

福島第一原子力発電所事故の教訓

2011年11月28日

岡本孝司(東京大学)
okamoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

IAEA Safety Fundamentals (SF-1)

基本安全目的は、**人及び環境**を電離放射線の有害な影響から防護することである

原則1: 安全に対する責任

原則2: 政府の役割

原則3: 安全に対するリーダーシップとマネジメント

原則4: 施設と活動の正当化

原則5: 防護の最適化

原則6: 個人のリスクの制限

原則7: 現在及び将来の世代の防護

原則8: 事故の防止

原則9: 緊急時の準備と対応

原則10: 現存又は規制されていない放射線リスクの低減
のための防護対策

IAEA 原子力プラントの安全 (NS-R-1)

深層防護思想

1. 異常状態の防止

設計、運転、保守...

2. 事故の拡大防止

異常な過渡、事故事象

3. 重大事故への発展防止

設計基準事故(DB)

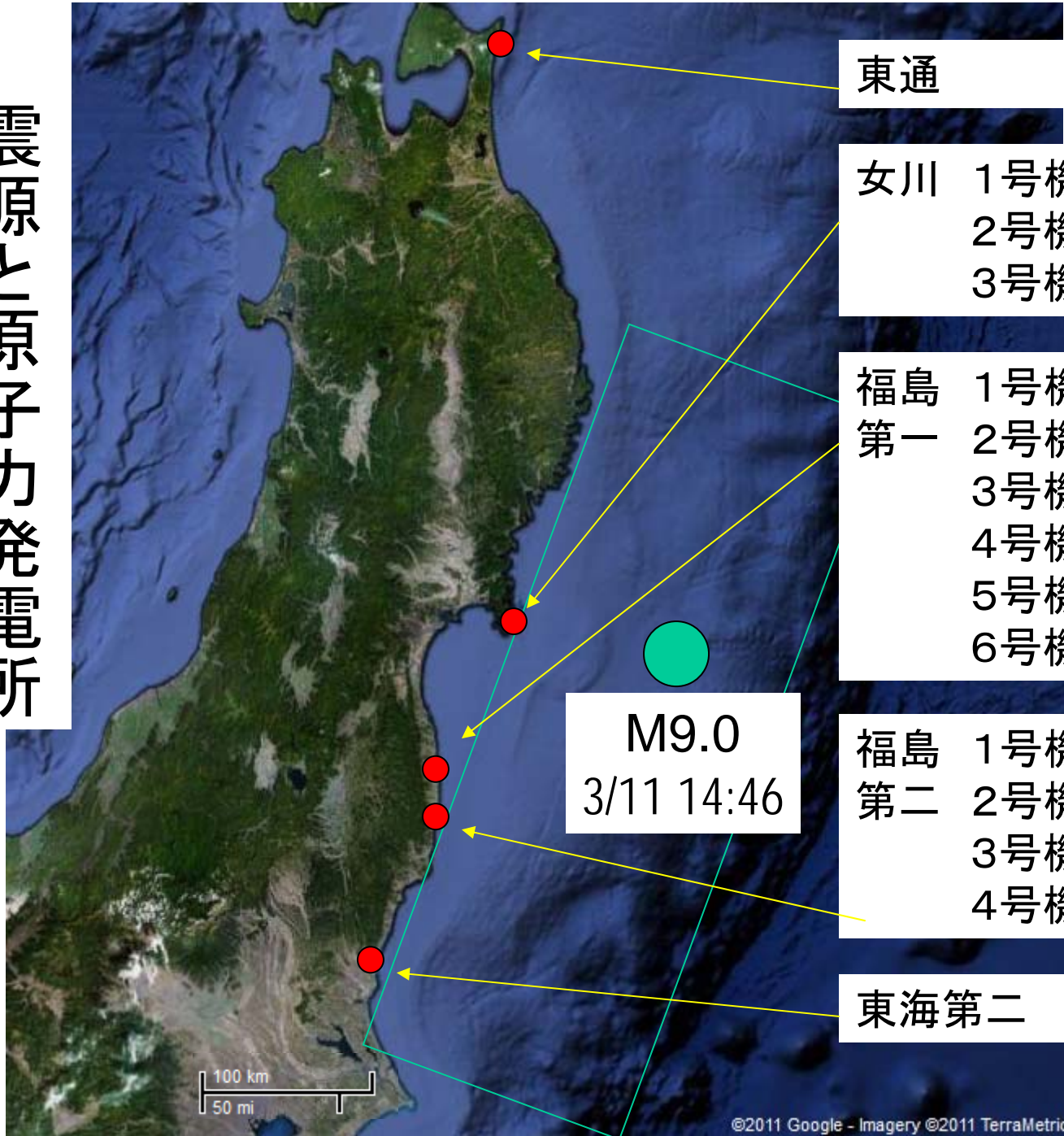
4. 過酷事故影響緩和

シビアアクシデント

5. 放射線障害影響緩和

緊急時対策

震源と原子力発電所



東通 1,100MW, 2005

女川 1号機 524MW, 1984
 2号機 825MW, 1995
 3号機 825MW, 2002

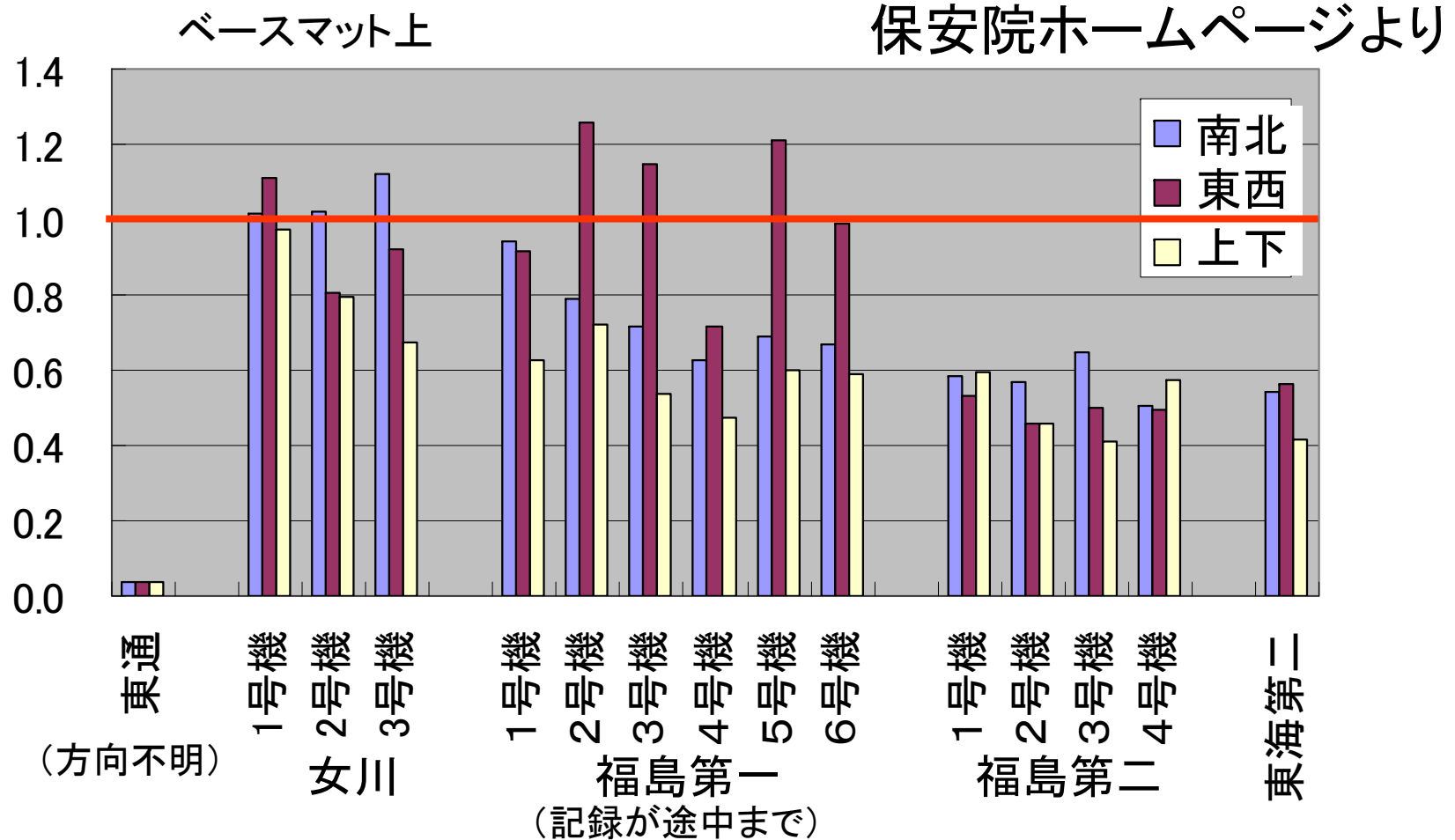
福島 1号機 460MW, 1971
 第一 2号機 784MW, 1974
 3号機 784MW, 1976
 4号機 784MW, 1978
 5号機 784MW, 1978
 6号機 1,100MW, 1979

M9.0
 3/11 14:46

福島 1号機 1,100MW, 1982
 第二 2号機 1,100MW, 1984
 3号機 1,100MW, 1985
 4号機 1,100MW, 1987

東海第二 1,100MW, 1978

基準地震動 (Ss)と観測された地震動の比



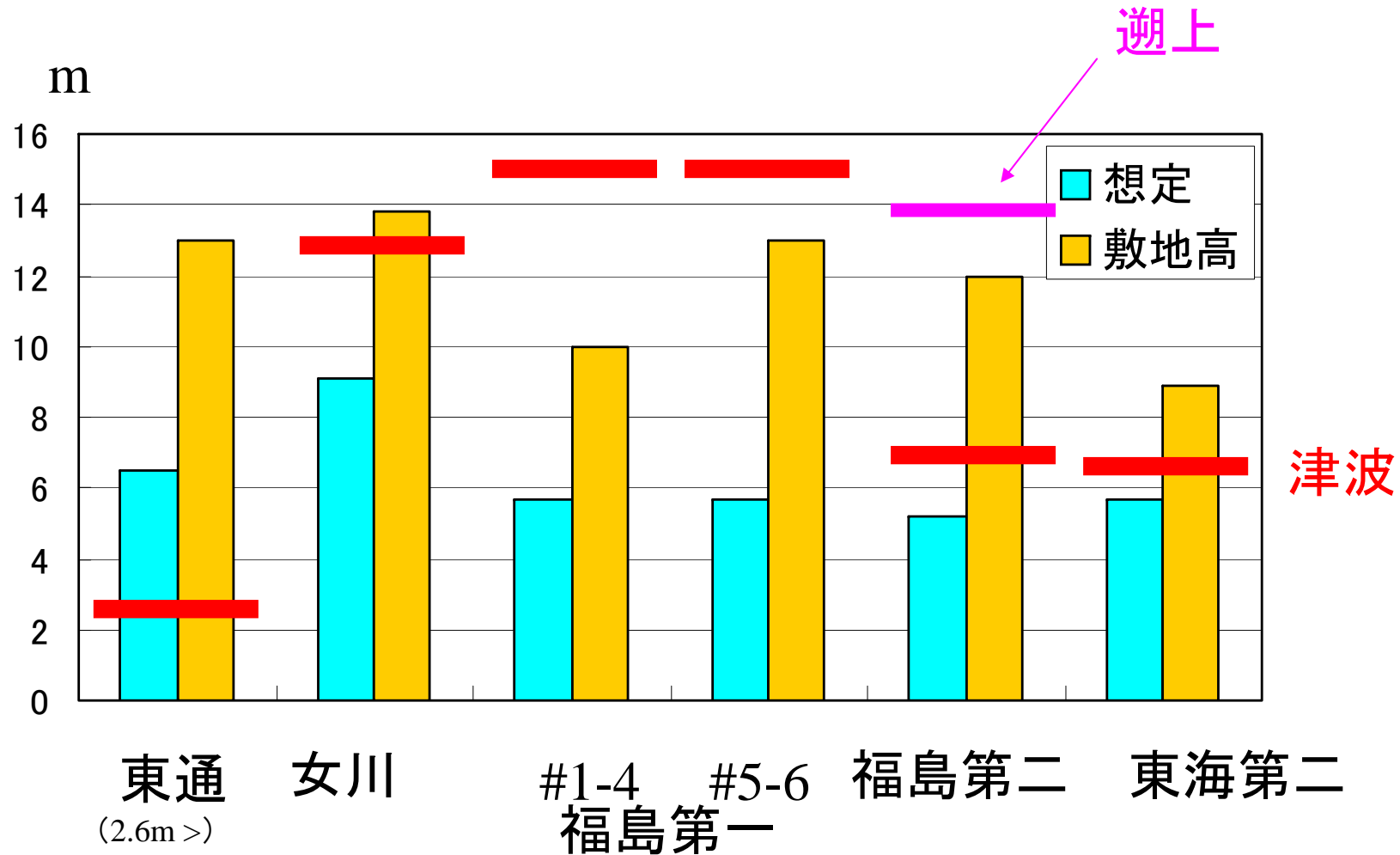
Important Components have no damage

Seismic Design worked well, under current knowledge

地震後の原子カプラント状況

	Operation	DiD1	DiD2	
女川	#1	100%出力	炉停止	常用系 M/C 火災
	#2	起動中	炉停止	
	#3	100%出力	炉停止	
福島第一	#1	100%出力	炉停止	外部電源喪失
	#2	100%出力	炉停止	外部電源喪失
	#3	100%出力	炉停止	外部電源喪失
	#4	停止		外部電源喪失
	#5	停止		外部電源喪失
	#6	停止		外部電源喪失
福島第二	#1	100%出力	炉停止	
	#2	100%出力	炉停止	
	#3	100%出力	炉停止	
	#4	100%出力	炉停止	
東海第二		100%出力	炉停止	外部電源喪失

津波高さ



津波に対する設計が失敗, 事故に繋がった

津波直後のプラント状態

		DiD3	DiD4(AM)	DiD5(Emergency)
女川	#1			
	#2	2D/G ×		
	#3			
福島第一	#1		SBO, LUHS	炉心損傷、水素爆発
	#2		SBO, LUHS	炉心損傷
	#3		SBO, LUHS	炉心損傷、水素爆発
	#4		SBO, LUHS	水素爆発
	#5		SBO, LUHS	
	#6		LUHS	
福島第二	#1		LUHS	
	#2		LUHS	
	#3			
	#4		LUHS	
東海第二		1D/G ×		

津波後の福島第一

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
外部電源	×	×	×	×	×	×
非常用D/G A/C: 空冷 *: 冷却ポンプ損傷	×	×	×	×	×	×
	×	×	×	×	×	○ ^{A/C}
		×	×	×	×	×
M/C (非常用)	×	×	×	×	×	3/3
M/C (常用)	×	×	×	×	×	×
P/C (非常用)	×	2/3	×	2/3	×	3/3
P/C (常用)	×	2/4	×	2/2	2/4	×
直流電源	×	×	○	×	○	○
海水冷却ポンプ	×	×	×	×	×	×

津波後の福島第一

	#1	#2	#3	#4
外部電源	○	○	○	○
非常用 D/G	×	×*	×*	×*
A/C: Air-cooled	×	×*	○	×*
: cooling pump flooding	×	×	○	○
M/C (非常用)	1/3	○	○	○
M/C (常用)	○	○	○	○
P/C (非常用)	1/3	2/3	2/3	2/3
P/C (常用)	6/7	4/5	7/7	4/5
直流電源	○	○	○	○
海水冷却ポンプ	×	×	1/2	×

津波後の女川、東海第二

	女川			東海 第二
	#1	#2	#3	
外部電源	○	○	○	×
非常用 D/G	○	○	○	○
A/C: Air-cooled	○	×	○	○
: cooling pump flooding	○	×	○	×
M/C (非常用)	○	○	○	○
M/C (常用)	×	○	○	○
P/C (非常用)	○	○	○	○
P/C (常用)	○	○	○	○
直流電源	○	○	○	○
海水冷却ポンプ	○	○	○	○

台湾 第3(馬鞍山)発電所 全交流電源喪失事象 2001年3月18日

0:45 外部電源2系統喪失
A系母線損傷
B系非常用D/G起動失敗

0:57 蒸気駆動ポンプ起動(炉心冷却)

2:54 第5D/GをB系母線に繋ぎこむ

全交流電源喪失

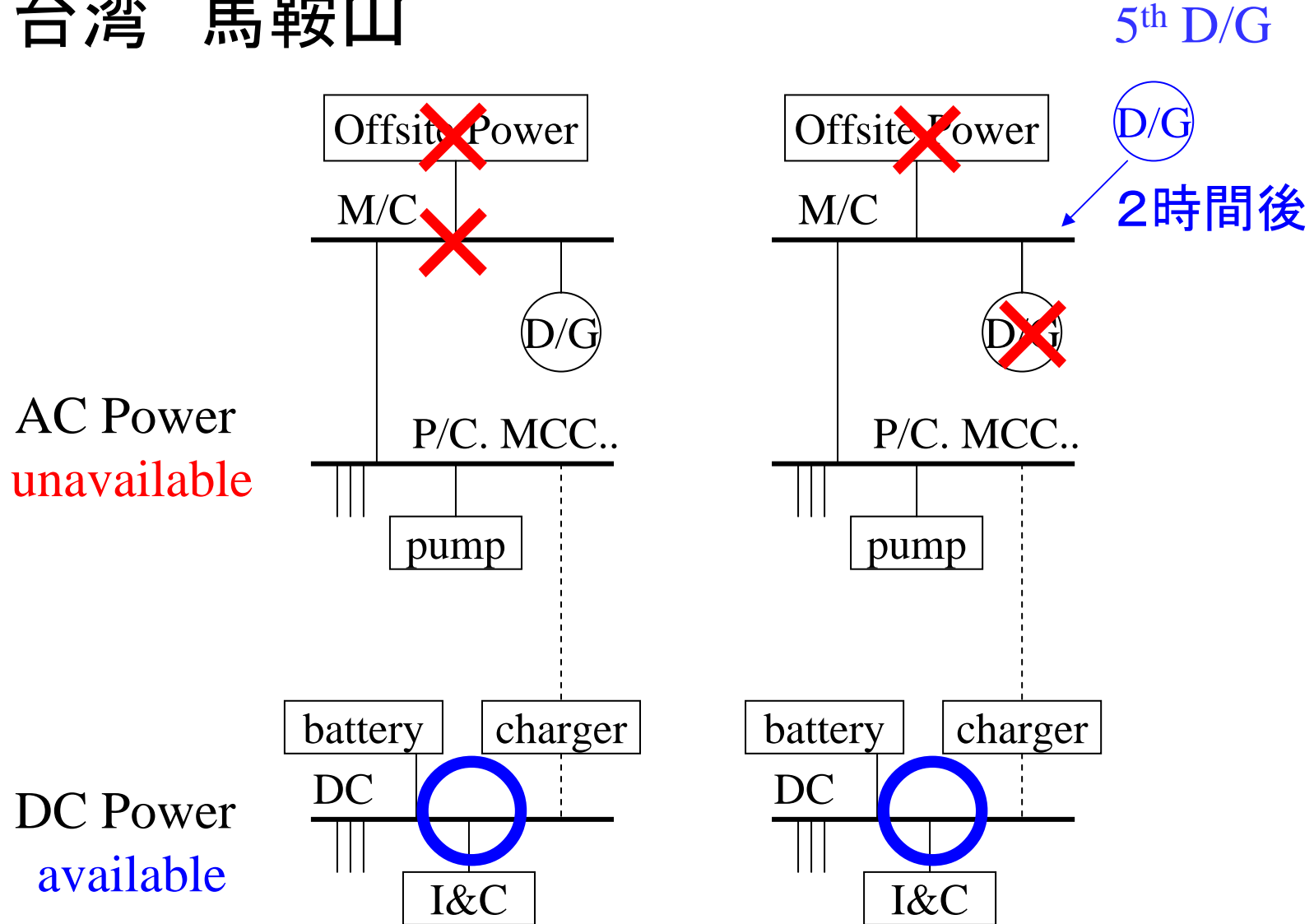
約2時間

復旧

電源喪失は、D/G起動失敗だけではなく、
電源盤損傷、母線損傷などでも起こりうる。
盤や母線が損傷すると、電源があっても電気供給不可

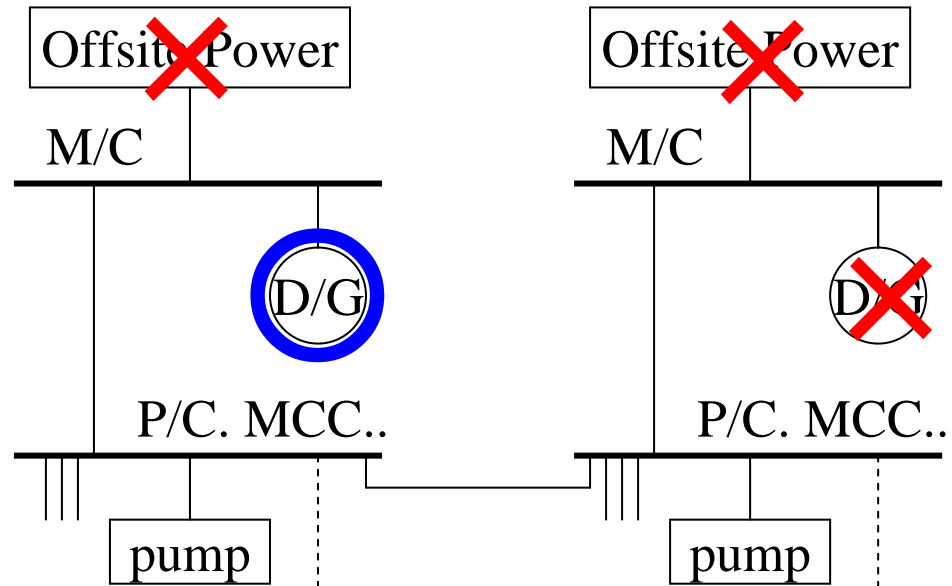
本事象は、日本の安全性向上に反映されたか不明

台灣 馬鞍山

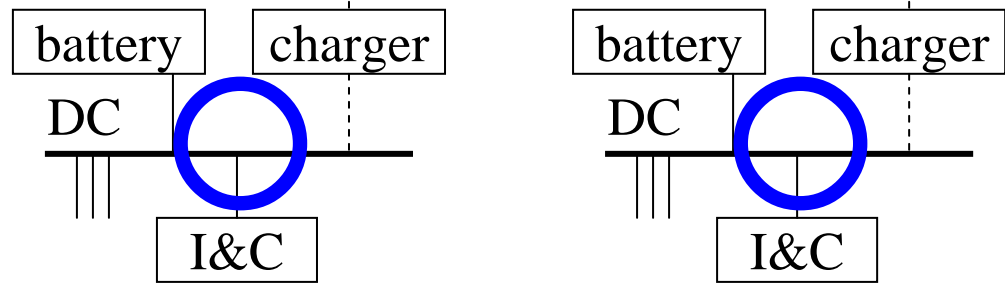


福島第一 #6

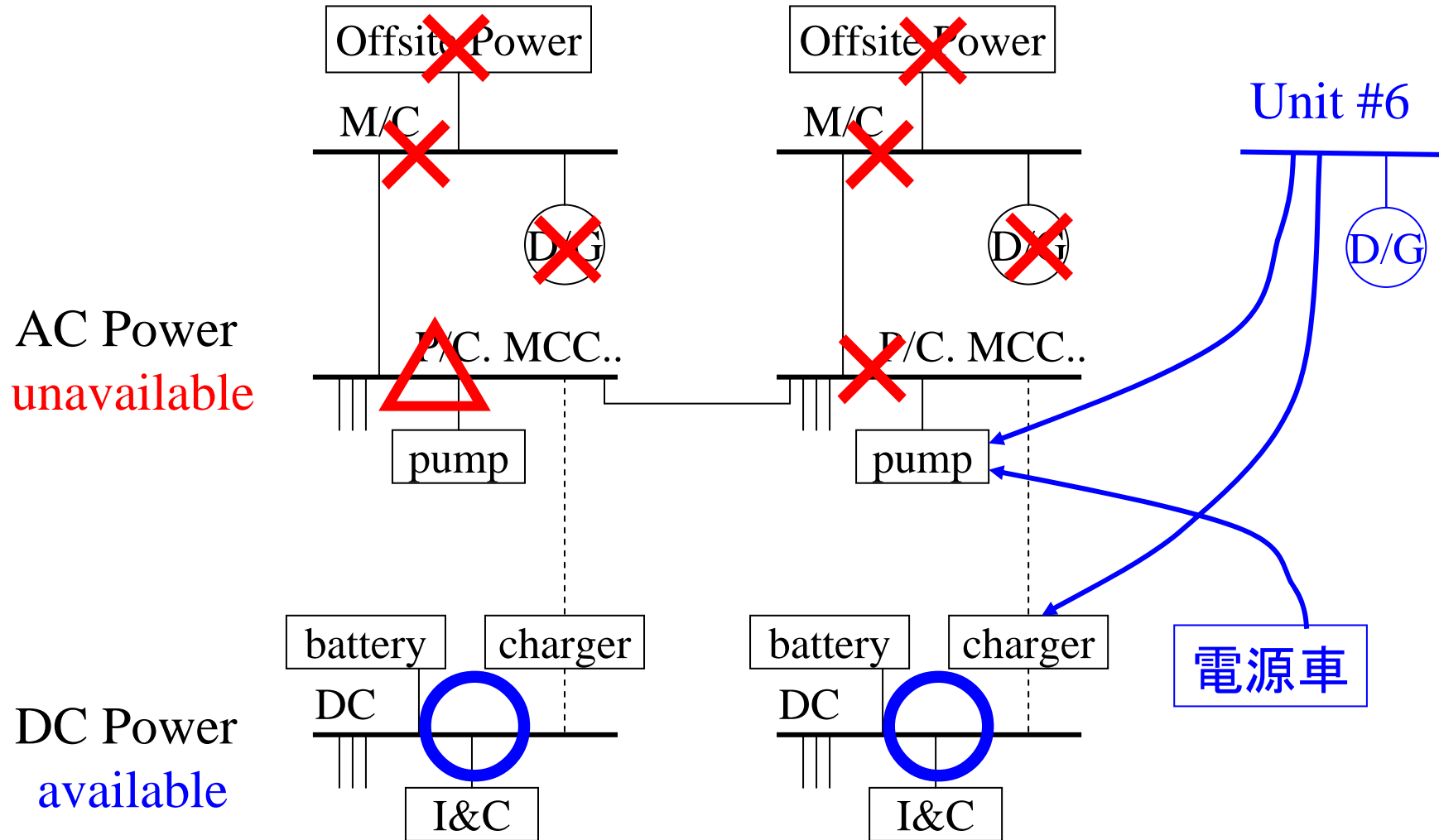
AC Power
available



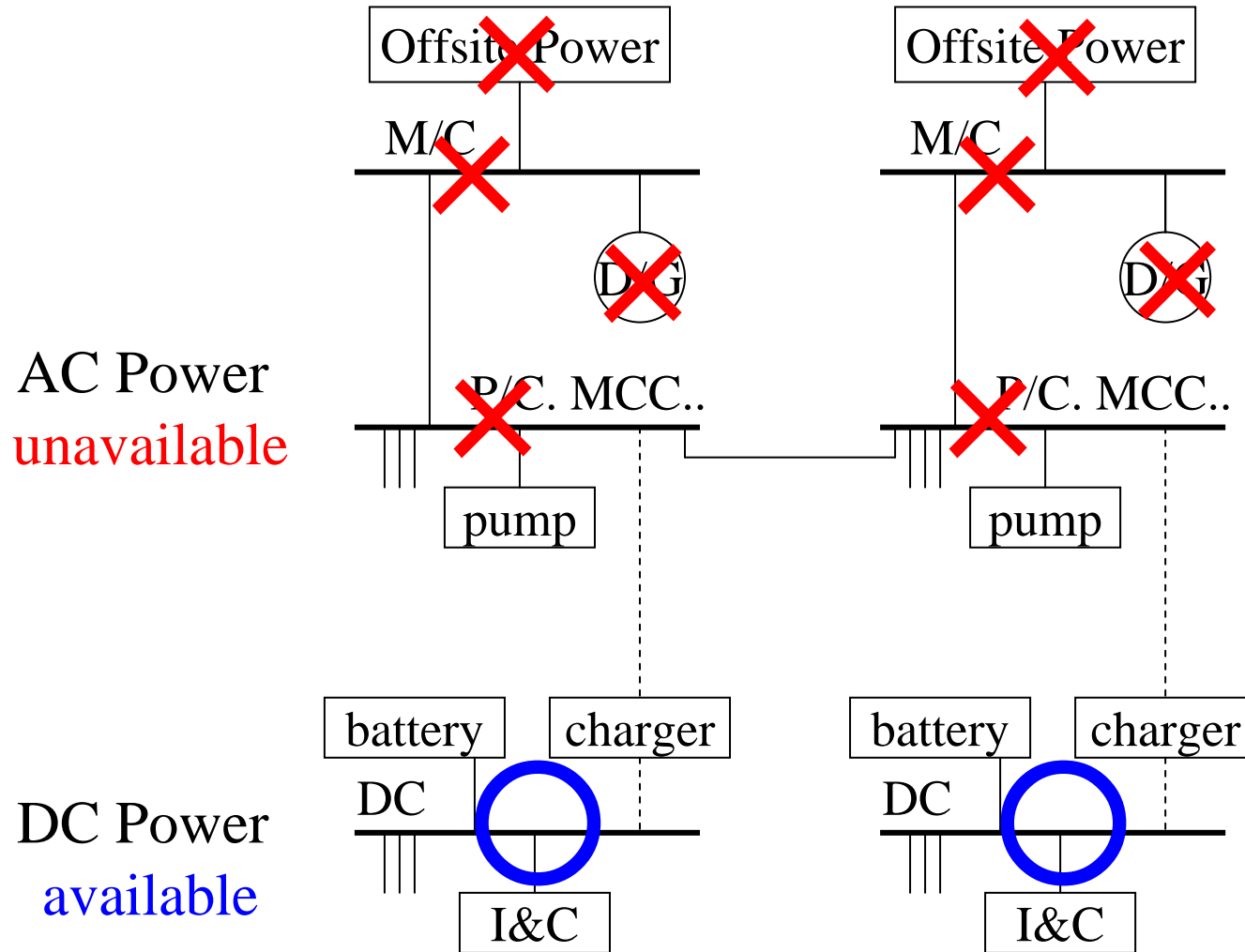
DC Power
available



福島第一 #5



福島第一 #3



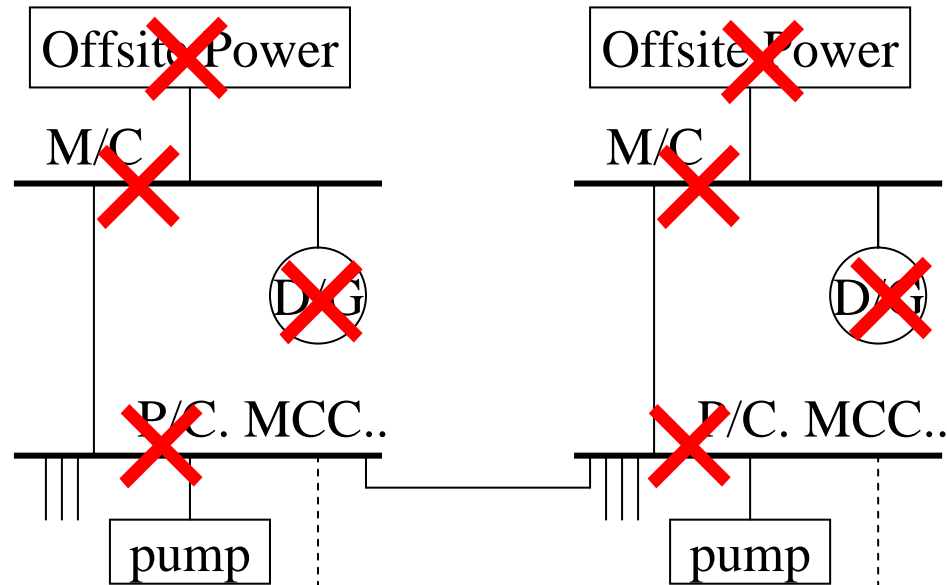
AC Power
unavailable

DC Power
available

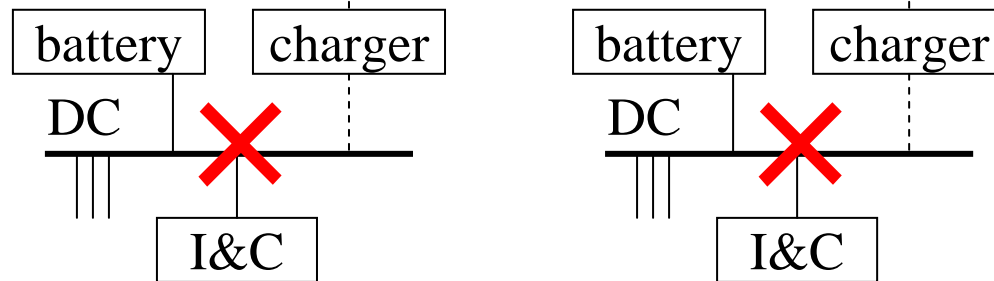
(電源涸渇により
利用不能)

福島第一 #1

AC Power
unavailable



DC Power
unavailable



SBOの分類

確率

外部電源	非常用D/G	M/C & BUS	直流電源
×	×	○	○
×	×	×	○
×	×	×	×

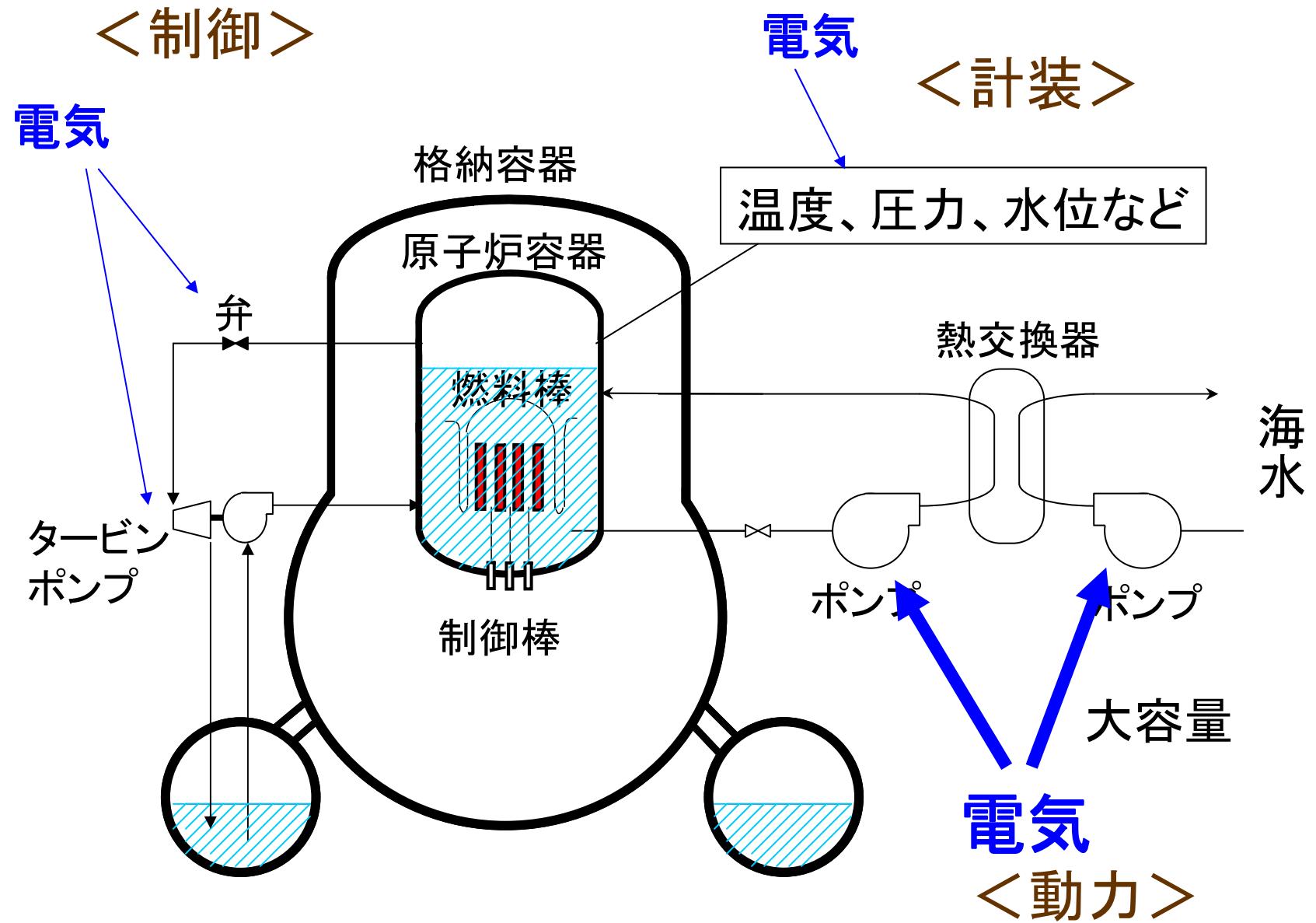
対策

代替直流電源
(Swing D/G)

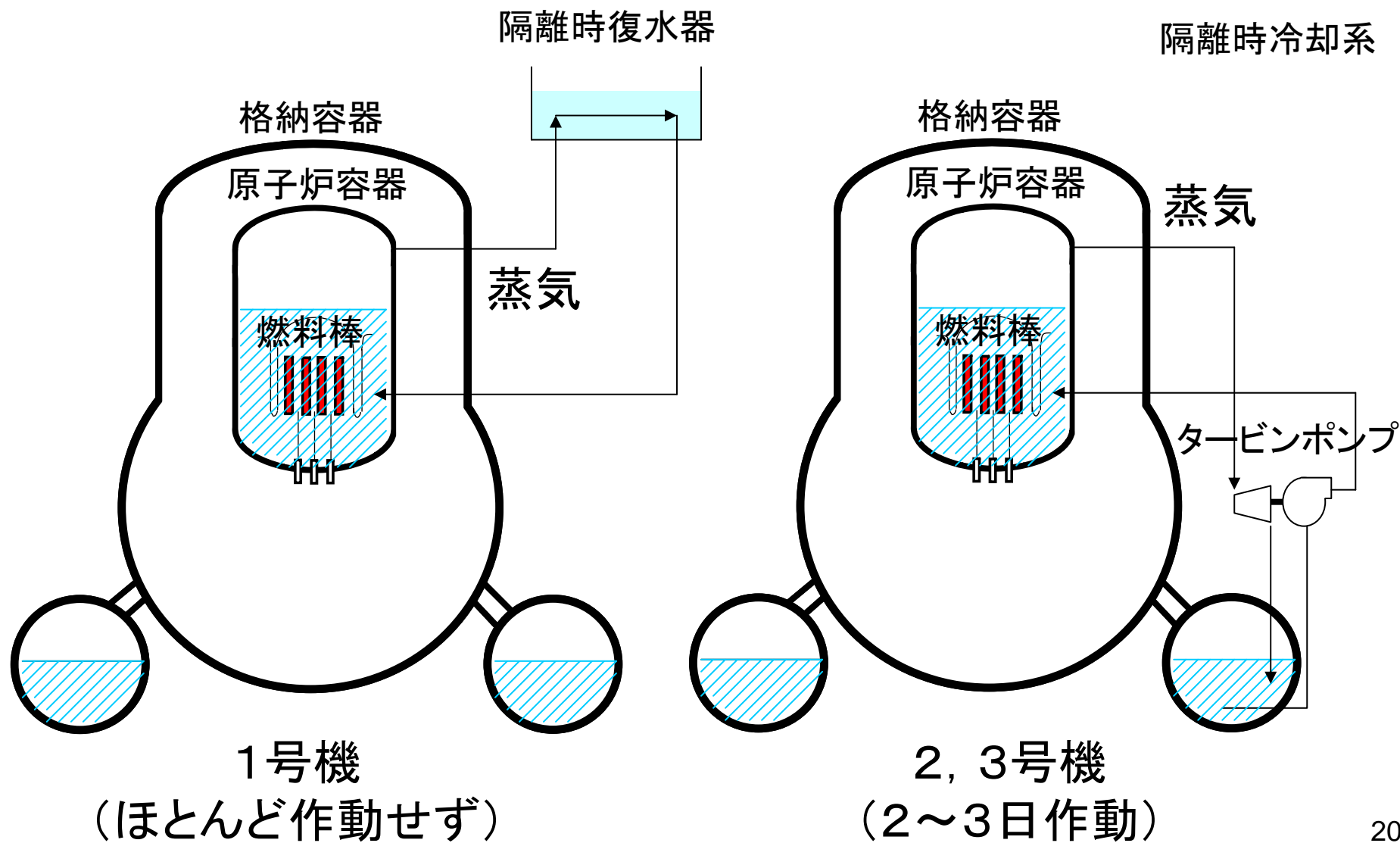
代替 M/C
蓄電池充電器
仮設ケーブル

後備直流電源
後備充電器
後備計測系

Accident Management Design Basis



電源が無くても作動する冷却系



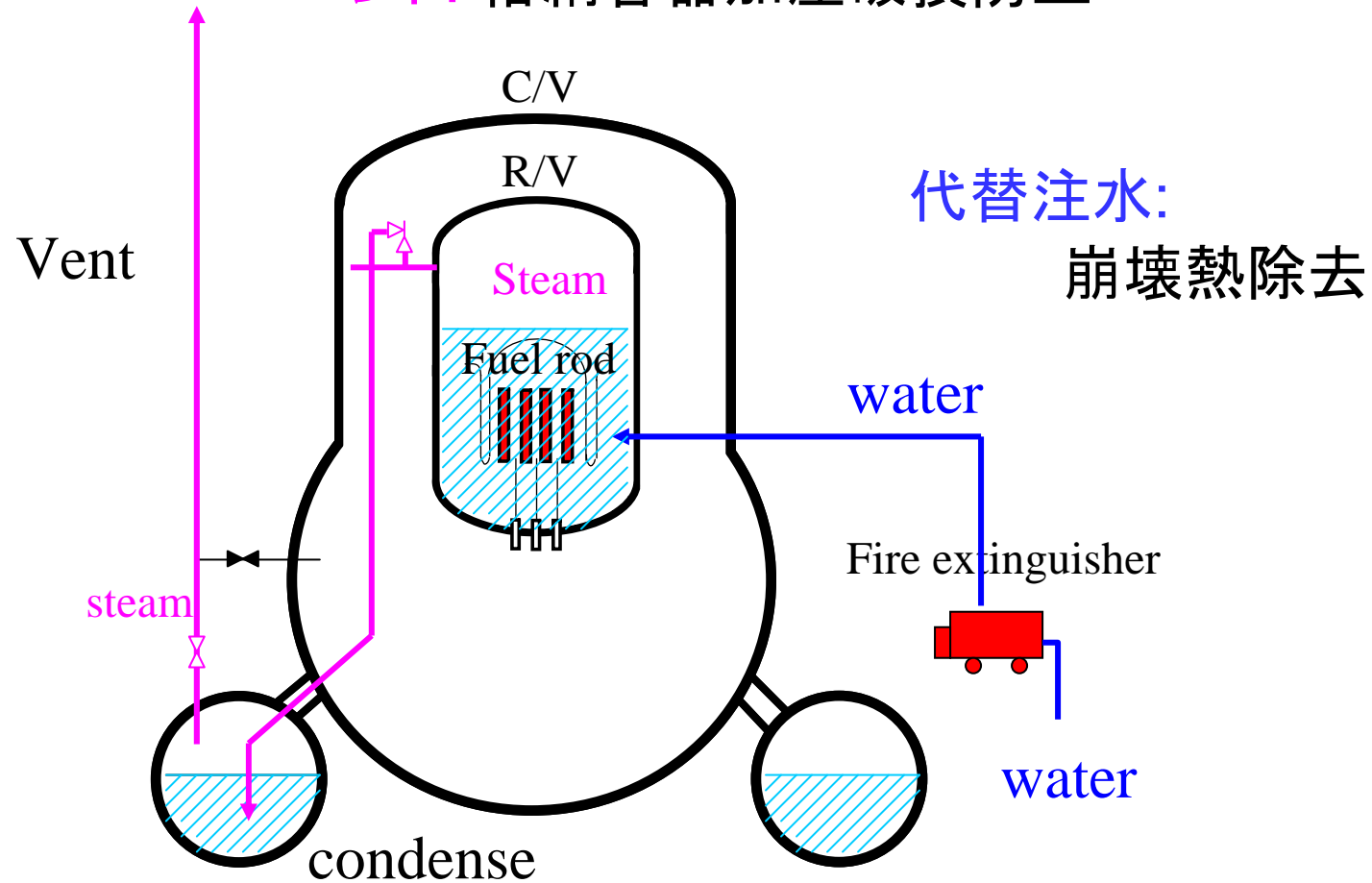
全電源喪失のまとめ

1. 非常用電源系は、多重性、多様性、独立性が重要
2. 単純な全交流電源喪失は、設計基準事象として考慮する。
SBOのリスク提言のため代替直流電源を準備する
3. 母線喪失や直流喪失は、設計超過事象として考慮する
事が必要である
4. 計装系は電源容量が動力に比べて小さい
後備直流電源がAM対策としては有効であろう
5. 電源系の共通要因故障を防ぐために、水密性を確実に
実施する事が必要であろう

アクシデントマネジメント

(シビアアクシデントを緩和するため、全ての対応をとる)

ベント: 格納容器加圧破損防止



代替注水:
崩壊熱除去

福島第一 #1のベント

11日16:37

津波

12日0:06

ベント準備開始

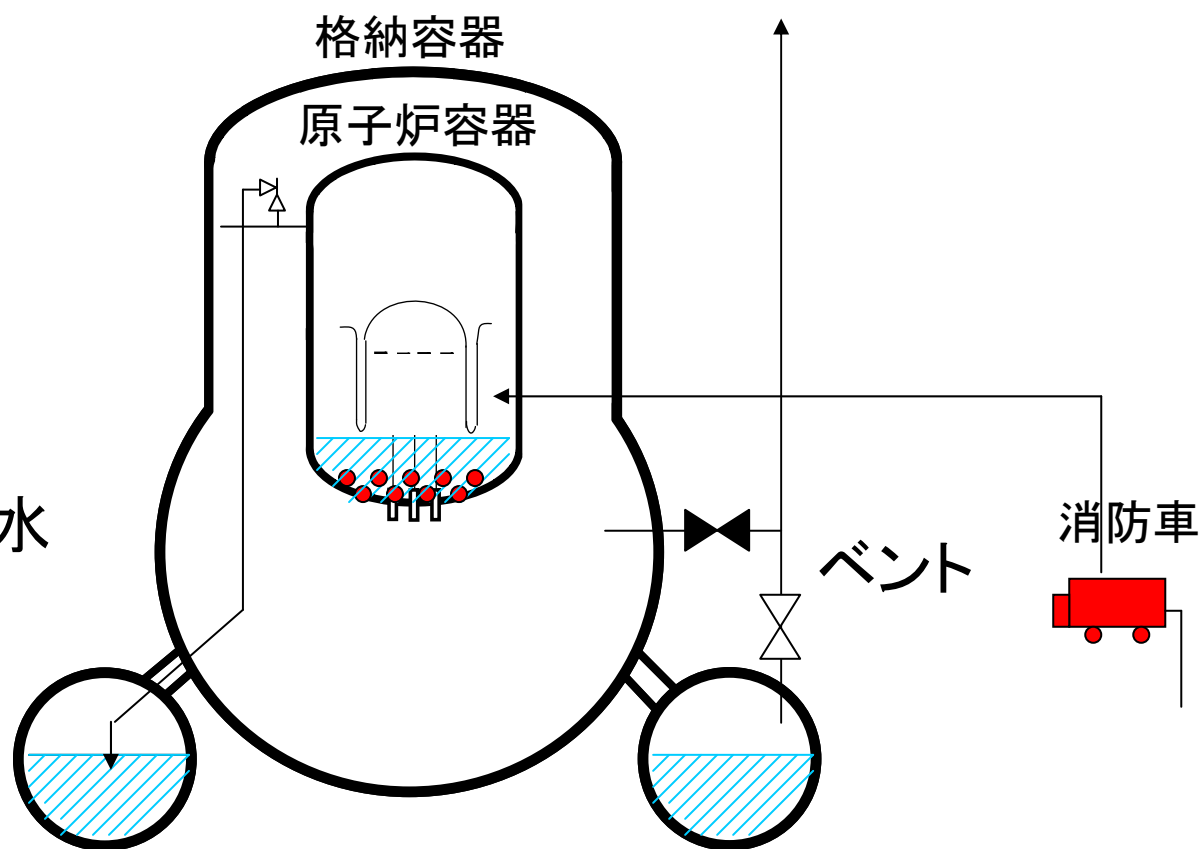
12日5:46 注水開始

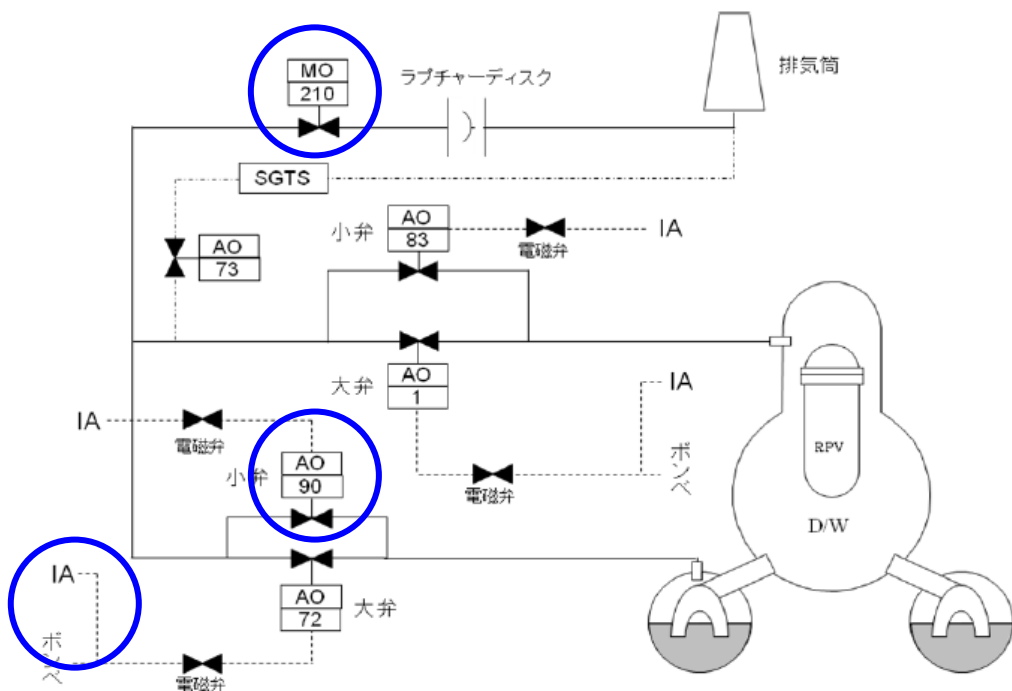
12日14:53 まで

断続的に80ton注水

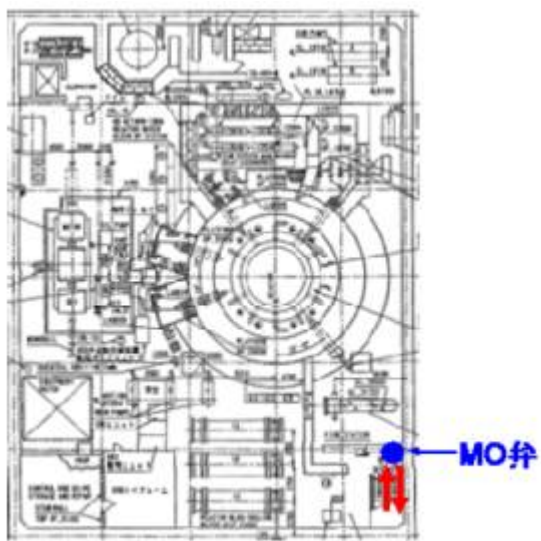
12日15:35 水素爆発

12日19:04 海水注入

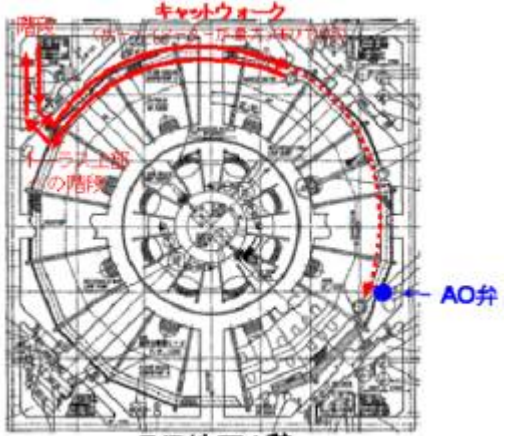




図IV-2-13 PCV ベント設備概要 (1号機)



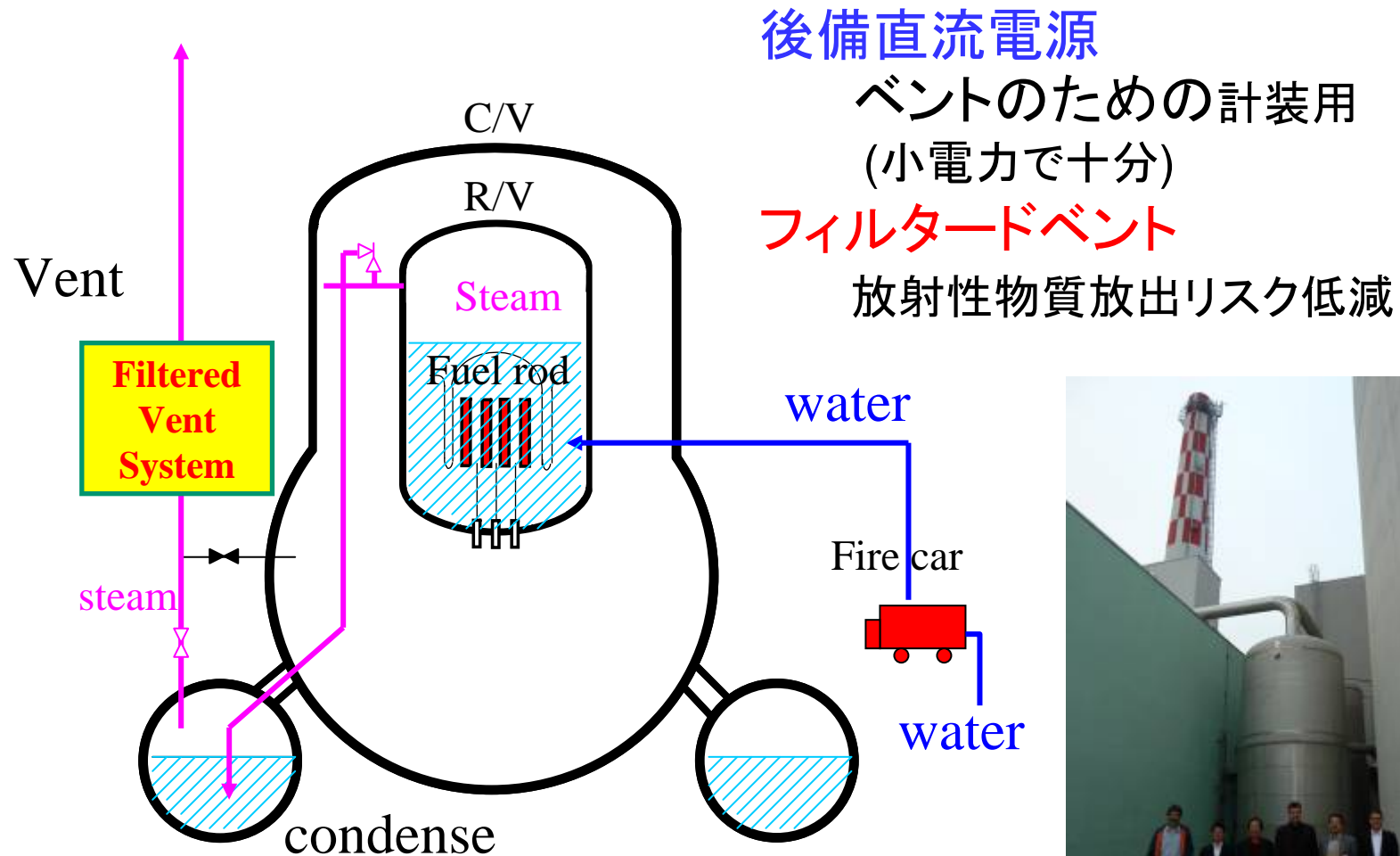
R/B2階



R/B地下1階

- 12日 0:06 所長よりベント準備指示
- 9:15 MO弁₂₁₀ 25%開
- 9:30 AO弁₉₀開操作できず引き返す
- 10:17 残留空気を期待し開操作
- 14:00 仮設コンプレッサ稼動(AO弁₇₂)
- 14:30 ベント確認(D/W 0.75→0.58MPa)
- 15:35 水素爆発

アクシデントマネジメント(ベント)のまとめ



後備直流電源

ベントのための計装用
(小電力で十分)

フィルタードベント

放射性物質放出リスク低減

炉心損傷時でも、
放射性物質放出を抑制



最も重要な教訓

格納容器破損を避けること
放射性物質放出を避けること

福島第一原子力発電所

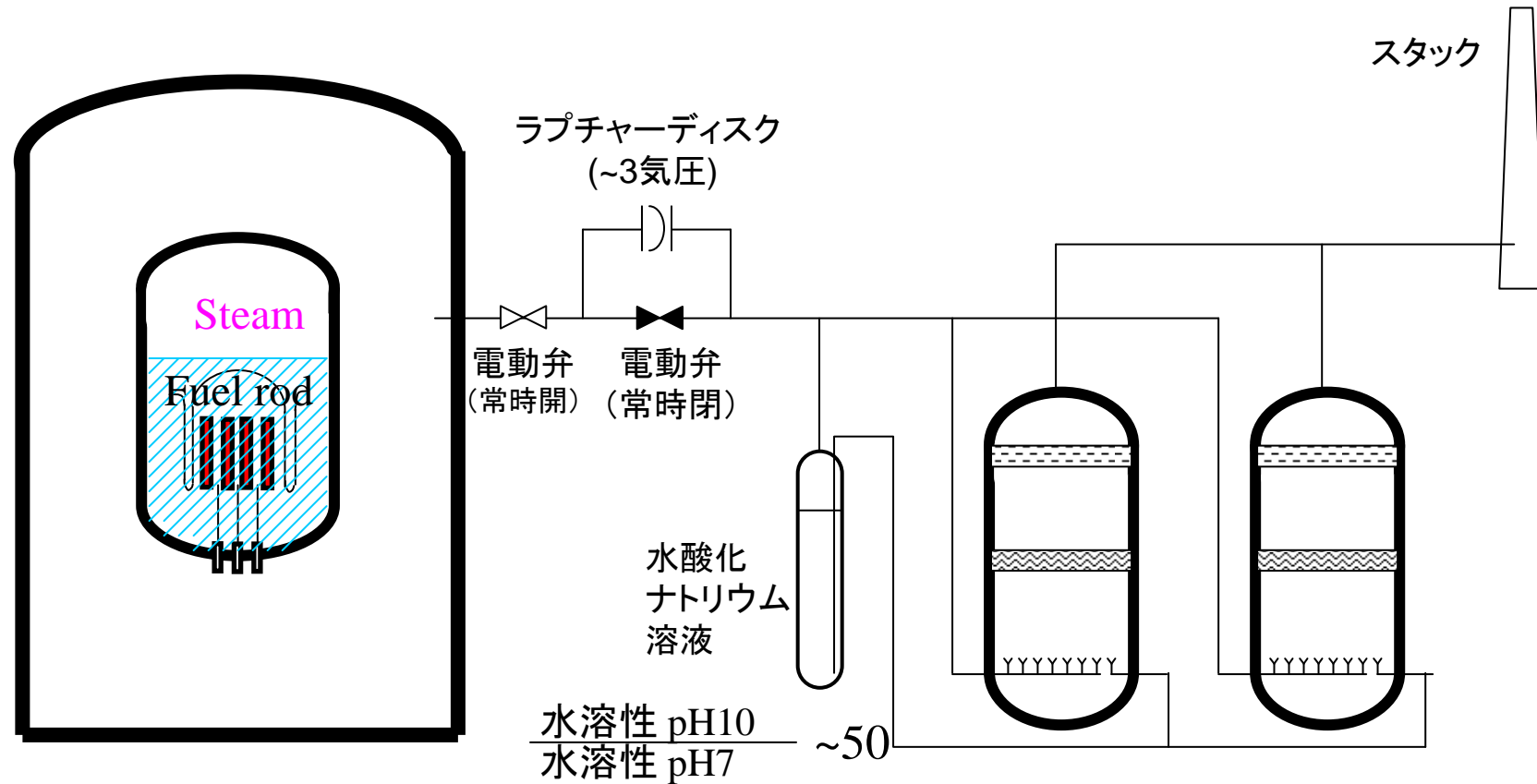
#1	格納容器 7bar + ベント + 水素爆発	~1day
#2	格納容器 7bar + 格納容器破損(ベント失敗)	~3.5day
#3	格納容器 6bar + ベント + 水素爆発	~3day

格納容器過圧破損防止 + 放射性物質放出防止
→ フィルターベントシステム (FCVS)

格納容器過温破損防止 + 水素、放射性物質放出防止
→ 特別緊急時熱除去システム (SEHR)

FCVS (Filtered Containment Venting System)

1992年に後付設置 (深層防護第4層 過酷事故影響緩和)

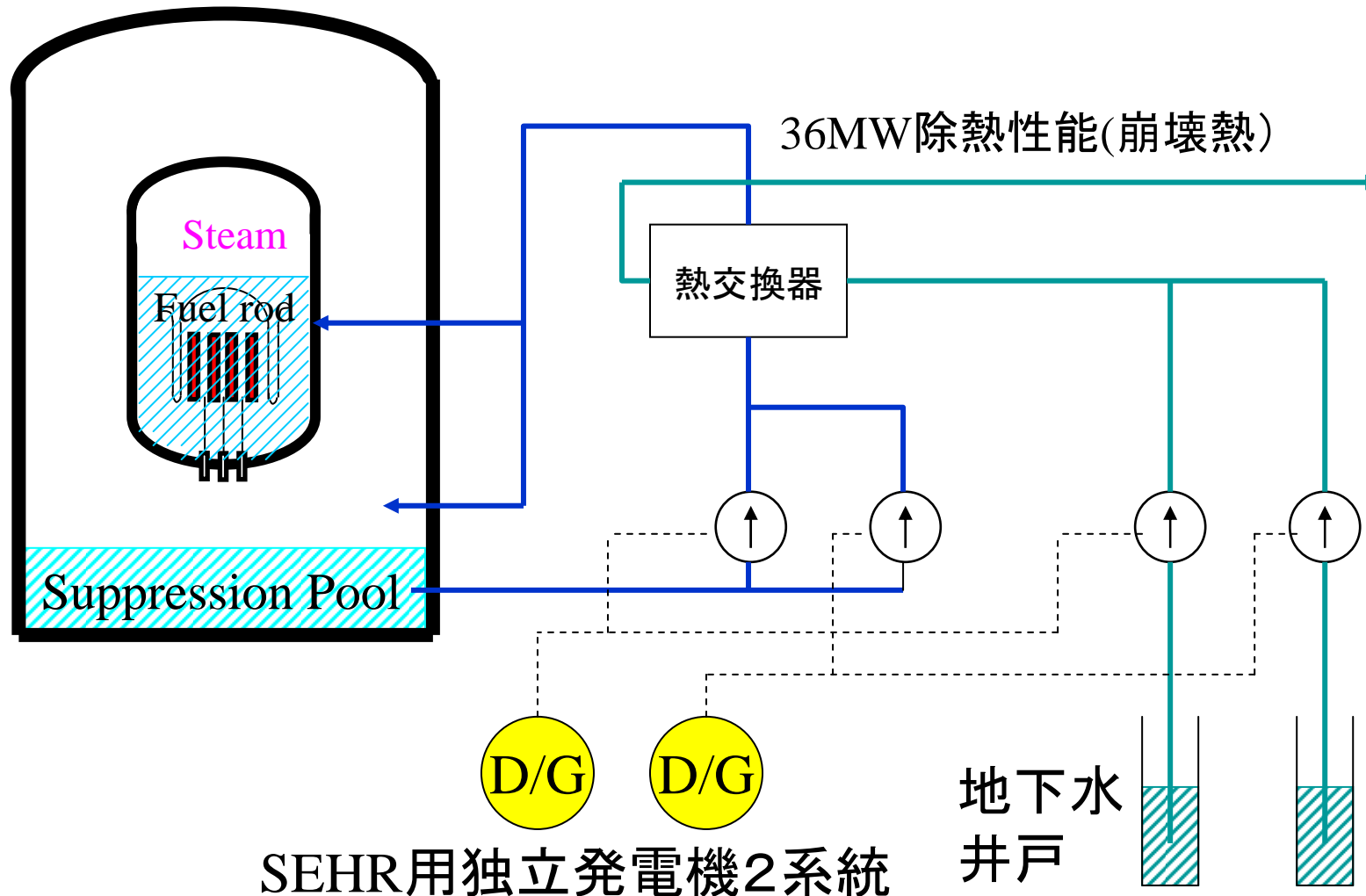


格納容器過圧破損防止
放射性物質除去
全電源喪失、全冷却喪失時の蒸気放出冷却

除染係数 > 1000 (エアロゾル)
> 100 (ヨウ素)

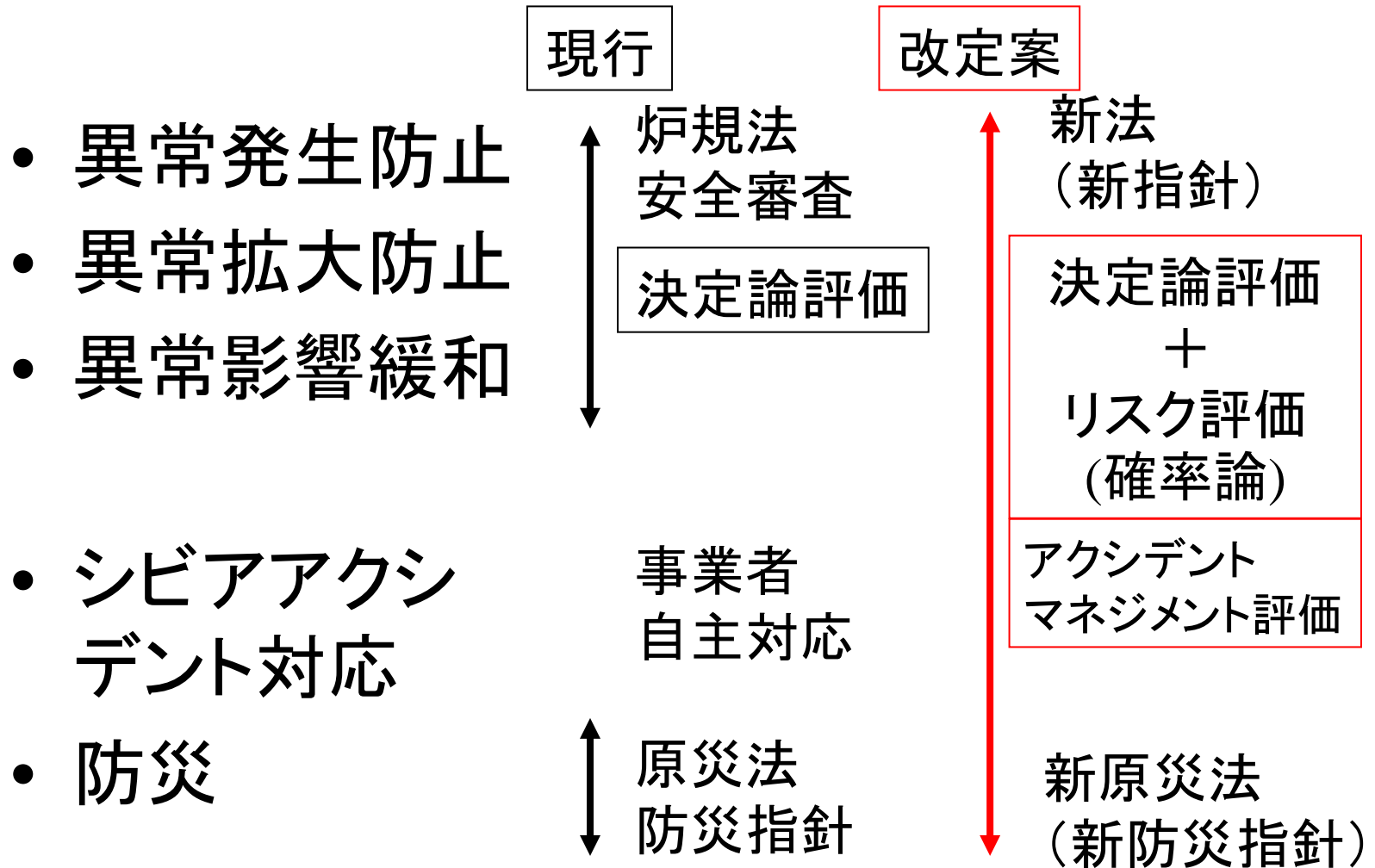
SEHR (*Special Emergency Heat Removal System*)

70年代後半に後付設置 (深層防護第3層 格納容器追加冷却用)
(深層防護第4層 過酷事故影響緩和)



原子力安全の考え方

(IAEA / 5層の深層防護)



新知見の反映をしにくい日本の制度

- 民主党マニフェストにある原子力規制委員会が2年間全く動いていなかった
- 立地指針は50年近く改訂されていない
- 阪神淡路地震のあと10年以上経って耐震指針が改定
- 規制側も事業者側も、労力が大変なため、未だに40年前のコードを安全解析で利用
- リスク情報の規制への取り込みが10年以上遅れている
- 安全目標も中間報告のまま10年近く止まっている
- シビアアクシデント規制も時間が掛かっている

KAIZENが安全を維持するために最も重要

IAEA Safety Fundamentals (SF-1)

原則1: 安全に対する責任

安全のための一義的な責任は、放射線リスクを生じる施設と活動に責任を負う個人または組織が負わなければならない。

原則2: 政府の役割

独立した規制機関を含む安全のための効果的な法令上及び行政上の枠組みが定められ、維持されなければならない。

原則3: 安全に対するリーダーシップとマネジメント

放射線リスクに関係する組織並びに放射線リスクを生じる施設と活動では、安全に対する効果的なリーダーシップとマネジメントが確立され、維持されなければならない。

事故からの主な教訓

- 人と環境を放射線の害から守ることが目的である
- 原子力安全は深層防護にのっとなって考えること
 - アクシデントマネジメントについて、十分な見直しを行うこと
 - 完全な電源喪失は、いかなる場合においても起こさないこと
 - 代替交流電源、後備直流電源を準備する事が望ましい
 - 冷却系喪失のため、予備機器を準備する事
 - 冷却系多様化のため、空冷装置を考慮する事
 - 環境を守るために、フィルタードベントを考慮する事
 - 水素放出について、再評価を行うこと
 - 使用済み燃料プール冷却は多様性を持たせること
- 原子力安全を維持するためには、改善(KAIZEN)が重要である