

資料1-8

JRR-3原子炉施設の構造 (外部事象影響)

【JRR-3設工認その13 第8編】

令和2年7月13日

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所

概要

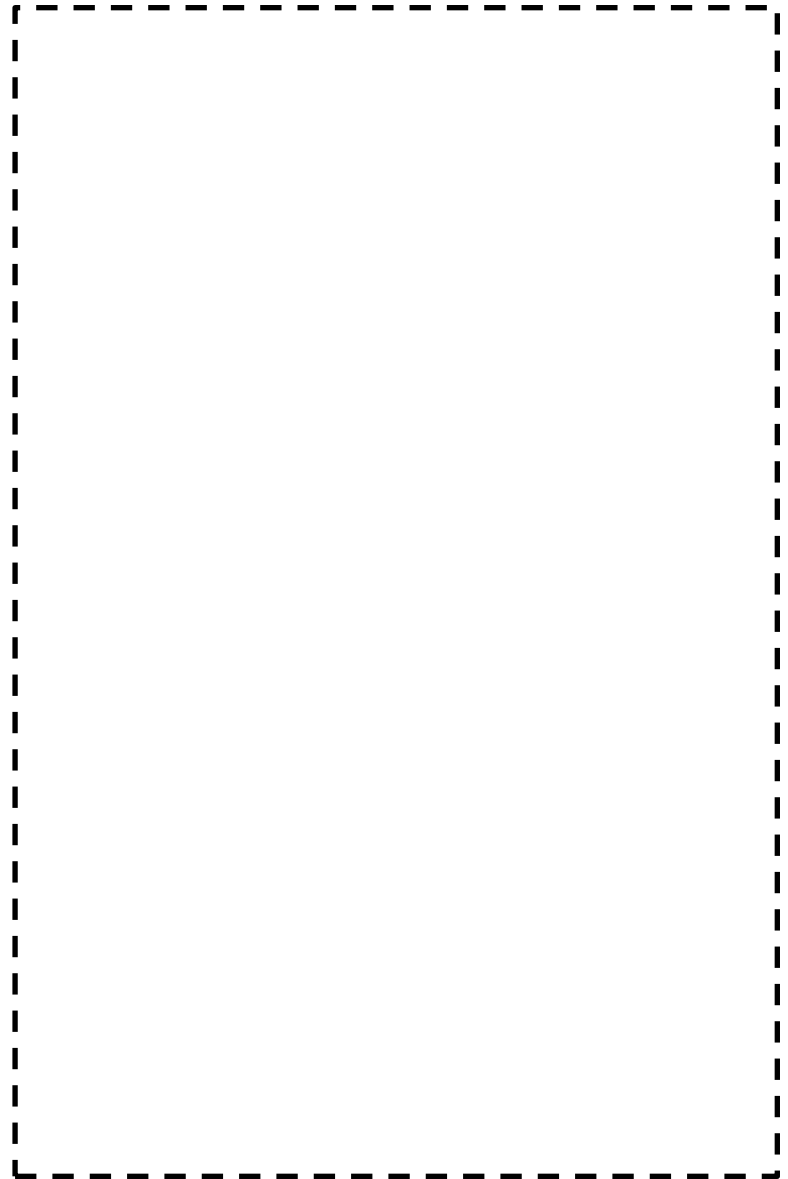
外部事象影響のうち、外部火災(森林火災、近隣の産業施設等の火災・爆発及び航空機落下火災)及び竜巻が発生した場合でも、安全施設の安全機能に影響を及ぼさないか評価により確認する。

JRR-3原子炉施設の建物及び構築物は、次の各施設から構成される。

- (1) 原子炉建家
- (2) 原子炉制御棟
- (3) 実験利用棟
- (4) 使用済燃料貯槽室
- (5) 燃料管理施設
- (6) 使用済燃料貯蔵施設
- (7) コンプレッサ棟
- (8) 冷却塔
- (9) 排気筒
- (10) 事務管理棟

今回申請する範囲は、(1)原子炉建家、(2)原子炉制御棟、(3)実験利用棟、(4)使用済燃料貯槽室、(5)燃料管理施設、(6)使用済燃料貯蔵施設、(9)排気筒に関して、外部事象影響の評価を行うものである。なお、(8)冷却塔については、外部事象接近時には原子炉を停止させ、必要な安全機能が達成されるため、(7)コンプレッサ棟、(10)事務管理棟については、安全施設を内包しない及び安全施設ではないため、評価を実施しない。

下線: 次回補正申請予定



各建家配置図及び申請範囲

設計条件

自然現象(洪水・降水、風(台風)、竜巻、凍結、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象及び森林火災)及び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(以下「人為事象」という。)(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)については、原子炉施設への影響を及ぼさないことを確認している。本申請では、前述した自然現象及び人為事象のうち原子炉施設への影響に対し評価計算を要する外部火災(森林火災、爆発、近隣工場等の火災及び航空機の落下による火災)及び竜巻について確認する。

以下に外部火災及び竜巻に係る設計条件を示す。

<外部火災>

- ・原子力科学研究所(以下「原科研」という。)敷地外の森林火災が原子炉施設に迫った場合でも、施設の安全機能を損なうおそれがないよう設計する。
- ・原科研敷地内にLNGタンク等を設置する場合は、その爆発による原子炉施設への影響を考慮して設置する。
- ・原科研敷地外の近隣工場等(半径10km以内)において火災が発生した場合に、原子炉施設の安全性に影響を与えるおそれがあるときは、必要に応じて防護対策をとる。
- ・原科研敷地内に重油タンク等を設置する場合は、その火災による原子炉施設への影響を考慮して設置する。
- ・原科研の敷地への航空機の落下により発生する火災を想定しても、原子炉施設の安全性に影響を及ぼさないよう設計し、必要に応じて対策を講じる。
- ・原子炉施設に隣接する森林については、森林が拡大しないよう樹木を管理することを原子力科学研究所原子炉施設保安規定及び下部規定に定めることとする。

<竜巻>

- ・原科研の敷地及びその周辺(施設から半径20kmの範囲)における過去の記録を踏まえた影響が最も大きい竜巻(藤田スケールF1、最大風速49m/s)の発生を考慮しても、原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわない設計とする。
- ・当該竜巻で原子炉施設の構造健全性に影響を及ぼすことを確認した飛来物については、飛来防止対策等を講ずることを原子力科学研究所原子炉施設保安規定及び下部規定に定めることとする。
- ・竜巻以外の自然現象による荷重
 竜巻と同時に発生する雷、雪、雹、大雨については、以下の理由によりJRR-3原子炉施設への影響が相乗しないため、考慮しない。

①雷

竜巻は建家、構造物及び設備(系統・機器)に対する風荷重、気圧差荷重及び飛来物の衝撃荷重であるが、落雷は雷撃であり影響モードが異なることから、竜巻との組み合わせは考慮しない。

②雪

上昇気流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。下降流の竜巻通過時や竜巻通過前に積もった雪は竜巻の風に吹き飛ばされ、建家への影響は生じないことから竜巻との組み合わせは考慮しない。

③雹

竜巻通過前に積もった雹は竜巻の風に吹き飛ばされ、建家への影響は生じない。また、降雹による衝撃荷重は、設計飛来物に包含できるため考慮しない。

④大雨

大雨による影響は建家への浸水であり、竜巻とは影響モードが異なることから、竜巻との組み合わせは考慮しない。

評価条件

安全施設を内包する建家として評価対象である原子炉建家、使用済燃料貯槽室、燃料管理施設、実験利用棟、原子炉制御棟、使用済燃料貯蔵施設並びに安全施設として評価対象である排気筒に対し外部火災及び竜巻への影響を評価することにより、安全施設が機能を損なわないことを確認する。**評価対象施設はすべて鉄筋コンクリート構造である。なお、安全施設のうち冷却塔については、外部事象接近時に原子炉を停止することで必要な安全機能が達成されることから、本申請での評価対象外とする。**

(1) 外部火災

本施設で想定される外部火災である森林火災、近隣の産業施設等の火災・爆発及び航空機の落下による火災が発生した場合でも、評価対象施設の構造健全性に影響がないことを評価により確認する。

(2) 竜巻

想定される竜巻である藤田スケールF1の竜巻が発生した場合でも、評価対象施設の構造健全性に影響がないことを評価により確認する。

評価結果

(1) 外部火災

本施設で想定される外部火災による影響評価の結果、外部火災が発生した場合でも、評価対象施設の構造健全性に影響がないため、安全施設の安全機能を損なわないことを確認した。なお、評価において、森林火災の際に屋外消火栓による消火活動を考慮せずとも、安全施設の安全機能を損なわないことを確認した。

(2) 竜巻

想定される竜巻である藤田スケールF1の竜巻による影響評価の結果、この竜巻が発生した場合でも、評価対象施設の構造健全性に影響がないため、原子炉施設の安全機能を損なわないことを確認した。

なお、評価結果の詳細については添付計算書に記す。

下線: 次回補正申請予定

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	第1項 第2項	下記に示すとおり

該当条文

第八条(外部からの衝撃による損傷の防止)

試験研究用等原子炉施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設は、周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)により試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

3 試験研究用等原子炉を船舶に設置する場合にあつては、原子炉格納容器に近接する船体の部分は、衝突、座礁その他の要因による原子炉格納容器の機能の喪失を防止できる構造でなければならない。

4 試験研究用等原子炉施設は、航空機の墜落により試験研究用等原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

適合性について

1. 安全施設は、原子力科学研究所(以下「原科研」という。)敷地内又はその周辺において想定される自然現象(地震及び津波を除く。)又はその組合せに遭遇した場合においても、安全機能を損なうおそれがない設計となっている。
特に本申請で評価を行った外部火災(森林火災、爆発、近隣工場等の火災及び航空機の落下による火災)及び竜巻について、以下のとおり「試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準との適合性を示す。
原科研敷地外の森林火災が原子炉施設に迫った場合でも、施設の安全機能を損なうおそれがない設計となっている。なお、航空機の落下確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上となる面積の外周部にある森林に航空機が落下し、その火災によって森林火災が発生するといった熱影響が最も厳しい条件となる重畳事象を想定した場合でも、安全施設の安全機能を損なうおそれはない。(添付書類1-1参照)
原科研の敷地及びその周辺(施設から半径20kmの範囲)における過去の記録を踏まえた影響が最も大きい竜巻(藤田スケールF1、最大風速49m/s)の発生を考慮しても、安全施設の安全機能を損なわない設計となっている。
また、当該竜巻で安全施設に損傷を与えるような飛来物の飛来防止対策を行う。(添付書類1-2参照)
2. 安全施設は、原科研敷地内又はその周辺において想定される人為事象(故意によるものを除く。)に対して、安全機能を損なうおそれがない設計となっている。
原科研の敷地への航空機の落下により発生する火災を想定しても、原子炉施設の安全機能を損なわない設計となっている。(添付書類1-1参照)
原科研の敷地周辺には、石油コンビナート等の大規模な爆発のおそれのある工場等はない。原科研の敷地内にLNGタンク等を設置する場合は、その爆発による原子炉施設への影響を考慮して設置する。
原科研の敷地外の近隣工場等(半径10km以内)において火災による原子炉施設への影響を評価し、原子炉施設の安全機能を損なわない設計となっている。(添付書類1-1参照)
原科研の敷地内に設置された重油タンク等の火災による原子炉施設への影響を評価し、原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわない設計となっている。(添付書類1-1参照)
3. JRR-3は、船舶に設置する原子炉ではない。よって、本項の適用を受けない。
4. 航空機の落下確率については「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(平成14・07・29原院4号)」等に基づき評価した結果、防護設計の要否を判断する基準を超えないことから、航空機落下に対する考慮をする必要はない。よって、本項の適用を受けない。

添付計算書 外部事象影響 (外部火災)

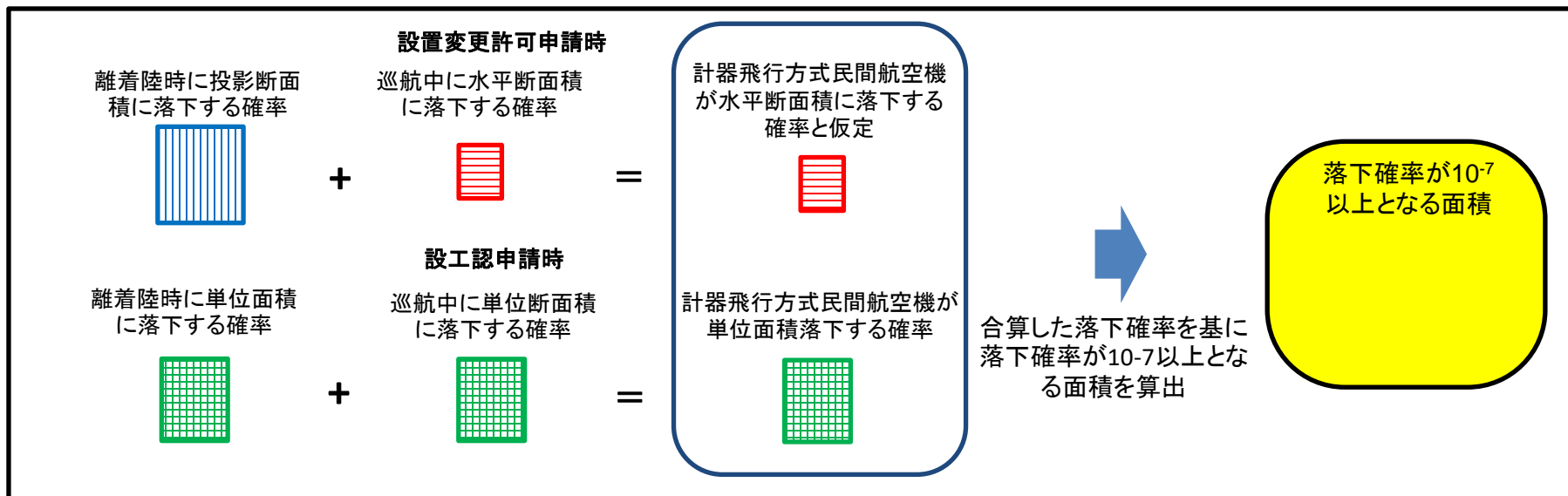
【近隣の産業施設等の火災・爆発の変更点】

- 各危険物貯蔵所までの離隔距離について
 - ・評価対象施設から原科研敷地外の各危険物貯蔵所までの離隔距離について再度確認し、離隔距離を保守的に変更した。

【航空機落下火災の変更点】

- 航空機の落下地点と対象施設との離隔距離について
 - ・原子炉建家及び排気筒の標的面積を円形として評価していたが、他の建家と計算方法を統一するため、原子炉建家及び排気筒を包絡する正方形として評価を変更した。
 - ・原科研他施設と評価方法を統一するため、計器飛行方式における標的面積の考え方を下記の通り変更した。

飛行場での離着陸時及び航空路を巡航中両方において、評価対象施設の標的面積(投影断面積、水平断面積)に航空機が落下する確率を算出し、両確率を単純に合算していたものを、単位面積あたりに航空機が落下する確率を算出し、両確率を合算する方法に変更した。



【想定する外部火災】

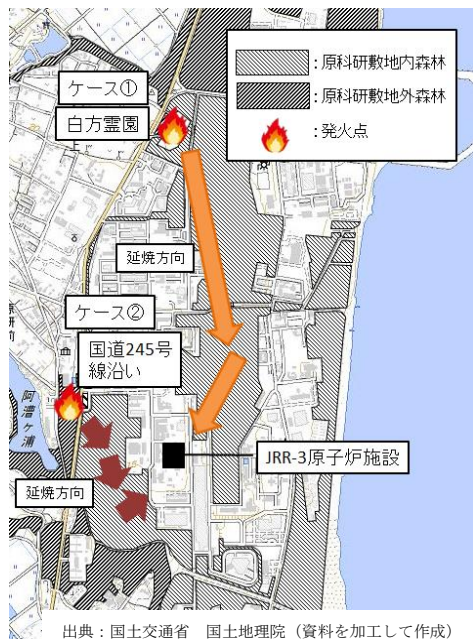
外部火災としては、森林火災、近隣の産業施設等の火災・爆発・航空機落下による火災及び重畳事象を想定した火災（航空機の落下により発生する火災及びその火災に起因する森林火災）を対象とする。これらからの評価対象施設に対する影響について評価を実施し、評価対象施設への影響がないことを確認する。

【評価の方法】

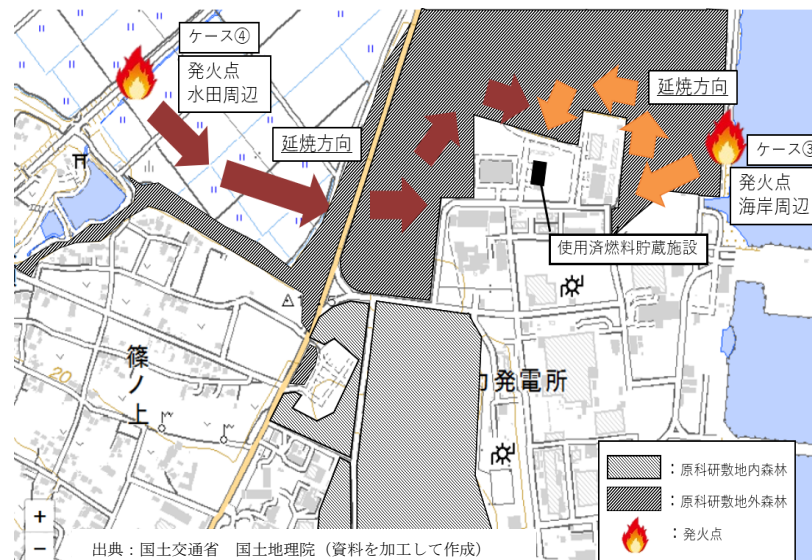
各評価は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考に行う。

外部火災の影響評価事象

火災の種類	考慮すべき火災	評価内容	評価項目
森林火災	原子力科学研究所敷地外10km以内に発火点を設定した評価対象施設に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を基にした森林火災評価 森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価
近隣の産業施設等の火災・爆発	原科研敷地外10km以内の近隣の産業施設等の火災・爆発（原科研敷地内についても代表的な施設を対象に評価）	近隣の産業施設等について評価対象施設との距離等を考慮した影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価 爆発影響評価
航空機落下による火災	航空機の落下確率が 10^{-7} 以上となる面積の外周部に航空機が落下し、炎上した場合の火災	航空機の落下により発生する火災による影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価
重畳事象を想定した火災	JRR-3周辺への航空機の落下により発生する火災及びその火災に起因する森林火災	JRR-3周辺への航空機の落下により発生する火災及びその火災に起因する森林火災による影響評価	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価



JRR-3原子炉施設周辺の想定発火源及び延焼経路



使用済燃料貯蔵施設周辺の想定発火源及び延焼経路

ケース④については可能性は低いものの、卓越風向を考慮し水田での火入れ及び焚火等の人為的行為で発生した火が使用済燃料貯蔵施設周辺の森林に延焼すると設定した。

【評価結果】

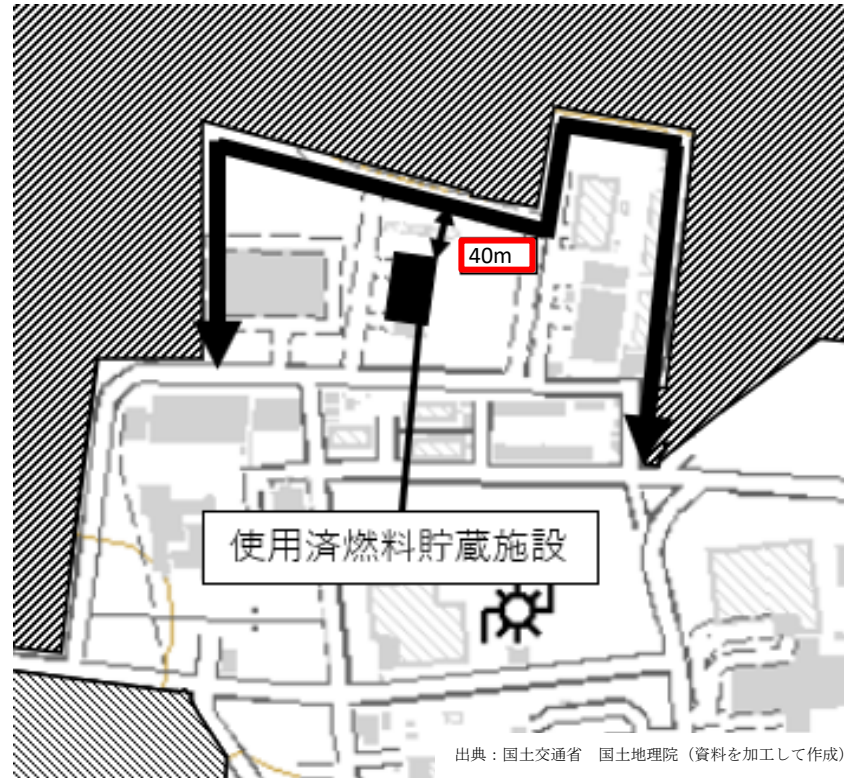
発火点の位置	JRR-3原子炉施設	JRR-3原子炉施設	使用済燃料貯蔵施設
森林の位置	東側	西側	北側
熱影響評価対象施設	実験利用棟	原子炉制御棟	使用済燃料貯蔵施設
外壁面温度	94℃	92℃	101℃


森林火災による評価対象施設の外壁表面温度は、最大で101℃であり、コンクリート強度に影響がないとされている温度(200℃)以下である。このため、JRR-3施設の安全性に影響はない。

今後、施設外壁と森林間の離隔距離については、評価で用いた離隔距離が確保できるように**樹木の管理(離隔距離の内側へ森林を拡大させない)**を行う。



使用済燃料貯蔵施設



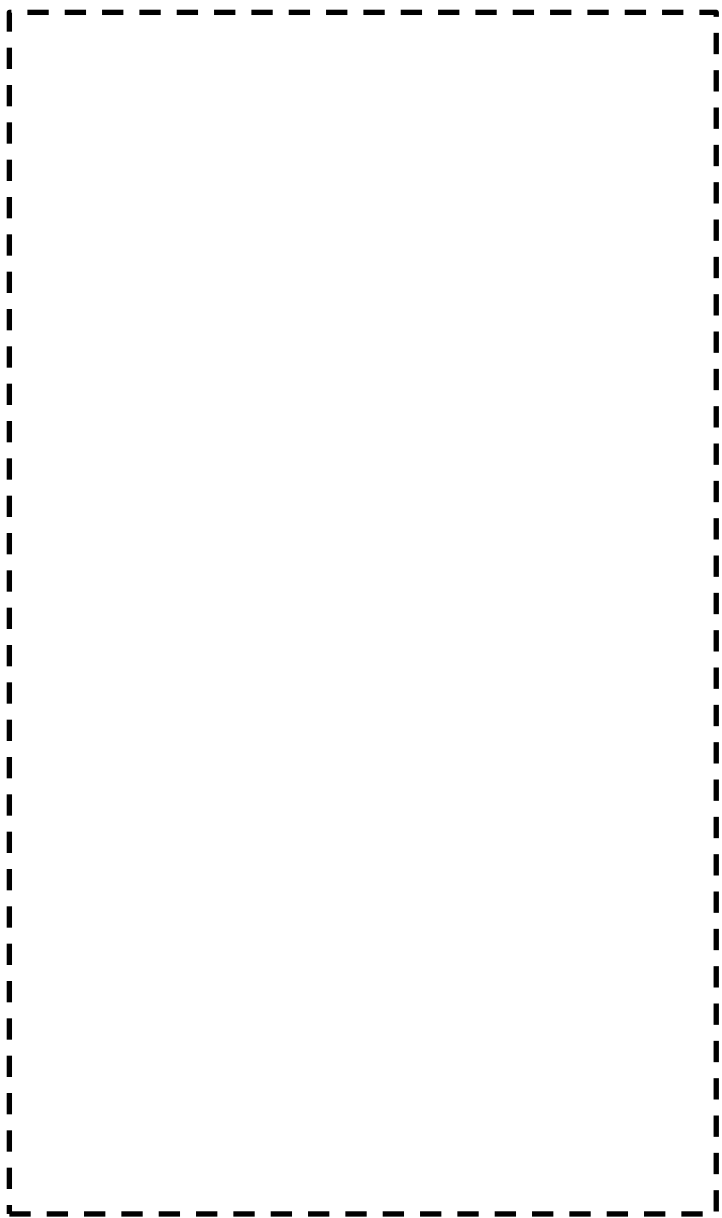
 : 森林との離隔距離

樹木管理の運用について

JRR-3原子炉施設及び使用済燃料貯蔵施設に隣接する森林については、森林が拡大しないよう樹木を管理することを原子力科学研究所原子炉施設保安規定及び下部規定に定めることとする。

【管理対象範囲】

原子炉施設保安規定及び下部規定において、管理対象範囲を明確にし、森林火災が発生した場合に備えて、樹木が管理対象範囲に生えないよう定期的に確認をする。樹木が生えた場合には伐採を行う。



使用済燃料貯蔵施設 樹木管理範囲



:評価で使用した森林の位置



:管理対象範囲

管理対象範囲については、評価で使用した森林からの離隔距離を担保できるよう管理対象範囲を設定する。なお、設定した範囲については現地に杭等でマーキングをし、管理対象範囲を明確にする。

JRR-3原子炉施設 樹木管理範囲

熱影響評価条件及び結果

想定火災場所	想定火災源	内容物	最大貯蔵量 (kℓ)	距離及び温度 (JRR-3原子炉施設)				距離及び温度 (使用済燃料貯蔵施設)			
				設置許可		設工認		設置許可		設工認	
				離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度
原科研敷地外	常陸那珂港火力発電所軽油タンク	軽油	7000	2500m	51℃	2500m	51℃	3600m	51℃	3500m	51℃
	核燃料サイクル工学研究所重油タンク	重油	588	2200m	51℃	2100m	51℃	3900m	51℃	3800m	51℃
	東海第二発電所重油タンク	重油	500	1000m	51℃	1000m	51℃	460m	53℃	400m	54℃
	日立オイルターミナル及び日立油槽所重油タンク	重油	10885	5000m	51℃	5000m	51℃	4000m	51℃	3900m	51℃
原科研敷地内	中央変電所重油タンク	重油	30	470m	51℃	470m	51℃	-	-	-	-

爆発の影響評価条件及び結果

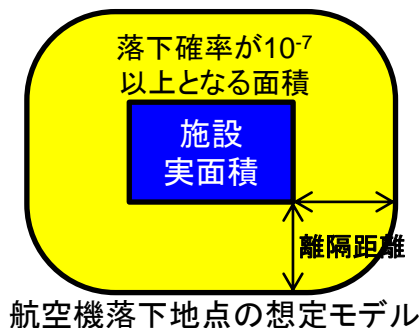
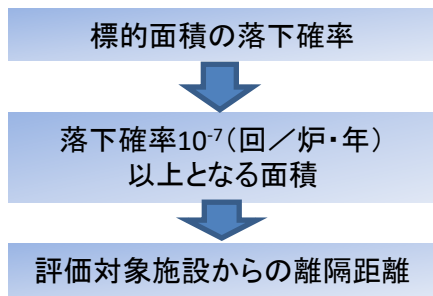
想定爆発場所	想定爆発源	内容物	最大貯蔵量	JRR-3原子炉施設からの距離		使用済燃料貯蔵施設からの距離		危険限界距離 (m)	保安距離 (m)
				設置許可	設工認	設置許可	設工認		
原科研敷地外	日立LNG基地 LNG及びLPG	液化天然ガス(LNG)	23万kℓ	3500m	3400m	2000m	1800m	350	-
		プロパン(LPG)	5万kℓ	3500m	3400m	2000m	1800m	311	-
		液化天然ガス・プロパン	23万kℓ+5万kℓ	3500m	3400m	2000m	1800m	373	-
原科研敷地内	第2ボイラー液化天然ガス(LNG)タンク	液化天然ガス(LNG)	154kℓ	60m	60m	-	-	-	33

【火災】原科研敷地内外にある産業施設の火災による熱影響評価の結果、評価対象施設外壁表面温度は、最大で54℃となり、コンクリートの強度に影響がないとされている温度(200℃)以下である。

【爆発】原科研敷地外にある想定爆発源と評価対象施設外壁の離隔距離は、危険限界距離以上である。原科研敷地内の想定爆発源に対しては、関係法令で規定される保安距離以上である。

▶ 航空機落下地点の想定

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率」(平成14・07・29原院4号)に基づき、航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上となる面積から離隔距離を算出。



航空機落下地点の想定モデル

航空機落下による火災の影響評価結果

カテゴリ	民間航空機								自衛隊機、米軍機							
	計器飛行方式				有視界飛行方式				訓練空域外を飛行中				基地・訓練空域間往復時			
	飛行場での離着陸時		航空路を巡航中						空中給油機等		その他					
対象航空機	B747-400				AS332L1				KC-767		F-15		F-15			
	設置許可		設工認		設置許可		設工認		設置許可		設工認		設置許可		設工認	
	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度	離隔距離	温度
原子炉建家	351m	59°C	379m	58°C	45m	68°C	42m	71°C	365m	55°C	360m	55°C	49m	77°C	45m	82°C
使用済燃料貯槽室	321m	60°C	389m	57°C	52m	63°C	51m	64°C	371m	55°C	370m	55°C	55m	72°C	54m	72°C
燃料管理施設	321m	60°C	389m	57°C	52m	63°C	51m	64°C	371m	55°C	370m	55°C	55m	72°C	55m	72°C
実験利用棟	354m	59°C	372m	58°C	35m	78°C	35m	79°C	353m	55°C	352m	55°C	39m	92°C	38m	94°C
原子炉制御棟	364m	58°C	388m	57°C	49m	65°C	49m	65°C	368m	55°C	368m	55°C	53m	73°C	52m	74°C
排気筒	172m*	85°C	388m	57°C	59m	60°C	59m	61°C	378m	55°C	378m	55°C	63m	67°C	62m	67°C
使用済燃料貯蔵施設	358m	58°C	377m	58°C	40m	72°C	39m	73°C	357m	55°C	357m	55°C	43m	85°C	42m	87°C

※:排気筒については、投影断面積に比べ水平断面積が非常に小さい。離着陸時及び巡航中の両航空機落下時の確率を単純に合算した値が、その小さい水平断面積に航空機が落下する確率と仮定し、 10^{-7} 以上となる面積を算出しているため、他の建家と比べ設置許可時には離隔距離が短くなっている。

想定する機種における航空機落下による評価対象施設の外壁表面温度は、最大で94°Cであり、コンクリートの強度に影響がないとされている温度(200°C)以下である。このため、JRR-3施設の安全性に影響はない。

航空機の落下による火災及びその火災による森林火災の重畳事象が起こっても、評価対象施設の表面温度が、コンクリートの許容温度を下回るため、評価対象施設の構造健全性に影響がないことを確認した。

重畳事象による火災影響評価結果(設置許可)

対象施設	森林火災		航空機落下火災		重畳評価結果
	表面温度(°C)	温度上昇分	表面温度(°C)	温度上昇分	
		ΔT(°C)		ΔT(°C)	
原子炉建家	73	23	77	27	100 (=50+23+27)
使用済燃料貯槽室	73	23	72	22	95 (=50+23+22)
燃料管理施設	75	25	72	22	97 (=50+25+22)
排気筒	75	25	85	35	110 (=50+25+35)
実験利用棟	94	44	92	42	136 (=50+44+42)
原子炉制御棟	92	42	73	23	115 (=50+42+23)
使用済燃料貯蔵施設	101	51	85	35	136 (=50+51+35)

重畳事象による火災影響評価結果(設工認)

対象施設	森林火災		航空機落下火災		重畳評価結果
	表面温度(°C)	温度上昇分	表面温度(°C)	温度上昇分	
		ΔT(°C)		ΔT(°C)	
原子炉建家	73	23	82	32	105 (=50+23+32)
使用済燃料貯槽室	73	23	72	22	95 (=50+23+22)
燃料管理施設	75	25	72	22	97 (=50+25+22)
排気筒	75	25	67	17	92 (=50+25+17)
実験利用棟	94	44	94	44	138 (=50+44+44)
原子炉制御棟	92	42	74	24	116 (=50+42+24)
使用済燃料貯蔵施設	101	51	87	37	138 (=50+51+37)

航空機落下を「想定される外部人為事象」として設計上考慮する必要があるか否かを判断するため、評価基準等に基づき、原子炉施設への航空機落下確率について評価する。^{※1}

■ 原子炉施設への航空機落下確率に関する判断基準

- ① 原子炉施設へ航空機が落下する確率を評価し、それら評価結果の総和が 10^{-7} (回/炉・年)を超えないこと。
- ② ①を満足しない場合には、当該原子炉施設の立地点における状況を現実的に考慮した評価を行い、その妥当性を評価した上で、当該原子炉施設への航空機落下の発生確率の総和が 10^{-7} (回/炉・年)を超えないこと。

■ 評価対象事故

1)計器飛行方式民間航空機の落下事故		2)有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3)自衛隊機又は米軍機の落下事故	
①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	②基地－訓練空域間を往復時の落下事故
○ ^{※2}	○	○	○ ^{※3} (訓練空域外を飛行中の事故)	○ ^{※4}

※1:原子力科学研究所に位置するJRR-3原子炉施設について航空機落下確率評価を行う。

※2:JRR-3原子炉施設は百里基地(茨城空港)から約33kmの距離にあり、最大離着陸距離30NM(約55.56km)までの距離内に存在する。

※3:JRR-3原子炉施設上空には自衛隊及び米軍の訓練空域はないが、太平洋沖の上空には自衛隊及び米軍の訓練空域がある。

※4:JRR-3原子炉施設は自衛隊機の基地－訓練空域の往復の想定範囲内に位置しているが、米軍機の基地－訓練空域の往復の想定範囲外である。自衛隊機の訓練空域までの想定飛行範囲は、百里基地、入間基地から飛来する範囲が考えられるが、入間基地は戦闘機を保有せず輸送機が中心であるため、自衛隊機の訓練空域までの想定飛行範囲は、百里基地から飛来する範囲を想定している。

1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

① 飛行場での離着陸時における落下事故

対象施設への離着陸時の航空機落下確率(回/年)

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$f_{d,a} = D_{d,a}/E_{d,a}$	対象航空機の国内での離着陸時事故確率(回/離着陸回)	1.30×10^{-7}
$D_{d,a}$	国内での離着陸事故件数(回)	4
$E_{d,a}$	国内での離着陸回数(離着陸回数)	30,685,564
$N_{d,a}$	当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数(離着陸回/年)	3,328
A	原子炉施設の標的面積(km ²)	0.00419 (投影面積)
$\Phi_{d,a}(r, \theta)$	離着陸時の事故における落下地点確率分布関数	正規分布: 3.01×10^{-4} 一様分布: 1.55×10^{-4}
$P_{d,a}$	対象施設への離着陸時の航空機落下確率(回/年)	5.46×10^{-10}

② 航空路を巡航中の落下事故

対象施設への巡航中の航空機落下確率(回/年)

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

対象航空路	直行経路: IXE-SWAMP、直行経路: IXE-KZE、RNAV経路: Y30	
$f_c = G_c/H_c$	単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率(回/飛行回・km)	5.26×10^{-11}
G_c	巡航中の事故件数(回)	0.5
H_c	延べ飛行距離(飛行回・km)	9,499,283,168
N_c	評価対象とする航空路等の年間飛行回数(飛行回/年)	直行経路 IXE-SWAMP : 182.5回 直行経路 IXE-KZE : 182.5回 RNAV経路 Y30 : 22,630回
A	原子炉施設の標的面積(km ²)	0.00380 (水平断面積)
W	航空路幅(km)	直行経路 : 14.816km(8NM) RNAV経路 : 18.520km(10NM)
P_c	対象施設への巡航中の航空機落下確率(回/年)	直行経路 IXE-SWAMP : 2.46×10^{-12} 直行経路 IXE-KZE : 2.46×10^{-12} RNAV経路 Y30 : 2.44×10^{-10} 合計 : 2.49×10^{-10}

2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

対象施設への航空機落下確率(回/年)

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

f_v	単位年あたりの落下事故確率(回/年)	大型固定翼機 : 0.5/20=0.025 小型固定翼機 : 35.0/20=1.750 大型回転翼機 : 1.0/20=0.050 小型回転翼機 : 25.0/20=1.250
S_v	全国土面積(km ²)	372,907
A	原子炉施設の標的面積(km ²)	0.00380 (水平断面積)
α	対象航空機の機種による係数	大型固定翼機、大型回転翼機 : 1 小型固定翼機、小型回転翼機 : 1
P_v	対象施設への航空機落下確率(回/年)	3.13×10^{-8}

3)自衛隊機又は米軍機の落下事故

①訓練空域外を飛行中の落下事故

・原子炉施設上空に訓練空域が存在しない場合

訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

f_{so}	単位年あたりの訓練空域外落下事故確率(回/年)	自衛隊機 : 8/20=0.40 米軍機 : 5/20=0.25
S_o	全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積(km ²)	自衛隊機 : 295,675 米軍機 : 372,410
A	原子炉施設の標的面積(km ²)	0.00380 (水平断面積)
P_{so}	訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)	自衛隊機 : 5.14×10^{-9} 米軍機 : 2.55×10^{-9} 合計 : 7.69×10^{-9}

②基地-訓練空域を往復時の落下事故

・想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合(自衛隊機)

対象施設への航空機落下確率(回/年)

$$P_{se} = \left(\frac{f_{se}}{S_{se}} \right) \cdot A$$

f_{se}	基地と訓練空域間を往復中の落下事故確率(回/年)	自衛隊機 : 0.5/20=0.025
S_{se}	想定飛行範囲の面積(km ²)	自衛隊機 : 4,541
A	原子炉施設の標的面積(km ²)	0.00380 (水平断面積)
P_{se}	対象施設への航空機落下確率(回/年)	自衛隊機 : 2.09×10^{-8}

航空機落下確率の合計値

評価項目			評価結果
1) 計器飛行方式 民間航空機の 落下事故	①飛行場での離着陸時における落下事故	$P_{d,a}$	5.46×10^{-10}
	②航空路を巡航中の落下事故	P_c	2.49×10^{-10}
2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故			P_v : 3.13×10^{-8}
3) 自衛隊又は米 軍機の落下事 故	①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	P_{so}	7.69×10^{-9}
	②基地-訓練空域間を往復時の落下事故	P_{se}	2.09×10^{-8}
合 計			6.07×10^{-8}



JRR-3への航空機落下確率を評価し、評価結果の合計が 10^{-7} (回/炉・年)を超えないことを確認した。



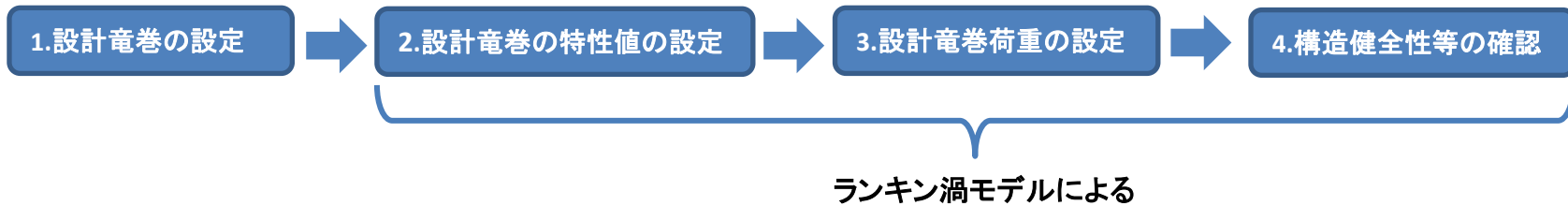
- 原子炉建家、使用済燃料貯槽室、燃料管理施設、原子炉制御棟を包絡する範囲
 - ・投影面積: 0.00419km^2 (算出には原子炉建家の高さ26.6mを使用)
 - ・水平面積: 0.00380km^2
- 使用済燃料貯蔵施設(北地区)
 - ・投影面積: 0.00143km^2
 - ・水平面積: 0.00122km^2

原子炉建家を含む範囲と北地区の使用済燃料貯蔵施設は別個に評価するが、原子炉建家を含む範囲の面積の方が使用済燃料貯蔵施設の面積よりも大きいため確率の評価には前者の値を用いる。

添付計算書 外部事象影響 (竜巻)

外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全評価のうち、竜巻によるJRR-3原子炉施設への影響について評価を実施した。評価の結果、竜巻により原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なうおそれはないことを確認した。

竜巻影響評価は、以下のフローに沿って実施する。



1. 設計竜巻の設定

竜巻影響評価に用いる竜巻の最大風速はグレーデッドアプローチを適用し、原子力科学研究所の敷地及びその周辺で過去に発生した最大の竜巻を考慮し設定した。敷地及びその周辺で過去に発生した最大の竜巻は藤田スケールでF1(風速33~49m/s)であるため、設計竜巻の最大風速を49m/sとする。

2. 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値(最大風速、移動速度、最大接線風速、最大接線風速半径、最大気圧低下量、最大気圧低下率)を竜巻評価ガイド(ランキン渦モデル)に従って求める。

3. 設計竜巻荷重の設定

(1) 設計飛来物の選定

原子力科学研究所内における想定飛来物に係る現地調査結果と竜巻評価ガイド等を参考に、設計飛来物を選定する。現地調査による確認された飛来物について、サイズ、柔・剛による分類及び飛来物の形状(棒状、板状、塊状)による分類を実施し、浮上する物の中で最も運動エネルギーが大きく、衝突時の衝撃荷重も大きい配電盤を設計飛来物として選定した。

(2) 複合荷重の設定

竜巻評価ガイドに従い、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(配電盤)による衝撃荷重(W_M)を組み合わせ、複合荷重を算出する。

評価対象施設については、下記の(1)～(3)に示すとおりである。

(1)原子炉建家の構造健全性評価

・円筒壁

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断力が、保有水平耐力を下回ることを確認する。なお、設計飛来物による衝突荷重は、保守的に円筒壁全ての層へ作用するものとして評価する。

・屋根

原子炉建家屋根については、複合荷重によって屋根が破断しないことを確認するため、構成部材に発生する応力と許容応力の比(部材検定比)が1を超えないことを確認する。

(2)使用済燃料貯槽室、燃料管理施設、使用済燃料貯蔵施設、実験利用棟、制御棟の構造健全性評価

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断力が、保有水平耐力を下回ることを確認する。なお、設計飛来物による衝突荷重は、保守的に全ての層へ作用するものとして評価する。

(3)排気筒の構造健全性評価

設計竜巻による複合荷重により生じる曲げモーメントが、終局曲げモーメントを下回ることを確認する。風圧力による荷重、気圧差による荷重については各層への等分布荷重とし、設計飛来物による衝突荷重は飛散高さ(地上5m)に相当する層にのみ作用させる。

(4)設計飛来物の各施設への衝突に対する評価

安全機能を有する設備の外殻を構成する施設について、設計飛来物の衝突に対する裏面剥離または貫通を生じさせないための必要最小厚さを評価部材の厚さと比較する。

鋼板部については、衝突した場合の貫通限界厚さと鋼板部の板厚を比較する。

なお、屋根に対しては設計飛来物の最大飛散高さを評価し、屋根に到達しない場合には、屋根への衝突はないものとする。

➤ 屋根の評価方法及び評価結果

原子炉建家屋根については耐震補強工事に伴い、既設屋根の撤去と新設屋根の設置を行うため、既設屋根の評価を新設屋根の評価に変更した。

新設屋根の評価方法として、屋根の鉄骨部と鉄板部をモデル化し、風荷重及び竜巻荷重により構成部材に発生する応力を求め、屋根の許容応力と比較することで健全性を確認する。

新設屋根において、構成部材に発生する応力と許容応力の比(部材検定比)が1を超えないため屋根は破断しない。

新設屋根の構造健全性評価結果

評価対象	風圧力 (kN/m^2) (W_w)	気圧差 (kN/m^2) (W_p)	衝撃荷重 (kN/m^2) (W_M) (配電盤)	複合荷重 (kN/m^2) (W_{T1})	複合荷重 (kN/m^2) (W_{T2})	部材検定比
原子炉建家 (屋根・上面)	-1.046~0.586	2.200	0	2.200	0.054~1.686	0.67
原子炉建家 (屋根・側面)	1.904	2.200	0	2.200	3.004	0.71

➤ 屋根の評価方法及び評価結果

新設屋根の構造健全性評価手法について

(1) 解析モデル

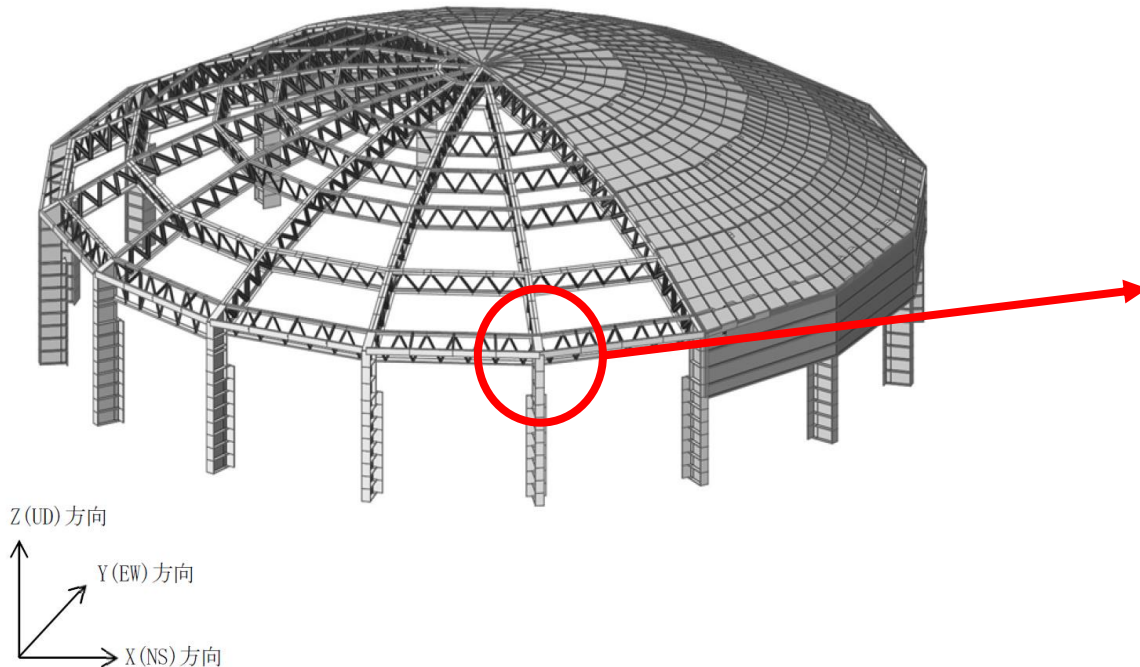
新設屋根の解析モデルは、応力を詳細に評価するため、3次元FEMモデルを用いた。応力解析には解析コード「iGen (MIDAS Information Technology Co.,Ltd)」を用いている。

(2) 竜巻による荷重の算出

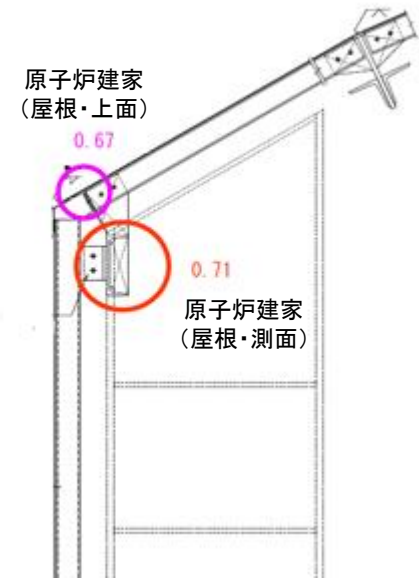
竜巻による複合荷重は「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」の記載に基づき以下の式を用いて算定している。

$$W_{T1} = W_p$$

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



解析モデル図



評価部位 詳細図

➤ 構造健全性等の評価結果

設計竜巻による複合荷重に対する評価対象施設(原子炉建家屋根を除く。)の構造健全性の評価結果を以下に示す。設計竜巻による複合荷重に対して評価対象施設(原子炉建家屋根を除く。)の保有水平耐力が十分な裕度を有しており、損壊しない。

構造健全性評価結果

評価対象	方向	※層	複合荷重(W_{T1}) (kN)	複合荷重(W_{T2}) (kN)	保有水平耐力(kN) (Q_u)
原子炉建家 (円筒壁)	NS・EW	1	1495	2248	47288
使用済燃料貯槽室	NS	1	692	1123	9085.5
燃料管理施設	NS	1	675	1100	13107.7
使用済燃料貯蔵施設	EW	1	1017	1578	24454.7
実験利用棟	NS	2	1234	1882	52443
制御棟	NS	2	248	502	18119.5

評価対象	方向	※層	複合荷重による 曲げモーメント (kN・m)	終局曲げモーメント (kN・m)
排気筒	NS・EW	1	17788	28430

※各層の保有水平耐力に対して複合荷重が最も大きい層のみの計算結果を記載。

(4)設計飛来物の各施設への衝突に対する評価結果

設計飛来物の衝突に対して裏面剥離または貫通が生じないための必要最低厚さをそれぞれ算出し、評価部材の最小厚さと比較した結果、各施設に貫通及び裏面剥離が生じないことを確認した。さらに、設計飛来物の最大飛散高さを評価した結果、各施設(排気筒を除く)の屋根に到達することはなく、屋根への設計飛来物の衝突はない。

設計飛来物による裏面剥離、貫通評価結果

	評価対象	部材厚さ (mm)	貫通限界厚さ (mm)	裏面剥離 限界厚さ (mm)	評価結果	
					貫通	裏面剥離
原子炉建家円筒壁	コンクリート壁	400	50	139	無	無
使用済燃料貯槽室	コンクリート壁	150	50	139	無	無
燃料管理施設	コンクリート壁	275	50	139	無	無
	金属扉	1.6	1.3	—	無	—
使用済燃料貯蔵施設	コンクリート壁	250	50	139	無	無
実験利用棟	コンクリート壁	200	50	139	無	無
制御棟	コンクリート壁	300	50	139	無	無
排気筒	コンクリート壁	295※	50	139	無	無

※設計飛来物の飛散高さである地上5mでの厚さ。

【飛来防止対策について】

JRR-3原子炉施設における飛来防止対策については、以下に示す対応を実施した。

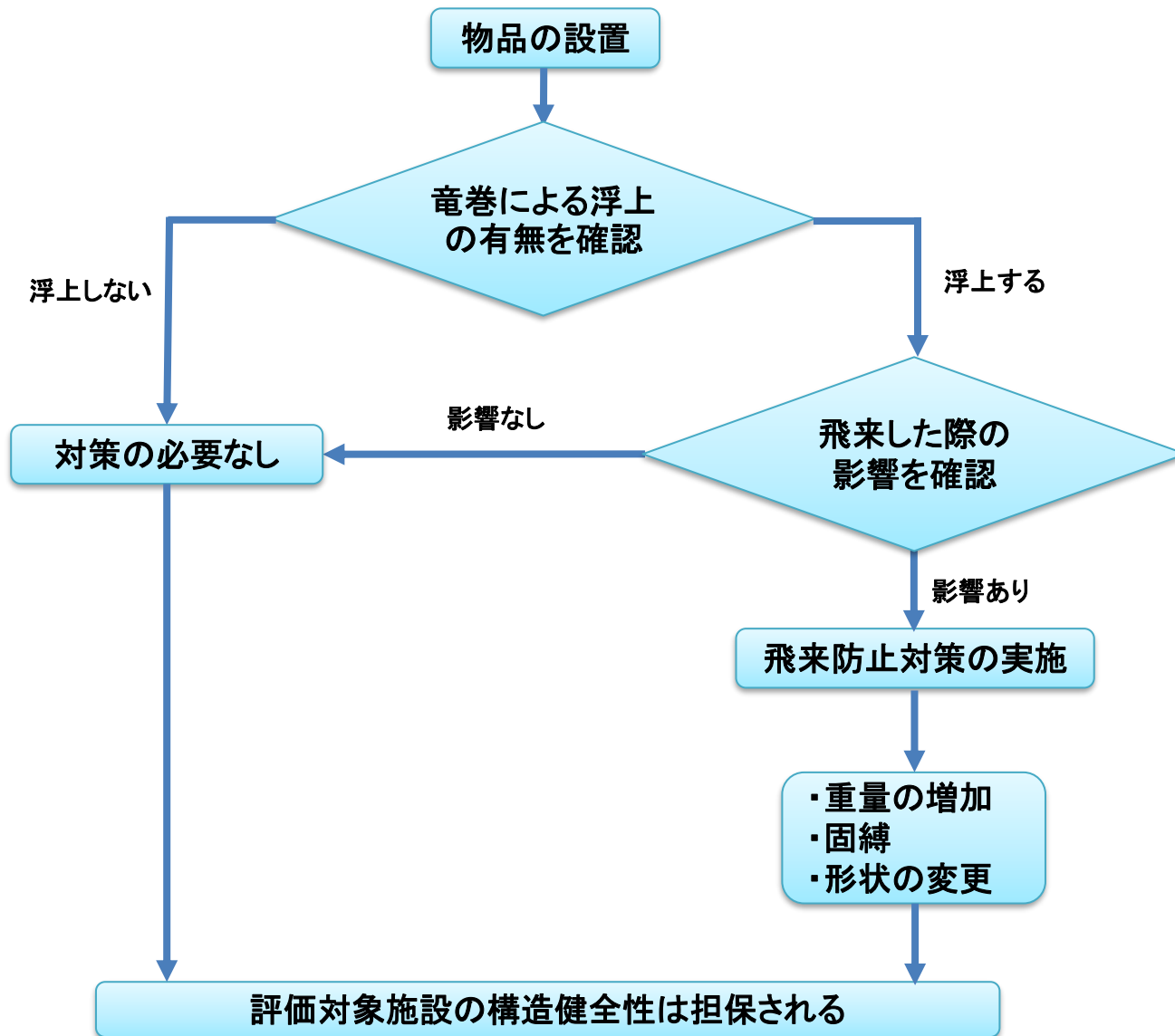
- ・施設の構造健全性に影響を及ぼすことを確認したチェッカープレートに対し、当該竜巻において浮上しない重量のチェッカープレートに代替え及び浮上しないようグレーチングへの変更を講じた。
- ・チェッカープレートを重量物に代替する対策を講ずる場合には、竜巻の風速場をランキン渦モデルと仮定し、浮上条件を考慮した上で、浮上しない重量を設定した。

【飛来物管理に係る運用について】

JRR-3原子炉施設における飛来物の管理については、以下に示す対応を原子力科学研究所原子炉施設保安規定及び下部規定に定め、適切に運用することとする。

- ・飛来防止対策を実施したものについては、定期的な巡視にて対策の実施状態を確認する。
- ・今後、施設の構造健全性に影響を及ぼすおそれがあるものを施設周辺に設置する場合には、浮上の有無、施設への影響を評価し、影響を及ぼすおそれがあるものについては、重量を増加させる、固縛する、形状変更等の飛来防止対策を講ずる。

飛来物管理に係る運用についての対策フロー図



(1)コンクリート構造物の貫通限界厚さ

貫通限界厚さは、修正NDRC^[2]式とDegen式^[3]により算出する。

・修正NDRC式
$$x_c = 0.23 \times \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

x_c : 貫入深さ(m)

K : $180/\sqrt{F_c}$

W : 重量(kg)

F_c : コンクリート強度(N/m²)

D : 飛来物直径(m)

V : 衝突速度(m/s)

N : 形状係数 0.72(配電盤)

α_c : 飛来物低減係数 1

・Degen式
$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

t_p : 貫通限界厚さ(m)

α_p : 飛来物低減係数 1

(2)コンクリート構造物の裏面剥離限界厚さ

裏面剥離は、以下のChang式^[4]により算出する。

・Chang式
$$t_s = 4.44 \times 1.84 \times \alpha_s \times \left\{ \frac{V_0}{V} \right\}^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144F_c)^{0.4}}$$

t_s : 裏面剥離限界厚さ(m)

V_0 : 基準速度(=61)(m/s)

V : 衝突速度(m/s)

M : 質量(kg)

D : 飛来物直径(m)

F_c : コンクリート強度(N/m²)

α_s : 飛来物低減係数 1

(3)鋼板部の貫通限界厚さ

鋼板部の貫通限界厚さはBRL式^[5]により算出する。

・BRL式
$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 D^{3/2}}$$

T : 鋼板厚さ(m)

M : 飛来物質量(kg)

(4)衝撃荷重

衝撃荷重は飛来物の衝突前の運動量が力積に等しいと仮定してRiera式^[1]により算出する。

・Riera式
$$W_M = m \times V^2 / L_1$$

W_M : 飛来物の衝撃荷重(N)

m : 飛来物の質量(kg)

V : 飛来物の衝突速度(水平)(m/s)

L_1 : 飛来物の最も短い辺の全長(m)

「使用施設等の新規制基準における「安全上重要な施設」の選定の考え方について」(平成27年8月19日)及び「試験研究用等原子炉施設への新規制基準の審査を踏まえたグレーデッドアプローチ対応について(案)」(平成28年6月15日)を参考に、大規模な竜巻事象(F3クラス)に対して、技術的に見て合理的に最大と考えられるJRR-3の安全機能の喪失を仮定した場合においても、一般公衆に対する影響は5mSvに比べ十分に低く、竜巻事象に対する「安全上重要な施設」に該当する施設、設備がないことを確認したため、敷地およびその周辺(敷地から20km)における過去の記録を踏まえた影響が最も大きい竜巻を設計上考慮すべき竜巻とする。

- 気象庁の「竜巻等の突風データベース」によると、JRR-3が立地する原子力科学研究所の敷地及びその周辺で過去(1962年から2013年)に発生した最大の竜巻は、藤田スケールでF1(風速33~49m/s)であるため、設計竜巻の最大風速を49m/sとする。

また、竜巻が、傾斜地(下り斜面)を通過する場合には風速が増幅される可能性が示されているが、JRR-3の立地している地形は、周囲が平坦であり急な斜面に面していないことから、風速の割り増しは行わない。



設計竜巻の最大風速(V_D)=49m/s

ホース格納箱※1 カラーコーン 配電盤※3

チェッカープレート(1)※2

自動販売機

空調室外機

乗用車(ミニバン)※4

自転車

バリケード

看板

チェッカープレート(3)※2

スピーカー ベンチ コンクリート板 グレーチング マンホール蓋 チェッカープレート(2)※2

消火器箱

※1 ホース格納箱は配電盤に包絡される。 ※2 施設に影響を及ぼす可能性があるチェッカープレートについては撤去し、対策を行った。
 ※3 F1における設計飛来物。 ※4 F3における設計飛来物。

原子力科学研究所敷地内における現地調査結果(想定飛来物の選定結果) (1/2)

分類	形状	名称	長さ※	幅※	高さ※	質量※	空力パラメータ $C_D A/m$	衝突荷重 Riera ^[3]	最大速度 V_{max}	飛来物の運動 エネルギー	飛来物選定の考え方
			m	m	m	kg	m^2/kg	kN	m/s	kJ	
柔 飛 来 物 (小)	棒状	カラーコーン	0.40	0.40	0.70	1.0	0.234960	5	45	2	配電盤に包絡される
	塊状	スピーカー	0.60	0.60	0.60	3.6	0.198000	12	45	4	配電盤に包絡される
	板状	自転車	1.90	1.10	0.60	25	0.083688	68	41	21	配電盤に包絡される
	板状	看板	0.30	0.40	0.80	2	0.176880	13	44	2	配電盤に包絡される
	塊状	消火器箱	0.20	0.30	0.70	28	0.009664	0	0	0	浮上しない
剛 飛 来 物 (小)	棒状	バリケード	1.20	0.05	0.40	20	0.006897	0	0	0	浮上しない
	板状	グレーチング	0.50	0.50	0.05	17	0.010871	0	0	0	浮上しない
	板状	マンホール蓋	0.60	0.60	0.05	78	0.003351	0	0	0	浮上しない

※現地調査の結果等を基に代表的な寸法及び質量を定めた。

原子力科学研究所敷地内における現地調査結果(想定飛来物の選定結果) (2/2)

分類	形状	名称	長さ※	幅※	高さ※	質量※	空力パラメータ $C_D A/m$	衝突荷重 Riera ^[3]	最大速度 V_{max}	飛来物の運動 エネルギー	飛来物選定の考え方
			m	m	m	kg	m^2/kg		kN	m/s	
(中) 柔飛来物	板状	ベンチ	1.80	0.56	0.74	10	0.144239	33	44	10	配電盤に包絡される
	塊状	空調室外機	0.30	0.25	0.80	60	0.005665	0	0	0	浮上しない
剛飛来物 (中)	棒状	鋼製材	4.20	0.30	0.20	135	0.006453	0	0	0	浮上しない
	板状	コンクリート板	1.50	1.00	0.15	540	0.002108	0	0	0	浮上しない
(大) 柔飛来物	塊状	配電盤	0.7	0.4	1.4	60	0.020020	155	33	32	設計飛来物に選定する
	塊状	自動販売機	0.82	1.38	1.83	500	0.006808	0	0	0	浮上しない
*一部剛 柔飛来物(大)	塊状	トラック	5.00	1.90	1.30	4750	0.002566	0	0	0	浮上しない
	塊状	クレーン車	12.00	6.30	4.99	102500	0.001075	0	0	0	浮上しない
	塊状	乗用車(ミニバン)	4.885	1.84	1.905	2110	0.006819	0	0	0	浮上しない

※現地調査の結果等を基に代表的な寸法及び質量を定めた。

- ・施設に影響を及ぼす可能性があるチェッカープレートについては、飛来防止対策として浮上しない重量のチェッカープレートに代替え及び浮上しないようグレーチングへの変更を講じた。
 - ・チェッカープレートを重量物に代替する対策では、竜巻の風速場をランキン渦モデルと仮定し、浮上条件を考慮した上で、浮上しない重量を設定した。
- なお、本対策については原子炉設置変更許可申請時に原子力規制庁から現地確認を受けており、既に対策済みである。

チェッカープレート飛来防止対策の一例

形状	名称	長さ	幅	高さ	質量	空力パラメータ $C_D A/m$	浮上の有無
		m	m	m	kg	m^2/kg	
板状	チェッカープレート (1) ※1	1.700	1.050	0.010	125	0.009608	無
	チェッカープレート (2)	0.990	0.825	0.006	50	0.010867	無



重量物に変更

その13-117P チェッカープレート (2)



グレーチングへの変更※2

その13-117P チェッカープレート (3)

※1：その13-117P チェッカープレート (1)については評価の結果、浮上しないため対策不要とした。
 ※2：グレーチングについては構造上竜巻による飛散は生じないと判断した。

原子炉設置変更許可時において、JRR-3施設周辺の飛来物調査ではグレーチングを板状（穴が開いていないもの）として評価を行っていたが、グレーチングの構造上、飛散しないことが明らかであるため飛来防止対策として、チェッカープレートをグレーチングに変更している。



グレーチング