
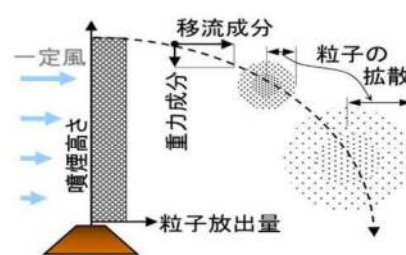
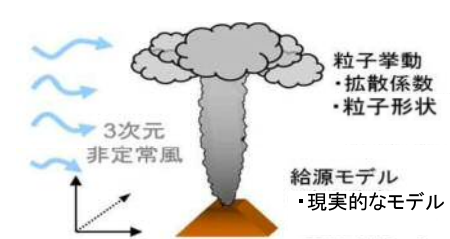


- 
- 1.1 ご質問の背景の整理
 - 1.2 TEPHRA2による敷地への影響確認
 - 1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.2.2 敷地への影響確認
 - 1.3 FALL3Dによる敷地への影響確認**
 - 1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討**
 - 1.3.2 敷地への影響確認
 - 1.3.3 より保守的なケースの検討
 - 1.4 まとめ

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討 (1) 計算の概要

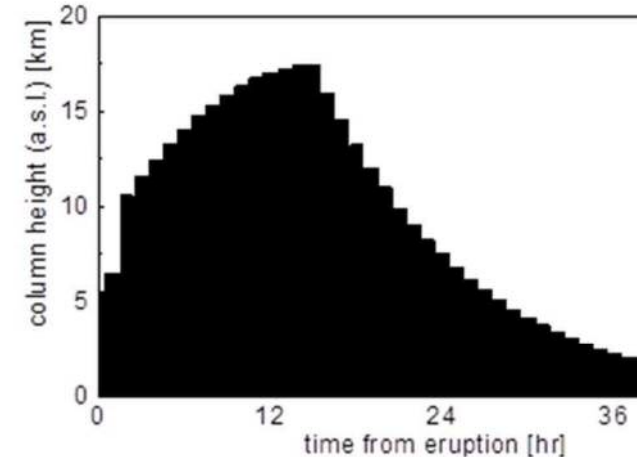
- FALL3Dは、噴煙柱形状が現実的なモデルであるとともに噴煙柱や風の経時変化が考慮でき、直接的に濃度を算出できる。一方で、計算負荷も極大で未だ研究段階。
- 今回の検討では、当社評価の妥当性確認のため、試算的にFALL3Dを実施した。

解析モデル		TEPHRA2	FALL3D
概要		<ul style="list-style-type: none"> ○ 単純化された計算モデル ○ 噴火継続時間、風の時間変化などの時間の概念無し ○ 計算負荷が小さく、多くの研究者や自治体で使用実績あり 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 完全数値計算モデル ○ 噴火継続時間、風の時間変化などの考慮が可能 ○ 計算負荷も極大で、未だ研究段階
入力条件	噴煙モデル	1モデル(経験的な簡易モデル)	4モデル
	気象条件	2次元 定常風	3次元 非定常風
	移流・拡散	簡略化(水平拡散のみ)	多数(水平・鉛直拡散、粒子形状等)
	パラメータ数	極少(様々な現象を無視・簡略化)	極多(自由度が高い)
	解析モデルのイメージ		
計算結果		最終降灰量(濃度算定は不可)	時々刻々の降灰量、気中濃度

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討 (2) 計算条件

- FALL3Dによる計算では、TEPHRA2と同様に、再現計算により入力パラメータの妥当性を確認した上で、敷地への影響を確認。
- 再現計算は、大正噴火時の気象条件が不明であること、FALL3Dは計算負荷が極大で逆解析が困難であることから、服部 (2016) の手法により冬季における代表風を選定し実施。
- 噴火パラメータ、粒子パラメータについては、文献に示される調査データ等に基づき実施。



噴煙柱高さの時間変化

項目		単位	設定値	根拠など	
噴火 パラメータ	噴出源	噴出位置	—	北緯 31° 34' 38" 東経 130° 39' 32"	
		噴出標高	m	再現検討:450 敷地への影響検討:1,060	
	噴煙柱	噴煙柱形状(a)	—	SUZUKI (Mastin式)	噴出物量・噴煙柱高度・噴火継続時間の整合性から選定
		噴火継続時間(b)	h	38:右上図	防災モデル (鹿児島大学 地震火山地域防災センター 大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災・減災の取り組み専門部会 交通への影響ワーキンググループ 桜島大噴火時の交通対策暫定レポート2018年5月版 P50等)
		噴煙柱高度(c)	km	非定常(2~18km):右上図	
		噴出物量(d)	km ³	0.26 (b,cに依存)	Todde et al(2017)と整合的

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討 (2) 計算条件

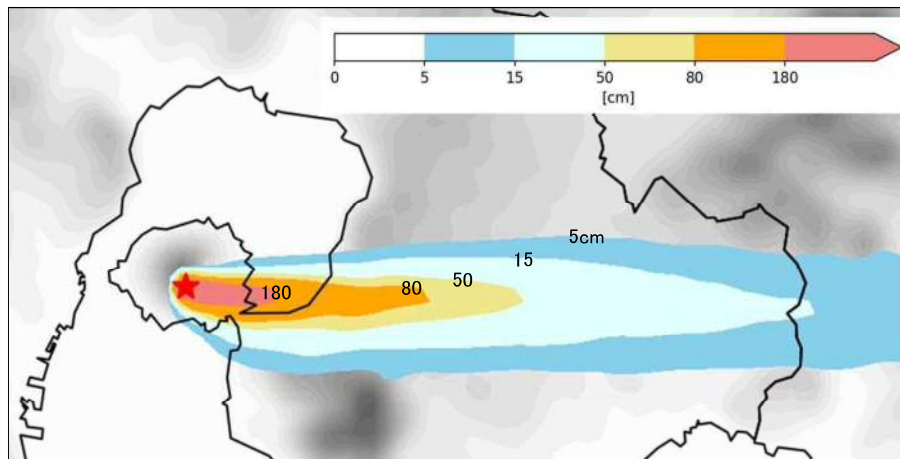
項目		単位	設定値	根拠など	
粒子 パラメータ	粒径	平均粒径	mm	$1/2^{-1.28} (\approx 2.4)$	Biass et al(2017)
		粒径分散	mm	$1/2^{2.25} (\approx 0.2)$	
		粒径範囲	mm	$1/2^{-8} (=256) \sim 1/2^6 (\approx 0.016)$	平均 $\pm 3\sigma$
		粒径階級数	—	1	服部(2016)
		真球度	—	1	服部(2016)
	密度	岩石密度	g/cm ³	2.6	Tephra2の推奨値
		軽石密度		0.676	Todde et al.(2017)
	拡散	水平	—	CMAQ	服部(2016)
		鉛直	—	Monin-Obukhov相似則	
		沈降	—	Arastoopour	
グリッド パラメータ	解像度	水平	km	1	服部(2016)
		鉛直	km	0.5	服部(2016)
気象 パラメータ	風向、風速		—	冬季代表風	冬季代表風※:服部(2016) ※ 多次元変数の統計処理に気象分野で広く利用されている自己組織化マップSOMにより選定
	時間ステップ		s	30	服部(2016)

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

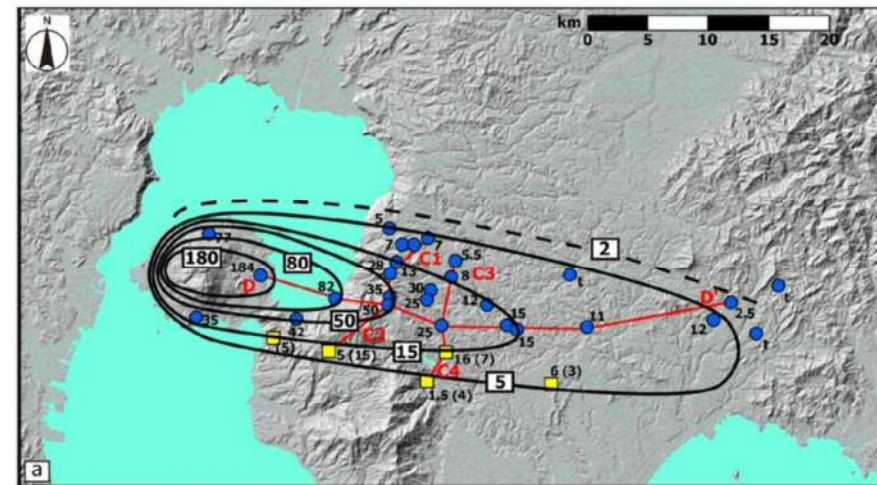
1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(3) 再現計算の結果

- FALL3Dによる再現計算結果とTodde et al., 2017に記載される層厚分布との比較により、再現が概ね可能であることを確認。




再現計算結果
(1989年12月25日12時)



桜島大正噴火における火山灰層厚分布
(Todde et al., 2017)



余白

- 
- 1.1 ご質問の背景の整理
 - 1.2 TEPHRA2による敷地への影響確認
 - 1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.2.2 敷地への影響確認
 - 1.3 FALL3Dによる敷地への影響確認**
 - 1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.3.2 敷地への影響確認**
 - 1.3.3 より保守的なケースの検討
 - 1.4 まとめ

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.2 敷地への影響確認

(1) 計算の概要

- 再現計算に基づくパラメータ（噴出標高は山頂に変更）を用いて、「代表的な風」（基本ケース）及び「敷地向きの風」に対する、川内原子力発電所地点での層厚、濃度を評価。

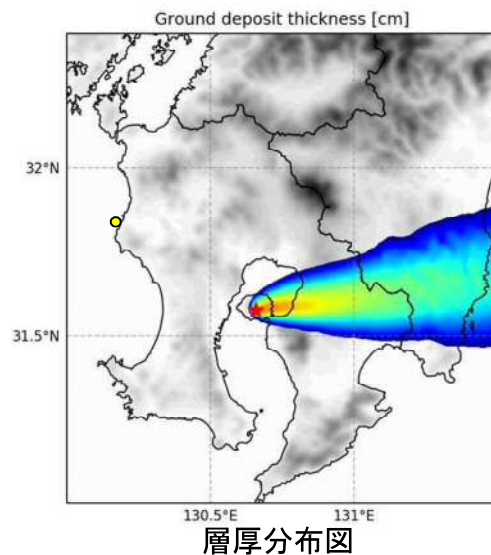
ケース		風		噴出率		
		風向・風速	説明	噴出物量	噴火継続時間	説明
再現計算 に基づく ケース	①	代表的な風 (基本ケース)	夏季代表風(服部(2016)と同様の手法)	0.26km ³	38h	・再現計算に 基づくパラ メータ
	②		TEPHRA2で層厚が中央値となる日時の風			
	③		TEPHRA2で層厚が平均値となる日時の風			
	④	敷地向きの風	TEPHRA2で層厚が最大値となる日時の風			

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

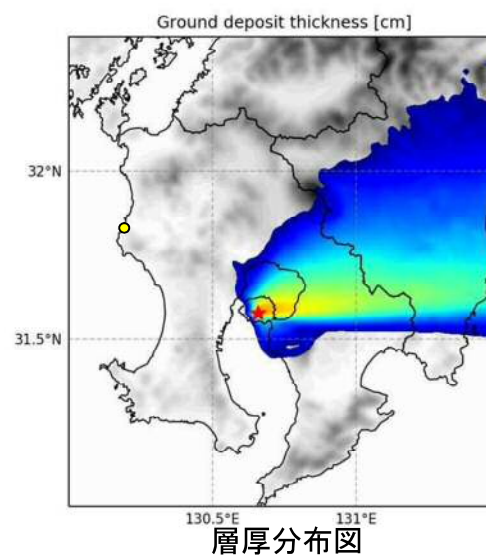
1.3.2 敷地への影響確認

(2) 計算結果 [ケース①,②,③:基本ケース]

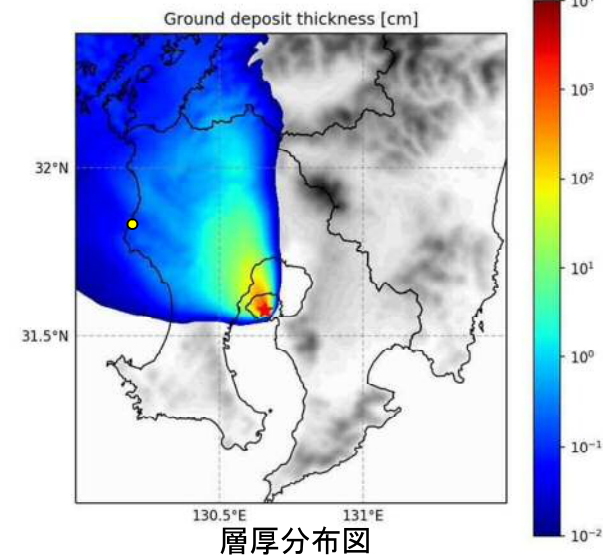
- 再現計算に基づくパラメータ (噴出物量 0.26km^3 、噴火継続時間 38h) を用いて、夏季代表風 (服部 (2016) と同様の手法)、TEPHRA2の結果において敷地での層厚が中央値及び平均値を与える風の3ケースについて、層厚、濃度を検討した。
- その結果、すべてのケースにおいて、当社評価 (層厚 15cm 、気中濃度 3.3g/m^3) を十分下回ることを確認した。



①夏季代表風
(2007年6月23日21時)



②中央値の風
(2010年11月21日9時)

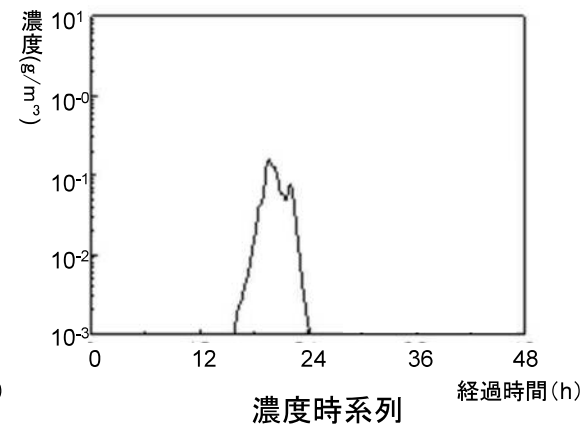
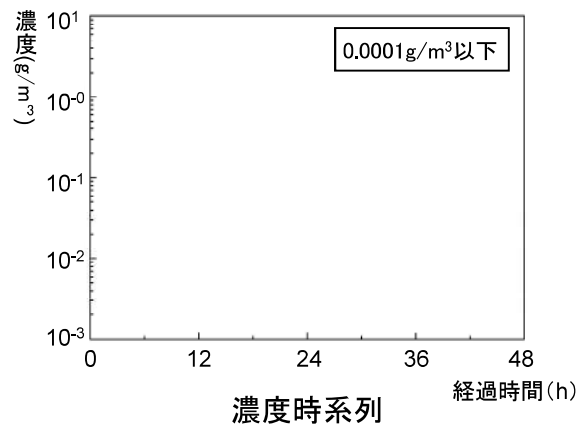
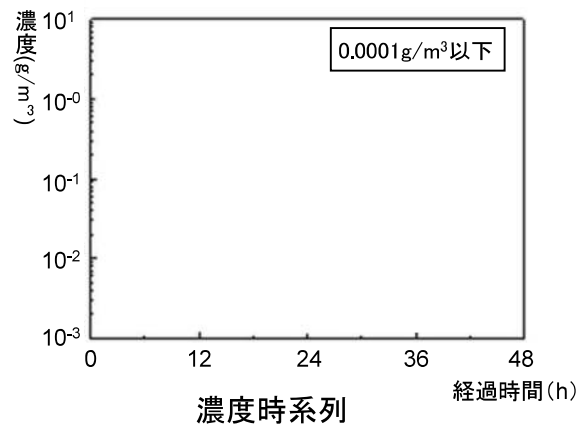
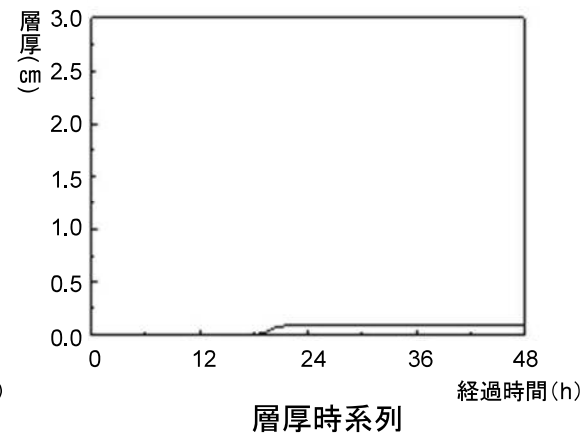
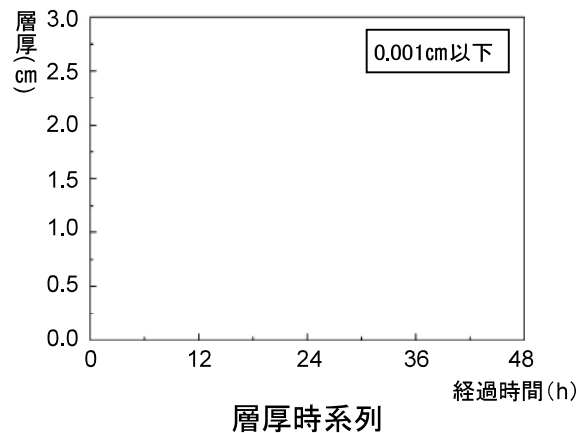
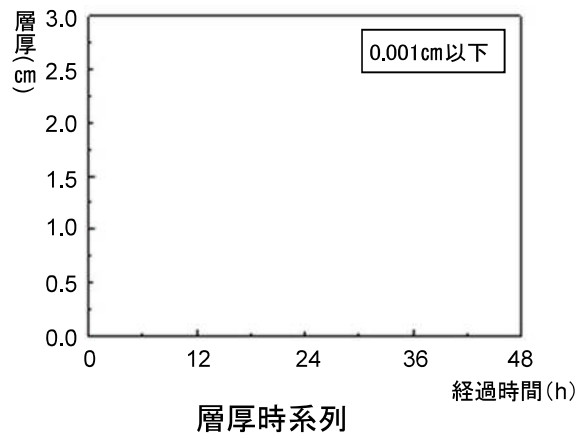


③平均値の風
(2007年8月14日21時)

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.2 敷地への影響確認

(2) 計算結果 [ケース①,②,③:基本ケース]



①夏季代表風
(2007年6月23日21時)

②中央値の風
(2010年11月21日9時)

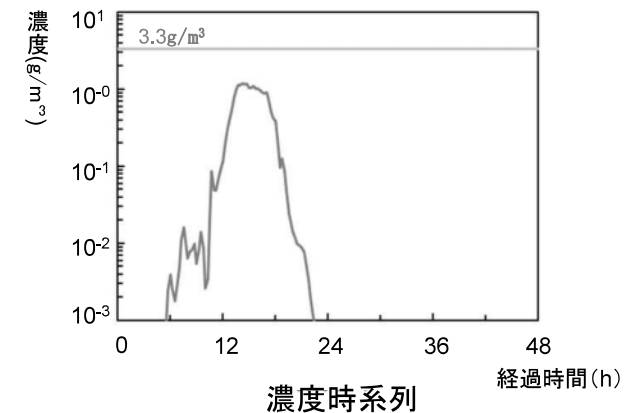
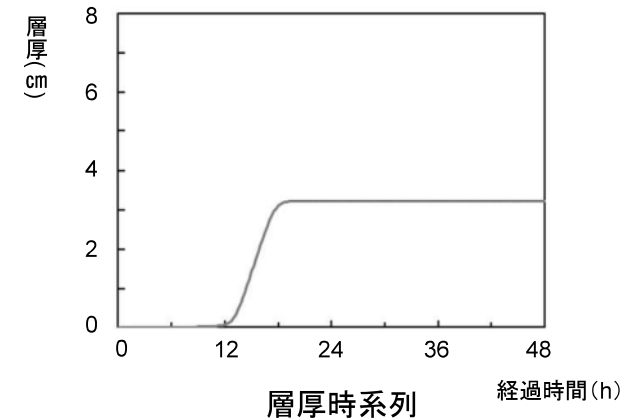
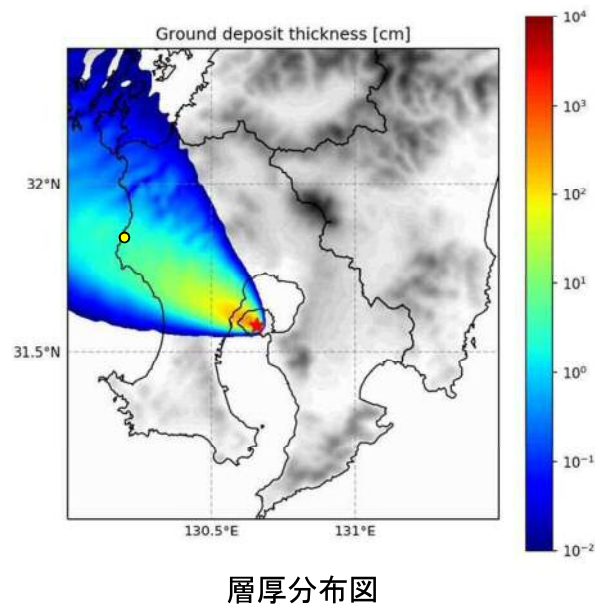
③平均値の風
(2007年8月14日21時)

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認


1.3.2 敷地への影響確認

(2) 計算結果 [ケース④:敷地向きの風]

- 再現性が確認されたパラメータ (噴出物量 0.26km^3 、噴火継続時間 38h) を用いて、敷地向きの風 (TEPHRA2において敷地での層厚が最大値を与える日時の風) に対する層厚、濃度を検討した。
- その結果、当社評価 (層厚 15cm 、気中濃度 $3.3\text{g}/\text{m}^3$) を十分下回ることを確認した。



④敷地向きの風 (2010年8月4日21時)

- 
- 1.1 ご質問の背景の整理
 - 1.2 TEPHRA2による敷地への影響確認
 - 1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.2.2 敷地への影響確認
 - 1.3 FALL3Dによる敷地への影響確認**
 - 1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.3.2 敷地への影響確認
 - 1.3.3 より保守的なケースの検討**
 - 1.4 まとめ

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.3 より保守的なケースの検討

(1) 計算の概要

- 層厚、濃度への影響が大きい「噴出率」について、再現計算に用いたパラメータよりも保守的なパラメータを用いた検討を行った。

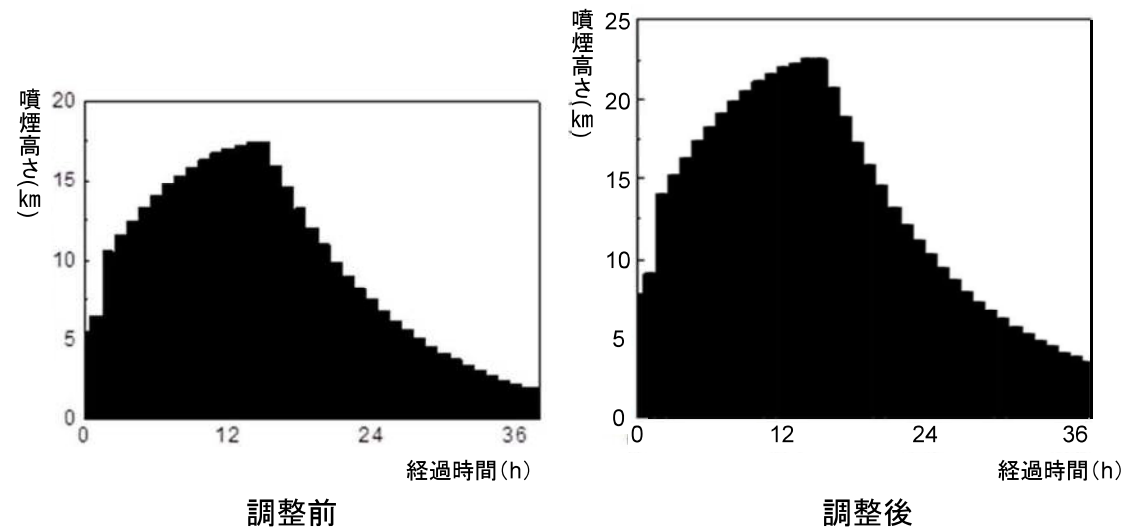
ケース		風		噴出率		
		風向・風速	説明	噴出物量	噴火継続時間	説明
再現計算に基づくケース	①	代表的な風 (基本ケース)	夏季代表風(服部(2016)と同様の手法)	0.26km ³	38h	・再現計算に基づくパラメータ
	②		TEPHRA2で層厚が中央値となる日時の風			
	③		TEPHRA2で層厚が平均値となる日時の風			
	④	敷地向きの風	TEPHRA2で層厚が最大値となる日時の風			
より保守的なケース	④-1	敷地向きの風	TEPHRA2で層厚が最大値となる日時の風	0.6km³ (山科1999等)	38h	・文献等で示される、より厳しいパラメータを採用した場合の噴出率 ・④-1と④-2を重ね合わせたより厳しい噴出率
	④-2			0.26km ³	24h (火山ガイト)	
	④-3			0.6km³ (山科1999等)	24h (火山ガイト)	

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.3 より保守的なケースの検討

(1) 計算の概要 [ケース④-1:敷地向きの風+噴出率(噴出物量 0.6km^3)]

- 噴出物量について、再現計算に基づき 0.26km^3 を使用しているが、山科 (1999) 等では、 0.6km^3 の値が示されている。
- このため、噴出物量を 0.6km^3 に変更したケースを検討した。
- ケース作成においては、噴煙柱高さを増大させることにより、噴出率を増大させた。具体的には、噴煙柱高さの観測記録を定数倍することにより、噴出物量が 0.6km^3 となるように調整している。



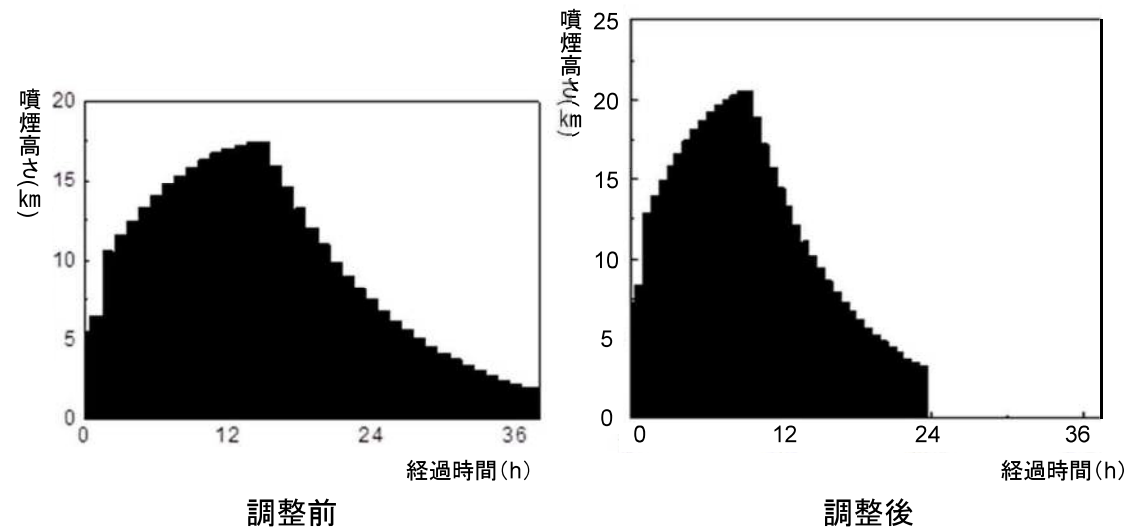
噴煙柱高さの時間変化に関する観測記録

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.3 より保守的なケースの検討

(1) 計算の概要 [ケース④-2:敷地向きの風+噴出率(噴火継続時間24h)]

- 噴火継続時間について、再現計算に基づき38時間を使用しているが、原子力規制委員会の火山ガイドでは、気中濃度の計算において24時間とすることが示されている。
- このため、噴火継続時間を24時間に変更したケースを検討した。
- ケース作成においては、噴煙柱高さを増大させることにより、噴出率を増大させた。具体的には、観測記録の噴火継続時間を24時間に変更し、噴出物量が減少しないよう、噴煙柱高さを定数倍している。



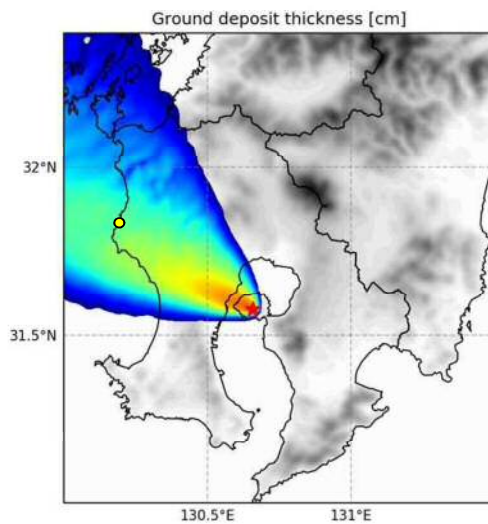
噴煙柱高さの時間変化に関する観測記録

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.3 より保守的なケースの検討

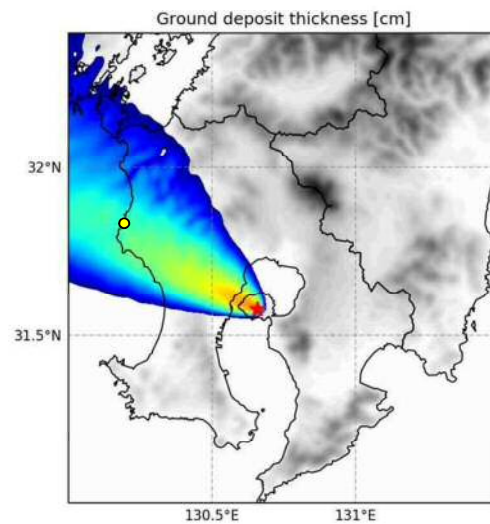
(2) 計算結果 [ケース④-1,④-2:敷地向きの風+噴出率]

- より厳しい噴出率 (噴出物量 0.6km^3 、噴火継続時間 24h) を用いて、敷地向きの風 (TEPHRA2において敷地での層厚が最大値を与える日時の風) に対する層厚、濃度を検討した。
- その結果、当社評価 (層厚 15cm 、気中濃度 3.3g/m^3) を十分下回ることを確認した。



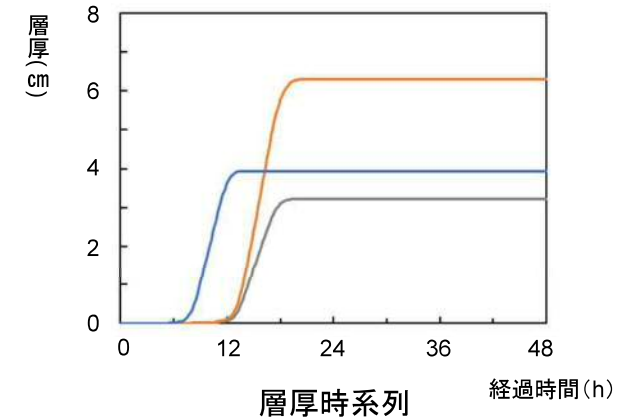
層厚分布図

④-1 敷地向きの風+
噴出率(噴出物量 0.6km^3)

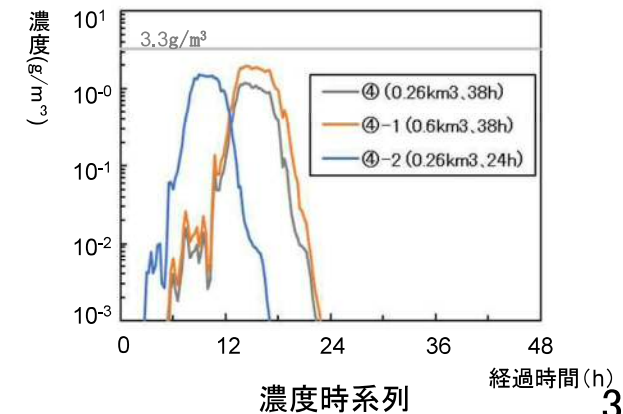


層厚分布図

④-2 敷地向きの風+
噴出率(噴火継続時間 24h)



層厚時系列



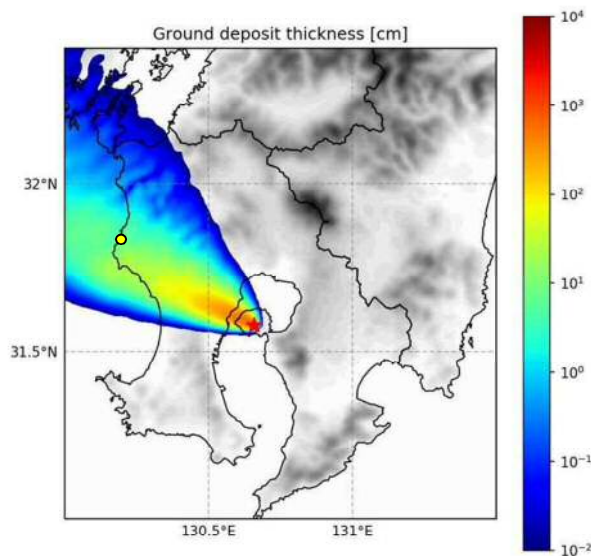
濃度時系列

1.3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認

1.3.3 より保守的なケースの検討

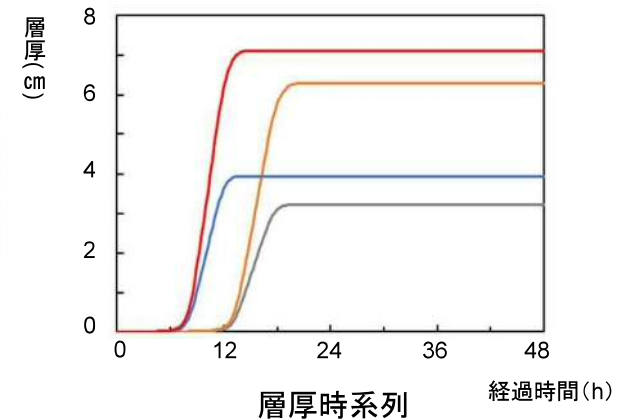
(2) 計算結果 [ケース④-3:敷地向きの風+噴出率(噴出物量0.6km³+噴火継続時間24h)]

- ④-1と④-2を重ね合わせた、より厳しい噴出率 (噴出物量0.6km³+噴火継続時間24h) を用いて、敷地向きの風 (TEPHRA2において敷地での層厚が最大値を与える日時の風) に対する層厚、濃度を検討した。
- その結果、当社評価 (層厚15cm、気中濃度3.3g/m³) を十分下回ることを確認した。

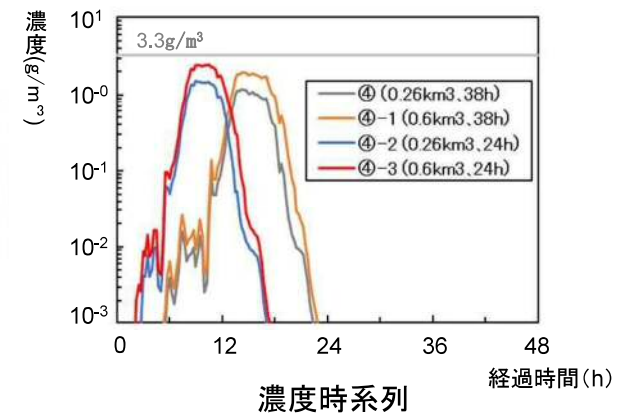


層厚分布図

④-3 敷地向きの風+噴出率
(噴出物量0.6km³+噴火継続時間24h)



層厚時系列



濃度時系列

1.4 まとめ

- 今回、より発生頻度の高い「桜島大正噴火（1914年）」を対象に、TEPHRA2及びFALL3Dを用いて、敷地向きの風による発電所への影響を確認し、当社評価の保守性を確認した。
- FALL3Dについては、詳細な評価を行うにはまだ課題があると考えられていることから、今後、FALL3Dの研究動向を注視するとともに、引き続き、安全性向上を図っていく。

(参考) FALL3Dにおける課題

○ 再現できる噴火は観測記録が十分な噴火に限られる

- FALL3Dは、噴煙柱高さの時間変化等を入力する必要があるため、再現できる噴火は、観測情報が存在する歴史噴火に限られる。
- 大正噴火については、「噴煙柱高さの時間変化に関する観測記録」が存在するため、再現検討が可能であった。

○ 服部(2014)等において示される課題

【服部(2014)】

- 定量的評価には留意を要する。降下火山灰の堆積量について、概算評価だけでなく、より詳細な解釈を付与する際、本数値シミュレーションは課題を残している

【服部(2016)】

- BPTモデルは、噴出率の過大評価もしくは噴煙柱高さの過小評価を導きうる
⇒ BPTモデル(FALL3Dにおける噴煙柱モデルの1つ)については、噴煙柱に対する噴出率が過大であることが指摘されている。

【Costa et al(2016)】

- For simulations neglecting wind, the difference between the average plume height given by models and empirical scaling of Mastin et al. (2009) is relatively small, ranging from ~30% for the strong plume to about 6% for the weak plume. However, the differences become large when wind is taken into account, ranging from ~40% for the strong plume case to 115% for the weak plume case.
⇒ SUZUKIモデル(FALL3Dにおける噴煙柱モデルの1つ)で使用しているMastin式については、風を考慮した場合に、噴出率に対する噴煙柱高さが過小であることが指摘されている。

(参考) FALL3Dにおける計算条件

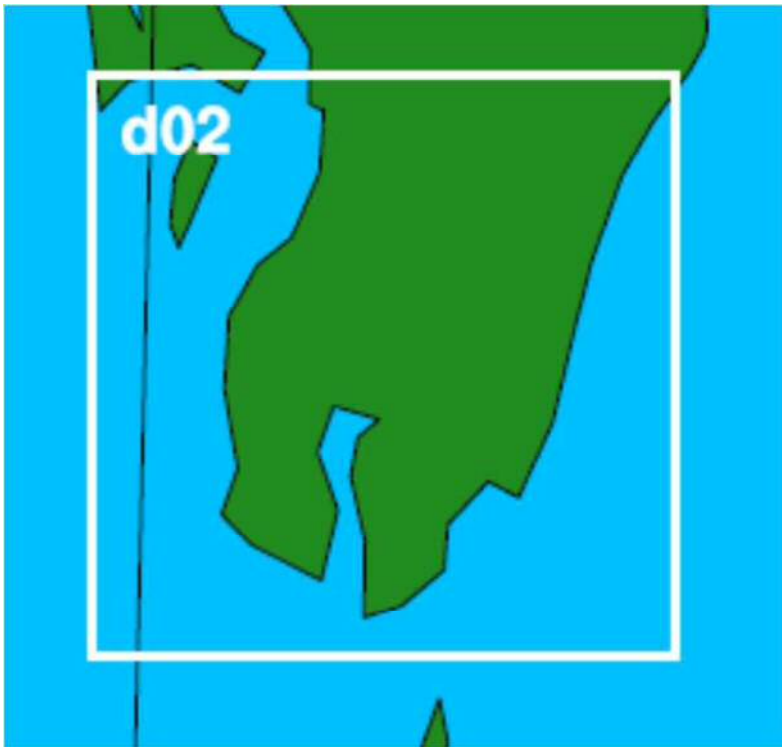
数値気象解析システムNuWFSによる気象シミュレーション

項目	設定値
計算時間	132 (hr)
時間ステップ	30 (sec)
水平方向格子解像度	1000 (m)
水平方向格子数	206 × 206
鉛直方向層数	45
雲物理モデル	Morrison double-moment scheme
長波放射モデル	RRTM scheme
短波放射モデル	Dudhia scheme
接地層モデル	Monin-Obukhov scheme
地表面モデル	Noah land surface model
境界層モデル	Yonsei University scheme
積雲モデル	No cumulus

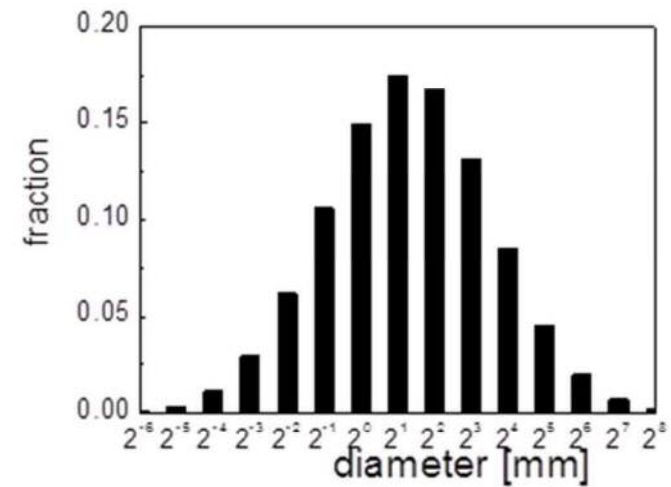
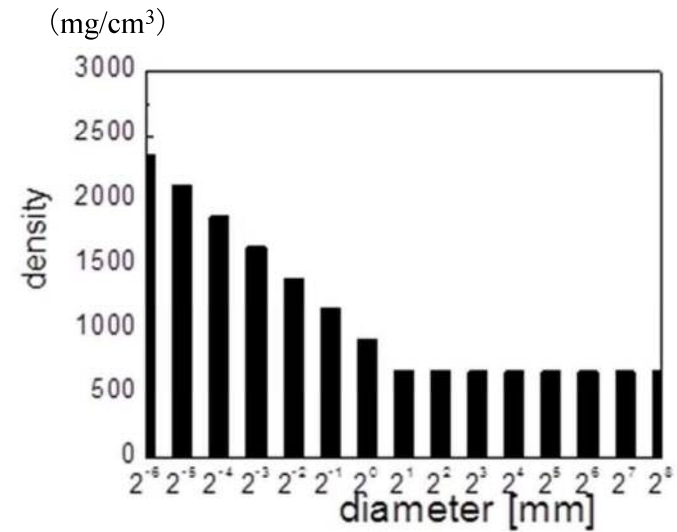
FALL3Dによる降灰輸送シミュレーション

項目	設定値
火口位置	N 31°34'38'', E 130°39'32''
火口高さ	再現性評価: 450m 降灰性状把握: 1060m
噴出速度	200 ms ⁻¹
噴出温度	1323 K
ガス質量分率	3 %
真球度	1
計算時間	101(hr)
気象データ連係時間間隔	10(min)
水平方向格子解像度	1000 (m)
水平方向格子数	196 × 196
鉛直方向格子解像度	500 (m)
鉛直方向格子数	51
凝集	Off
終端速度モデル	Arastoopour
鉛直乱流拡散モデル	Monin-Obukhov 相似則
水平乱流拡散モデル	CMAQ
湿式沈着モデル	On

(参考) FALL3Dにおける計算条件



数値気象解析システムNuWFASによる
気象シミュレーションに用いた解析領域



FALL3Dによる降灰輸送シミュレーションに用いた
質量分率の分布および比重

2. 自然災害時の非常用発電機の運用について

【ご質問】

大雨や竜巻といった非常に強力な自然災害時には、あらかじめ外部電源から非常用ディーゼル発電機に切り替えておくことも考える必要があるのではないかと。

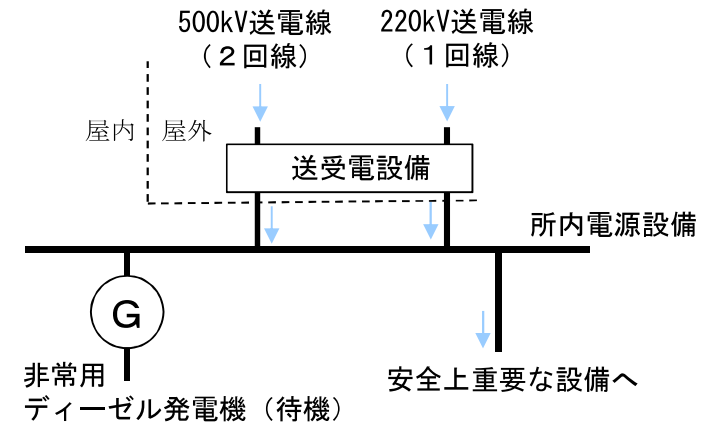
2. 1 川内原子力発電所の電源系統について

- 原子力発電所では、安全上重要な設備に電源を供給するため、多重化された外部電源に加えて、非常用のディーゼル発電機等を設置しています。
- 非常用ディーゼル発電機は、風速100m/sの竜巻に対しても、その機能を確保できる設備であること及び、台風や落雷が予想される場合には、いつでも起動でき、電源を切り替えられる状態となっていることを確認することで、電源確保に万全を期すこととしています。
- さらに、2013年7月に施行された新規制基準のもと、深層防護の観点から、事故事象の進展に応じた安全対策を幾重にも設け、それぞれの段階で、その状況に応じた対策を講じることとしており、非常用ディーゼル発電機が使用できない場合に備え、大容量空冷式発電機等の複数段の電源供給手段を確保しています。
- これらを踏まえ、当社では、台風等の自然災害発生時においても、外部電源が健全な場合には、継続して外部電源から受電することとし、万が一の際には、幾重にも確保した電源供給手段により適切に対応する方針としています。

2. 2 多重化された電源系統について (1 / 3)

[第1の手段：外部電源]

○外部電源は、通常、500kV送電線2回線より受電しており、500kV送電線が使用できない場合の予備として、220kV送電線1回線を備え、合計2ルート3回線の多重化された系統構成となっており、同時故障のリスクを低減しています。



○外部電源の信頼性向上の観点から、受電系統を現状の2ルート3回線から3ルート6回線（500kV送電線1ルート2回線、220kV送電線2ルート4回線）に変更し、外部電源回線数の増強を図ることとしています。

	現状	変更後
系統図		
外部電源数	3回線 (500kV: 2回線、220kV: 1回線)	6回線 (500kV: 2回線、220kV: 4回線)

2. 2 多重化された電源系統について（2／3）

〔第2の手段：非常用ディーゼル発電機〕

- 外部電源が喪失した場合の対策として、原子炉を安全に停止するために必要な容量を有した非常用ディーゼル発電機を号機毎に2基設置し、電源を確保しています。
- 非常用ディーゼル発電機は、外部電源が喪失した際、自動で起動し負荷へ給電を行うものであり、日頃から適切な保全管理により健全性を確保しています。

保全項目	保全頻度
日常点検（待機状態確認）	毎日
定期試験（手動起動、負荷給電）	毎月〔手動起動：2回（うち1回は負荷給電）〕
定期点検（自動起動、負荷給電）	毎定期検査

- 非常用ディーゼル発電機は、頑健な建屋内に設置されており、台風や風速100m/sの竜巻をはじめ、地震や津波等の自然災害時にもその機能を発揮することが可能となっています。
- 外部からの支援が受けられない場合に備え、発電所内に燃料を備蓄し、連続して7日間の電力供給が可能となっています。

2. 2 多重化された電源系統について（3 / 3）

〔第3の手段：大容量空冷式発電機〕

- 外部電源が喪失し、さらに非常用ディーゼル発電機が使用できない場合、大容量空冷式発電機により給電を行います。
- 本発電機は、竜巻、地震、津波等に対する健全性を有するものであり、各号機に1台ずつ設置し、連続して7日間の電源供給が可能となっています。

〔第4の手段：号機間融通〕

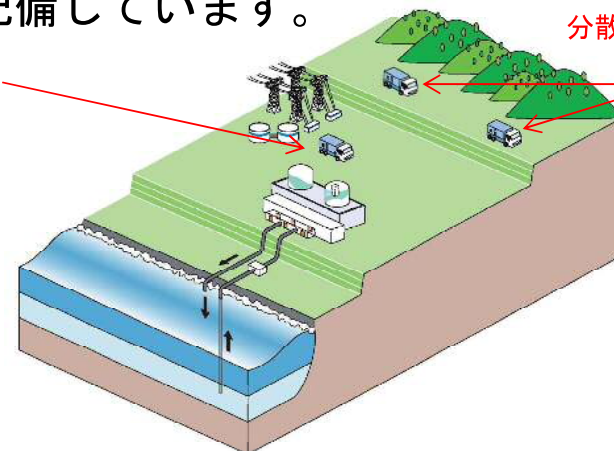
- 大容量空冷式発電機が使用できない場合には、他号機の健全な電源から、頑健な建屋内を經由して、給電を行います。

〔第5の手段：可搬型発電機〕

- 他号機からの電力融通も実施できない場合には、可搬型の発電機により給電を行います。
- これらは、竜巻や地震、津波等により同時に損傷しないよう、発電所の各所に複数台分散して配備しています。



〔大容量空冷式発電機〕



分散して配備

【可搬型発電機】



〔中容量発電機車：2台〕



〔高圧発電機車：4台〕

2. 3 おわりに

当社は、今後とも、安全確保を最優先に、原子力発電所の安全性・信頼性向上に努めてまいります。