

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(33/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(1/8)

### ○組み合わせ評価マトリクス(1/2)

事象1			凍結		降水		地震	積雪			津波			火山の影響		
事象2	設備の損傷・機能喪失モード	備考	温度	電氣的影響	浸水	荷重(堆積)	荷重(地震)	荷重(堆積)	電氣的影響	閉塞(吸気等)	荷重(衝突)	浸水	閉塞(海水系)	荷重(堆積)	閉塞(海水系)	閉塞(吸気等)
自然現象	設備の損傷・機能喪失モード															
凍結	温度	屋外タンク及び配管内部流体の凍結	/	/	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		ヒートシンク(海水)の凍結	/	/	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	電氣的影響	着氷による送電線の相間短絡	/	/	a	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a	a
降水	浸水	降水による設備の浸水	a	a	/	/	a	a	a	a	a	c(I)	a	a	a	a
	荷重	荷重(堆積)	a	a	/	/	a	a	a	a	a	a	a	a	d(I, III-2)	a
地震	荷重	荷重(地震)	a	a	a	a	/	/	d(III-1)	a	a	d(I)	c(II)	d(III-1)	b	a
	荷重	荷重(堆積)	a	a	a	a	d(III-1)	/	/	/	/	d(III-1)	a	a	d(I)	a
積雪	電氣的影響	着雪による送電線の相間短絡	a	d(I)	a	a	a	/	/	/	/	a	a	a	a	a
	閉塞(吸気系)	給気口等の閉塞	a	a	a	a	a	/	/	/	/	a	a	a	a	d(I)
津波	荷重	荷重(衝突)	a	a	a	a	b	d(III-1)	a	a	/	/	/	/	b	a
	浸水	津波による設備の浸水	a	a	c(I)	a	a	a	a	a	/	/	/	/	a	a
	閉塞(海水系)	漂流物による取水口、海水ストレーナ等の閉塞	a	a	a	a	a	a	a	a	/	/	/	/	a	b
火山の影響	荷重	荷重(堆積)	a	a	a	d(I)	b	d(I)	a	a	b	a	a	/	/	/
	閉塞(海水系)	海水系ストレーナ等の閉塞	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	/	/	/
	閉塞(吸気系)	給気口等の閉塞	a	a	a	a	a	a	a	d(I)	a	a	a	/	/	/
	腐食	腐食成分による化学的影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	/	/	/
	電氣的影響	降下火砕物の付着による送電線の相間短絡	a	d(I)	a	d(III-1)	a	a	d(I)	a	a	a	a	/	/	/
生物学的事象	閉塞(海水系)	取水口、海水ストレーナ等の閉塞	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	d(I)	a	c(I)	a
	電氣的影響	げっ歯類(ネズミ等)によるケーブル類の損傷	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
風(台風)	荷重	荷重(風)	d(III-1)	a	a	a	d(I)	d(III-1)	a	d(III-1)	d(I)	a	a	d(I)	a	d(III-1)
		荷重(飛来物)	a	a	a	a	c(I)	a	a	a	c(I)	a	a	a	a	a
竜巻	荷重	荷重(風)	a	a	a	a	b	a	a	d(III-1)	b	a	a	a	a	b
		荷重(飛来物)	a	a	a	a	b	a	a	a	b	a	a	a	a	a
		荷重(気圧差)	a	a	a	a	b	a	a	a	b	a	a	a	a	a
森林火災*	温度	輻射熱	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	閉塞	給気口等の閉塞	a	a	a	a	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	d(I)
落雷	電氣的影響	屋内外計測制御設備に発生するノイズ	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		直撃雷	a	a	a	a	c(II)	a	a	a	c(II)	a	a	a	a	a
		誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

【凡例】

- a: 組み合わせた場合も影響が増長しないもの
- b: 同時に発生する可能性が極めて低いもの
- c: 増長する影響について単一事象の検討で包絡されている、若しくは単一の事象の設計余裕に包絡されているもの※
- d: c以外で影響が増長するもの※
- ※ c, dについては以下も記載
- I: 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース
- II: ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース
- III-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース
- III-2: 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

影響が増長するケース

\*1 森林火災については、火災伝播評価の中で、10年間の最大風速を考慮し、より火災伝播が早く拡大する影響を考慮している。(単独事象中で風の影響を考慮)

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(34/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(2/8)

### ○組み合わせ評価マトリクス(2/2)

事象1		設備の損傷・機能喪失モード		火山の影響		生物学的事象		風(台風)		竜巻			森林火災		落雷		
事象2		設備の損傷・機能喪失モード		腐食	電氣的影響	閉塞(海水系)	電氣的影響	荷重(風)	荷重(飛来物)	荷重(風)	荷重(飛来物)	荷重(気圧差)	温度	閉塞(吸気等)	電氣的影響(ノイズ)	電氣的影響(直撃雷)	電氣的影響(雷サージ)
自然現象		設備の損傷・機能喪失モード		備考													
凍結	温度	屋外タンク及び配管内部流体の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	電氣的影響	ヒートシンク(海水)の凍結		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
降水	浸水	着氷による送電線の相間短絡		a	d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重	降水による設備の浸水		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
地震	荷重	荷重(堆積)		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重	荷重(地震)		a	a	a	a	d(I)	c(I)	b	b	b	a	a	a	c(II)	a
積雪	電氣的影響	荷重(堆積)		a	a	a	a	d(III-1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	閉塞(吸気系)	着雪による送電線の相間短絡		a	d(I)	a	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a
津波	荷重	給気口等の閉塞		a	a	a	a	d(III-1)	a	a	a	a	a	d(I)	a	a	a
	浸水	荷重(衝突)		a	a	a	a	d(I)	c(I)	b	b	b	a	a	a	c(II)	a
	閉塞(海水系)	浸水		a	a	a	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a
火山の影響	荷重	漂流物による取水口、海水ストレーナ等の閉塞		a	a	d(I)	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	閉塞(海水系)	荷重(堆積)				a	a	d(III-1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	閉塞(吸気系)	海水系ストレーナ等の閉塞				c(I)	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	腐食	給気口等の閉塞				a	a	d(III-1)	a	b	a	a	a	d(I)	a	a	a
	電氣的影響	腐食成分による化学的影響				a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
生物学的事象	閉塞(海水系)	降下火砕物の付着による送電線の相間短絡				a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	電氣的影響	取水口、海水ストレーナ等の閉塞		a	a			a	d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a
風(台風)	荷重	げっ歯類(ネズミ等)によるケーブル類の損傷		a	a			a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重	荷重(風)		a	a	a	a			a	a	a	c(III-1)	d(III-1)	a	c(II)	a
竜巻	荷重	荷重(飛来物)		a	a	d(I)	a			a	a	a	a	a	a	c(II)	a
	荷重	荷重(風)		a	a	a	a			a	a	a	a	a	a	a	a
	荷重	荷重(飛来物)		a	a	d(I)	a	a	a			a	a	a	a	c(II)	a
森林火災	温度	荷重(気圧差)		a	a	a	a	a	a			a	a	a	a	a	a
	閉塞	輻射熱		a	a	a	a	c(III-1)	a	c(III-1)	a	a			a	a	a
落雷	電氣的影響	給気口等の閉塞		a	a	a	a	d(III-1)	a	d(III-1)	a	a			a	a	a
	電氣的影響	屋内外計測制御設備に発生するノイズ		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a			
	電氣的影響	直撃雷		a	a	a	a	a	a	c(II)	c(II)	a	a	a			
電氣的影響	誘導雷サージによる電気盤内の回路損傷		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a				

【凡例】

- a: 組み合わせた場合も影響が増長しないもの
- b: 同時に発生する可能性が極めて低いもの
- c: 増長する影響について単一事象の検討で包絡されている、若しくは単一の事象の設計余裕に包絡されているもの※
- d: c以外で影響が増長するもの\*
- ※ c, dについては以下も記載
- I: 各自然現象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース
- II: ある自然現象の防護施設が他の自然現象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース
- III-1: 他の自然現象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース
- III-2: 他の自然現象の作用により影響が及ぶようになるケース

影響が増長するケース

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(35/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(3/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(1/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
凍結(電気的影響) ×積雪(電気的影響)	電気的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
凍結(電気的影響) ×火山の影響(電気的影響)	電気的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
凍結(温度) ×風(台風)(荷重(風))	温度	d	III-1	風(台風)の影響により、流体の凍結の可能性が高まると考えられる。 →状況に応じ、循環運転等による凍結防止措置を実施する手順により対処可能である。	—
降水(浸水) ×津波(浸水)	浸水	c	I	個別事象の重畳により、浸水の影響を受ける可能性が高まると考えられる。 →津波防護施設(防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	—
降水(荷重(堆積)) ×火山の影響(荷重(堆積))	荷重	d	I	降下火砕物は湿り気を含むことで堆積荷重が増加すると考えられる。 →荷重条件として水を含んだ場合の負荷を想定し、積雪(荷重(堆積))×火山の影響(荷重(堆積))にて評価を行う。	—
降水(荷重(堆積)) ×火山の影響(電気的影響)	電気的影響(相間短絡)	d	III-1	湿り気と降下火砕物により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
地震活動(荷重(地震)) ×積雪(荷重(堆積))	荷重	d	III-1	積雪による堆積荷重の作用により、地震の荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
地震活動(荷重(地震)) ×風(台風)(荷重(風))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風(台風)を受ける場所に設置されている施設のうち、風(台風)荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
地震活動(荷重(地震)) ×風(台風)(荷重(飛来物))	荷重	c	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	—
地震活動(荷重(地震)) ×落雷(電気的影響(直撃雷))	電気的影響(直撃雷)	c	II	地震により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなると考えられる。 →避雷機能を有する主排気筒が接地網に接続されており、落雷電流を接地網へ導く機能は確保されることから影響はない。	—
積雪(電気的影響) ×凍結(電気的影響)	電気的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
積雪(荷重(堆積)) ×地震活動(荷重(地震))	荷重	d	III-1	地震の荷重の作用により、積雪による堆積荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
積雪(荷重(堆積)) ×津波(荷重(衝突))	荷重	d	III-1	津波の荷重の作用により、積雪による堆積荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
積雪(荷重(堆積)) ×火山の影響(荷重(堆積))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、堆積荷重が増加すると考えられる。 →一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するもの同上的であることから、受圧面積が小さい施設又は荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き、組合せを考慮する。 また、荷重条件として、降下火砕物は水を含んだ場合の負荷を想定する。	○
積雪(閉塞(吸気系)) ×火山の影響(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	I	雪と降下火砕物の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(36/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(4/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(2/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
積雪(電氣的影響) ×火山の影響(電氣的影響)	電氣的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
積雪(荷重(堆積)) ×風(台風)(荷重(風))	荷重	d	III-1	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →火山の影響(荷重(堆積))×風(台風)(荷重(風(台風)))にて評価を行う。	—
積雪(閉塞(吸気系)) ×風(台風)(荷重(風))	閉塞(吸気系)	d	III-1	風(台風)の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
積雪(閉塞(吸気系)) ×竜巻(荷重(風))	閉塞(吸気系)	d	III-1	風の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
積雪(閉塞(吸気系)) ×森林火災(閉塞)	閉塞(吸気系)	d	I	雪とばい煙の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
津波(浸水) ×降水(浸水)	浸水	c	I	個別事象の重畳により、浸水の影響を受ける可能性が高まると考えられる。 →津波防護施設(防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	—
津波(荷重(衝突)) ×地震活動(荷重(地震))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →津波と地震には因果関係がある(基準津波と基準津波を発生させる地震の余震は、同時に発生することから、組合せを考慮する。	○
津波(浸水) ×地震活動(荷重(地震))	浸水	c	II	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなると考えられる。 →津波と地震には因果関係がある(基準津波と基準津波を発生させる地震の余震は、同時に発生することから、損傷をもたらす荷重について、津波(荷重(衝突))×地震活動(荷重(地震))で評価する。	—
津波(閉塞(海水系)) ×地震活動(荷重(地震))	閉塞(海水系)	d	III-1	地震によりカーテンウォール等が損傷、コンクリート部材の取水設備侵入の可能性が高まると考えられる。 →コンクリート部材の倒壊による取水口の閉塞は生じない。 また、仮に取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順と同様の対応により対処可能である。	—
津波(荷重(衝突)) ×積雪(荷重(堆積))	荷重	d	III-1	積雪による堆積荷重の作用により、津波の荷重が増大すると考えられる。 →積雪は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
津波(閉塞(海水系)) ×生物学的事象(閉塞(海水系))	閉塞(海水系)	d	I	漂流物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生生物を捕獲除去し取水性の維持を図っているが、取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	—
津波(荷重(衝突)) ×風(台風)(荷重(風))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風(台風)を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(37/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(5/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(3/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
津波(荷重(衝突)) ×風(台風)(荷重(飛来物))	荷重	c	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	—
津波(荷重(衝突)) ×落雷(電氣的影響(直撃雷))	荷重	c	II	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなると考えられる。 →直撃雷は避雷設備により、また、津波防護施設(防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	—
火山の影響(電氣的影響) ×凍結(電氣的影響)	電氣的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
火山の影響(荷重(堆積)) ×降水(荷重(堆積))	荷重	d	I	降下火砕物は湿気を含むことで堆積荷重が増加すると考えられる。 →荷重条件として水を含んだ場合の負荷を想定し、積雪(荷重(堆積))×火山の影響(荷重(堆積))にて評価を行う。	—
火山の影響(荷重(堆積)) ×降水(荷重(堆積))	荷重	d	III-2	斜面に堆積した火山灰が降雨によりプラント周辺まで押し寄せ、土石流のような状況になる可能性が考えられる。 →敷地内には土石流を起こすような地形は存在しない。	—
火山の影響(荷重(堆積)) ×積雪(荷重(堆積))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、堆積荷重が増加すると考えられる。 →一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用するもの同士であることから、受圧面積が小さい施設又は荷重の影響が常時作用している荷重に対して小さい施設を除き、組合せを考慮する。 また、荷重条件として、降下火砕物は水を含んだ場合の負荷を想定する。	○
火山の影響(電氣的影響) ×積雪(電氣的影響)	電氣的影響(相間短絡)	d	I	付着物の増加により、送電線の相間短絡の可能性が高まると考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)は相間短絡の影響を受けない。	—
火山の影響(閉塞(吸気系)) ×積雪(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	I	降下火砕物と雪の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
火山の影響(閉塞(海水系)) ×生物学的事象(閉塞(海水系))	閉塞(海水系)	c	I	降下火砕物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →降下火砕物は、水分を含まない場合はオイルフェンスにより除去されること、また、水分を含む場合においても、海水ストレーナのメッシュ径以上のものは水分を含むことで取水路内に沈下し、海水ストレーナまで到達しないことから、個別事象と同等となる。	—
火山の影響(荷重(堆積)) ×風(台風)(荷重(風))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1,2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →火山は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○
火山の影響(閉塞(吸気系)) ×風(台風)(荷重(風))	閉塞(吸気系)	d	III-1	風(台風)の影響により、降下火砕物の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
火山の影響(閉塞(吸気系)) ×森林火災(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	I	降下火砕物とばい煙の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(38/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(6/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(4/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
生物学的事象(閉塞(海水系)) ×津波(閉塞(海水系))	閉塞(海水系)	d	I	海生生物と漂流物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生物を捕獲除去し取水性の維持を図っているが、取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	—
生物学的事象(閉塞(海水系)) ×火山の影響(閉塞(海水系))	閉塞(海水系)	c	I	降下火砕物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →降下火砕物は、水分を含まない場合はオイルフェンスにより除去されること、また、水分を含む場合においても、海水ストレーナのメッシュ径以上のものは水分を含むことで取水路内に沈下し、海水ストレーナまで到達しないことから、個別事象と同等となる。	—
生物学的事象(閉塞(海水系)) ×風(台風)(荷重(飛来物))	閉塞(海水系)	d	I	飛来物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生物を捕獲除去し取水性の維持を図っているが、取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	—
生物学的事象(閉塞(海水系)) ×竜巻(荷重(飛来物))	閉塞(海水系)	d	I	飛来物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生物を捕獲除去し取水性の維持を図っているが、取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	—
風(台風)(荷重(風)) ×地震活動(荷重(地震))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
風(台風)(荷重(飛来物)) ×地震活動(荷重(地震))	荷重	c	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	—
風(台風)(荷重(風)) ×積雪(荷重(堆積))	荷重	d	III-1	風の影響により、荷重が増加し、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →風(台風)(荷重(風))×火山の影響(荷重(堆積))にて評価を行う。	—
風(台風)(荷重(風)) ×積雪(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	III-1	風の影響により、雪の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
風(台風)(荷重(風)) ×津波(荷重(衝突))	荷重	d	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →屋外の直接風を受ける場所に設置されている施設のうち、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造・形状の施設については、組合せを考慮する。	○
風(台風)(荷重(飛来物)) ×津波(荷重(衝突))	荷重	c	I	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →飛来物による影響は竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されることから、影響は個別事象同等となる。	—
風(台風)(荷重(風)) ×火山の影響(荷重(堆積))	荷重	d	III-1	風の影響により、荷重が増加し、安全重要度クラス1, 2に属する設備損傷の可能性が高まると考えられる。 →火山は一度事象が発生すると長時間にわたり荷重が作用することから、組合せを考慮する。	○

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(39/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(7/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(5/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
風(台風)(荷重(風)) ×火山の影響(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	Ⅲ-1	風の影響により、降下火砕物の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
風(台風)(荷重(飛来物)) ×生物学的事象(閉塞(海水系))	閉塞(海水系)	d	I	飛来物と海生生物の流入により、個別事象と比べ閉塞及び取水性の低下の可能性が高まると考えられる。 →除塵装置や海水ストレーナ等により海生物を捕獲除去し取水性の維持を図っているが、取水性が確保できないおそれがある場合においても、循環水ポンプのインペラ開度調整、発電機出力の抑制、プラント停止等の手順により対処可能である。	—
風(台風)(荷重(風)) ×森林火災(温度)	温度	c	Ⅲ-1	風(台風)の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重畳)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、主排気筒鉄塔約325℃)を上回ることから、構造物の機能は維持される。	—
風(台風)(荷重(風)) ×森林火災(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	Ⅲ-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
竜巻(荷重(風)) ×森林火災(温度)	温度	c	Ⅲ-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重畳)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、主排気筒鉄塔約325℃)を上回ることから、構造物の機能は維持される。	—
竜巻(荷重(風)) ×森林火災(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	Ⅲ-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
竜巻(荷重(風)) ×落雷(電気的影響(直撃雷))	電気的影響(直撃雷)	c	Ⅱ	風荷重により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなると考えられる。 →避雷機能を有する主排気筒が接地網に接続されており、落雷電流を接地網へ導く機能は確保されることから影響はない。	—
竜巻(荷重(飛来物)) ×落雷(電気的影響(直撃雷))	電気的影響(直撃雷)	c	Ⅱ	飛来物により避雷設備が損傷し、安全施設へ落雷し易くなると考えられる。 →避雷機能を有する主排気筒が接地網に接続されており、落雷電流を接地網へ導く機能は確保されることから影響はない。	—
森林火災(閉塞(吸気系)) ×積雪(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	I	ばい煙と雪の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
森林火災(閉塞(吸気系)) ×火山の影響(閉塞(吸気系))	閉塞(吸気系)	d	I	ばい煙と降下火砕物の吸込により、個別事象と比べ閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
森林火災(温度) ×風(台風)(荷重(風))	温度	c	Ⅲ-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重畳)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃、主排気筒鉄塔約325℃)を上回ることから、構造物の機能は維持される。	—

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(40/42)



## <別紙2> 自然現象の重畳影響評価(8/8)

### ○影響が増長する組み合わせの影響評価(6/6)

重畳事象 (事象1×事象2の順で記載)	影響モード	増長	影響	検討結果	設計上の考慮
森林火災(閉塞(吸気系)) ×風(台風)(荷重(風))	閉塞(吸気系)	d	Ⅲ-1	風(台風)の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
森林火災(温度) ×竜巻(荷重(風))	温度	c	Ⅲ-1	風の影響により、熱影響の評価条件が変化し、個別事象での評価から増長、熱影響によるコンクリート構造物の耐性に影響を及ぼす可能性が高まると考えられる。 →保守的な条件(偶発的に落下する航空機による火災と危険物タンク火災の重畳)により熱影響評価した温度(最大約140℃)が強度維持可能温度(建屋外壁コンクリート約200℃, 主排気筒鉄塔約325℃)を上回ることはないことから、構造物の機能は維持される。	—
森林火災(閉塞(吸気系)) ×竜巻(荷重(風))	閉塞(吸気系)	d	Ⅲ-1	風の影響により、ばい煙の吸込量が増加し、閉塞の可能性が高まると考えられる。 →換気空調設備の外気取入口についてフィルタ差圧等を監視し、状況に応じ清掃や取替えを実施する手順により対処可能である。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×地震活動(荷重(地震))	電気的影響(直撃雷)	c	Ⅱ	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により落雷電流を接地網へ導く機能は確保されることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×津波(荷重(衝突))	荷重	c	Ⅱ	個別事象の重畳により、安全重要度クラス1, 2に属する設備が損傷し、浸水の影響を受けやすくなると考えられる。 →直撃雷は避雷設備により、また、津波防護施設(防潮堤等)は基準津波高さに裕度を持たせた設計としており、影響はない。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×風(台風)(荷重(風))	荷重	c	Ⅱ	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×風(台風)(荷重(飛来物))	荷重	c	Ⅱ	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×竜巻(荷重(風))	荷重	c	Ⅱ	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—
落雷(電気的影響(直撃雷)) ×竜巻(荷重(飛来物))	荷重	c	Ⅱ	落雷により安全施設が損傷し、荷重の影響を受けると考えられる。 →安全施設は、避雷設備により直撃雷に、また、竜巻防護施設により設計竜巻に耐えうる設計であることから影響は個別事象と同等となる。	—

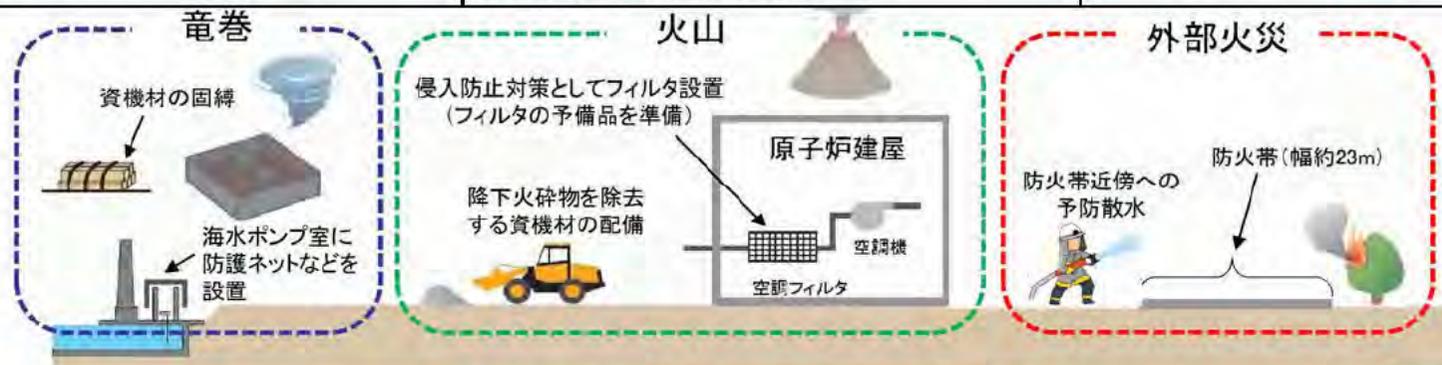
# 1. 外部事象の影響評価及び対策(41/42)

## <別紙3> 外部事象の影響評価及び対策(1/2)

### (1) 新規制基準を踏まえた外部事象に対して実施する安全対策について(1/2)

- ・想定される外部事象(自然現象, 外部人為事象)を網羅的に抽出し, 東海第二発電所の立地条件を考慮して, 考慮すべき外部事象(合計18事象: 地震・津波を除く)を選定
- ・特に考慮すべき大規模な自然災害として, **新たに竜巻, 火山及び外部火災を抽出し, これらの事象に対して影響評価及び安全対策を実施(設備対策及び運用による対策)**
- ・これらのうち, **他の自然現象との重畳を考慮する火山事象への対策においては, 重畳する事象(風(台風)及び積雪)の影響も考慮した設計としている。**

事象	新規制基準に基づく影響評価及び安全対策						
	主な影響評価	主な設備対策	主な運用による対策				
竜巻	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計竜巻による荷重に対する構造強度評価</li> <li>・飛来物源に対する飛散解析評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防護ネットの設置</li> <li>・防護鋼板の設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資機材及び車両の固縛, 固定</li> <li>・燃料取扱作業の中止, クレーン等の退避</li> <li>・構内の車両の退避, 防護対象施設からの離隔</li> </ul>				
火山	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物の堆積荷重に対する評価</li> <li>・空気及び海水の流路となる設備への閉塞に対する評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物侵入防止対策の設置</li> <li>・海水系流路の閉塞防止対策</li> </ul>	<table border="1"> <tr> <td>通常時</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物を除去する資機材の配備</li> <li>・フィルタの予備品を準備</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>堆積時</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物の除去</li> <li>・各種フィルタの清掃・取替</li> </ul> </td> </tr> </table>	通常時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物を除去する資機材の配備</li> <li>・フィルタの予備品を準備</li> </ul>	堆積時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物の除去</li> <li>・各種フィルタの清掃・取替</li> </ul>
通常時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物を除去する資機材の配備</li> <li>・フィルタの予備品を準備</li> </ul>						
堆積時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・降下火砕物の除去</li> <li>・各種フィルタの清掃・取替</li> </ul>						
外部火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火災に対する影響評価</li> <li>・爆発に対する影響評価</li> <li>・火災・爆発による二次的影響に対する評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防火帯の設置</li> <li>・軽油貯蔵タンク等の危険物施設の移設</li> <li>・森林火災用の熱感知カメラの設置</li> <li>・防火帯近傍への屋外消火栓の設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防火帯近傍への予防散水</li> <li>・植生管理(影響範囲にある隣接事業所も含む)</li> </ul>				



竜巻, 火山, 外部火災への主な安全対策のイメージ  
外部事象-94

# 1. 外部事象の影響評価及び対策(42/42)



## <別紙3>外部事象の影響評価及び対策(2/2)

### (1)新規制基準を踏まえた外部事象に対して実施する安全対策について(2/2)

- ・竜巻、火山及び外部火災(森林火災、爆発、近隣工場等の火災)以外の事象について、**従前の影響評価及び安全対策と新規制基準に基づく影響評価及び安全対策**を以下に示す。
- ・これらのうち、**他の自然現象との重畳を考慮する風(台風)及び積雪については、従荷重として、主荷重との組み合わせについても設計上考慮している。**

事象	従前の影響評価及び安全対策	新規制基準に基づく影響評価及び安全対策	
自然現象	洪水	敷地の形状から影響ないと評価	変更なし
	風(台風)	建築基準法に基づき設定した風荷重を考慮した設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単独事象としては変更なし</li> <li>・<b>従荷重として、主荷重との組み合わせについても設計上考慮</b></li> </ul>
	降水	海域へ排水する設計(排水路及び地表面からの排水)	防潮堤(新設)にも排水路を設け、地表からの排水経路を確保
	積雪	建築基準法に基づき設定した積雪荷重を考慮した設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単独事象としては変更なし</li> <li>・<b>従荷重として、主荷重との組み合わせについても設計上考慮</b></li> </ul>
	凍結	屋内は空調設備、屋外は保温等により凍結しない設計	変更なし
	落雷	雷害防止対策として、原子炉建屋等に避雷針等を設置、設置網の敷設による接地抵抗の低減等	変更なし
	生物学的事象	海水生物に対する除塵装置の設置、小動物に対する開口部閉止措置	変更なし
	高潮	高潮の影響を受けない敷地高さに設定	変更なし
外部人為事象	飛来物(航空機落下)	防護設計の可否を判断する基準である $10^{-7}$ 回/炉・年未満と評価	変更なし
	ダムの崩壊	ダムの崩壊により発電所に影響を及ぼす河川はないと評価	変更なし
	有毒ガス	—	評価により有毒ガスの影響がないことを確認
	船舶の衝突	—	評価により船舶の衝突の影響がないことを確認
	電磁的障害	電磁波の侵入を防止する設計(ラインフィルタや絶縁回路の設置等)	変更なし

(補足説明資料 2. 竜巻の影響評価及び対策)

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(1/23)

### 2-1 車両の飛散解析例(1/2)

●車両管理エリアの設定に必要な離隔距離等を考慮するための車両の飛散範囲(飛散距離及び浮上高さ)については、以下の方針に基づきフジモデルを用いて算出した。

- 飛散し易い形状※を考慮し、代表的な寸法及び重量を選定する。飛散解析結果は次頁に示す。

※種々の物品の解析結果より「箱状(表面積大)」かつ「密度が低い」物品が飛散し易い傾向が読み取れることから、以下の車種を代表として選定。

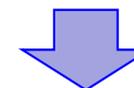
- ・トラック(大型～小型のバン及び平型)
- ・バス(大型～マイクロバス)
- ・軽自動車(最大高(面積大), 最軽量)
- ・軽トラック
- ・SUV

- 上記と逆の傾向を持つ「飛ばない(飛びにくい)」車両の例は以下の様なものがある。

- ・フォークリフト, ホイールローダ
- ・移動式クレーン
- ・移動式ポンプ車

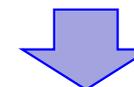
- 車両は地表面に位置する(地面からの初期高さ0)と見なして解析した。
- 飛散距離に影響を与える飛散の出発点と到達点の高低差についても、解析ケースとして考慮した。(次頁の表も参照)

種々の車両について  
寸法・重量を選定  
(飛散し易い車種を選定)



車両の飛散解析を実施  
(初期位置:地表面)

各ケースにおける  
飛散距離を算定



最大飛散距離を包絡する  
離隔距離を選定  
(230m及び190m)

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(2/23)



### 2-1 車両の飛散解析例(2/2)

#### 【主な評価条件】

- ・風速場: フジタモデル
- ・最大風速: 100m/s
- ・寸法, 重量: 車両メーカーカタログから代表的な数値を参照。
- ・空力パラメータ及び抗力係数:

下図のとおり

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

ここで,

$$\frac{C_D A}{m} : \text{空力パラメータ (m}^2/\text{kg)}$$

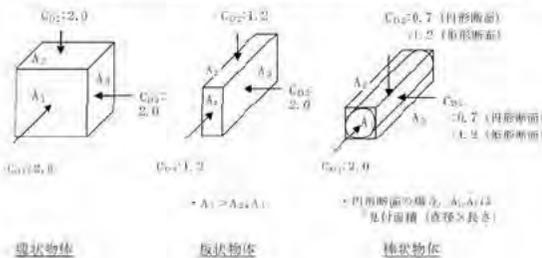
$$m : \text{物品の質量 (kg)}$$

$$c : \text{係数 (0.33)}$$

$C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}$ : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)

$A_1, A_2, A_3$ :  $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 ( $\text{m}^2$ )

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



車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ $C_D A/m$ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
大型トラック バン (25t)	3.790	2.495	11.990	10900	0.0052	184	134	9.0
大型トラック 平 (25t) ①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128	7.9
大型トラック 平 (25t) ②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136	9.5
大型トラック 平 (25t) ③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115	6.5
大型トラック 平 (25t) ④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126	7.6
大型トラック 平 (11t)	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147	8.7
中型トラック バン (8t)	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183	17.0
中型トラック バン (7t)	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179	15.6
中型トラック 平 (8t) ①	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170	13.1
中型トラック 平 (8t) ②	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166	12.4
中型トラック 平 (8t) ③	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162	11.4
中型トラック バン (5t)	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135	8.8
中型トラック 平 (4t)	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101	5.1
小型トラック 平 (2t)	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149	10.1
小型トラック 平 (1.5t)	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87	4.4
大型バス ①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90	5.2
大型バス ②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94	5.4
大型バス ③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97	5.6
大型バス ④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109	6.0
大型バス ⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86	4.7
大型バス ⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94	5.0
中型バス ①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90	5.2
中型バス ②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74	4.1
中型バス ③	3.035	2.340	8.990	7100	0.0052	170	113	6.3
マイクロバス ①	2.635	2.065	6.995	3830	0.0067	181	128	7.6
マイクロバス ②	2.735	2.010	7.730	4190	0.0067	184	131	8.2
軽自動車 (車高最大レベル)	1.880	1.475	3.395	960	0.0098	213	161	9.3
軽自動車 (車高最大レベル)	1.910	1.475	3.395	950	0.0100	220	166	10.1
軽自動車 (車高最小レベル)	1.180	1.475	3.395	830	0.0086	138	65	3.2
軽自動車 (車高最小レベル)	1.280	1.475	3.395	850	0.0088	152	77	3.7
軽自動車 (最軽量レベル)	1.475	1.475	3.395	610	0.0132	222	172	10.9
軽自動車 (最軽量レベル)	1.525	1.475	3.395	650	0.0127	223	172	10.8
軽トラック 平 ①	1.745	1.475	3.395	780	0.0115	219	167	11.5
軽トラック 平 ②	1.765	1.475	3.395	680	0.0133	227	180	14.6
軽トラック 平 ③	1.885	1.475	3.395	1220	0.0077	173	111	5.5
SUV①	1.880	1.980	4.950	2430	0.0063	150	80	4.1
SUV②	1.690	1.835	4.725	1660	0.0079	168	101	4.8
SUV③	1.610	1.775	4.175	1210	0.0093	204	143	6.0
最大値						227	183	17.0

必要離隔距離

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(3/23)

### 1. 発電所における竜巻襲来時の防護対応

○発電所への竜巻襲来時の主な防護対応は以下のとおり。

- ① 気象庁より事前に発表される**竜巻に関する注意報等を受信**することで、**竜巻の襲来の兆候を早期に検知**する。
- ② 発電所内に**竜巻襲来の準備体制**を発令し、以下の対応を行い竜巻襲来に備える。  
(所内への周知, 車両の固縛・退避, 扉の閉止, 作業の中止・人員の避難等)

### 竜巻の早期検知と準備体制確立の流れ

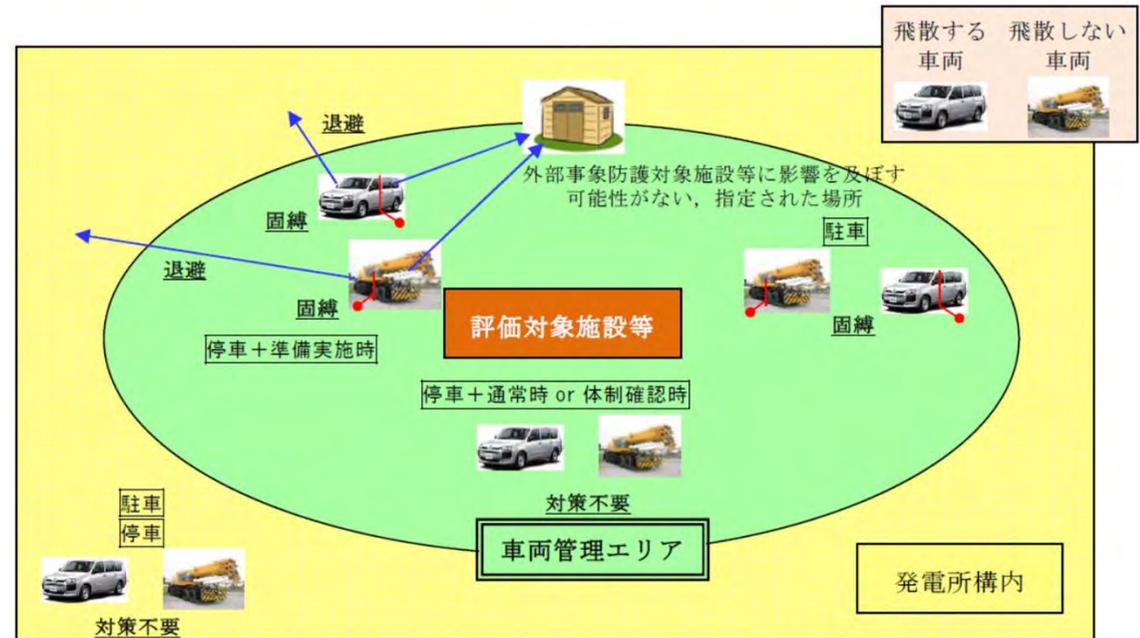
#### 発電所の通常運用時



- ① **竜巻に関する注意報等を受信**  
(雷注意報(竜巻又は突風), 竜巻注意情報等)  
竜巻襲来の兆候を早期検知



- ② **竜巻準備体制の確認・作業実施**  
(所内周知, 車両の固縛・退避, 避難等)  
**準備・作業等時間: 30分以内を想定**



発電所への入構車両の管理イメージ(例)

○次項より、竜巻襲来に対する準備体制発令の起点となる、**事前予測・猶予時間の実績データ**を確認し、**竜巻準備体制の確立に失敗した場合の竜巻襲来時の影響と対応**について示す。

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(4/23)



### 2. 竜巻発生の事前予測・発生までの猶予時間の実績データ

- 近年の国内の竜巻発生データと注意報等の発表状況を確認するため、過去3年間のデータを集計した。
- 国内で発生が確認された竜巻のうち、日本版改良藤田スケール1以上の竜巻を対象に、発電所の竜巻襲来の準備体制に係る注意報等の発表の有無、発表の時刻を集計した。

- ・すべての竜巻の発生より以前に、注意報等が発表されていることを確認【事前の捕捉率 100%】
- ・注意報等発表から竜巻発生までの猶予時間30分超が7割以上を確認【30分超で捕捉 約73%】

- これらのデータより、竜巻襲来の事前予測の信頼性は高く、これらの注意報等を活用することで、発電所の竜巻準備体制を適切に確立できると判断する。

#### 国内の竜巻発生データと注意報等の発表状況\*

	2020年	2021年	2022年	3カ年合計	竜巻の事前の捕捉率(3カ年合計)	
	竜巻発生件数及び注意報等の発表時刻				全捕捉率	100%
予見失敗	0	0	0	0	竜巻発生までの猶予時間 10分超で捕捉	約86%
竜巻発生の10分以内	1	2	0	3	同 30分超で捕捉	約73%
10分超～30分以内	1	0	2	3	同 40分超で捕捉	約59%
30分超～40分以内	1	1	1	3	同 60分超で捕捉	約55%
40分超～50分以内	0	0	1	1		
50分超～60分以内	0	0	0	0		
60分超	5	4	3	12		
年合計	8	7	7	22		

\*:日本版改良藤田(JFE)スケール1(風速39~52m/s)以上の竜巻を対象、注意報等は雷注意報(竜巻又は突風)又は竜巻注意情報を対象として集計

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(5/23)

### 3. 竜巻準備体制の確立に失敗した場合の竜巻襲来時の影響と対応

- **竜巻襲来の事前予測の信頼性は高い**と考えるが、自然現象の把握には不確かさが生じるため、事前に竜巻に関する注意報等が発表されない、または直前の発表で準備体制が間に合わない場合も考えられる。

この状態で、発電所に設計竜巻(風速100m/s)クラスの大型の竜巻が襲来した場合、設計上想定する**設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)**の規模を上回る飛来物が発生し、発電所の設備に被害を与える可能性を完全には否定できない。

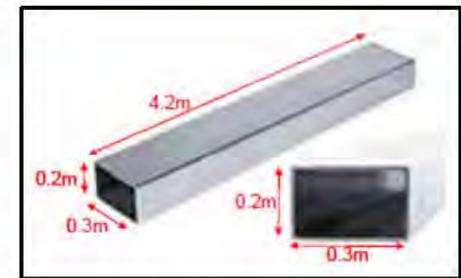


- 設計飛来物の衝突の評価結果より、許容限界と評価結果の差の裕度に加えて、多くの壁の厚さは評価に用いた最小厚さよりも厚く、**設計飛来物を上回る飛来物にも一定程度の裕度がある**と考える。【別紙1参照】
- 安全上**重要な設備は複数システムを確保し**、原子炉建屋内等の**鉄筋コンクリート躯体等に囲まれた内部に離隔等を講じて設置**。仮に、想定を上回る飛来物の被害を受けたとしても、**各設備の機能がごとごとく失われ**、**プラントの安全性が脅かされる可能性は小さい**と判断する。【別紙2参照】

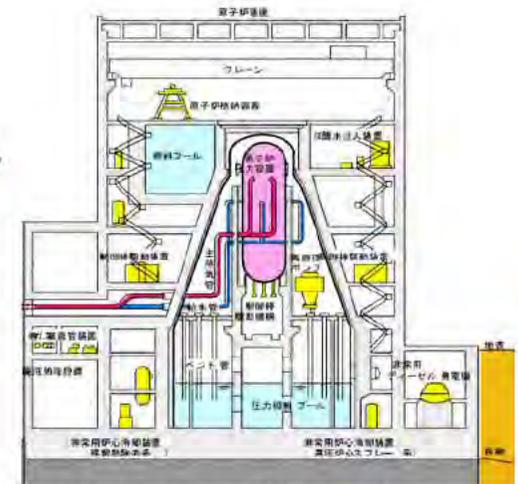


- さらに、万一、**既存の設計基準事故対処施設(DB設備)の機能が失われた**場合は、竜巻による被害を受けていない、新設した**重大事故等対処設備(SA設備)**を活用し、原子炉等の安全を確保することが可能である。
- SA設備は、**DB設備と位置的に分散して配置**し、また一部の設備は**地下に設置**することで、**DB設備と同時に竜巻の被害を受けにくい設計**となっている。

【別紙3参照】



設計飛来物  
(鋼製材:角型鋼管)



原子炉建屋縦断面模式図  
(建屋内設備配置イメージ)

DB設備による対応



位置的分散して配置

SA設備による対応

(DB設備の機能喪失時の  
バックアップ)

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(6/23)

### 【別紙1】設計竜巻による設計飛来物の原子炉建屋外壁への衝突評価

- 国内最大級の竜巻を上回る規模の設計竜巻(風速100m/s)による設計飛来物の原子炉建屋外壁への衝突評価等を示す。評価結果は、原子炉建屋の外壁で**最も壁厚の薄い箇所でも、壁面の貫通及び裏面剥離のいずれも生じず**、また、竜巻の風による建屋全体のひずみも許容範囲内に留まる。
- 本評価における許容限界と評価結果の差の裕度に加えて、実際の原子炉建屋の外壁の多くの箇所は、衝突評価条件の最小厚さよりも厚いことから、仮に、これらの箇所に設計飛来物を上回る飛来物の衝突が生じて、一定程度の裕度があると考える。



設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)  
 質量:135kg  
 飛来速度:51m/s(水平), 34m/s(鉛直)

### 原子炉建屋外壁への設計飛来物の衝突評価結果\*

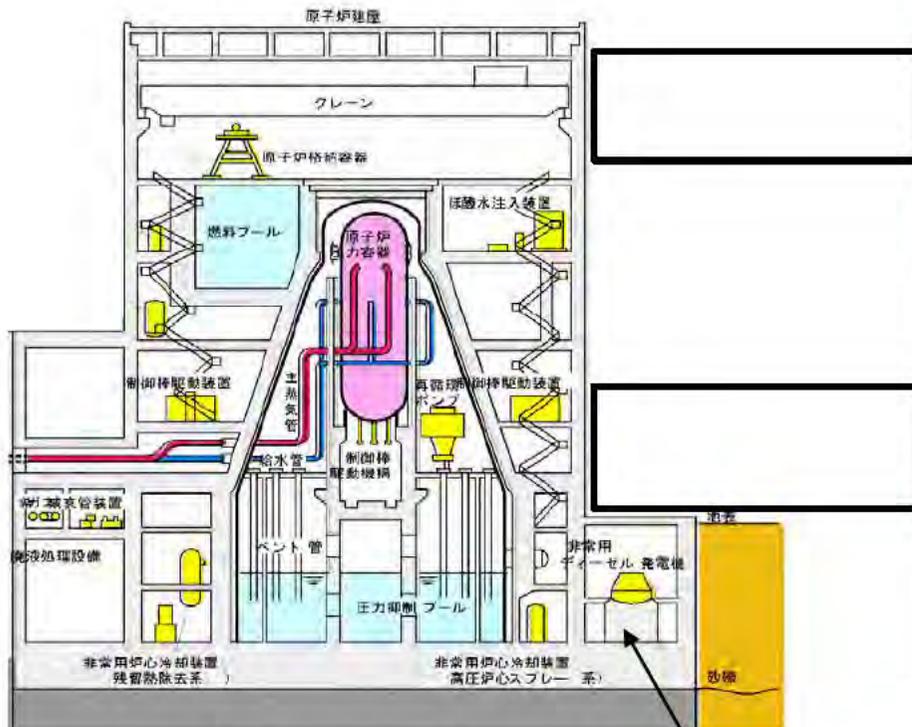
対象部位	外壁最小厚さ (評価対象部位)	貫通限界厚さ許容限界 (水平方向)	評価結果
鉄筋コンクリート外壁		265mm	○ (壁面貫通しない)
対象部位	裏面剥離 ひずみ評価結果	裏面剥離 ひずみ許容限界	評価結果
鉄筋コンクリート外壁	$9.45 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-3}$	○ (裏面側の鉄筋のひずみが許容限界を超えない)

### <参考>設計竜巻(風圧)による原子炉建屋の変形評価結果\*

対象部位	評価結果	許容限界	評価結果
原子炉建屋のせん断ひずみ	$4.2 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$	○ (建屋ひずみが許容限界を超えない)

\* 各評価は東海第二発電所の工事計画認可申請で実施

- ・貫通限界厚さはNEI07-13のDegen式を用いて算出
- ・裏面剥離の鉄筋ひずみ評価は3次元FEMモデルで算出
- ・建屋せん断ひずみは地震応答解析モデルを利用して算出



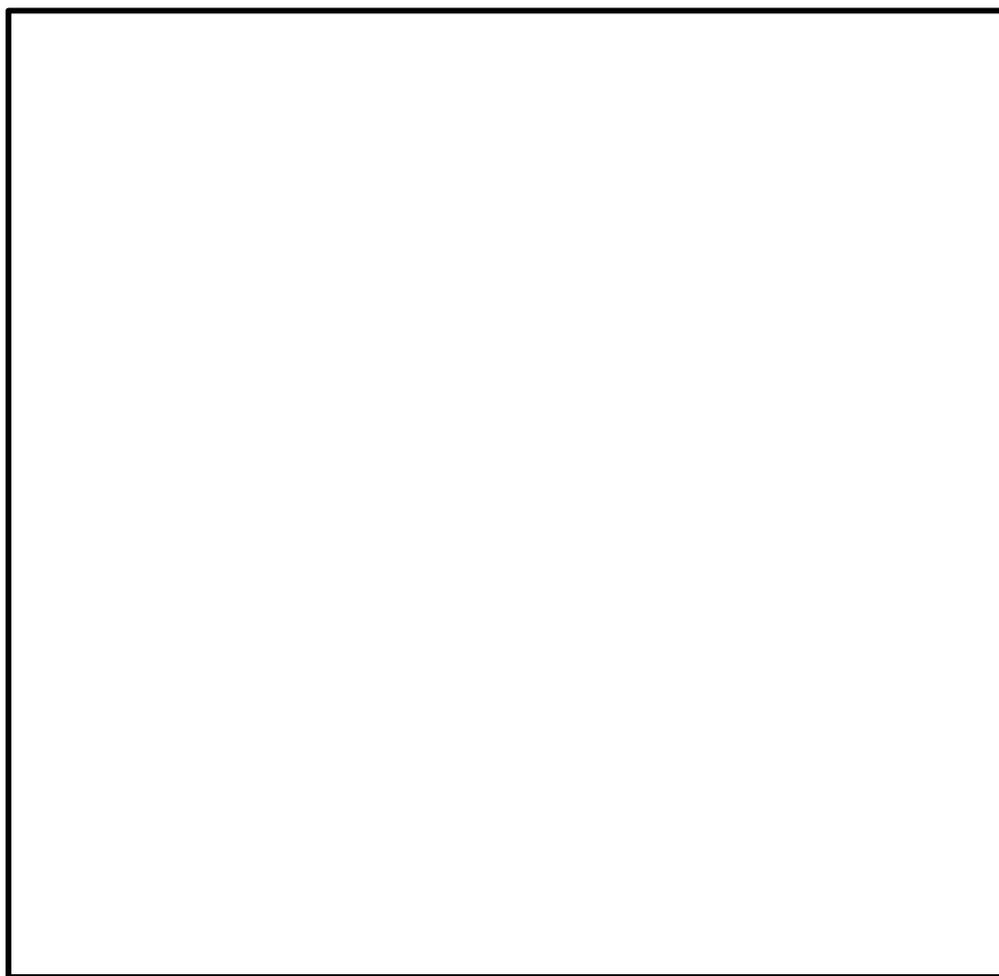
原子炉建屋縦断面模式図

非常用ディーゼル発電機  
(地下設置)

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(7/23)

### 【別紙2】設計基準事故対処施設の原子炉建屋内の配置状況

○原子炉等の安全上重要な設計基準事故対処施設(DB設備)は、複数の系統を確保し、それらを原子炉建屋内等の鉄筋コンクリート躯体等に囲まれた内部に離隔等を講じて設置している。仮に、設計飛来物を上回る規模の飛来物が発生し、設備の一部に被害が生じたとしても、各設備の機能がことごとく失われ、プラントの安全性が脅かされる可能性は小さいと判断する。



原子炉建屋平面図(E.L.+2m)

#### ＜非常用ディーゼル発電機等の配置例＞

・原子炉建屋内に非常用のディーゼル発電機3台を設置

〔  
2C 非常用D/G  
2D 非常用D/G  
HPCS D/G  
〕

・各ディーゼル発電機は地下設置であり、竜巻の影響を受け難い配置

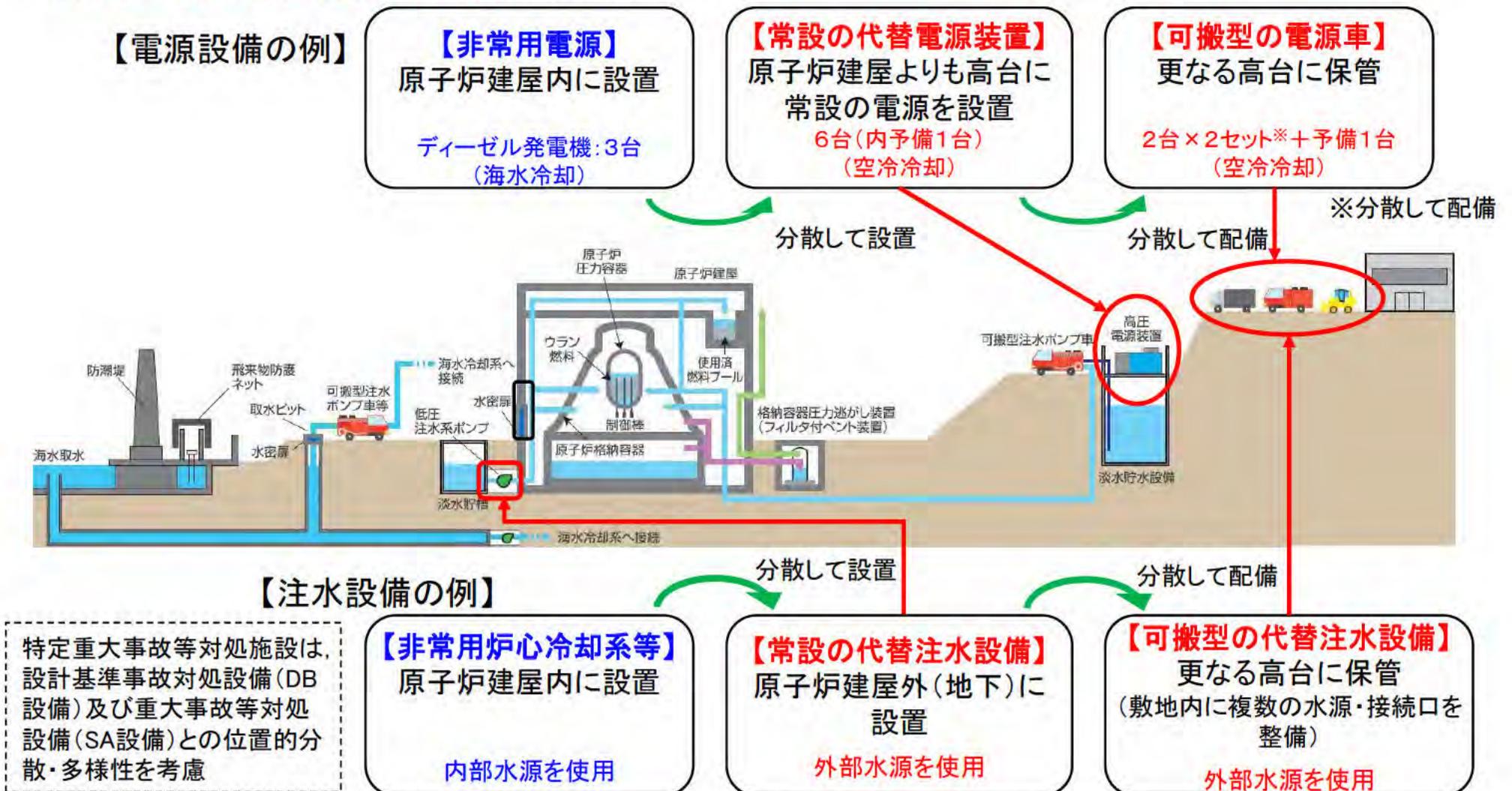
・各ディーゼル発電機は原子炉建屋の耐震壁である外壁、天井等で覆われ、外界の竜巻から防護される。

・各ディーゼル発電機はそれぞれの室に収められ、相互に隔壁・扉で離隔されており、仮に1台が被害を受けた場合でも、他のD/Gに波及的な影響を与え難い構造

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(8/23)

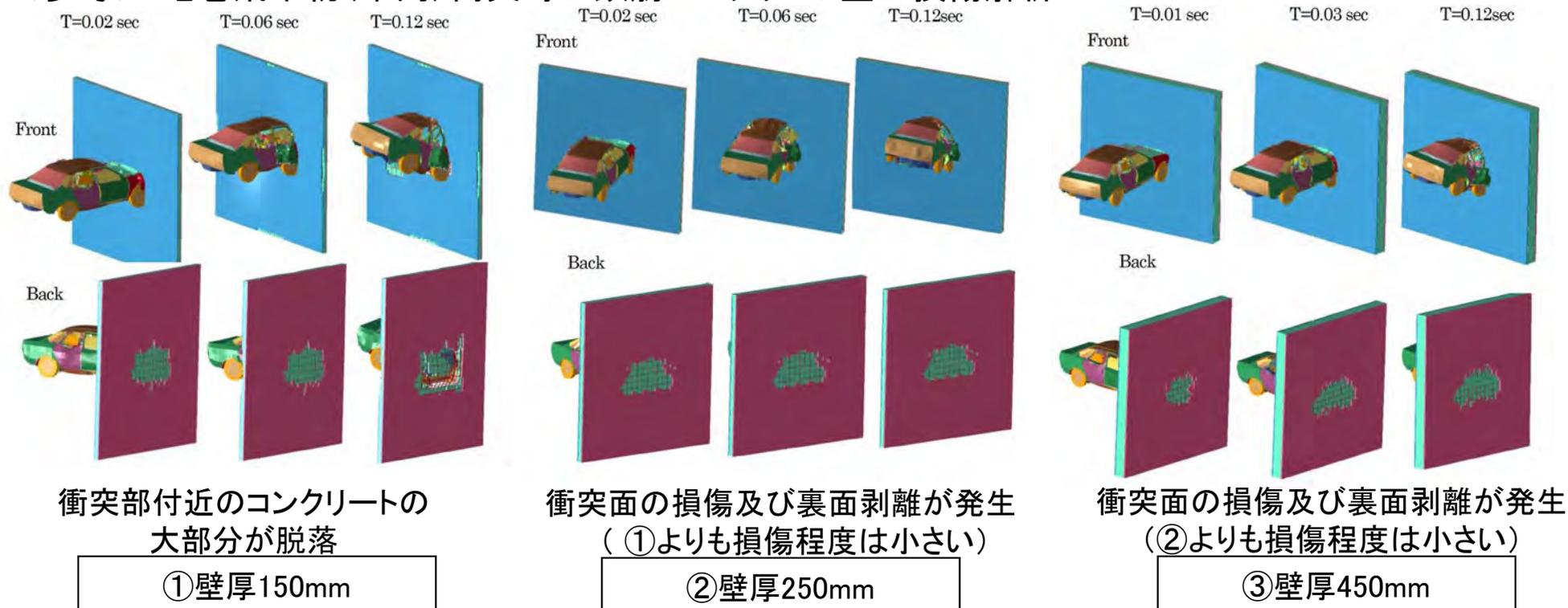
### 【別紙3】既存DB設備の機能喪失に備えた新設SA設備によるバックアップ

- 万一、既存の設計基準事故対処施設(DB設備)の機能が失われた場合でも、竜巻による被害を受けていない、新設した重大事故等対処設備(SA設備)を活用し、原子炉等の安全を確保可能である。
- 新設したSA設備は、既存のDB設備と位置的に分散して配置し、また一部の設備は地下に設置することで、DB設備と同時に竜巻の被害を受けにくい設計となっている。



## 2. 竜巻の影響評価及び対策(9/23)

### <参考> 竜巻飛来物(車両)衝突時の鉄筋コンクリート壁の損傷解析



### 車両衝突時の鉄筋コンクリート壁の損傷解析( LS-DYNAによるシミュレーション)



○鉄筋コンクリート壁(壁厚さ3ケース)に竜巻飛来物として車両(乗用車, 質量2t, 速度47m/s)を衝突させたシミュレーション結果が公開されている。

- ①厚さ150mmのケース: 衝突部付近のコンクリートの大部分が脱落している。
- ②厚さ250mm及び③450mmケース: 衝突面の損傷及び裏面剥離は生じるが, コンクリートの大規模な脱落や鉄筋の大変形及び破断は確認されていない。これより躯体としての機能はある程度維持されているものと考えられる。

衝突解析に用いた車両モデル  
(質量2t, 速度47m/s)

出典: Madurapperuma 他, 竜巻飛来物(自動車)衝突による鉄筋コンクリート構造物の挙動, 土木学会 第11回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2014

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(10/23)



○鉄筋コンクリート壁の貫通評価において、貫通限界厚さの算定にはDegen式で、Degen式の貫入深さは修正NDRC式で算定している。これらの式は米国NRCの基準類\*1及び米国原子力エネルギー協会のNEI07-13\*2に飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の局部損傷評価式として記載され、「構造物の衝撃挙動と設計法」((社)土木学会)では、貫通限界厚さの評価式としてDegen式の適用性が高いとされている

○上式を用いた東海第二発電所の評価では、コンクリート強度は実物よりも低い設計値を用い、飛来物は鋭い形状で剛体と扱い、衝突速度は保守的な評価に基づく等、貫通限界厚さが大きめになるように取り扱っている。

### <Degen式>

( $X/d \leq 1.52$ の場合)

$$e = \alpha_e [2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2] \cdot d$$

### <修正NDRC式>

( $X/d \leq 2.0$ の場合)

$$X/d = \{ (48580 / \sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8} \}^{0.5}$$

○許容限界として算定した原子炉建屋外壁の貫通限界厚さ(26.5cm)について、感度解析として実力的なコンクリート強度や衝突速度を用いて計算すると20cm程度に緩和する結果が得られる。これらより、貫通限界厚さの算定には保守性を有すると考える。

Degen式及び修正NDRC式に用いる入力値及び算定結果(設計飛来物(鋼製材))

記号	①許容限界算定	②感度解析	単位	記号と数値の説明
d	27.6	同左	cm	飛来物の等価直径
F <sub>c</sub>	225	521	kgf/cm <sup>2</sup>	原子炉建屋のコンクリート強度 ①設計基準強度 ②平均圧縮強度:東海第二発電所の特別点検における原子炉建屋外壁のコアサンプリング結果による
N	1.14	同左	—	飛来物の形状係数(非常に鋭い場合)
V	51	46	m/s	飛来物の衝突速度(水平) ①竜巻影響評価ガイドに記載された設計飛来物速度(保守的な非定常乱流渦モデルシミュレーションによる) ②フジタモデルによる飛散解析の速度最大値
W	135	同左	kgf	飛来物の重量
α <sub>e</sub>	1.0	同左	—	低減係数(剛体であり低減を考慮しない)
e	26.5	20.0	cm	貫通限界厚さ(算定結果)

e : 貫通限界厚さ(cm)  
 α<sub>e</sub> : 低減係数  
 X : 貫入深さ(cm)  
 d : 飛来物の(等価)直径(cm)  
 (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)  
 F<sub>c</sub> : コンクリートの設計基準強度(kgf/cm<sup>2</sup>)  
 N : 飛来物の先端形状係数  
 D : 飛来物直径密度(= W/d<sup>3</sup>)  
 W : 飛来物の重量(kgf)  
 V : 飛来物の衝突速度(m/s)

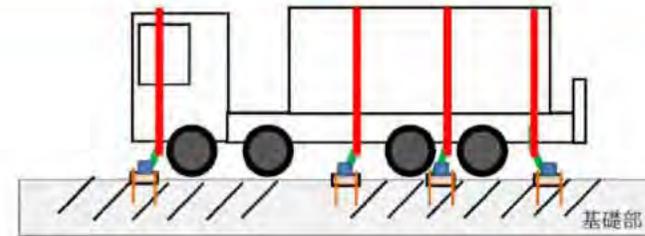
注記 \*1: U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: STANDARD REVIEW PLAN, 3.5.3 BARRIER DESIGN PROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3- March 2007  
 \*2: Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(11/23)

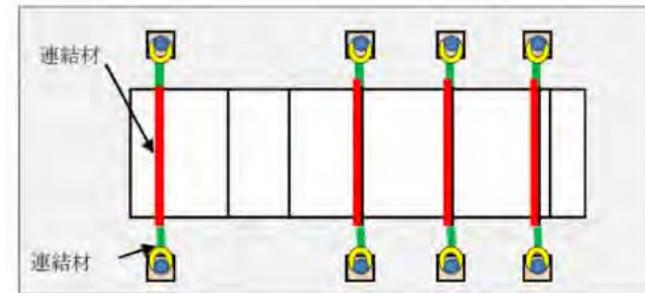
### 車両の固縛方針，固縛方法(1/3)

#### ●車両の固縛方針

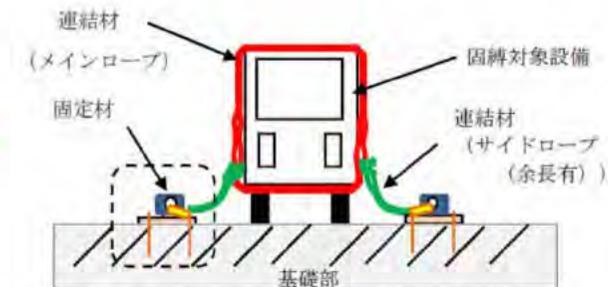
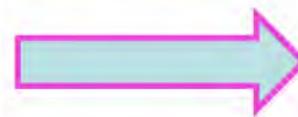
手法	飛来物発生防止対策(固定, 固縛)概要図	
① 固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定
② 緊張固縛		飛来物源に車輪部を連結材と固定金具を用いて固定
		飛来物源を連結材(ロープ)を用いて固定
③ 余長付き固縛	(通常時)	飛来物源を連結材(ロープ)を用いて固縛【動き代がある】
	(地震時)	
	(竜巻時(展張))	



(側面図)



(上面図)



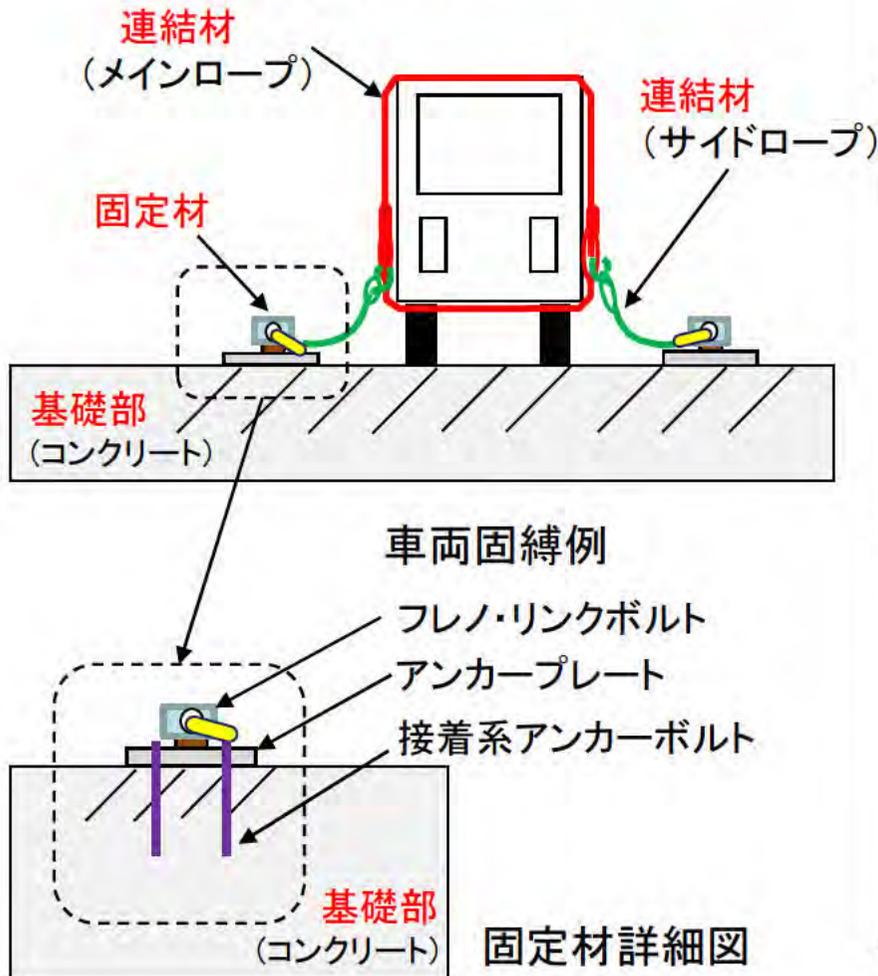
#### 車両の余長付き固縛実施例

余長付き固縛は，緊張固縛に比べて地震時の車両の加振条件を緩和できる利点を有する。

### 車両の固縛方針, 固縛方法(2/3)

#### ●固縛装置の概要と主な構成部材

- ・固縛装置は, 竜巻により固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を**連結材(高強度繊維ロープ)**及び**固定材**を介して**基礎部**で拘束し, 固縛対象設備の移動を制限する。
- ・各固縛装置には, 竜巻の風圧により各設備が受ける荷重に十分に耐えられる強度を確保した部材を用いる。

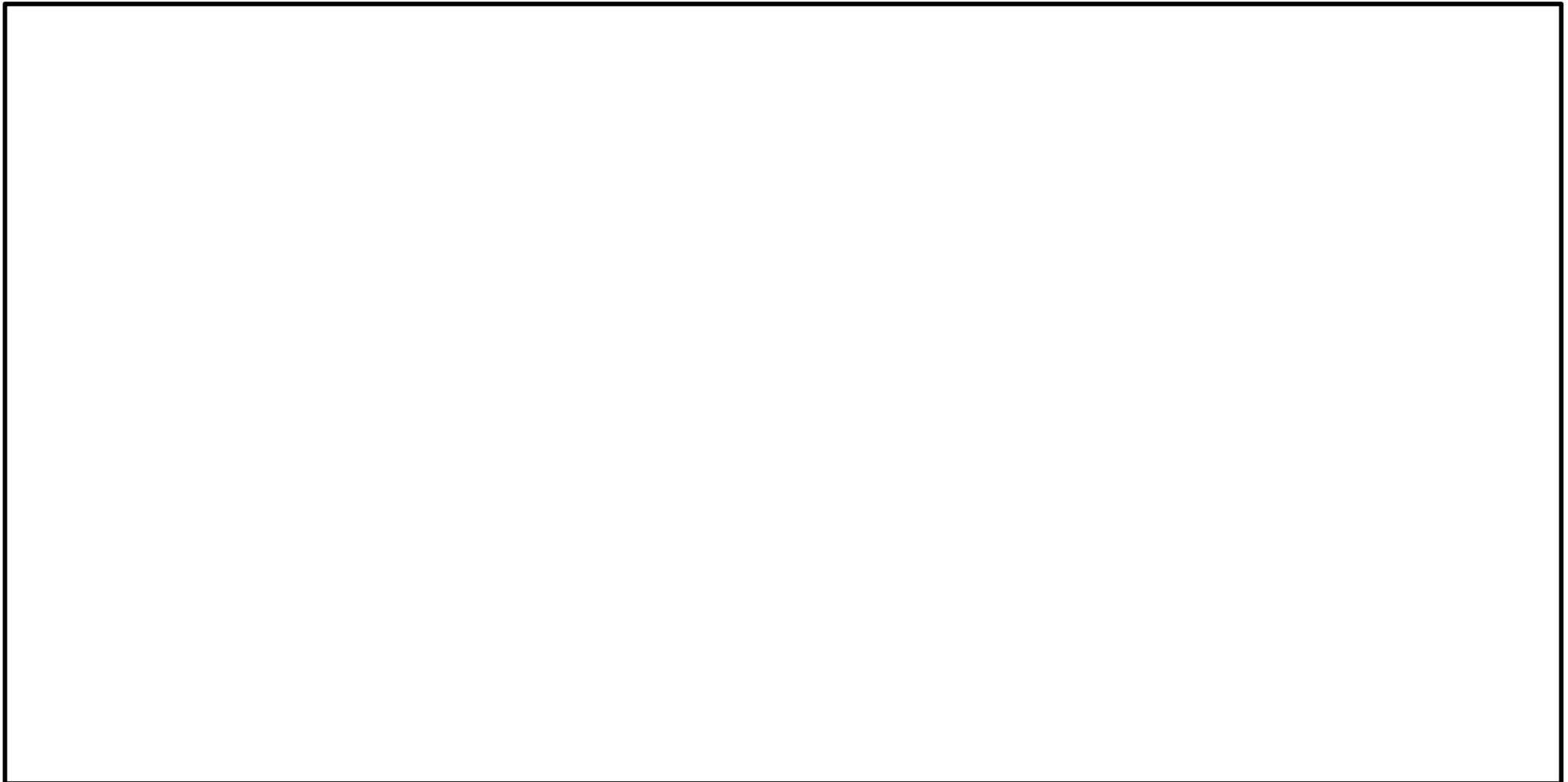


固縛装置構成部材		概念図	用途
連結材	高強度繊維ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ, 固縛対象設備を拘束
固定材	フレノ・リンクボルト		アンカープレートに取付け, リングの部分に連結材を接続し, 固縛対象設備を固縛
	アンカープレート		基礎部に取付け, フレノ・リンクボルトと連結し, 固縛対象設備を固縛
基礎部	接着系アンカーボルト		固定材(アンカープレート)と基礎部を定着させる
	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により, スラブコンクリートの重量によって, 固縛対象設備の浮き上がり及び横滑りを防止

### 車両の固縛方針, 固縛方法(3/3)

#### ●固縛装置の設置方法(例)

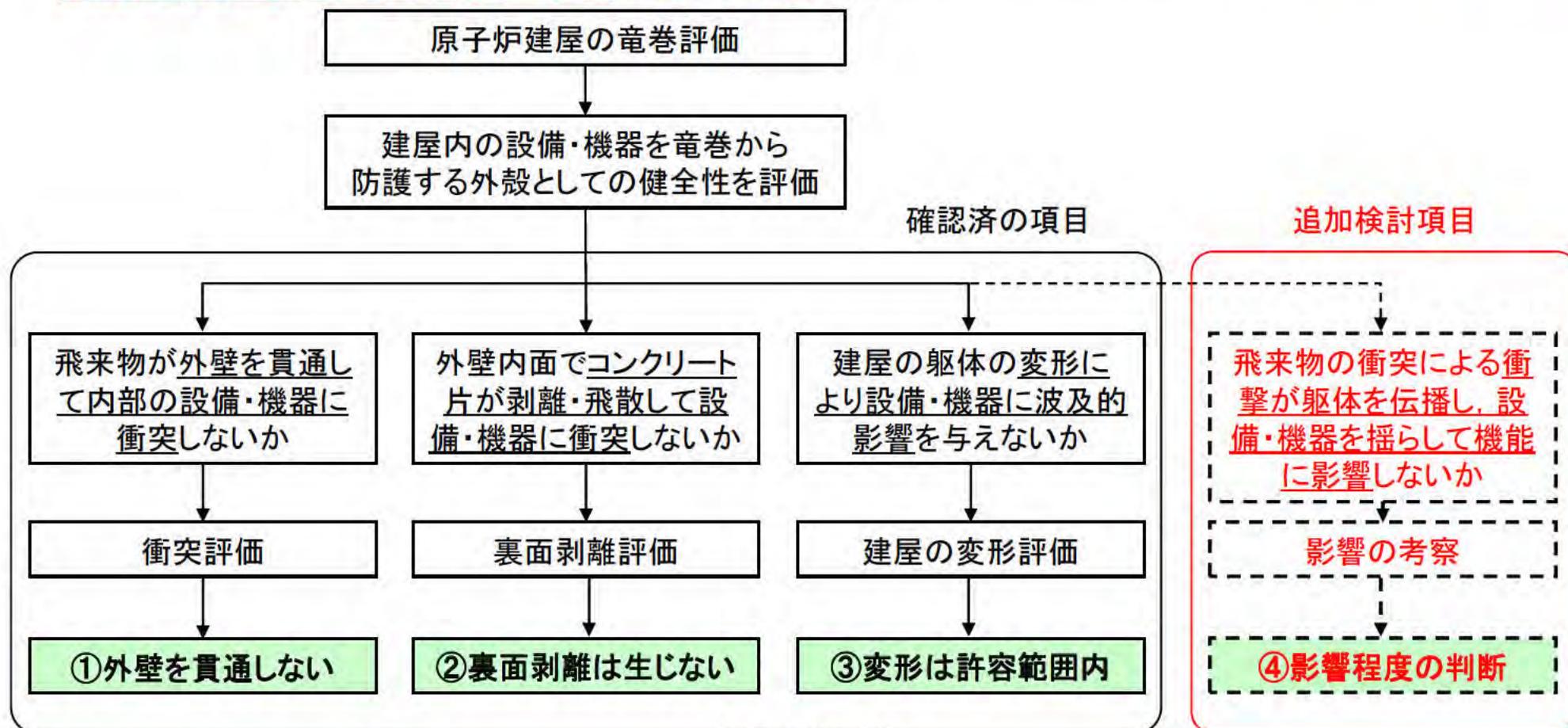
- ・固縛装置のうち, 連結材(高強度繊維ロープ)は, メインロープとして固縛対象設備の外形に沿ってトップロープ, アンダーロープ等を用いて胴巻きし, サイドロープを用いてメインロープと固定材の間を接続する。



連結材の固縛対象設備への設置概要図 固縛装置の設置状況イメージ(可搬型代替低圧電源車)

### 1. 既存の竜巻及び飛来物の影響評価と今回の検討

- これまでの竜巻影響評価において、竜巻により発生する設計飛来物(鋼製材)が原子炉建屋外壁に衝突しても、①壁面を貫通せず、②裏面剥離も生じないことを確認。また、設計竜巻による③風圧等で生じる建屋全体のひずみも許容範囲内に留まることを確認している。
- 上記の確認結果より、竜巻及び設計飛来物が原子炉建屋内部に設置された設備・機器の機能に悪影響を与えることはないと考えるが、更なる追加の検討として、④設計飛来物が原子炉建屋外壁に衝突し、衝撃が建屋躯体を伝播して設備・機器を揺らす影響について考察する。



## 2. 竜巻の影響評価及び対策(15/23)

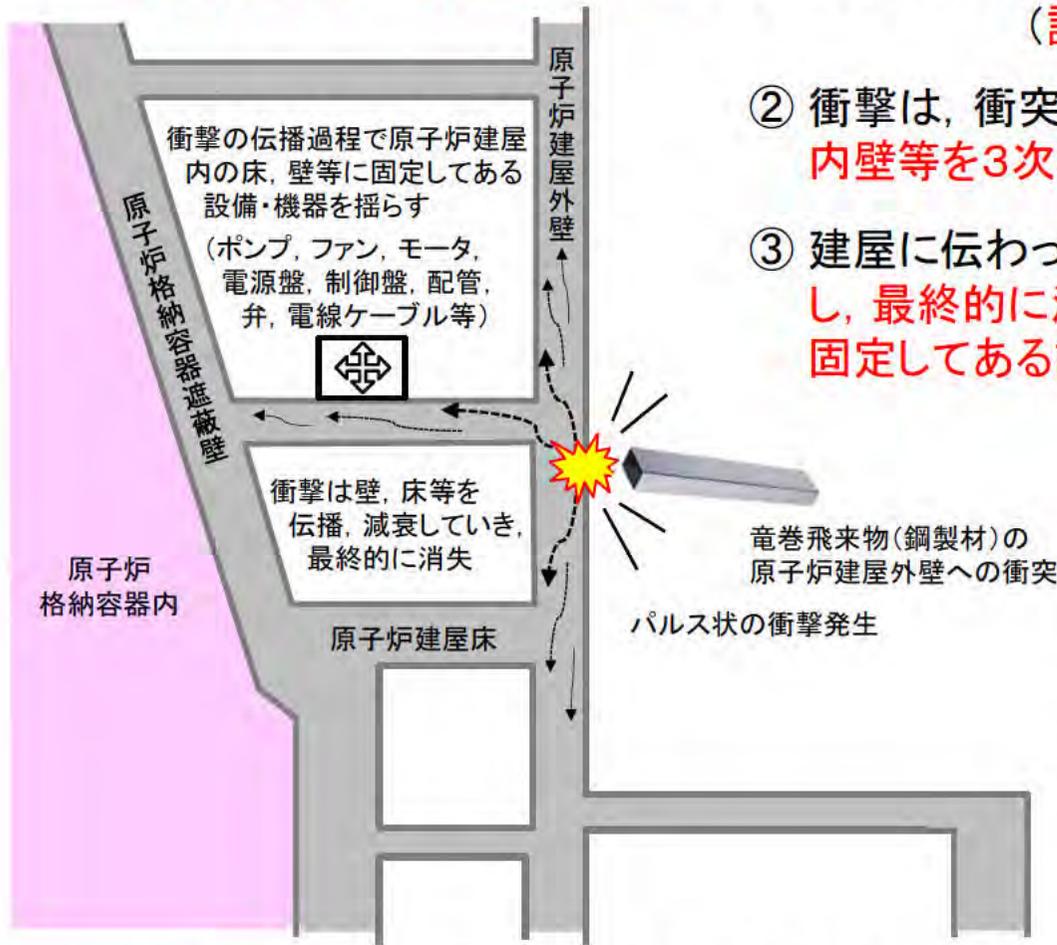
### 2. 竜巻飛来物の原子炉建屋外壁への衝突時の挙動の推察

○竜巻飛来物の原子炉建屋外壁への衝突時の挙動は以下のとおりに考えられる。

- ① 設計飛来物の衝突時に、外壁の貫通や裏面剥離は生じないため、**飛来物の運動エネルギーの多くは建屋外壁にパルス状の衝撃として伝わると考えられる。**

(設計飛来物(鋼製材)の運動エネルギー:176kJ)

- ② 衝撃は、衝突箇所を起点として、建屋の躯体である**外壁、床、内壁等を3次元方向に伝播、拡散**していく。
- ③ 建屋に伝わった衝撃は、躯体中を伝播していくにつれて**減衰し、最終的に消失**するが、その過程で、**建屋内の床、壁等に固定してある設備・機器を揺らす。**



竜巻飛来物(鋼製材)の原子炉建屋外壁衝突時の挙動イメージ

設計飛来物の速度・運動エネルギー

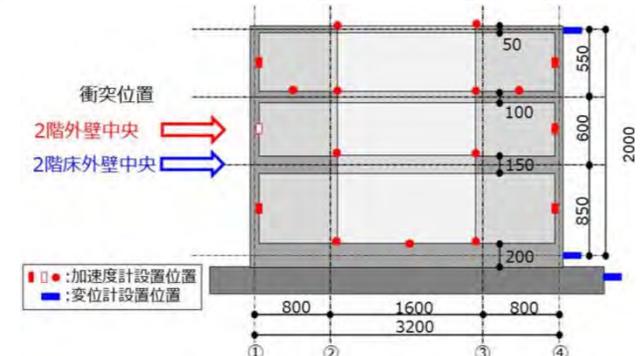
項目	数値	説明
寸法(m)	4.2×0.3×0.2	鋼製材(角型鋼管)
質量(kg)	135	
飛来物の最大水平速度(m/s)	51	竜巻影響評価ガイドの値(保守的な非定常乱流渦モデルシミュレーションより算出)
飛来物の運動エネルギー(kJ)	<b>176</b>	質量と速度から算出

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(16/23)

### 3. 竜巻飛来物の原子炉建屋衝突時の内部設備への影響の推定

○竜巻飛来物の建屋外壁への衝突により、衝撃が壁、床を伝播し内部設備を揺らす。以下で確認した知見を踏まえ、東海第二発電所の安全機能に影響を与えることはないと考えます。

① 東海第二発電所の原子炉建屋のサイズと比較して概ね縮尺率1/25の模型構造物に竜巻飛来物を上回る運動エネルギーの飛翔体を衝突させた実験結果によると、衝突箇所に近い部位の加速度が最も大きく、衝突箇所からの距離に応じて減衰している。【別紙1参照】



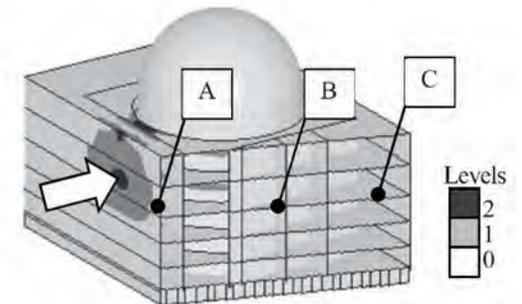
①飛翔体衝突実験に用いた模型構造物

② 竜巻飛来物の1万倍以上の運動エネルギーを持つ大型航空機が原子炉建屋の外壁に衝突したシミュレーション解析では、衝突箇所近傍の加速度床応答スペクトルのピークは $100\text{m/s}^2$ を下回り、衝撃荷重を1/10にすると $10\text{m/s}^2$ 程度に留まることが確認されている。【別紙2参照】



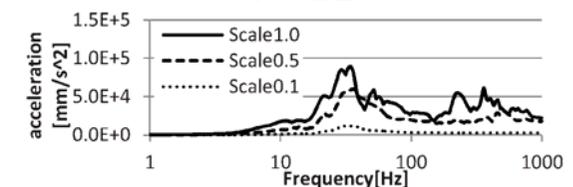
①飛翔体衝突実験に用いた飛翔体

③ 原子炉施設の建屋内設備の衝撃に対する耐性に関して、米国原子力産業界のガイドラインNEI07-13で整理している。ここでは衝撃に対する耐力として、耐力の大きい設備で200G (約 $1,960\text{m/s}^2$ )、耐力の小さい設備でも27G (約 $264\text{m/s}^2$ )と見積もっている。【別紙3参照】



②大型航空機衝突解析に用いた原子炉建屋モデル

④ ①～③の知見より、原子炉建屋外壁に竜巻飛来物を与える衝撃は建屋の規模に対して限定的であり、飛来物の1万倍以上の運動エネルギーの大型航空機の原子炉建屋衝突の解析例でも、衝突箇所近傍の加速度床応答スペクトルのピークは $100\text{m/s}^2$ を下回る。これらに対して米国ガイドラインでは建屋内設備の衝撃への耐性について耐力が小さい設備でも加速度約 $264\text{m/s}^2$ としている知見を考慮すると、竜巻飛来物の衝撃は設備の機能に影響しないレベルに留まり、東海第二発電所の安全機能に影響を与えることはないと考えます。



②大型航空機衝突解析で得られた加速度床応答スペクトル

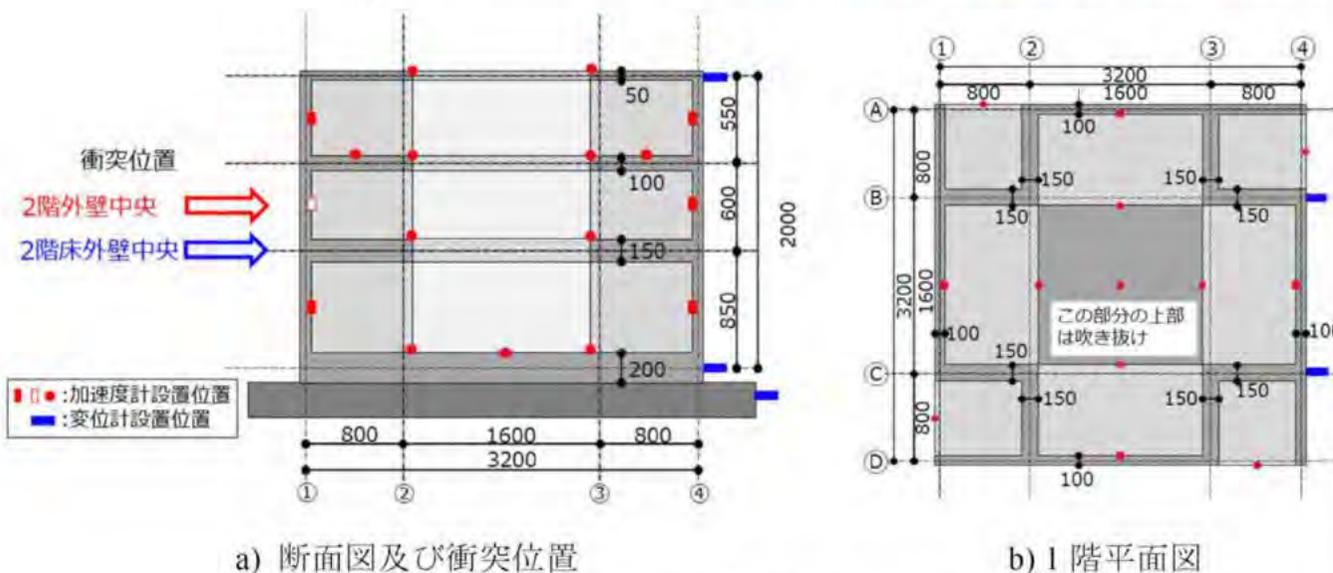
## 2. 竜巻の影響評価及び対策(17/23)

### 【別紙1】 飛翔体の衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する実験研究(1/4)

○飛来物の原子炉建屋への衝突による衝撃の影響を確認する観点から、飛翔体を模型構造物に衝突させた実験を参照する。

模型構造物\*: 鉄筋コンクリート製の3階構造、質量約20t、平面約3m×約3m×高さ約2m、壁厚外壁10cm及び内壁15cm、床厚10cm~20cm、床の固有振動数100Hz~1,000Hz、壁面及び床面に加速度計及び変位計を設置

\* 当社注記: 東海第二発電所の原子炉建屋のサイズ等と比較すると、概ね縮尺率1/25の模型となっており、建屋の質量比は1万分の1程度となる。



出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11 を一部編集

図 2.6.1 模型構造物の概要

東海第二発電所 原子炉建屋

出典: 「地震・津波及びの外部事象等に係る施設・設備の脆弱性評価に関する研究」RREP-2021-4001 安全研究成果報告 地震・津波研究部門  
原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 令和3年6月

「飛翔体衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する基礎的研究(その1:全体計画概要)」日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)2018年9月  
外部事象-113

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(18/23)

### 【別紙1】 飛翔体の衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する実験研究(2/4)

飛翔体仕様\* : 種類はステンレス製, 樹脂製の柔飛翔体と鋼製の剛飛翔体, 直径0.24m, 質量25kg, 目標衝突速度50m/s及び150m/s, 衝突面位置は2階外壁中央及び2階床外壁, 実験ケースは全8ケース実施(TEST1~ TEST8)

\*当社注記:

- ・飛翔体の衝突時の運動エネルギーについて, 竜巻による設計飛来物の運動エネルギー(約176kJ)を上回るケースも含まれていることが確認できる(TEST2,3,6,7:280kJ前後)。
- ・これに対して, 実際の原子炉建屋に比べて模型構造物は概ね縮尺率1/25, 質量比は1万分の1程度であり, 本研究の実験条件は, 実際の建屋への竜巻飛来物の衝突の状況と比較すると過大な想定になっている。



ステンレス製模型柔飛翔体



剛飛翔体



樹脂製模型柔飛翔体

出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11

図2.6.4 模型飛翔体

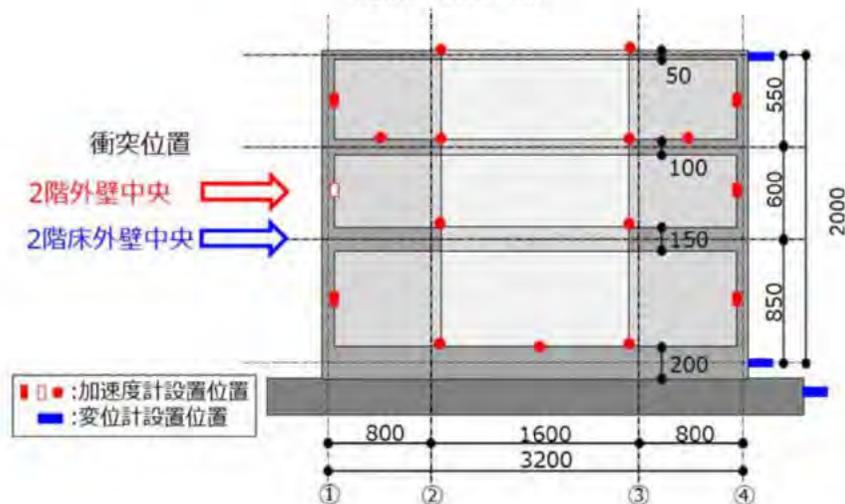


表 2.6.1 実験ケース  
Table 2.6.1 Experimental case

ケース名	飛翔体種類	目標衝突速度(m/s)	実測衝突速度(m/s)	衝突面位置
TEST1	ステンレス製柔飛翔体	50	52.2	2階外壁中央
TEST2	ステンレス製柔飛翔体	150	150.7	
TEST3	樹脂製柔飛翔体	150	146.5	
TEST4	鋼製剛飛翔体	50	44.3	
TEST5	ステンレス製柔飛翔体	50	49.8	2階床外壁
TEST6	ステンレス製柔飛翔体	150	150.3	
TEST7	樹脂製柔飛翔体	150	145.1	
TEST8	鋼製剛飛翔体	50	48.8	

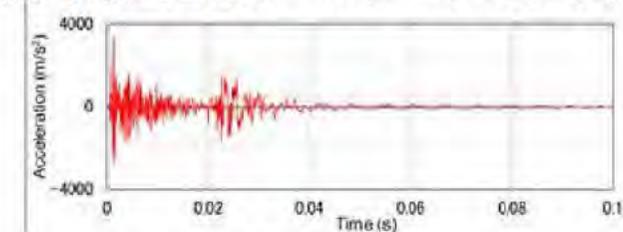
出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11, (2020) 2.6.12を一部編集

出典:「地震・津波及びの外部事象等に係る施設・設備の脆弱性評価に関する研究」  
RREP-2021-4001 安全研究成果報告 地震・津波研究部門 原子力規制庁 長官官房  
技術基盤グループ 令和3年6月に一部加筆

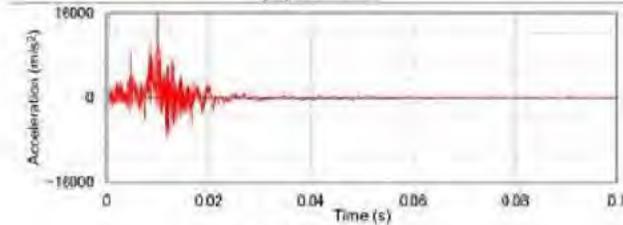
## 2. 竜巻の影響評価及び対策(19/23)

### 【別紙1】飛翔体の衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する実験研究(3/4)

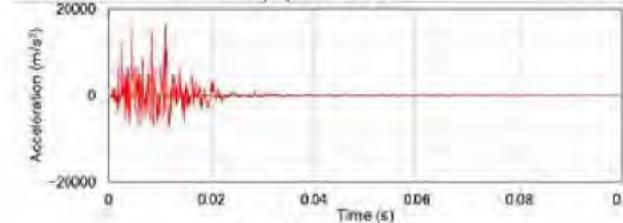
○飛翔体衝突時の模型構造物の応答加速度を示す。  
飛翔体が2階外壁中央に衝突した時の3階床の加速度時刻歴を各ケースについて示す。



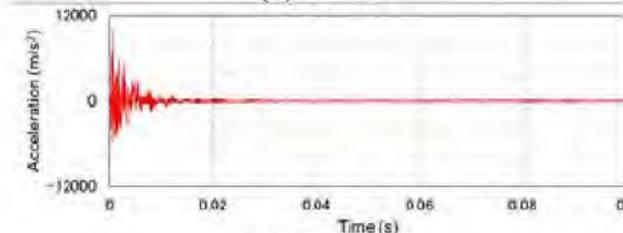
(a)TEST-1



(b)TEST-2



(c)TEST-3



(d)TEST-4

\*当社注記:

- ・各実験ケースで衝突直後(～0.03秒)に大きな加速度が測定され、時間経過に応じて減衰している。
- ・衝突速度が高く(約150m/s)運動エネルギーが大きいTEST2,3の最大加速度は、TEST1(約50m/s)の最大加速度に比べて4～6倍に達する。
- ・TEST4の鋼製剛飛翔体による最大加速度は、柔飛翔体のTEST1に比べて大きく、かつ最も短時間で減衰。剛体衝突時の衝撃荷重の作用時間が短いことを確認

表 2.6.1 実験ケース

Table 2.6.1 Experimental case

ケース名	飛翔体種類	目標衝突速度(m/s)	実測衝突速度(m/s)	衝突面位置
TEST1	ステンレス製柔飛翔体	50	52.2	2階外壁中央
TEST2	ステンレス製柔飛翔体	150	150.7	
TEST3	樹脂製柔飛翔体	150	146.5	
TEST4	鋼製剛飛翔体	50	44.3	
TEST5	ステンレス製柔飛翔体	50	49.8	2階床外壁
TEST6	ステンレス製柔飛翔体	150	150.3	
TEST7	樹脂製柔飛翔体	150	145.1	
TEST8	鋼製剛飛翔体	50	48.8	

出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11、(2020) 2.6.12を一部編集

出典:「地震・津波及びの外部事象等に係る施設・設備の脆弱性評価に関する研究」RREP-2021-4001 安全研究成果報告 地震・津波研究部門 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 令和3年6月に一部加筆

「飛翔体衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する基礎的研究(その5:壁中央への衝突実験結果の比較)」日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)2019年9月

図4 衝突壁面側3階床の面外応答加速度時刻歴

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(20/23)

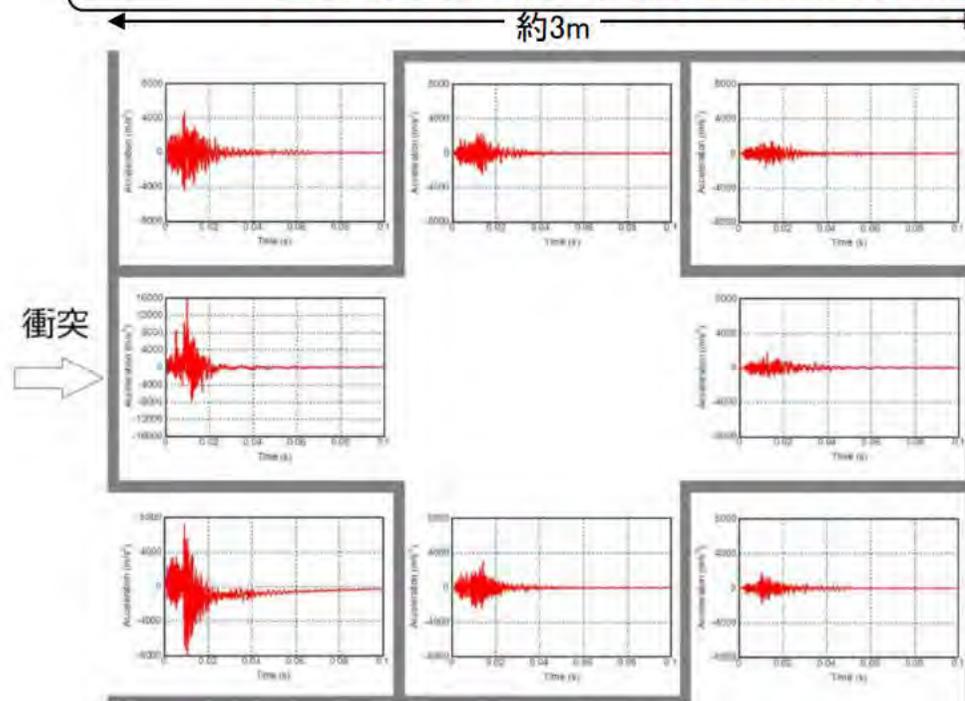
### 【別紙1】 飛翔体の衝突による構造物内の衝撃波伝播に関する実験研究(4/4)

○飛翔体衝突時の模型構造物内での衝撃の伝播状況, 最大加速度と距離の関係を示す。

- ・左図: 飛翔体が2階外壁中央に衝突した時の3階各部床の加速度時刻歴(TEST2)
- ・右図: 最大加速度と距離の関係(TEST1)

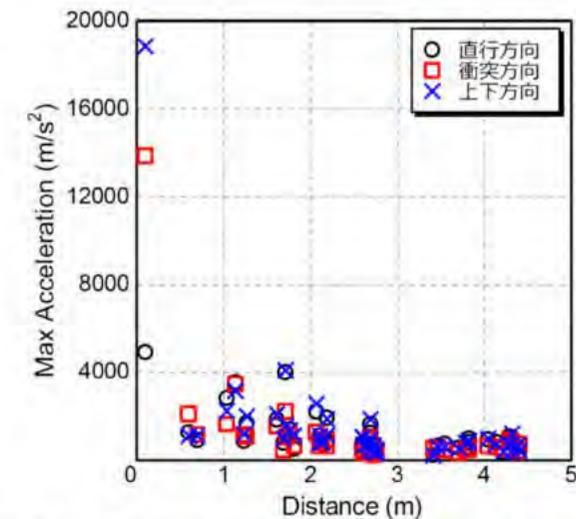
○衝突壁面に近い部位の加速度が最も大きく, そこから離れるほど加速度は小さくなる。衝突壁面至近での最大加速度は $10,000\text{m/s}^2$ を超過しているが, 3m程度離れると加速度は概ね1/10以下程度に留まる。

\*当社注記: 本実験より, 飛翔体の衝突による衝撃は, 壁・床部の鉄筋コンクリート躯体中を伝播していく過程で 拡散・吸収されていき, 衝突箇所からの距離に応じて減衰していくことが分かる。



出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11を一部編集

図2.6.10 2階壁部衝突における3階各部床での面外加速度時刻歴(TEST2)



出典) 鹿島建設(2019) 2.6.11のデータを基に  
作図

図2.6.13 TEST1における最大加速度と  
距離の関係

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(21/23)

### 【別紙2】大規模構造物への航空機衝突による衝撃振動解析(1/2)

○竜巻飛来物からは解離した極端な想定となるが、原子炉施設への飛来物の衝突事例として、大型航空機が原子炉建屋に衝突した際の建屋の振動応答のシミュレーション解析結果を参照する。

構造物:汎用構造解析コードLS-DYNAにて、幅100m、奥行70m、高さ75mの5階建原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造物を積層シェル要素でモデル化  
(外壁は板厚1.6m、内部の壁と床は厚さ1m、10m~20m角の部屋)

衝突物\* :  
・衝突箇所は原子炉建屋モデルの4階外壁、大型航空機B747-400、速度500km/h(約139m/s)  
・航空機の正面投影面積と同じ円型領域に荷重を入力  
・衝撃荷重についてB747-400による値(1.0倍)を0.5倍及び0.1倍に減少させたケースも解析

\*当社注記: B747-400の重量約400tより、衝突時の運動エネルギーは約3,800MJとなり、竜巻飛来物(鋼製材:176kJ)の1万倍以上に及ぶものとなっている。



Fig.6 Model of Large-scale Structure

解析に用いた原子炉建屋のモデル  
(LS-DYNA積層シェル要素)

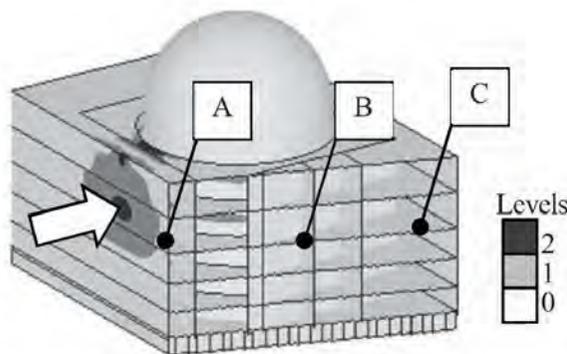


Fig.8 Crack contour of Scale1.0 load and evaluating point of Structure

建屋の各評価点  
(A: 荷重点近傍, B: 約50m位置, C: 約70m位置)

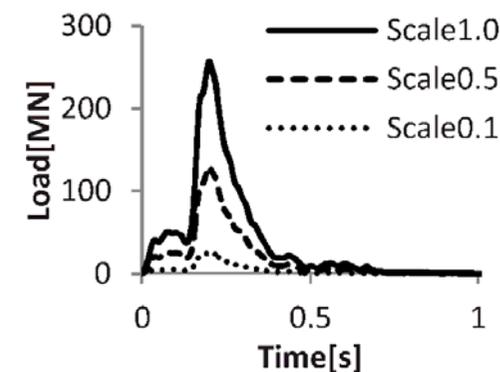


Fig.7 History of impact load

衝撃荷重の時刻歴  
(B747-400(1.0倍), 0.5倍, 0.1倍)

出典:「(13)大規模構造物への航空機衝突による衝撃振動解析」第10回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集(2010年12月) 土木学会 に一部加筆

### 【別紙2】大規模構造物への航空機衝突による衝撃振動解析(2/2)

解析結果:

- ・B747-400が衝突した荷重点近傍(評価点A)の加速度床応答スペクトルを示す。ここでは衝撃荷重を0.5倍及び0.1倍に減少させたケースも記載している。スケールの違いによる加速度床応答が非線形になっているのは、衝撃荷重が加わった場所付近の壁床面のクラック発生の有無、クラック発生の様相が異なることによる剛性低下の違いによると考察されている。
- ・本解析結果より、衝突箇所の近傍においても、床応答スペクトルのピークは $100\text{m/s}^2$  ( $1.0 \times 10^5\text{mm/s}^2$ )を下回り、衝撃荷重を1/10にするとピークは $10\text{m/s}^2$ 程度 ( $1.0 \times 10^4\text{mm/s}^2$ )に留まることが確認できる。

\*当社注記: 東海第二発電所の原子炉建屋の構造, 外壁の厚さ等は本解析の原子炉建屋モデルと異なり, 厳密な比較はできないものの, 竜巻飛来物を遥かに上回る規模の衝撃荷重が加わった際の影響の目安が把握できると考える。

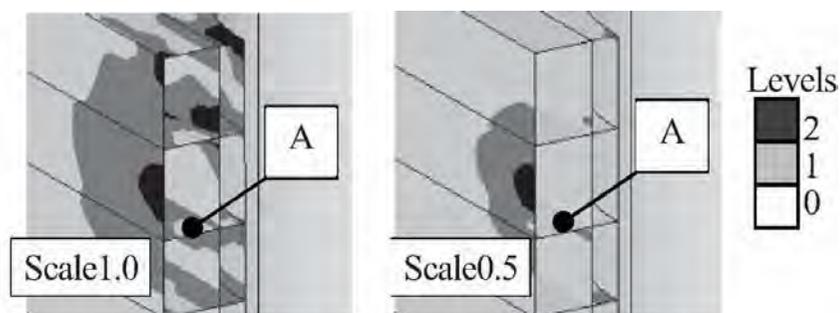


Fig.9 Crack contour around the Scale1.0 and Scale0.5 load point

荷重点近傍の壁床面のクラック発生状況  
(衝撃荷重1.0倍及び0.5倍, 0.1倍ではクラック発生なし)

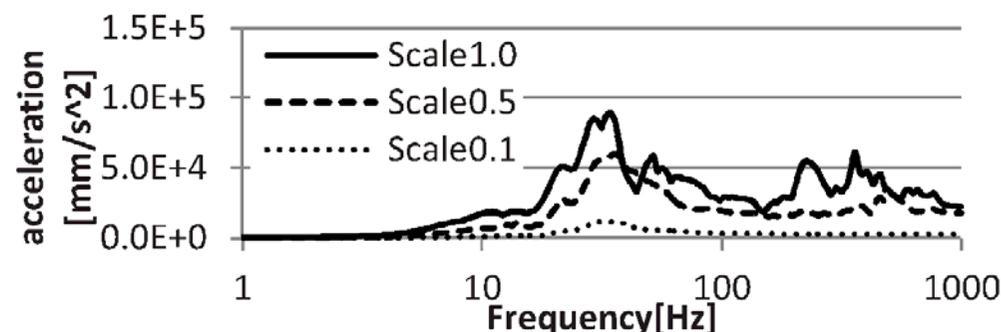


Fig.13 FRS at a point A on the floor with RC material

衝撃荷重負荷時の加速度床応答スペクトル(上下方向, 建屋4階床上評価点A)

出典:「(13)大規模構造物への航空機衝突による衝撃振動解析」第10回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集(2010年12月) 土木学会 に一部加筆

## 2. 竜巻の影響評価及び対策(23/23)

### 【別紙3】建屋内設備の衝撃に対する耐性の知見

○飛翔体の衝突による**衝撃に対する建屋内設備の耐性**について、既存の知見を参照する。米国原子力エネルギー協会が作成したガイドラインNEI07-13において、原子炉施設への航空機衝突の影響に関する試験研究を踏まえて、衝撃に対する各種機器の耐性を整理している。これによると**耐力の大きい設備で200G (約1,960m/s<sup>2</sup>)**、**耐力の小さい設備でも27G (約264m/s<sup>2</sup>)**と見積もっている。(G=9.8m/s<sup>2</sup>)

NEI 07-13, Revision 8P  
April 2011

Table 3-3  
Equipment Shock Damage Categories

Category	Linear Distance for Susceptibility	Example Equipment
A (median fragility limit 27g)	<SD1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sump pumps</li> <li>Control panels</li> <li>Monitoring and control devices (current trips, switches probes, transmitters, transducers, controllers)</li> <li>Diesel generators (generator, governors, linkage)</li> <li>Gas turbine generators</li> <li>Relays</li> <li>AC switchboard and DC power supplies</li> <li>Unit substations (Transformers, voltage regulators, circuit breakers, motor controls)</li> <li>Computers</li> </ul>
B (median fragility limit 54g)	<SD2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air conditioning units</li> <li>Air handlers</li> <li>Pumps (centrifugal and positive displacement)</li> <li>Air compressors, storage tanks, dryers</li> <li>Indicators (pressure, temperature, flow)</li> <li>Station batteries</li> <li>Electrical panel boards (w/o air circuit breakers)</li> </ul>
C (median fragility limit 80g)	<SD3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fans (centrifugal and axial flow)</li> <li>Dampers, diffusers</li> <li>Electrical motor control centers</li> <li>Electrical panel boards (with air circuit breakers)</li> </ul>
D (median fragility limit 108g)	<SD4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tanks</li> <li>Heat exchangers</li> <li>Water chillers</li> <li>Instrument panels</li> <li>Motor-generators</li> <li>Molded case circuit breakers</li> <li>Dry transformers</li> </ul>
E (median fragility limit 160g)	<SD5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metal clad switchgear</li> </ul>

耐力小さい  
カテゴリーA  
中央値:27G

サンプポンプ, 制御盤,  
ディーゼル発電機, リレー,  
電源盤, コンピューター等

\*当社注記:

国内の各原子力設備の仕様は、米国規格等に準拠した規格・基準等に基づくものであり、上記NEI07-13の知見は**国内設備に対してもある程度参考になるもの**と考える。

NEI 07-13, Revision 8P  
April 2011

160g)		
F (median fragility limit 200g)	<SD6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valves</li> <li>Strainers &amp; filters</li> <li>Expansion joints</li> <li>Flow orifices</li> </ul>

耐力大きい  
カテゴリーF  
中央値:200G

弁, ストレーナ, フィルター  
伸縮継手, 流路オリフィス

出典 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13)) に一部加筆  
\*NEI07-13は米国NRCにRegulatory Guide 1.217でエンドースされており、規制当局から認められた評価手法となっている。

---

(補足説明資料 3. 火山の影響評価及び対策)

(補足説明資料 3-1. 火山の立地, 影響評価(荷重条件))

### 3-1. 火山の立地, 影響評価(荷重条件)(1/20) 評価の変遷



#### 【立地評価】

##### ➤ 申請時の評価(H26.5)

- ・ 地理的領域内の第四紀火山「32火山」うち, 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として「12火山」を抽出
- ・ 抽出した火山による設計対応不可能な火山事象の影響はなく, モニタリング対象外



##### ➤ 申請以降実施した調査・検討

- ・ 地理的領域内の第四紀火山「32火山」を対象に, 個別文献調査を行い, 各火山の詳細な活動履歴を把握することを目的に, 階段ダイヤグラムを作成



##### ➤ 最終評価(H29.6)

- ・ 地理的領域内の第四紀火山「32火山」うち, 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として「13火山」を抽出(笹森山を追加)
- ・ 抽出した火山による設計対応不可能な火山事象の影響はなく, モニタリング対象外

該当頁

88～94

#### 【影響評価】

##### ➤ 申請時の評価(H26.5) 設計上考慮する降下火砕物の層厚を40cmとした。

- ・ 町田・新井(2011)によれば, 敷地において最大層厚となる降下火砕物は赤城鹿沼テフラであり, 敷地は等層厚線の10cm～40cmの範囲に位置
- ・ 敷地近傍のボーリング調査の結果, 約20cmの層厚を確認



##### ➤ 申請以降実施した調査・検討

- ・ 文献調査……申請時の評価に山元(2013)等を追加して評価
  - 敷地に最も影響の大きい降下火砕物 ⇒ 赤城鹿沼テフラ
  - 山元(2013): 20cm(敷地付近), 34cm～38cm(敷地南側) ⇒ 40cmと評価
  - 赤城鹿沼テフラと同規模の噴火の降灰分布の事例を確認・整理: 最大約25cm
- ・ 地質調査……申請時以降, 以下の調査を実施
  - 敷地及び敷地近傍のボーリング調査: 約15～20cm
  - 敷地周辺の露頭調査: 文献の分布と整合していることを確認(10cm～40cm)
  - 敷地近傍の露頭調査(東海駅露頭): 約20cm※

※露頭詳細観察により浸食による影響を受けていないことを立体的な堆積状況も踏まえ確認

以上のことから, 敷地近傍における赤城鹿沼の層厚データの信頼性が向上
- ・ シミュレーション…赤城鹿沼テフラと同規模の噴火を想定したシミュレーションを実施: 約49cm(不確かさを考慮)



##### ➤ 最終評価(H29.6)

文献調査, 地質調査の結果からは40cm程度と評価されるが, さらなる保守性として検討した降下火砕物シミュレーションによる不確かさを考慮した解析の結果49cmも踏まえ, これらを総合的に判断し, 設計上考慮する降下火砕物の層厚を保守的に50cmと設定

95～  
106

# 3-1. 火山の影響評価及び対策 (2/20) 概要



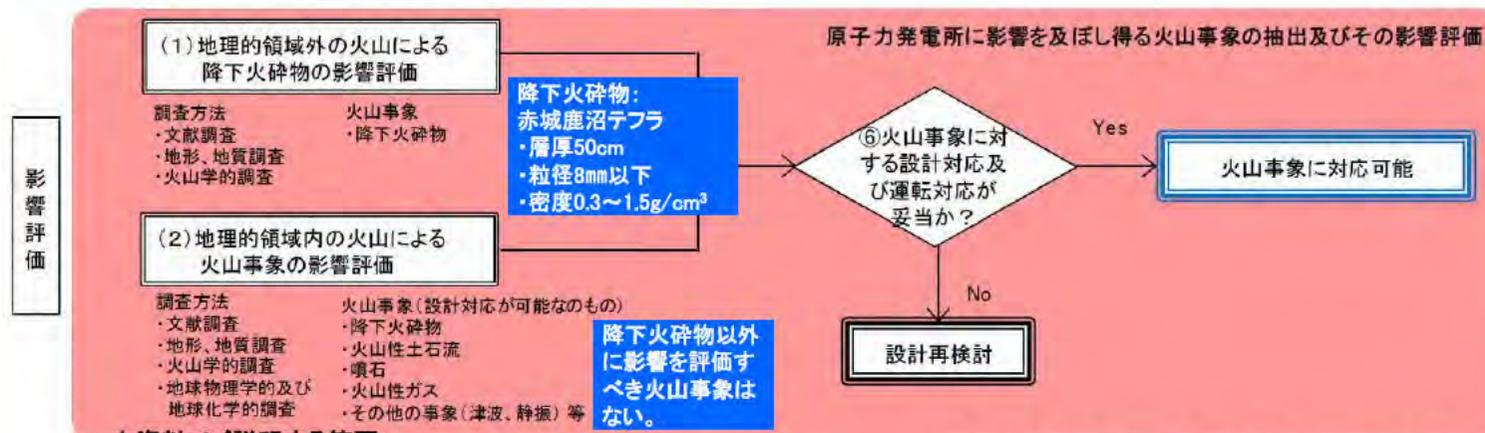
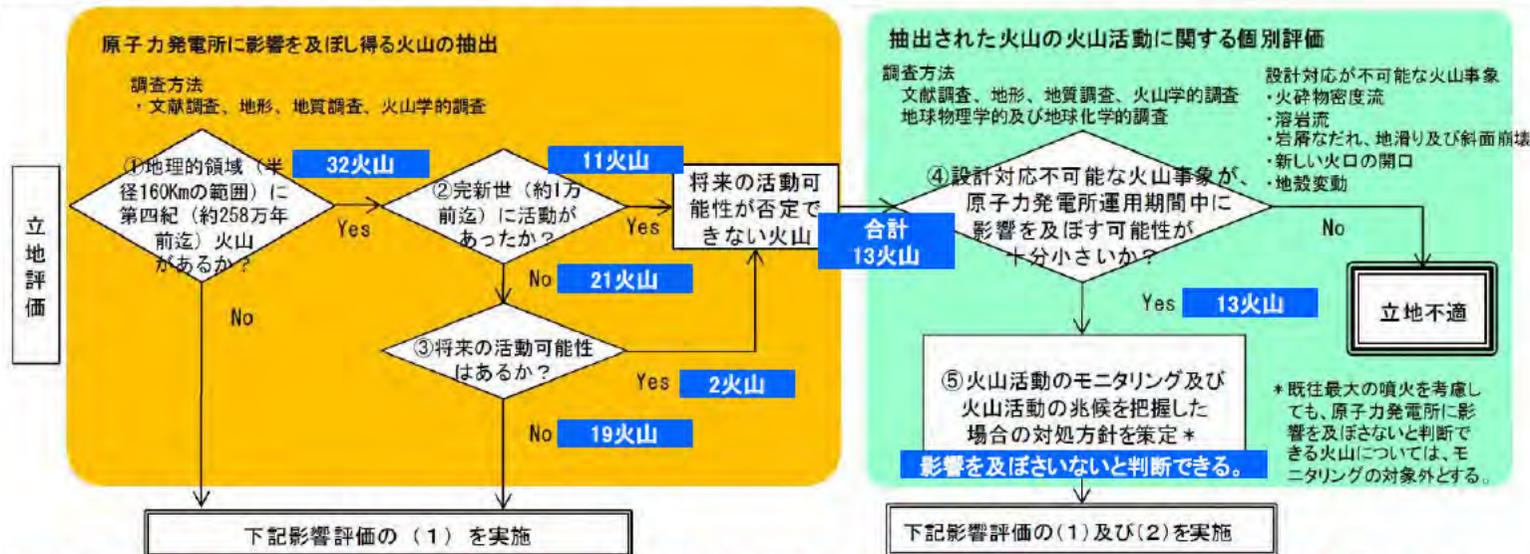
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従って、東海第二発電所の火山影響評価を実施した。

## 【立地評価結果】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として13火山を抽出
- 抽出された火山の火山活動に関する個別評価の結果、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性はないと判断される(モニタリング対象外)。

## 【影響評価結果】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物以外に影響評価すべき火山事象はない。
- 評価すべき降下火砕物の層厚は文献調査、地質調査及びシミュレーションの結果を総合的に評価し50cmとした。



本資料でご説明する範囲

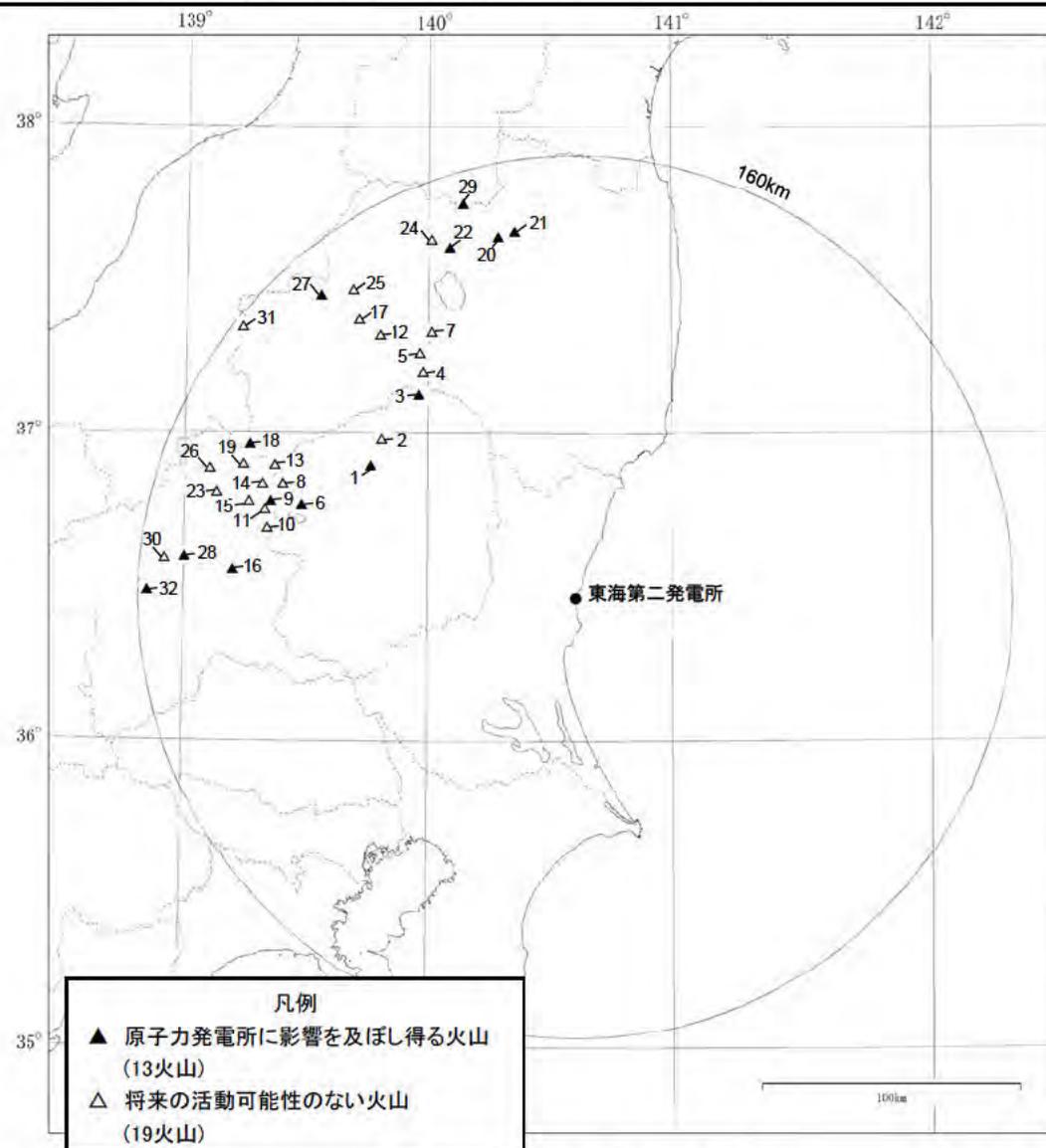
※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

### 3-1. 火山の影響評価及び対策 (3/20) 立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出



東海第二発電所の地理的領域(半径160km範囲)に位置する第四紀(約258万年前迄)火山として、陸域の32火山が抽出された。  
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出された13火山の分布は以下のとおり。

- 完新世に活動を行った火山:11火山 → 高原山, 那須岳, 男体・女峰火山群, 日光白根山, 赤城山, 燧ヶ岳, 安達太良山, 磐梯山, 沼沢, 吾妻山, 榛名山
- 将来の活動可能性が否定できない火山:2火山 → 笹森山, 子持山



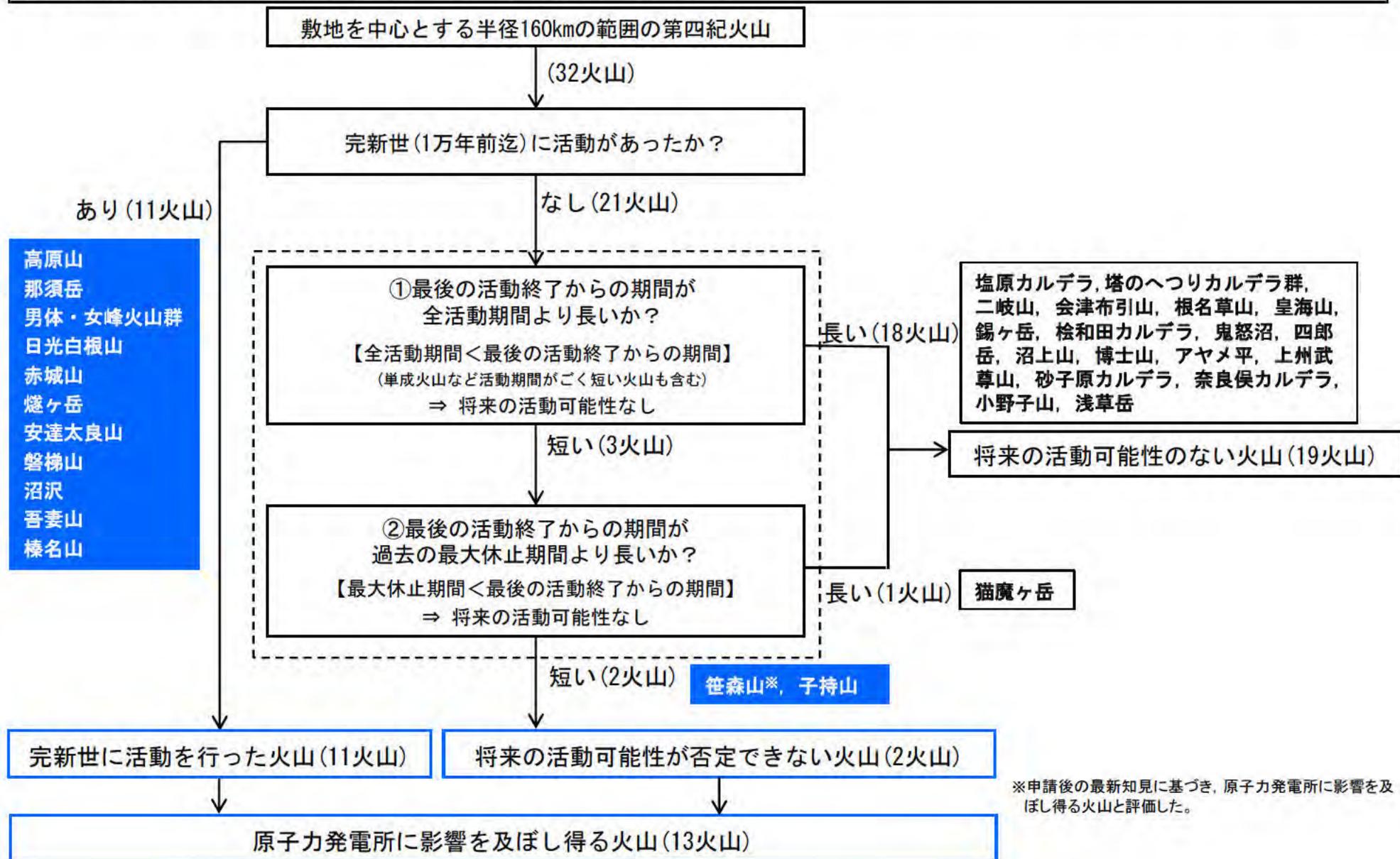
No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
1	たかはらやま 高原山	88
2	地蔵堂山	90
3	なすだけ 那須岳	93
4	日光白根山	98
5	二荒山	104
6	なんたい・によほう 男体・女峰火山群	105
7	赤城山	108
8	磐梯山	110
9	にっこうしらねさん 日光白根山	116
10	赤城山	116
11	磐梯山	117
12	磐梯山	118
13	吾妻山	120
14	四郎山	123
15	沼沢山	124
16	あかぎさん 赤城山	127

No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
17	榛名山	127
18	ひうちがたけ 燧ヶ岳	130
19	安達太良山	131
20	あだたらやま 安達太良山	133
21	さきもりやま 笹森山	133
22	ぼんだいさん 磐梯山	135
23	上野武蔵山	138
24	磐梯山	141
25	妙子園カルデラ	143
26	地蔵堂山	145
27	ぬまざわ 沼沢	143
28	こもちやま 子持山	145
29	あづまやま 吾妻山	147
30	心野山	150
31	吾妻山	155
32	はるなさん 榛名山	157

3-1. 火山の影響評価及び対策 (4/20) 立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出  
 将来の活動可能性が否定できない火山の抽出



敷地の地理的領域の第四紀火山(32火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動性を検討した結果、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、将来の活動可能性が否定できない13火山が抽出された。



※申請後の最新知見に基づき、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山と評価した。

### 3-1. 火山の影響評価及び対策 (5/20)立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 活動履歴・階段ダイヤグラムの例【16.赤城山】



地理的領域内の第四紀火山について、将来の活動可能性の有無については、文献調査結果を基に、当該火山の第四紀の噴火時期、噴火規模、活動期間を以下のとおり整理し評価した。

火山名	赤城山
敷地からの距離	約127km
火山の形式	複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム
活動年代	30万年前より古い~1251年
概要	赤城山の活動は中央火口丘形成期, 新期成層火山形成期, 古期成層火山形成期に分けられる。最新活動期の中央火口丘形成期は4.4万年前に開始され, 最新噴火の1251年噴火による降下火砕物が確認されている(山元(2014a), 青木他(2008), 及川(2012)等)。

・火山名, 火山の形式は中野他(2013)に基づく

#### 赤城山の活動履歴

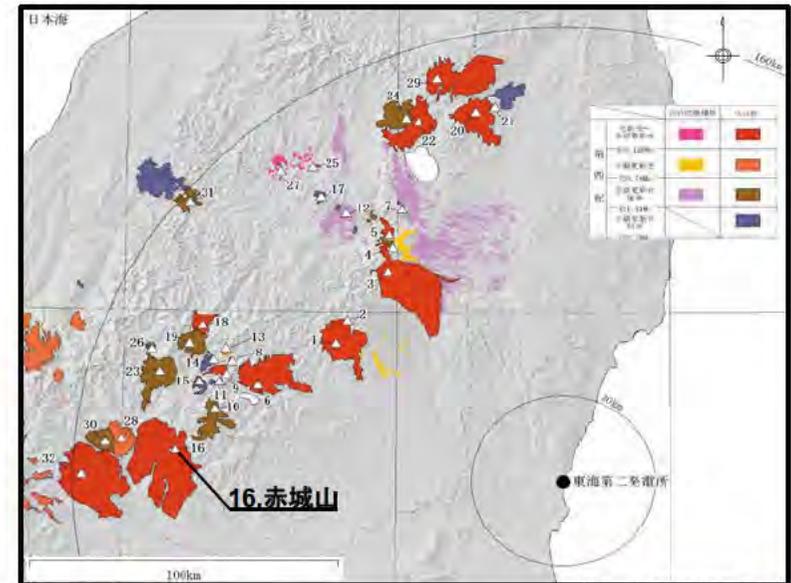
年代	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km <sup>3</sup> )	参考文献
1251年	中央火口丘形成期	1251年噴火噴出物 <sup>※</sup> 赤城鹿沼テフラ 等	2.49	大森編(1986) 鈴木(1990) 富田他(1994) 宇井編(1997) 青木他(2008) 高橋他(2012) 及川(2012)
		新期成層火山形成期	ガラ石質火砕流 榊形山溶岩 等	
30万年前	古期成層火山形成期	荒山溶岩	58	山元(2014a) 山元(2014b) 山元(2016) 気象庁編(2013) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 編(2014)
		沼尾川溶岩 等		

・活動年代については、西来他(2016)に基づき評価

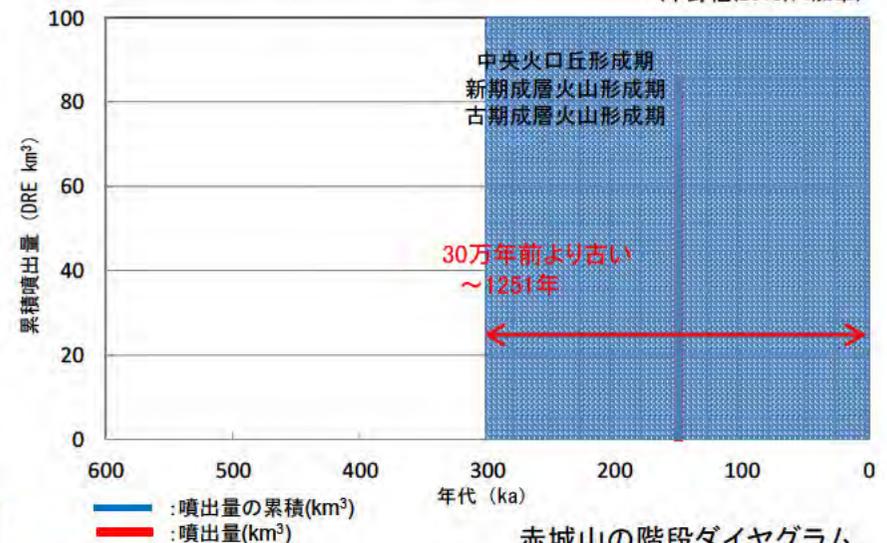
・下線: 有史以降の噴出物

※気象庁編(2013)によれば、赤城山における有史以降の火山活動は1251年噴火のみ(堆積物未確認)とされるが、早川(1999)によれば、1251年噴火の根拠とされる吾妻鏡の記録は、噴火ではなく山火事の記録とされる。一方で、及川(2012)及び峰岸(2003)により、同時期の噴火を記録した別の歴史記録も報告されている。

完新世に活動を行った火山であり、  
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した。



(中野他(2013)に加筆)

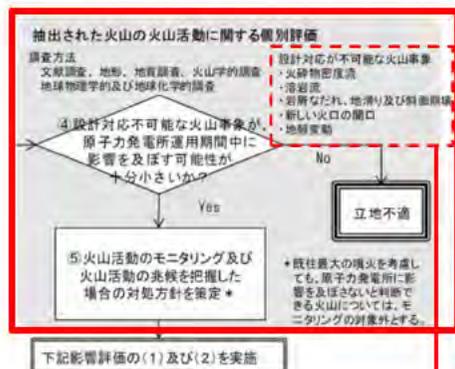


・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。  
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

### 3-1. 火山の影響評価及び対策 (6/20) 立地評価 抽出された火山の火山活動に関する個別評価



原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出された13火山について、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性について検討した。



原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充滿した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。