置等で構成する。

補助建屋換気空調設備系統の概略を第8.2.2(1)図から第8.2.6図に主要設備の仕様を第8.2.2表に示す。

a. 補助建屋空調装置

補助建屋空調装置は、補助建屋給気系統、補助建屋排気系統及び補助建屋非管理区域排気系統で構成する。

(a) 補助建屋給気系統

3号炉補助建屋給気系統には、原子炉補助建屋及び原子炉周辺棟内等に外気を供給するために、補助建屋給気ユニット及び補助建屋給気ファンを設ける。また、4号炉補助建屋給気系統には、原

子炉補助建屋、原子炉補助棟、原子炉周辺棟及び燃料取扱棟内等に外気を供給するために、補助建屋給気ユニット及び補助建屋給気ファンを設ける。

補助建屋給気ユニットは、冬季に原子炉補助建屋内等の平均温度を10℃以上に保つために、給気を暖める蒸気加熱コイルを内蔵し、補助蒸気で加熱する。

(b) 補助建屋排気系統

3号炉補助建屋排気系統には、非管理区域を除く、一般補機室、安全補機室等からの排気を集合して、排気筒へ導くため補助建屋排気ファンを設ける。また、4号炉補助建屋排気系統には、非管理区域を除く一般補機室、安全補機室、燃料取扱棟等からの排気を集合して排気筒へ導くため、補助建屋排気ファンを設ける。排気系統には微粒子フィルタを内蔵した補助建屋排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

なお、安全補機室の排気系統は、事故時に安全補機室空気浄化設備に自動的に切替える。

(c) 非管理区域排気系統

非管理区域からの排気を大気へ放出するために非管理区域排気ファンを設ける。

b. 燃料取扱棟空調装置（3号炉のみ設置）

燃料取扱棟空調装置は、燃料取扱棟給気系統及び燃料取扱棟排気系統で構成する。

(a) 燃料取扱棟給気系統

燃料取扱棟に新鮮な外気を供給するために、燃料取扱棟給気ユニット及び燃料取扱棟給気ファンを設ける。

燃料取扱棟給気ユニットは、冬季に室内の平均温度を10℃以上に保つために、給気を暖める蒸気加熱コイルを内蔵し、補助蒸気で加熱する。

(b) 燃料取扱棟排気系統

燃料取扱棟からの排気を排気筒に導くため、燃料取扱棟排気ファンを設ける。

排気系統には、粗フィルタ及び微粒子フィルタを内蔵した燃料取扱棟排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

c. 試料採取室空調装置（3、4号炉共用）

試料採取室空調装置は試料採取室給気系統及び試料採取室排気系統で構成する。

(a) 試料採取室給気系統

試料採取室の換気及び冷暖房のために、冷却コイル及び蒸気加熱コイルを内蔵した試料採取室給気ユニット、試料採取室給気ファン及び試料採取室加熱コイルを設ける。

(b) 試料採取室排気系統

試料採取室排気中の放射性物質を除去するために、粗フィルタ、微粒子フィルタ及びよう素フィルタを内蔵した試料採取室排気フィルタユニット

及び試料採取室排気ファンを設ける。また、復水器真空ポンプの排気の放射能レベルが設定値に達した場合、試料採取室排気系に導くように設計する。

d. 出入管理室空調装置（3、4号炉共用）

出入管理室空調装置は出入管理室給気系統及び出入管理室排気系統で構成する。

(a) 出入管理室給気系統

出入管理室の換気及び冷暖房のために、冷却コイル及び蒸気加熱コイルを内蔵した出入管理室給気ユニット、出入管理室給気ファン及び出入管理室加熱コイルを設ける。

(b) 出入管理室排気系統

出入管理室からの排気を排気筒に導くため、出入管理室排気ファンを設ける。

排気系統には粗フィルタ及び微粒子フィルタを内蔵した出入管理室排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

e. 中央制御室空調装置（3号及び4号炉共用、既設）

(a) 通常運転時等

中央制御室等の換気及び冷暖房は、冷却コイルを内蔵した中央制御室空調ユニット、中央制御室空調ファン、中央制御室循環ファン、中央制御室非常用循環フィルタユニット、中央制御室非常用循環ファン等から構成する中央制御室空調装置により行う。

中央制御室空調装置には、通常のラインの他、微粒子フィルタ及びよう素フィルタを内蔵した中央制御室非常用循環フィルタユニット並びに中央制御室非常用循環ファンからなる非常用ラインを設け、事故時には外部との連絡口を遮断し、中央制御室非常用循環フィルタユニットを通る閉回路循環方式とし、運転員を過度の放射線被ばくから防護する設計とする。外部との遮断が長期にわたり、室内の雰囲気が悪くなった場合には、外気を中央制御室非常用循環フィルタユニットで浄化しながら取り入れることも可能な設計とする。

中央制御室外の火災等により発生する燃焼ガスやばい煙、有毒ガス及び降下火砕物に対し、中央制御室空調装置の外気取入れを手動で遮断し、閉回路循環方式に切り替えることが可能な設計とする。

中央制御室空調装置は、各号炉独立に設置し、片系列単独で中央制御室遮へいとあいまって中央制御室の居住性を維持できる設計とする。また、共用により更なる多重性を持ち、単一設計とする中央制御室非常用循環フィルタユニットを含め、安全性が向上する設計とする。

中央制御室空調装置の系統の概略を第8.2.6図に、また、設備仕様の概略を第8.2.2表に示す。

(4) その他の換気空調設備

b. 雑固体溶融処理建屋空調装置（3号及び4号炉共用）

雑固体溶融処理建屋空調装置は、雑固体溶融処理建屋給気

系統及び雑固体溶融処理建屋排気系統で構成する。

系統の概略を第8.2.8図に、設備仕様の概略を第8.2.4表に示す。

(a) 雑固体溶融処理建屋給気系統

雑固体溶融処理建屋の換気及び空調のため、雑固体溶融処理建屋給気ユニット及び雑固体溶融処理建屋給気ファンを設ける。

(b) 雑固体溶融処理建屋排気系統

雑固体溶融処理建屋からの排気を排気口に導くため、雑固体溶融処理建屋排気ファンを設ける。

排気系統には、微粒子フィルタを内蔵した雑固体溶融処理建屋排気フィルタユニットを設け、排気中の微粒子を除去する。

(5) 排気筒

3号炉排気筒は、原子炉格納容器外壁に沿わせて設け、格納容器排気系統、アニュラス空気浄化設備、補助建屋排気系統、安全補機室空気浄化設備、燃料取扱棟排気系統、試料採取室排気系統、出入管理室排気系統及び格納容器減圧装置からの排気を地上高さ約55mの排気口から大気に放出する。4号炉排気筒は原子炉格納容器外壁に沿わせて設け、格納容器排気系統、アニュラス空気浄化設備、補助建屋排気系統、安全補機室空気浄化設備及び格納容器減圧装置からの排気を地上高さ約55mの排気口から大気に放出する。廃棄物処理建屋排気系統からの排気は、

廃棄物処理建屋屋上の排気口から大気に放出する。
また、雑固体溶融処理建屋排気系統からの排気は、
雑固体溶融処理建屋屋上の排気口から大気に放出す
る。排気中の放射能レベルは、排気筒ガスモニタ、
廃棄物処理建屋排気ガスモニタ及び雑固体溶融処理
建屋排気ガスモニタで連続監視する。

排気筒の設備仕様の概略を第 8.2.5 表に示す。

8.3 遮へい設備

8.3.1 概 要

遮へい設備は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事
故時において、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の
被ばく線量を低減するもので、次のものから構成される。

- (1) 原子炉 1 次遮へい
- (2) 原子炉 2 次遮へい
- (3) 外部遮へい
- (4) 補助遮へい
- (5) 燃料取扱遮へい
- (6) 中央制御室遮へい
- (7) 一時的遮へい
- (8) 緊急時対策所遮へい

8.3.2 設計方針

- (1) 発電所周辺の一般公衆が受ける線量については、「核
原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則

等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められた周辺監視区域外の線量限度より十分小さくなるようにするとともに、直接線量及びスカイシャイン線量については、人の居住の可能性のある区域において、発電所内の使用済燃料乾式貯蔵施設を除く他の施設からのガンマ線と使用済燃料乾式貯蔵施設からの中性子及びガンマ線とを合算し、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$ を超えないような遮へい設計とする。

(2) 通常運転時、燃料取替時等において、放射線業務従事者等が受ける線量が、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められた線量限度を超えないようにするのはもちろん、不必要な放射線被ばくを防止するような遮へいとする。

(3) 発電所周辺の一般公衆の受ける線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する遮へいとする。

また、事故時に中央制御室内の運転員等に対し、過度の放射線被ばくがないように考慮し、運転員等が中央制御室内にとどまり、事故対策に必要な各種の操作を行うことができるような遮へいとする。

(4) 遮へい設計に際しては、放射線業務従事者等が立入場所において不必要な放射線被ばくを受けないように、関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、放射線業務従事者等の放射線被ばくが十分安全

に管理できるように、外部放射線に係る線量率が下記の遮へい設計基準（1）を満足するように設計する。

なお、雑固体溶融処理建屋、4－固体廃棄物貯蔵庫及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については、下記の遮へい設計基準（2）を満足するように設計する。

遮へい設計基準（1）

区	分	外部放射線に係る設計基準	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	$\leq 0.00625\text{mSv/h}$	非管理区域
管理区域内* ¹	第Ⅱ区分	$\leq 0.01\text{mSv/h}$	一般通路等
	第Ⅲ区分	$\leq 0.15\text{mSv/h}$	操作用通路等
	第Ⅳ区分	$> 0.15\text{mSv/h}$	機器室等

*1：「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に基づき、 $1.3\text{mSv}/3\text{月}$ を超えるか又は超えるおそれのある区域を管理区域に設定する。

遮へい設計基準（2）

区	分	外部放射線に係る設計基準	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	$\leq 1.3\text{mSv}/3\text{月}$	非管理区域
管理区域内	第Ⅱ区分	$\leq 0.01\text{mSv/h}$	一般通路等
	第Ⅲ区分	$\leq 0.15\text{mSv/h}$	操作用通路等
	第Ⅳ区分	$> 0.15\text{mSv/h}$	機器室等

通常運転時の区分概略を、第8.3.1図～第8.3.9図に示す。

8.3.3 主要設備

(1) 原子炉 1 次遮へい

原子炉 1 次遮へいは、原子炉容器を直接とり囲む最小厚さ約 2.8m の鉄筋コンクリートの構造物で、通常運転時の発電用原子炉からの放射線を減衰させるとともに、原子炉停止時に 1 次冷却設備の補修が可能な程度に、発電用原子炉からの放射線を減衰させる。

原子炉 1 次遮へいは、原子炉容器からの熱伝達及びコンクリート内部で吸収される放射線による過熱脱水を防止するため、原子炉容器室冷却設備により空気で冷却する。

(2) 原子炉 2 次遮へい

原子炉 2 次遮へいは、原子炉格納容器内の 1 次冷却系機器配管をとり囲む内部コンクリート壁であり、主要なものは厚さ約 1.1m の鉄筋コンクリート構造の蒸気発生器側壁である。

原子炉 2 次遮へいは、原子炉 1 次遮へいと外部遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納容器外側での放射線量率を第 I 区分に減衰させる。

(3) 外部遮へい

外部遮へいは、円筒部厚さ約 1.3m、ドーム部厚さ約 1.1m のプレストレストコンクリート造原子炉格納容器で、原子炉 1 次遮へいと原子炉 2 次遮へいとの組合せにより、通常運転時に原子炉格納容器外側での放射線量率を第 I 区分に減衰させる。また、発電所周辺の一般公衆が受ける被ばく線量が、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」及び「原子炉立地審査指針」を十分満足する厚さである。

(4) 補助遮へい

補助遮へいは、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋内の放射性廃棄物廃棄施設、化学体積制御設備、試料採取設備、廃棄物処理建屋及び雑固体熔融処理建屋内の放射性廃棄物廃棄施設等の放射性物質を内蔵する機器及び配管、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋に貯蔵する使用済燃料乾式貯蔵容器を取り囲む構造物で、建屋内の通路を第Ⅱ区分にするとともに、原則として隣接した機器室からの放射線量率を第Ⅲ区分にし、隣接設備の停止あるいは除染を行わずに、各機器室における補修を可能にする。ただし、バルブエリアにおいては、隣接した機器室からの放射線量率が1 mSv/h以下になるように遮へいする。

(5) 燃料取扱遮へい

燃料取扱遮へいは、燃料取替時に原子炉キャビティに張る水及びチャンネル壁、使用済燃料ピットに張る水等からなり、3号炉では燃料取替時、燃料移送時、使用済燃料貯蔵時及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料貯蔵時、4号炉では燃料取替時、燃料移送時及び使用済燃料貯蔵時に放射線業務従事者等が安全に作業できるようにする。燃料取替時の原子炉キャビティに張る水は、ほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約12m、また、使用済燃料ピットに張る水もほう酸水で、燃料集合体の頂部までの水深は約8mである。更に、原子炉キャビティ又は使用済燃料ピットにおいて燃料集合体を取り扱う場合でも、燃料集合体頂部までの水深を3m以上確保する。

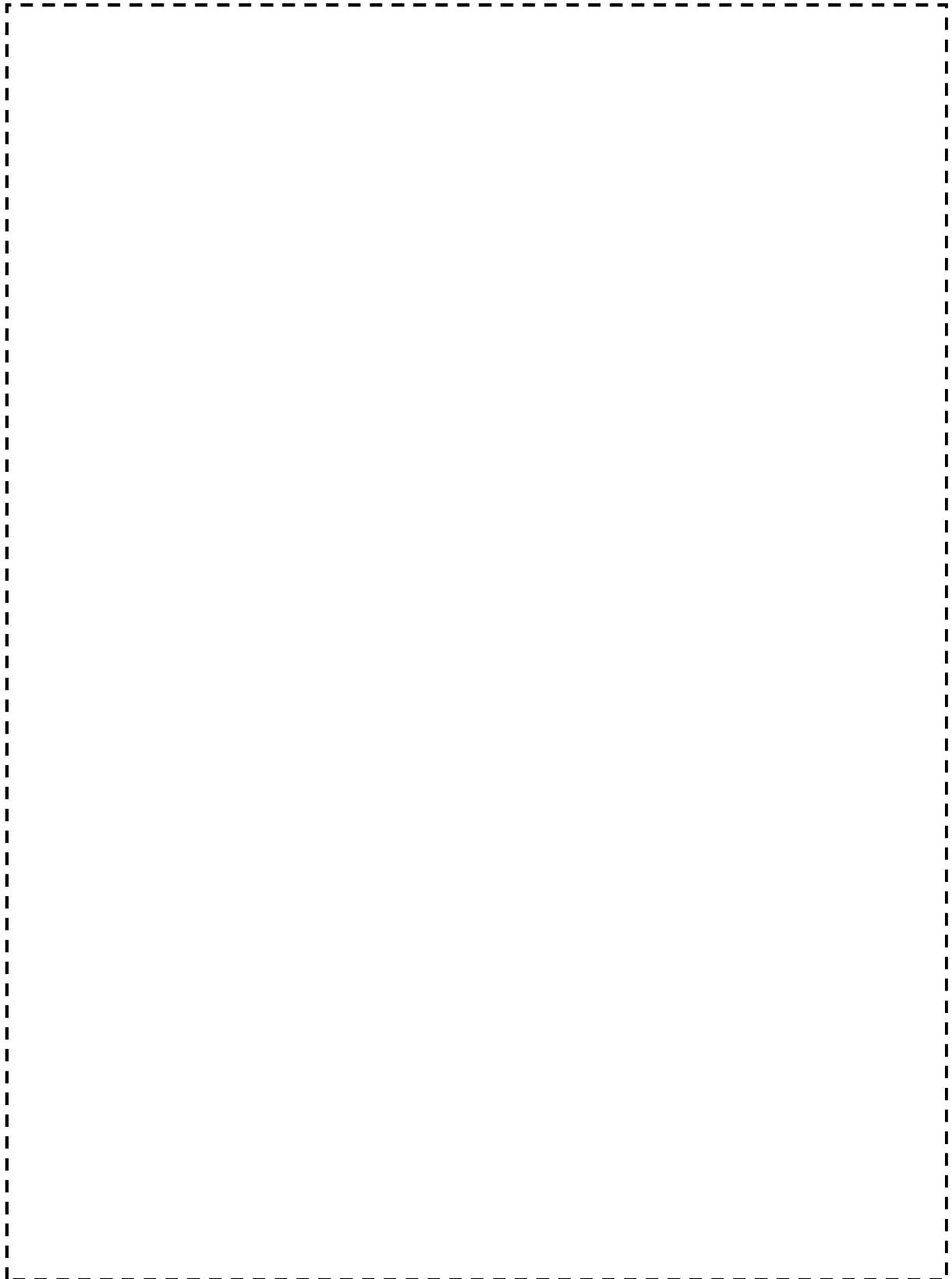
(6) 中央制御室遮へい

a. 通常運転時等

中央制御室遮へい（3号及び4号炉共用）は、原子炉補助建屋内に設置し、原子炉冷却材喪失等の設計基準事故時に、中央制御室内にとどまり必要な操作、措置を行う運転員が過度の放射線被ばくを受けないよう施設する。また、運転員の勤務形態を考慮し、事故後30日間において、運転員が中央制御室に入り、とどまっても、中央制御室遮へいを透過する放射線による線量、中央制御室に侵入した外気による線量及び入退域時の線量が、中央制御室空調装置等の機能とあいまって、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に示される100mSvを下回る遮へいとする。

(7) 一時的遮へい

一時的遮へいは、放射性物質を内蔵する機器及び設備の補修時あるいは事故時の保守等のために一時的に使用するもので、コンクリートブロック、鉛、鉄板等でできた可搬式遮へい構造物であり、必要に応じて設置する。



第 8.3.9 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮へい設計区分概略図

〔 〕: 防護上の観点から公開できません。

2. 放射線からの放射線業務従事者の防護

(別添資料)

放射線からの放射線業務従事者の防護について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

別添

放射線からの放射線業務従事者の防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

目 次

1. 放射線防護上の措置

2. 放射線管理施設

添付 1 : 放射線からの放射線業務従事者の防護について（使用済燃料乾式貯蔵施設）補足説明資料

1. 放射線防護上の措置

1.1 遮へい

使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計については、関係区域への立入りの頻度、滞在時間等を考慮して管理区域を3区分に分け、各区分毎に遮へい設計基準を設けてこれらの基準に適合するよう維持管理する。具体的な基準は第1-1表に示すとおりである。また、この設計区分に基づく管理区域内の概略を第1-1図に示す。

第1-1表 遮へい設計基準

区分		外部放射線に係る設計基準	代表箇所
管理区域外	第Ⅰ区分	$\leq 1.3 \text{ mSv/3月}$	
管理区域内	第Ⅱ区分	$\leq 0.01 \text{ mSv/h}$	取扱エリア※
	第Ⅲ区分	$\leq 0.15 \text{ mSv/h}$	
	第Ⅳ区分	$> 0.15 \text{ mSv/h}$	貯蔵エリア 取扱エリア※

※通常時は線源がないため区分Ⅱ、兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）取扱時は区分Ⅳとする。

貯蔵エリアは乾式キャスクを貯蔵することで線量率が上昇する可能性があるが、当該エリアに隣接しているユーティリティエリア及び屋外は、管理区域外であり第Ⅰ区分とするため、遮蔽壁（ \square cm 以上で計画）を、隣接している取扱エリアは、立ち入り頻度等を考慮して第Ⅱ区分とするため、遮蔽壁（ \square cm 以上で計画）および遮蔽扉（ \square cm 以上で計画）をそれぞれ設け、第Ⅰ区分及び第Ⅱ区分の遮へい設計基準である 1.3mSv/3 か月及び 0.01mSv/h 以下をそれぞれ満足するように設計する。

また、取扱エリアは乾式キャスクを取扱う際に一時的に線量率が上昇する可能性があるが、当該エリアに隣接しているユーティリティ及び屋外は、管理区域外であり第Ⅰ区分とするため、遮蔽壁（ \square cm 以上で計画）を設け、第Ⅰ区分の遮へい設計基準である 1.3mSv/3 か月以下を満足するように設計する。

1.2 乾式キャスク等の配置

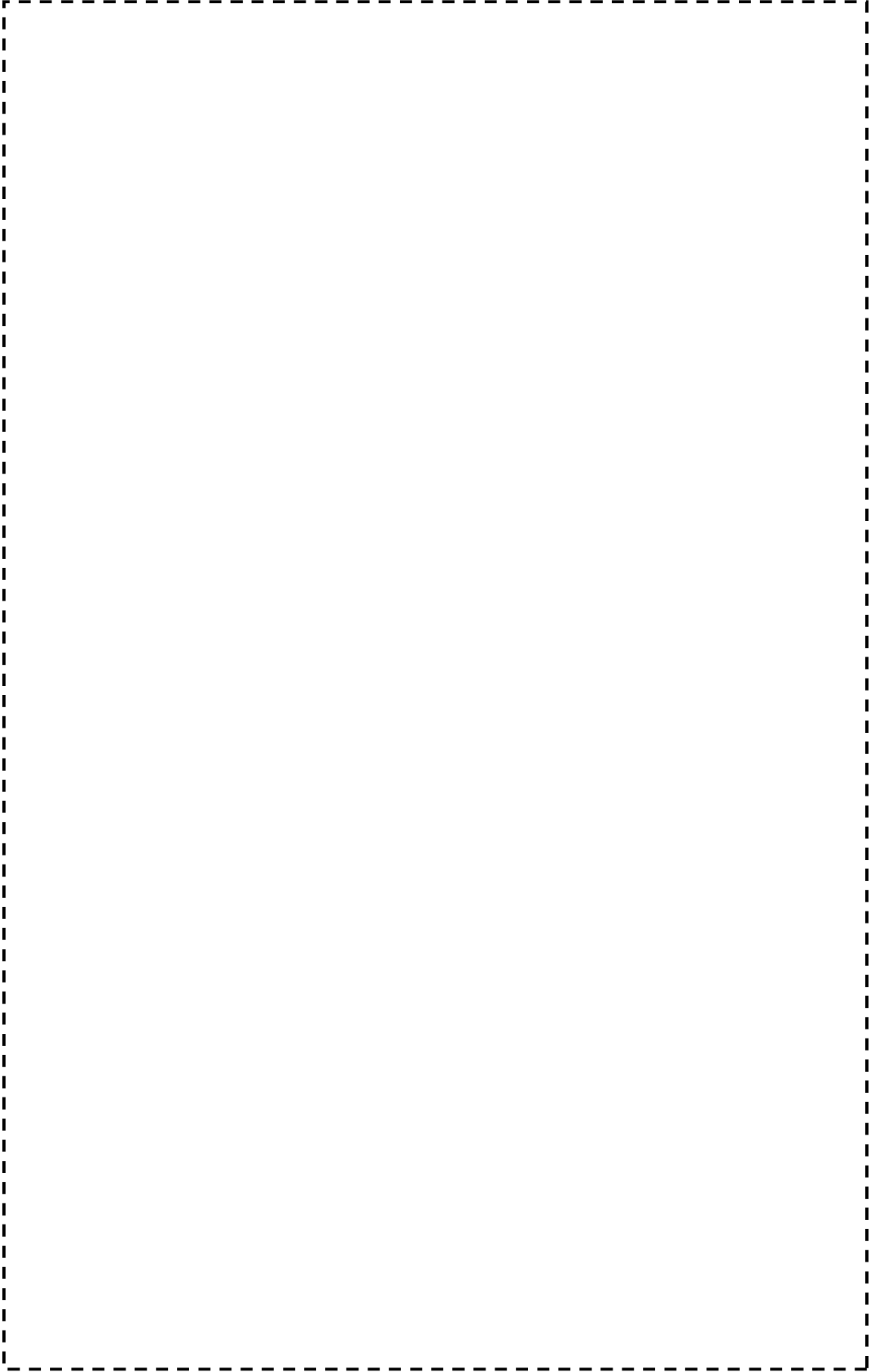
線源からの離隔のため、取扱エリアと貯蔵エリアを設け、乾式キャスクは全て貯蔵エリアに貯蔵する設計とする。また、制御盤等は管理区域外に配置する設計とする。

\square : 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません。

1.3 その他

作業の開始前後、また作業環境が著しく変動するおそれがある場合は、放射線管理員が作業に立ち会い、作業場所の線量当量率等の作業環境を把握するとともに、被ばく低減のための作業方法等を指導する。

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋は汚染のおそれのない管理区域であり、また液体状の廃棄物を持ち込むことはなく、日常的に発生する排水（液体廃棄物）はない。



第1-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮蔽設計区分図

〔 〕：防護上の観点から公開できません。

2. 放射線管理施設

2.1 出入管理

放射線業務従事者、一時立入者の出入管理には、既設の出入管理設備を使用する設計とする。

2.2 線量管理

放射線業務従事者、一時立入者の個人被ばく管理のため、蛍光ガラス線量計、警報付ポケット線量計等を備える。

2.3 線量当量率の測定・表示

放射線業務従事者が立ち入る場所については、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率の測定を行い、出入口付近にそれら必要な情報を表示する。

(1) 定期的測定

管理区域内は、人の立ち入り頻度等を考慮して、被ばく管理上重要な項目について測定することが保安規定において定められている。使用済燃料乾式貯蔵建屋では、1週間に1回、外部放射線に係る線量当量を測定する。

また、労働安全衛生法に基づき、作業環境測定のため、一ヶ月に1回、外部放射線に係る線量当量率を測定する。

エリアモニタについては、以下の理由から設置しない。

- ・ 乾式キャスクは、線量当量率をあらかじめ測定しており、変動は前もって把握できること
- ・ 制御室等のように常時作業する場所はないこと

(2) 必要の都度測定

貯蔵エリア、取扱エリアにおいては、乾式キャスク取扱作業等の開始前後及び作業環境が著しく変動するおそれがある場合、線量当量率を測定する。

(添付 1)

放射線からの放射線業務従事者の防護について
(使用済燃料乾式貯蔵施設)
補足説明資料

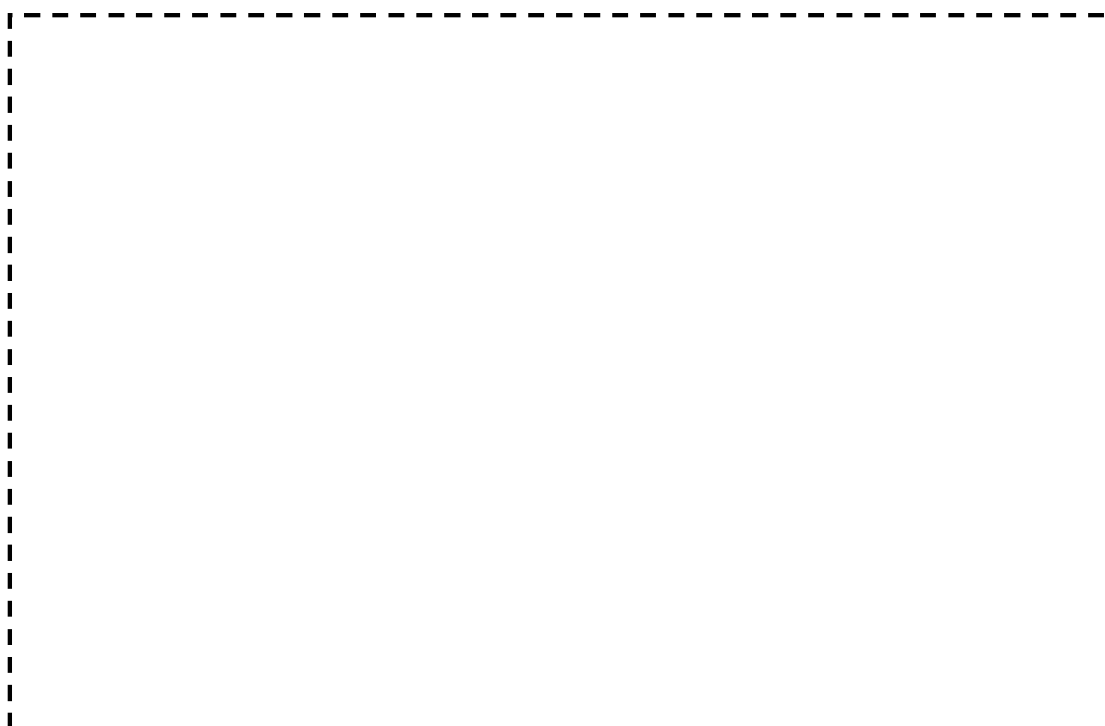
目 次

1. 遮へい設計について
2. 開口部に関する遮へい設計について
3. 管理区域の設定について
4. 評価コードの概要
5. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用するスペクトルの保守性について

1. 遮へい設計について

1.1 遮へい設計

遮へい設計区分は、第1-1図に示すとおり、乾式キャスク貯蔵時には貯蔵エリアが第IV区分、取扱エリアが第II区分とする。また、乾式キャスク取扱時には、取扱エリアが第IV区分とする。屋外及びユーティリティエリア等は貯蔵時及び取扱時ともに第I区分とする。



第1-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋遮へい設計区分図

1.2 評価条件

1.2.1 遮へい厚^{※1}

(1) 貯蔵エリア～取扱エリア・ユーティリティエリア・屋外間の遮へい厚：

[] cm

(2) 取扱エリア～ユーティリティエリア（コールドロッカ室）間の遮へい




厚： [] cm

(3) 遮へい扉の遮蔽厚： [] cm

※1：各区画に面する最小の壁厚を示す。遮へい計算に用いる遮へい厚は、公称値からマイナス側許容誤差（5 mm）を引いた値とする。

[]：防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません

1.2.2 評価点

評価点は、 cm の遮へい壁表面（評価点 A、B）、 cm の遮へい壁表面（評価点 C）および  cm の遮へい扉表面（評価点 D）とする。（第 1 - 1 図参照）

1.2.3 線源

乾式キャスクの線源は、第 1 - 1 表のとおりとする。乾式キャスクの線源強度は、遮へい設計区分境界における線量が保守的な評価結果となるように、コンクリートの透過率を考慮してエネルギースペクトルを保守側に設定するとともに、容器表面から 1 m の位置における線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化している。また、乾式キャスクからの放射線の線質を全て中性子または全てガンマ線とした条件においてそれぞれ線量評価し、保守的な評価結果を求める。


第 1 - 1 表 線源条件

線源	基数	線源強度	スペクトル
乾式キャスク	A, B : 40 基 (貯蔵エリア) C : 2 基 (取扱エリア) D : 4 基 (貯蔵エリア) (注 2)	容器表面 1 m の線量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるように規格化	包絡スペクトル (注 1)

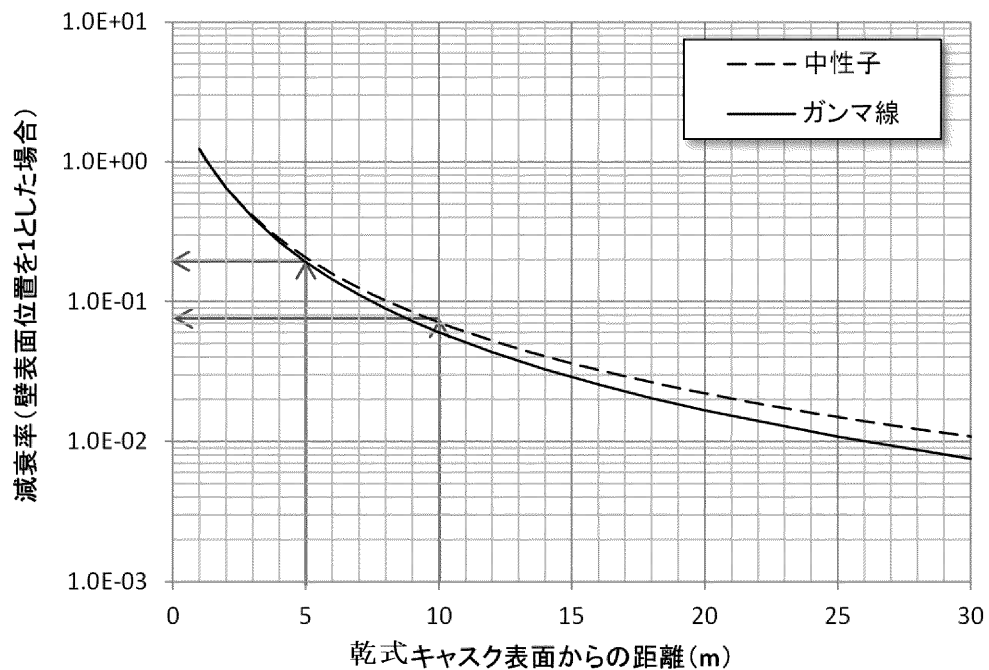
(注 1) 「使用済燃料中間貯蔵施設の直接・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕（平成 12 年 3 月）」

(注 2) 評価点 D は、貯蔵エリアの乾式キャスクのうち、遮へい扉近傍の 4 基分を考慮する（第 1 - 1 図参照）。乾式キャスク表面からの距離を考慮すると、線量の減衰率は 5 m で約 0.2 倍、10 m で約 0.07 倍となる（第 1 - 2 図参照）。

貯蔵エリアの乾式キャスクの配置（第 1 - 1 図参照）から、5 m の減衰率が見込める乾式キャスクが 2 基、残り 38 基を 10 m の減衰率とした場合

: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません

も、合計で4基以下（2基×0.2+38基×0.07=3.06）となり、4基分の評価で妥当である。



第1-2図 乾式キャスク表面からの減衰率

1.2.4 評価モデル

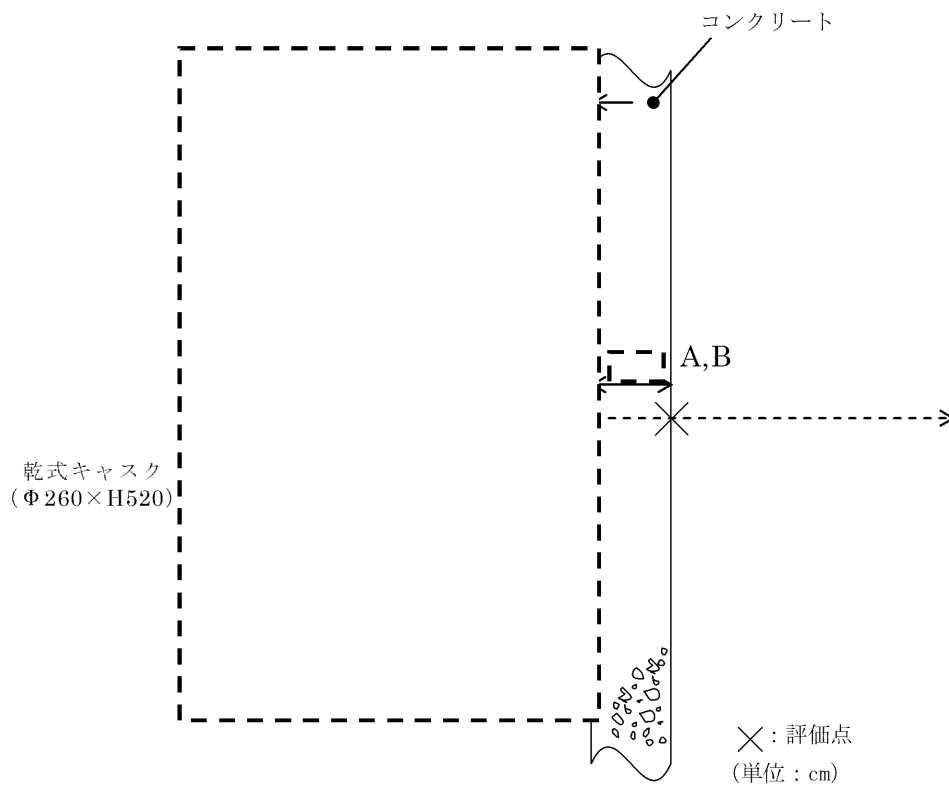
ガンマ線と中性子の両方について線量評価を行い、最終的な評価値としては、両者のうちより保守的な線量評価を採用する。

遮へい設計区分境界におけるガンマ線評価では、乾式キャスクを円筒形の線源で模擬して評価する。評価点 A 及び B における線量評価では、遮へい厚を [] cm、また 40 基の乾式キャスクを考慮する。評価点 C における線量評価では、遮へい厚を [] cm、また乾式キャスク 1 基の線量率を算出し、結果を 2 倍することで、評価点 C において寄与を考慮すべき乾式キャスク 2 基分の線量率を計算する。評価点 D における線量評価では、遮へい厚を [] cm、また乾式キャスク 1 基の線量率を算出し、結果を 4 倍することで、評価点 D において寄与を考慮すべき乾式キャスク 4 基分の線量率を計算する。

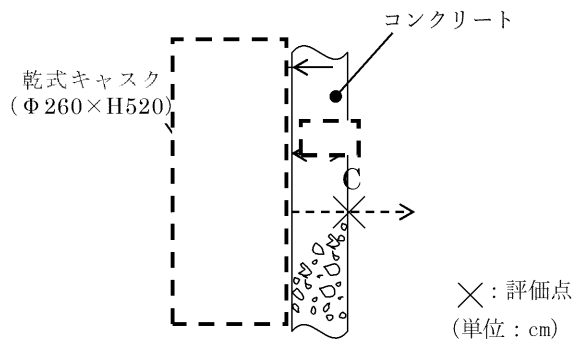
(第 1 - 3 ~ 5 図参照)

中性子評価では、乾式キャスクを球形の線源で模擬して評価する。乾式キャスク 1 基の線量率を算出し、評価点 A 及び B における線量評価では 40 倍、評価点 C における線量評価では 2 倍、評価点 D における線量評価では 4 倍し、それぞれ 40 基、2 基及び 4 基分の線量率を計算する。(第 1 - 6 ~ 8 図参照)

[]: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません

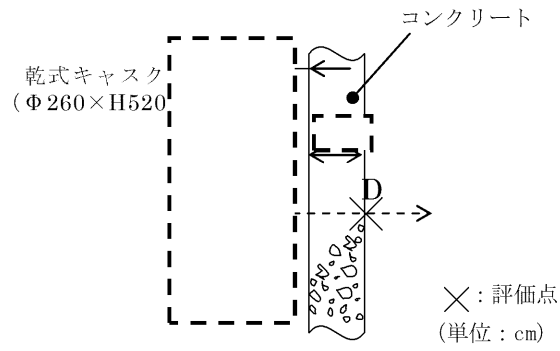


第 1 - 3 図 評価点 A 及び B におけるガンマ線評価モデル (QAD-CGGP2R コード)

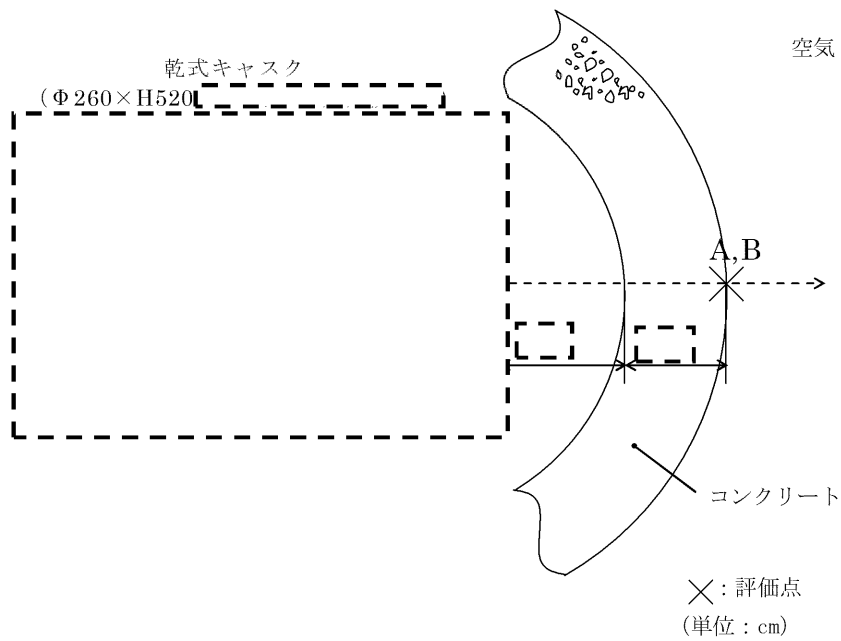


第 1 - 4 図 評価点 C におけるガンマ線評価モデル (QAD-CGGP2R コード)

[]: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません

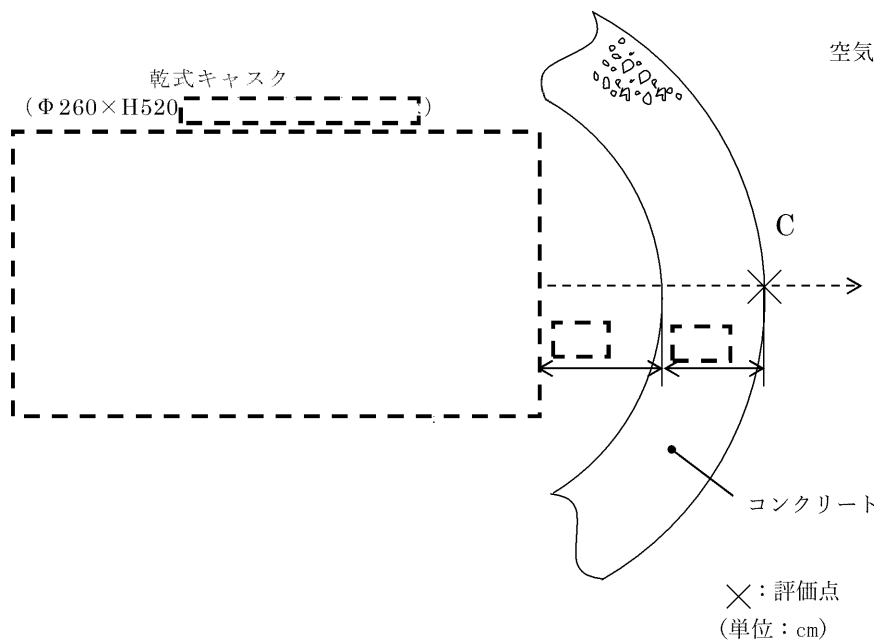


第 1 - 5 図 評価点 D におけるガンマ線評価モデル (QAD-CGGP2R コード)

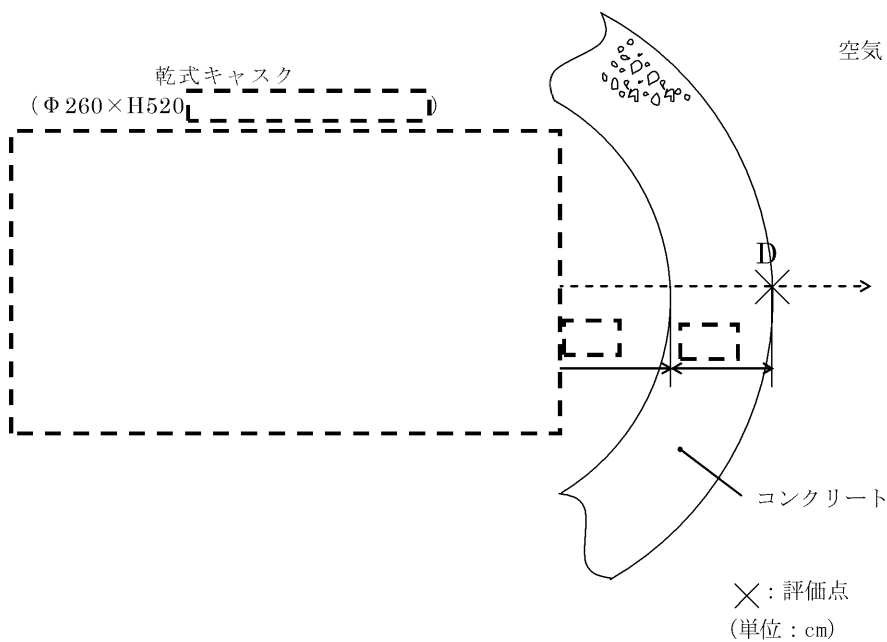


第 1 - 6 図 評価点 A 及び B における中性子評価モデル (ANISN コード)

[]: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません



第1-7図 評価点Cにおける中性子評価モデル (ANISNコード)



第1-8図 評価点Dにおける中性子評価モデル (ANISNコード)

[]: 商業機密に係る事項であるため、公開できません。

1.3 評価結果

評価点 A～D での実効線量率の評価結果を第 1－2 表に示す。評価の結果、第 I 区分及び第 II 区分の遮へい設計基準である 1.3mSv/3 月、0.01mSv/h を十分満たしている。なお、第 I 区分の遮へい設計基準については、周辺での作業者等の滞在時間（3 月で 500 時間）を考慮し管理区域外の遮へい設計基準を 2.6 μ Sv/h 以下とした。

第 1－2 表 評価結果

評価点	壁外線量率 (μ Sv/h)		遮へい設計基準
	全てガンマ線 とした場合	全て中性子 とした場合	
A	0.042	0.14	$\leq 1.3\text{mSv}/3\text{月}$ (2.6 μ Sv/h)
B	0.042	0.14	$\leq 0.01\text{mSv}/\text{h}$ (10 μ Sv/h)
C	0.49	0.26	$\leq 1.3\text{mSv}/3\text{月}$ (2.6 μ Sv/h)
D	3.3	2.4	$\leq 0.01\text{mSv}/\text{h}$ (10 μ Sv/h)

2. 開口部に関する遮へい設計について

各区域の遮へい設計区分を満足するため、開口部は迷路構造とし、建屋内部の放射線源に対して、放射線作業従事者への被ばく低減を目的として、以下の壁厚等を満足することで、局所的な最短透過距離部においても必要遮へい厚さを確保できる（第2-1図）。

- ・ 貯蔵エリア～取扱エリア・ユーティリティエリア・屋外間

壁 厚： $\boxed{\quad}$ cm（コンクリート）

遮へい扉厚： $\boxed{\quad}$ cm（コンクリート）

- ・ 取扱エリア～ユーティリティエリア・屋外間

壁 厚： $\boxed{\quad}$ cm（コンクリート）



第2-1図 管理区域内の開口部に対する遮へい設計概要図

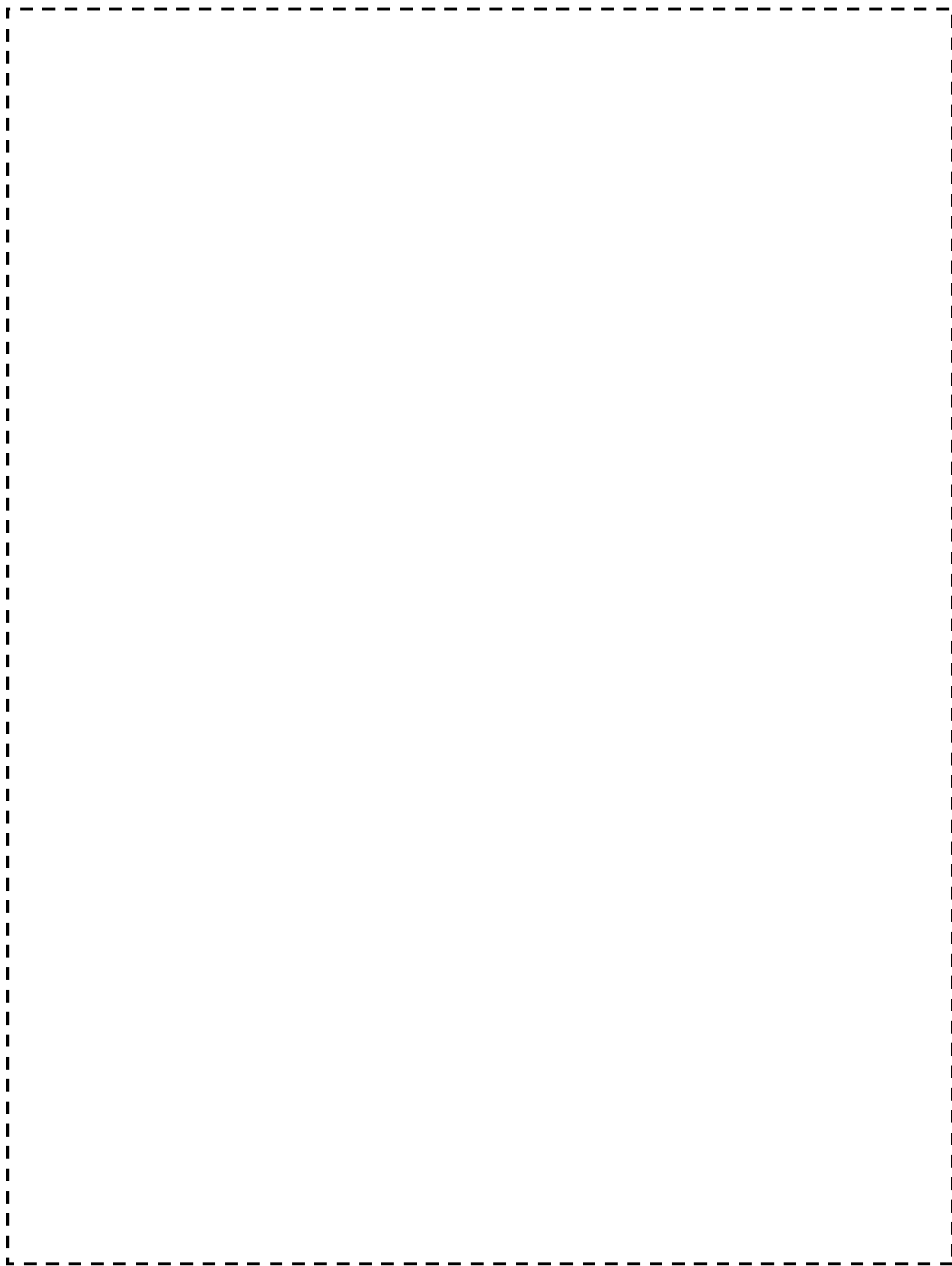
$\boxed{\quad}$: 防護上の観点又は機密に係る事項であるため、公開できません

3. 管理区域の設定について

外部放射線に係る線量等が「線量限度等を定める告示」に定められた値を超えるか又は超えるおそれのある区域は、すべて管理区域とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、容器に閉じ込め機能を有していることから、汚染のおそれのない管理区域とする。使用済燃料乾式貯蔵建屋の管理区域の範囲を第3-1図に示す。

また、運用段階で、一時的に上記管理区域に係る値を超えるか又は超えるおそれのある区域が生じた場合は、一時的な管理区域を設定する。



第3-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋管理区域図

〔 〕：防護上の観点から公開できません。

4. 評価コードの概要

ガンマ線の直接線の評価にはQAD-CGGP2Rコード、中性子の評価にはANISNコードを用いている。

これら評価コードの概要を第4-1～4-2表に示す。なお、いずれも許認可での使用実績があるコードである。

第4-1表 QAD-CGGP2Rコードの概要

項目	コード名 QAD-CGGP2R
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所及び日本原子力研究開発機構
開発時期	1967年
バージョン	Ver. 1.04
使用目的	遮へい計算（使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからの直接ガンマ線計算）
コードの概要	<p>本解析コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法解析コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所がICRP1990年勧告の国内関連法令・規則への取り入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源及び遮へい体を直方体、円筒、球などの三次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を点減衰核積分法により計算することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの直接ガンマ線計算について、QAD-CGGP2Rコードを使用して実施している。</p> <p>【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

- ・ **QAD-CGGP2R** コードは、線量率計算を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮へい体条件である。これら計算条件が与えられれば線量率計算は可能であり、**QAD-CGGP2R** コードは直接ガンマ線量計算に適用可能である。

【妥当性確認 (Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・ **JRR-4** 散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子力第1船遮蔽効果確認実験報告書」**JNS-4**（日本原子力船開発事業団、1967））と計算値を比較した。
- ・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。
- ・ 上記妥当性確認では、実験孔からのガンマ線を遮へい体に入射させ、遮へい体透過後のガンマ線の線量率の実験値と **QAD-CGGP2R** コードによる計算値を比較している。
- ・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの直接ガンマ線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、ガンマ線の補助遮へいの遮へい体透過後の線量率を計算する。
- ・ 今回の直接ガンマ線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。

また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」(**JEAC4615-2008**)では、キャスク保管建屋等の補助遮へいのための点減衰核積分コード/散乱線計算コードとして、**SPAN**コード、**SCATTERING**コード、**QAD**コードが、燃料移送遮へいのための点減衰核積分コードとして **SPAN-SLAB** が挙げられている。

第4-2表 ANISNコードの概要

コード名 項目	ANISN
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1967年
バージョン	ANISN-W
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内の乾式キャスクからの中性子線計算)
コードの概要	<p>本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所にて中性子の遮へい計算を目的として開発されたコードであり、1次元ボルツマン輸送計算式による中性子及びガンマ線の放射線束分布の算出が可能である。</p> <p>今回の評価では、JENDL-3.3をもとに作成された断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 (日本原子力研究所にて整備されたもの) を用いている。本ライブラリは許認可での使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの中性子計算について、ANISNコードを使用して実施している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ANISNコードは、中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮へい体条件である。これら解析条件が与えられれば中性子の放射線束分布解析は可能であり、線量換算係数を乗じることでANISNコードは中性子線量計算に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。 ・OKTAVIAN 透過実験の実測値 (Yamamoto, J., et al.: "Numerical Tables and Graphs of Leakage Neutron Spectra from Slabs of Typical Shielding Materials with D-T Neutron Source," OKTAVIAN Report A-83-05, Osaka Univ. (1983)) と計算値を比較した。 ・実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 ・上記妥当性確認では、コンクリートを通じた中性子スペクトルの実測値と ANISNコードによる計算値を比較している。 ・今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内の乾式キャスクからの中性子線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、コンクリートの深層透過による放射線束分布を解析し、線量率を計算する。 ・今回の中性子線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・また、「原子力発電所放射線遮へい設計規程」(JEAC4615-2008) では、乾式キャスク保管建屋等の補助遮へいのための輸</p>

	<p>送計算コードとして、ANISN コード及び DOT コードが挙げられている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 については、TRANSX コード(ver.2.15、修正パッチ(International Atomic Energy Agency Nuclear Data Services、"TRANSX patches" https://www-nds.iaea.org/fendl20/transx-patches.htm、)適用)により、計算コード入力用に処理して用いている。 ・MATXSLIB-J33 については、海上技術安全研究所による実験値(大西世紀 ほか、「²⁵²Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」、海上技術安全研究所報告 第7巻 第3号 研究報告、(2007))と MATXSLIB-J33 による計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。 <p>上記妥当性確認では、放射線エネルギーがキャスクのエネルギースペクトルと同等となっており、今回の使用目的と合致している。</p>
--	--

5. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用するスペクトルの保守性について

5.1 基本的考え方

使用済燃料乾式貯蔵施設では、専用の乾式キャスクを使用し、鉄筋コンクリート造の貯蔵建屋内で貯蔵することから、それぞれの乾式キャスク表面のエネルギースペクトルによるコンクリートの透過率を考慮する必要がある。

このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい設計で使用する乾式キャスク表面のエネルギースペクトルは、乾式キャスクの設計から得られた乾式キャスク表面でのエネルギースペクトル（以下、「設計スペクトル」という。）と比べて、コンクリート透過率が高くなるように設定する。

5.2 設定した線源スペクトル

本評価では、原子力安全研究協会「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について〔金属キャスク方式〕」¹⁾における線量評価用の表面エネルギースペクトル（以下、「包絡スペクトル」という。）を採用した。設定結果は以下のとおりである。

・ガンマ線の包絡スペクトル

乾式キャスク表面での線量当量率が、事業所外運搬に係る法令要求を満足するように設計された乾式キャスクの表面のエネルギースペクトルに対して、コンクリート中の減衰割合が小さくなるように仮想的なエネルギースペクトルを設定

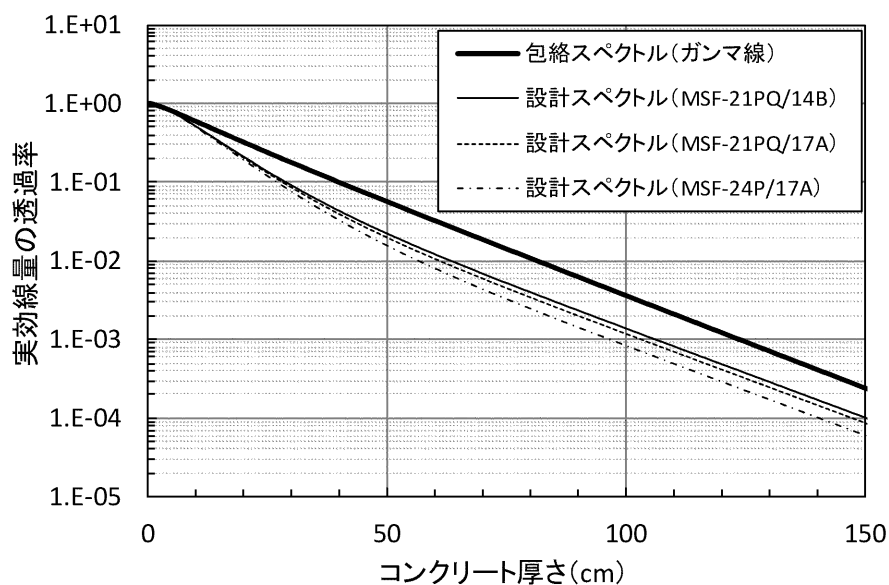
・中性子の包絡スペクトル

使用済燃料の主な中性子源である²³⁹Pu核分裂、²⁴⁴Cm自発核分裂、²⁴²Cm(α , n)反応のうち、コンクリート中の減衰割合が小さくなる²⁴²Cm(α , n)反応のスペクトルを設定

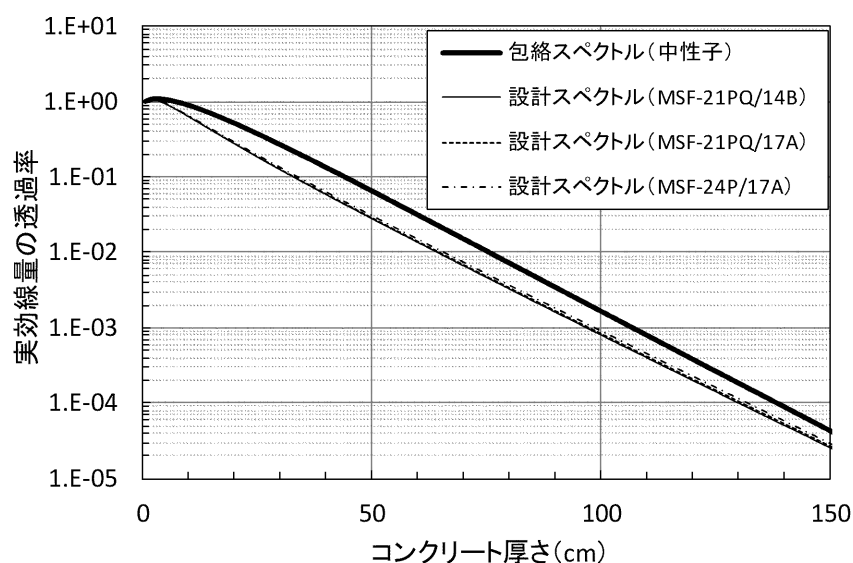
5.3 線源スペクトルの保守性

保守性の確認のため、包絡スペクトルと設計スペクトルに対するコンクリート中での実効線量率の減衰率を比較した。1次元輸送計算コードANISNで計算した結果を第5-1図（ガンマ線）及び第5-2図（中性子）に示す。

包絡スペクトルは、設計スペクトルに比べ、コンクリートの透過性が高く、保守的であることがわかる。



第5-1図 コンクリート中での実効線量の減衰率（ガンマ線）



第5-2図 コンクリート中での実効線量の減衰率（中性子）

1) 財団法人 原子力安全研究協会、「使用済燃料中間貯蔵施設の直接線・スカイシャイン線量の評価手法について」[金属キャスク方式]、平成 12 年 3 月

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

先行電力との申請に関する設計方針において、差異の概要を示す。

なお、サイト固有条件や個別設計（設計方針は同じ）に基づく差異は除く。

	先行電力	九電	差異
3条	乾式貯蔵建屋は基準地震動に対して十分な支持力を有する地盤に設置する。	同左	なし
4条	乾式キャスクは基準地震動に対して耐震性を有する設計とする。 波及的影響： ・貯蔵建屋 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。 ・天井クレーン 基準地震動の発生確率や作業時間を考慮した確率論的考察により重畳考慮不要とする。	同左 波及的影響： ・貯蔵建屋 同左 ・天井クレーン 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。	なし なし あり
5条	基準津波の到来しない設置位置	同左	なし
6条	乾式貯蔵施設（乾式貯蔵建屋、乾式キャスク）として1項、3項を適用し設計。	乾式貯蔵建屋は、PS-3として1項、3項を適用し外部事象に対して設計。 乾式キャスクは4項、6項を適用し竜巻、外部火災に対して設計。	なし あり
7条	再稼働時方針と同じ。	同左	なし
8条	放射性物質の貯蔵等の機器等である乾式貯蔵容器を貯蔵する乾式貯蔵建屋を火災区域として設定する。 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア、取扱エリア及びユーティリティエリアの建屋全域を火災区画として設定している。	同左 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア及び乾式貯蔵容器を取り扱う取扱エリアを火災区画として設定する。 なお、火災区画を設定しないユーティリティエリア（コンプレッサ室含む）については、貯蔵エリア及び取扱エリアと同様に、消防法に基づき火災感知器及び消火設備を設置するため、設計の相違はない。	なし あり
9条	200m 浸漬評価により影響を受けない。	同左	なし
11条	安全避難通路を設ける。	同左	なし

	先行電力	九電	差異
12条	キャスク：PS-2 建屋：PS-3	同左	なし
16条	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2号用 (14×14 48G)</p> <p>MSF-32P (単一燃料)</p> <p>3号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>【4つの安全機能】 貯蔵状態での安全機能維持 想定事象による安全機能維持</p> <p>【長期健全性】 設計貯蔵期間 (60年) において安全 機能維持できる設計</p> <p>【監視装置】 蓋間圧力計、表面温度計、雰囲気温 度計を設けて監視できる設計。 監視頻度は3ヶ月/回</p>	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2/3/4号用 (14×14 48G) (14×14 55G) (17×17 48G)</p> <p>MSF-21P (複数種燃料、燃料型の混載 無)</p> <p>3/4号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>同左</p> <p>同左</p> <p>55G 燃料健全性</p> <p>同左</p>	<p>あり</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>あり</p> <p>なし</p>
29条	<p>建屋を設ける事で年間 50μSv/y を 満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 管理区域境界線量評価を行う。 敷地境界線量評価を行う。 (補足) 開口部のストリーミング影響評価 を行う。 	<p>同左</p> <ul style="list-style-type: none"> 同左 (30条に評価結果を記載。) 敷地等境界線量評価を行う。 (補足) 同左 	<p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p>
30条	<p>建屋壁を境界として管理区域境界を 設ける。 建屋外及びユーティリティエリアは 非管理区域。 飛び地管理。 線量当量率の表示を行う。</p>	同左	なし