

海外の原子力発電所における 津波・洪水対策の現況

平成26年3月20日(木)



HOKKAIDO
UNIVERSITY

北海道大学 大学院工学研究院
教授 奈良林 直

Dr. Tadashi NARABAYASHI

Professor, Ph.D. and Liaison Office Director

Nuclear and Environmental Systems,
Division of Energy and Environmental Systems
HOKKAIDO UNIVERSITY

Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060-8628 Japan
Tel: +81-(0)-11-706-6682
Email: tnaraba@eng.hokudai.ac.jp



海外の地震・津波対策(米国)

サンフランシスコのデュアボロキャニオン発電所



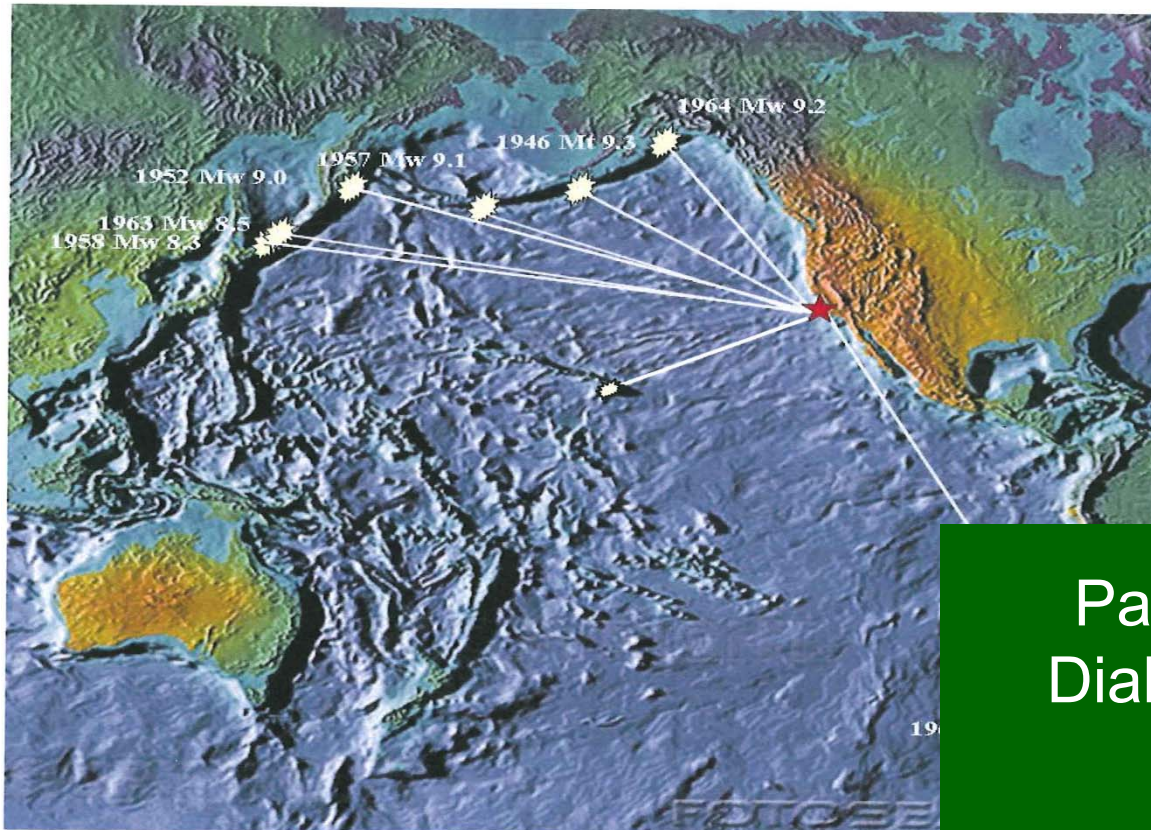
海水ポンプモータ
のシュノーケル管



ポンプ室入口
の水密ドア

Tsunami

- DCPP is located on the Pacific Rim, an area frequently hit by tsunamis, so tsunami preparedness is vital!

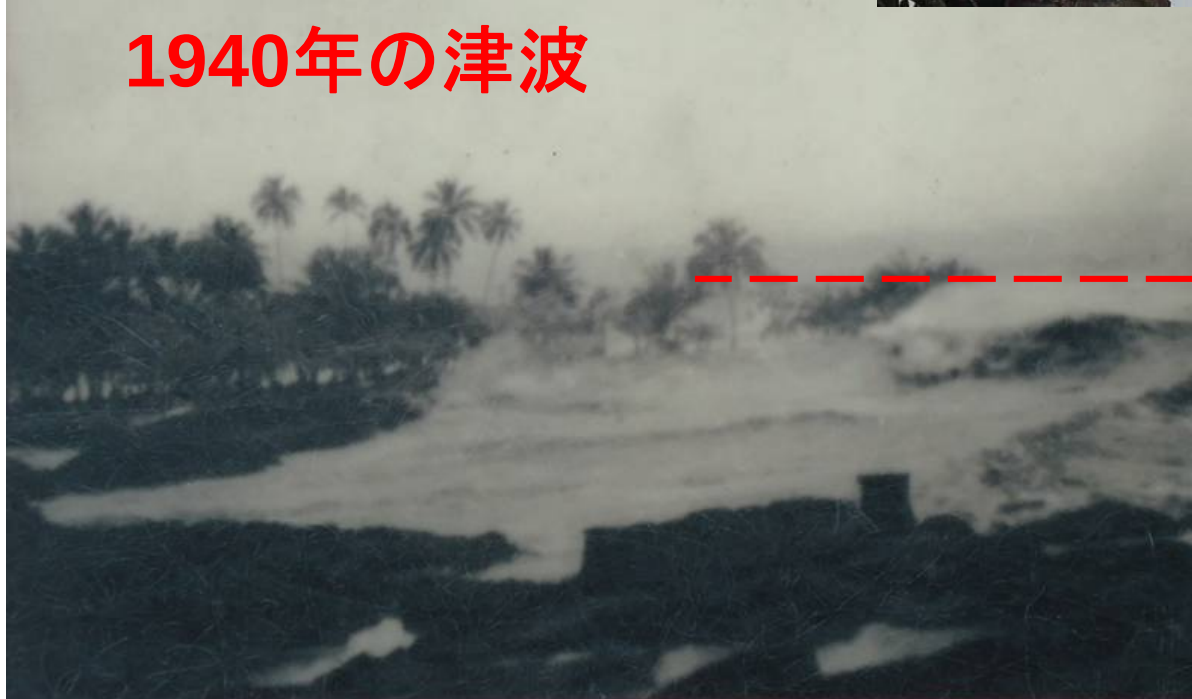


Pacific Gas & Electric Co.
Diablo Canyon Power Plant
Tsunami Design

ハワイ島の津波の記録



1940年の津波



Tsunami Runup



Tsunami Drawdown



DCPP Elevations

DCPP Elevations



DCPP Elevations

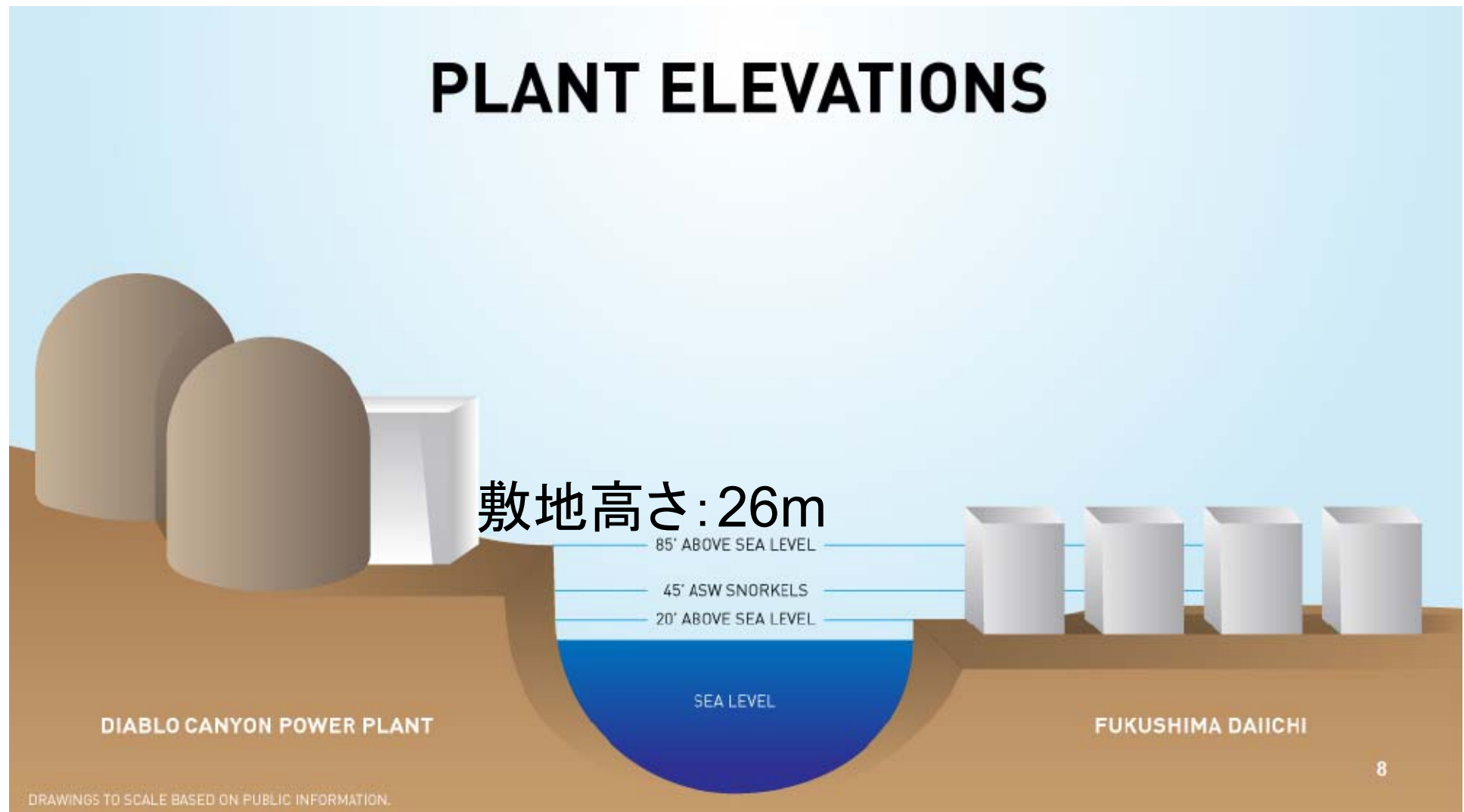
DCPP



Intake Structure and Auxiliary Snorkels



DCPP/ Fukushima Daiichi Elevations



米フォートカルフーン発電所の洪水

地表面で1mの水が冠水・土嚢で対処

- 敷地高さは川の平均水面+3m、水位上昇は+4m
- 土手を築いて浸水防止
- 洪水とは関係ない更新した継電器のバスコネクタが挿入が浅く発熱してケーブル火災発生(レッド・カード)

全ステークホルダによる総合評価

Stakeholder Group	Stakeholder Description
OPPD Senior Managers	Vice Presidents
OPPD Board of Directors	Decide on overall policy of company, select senior managers
Fort Calhoun Leaders	Division Managers, Department Managers, Supervisors
Employees @ FCS	Will do the work necessary to bring FCS to Column 1
OPPD employees elsewhere	OPPD employees who do not work regularly @ FCS
Political leaders	Local, regional, state and national elected representatives
NRC staff	Resident inspectors, regional administrators, 0350 Panel
NRC communicators	Region IV Public Affairs Officers
Emergency officials	Federal Emergency Management Agency, Nebraska Emergency Management Agency, Iowa Homeland Security & Emergency Management, Region 5/6 emergency management, county & city emergency managers
News Media	Local, regional & national news media
Neighbors	Residents within the 10-mile Emergency Planning Zone
Environmental & activist groups	Concerned citizens with misgivings about nuclear power
General Public	All members of the public at large in OPPD's service territory and within 25 miles of the plant in Iowa

EXELON Philadelphia



Peach Bottom NPP

■ 福島第一発電所2号機と同時期に建設された



サスケハナ川洪水がDBA

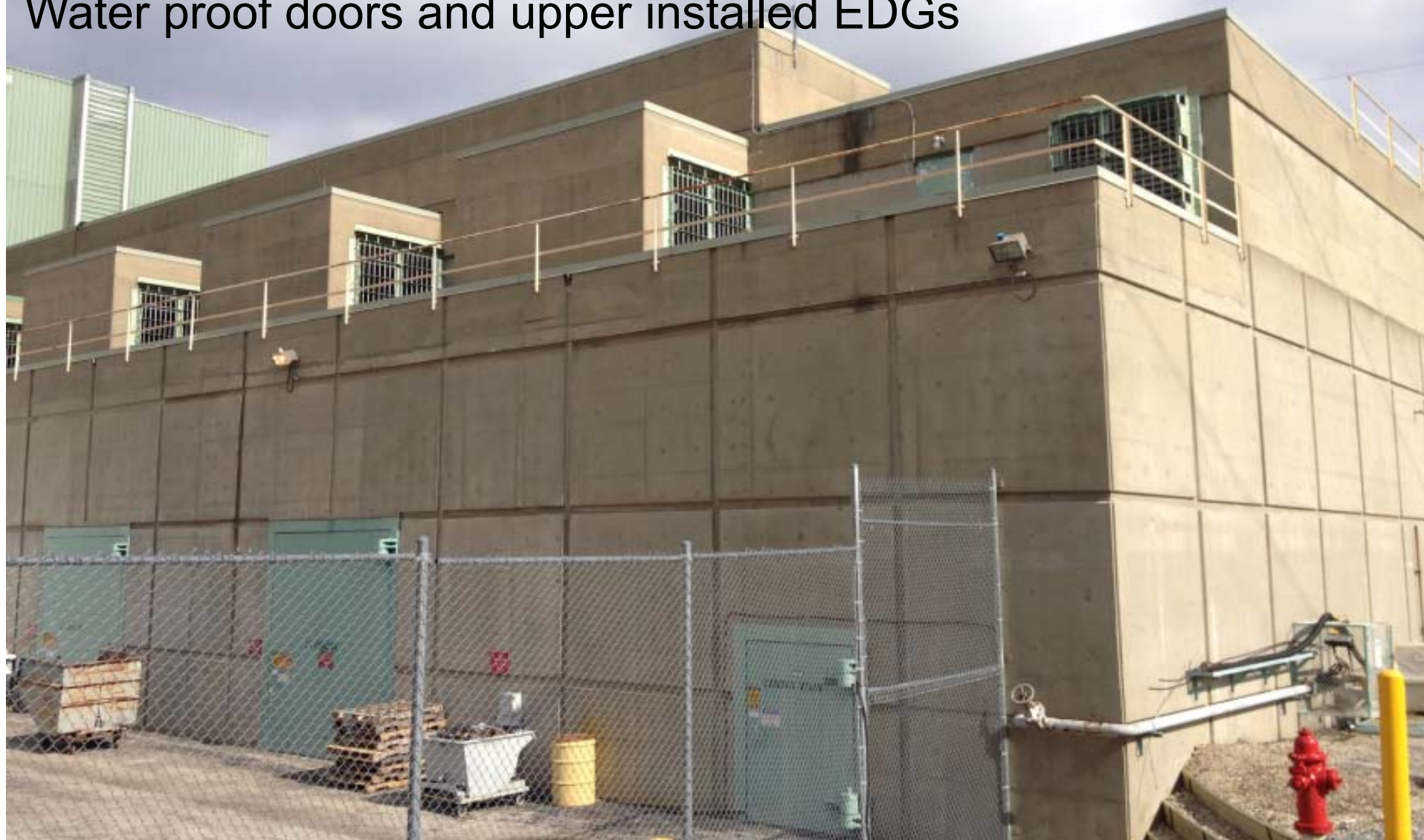


Peach Bottom NPPの中操

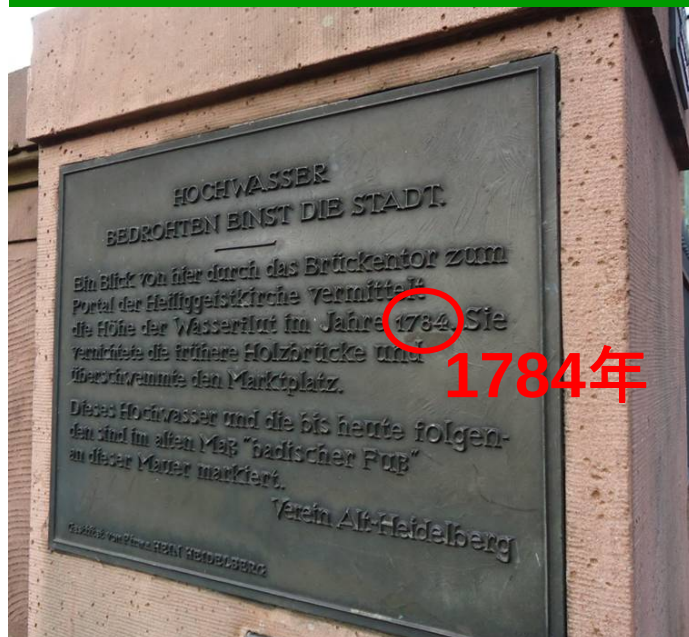


Peach Bottomの非常用DG建屋の水密化

Emergency diesel generator's building
Water proof doors and upper installed EDGs



ドイツの大洪水の記録(1784年)



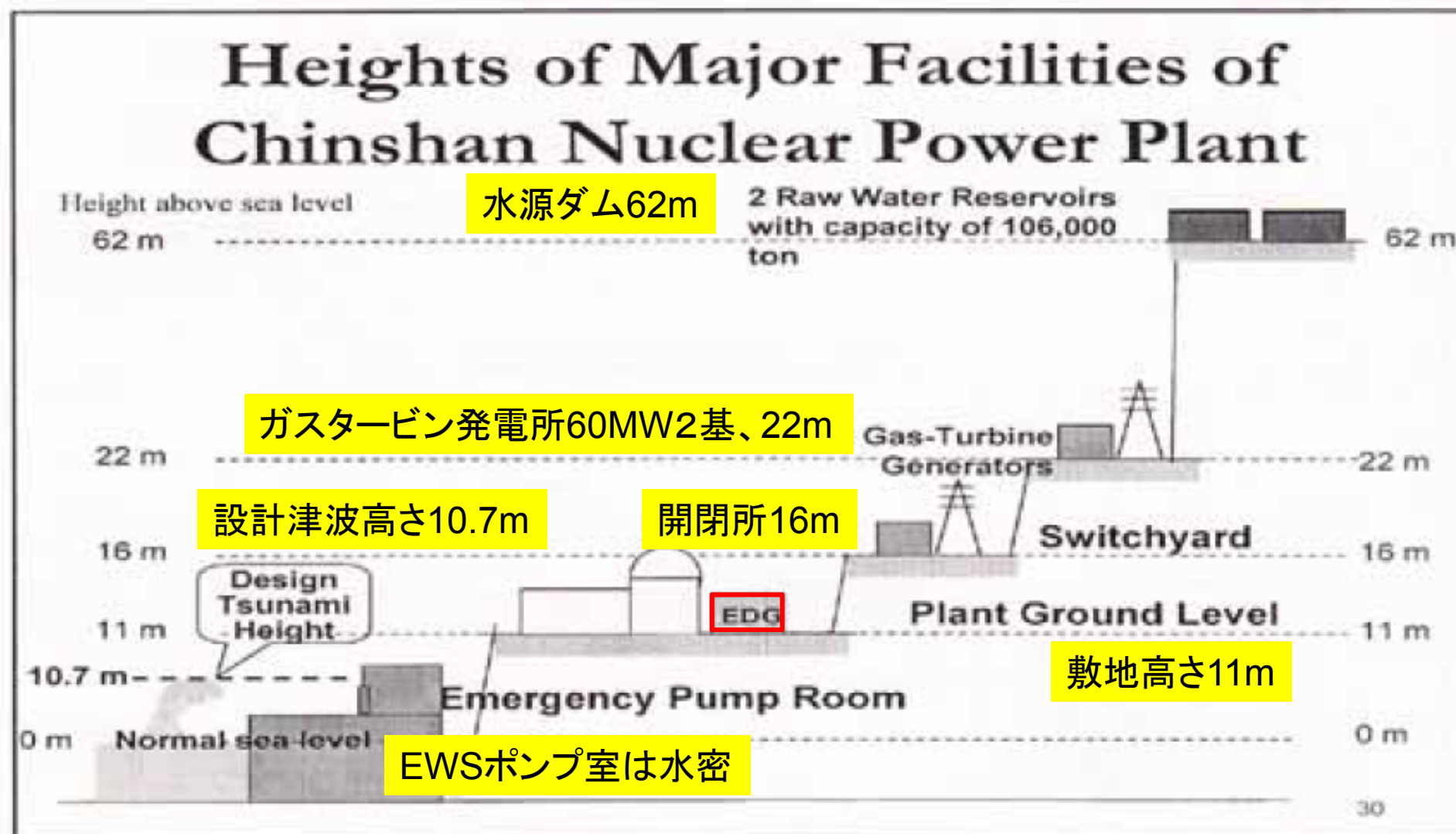
台湾の金山発電所の津波対策

二、核一廠與福島電廠的差異



台湾の金山発電所の津波対策

金山原子力発電所 (BWR、63 万 6 千 KWe x 2 基、1978&1979 年完成)



台湾の金山発電所の津波対策

海拔62mの高さに山をくりぬいて
10.6万トンのダムを1979年に建設完了



台湾の金山発電所1,2号機の津波対策

海拔22mの高さに6万kWのガスタービン電源2基
を1979年に設置完了(12万kWの緊急電源)



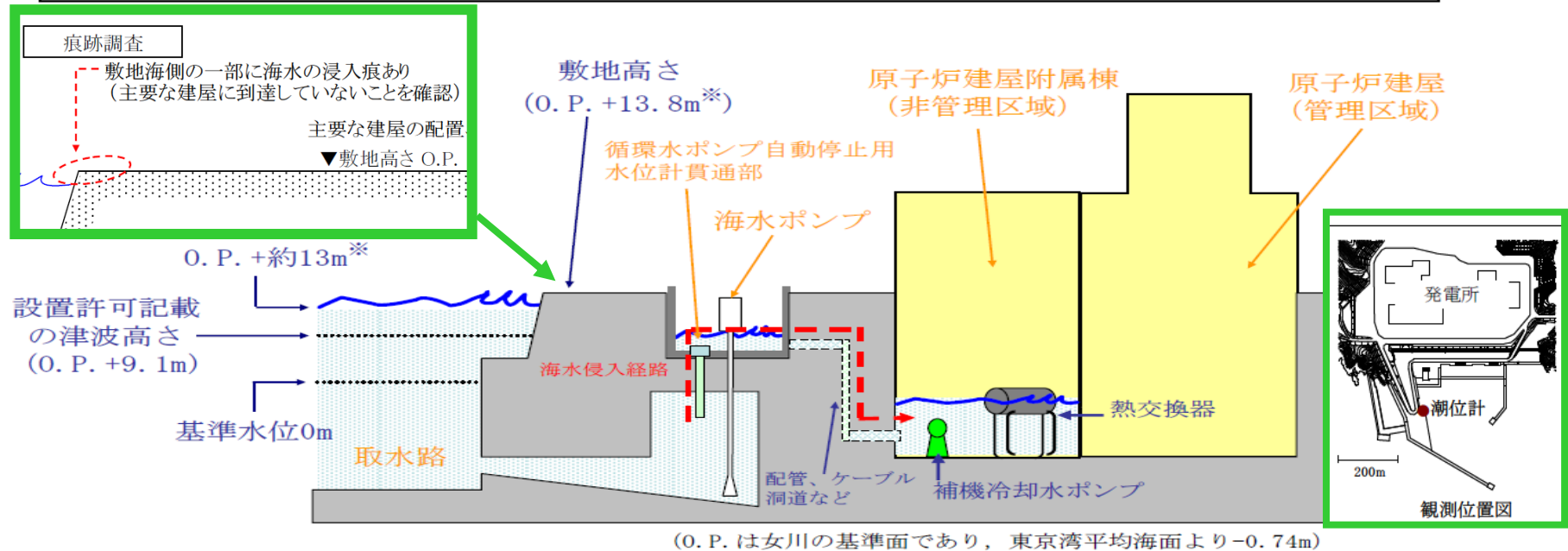
台湾の金山発電所1,2号機の津波対策

- 海水EWSポンプと水密ポンプ室
- 放水口の水門は津波前に閉止

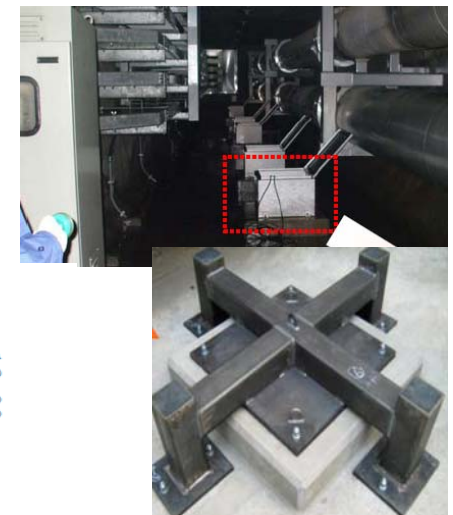
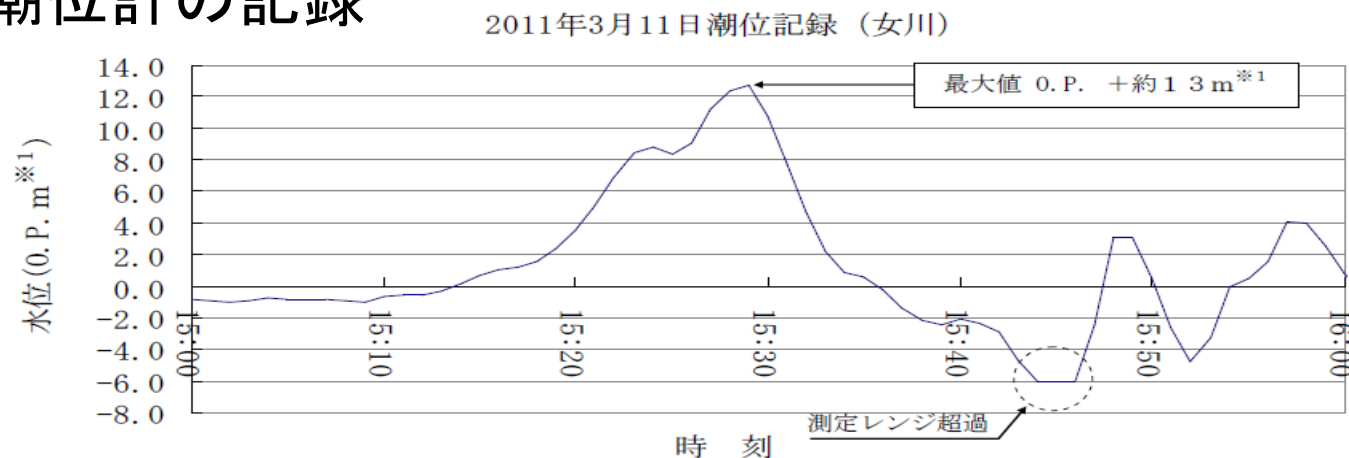


東北電力女川原子力発電所

原子炉補機冷却系熱交換器（B）室等への浸水経路（イメージ図）



潮位計の記録

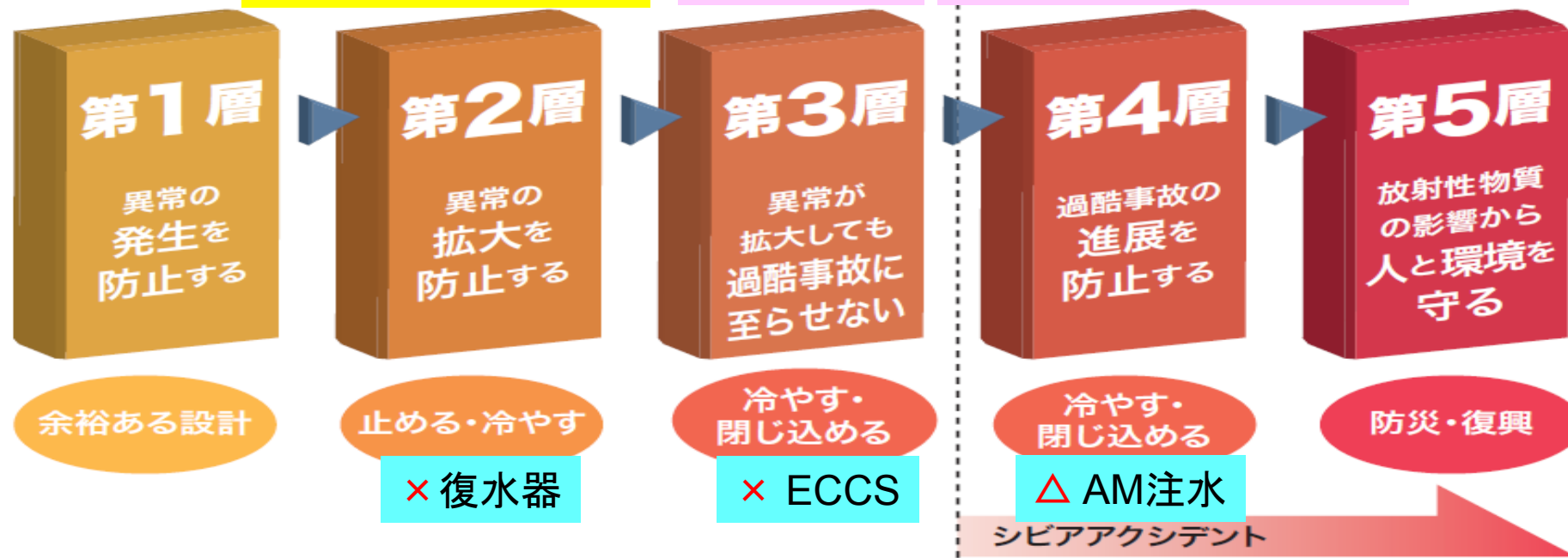


深層防護の基本的な考え方と反省

地震→外部電源喪失

津波→SBO

瓦礫撤去・機材準備不足



「止める」「冷やす」「閉じ込める」

原子炉で異常・故障などが発生した際に、放射性物質が発電所の外へ漏れ出ることを防ぐことが重要です。

そのための機能は、大きく分けて、①異常を検知し自動的に制御棒を挿入して原子炉を停止させる「止める」機能②停止後、原子炉の燃料の破損を防ぐため冷却を続ける「冷やす」機能③放射性物質を発電所外に出さないため多重の格納をする「閉じ込める」機

能——の3つからなります。

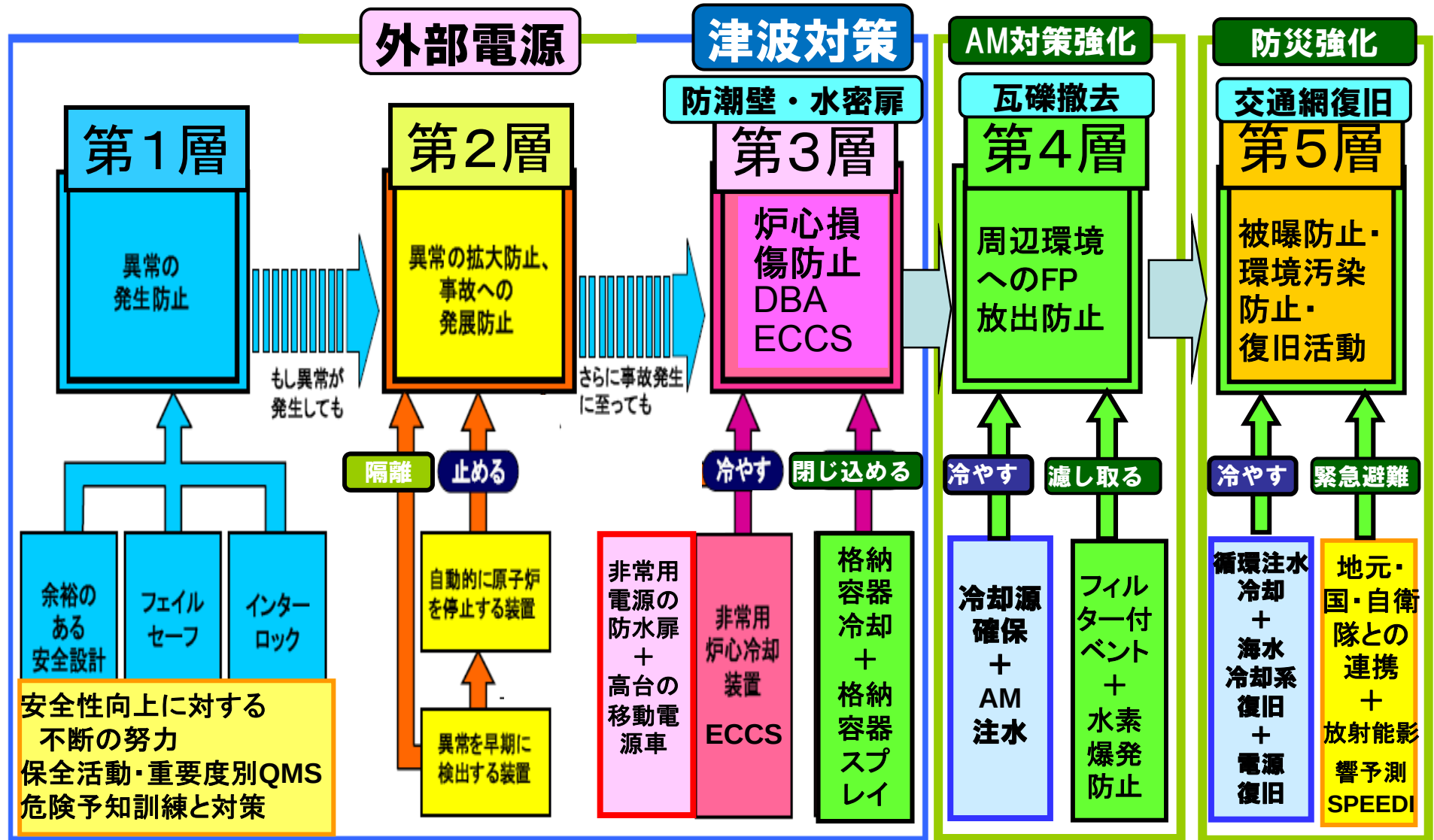
特に「冷やす」機能の確保は、冷却に失敗し燃料が損傷してしまった福島事故の教訓から、新規制基準では、第4層にも可搬式の注水設備などを独立して用意することが求められています。

核分裂反応を止めても「崩壊熱」と呼ばれる余熱が、じわじわと発生し続けるので、冷却を続けなくてはなりません。

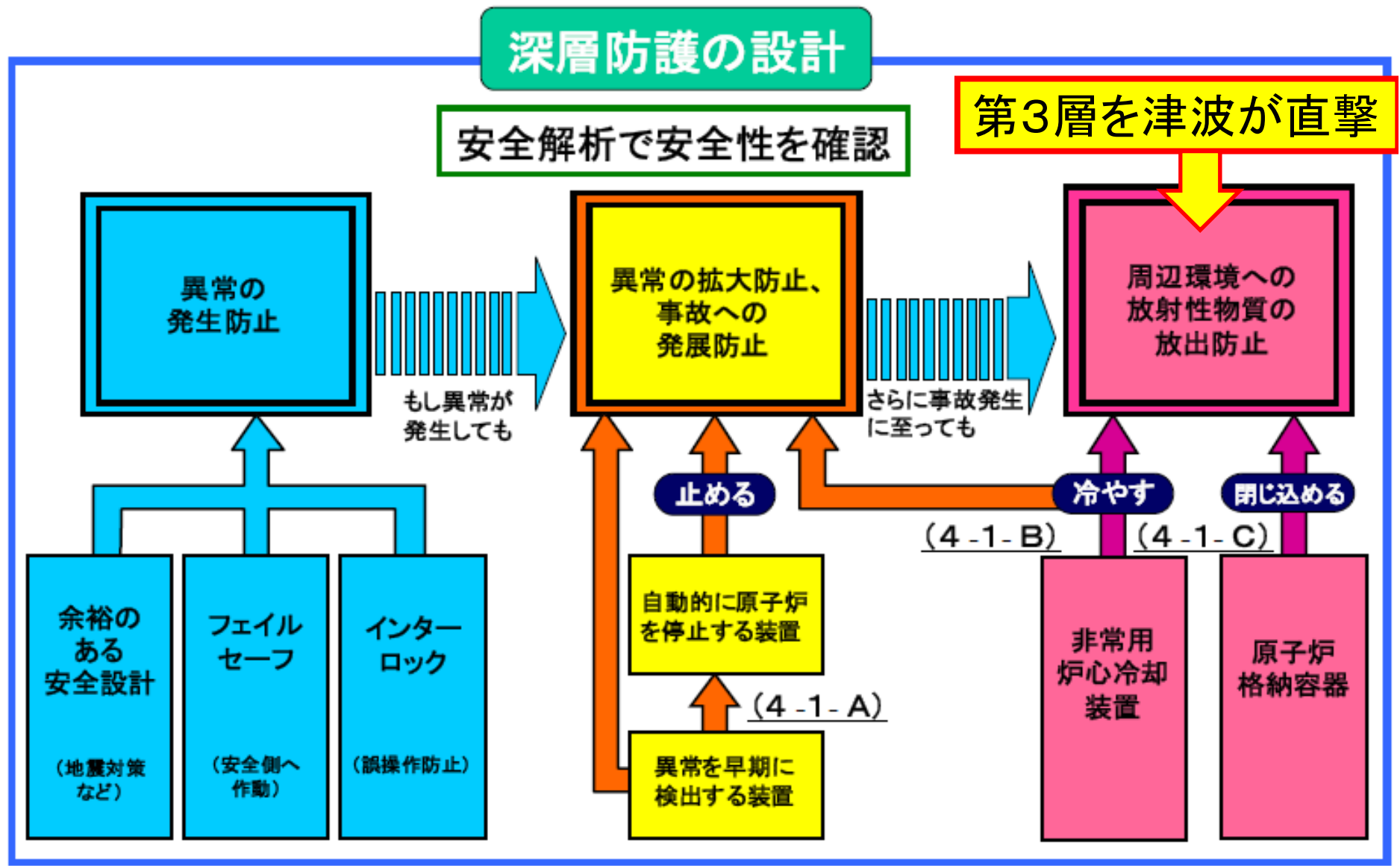
津波に対する深層防護の強化

自然災害・テロ対策強化

究極の安全目標:「人と環境を守る」



3.11以前の我が国の深層防護は第3層までだった



27

最新の知見と規制への反映の必要性

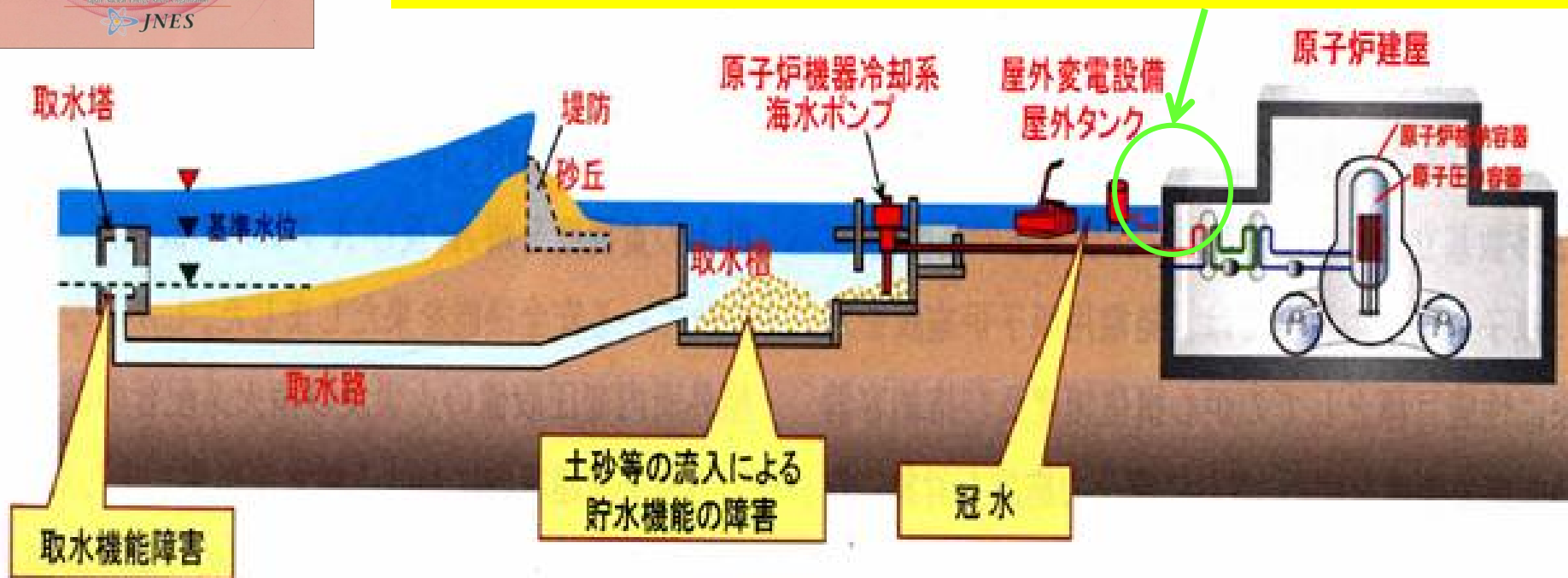
平成19年度
原子力安全基盤機構年報



原子力安全保安院の技術支援組織である原子力安全基盤機構(JNES)は平成19年度の年報で、津波と電気品の機能喪失の解析を公表していた。

なぜ、最新の知見が規制に反映されなかったのか？

実際は、原子炉建屋1階には非常用DGの給排気ルーバーが開口していた。この図を元に多くの人が真剣に議論すべきであった。



津波に対する深層防護

防ぐ・避ける・耐える

津波検知

防潮壁・水密扉

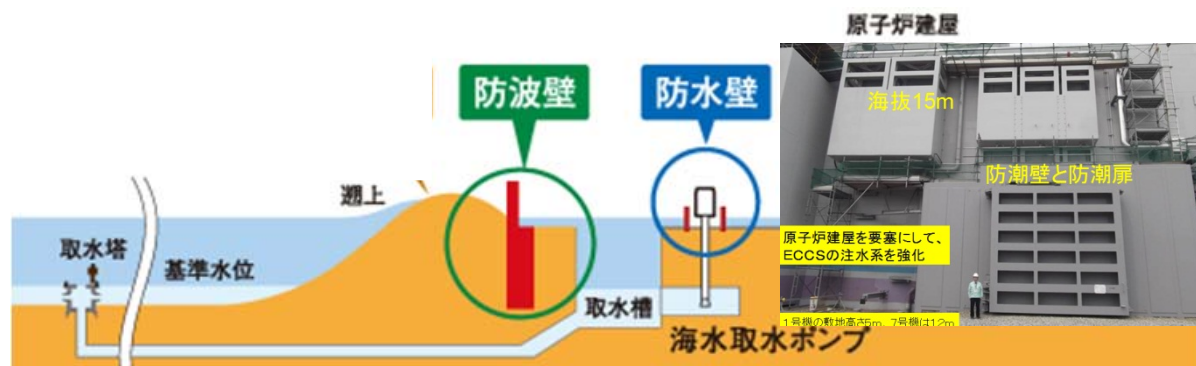
高台で津波を避ける



防潮堤や防潮壁
で津波を防ぐ

原子炉建屋の
防潮壁・扉で
津波に耐える

機器室の水密扉
で津波を侵入させ
ない



泊原子力発電所の安全対策強化

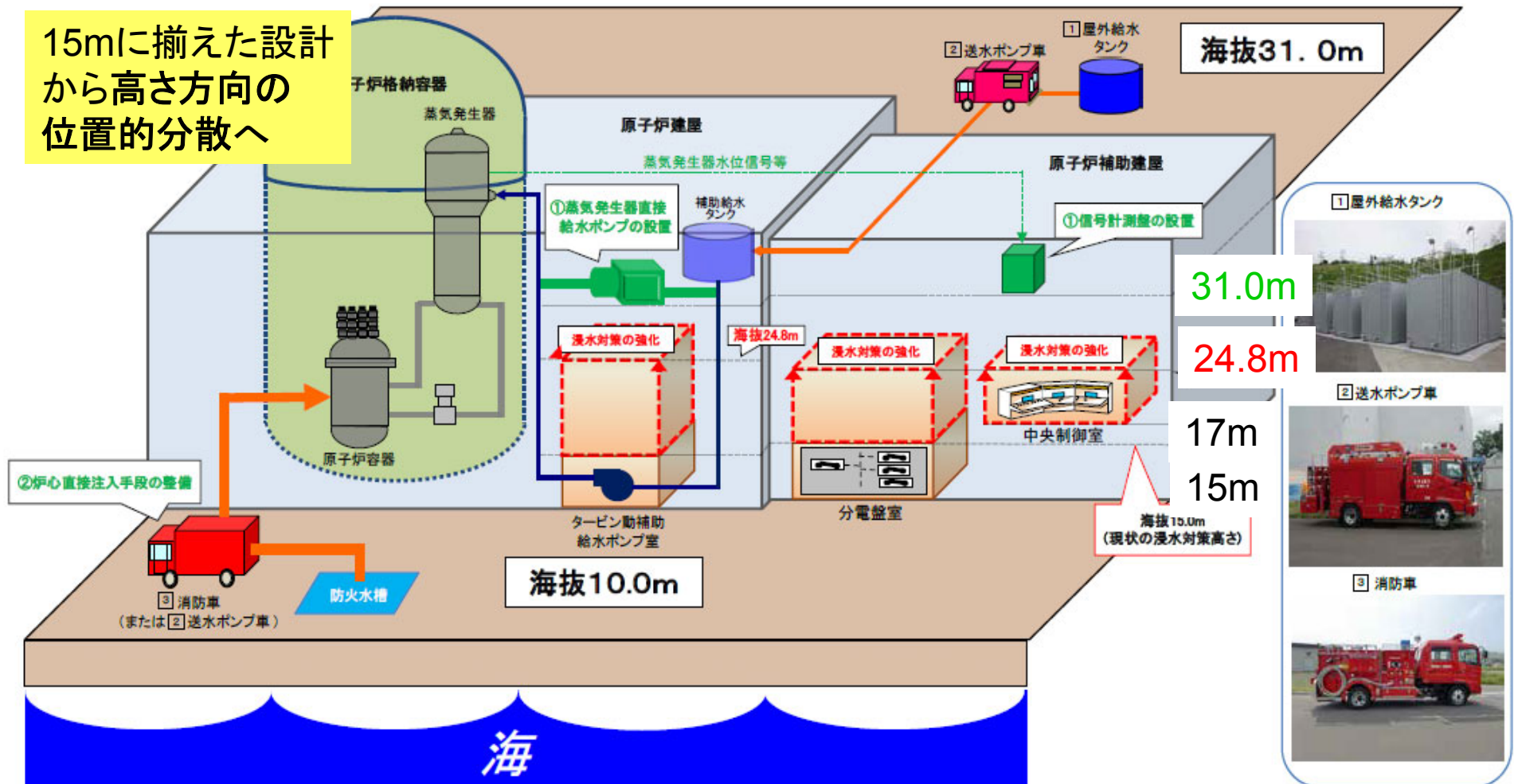
(1) 炉心燃料冷却手段の多様化

- ① 蒸気発生器給水ポンプ・信号計測盤: 31.0
- ② 炉心直接注水手段の整備(移動式)

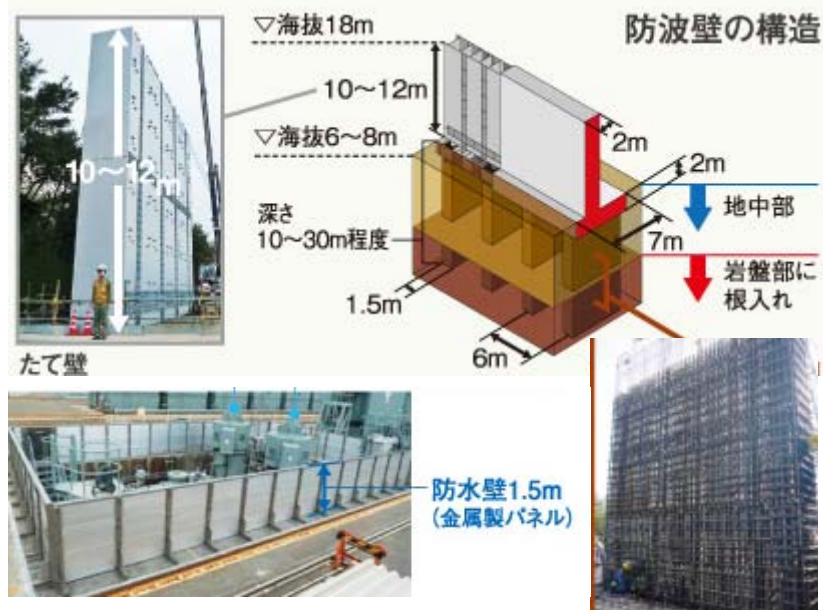
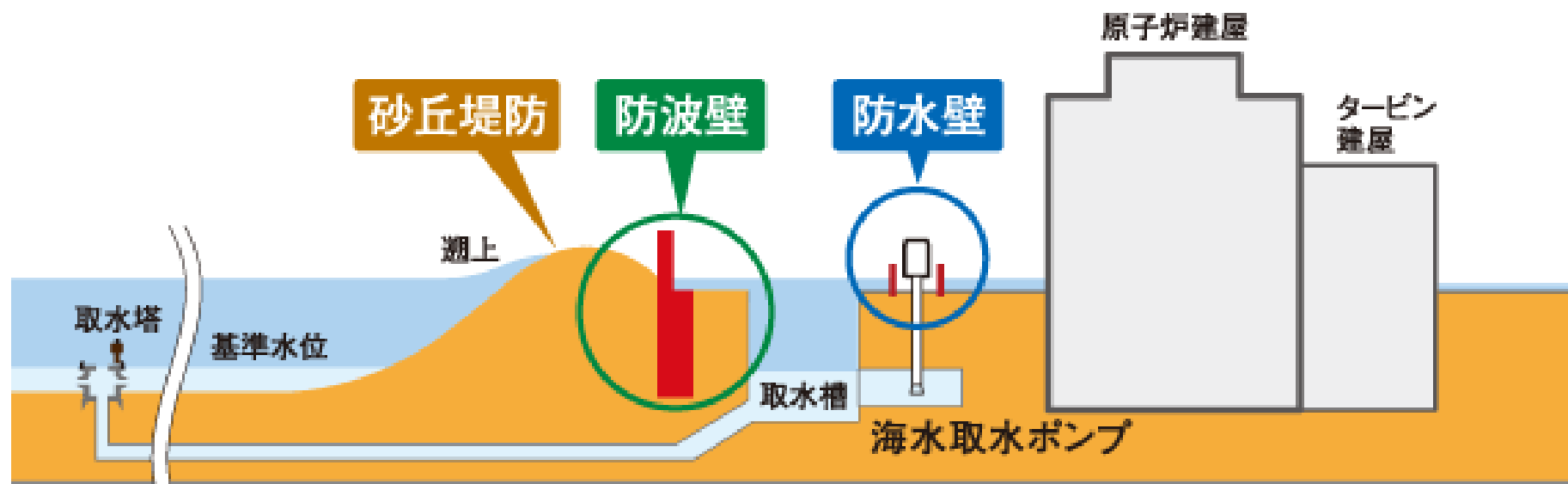
(2) 緊急安全対策設備の浸水対策の強化

- ・タービン動補助給水ポンプ: 24.8m
- ・分電盤・中央制御室: 20.0m

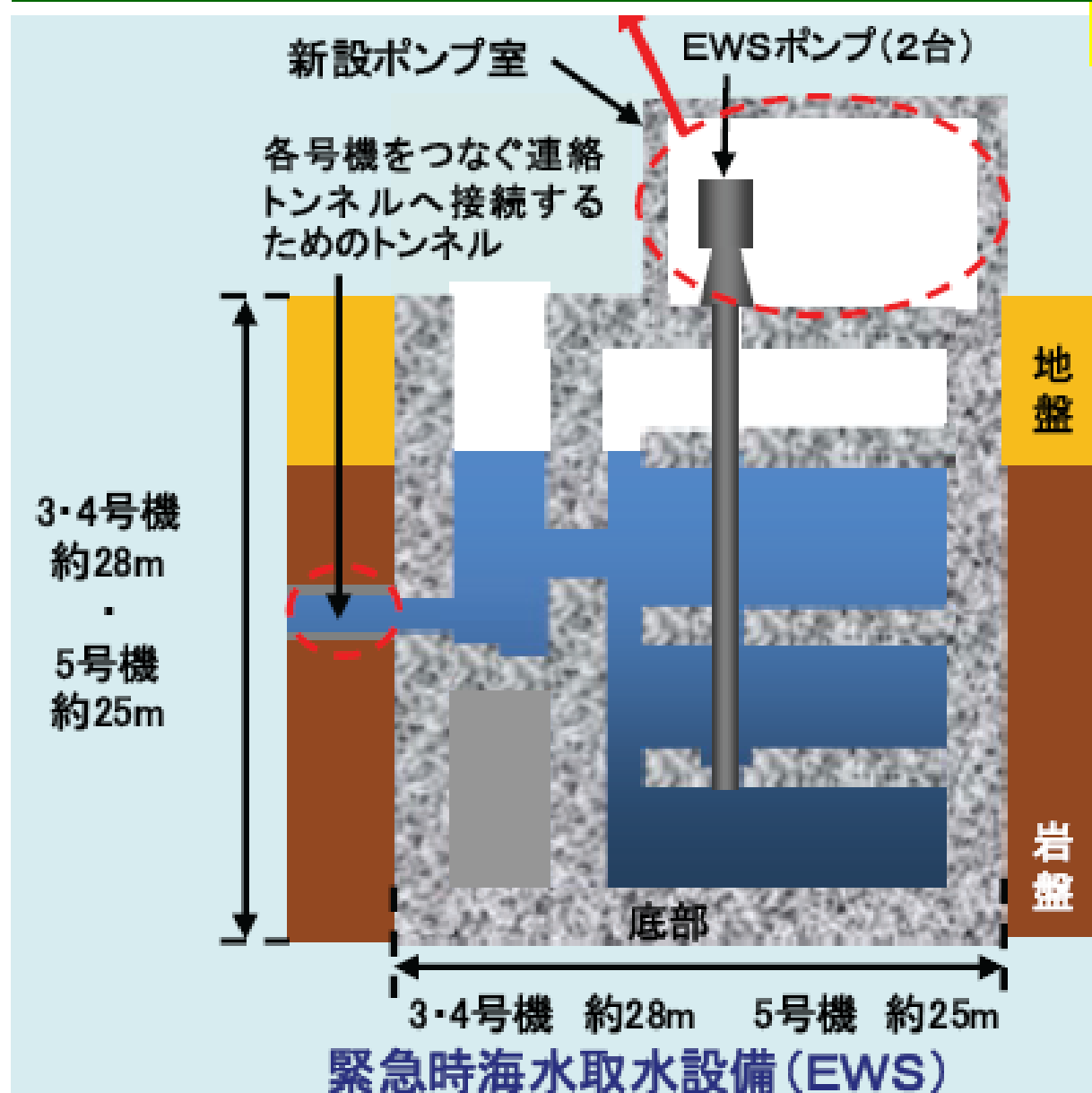
15mに揃えた設計
から高さ方向の
位置的分散へ



浜岡発電所の防波壁（海拔18 m）



浜岡原子力発電所の緊急時海水取水設備

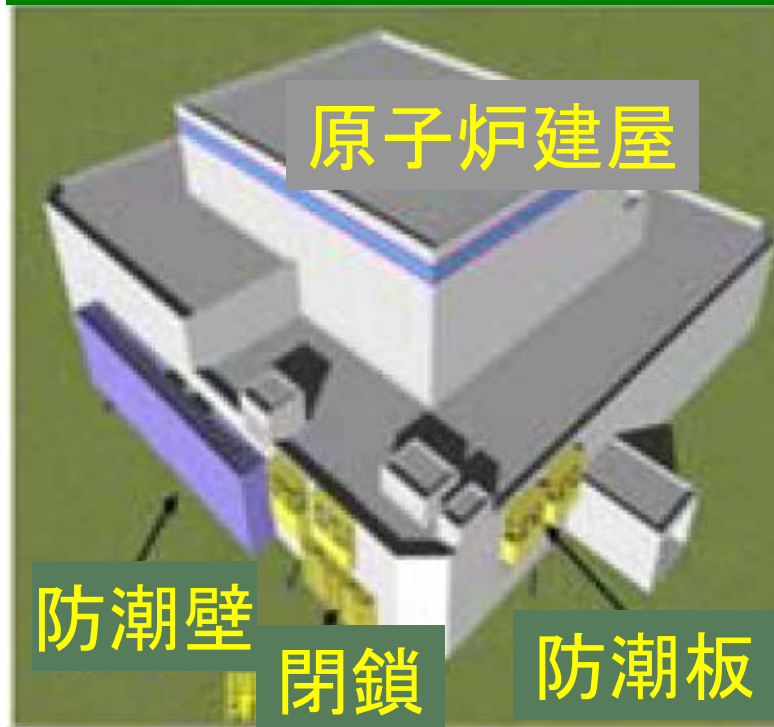


分厚いEWSポンプ室のコンクリート壁

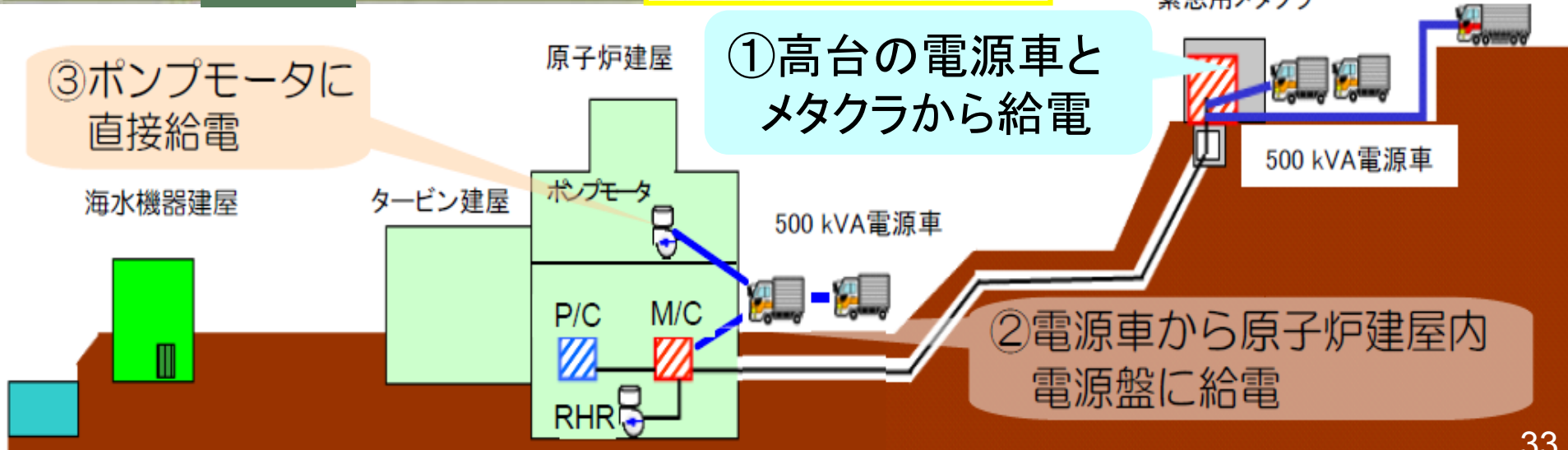


ドアの水密化と高台の電源

防潮扉



M/C: メタクラ
P/C: パワーセンタ
MCC: モータコントロールセンタ
RHR: 残留熱除去系



原子炉建屋の水密化（城塞）

海拔15m

防潮壁と防潮扉

原子炉建屋を要塞にして、
ECCSの注水系を強化

1号機の敷地高さ5m、7号機は12m

島根発電所の海水ポンプの津波対策

- 海水ポンプモータのシュノーケリング
- ドアの水密化



3号機防水蓋・給排気塔の設況置工事の状況
(平成23年11月) 中国電力HPより



2号機建物内に設置した水密扉

島根発電所の津波対策(防波壁)

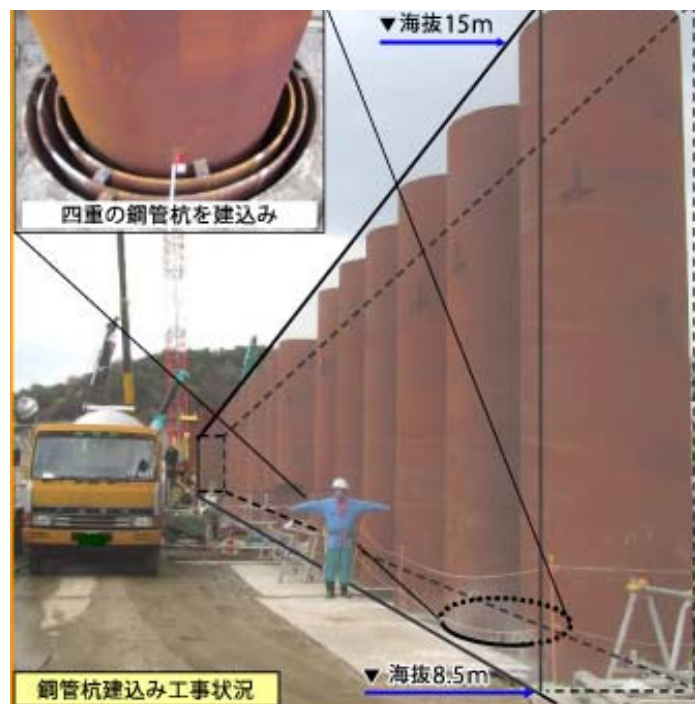
■ 防波壁の建設



3号機エリア



3号機北側エリアの防波壁工事の様子



島根発電所の津波対策(50mの高台)

■ 高台(海拔40m)への緊急用発電機の追加設置



イギリスから輸送されたガスタービン発電機(4分割で納入)の荷揚げの様子。



運用を開始したガスタービン発電機 (平成23年12月)中国電力HPより



志賀原子力発電所の敷地高さ21m

志賀原子力発電所イメージ図



志賀原子力発電所の敷地高さ21m

国内におけるドライサイトの実例
タービン建屋から原子炉建屋に階段状の敷地



INPOによる産業界の迅速な対応

Prompt Industry Response Institute of Nuclear Power Operations (INPO) Event Report

“Actions provide near-term assurance that each station is in a high state of readiness to respond to both design basis and beyond design basis events.” INPO 2011

- DCPP is verifying the capability to respond to:
 - Beyond design basis events – due March 23 (complete)
 - **Security threats**
 - **Severe action management scenarios**
 - Station blackout (loss of AC power) – due March 30 (complete)
 - Internal and external flooding – due April 6 (complete)
 - Respond to a fire or flood with a seismic event – due April 13

Severe and Extreme accident Response Beyond DBA

Severe Accident Management Guidelines (SAMG)

- Controlling Reactor Coolant System (RCS) pressure and temperature
- Injecting into steam generators
- Controlling containment pressure and hydrogen concentration
- Flooding containment

Extreme Damage Mitigation Guidelines (EDMG) – Actions taken to address extensive plant damage

- Spent Fuel Pool (SFP) water replacement and spray via fire water and portable pump (fire truck)
- Depressurization of steam generators using atmospheric dump valves
- Ability to reduce containment pressure even with no power or air available
- Start emergency diesel generators with no power available

DCPP/ Fukushima Daiichi Elevations

Approximately 2,600 used fuel assemblies are stored on site

Spent Fuel Pool



Dry Cask Storage

- Used fuel assemblies are stored in stainless steel Multi-Purpose Canister (MPC)
- MPC/fuel assemblies passively air cooled within a 20 ft tall concrete overpack, concrete overpack is approximately two feet thick

11