

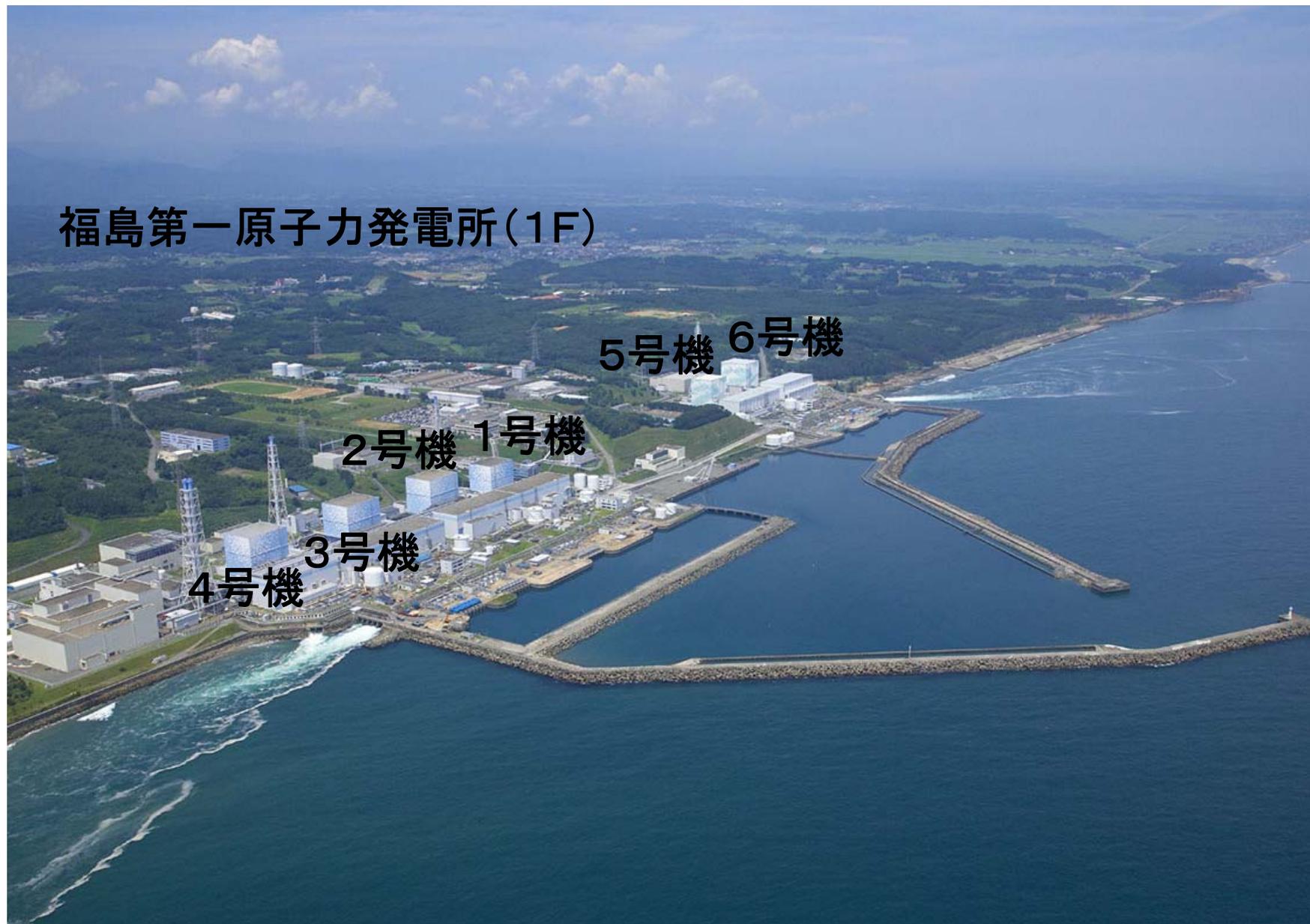
東京電力福島第一原子力発電所の現状と 建屋内除染の進捗状況について

平成25年8月25日

東京電力株式会社
鈴木俊一

福島第一原子力発電所の全景

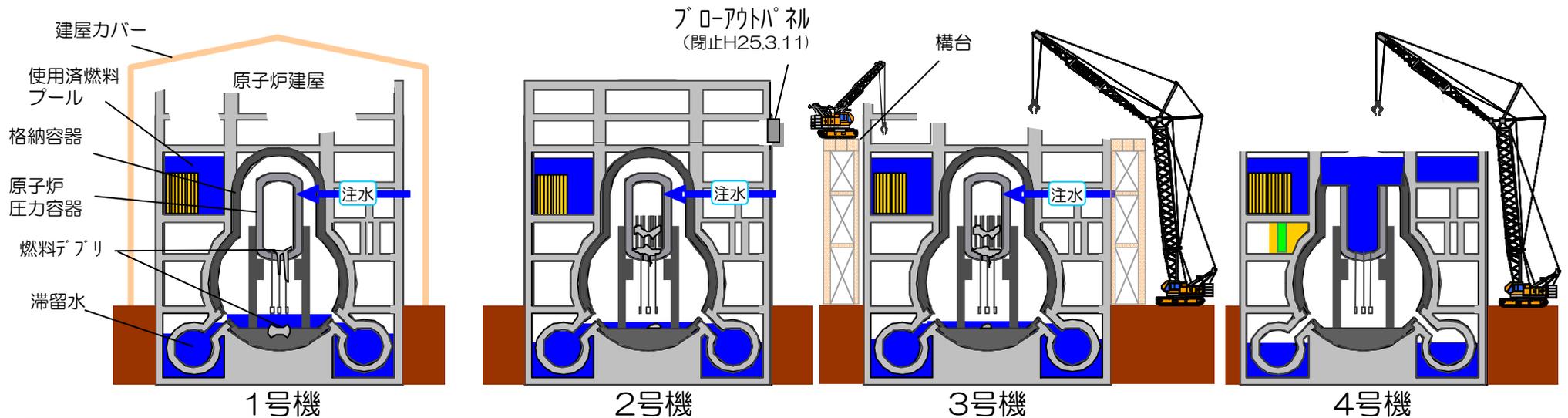
福島第一原子力発電所(1F)



福島第一原子力発電所の現状

原子炉及び燃料プールの現状

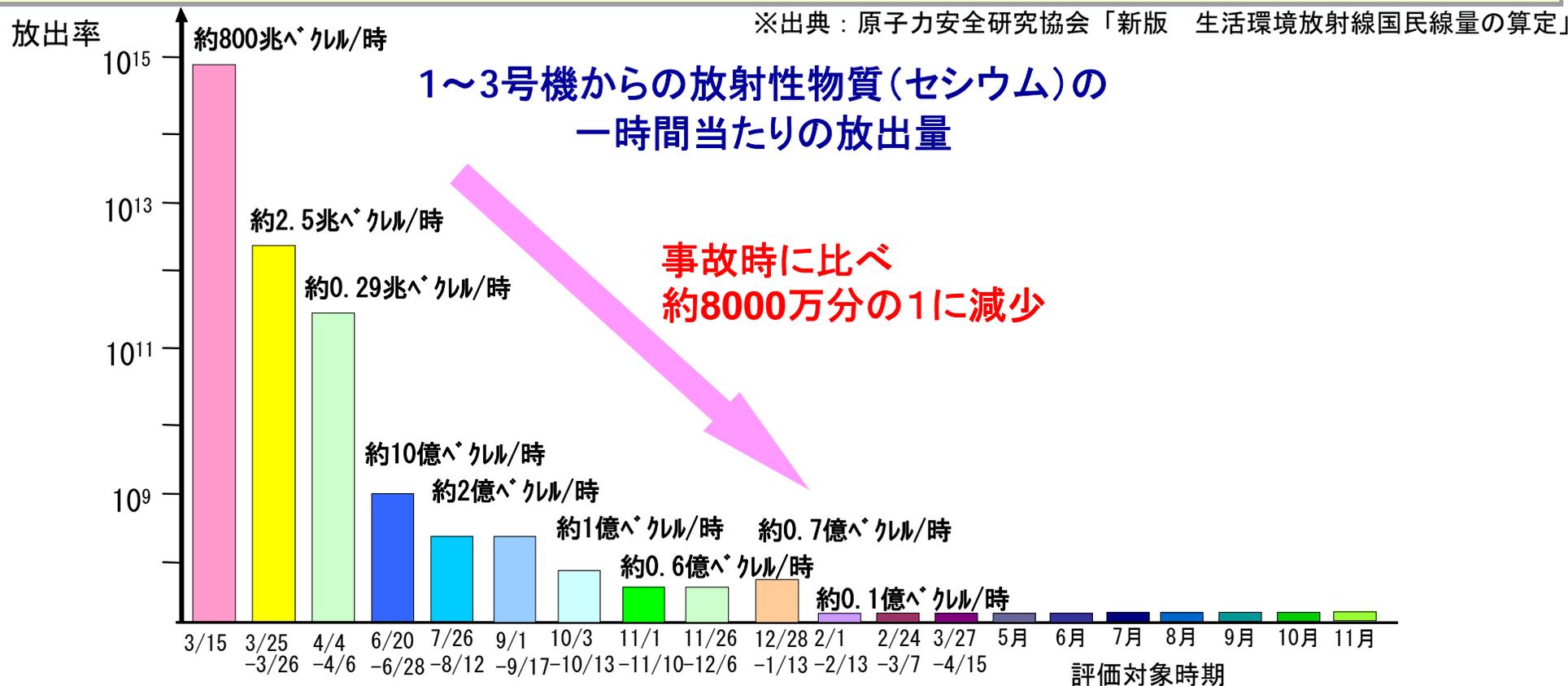
1～3号機の原子炉は安定的に冷温停止状態（約25～約50℃）を維持しており、1～4号機の使用済燃料プールもいずれも温度は安定した状態です。



圧力容器	30.6℃	41.8℃	40.6℃	燃料なし
格納容器	31.3℃	42.0℃	38.9℃	
燃料プール	27.5℃	27.2℃	26.2℃	

放射性物質放出の抑制

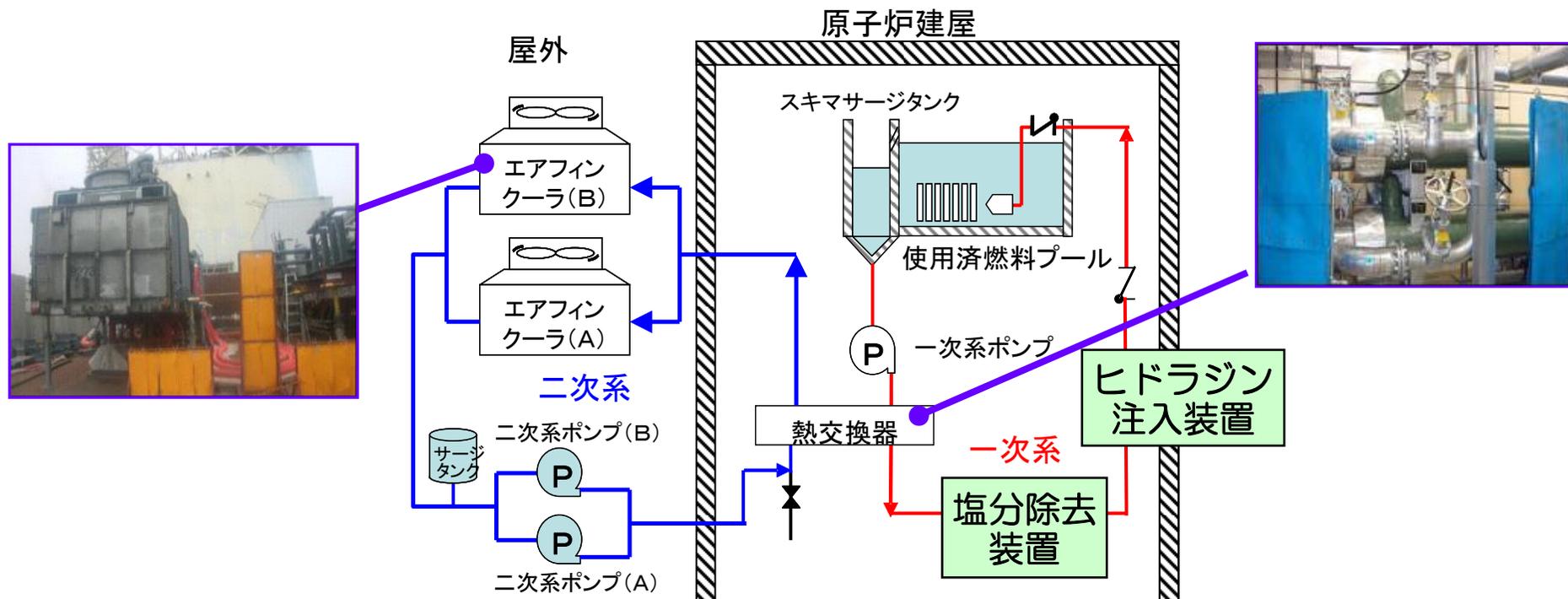
- 1～3号機格納容器からの放射性物質の放出量(セシウム)を、原子炉建屋上部等の空气中放射性物質濃度(ダスト濃度)を基に継続的に評価。
→放出量の評価値(H24年11月)は合計約0.1億ベクレル/時と算出。
- これによる敷地境界の被ばく線量は、最大0.03mSv/年と評価。
(注)これまでに既に放出された放射性物質の影響を除く。法令で定める線量限度は1mSv/年。
- 自然放射線による年間線量(日本平均約2.09mSv/年※)の約70分の1。



使用済燃料プールの安定冷却

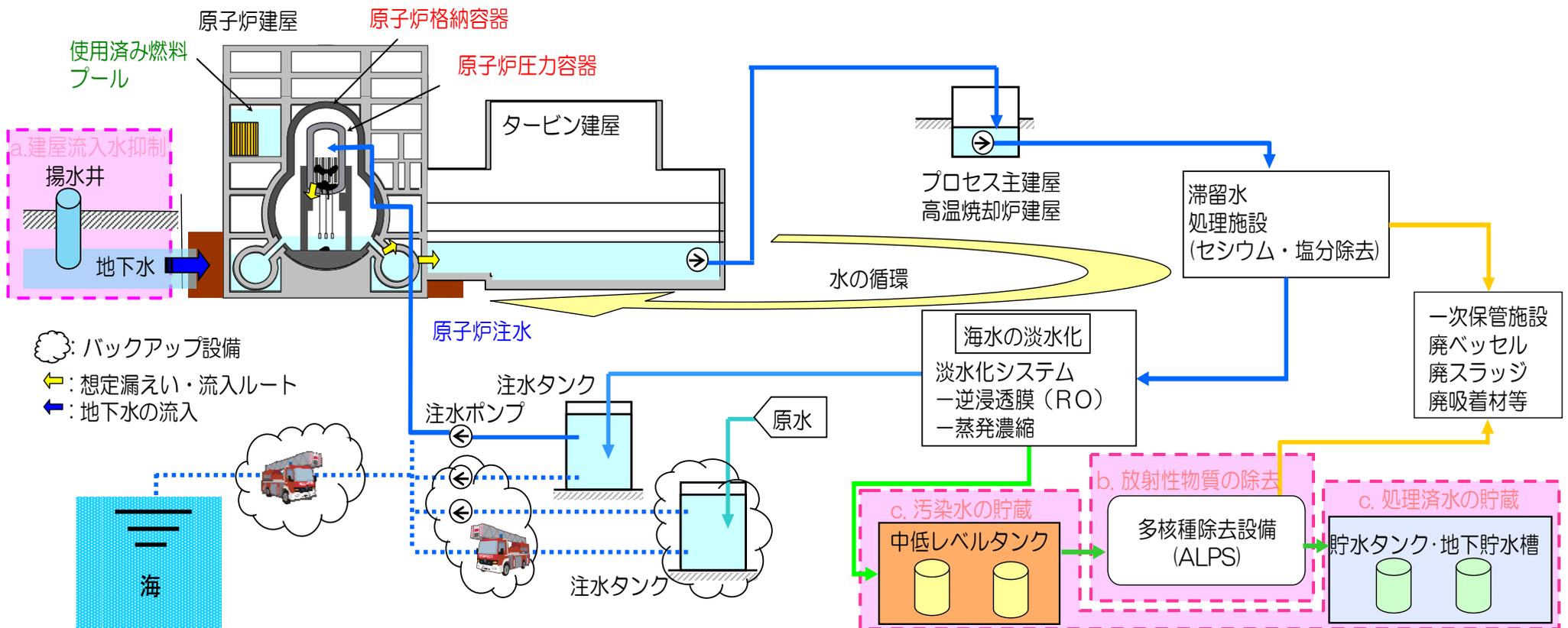
- 使用済燃料プール水の循環冷却を継続中。(1号機:H23/8/10～、2号機:H23/5/31～、3号機:H23/6/30～、4号機H23/7/31～)
- 使用済燃料プール構造材・配管等の健全性確保のため、モバイルRO(逆浸透膜)やイオン交換装置による塩分除去を実施。(1号機:海水注入実施せず、**2～4号機:除去完了**)
- 万一、一次系/二次系ポンプ・配管の故障等により循環冷却ができなくなった場合に備え、コンクリートポンプ車等代替注水設備を配備済み。

<使用済燃料プール循環冷却設備概要>

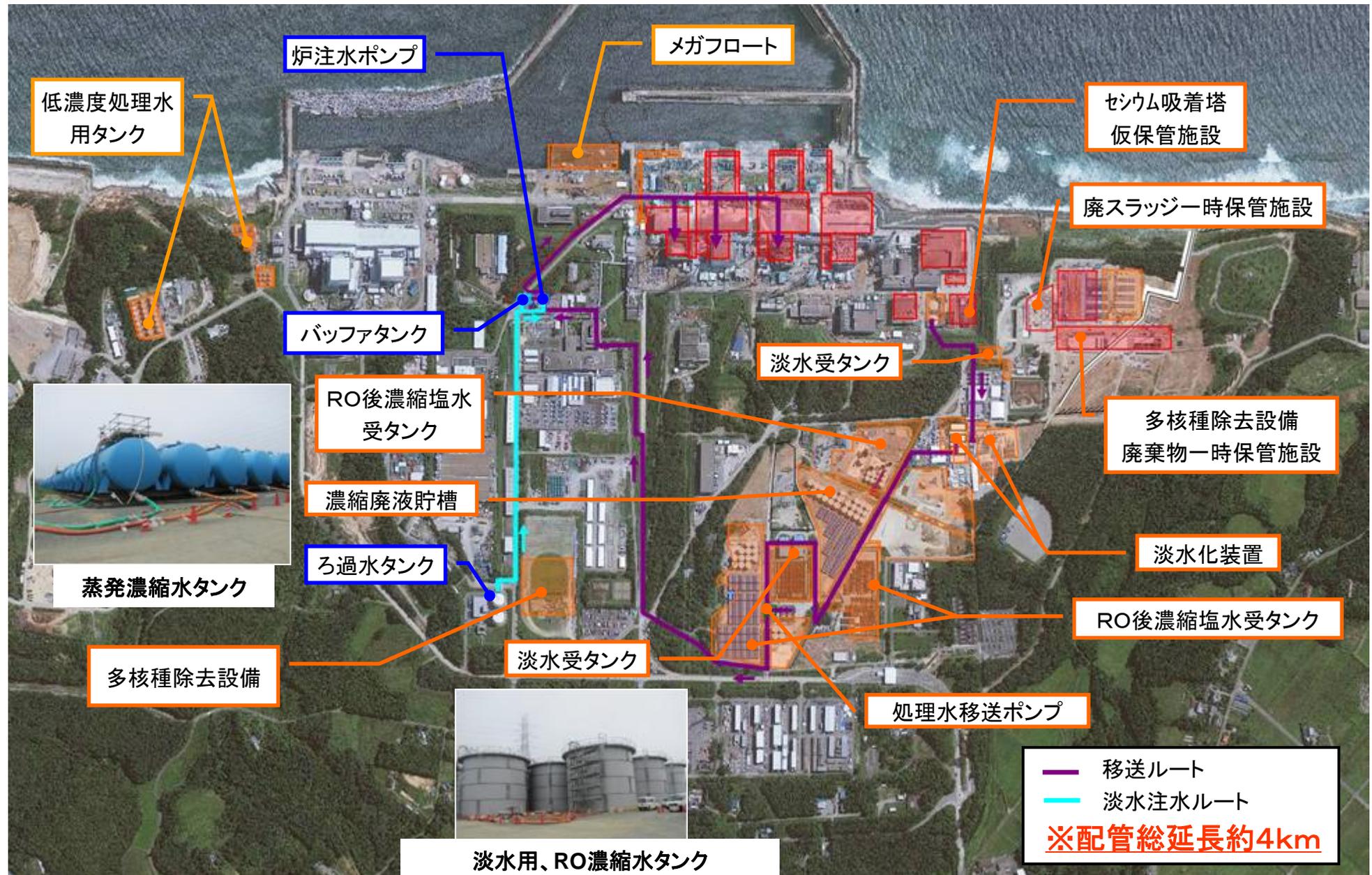


循環注水冷却システム

- 建屋地下階に滞留している高濃度の放射性物質を含んだ滞留水を、セシウム・塩分除去後、原子炉注水に再利用する「循環注水冷却システム」を構築。**(多重性、多様性、独立性を確保)**
- この過程で発生する汚染水を処理・貯蔵。
- 万一、事故により原子炉注水に係る複数の設備が同時に機能喪失したとしても、3時間程度で原子炉注水の再開が可能



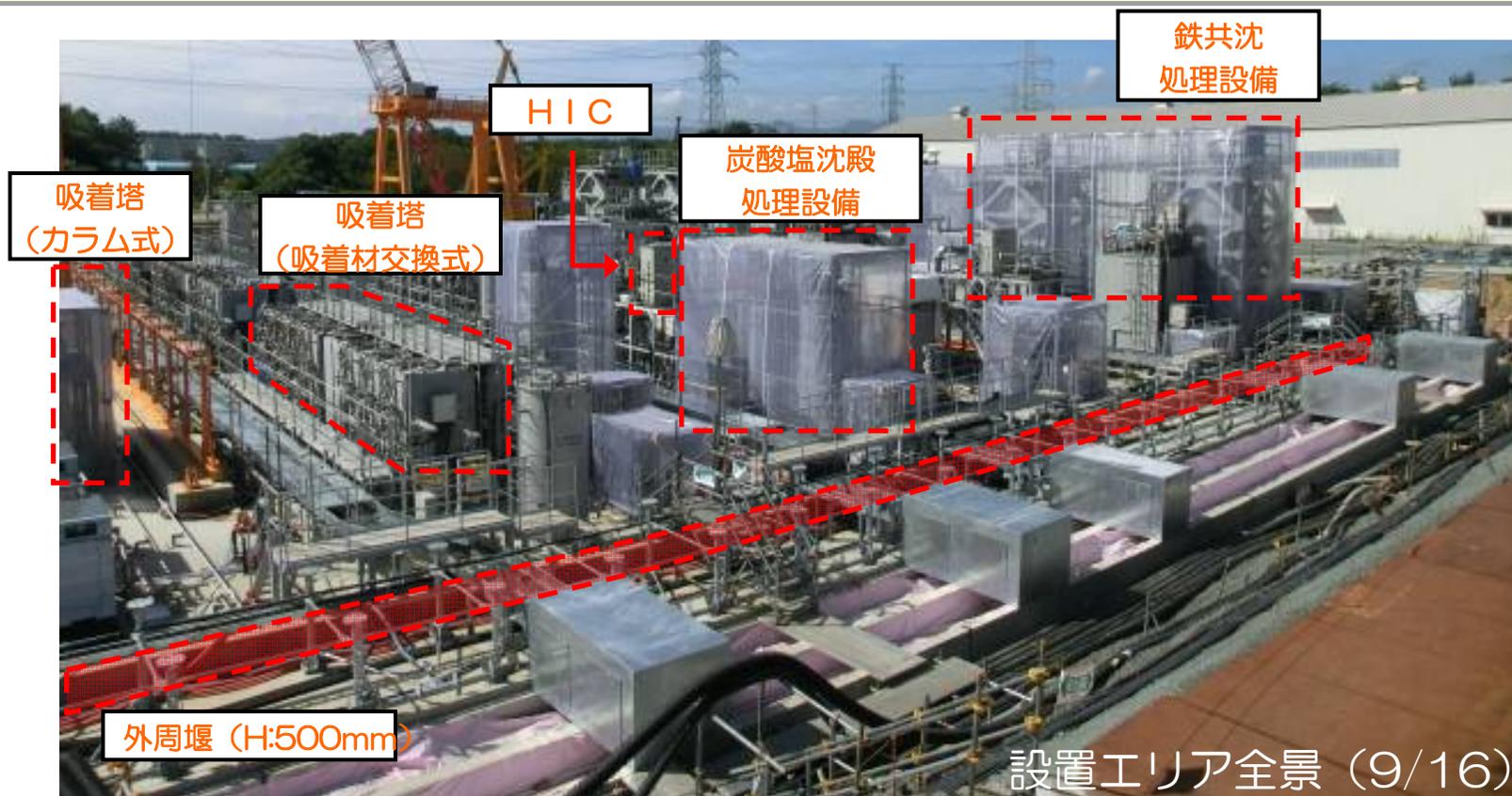
滞留水貯蔵タンク



RO: 逆浸透膜 (Reverse Osmosis Membrane)

多核種除去設備の設置

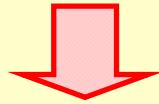
- 既設滞留水処理設備は主にセシウムを除去しているが、**処理水の放射性物質濃度をより一層低く管理するため、セシウム以外の核種も除去する「多核種除去設備」を導入。**
- 確証試験の結果、**除去対象核種（62核種）**に対して、告示濃度限度を満足し、かつ、**トリチウムを除く核種で、検出限界（N.D.）値未満まで除去**できることを確認。
- 現場では、**機器・配管据付工事が完了し、ホット試験を実施中。**



地下水流入に対する対策（サブドレンの復旧）

サブドレン装置：

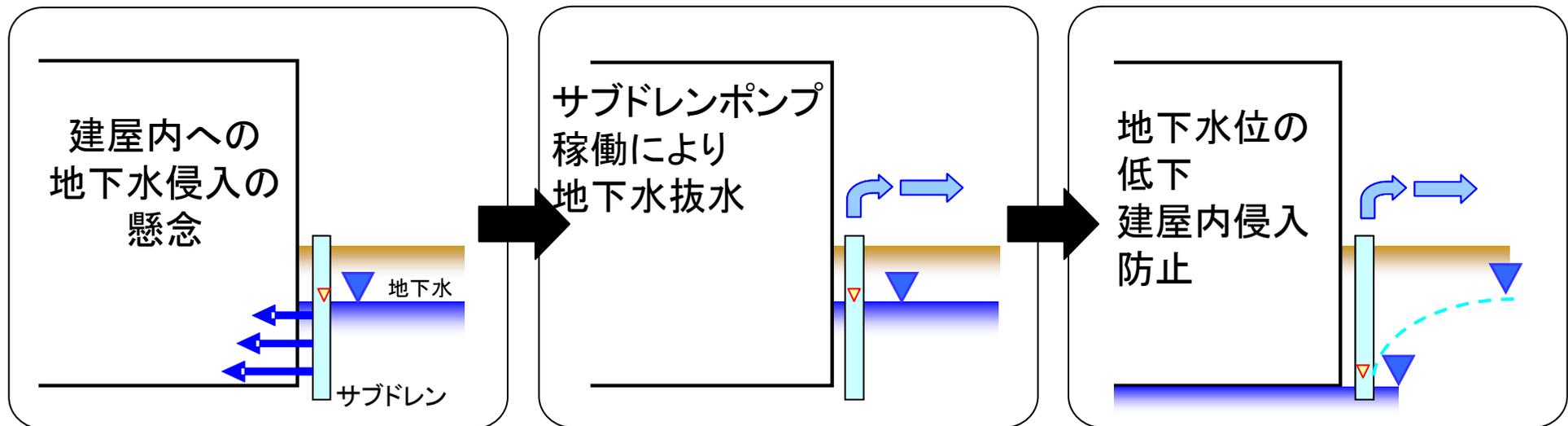
地下水の建物内への侵入防止のためピット内のポンプにより地下水を汲み上げ、地下水位のバランスをとる装置。



地下水の流入抑制のため、サブドレン水を汲み上げ、地下水位を低下。

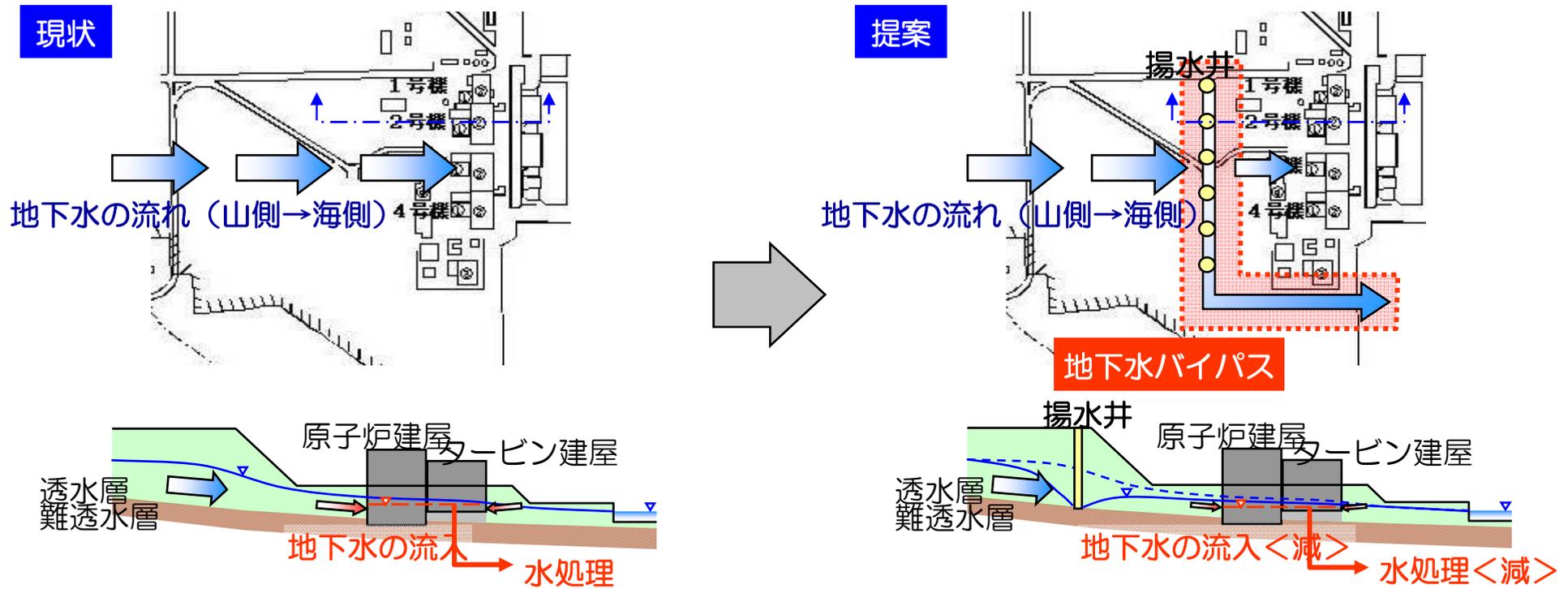


サブドレンピット内部



地下水侵入防止イメージ図

地下水流入に対する対策（地下水バイパス）



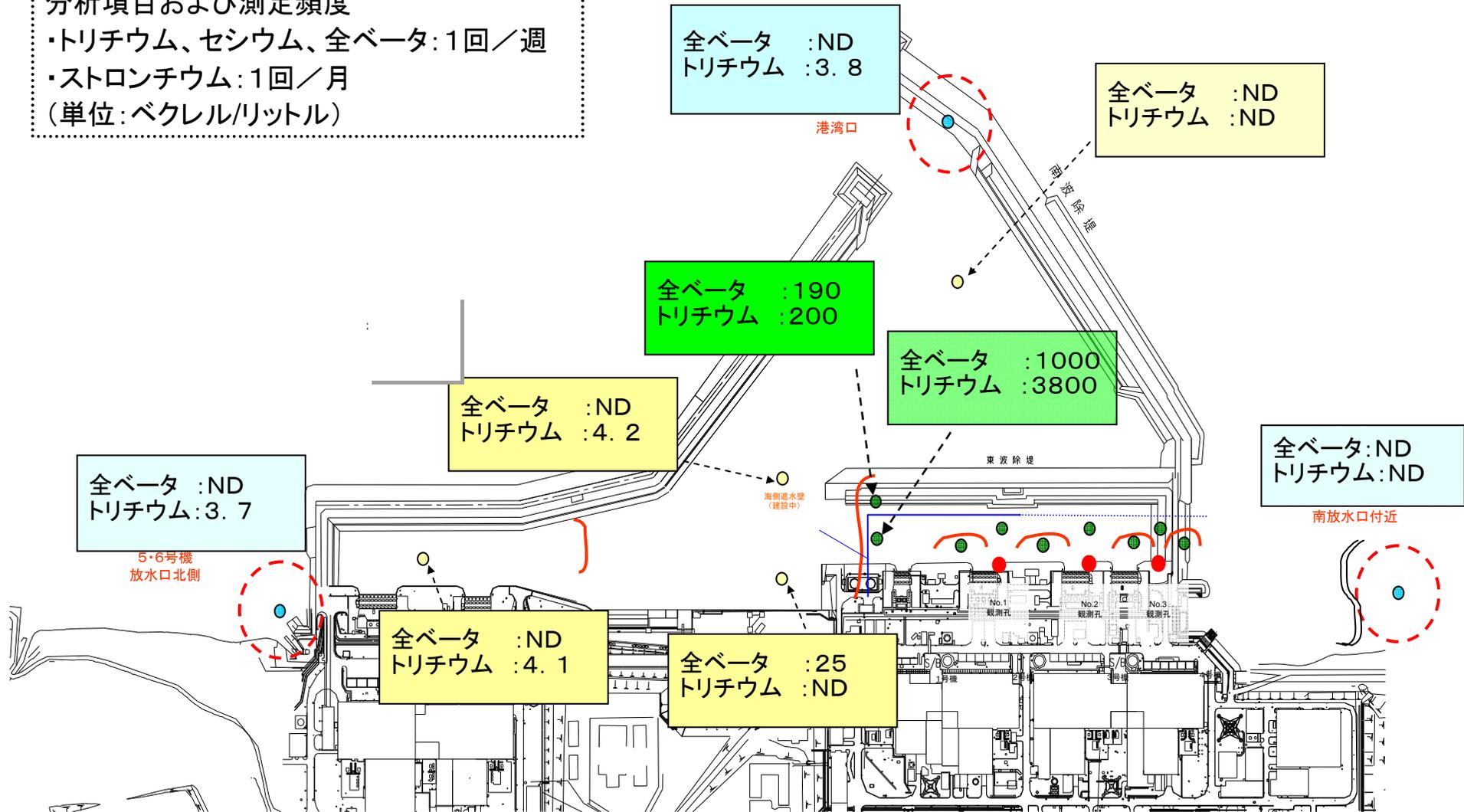
- 地下水は主に透水層を山側から海側に向かって流れている。
- 海に向かう過程で地下水の一部が建屋内に流入している。
→建屋内滞留水の増加
- 建屋内への地下水流入量抑制のため、サブドレン復旧中。

- 山側から流れてきた地下水を、建屋の上流で揚水し、地下水の流路を変更する。
（地下水バイパス）
- 地下水バイパスにより建屋周辺（主に山側）の地下水位を低下させ、建屋内への流入量を抑制する。
- 引き続き、サブドレン復旧を継続する。

海水モニタリングの状況(8/5~8/11)

分析項目および測定頻度

- ・トリチウム、セシウム、全ベータ:1回/週
 - ・ストロンチウム:1回/月
- (単位:ベクレル/リットル)



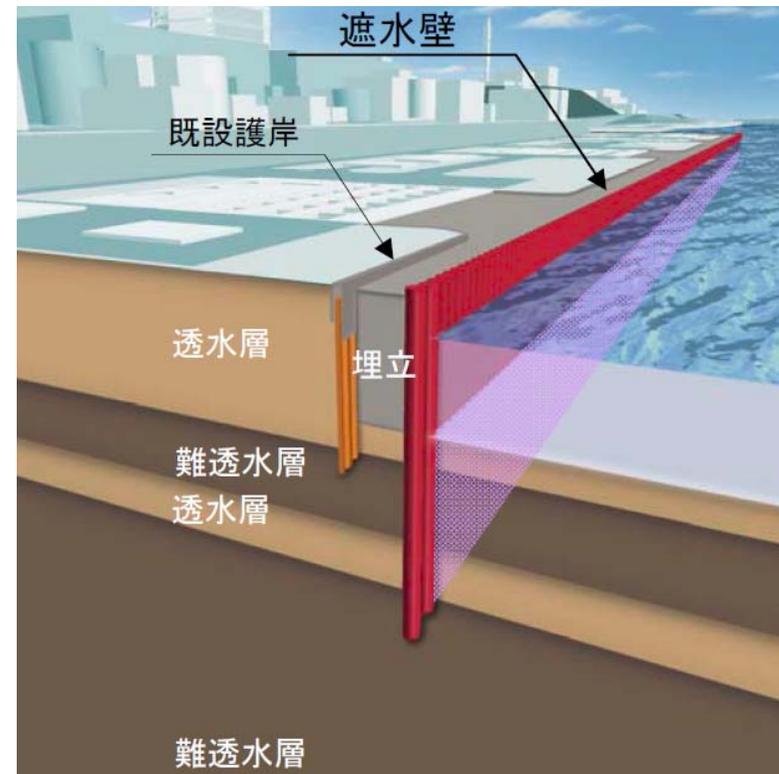
<水質測定結果:8/5~8/11採取分(抜粋)> (単位:ベクレル/リットル)

海洋への汚染拡大の防止

- 建屋内滞留水の水位をサブドレン（地下水）の水位より低くすることにより、**建屋内滞留水の漏出を防止**（サブドレン水の放射性物質濃度分析で確認）。
- 1～4号機の既設護岸の前面に**遮水壁を設置する工事に着手**（万一の大規模漏えいにより、地下水が汚染した場合の海洋流出防止を図る）。



全景図



断面図

遮水壁のイメージ

汚染水対策（抜本対策）

汚染水の抜本的解決を目指して「海洋流出の阻止」「汚染水増加抑制・港湾流出の防止」「原子炉建屋等への地下水流入の防止」を目的として今後1～2年をかけて3つの対策に取り組んでまいります。

海洋流出の阻止 …………… 海側遮水壁の設置 【漏らさない】

汚染水増加抑制・港湾流出の防止 … 陸側遮水壁(凍土方式)の設置 【近づけない】【漏らさない】

原子炉建屋等への地下水流入抑制 … サブドレンからの地下水くみ上げ 【近づけない】



放射性物質の飛散抑制

- 放射性物質の飛散を防ぐため、飛散防止剤を散布。
- 1号機の原子炉建屋カバーを設置（H23/10/28）。
- 瓦礫の撤去および放射線量に応じた保管・管理により、発電所敷地内の放射線量を低減。
- 格納容器ガス管理システムを設置。
 - ✓ 格納容器内圧力を大気圧程度に維持し、放射性物質の放出量を管理。
 - ✓ 1号機:H23/12/15 2号機:H23/10/28 3号機:H24/3/14



1号機原子炉建屋カバー設置



瓦礫を収納した容器



敷地、建屋本体への飛散防止剤散布



シルトフェンス設置



瓦礫の撤去

4号機の現状（燃料取り出し用カバー設置状況）



燃料取り出し用カバー



燃料取り出し用カバー内部

敷地内除染の中長期実施方針

現状の敷地内の線量率と除染への取り組み

<現状>

■敷地内の線量率は、放射性物質の降下物等の影響により、**数 $\mu\text{Sv/h}$ から1000 $\mu\text{Sv/h}$ を超える**場所がある。（右図参照）

■1～4号機周辺の高線量エリア（黒点線の円内）は、原子炉建屋から近いため、直接線の影響が特に大きい。一方、その外側の敷地内は、放射性物質の降下物の影響により、地表面からの寄与が大きい。

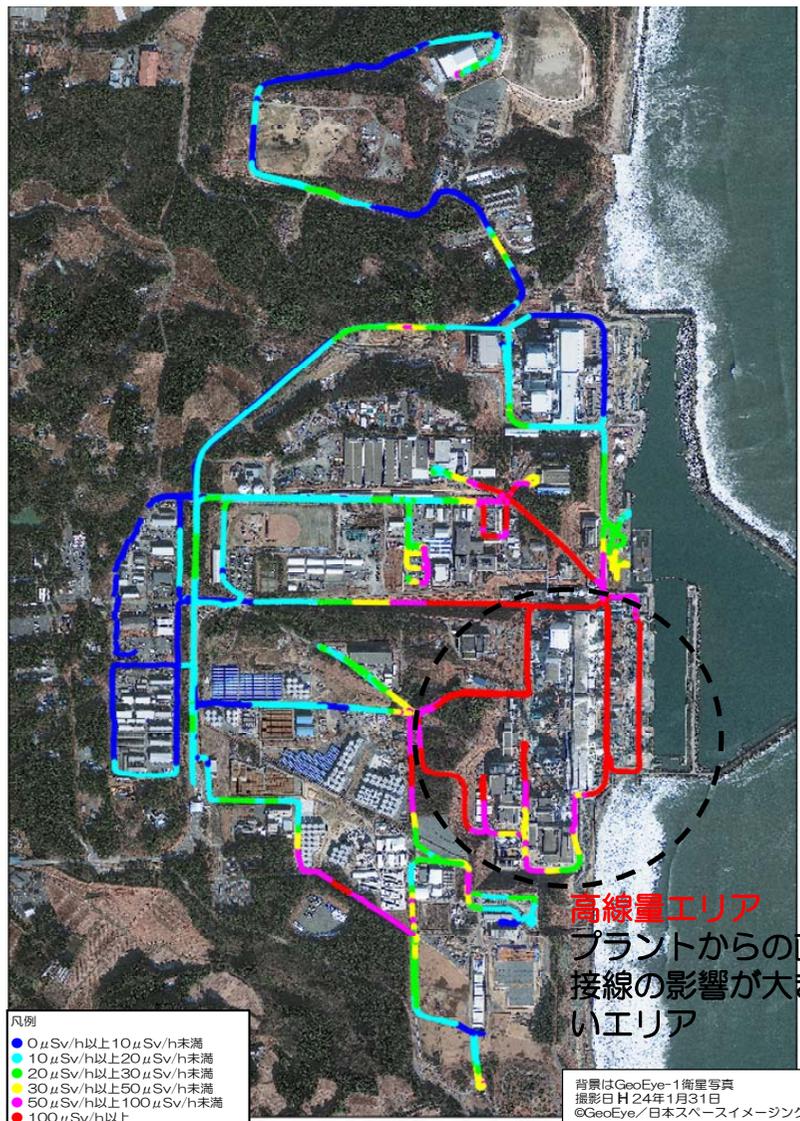
<除染への取り組み>

■高線量エリアを除く敷地内については、地表面に沈積した放射性物質の除去（除染）等を計画的に進め、**作業員の被ばく線量を低減する【線量低減】**とともに、**空気中放射性物質濃度がマスク着用基準を下回っていることを確認して、ノーマスクで作業できるエリアを順次拡大していく【ノーマスク化】**。

※屋外の除染は「環境線量低減対策分野」、執務室内及び休憩所内の除染は「労働環境改善分野」、作業を行う建屋内の除染は「燃料デブリ取り出し準備分野」で検討を進めている。1～4号機周辺の高線量エリアは、各工事で遮へい等の必要な線量低減対策を行っている。

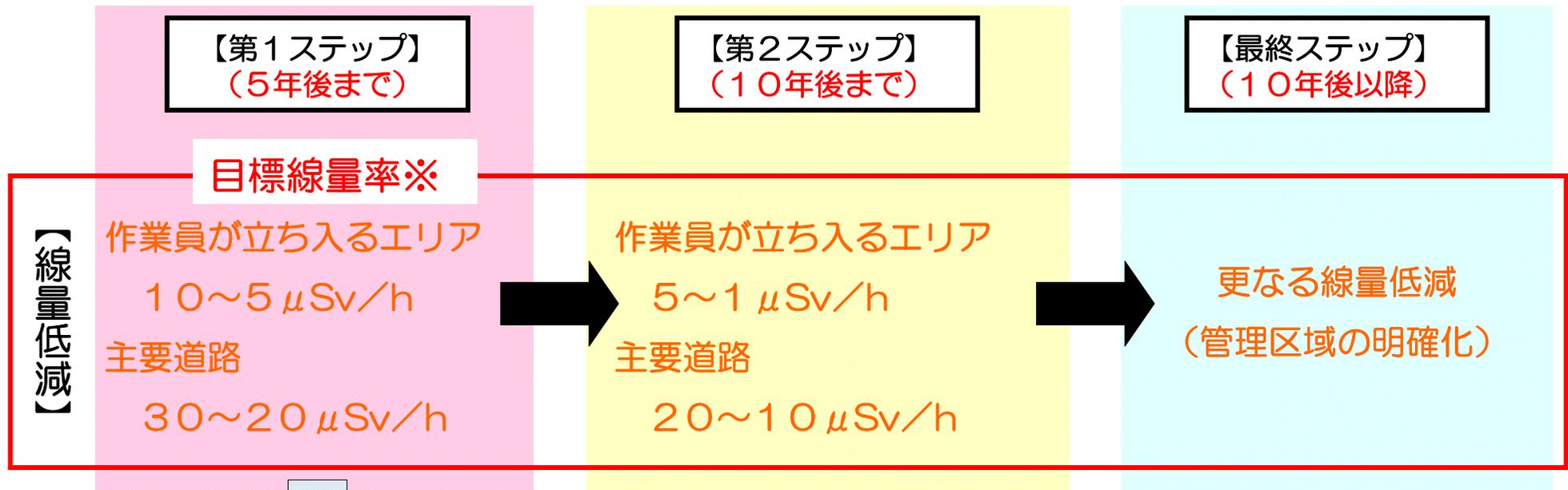
走行サーベイによる車内の空間線量率マップ

測定日：平成24年5月9日（水）



線量低減の中長期目標

多くの作業員が立ち入る場所の線量低減を図る観点から、対象箇所を選定し、各ステップに示す範囲で目標線量率を設定して除染を行う。目標線量率は、各ステップごとに段階的に下げていき、最終的に事故前の状態に近づけていくことを目指す。



【これまで線量低減を実施している作業員が立ち入るエリア（シート4参照）】

- ・ 免震重要棟周辺（H24.1実施）、免震重要棟前のバス停車エリア（H24.9実施）
- ・ 正門周辺（実施中）
- ・ 入退域管理建屋周辺（実施中）

※目標線量率は、「主要道路」は車両による通過のみのため、「作業員が立ち入るエリア」とは別に設定する。

線量低減を図る対象箇所

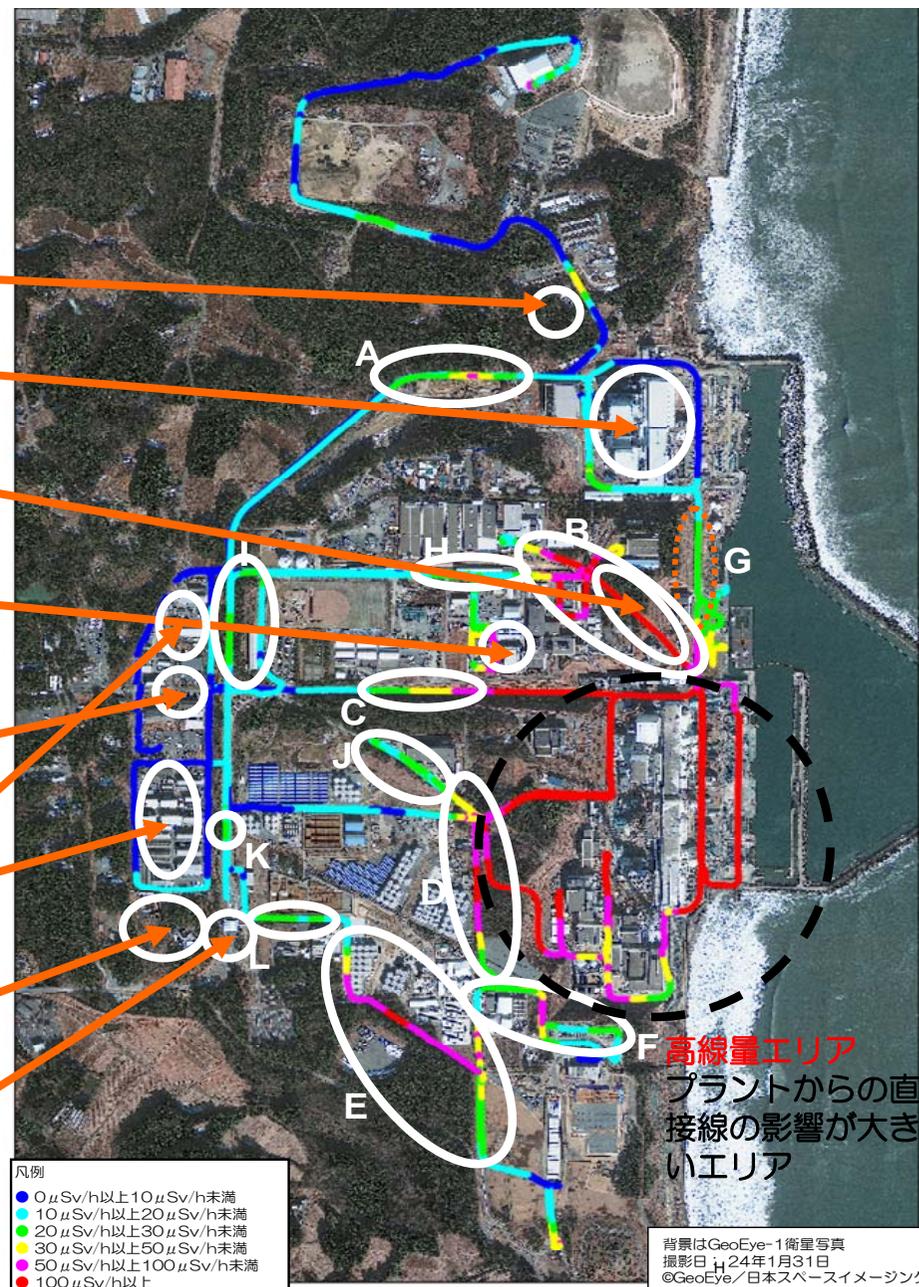
走行サーベイによる車内の空間線量率マップ

測定日：平成24年5月9日（水）

多くの作業員が立ち入る場所の線量低減を図る観点から、現在選定している対象箇所と現在の線量率

- ⑥焼却炉建屋周辺（建設予定） ～50 μ Sv/h
- ④5, 6号機周辺 ～30 μ Sv/h
- ⑤主要道路（汐見坂等A～L） ～220 μ Sv/h
- ①免震重要棟周辺 ～180 μ Sv/h
- ②厚生棟周辺 ～20 μ Sv/h
- ②企業棟周辺 ～20 μ Sv/h
- ⑥入退域管理建屋周辺（建設中） ～50 μ Sv/h
- ③正門周辺 ～25 μ Sv/h

上記下線箇所は、これまで線量低減を実施している場所

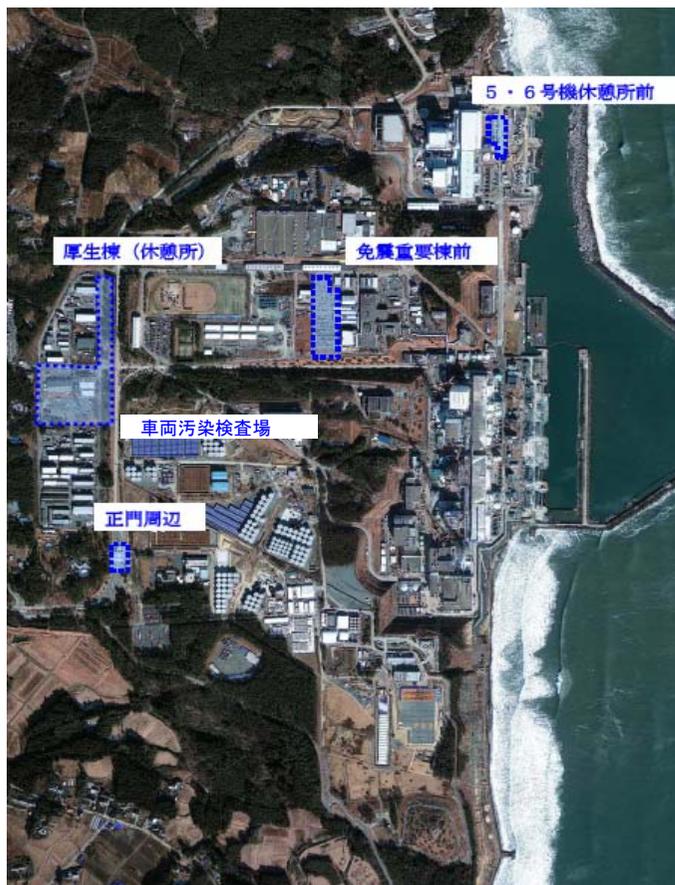


ノーマスク化の中長期目標

現状

【第1ステップ】
(5年後まで)

【第2ステップ】
(10年後まで)



空气中放射性物質濃度がマスク着用基準(粒子状Cs: 2×10^{-4} Bq/cm³)を下回っている状況を踏まえ、現在、図中の場所を全面マスク着用が省略できる(ノーマスク化)エリアに設定。



除染により放射性物質の舞い上がりを低減し、1～4号機周辺の高線量エリア、タンク設置場所、森林等を除く敷地内のノーマスク化を拡大



原子炉冷却の小ループ化や廃棄物保管施設設置に伴い、タンク設置場所等が縮小されてくことを前提にノーマスク化を拡大(1～4号機周辺の高線量エリア、森林を除く)

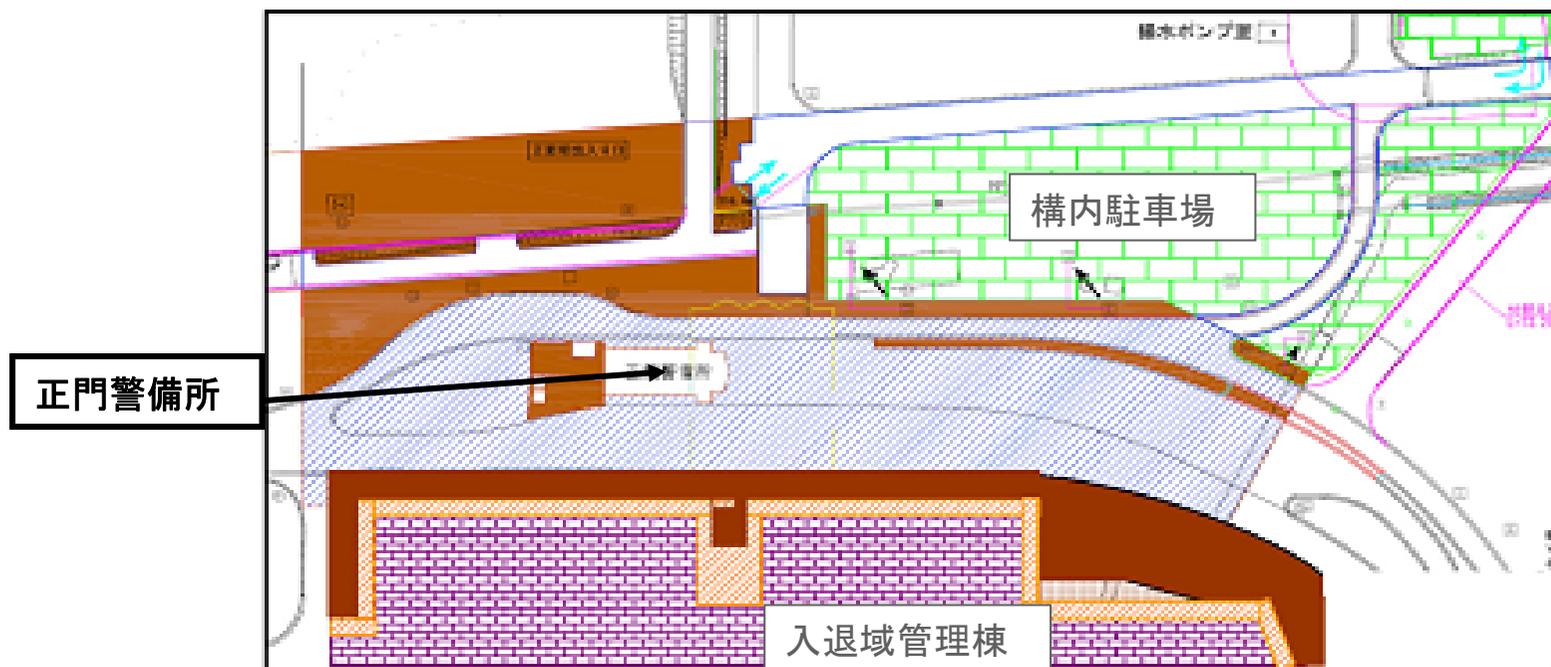
正門警備所周辺の線量低減

■目的

正門警備員の被ばく線量低減を目的に、『敷地内除染の中長期実施方針』に基づき、近傍エリアの除染を実施する。

■除染範囲および除染方法

緑地(土壌)部は土壌天地返し等、舗装部は超高圧水洗浄により、除染を実施。

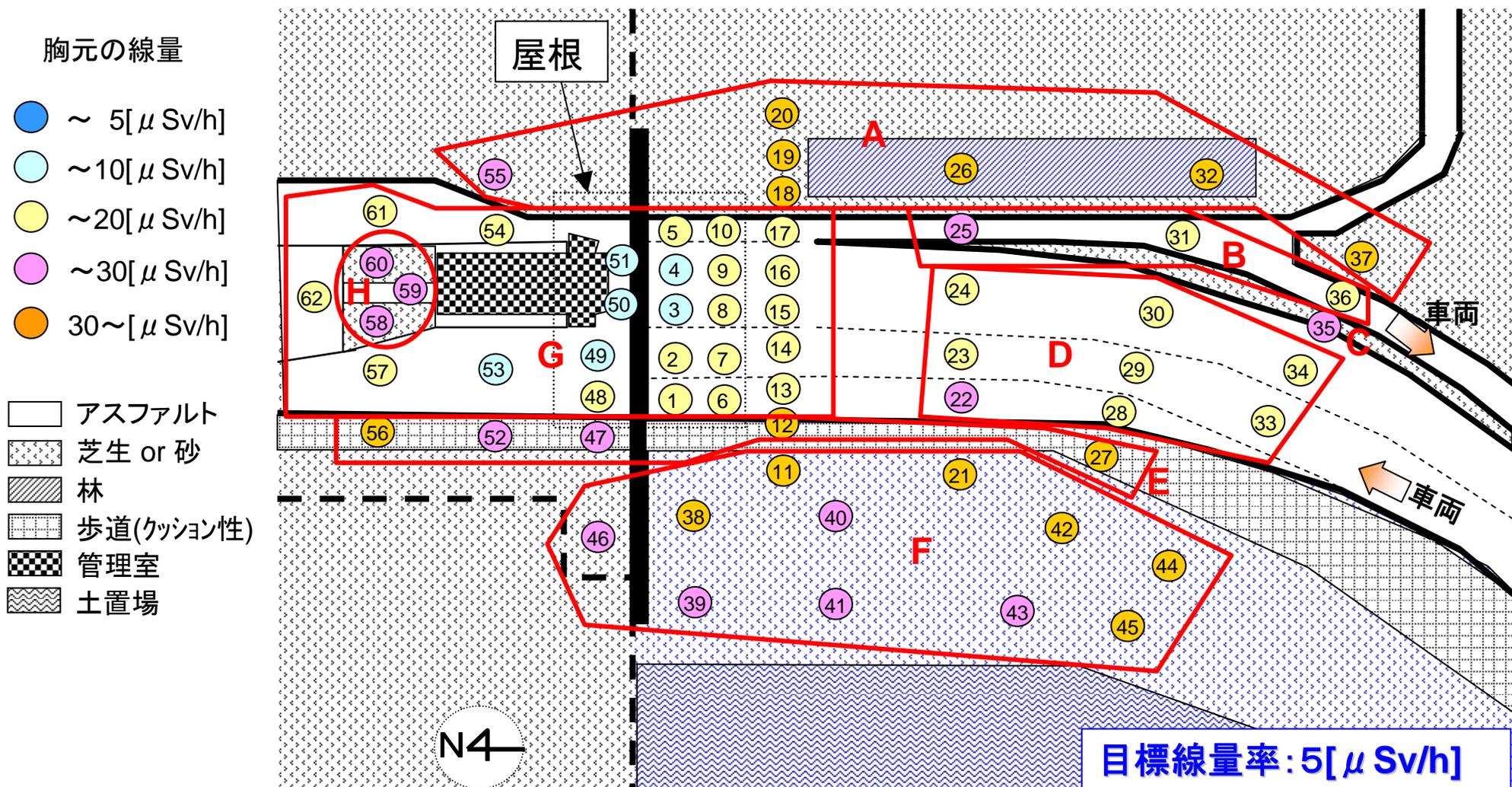


凡例	内容
	<ul style="list-style-type: none"> ・堆積物除去 ・超高圧水洗削
	<ul style="list-style-type: none"> ・除草 ・剪定、枝払い ・天地返し(表層土10cmと下層土20cmの入替)または表土剥ぎ
	<ul style="list-style-type: none"> ・表土剥ぎ ・碎石(クラッシュランRC-40) 30cm ・密粒度アスファルト舗装 5cm

凡例	内容
	<ul style="list-style-type: none"> ・天地返し(表層土20cmと下層土20cmの入替)または表土剥ぎ ・碎石(クラッシュランRC-40) 10cm ・密粒度アスファルト舗装 3cm
	<ul style="list-style-type: none"> ・天地返し(表層土20cmと下層土20cmの入替)または表土剥ぎ ・碎石(クラッシュランRC-40) 30cm ・粗粒度アスファルト舗装 5cm ・密粒度アスファルト舗装 5cm
	<ul style="list-style-type: none"> ・除草 ・天地返し(表層土20cmと下層土20cmの入替)または表土剥ぎ

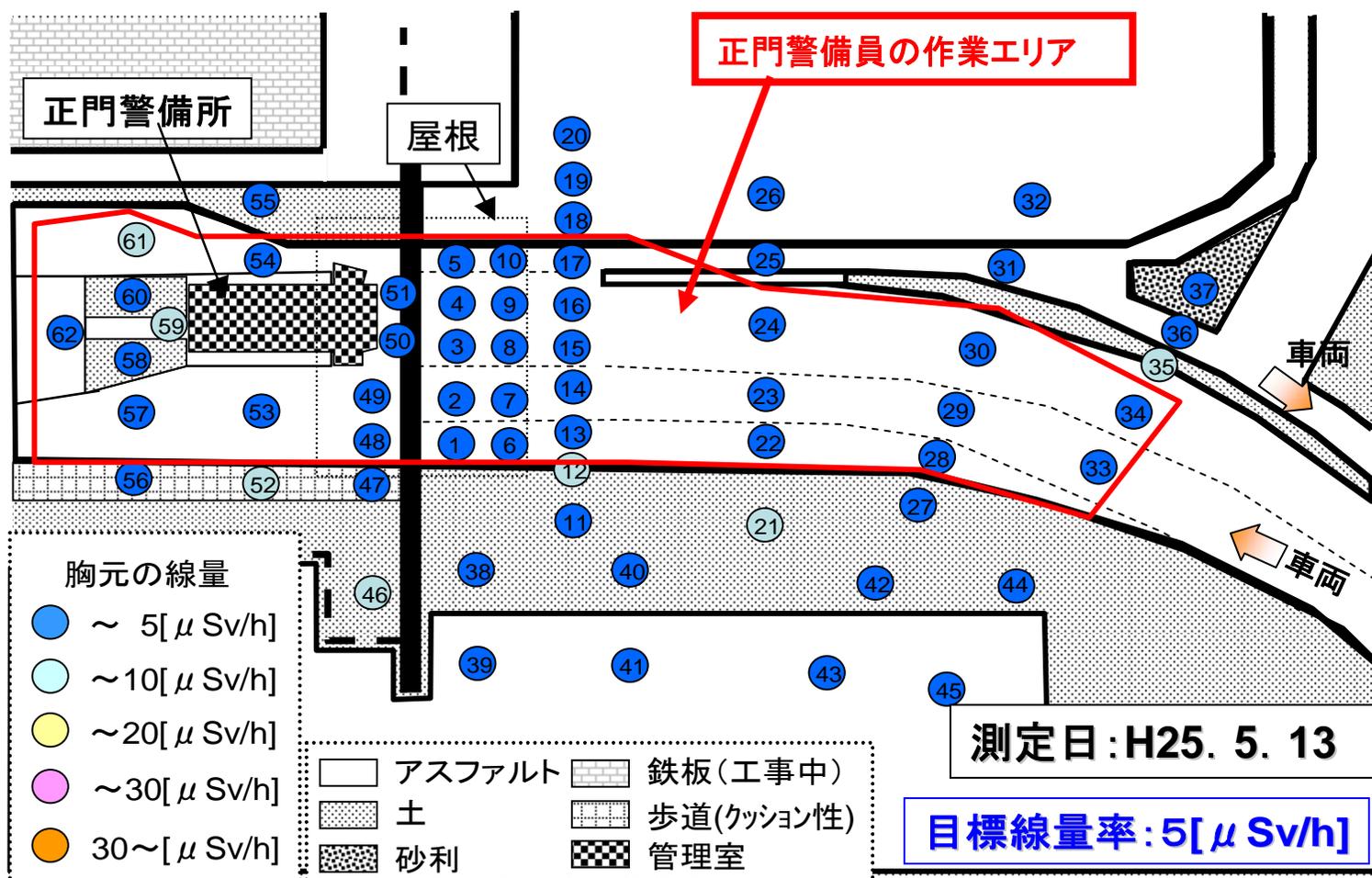
除染実施前の線量測定結果

・正門警備員の作業エリアの平均線量率は、13.6[μ Sv/h]。



線量低減状況（途中評価結果）

正門警備員の作業エリアの平均線量率が、**3.8[μ Sv/h]**まで低減(除染前;
13.6[μ Sv/h])。これにより、作業員の年間線量も20[mSv/年]を大きく下回る状況。



除染前(H24.8/22)

線量率:
13.6[μ Sv/h]

作業線量:
27.6[mSv/年]
 ※年間2000時間

途中経過(H25.2.14)

線量率: **目標達成!**
3.8[μ Sv/h]

作業線量:
7.6[mSv/年]
 ※年間2000時間

原子炉建屋内調査

ロボット等遠隔操作機器の導入

- ▶ 作業者の被ばく線量低減のため**ロボット等の各種遠隔操作機器を活用**している。
- ▶ 高線量が懸念される場所の遠隔目視確認、線量測定等の現場調査や清掃等の作業を実施している。

<主な現場導入済みロボット>

名称	Quince	Survey runner	Packbot	Quince 2,3
外観				
作業内容	屋内各種調査 等	屋内外各種作業用	屋内外各種調査 等	屋内各種調査 等



3号機原子炉建屋内の階段を上る様子
※操作画面 (H23/7/26)



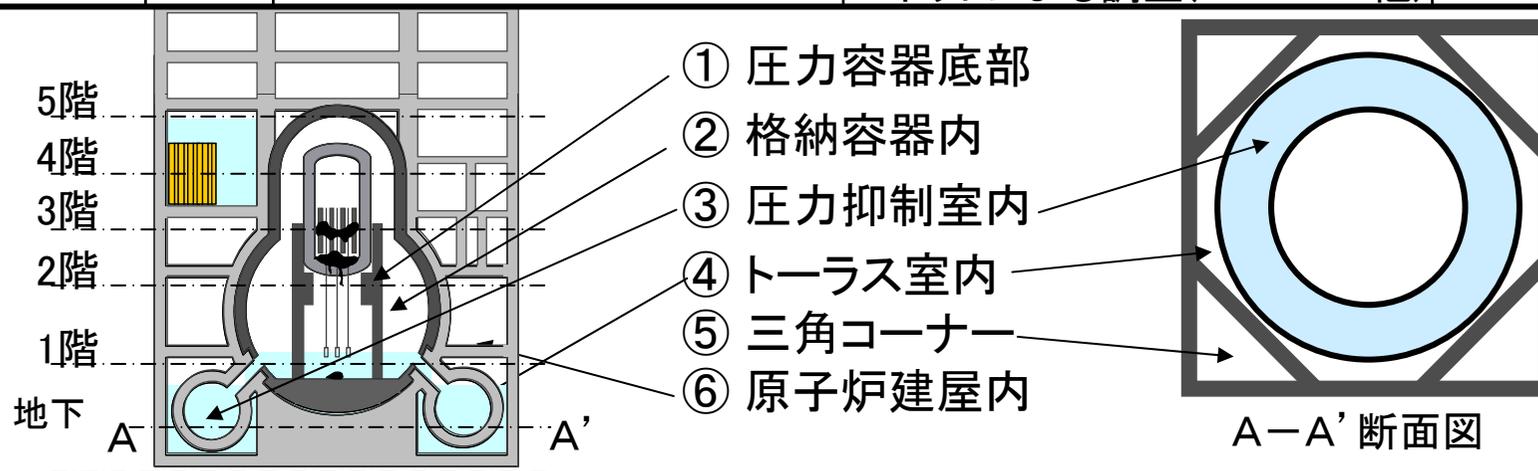
2号機トラス室内調査
(H24/4/18)



1号機原子炉建屋内線源/線量率
調査 (γカメラによる撮影結果)
(H24/5/14~5/18)

原子炉建屋内の調査方法

測定箇所		1号機	2号機	3号機
①	圧力容器底部	既設温度計のみ	既設温度計/圧力容器への配管を通じて温度計設置(H24.10.3)	既設温度計のみ
②	格納容器内	既設温度計 格納容器貫通部より観測装置を挿入(H24.10.9-13)	既設温度計 格納容器貫通部より観測装置を挿入(H24.1.19,3.26-27)	既設温度計のみ
③	圧力抑制室内	未確認	未確認	未確認
④	トラス室内	1階床(配管貫通部/穴あけ)より装置挿入 (H24.6.26/H25.2.20-22)	作業員による調査(H24.3.14,6.6) ロボットによる調査(H24.4.18) 床穴あけで装置挿入(H25.4.12)	作業員による調査(H24.6.6) ロボットによる調査(H24.7.11)
⑤	三角コーナー	原子炉建屋1階階段部から観測装置を下ろして測定(H24.9.20)	作業員による調査(H24.3.14,6.6)	作業員による調査 (H24.3.14,6.6)
⑥	原子炉建屋内	2~4階	未調査	ロボットによる調査(H23.10.20他)
	5階	バルーンによる調査(H24.10.24)	ブローアウトパネル*外側からの調査(H23.9.17) ロボットによる調査(H23.10.20他)	クローラクレーンからの観測装置の吊り下げ(H23.8.24他)

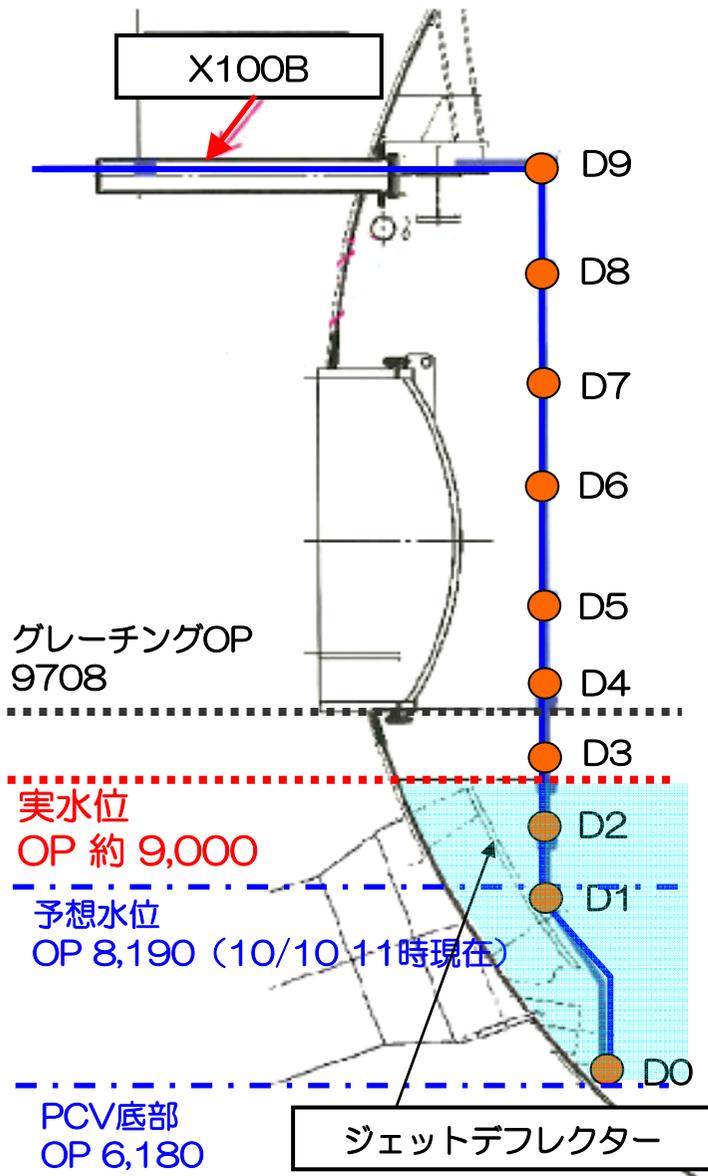


*ブローアウトパネルは、原子炉建屋内に蒸気が漏えいした場合に原子炉建屋の圧力を低下させるために開くパネル。2号機では1号機の水素爆発の衝撃により偶然開いたものと推定している。

原子炉建屋内の調査結果

種別	測定箇所	1号機	2号機	3号機
水位	② 格納容器内	底部から2.8m (H24.10.10測定)	底部から60cm (H24.3.26測定)	未確認
	③ 圧力抑制室内	未確認(ほぼ満水と推定)	未確認	未確認
	④ トーラス室内	OP4000/3700mm (H24.6.26/H25.2.20測定)	OP3270/3260mm (H24.6.6/H25.4.12測定)	OP3370mm (H24.6.6測定)
	⑤ 三角コーナー	OP3910~4420mm (H24.9.20測定)	OP3050~3190mm (H24.6.28測定)	OP3150mm (H24.6.6測定)
温度	① 圧力容器底部	約33°C(温度計6台で監視) (H24.10.21現在)	約45°C(温度計1台で監視) (H24.10.21現在)	約45°C(温度計9台で監視) (H24.10.21現在)
	② 格納容器内	約35°C(温度計10台で監視) (H24.10.21現在)	約45°C(温度計5台で監視) (H24.10.21現在)	約42°C(温度計10台で監視) (H24.10.21現在)
	③ 圧力抑制室内	未確認	未確認	未確認
	④ トーラス室内 滞留水	約32~37/4.8~22.8°C (H24.6.26/H25.2.20測定)	16.3~25.2°C (H25.4.12測定)	未確認
	⑤ 三角コーナー 滞留水	32.4~32.6°C (H24.9.20測定)	30.2~32.1°C (H24.6.28測定)	未確認
線量	② 格納容器内	約11Sv/h (H24.10.10測定)	約73Sv/h (H24.3.27測定)	未確認
	④ トーラス室内	9.5~10300/1.5~920mSv/h (H24.6.26/H25.2.20測定)	30~118/4.3~137mSv./h (H24.4.18/H25.4.12測定)	100~360mSv/h (H24.7.11測定)
	⑥ 原子炉建屋内	最大5150mSv/h (1階南東, H24.7.4測定)	最大880mSv/h (5階原子炉ウェル上部 H24.6.13測定)	最大203.1mSv/h (1階北東, H24.6.11-15測定)

1号機調査結果 (PCV内部調査) 滞留水の水位・汚濁気線量



線量ならびに水位測定結果			
測定点	PCV底部からの距離	OP	線量測定値 (Sv/h)
D9	8,595	14,775	9.8
D8	(約7,800)	(約14,000)	9.0
D7	(約6,800)	(約13,000)	9.2
D6	(約5,800)	(約12,000)	8.7
D5	(約4,800)	(約11,000)	8.3
D4	(約3,800)	(約10,000)	8.2
D3	(約3,300)	(約9,500)	4.7
D2・水面	約2,800	(約9,000)	0.5
D1	—	—	—
D0	0	6,180	—

※計測器挿入時において、ペネ端部にて約11.1Sv/hを計測

1号機調査結果（PCV内部調査）滞留水の水位・雰囲気線量

<線量測定結果>

PCV 1 階面における気中部の線量は、**4.7~9.8Sv/h**
なお、計測器挿入時において、**ペネ端部にて約11.1Sv/h**を計測

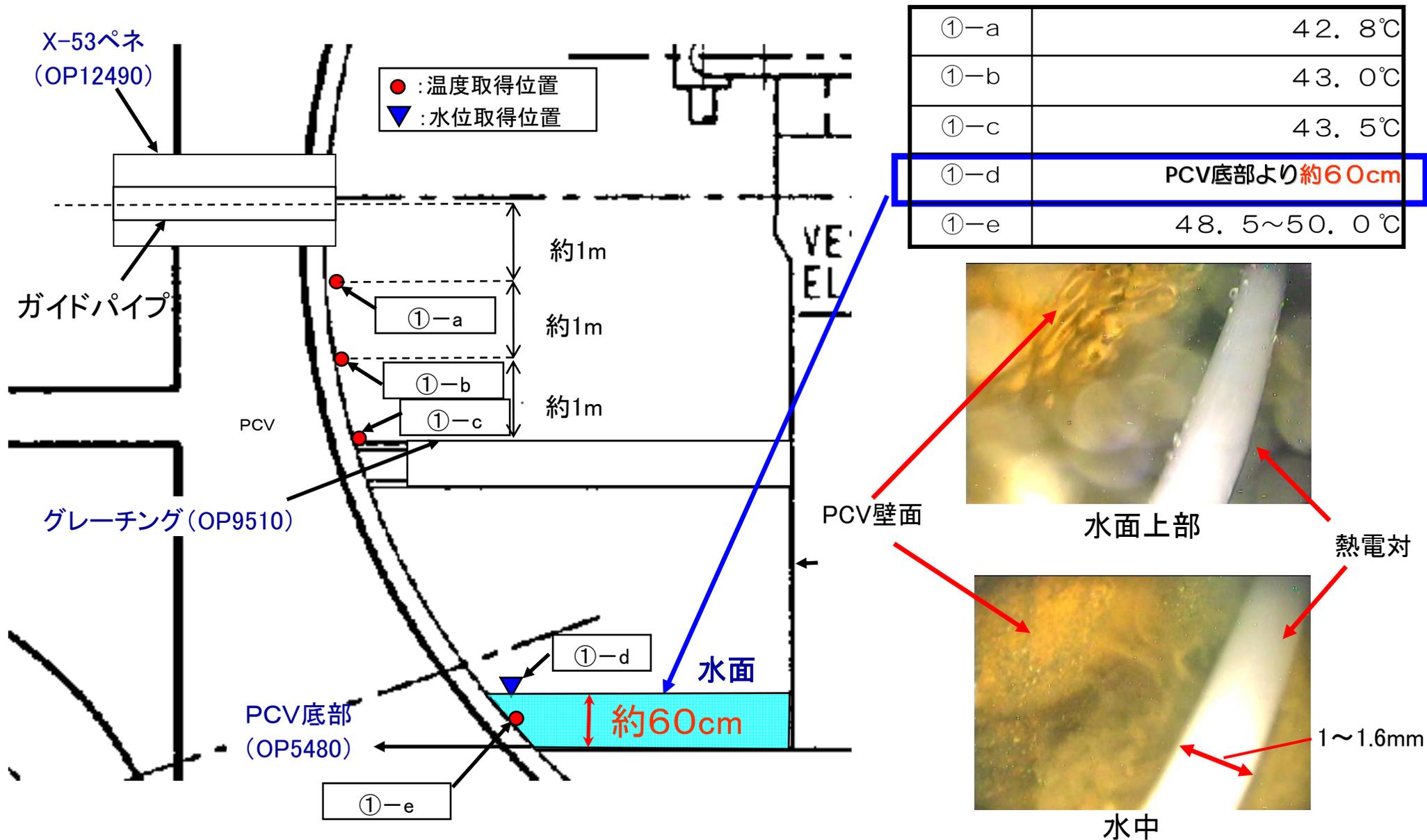
線量分布は、高さが下がるにつれて低下する傾向
滞留水水中部では、**0.5Sv/h**まで低下

<水位測定結果>

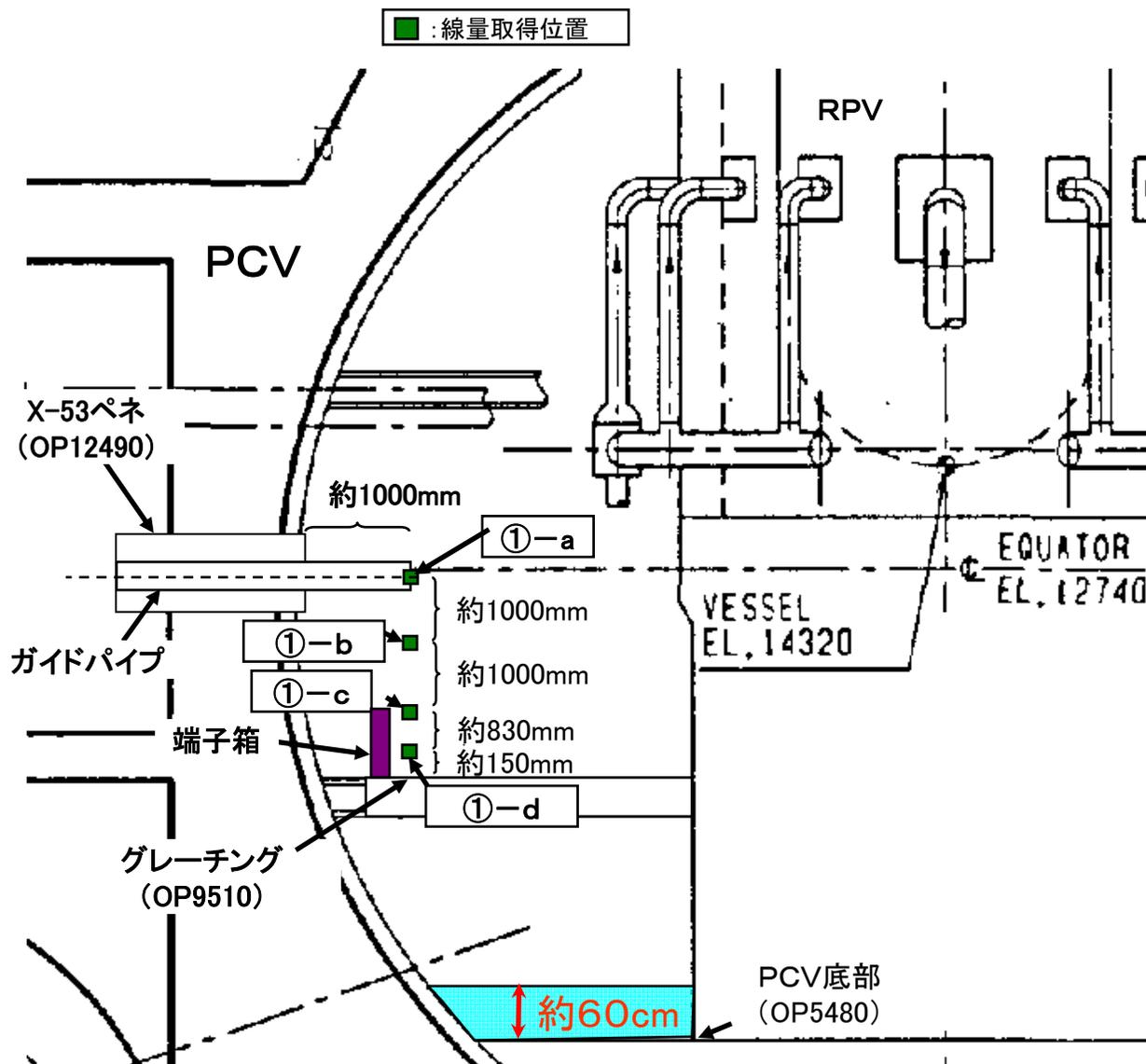
滞留水水面はPCV 1 階グレーチングから約650mm下部（O.P.約9,000mm）
にあり、**水位としてはPCV底部から約2,800mm**
※水位は、CCDカメラがグレーチング上部から滞留水水面に接触するまでの
ケーブル送り長さにより測定

想定していた水位（O.P.8,190mm）以上あることを確認

2号機調査結果（水位確認・水温測定（雰囲気温度測定含む））



2号機調査結果（劣因気線量（内壁から約1000mm））



線量測定結果

①-a	39.0 Sv/h
①-b	54.1 Sv/h
①-c	57.4 Sv/h
①-d	72.9 Sv/h

今後の中長期計画 (中長期ロードマップ／研究開発)

中長期ロードマップ

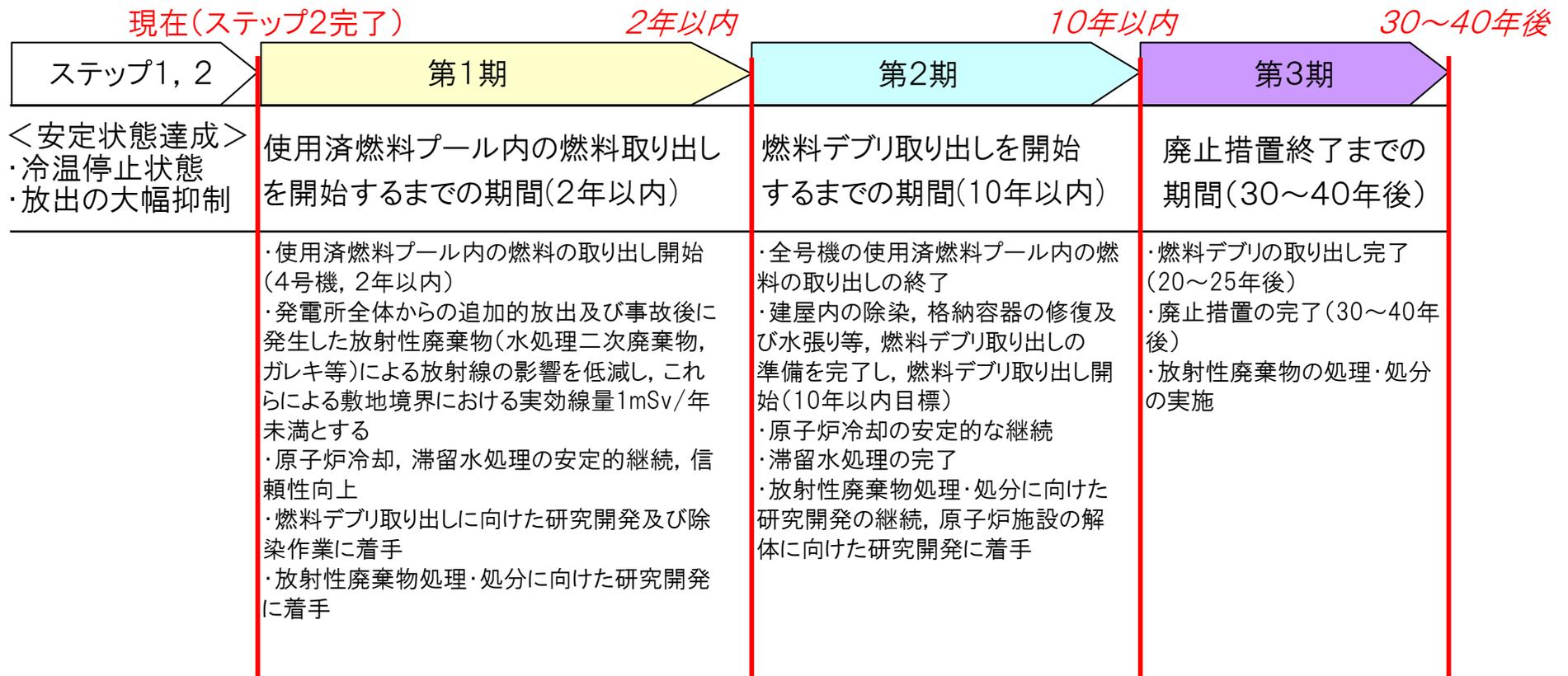
主要な目標

➤ 今後実施する主要な現場作業や研究開発等のスケジュールを可能な限り明示。

時期的目標及び判断ポイント

➤ 至近3年間については年度ごとに展開し、可能な限り時期的目標を設定。

➤ 4年目以降は、次工程へ進む前に追加の研究開発等を検討するための判断ポイントを設定。



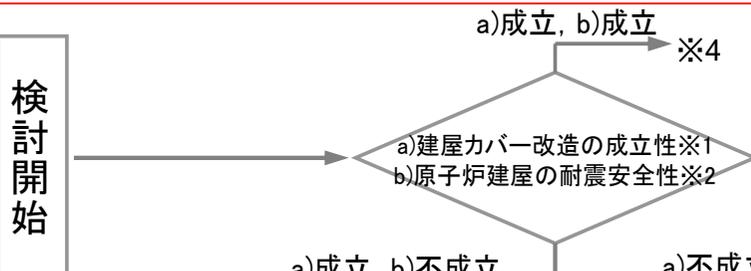
要員の計画的育成・配置, 意欲向上策, 作業安全確保に向けた取組(継続実施)

最近の動き：廃炉作業の加速化（ロードマップ例（1号機））

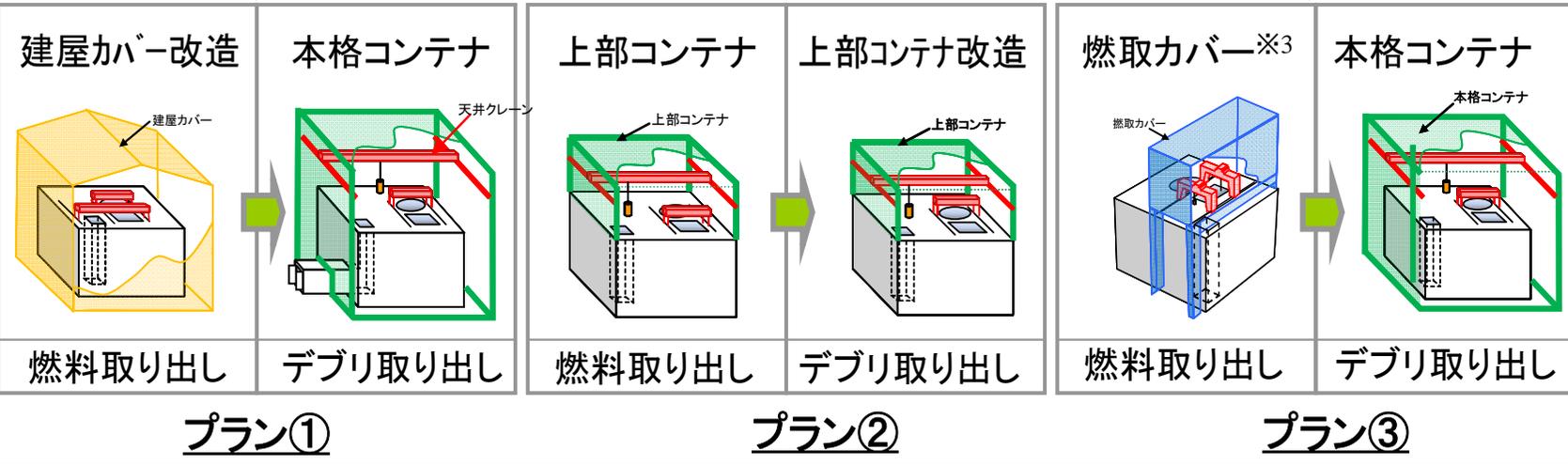
デブリ取出開始：プラン①（H34年度上半期）②（H32年度上半期）③（H34年度下半期）

第1期		第2期						第3期			
2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度以降	
		HP1-1 建屋カバー解体	HP1-1 2014年度上半期								
	プラン①:	ガレキ撤去等	建屋カバー改造・復旧	燃料取出	建屋カバー撤去・本格コンテナ設置等	燃料デブリ取出					
	プラン②:	ガレキ撤去等	上部コンテナ設置	燃料取出	コンテナ改造等	燃料デブリ取出					
	プラン③:	ガレキ撤去等	燃取カバー設置	燃料取出	燃取カバー撤去・本格コンテナ設置等	燃料デブリ取出					

判断ポイント(HP1-1): 2014年度上半期における判断フロー

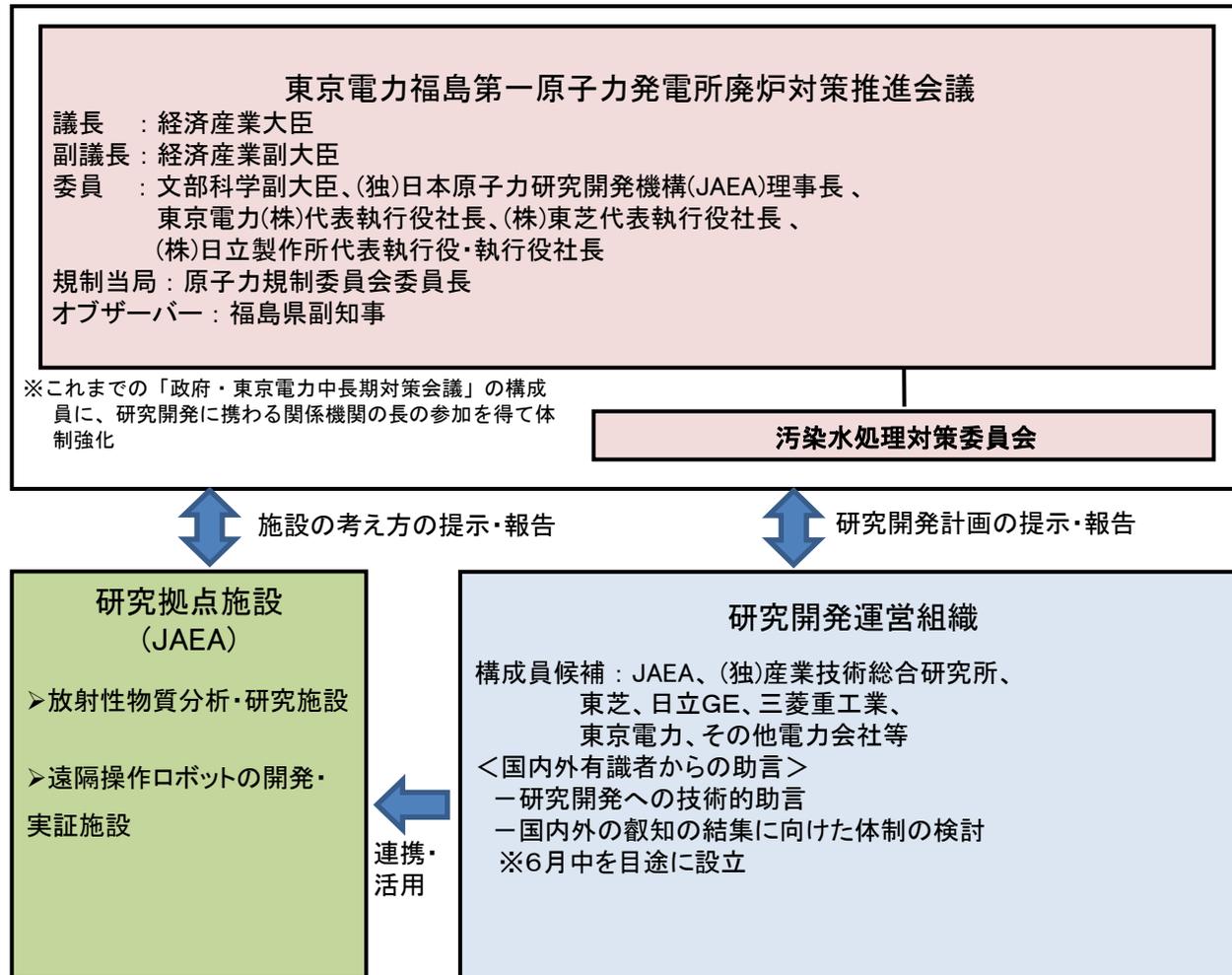


- ※1: 燃料取扱設備(天井クレーン、燃料取扱機)設置に対する安全性を含む
- ※2: 上部コンテナ荷重を付加した場合の耐震安全性
: コンテナ設計条件の整備が前提条件となる
- ※3: 燃料取り出し用カバー
- ※4: 施設全体のリスク低減および最適化の観点からプランを選択する。



最近の動き：廃止措置の研究推進体制の強化（平成25年2月～）

- 平成25年2月8日に、原子力災害対策本部の下に東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議を設置
- 平成25年8月1日に、研究開発の一元的なマネジメントを担う研究開発運営組織である「国際廃炉研究開発機構:IRID(International Research Institute for Nuclear Decommissioning)」を設立



国際廃炉研究開発機構の役割のイメージ

＜廃炉技術の基盤強化を視野に当面の緊急課題である1F廃炉に向けた取組みに注力＞

- ・福島第一廃炉の加速、安全確保、環境保全
- ・福島の早期復興と国民の安心

- ・将来の廃炉や安全高度化への対応
- ・関連技術の涵養、蓄積と高度化

東電福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議
(議長: 茂木経済産業大臣)[全体の司令塔機能]

電力会社各社
プラント・メーカー

中長期RMの提示・報告

研究開発計画の提示・報告

将来の廃炉計画への反映

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

組合事務局 (R&Dマネジメント)

R&D実施機関

東京電力

本社技術部門

1F 廃炉現場

プラント・メーカー

日本原子力研究開発機構

産業技術総合研究所

電力会社各社

その他研究機関

廃炉技術に関する一元的マネジメント

- ・廃炉全体戦略検討・最適化
- ・技術の現場ニーズ・シーズ分析と調整 (最適化/整合)
- ・個別技術開発の調整・指示
- ・国際・国内助言の取り込み
- ・ポテンシャル技術の開拓
- ・人材育成や大学等の連携強化

合理的開発
の主導

協働・協力
の主導

開発成果の
共有

現場ニーズ
の抽出

開発成果の
実用化

計画・戦略
の提案

技術やマネジメント面の助言

共同研究、R&Dへの参画等

国内・海外関係機関からの助言

共同研究実施機関

廃炉作業のための研究拠点構想：機器・装置開発に必要な施設

実規模モックアップ・センター(仮称)

榑葉町榑葉南工業団地

<格納容器下部のモックアップ施設>

- 水漏れ箇所を調査・補修する格納容器下部(トラス室、圧力抑制室(S/C))の

モックアップ施設を設置し、機器・装置の実証に加え、運転員訓練を実施

- 遠隔除染についても、試験・訓練等を行うことをあわせて検討
- 機器・装置開発に関する国際協力

<中期的課題の検討>

- その他のモックアップ設備の整備の必要性について今後検討(格納容器上部・内部調査、燃料取出し装置等)

○機器・装置開発プロジェクトのスケジュールを勘案しつつ可能な限り早急に設計に着手

○新たな事業主体の設立を含め運営のあり方について、国と東京電力を中心として検討中

運転員訓練など
人材育成

⇒ 地域の雇用・経済への寄与

海外発技術の評価など
国際協力

⇒ 将来の国際研究拠点化へ

メーカーの工場・研究所での
簡易モックアップ試験

モックアップ施設での本格的な
試験・訓練

サイト内施設での
実証

実機適用

メンテナンス・改良

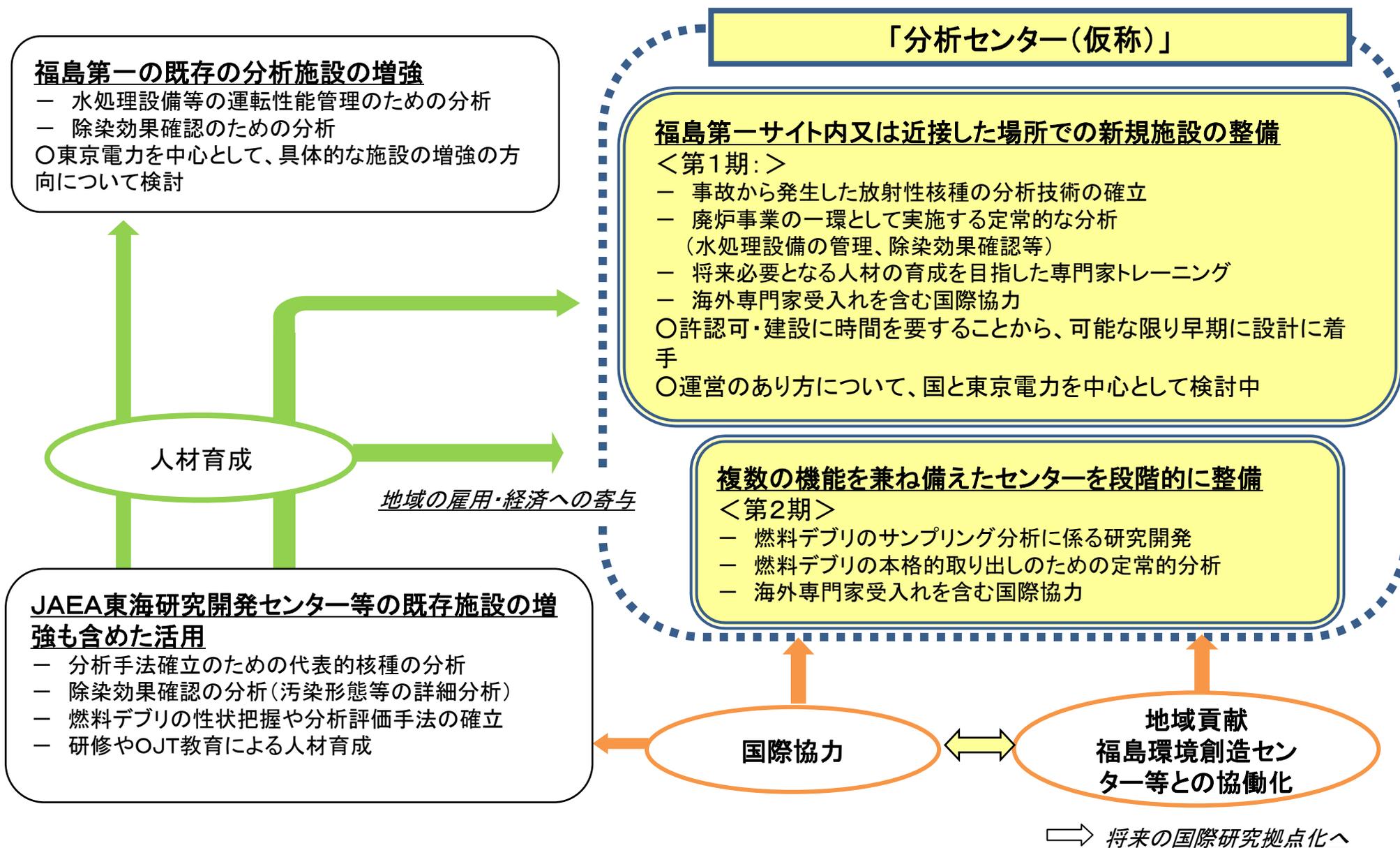
既存の研究施設又は工場のスペースを活用した試験・訓練

- 圧力抑制室(S/C)のモックアップ設備等

メンテナンス・改良設備の整備(サイト内が基本)

- 現場での実証・使用後の除染、メンテナンス、改良
- モックアップ施設と併せ、スケジュール、運営主体について検討中

廃炉作業のための研究拠点構想：放射性物質の分析施設

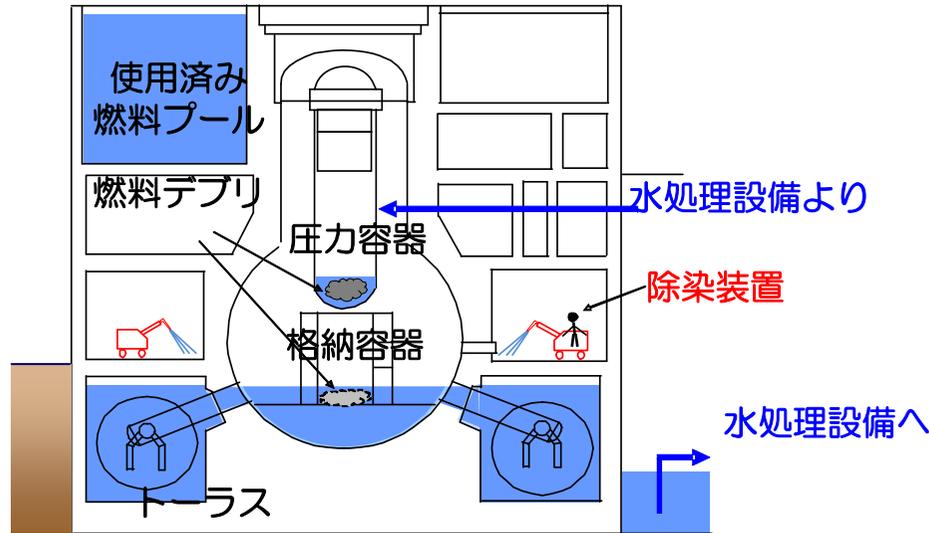


燃料デブリ取り出しの流れ

➤以下のステップで燃料デブリ取り出し作業を実施する。作業の多くには遠隔技術等の研究開発が必要であり，これらの成果，現場の状況，安全要求事項等を踏まえ，段階的に進めていく。

- 1: 建屋内の除染
- 2: PCV漏えい箇所の特定制
- 3: PCV下部の補修
- 4: PCV下部水はり
- 5: PCV内部調査とサンプリング
- 6: PCV上部の補修
- 7: PCV/RPV 冠水
- 8: PCV内部調査とサンプリング
- 9: デブリ取出し

Phase 1: 原子炉建屋内除染



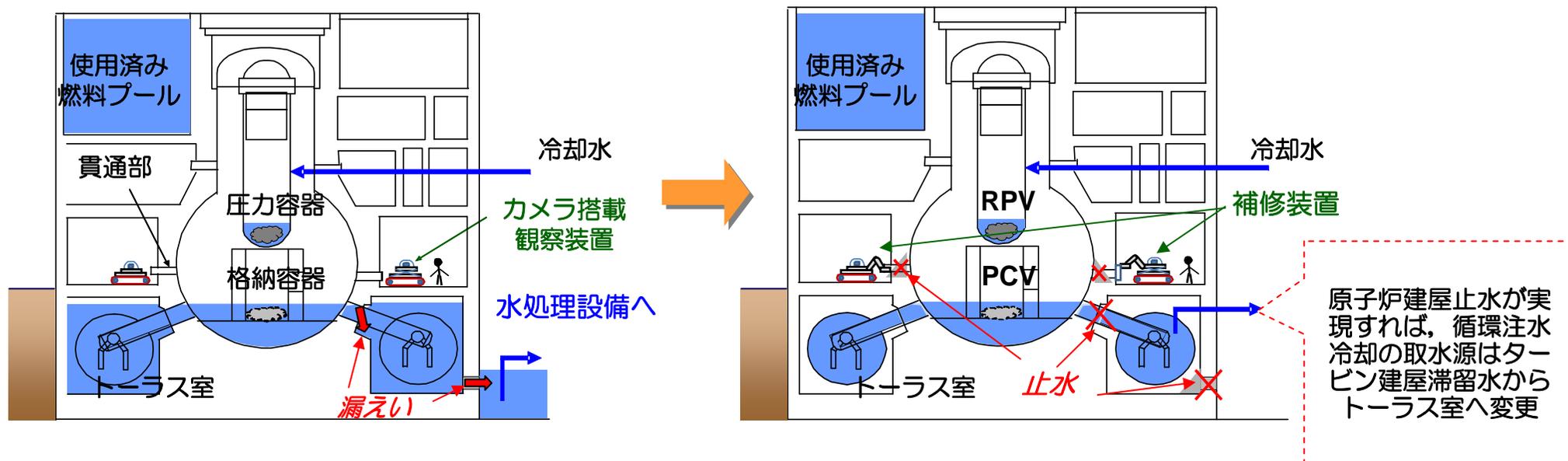
建屋内の線量低減は、後段の作業実施に不可欠

- 高圧洗浄、はつり等の適用性を国プロにて検討
- 表面除染のみで十分に線量が下がらない場合、必要に応じて遮蔽の設置を併用

主な技術的課題:

- 高線量 (~ 5 Sv/h).
- R/B内に散乱したがれき等の障害
- BWR-3.BWR-4元来の狭隘な建屋設計によるアクセス性制限

Phase 2,3: PCV漏えい箇所特定と補修

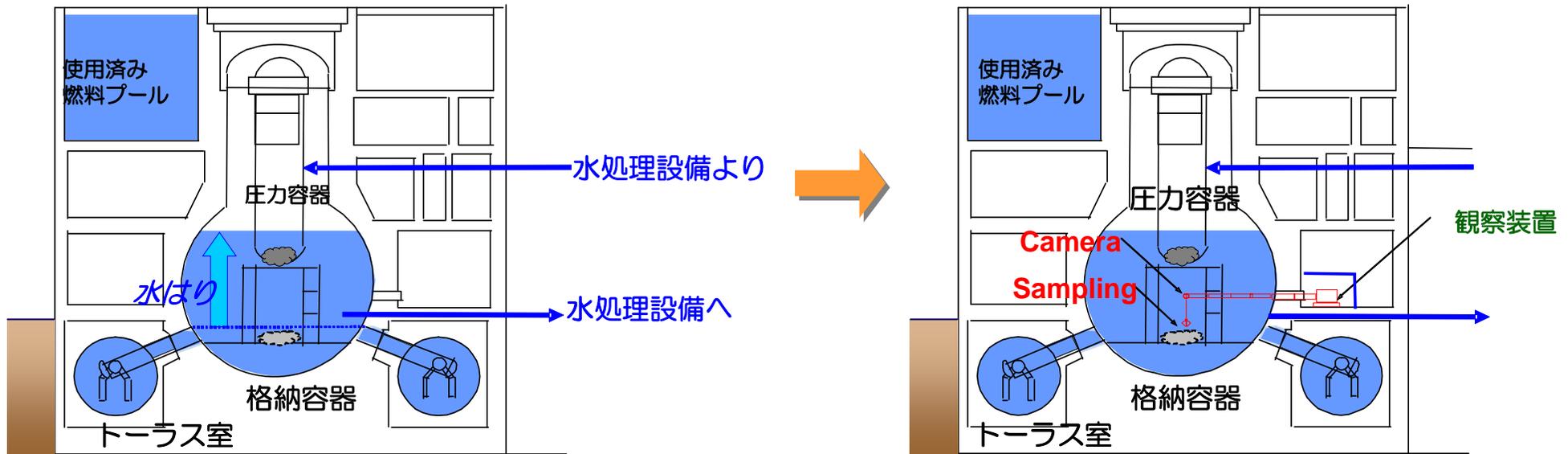


PCV外部から漏えい箇所を特定し、補修を実施

主な技術的課題:

- PCV内の高い線量と湿度
- 損傷が想定される箇所の多くは、濁度の高い水中
- 漏えい箇所の補修は、高濃度汚染水が流れている状況で実施 (炉心冷却のための注水は継続が必要のため)

Phase 4,5: PCV下部の水はり, PCV内部の詳細調査, デブリサンプリング

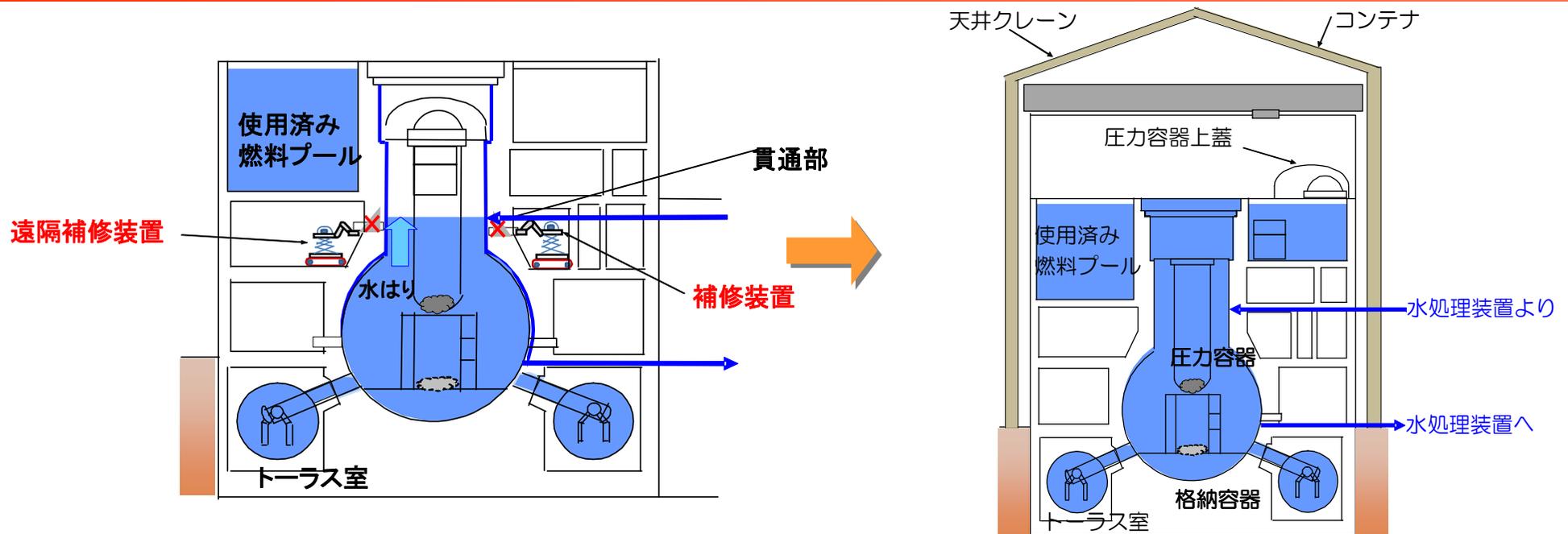


- PCV下部に水ほりを実施
- PCV内部を詳細に調査し, デブリの分布状況/サンプリングによるデブリ特性等を把握

主な技術的課題:

- 高い線量, 低いアクセス性, 高い濁度による視界の制限
- 調査機器の挿入箇所に漏えい対策が必要
- デブリサンプリング時の再臨界防止

Phase 6,7: PCV上部の補修, PCVの冠水

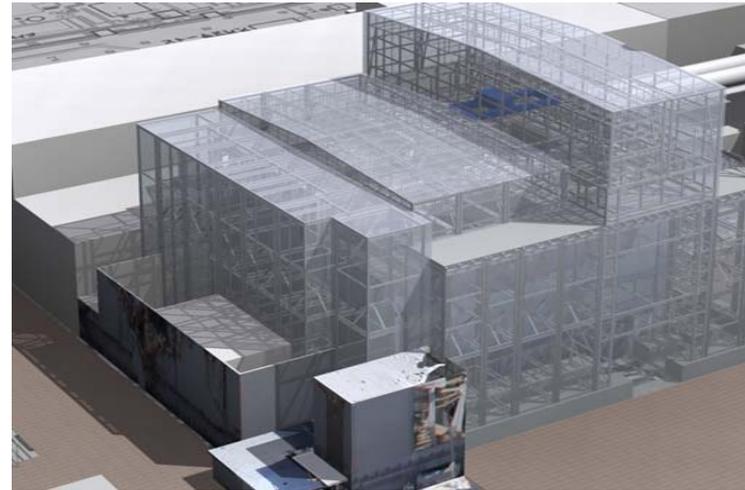
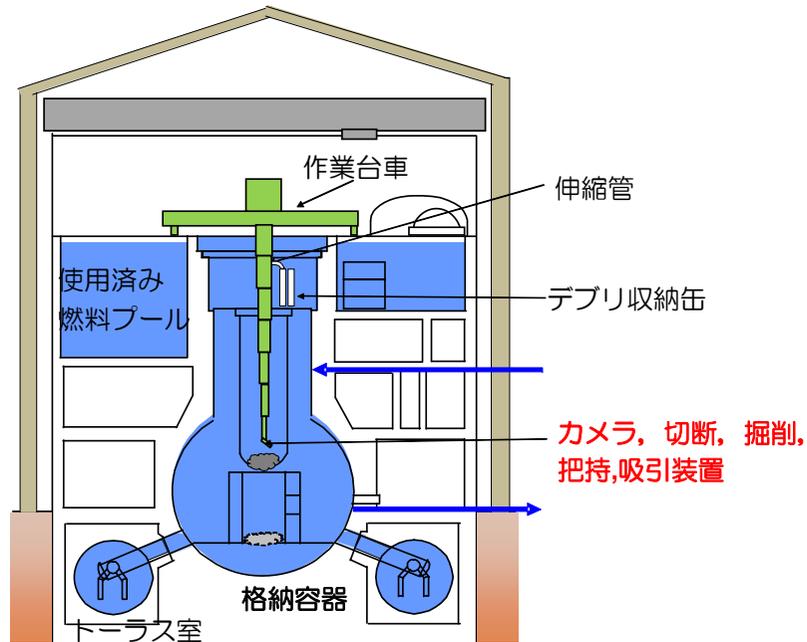


- (1) PCV漏えい箇所の補修により，内部を冠水
- (2) 炉内機器や燃料取出しのためのクレーン，R/Bカバーを設置
- (3) PCV内に十分な水位まで水はりが完了した後，RPV/PCVの上蓋を開放

主な技術的課題:

- 高い線量，低いアクセス性
- 冠水後の耐震安定性確保(水の質量を考慮)
- PCVからの放射性物質放出の抑制
- デブリ取出し時の再臨界防止

Phase 8: RPV内部調査, デブリサンプリング

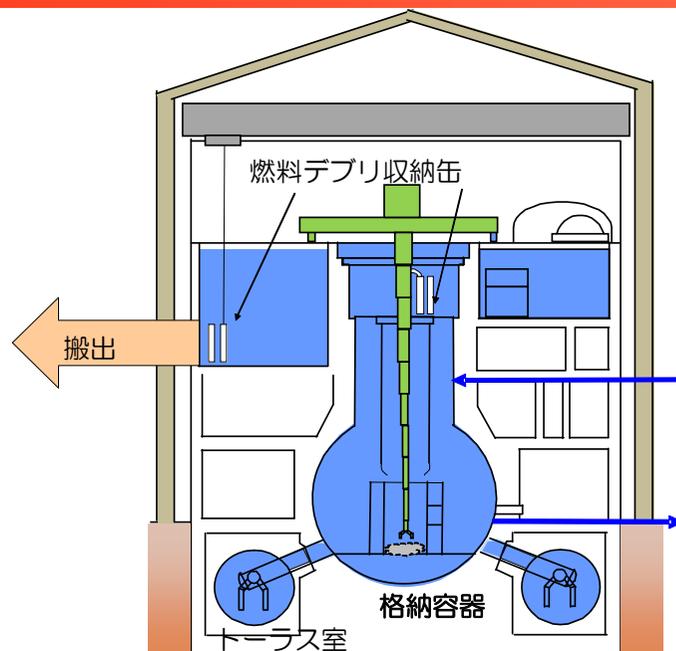


RPV内部の状況やデブリの分布・性状を調査

主な技術的課題:

- 高い線量, 低いアクセス性, 高い濁度による視界の制限
- 必要な高線量下遠隔操作機器の開発
- 再臨界防止
- 燃料デブリ保管技術の確立

Phase 9: RPV/PCVからの燃料取出し



RPV炉内構造物や燃料デブリの取出し

主な技術的課題:

- 燃料デブリはBWRの複雑な炉底部構造物の上に落下していることが想定される(PWRの炉底部と比較して、構造が大幅に複雑)
- 燃料デブリはRPV外部まで落下している可能性がある
- 多種の金属やコンクリートとの混合により、デブリの核特性、機械的特性、化学特性は多様となっていることが想定される
- 再臨界防止
- 燃料デブリ保管技術の確立

福島第一原子炉建屋内の除染の進捗状況について

プラントの状況（線量）

プラント状況

【1号機】

原子炉建屋内線量：1階約数ミリ～約4000mSv/h以上（南側）

【2号機】

原子炉建屋内線量：1階約数ミリ～約30mSv/h、オペフロ最大880mSv/h

【3号機】

原子炉建屋内線量：1階約20～約4000mSv/h以上（北側の一部）、
オペフロ最大約2000mSv/h

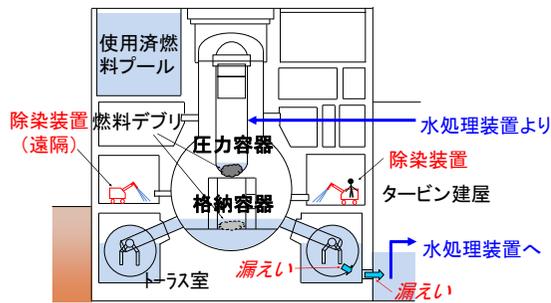
建屋内の線量低減は、調査・補修作業等を実施するために不可欠

- ・高圧洗浄、はつり等の適用性を国プロジェクトにて検討
- ・表面除染のみで十分に線量が下がらない場合、必要に応じて遮蔽の設置を併用

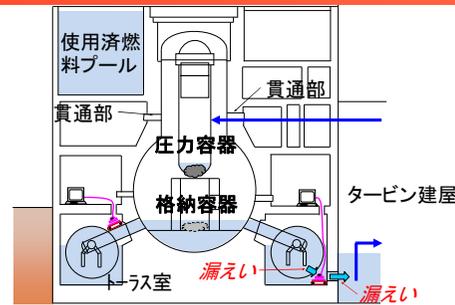
主な技術的課題

- ・高線量による立ち入り制限
- ・原子炉建屋内に散乱したがれき等の障害による作業の阻害
- ・狭隘な建屋設計によるアクセス性制限

研究開発・現場作業工程



原子炉建屋内除染



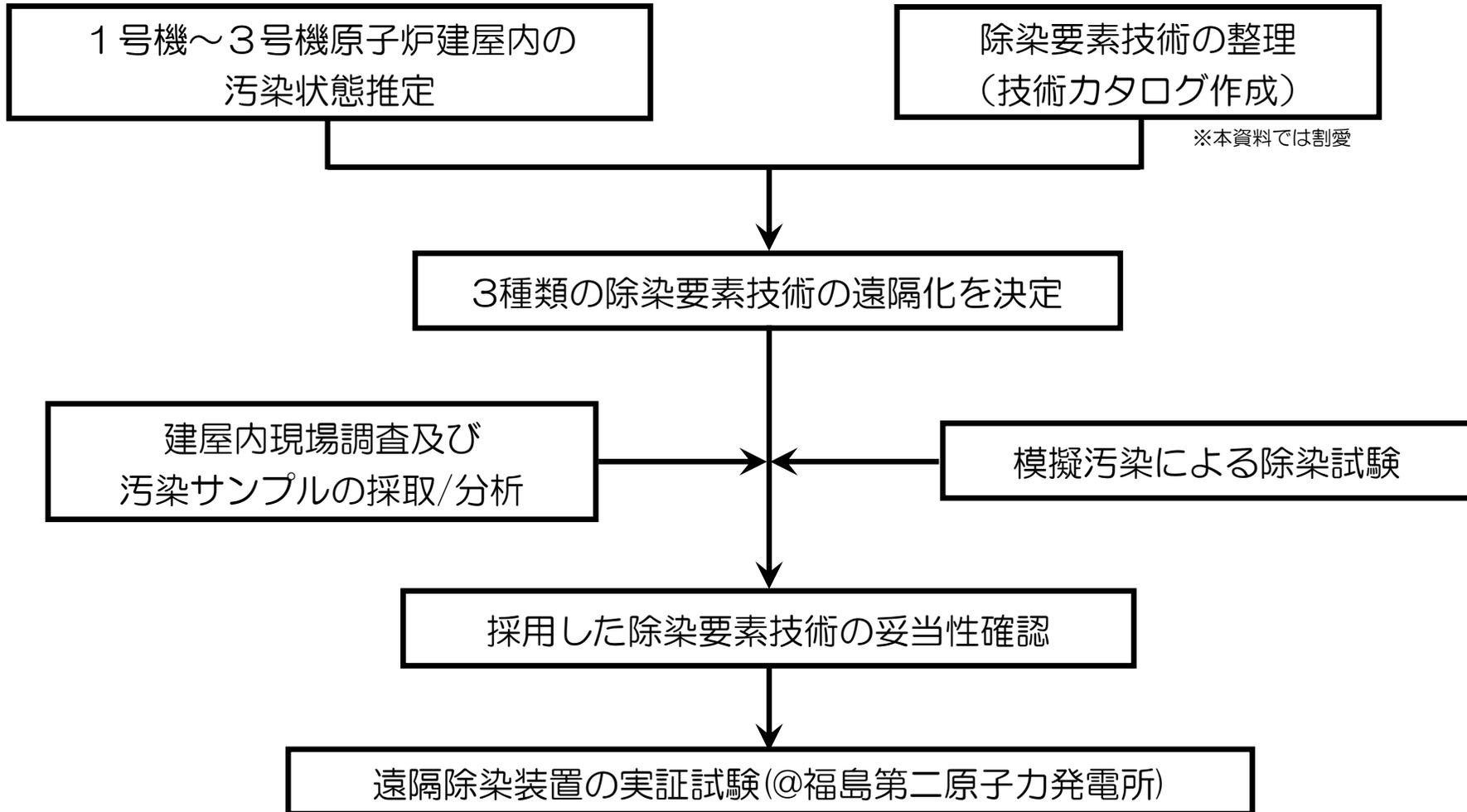
原子炉格納容器下部調査

	H25年度 (2013年度)	H26年度 (2014年度)	H27年度 (2015年度)	H28年度 (2016年度)
研究開発	遠隔除染装置開発 (1階用)	高所・上層階用		
	PCV下部調査装置開発	PCV下部補修(止水)装置開発		
1号機	建屋除染・遮蔽等 (1階)			(継続実施)
			▼目標: 除染によるアクセス性確保 PCV下部・壁面調査	
2号機	建屋除染・遮蔽等 (1階)			(継続実施)
		▼目標: 除染によるアクセス性確保 PCV下部・壁面調査		HP 格納容器下部補修 (止水) 方法確定
3号機	建屋除染・遮蔽等 (1階)			(継続実施)
			▼目標: 除染によるアクセス性確保 PCV下部・壁面調査	

略称: HP(ホールドポイント)、PCV(原子炉格納容器)

研究開発～除染装置開発プロセス

原子炉建屋内の除染を遠隔で行う装置を開発することを目的に、経済産業省補助事業「建屋内の遠隔除染技術の開発」がH23年12月にスタート。



開発プロセス

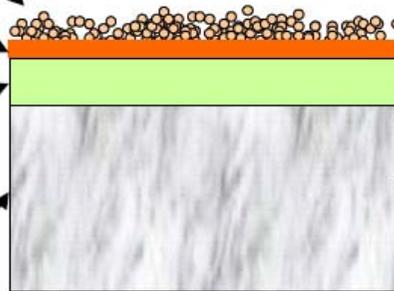
研究開発～想定汚染のイメージと除染技術

想定汚染の模式図

遊離性汚染
(ちり、ホコリ)
固着性汚染

表面塗装
(エポキシ)

コンクリート
(浸透汚染)



各除染技術について、遠隔機器への搭載性、狭隘部への適用性、ユーティリティ、消耗材の遠隔供給性、二次廃棄物量及び回収性、除染効果及び作業効率等を関係者で評価し、得点付けを実施

技術カタログで抽出された主な除染技術

遊離性汚染に対し有効な技術

- ・吸引回収除染法(14)
- ・高圧水洗浄法(12)
- ・ブラッシング除染法(8)

固着性汚染に対し有効な技術(化学的)

- ・はく離性塗膜除染法(13)
- ・有機酸除染法(11)
- ・泡除染法(10)
- ・ゲル・ペースト除染法(10)

固着性汚染に対し有効な技術(機械的)

- ・ドライアイスブラスト除染法(13)
- ・レーザ除染法(11)

浅い浸透汚染に対し有効な技術

- ・超高圧水除染法(12)
- ・ブラスト除染法(12)

深い浸透汚染に対し有効な技術

- ・スキャブリング除染法(11)
- ・液体窒素除染法(8)
- ・マイクロ波除染法(6)

(○) 得点数

現場調査～線量及び線源調査結果～

1～3号機原子炉建屋1階について、線量測定及びγカメラによる線源調査を実施。

1号機1階線量率調査結果

線量率調査結果

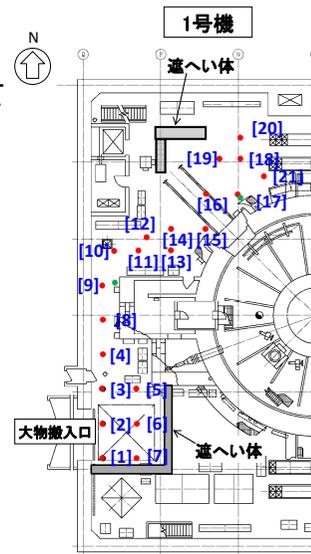
床面から0.05m及び1.5mの地点の線量を測定。以下測定結果概略を記す。

1号機：約3～10mSv/h（南側除く）

2号機：数ミリ～20mSv/h

3号機：約20～約200mSv/h（北側除く）

3号機は床面0.05mの線量の方が高い傾向



(単位：mSv/h)

測定ポイント	線量率 (床から0.05m)	線量率 (床から1.5m)	測定ポイント	線量率 (床から0.05m)	線量率 (床から1.5m)
[1]	5.9	7.9	[12]	4.5	5.1
[2]	6.0	8.1	[13]	4.4	4.6
[3]	5.2	8.1	[14]	4.3	4.4
[4]	4.5	6.2	[15]	4.4	4.4
[5]	13.1	8.4	[16]	4.5	4.5
[6]	6.5	8.9	[17]	5.2	4.1
[7]	5.9	6.2	[17]壁面	5.1	4.0
[8]	4.3	5.1	[18]	5.1	4.9
[9]	2.5	3.8	[19]	3.3	4.0
[9]壁面	2.6	3.2	[20]	7.1	4.8
[10]	3.2	4.4	[21]	4.0	4.4
[11]	3.7	4.0			

線源調査結果

- 各号機共通で格納容器貫通部及び水圧制御ユニット下部(HCU下部)がホットスポットになっている。
- 1号機及び3号機については、水素爆発により散在している瓦礫/粉塵体積部が強い線源となっている。

ガンマカメラ撮影結果 (例)



1号機X-100Bペネトレーション (格納容器貫通部)



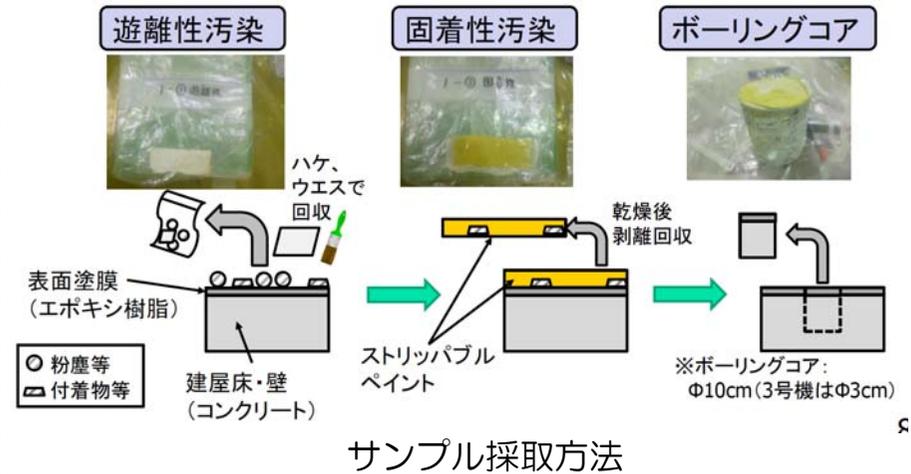
3号機1階大物搬入口付近

現場調査結果：汚染サンプル採取方法・分析項目

サンプル採取

1～3号原子炉建屋内の汚染サンプルを採取し、メーカーによる現地分析及び、一部サンプルについては日本原子力研究開発機構による分析を行った。

なお、採取したサンプルは遊離性汚染(主に粉塵)、固着性汚染(ストリッパブルペイント)、ボーリングコア(浸透汚染評価用)の3種類。



サンプル分析項目

		汚染核種の組成 (主たる核種は何か)	汚染分布状態 (一様汚染か)	汚染浸透状態 (浸透深さは?)	汚染形態毎の存在割合 (表面汚染密度は?)
JAEAによる 詳細分析項目	γスペクトロメトリー	○	—	△	△
	αスペクトロメトリー	○	—	△	—
	β核種簡易測定	△	—	—	—
	イメージングプレート測定	—	○	○	○
	FE-SEM (表面状態観察、元素分布測定)	—	△	△	—
	γスキャン測定	—	—	○	—
メーカーによる 簡易分析項目	積算線量計測定(@現場)	—	—	—	○
	γスペクトロメトリー	○	—	—	—
	β核種簡易測定	△	—	—	—
	試料の線量測定	△	—	—	—

○：評価に主に使用する分析 △：評価に補助的に使用する分析

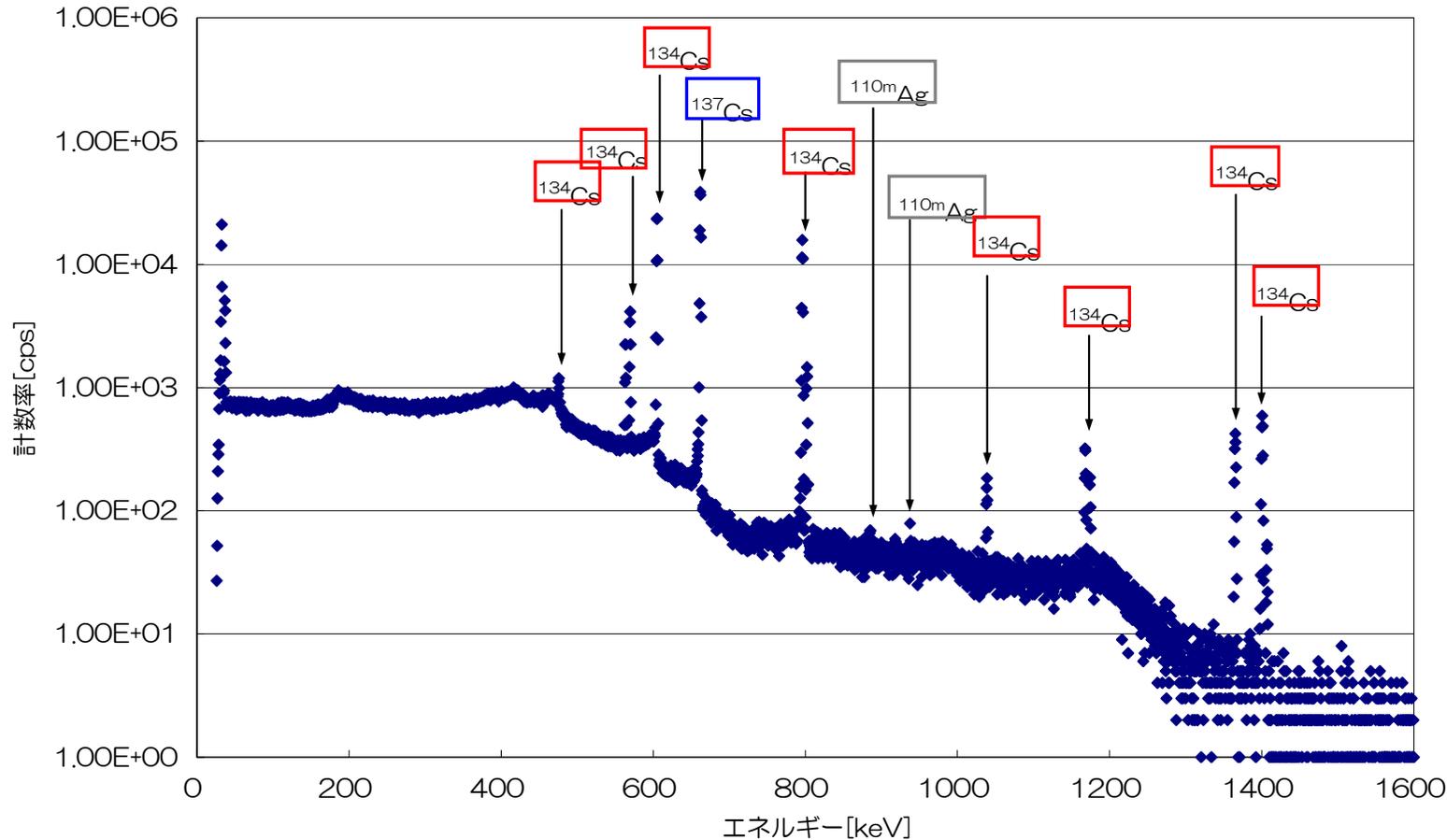
現場調査結果：評価結果 汚染の核種組成～ γ スペクトロメトリ

Cs134及びCs137が大半を占め、放射能比はCs134:137=2:3であった。

→事故時に補正すると、放射能比は1:1

Csの他、極微量ではあるがAg110m(1/2号)、Sb-125(2号)が検出され、

放射能はそれぞれCs137の1/100及び1/10程度



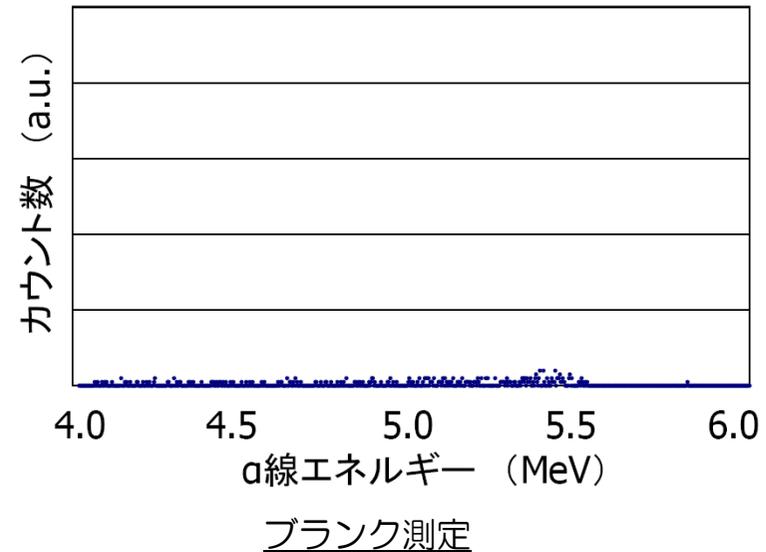
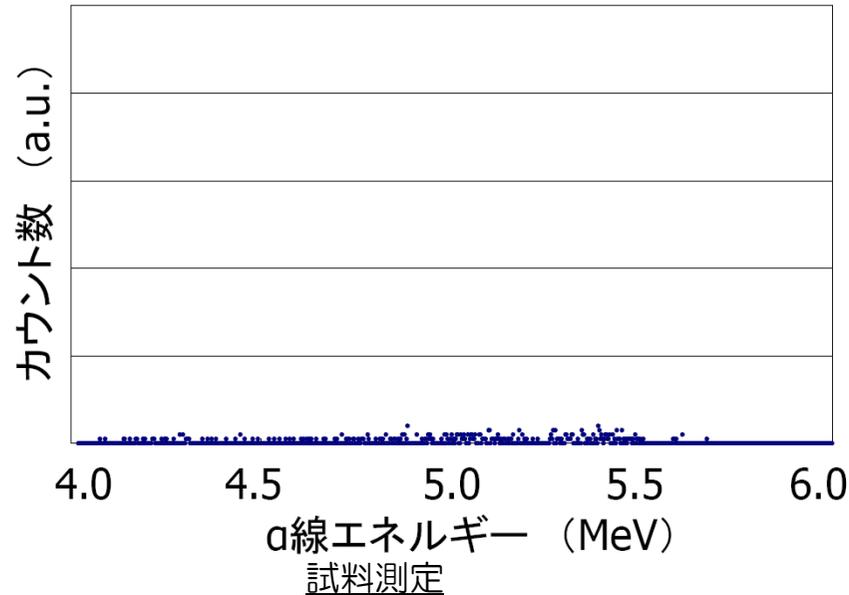
測定結果の例（1号機2階床（試料番号⑩）遊離性汚染）

現場調査結果：汚染の核種組成～ α スペクトロメトリ及び β 核種簡易評価

α 核種について

ブランク測定との差異がなく、有意な α 線ピークは検出されなかった。

→本分析では α 核種は検出限界未満



測定結果の例（1号機1階床（試料番号①）固着性汚染）

β 核種について

薄いアルミ板を用いて汚染サンプルの β 線減衰試験を行った。

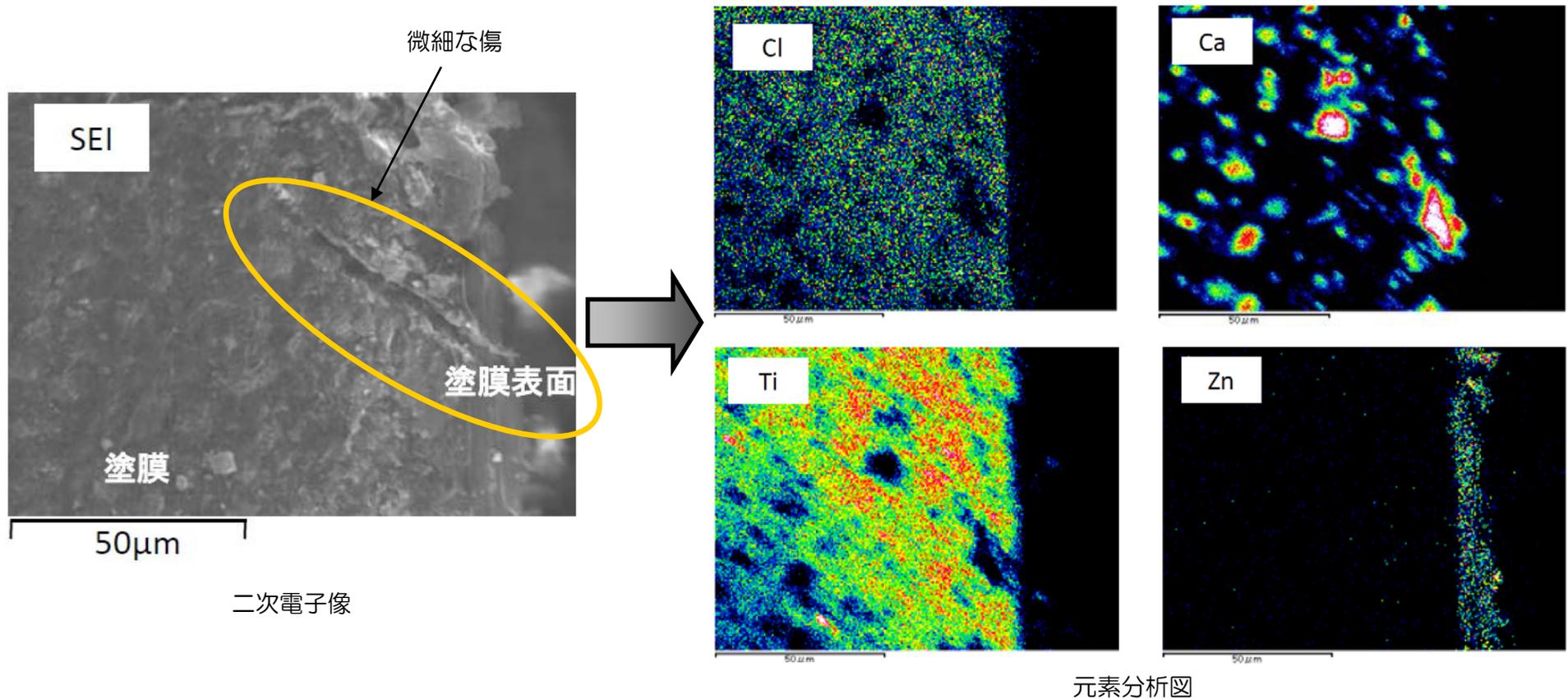
その結果、Cs134:Cs137=2:3の時の β 線減衰曲線と矛盾ない結果を得たことから、建屋内の β 線源はCs134及びCs137と考えられる。

現場調査結果：汚染の分布状態～FE-SEM（電界放出形走査電子顕微鏡）

Cs等の汚染源の高濃度な特異点は観察されなかった(100ppm以下)

1号機及び3号機床の一部でNaClを検出→津波の影響か否かは不明

エポキシ塗装表面には、経年劣化によるものと思われる微細な傷が観察された。

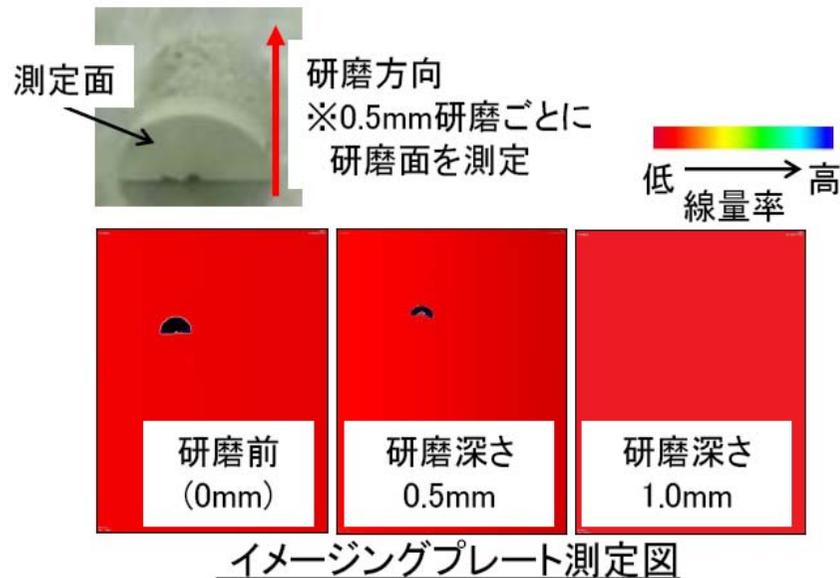


測定結果の例

（3号機1階床（試料番号①）コアサンプル表面）

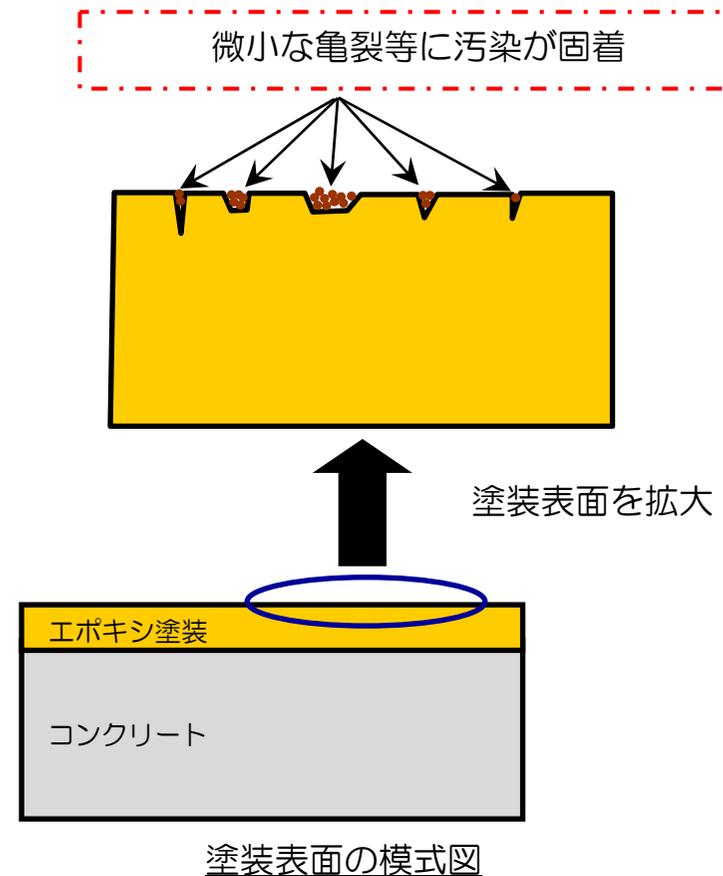
現場調査結果：汚染の浸透状態～イメージングプレート(IP)及びびスキャン

コアサンプルのエポキシ塗装面への浸透は限定的で、1号機及び3号機は最大0.5mm、2号機は最大1mm程度であった。但し、これらはエポキシ樹脂そのものへの汚染浸透ではなく、経年劣化による傷やポーラス状の微小な凹部に汚染が固着していると考えられる。



【研磨-表面イメージングプレート測定による汚染浸透深さ測定】

測定結果の例（3号機1階床（試料番号①）コア）

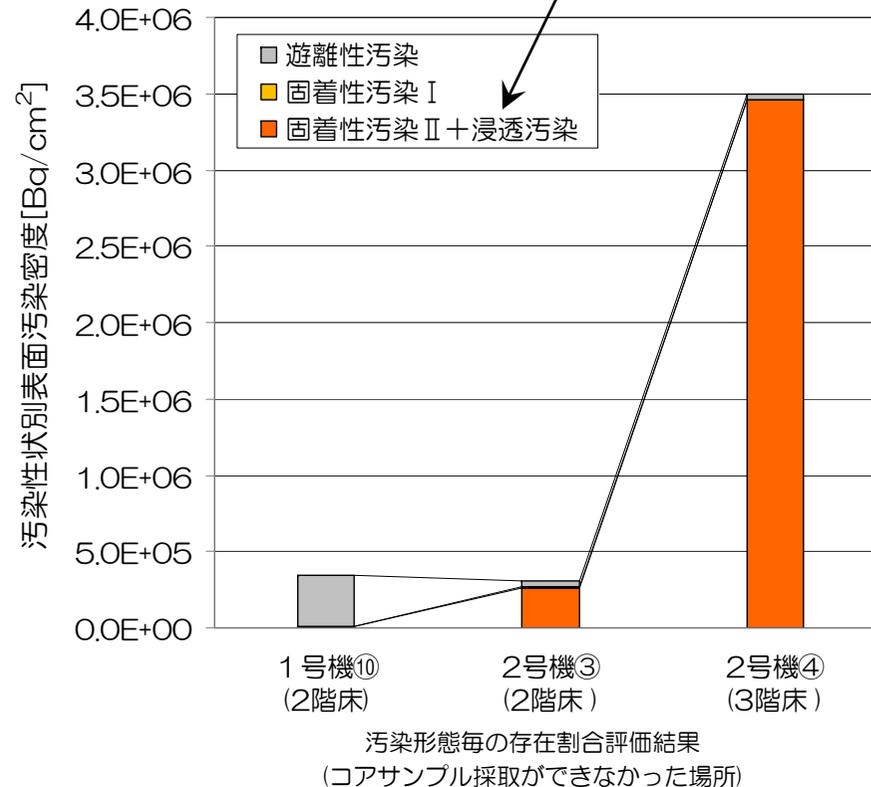
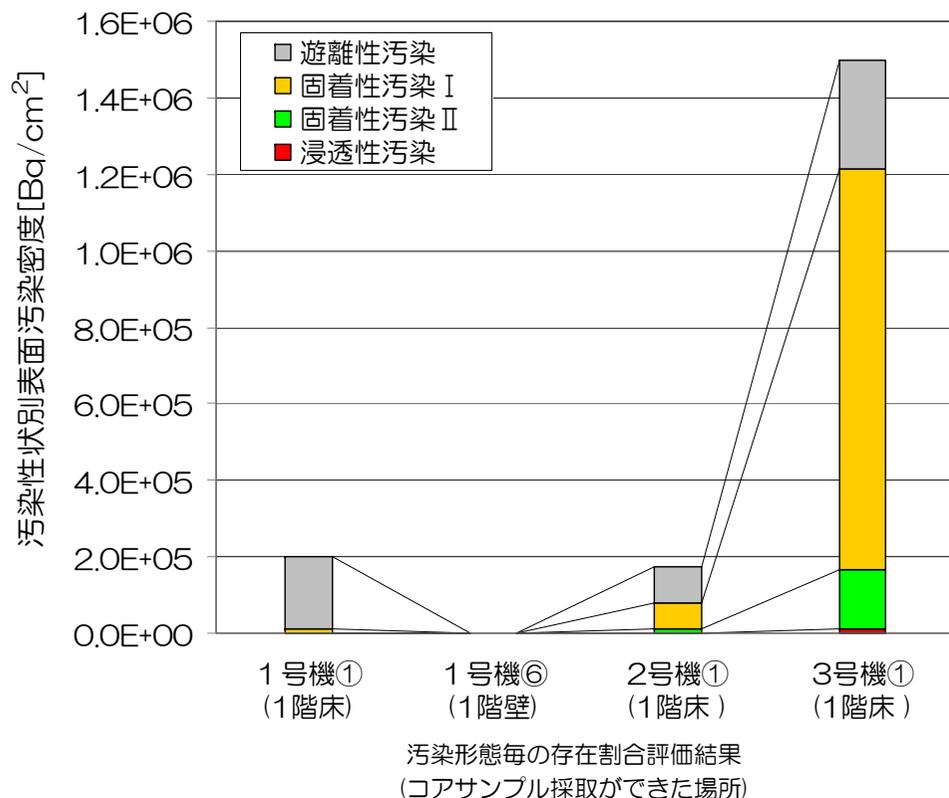


現場調査結果：汚染サンプルから推定した建屋内汚染分布評価結果

1号機は遊離性汚染が支配的、2/3号機は固着性汚染の割合が高い

2号機は上層部ほど汚染密度が高い傾向

コアサンプルがなく、浸透汚染を評価できないため、「固着性汚染Ⅱ + 浸透汚染」として評価



※固着性汚染の定義について

固着性汚染Ⅰ: ストリップابلペイントで回収可能な固着性汚染

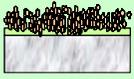
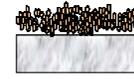
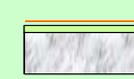
固着性汚染Ⅱ: エポキシ塗装表面の凹凸や微少な亀裂等に汚染が固着し、ペイントでは回収できない場合もある
固着性汚染

汚染サンプル分析・評価結果

- (1) 汚染の核種組成 (α/γ スペクトロメトリー、 β 核種簡易測定、サンプル線量測定 (β/γ))
 - ・ γ 核種はCs134:Cs137=2:3で存在しており(H24年10月時点)、 β 線源にもなっている。H23年3月11日時点に換算するとほぼ1:1の比率。
 - ・ 汚染サンプルからは α 核種は検出されなかった。
- (2) 床面汚染の分布状態 (FE-SEM、イメージングプレート)
 - ・ 採取したボーリングコアの汚染は一様に分布しており、高濃度の特異点は検出されず。
 - ・ サンプルの一部からNaClが検出された。ただし、由来は不明。
- (3) 汚染の浸透状態 (イメージングプレート、 γ スキャン、FE-SEM、 γ スペクトロメトリー)
 - ・ イメージングプレート測定の結果、2号機で最大1mm、1 / 3号機で最大約0.5mmの深さに汚染が確認された。これらは経年劣化によるエポキシ塗装表面の微小な傷に汚染が固着しているためであり、エポキシ塗装への浸透はほとんどないと考えられる。
- (4) 汚染形態毎の存在割合 (積算線量計、イメージングプレート、 γ スペクトロメトリー)
 - ・ 1号機は遊離性汚染が支配的。
 - ・ 2号機及び3号機は固着性汚染の割合が相対的に高い。

上記評価結果は、少数の汚染サンプルからの評価結果であり、号機代表性確定には更なる調査が必要。

遠隔化した除染要素技術の妥当性確認（模擬汚染除染試験の結果から）

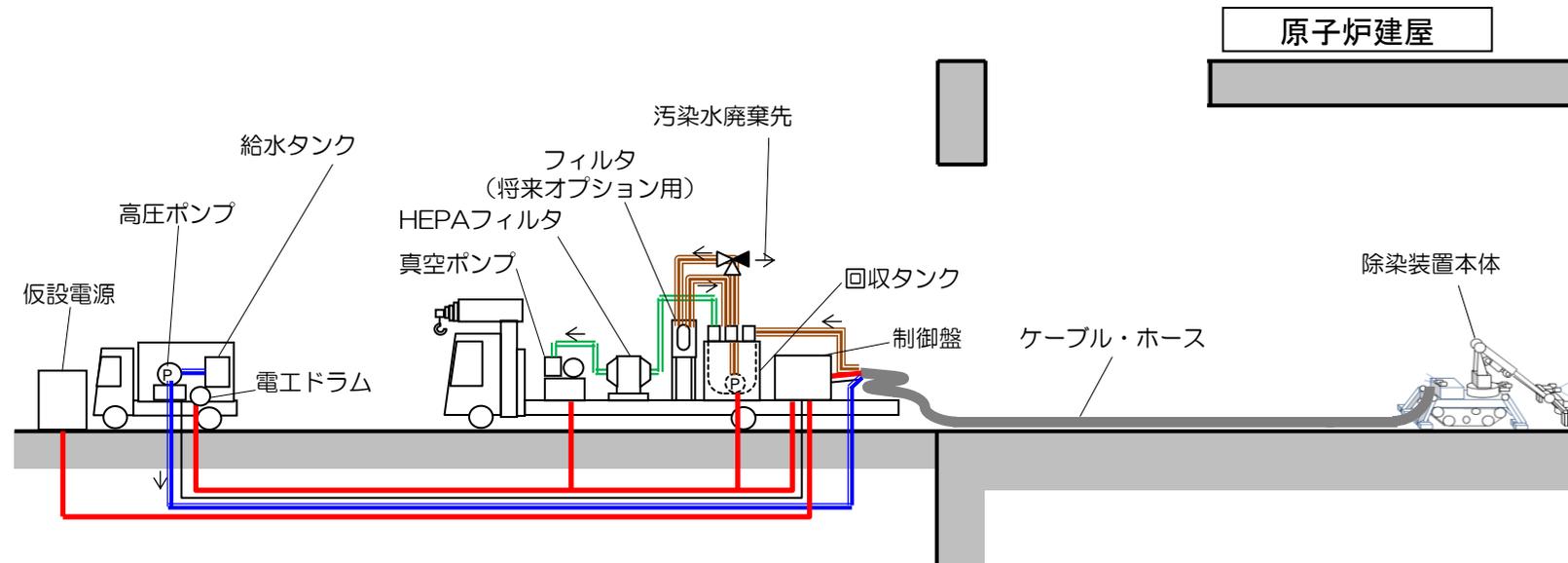
区分	工法の適用範囲(汚染状態)					
	水素爆発時に飛散した汚染		汚染蒸気に暴露された汚染		滞留水に浸漬された汚染	
	汚染形態① エポキシ塗装コンクリート面に、コンクリート屑が堆積 	汚染形態② 無垢コンクリート面に、コンクリート屑が堆積 	汚染形態③ エポキシ塗装のコンクリート面に、汚染蒸気が表面で乾燥 	汚染形態④ 無垢コンクリート面に、汚染蒸気が浸透した後乾燥 	汚染形態⑤ エポキシ塗装コンクリート面に、滞留水が付着後表面で乾燥 	汚染形態⑥ 無垢コンクリート面に、滞留水が浸透した後乾燥 
遊離性汚染	遊離性汚染	固着性汚染	固着性汚染 浸透汚染(比較的浅い)	固着性汚染 浸透汚染の可能性あり	固着性汚染 浸透汚染(比較的深い)	
高圧水ジェット除染法	←→ (Red)		←→ (Red)			
ウォータージェット(超高压水)除染法			←→ (Blue)	←→ (Blue)	←→ (Blue)	←→ (Blue)
吸引回収除染法	←→ (Red)		←→ (Red)			
ドライアイスブラスト除染法			←→ (Red)		←→ (Red)	
ブラスト除染法			←→ (Red)	←→ (Red)	←→ (Red)	
スキヤブリング除染法						←→ (Red)

 当初検討した適用範囲
 模擬汚染除染試験で確認できた範囲

 当初期待できるとした範囲
 期待できる範囲

建屋内除染 — 除染装置（高圧水除染装置）

水を高圧で除染対象面に噴射することにより表面を機械的に除染するもの。
圧力を高めることで、コンクリート面をはつることも可能。



アーム展開時

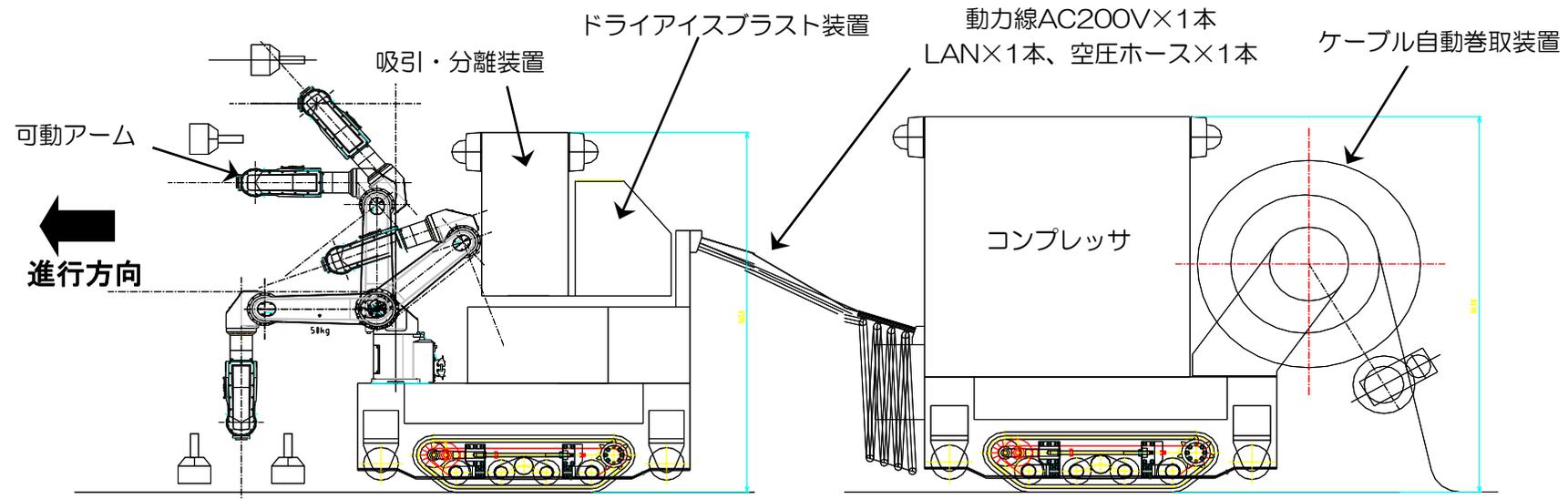


移動時

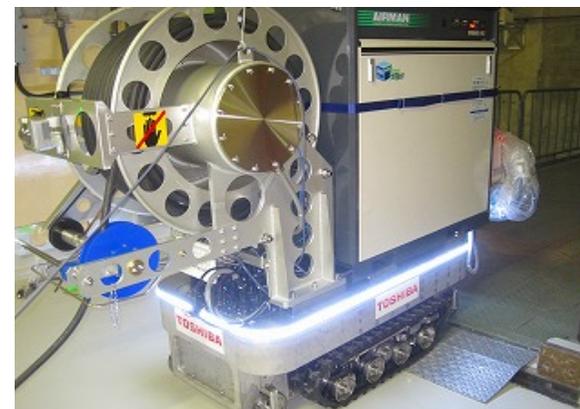
建屋内除染 — 除染装置（ドライアイスブラスト除染装置）

ドライアイスのパウダーを除染対象面に噴射し、表面を機械的除染するもの。

ドライアイス自身は昇華してしまうため極めて二次廃棄物が少なく、母材を痛めにくいのが特徴。



除染台車

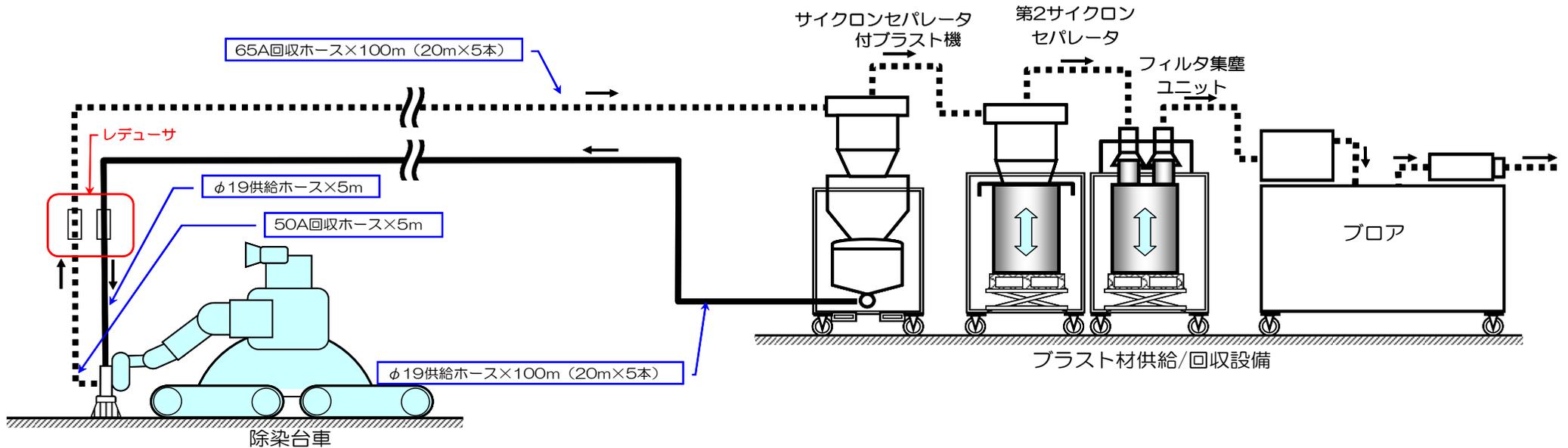


支援台車

建屋内除染 — 除染装置（吸引・ブラスト除染装置）

研削材を噴射し、表面を研削する工法。本装置の研削材はスチールグリッド（特殊鋼製の多角形粒子）であり、噴射後に回収して汚染と分離した後に再利用する。

なお、本装置は単独吸引モードが可能であり、1cm程度の小さいガレキの回収が可能。



除染台車



サイクロンセパレータ付ブラスト機

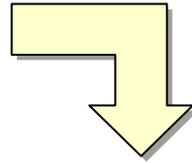


第2サイクロンセパレータ

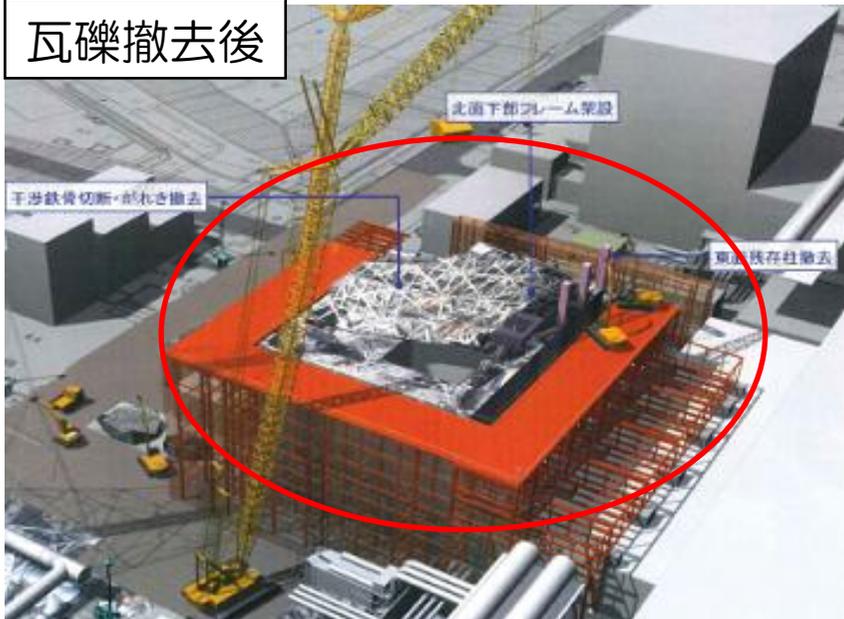
瓦礫撤去 原子炉建屋 屋外のがれき除去

3号機: 建屋損傷程度, 線量とも比較的高い

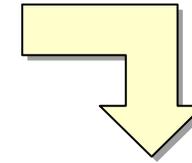
原子炉建屋 屋上階瓦礫 (撤去前)



瓦礫撤去後



原子炉建屋入口瓦礫 (撤去前)



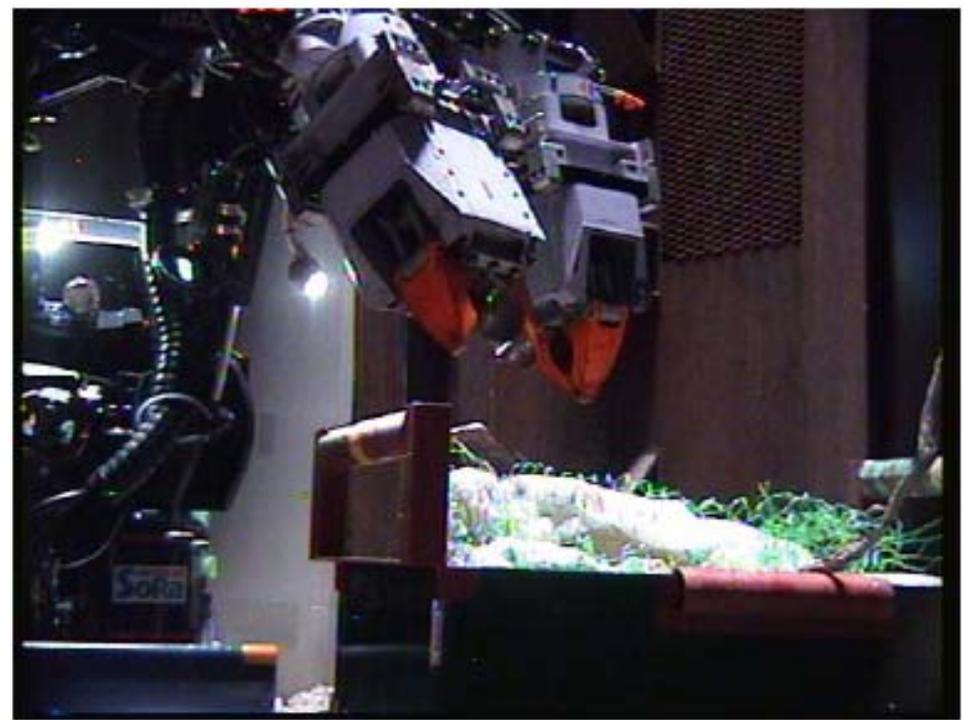
瓦礫撤去後



- 瓦礫撤去を行う重機類の操作は遠隔により実施

原子炉建屋内の瓦礫撤去

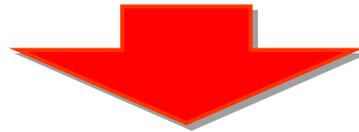
平成25年7月25日、3号機原子炉建屋1階において、遠隔操作重機（ASTACO-SoRa）によるガレキなど障害物の撤去作業を開始。



建屋内除染 — 1,3号機瓦礫等撤去計画

背景

- 福島第一1、3号機燃料デブリ取り出し作業のうち、格納容器漏えい調査等の原子炉建屋内作業をH25年9月から着手する計画
- 原子炉建屋内は、線量率調査から1号機南側は200～4700mSv/h、3号機は平均50mSv/hの高放射線環境下にある。この線量を建屋内作業手順が組める目標5mSv/hまで低減する必要がある
- 福島第一1、3号機は水素爆発の影響で、屋内はコンクリート屑やダクト等の瓦礫が飛散。撤去しなければ除染装置の搬入ができない状況。1号機は機器ハッチ下の仮設遮へいの移動も必要

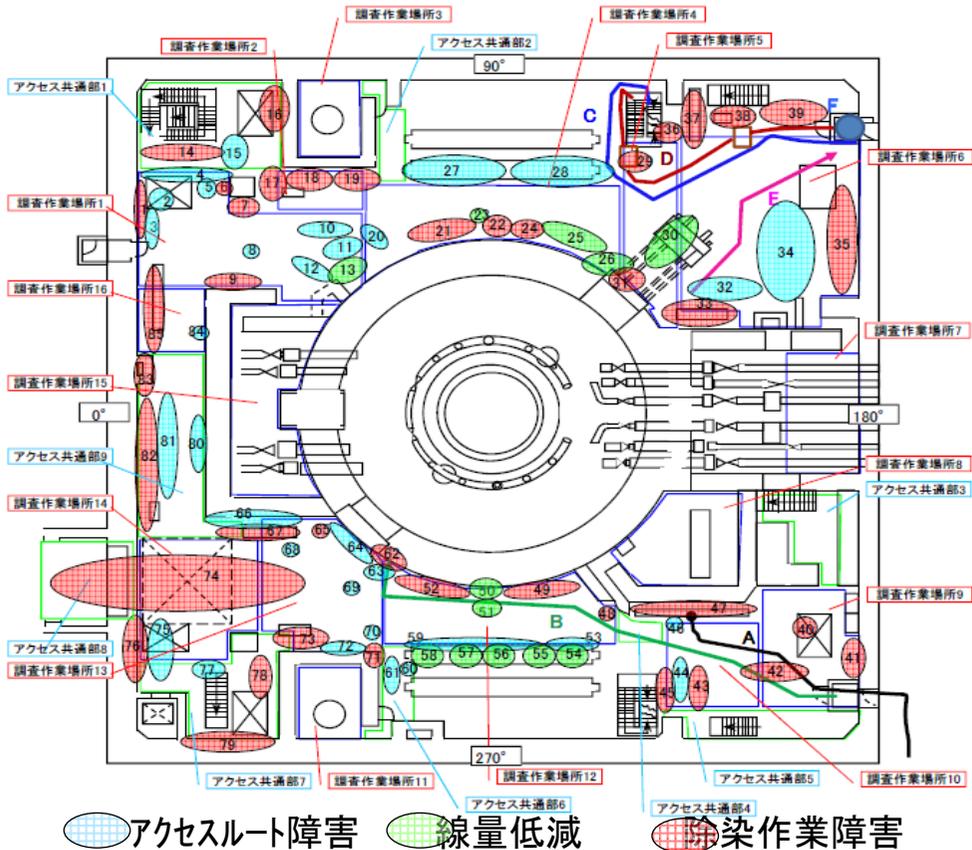


目的

除染作業を開始する前に、除染装置およびPCV内部調査の**アクセスルート確保**、ならびに**線量低減の一環**として、**無人重機による瓦礫等の障害物の撤去**を実施

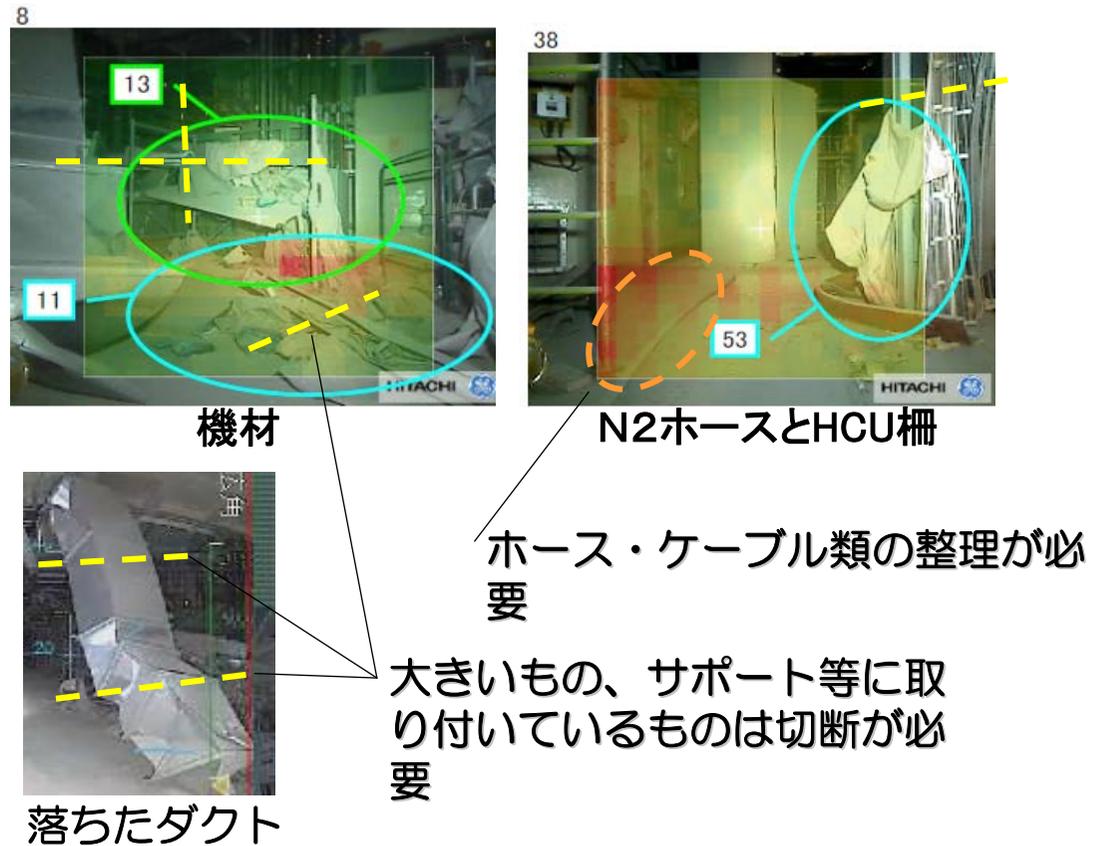
建屋内除染 — 瓦礫等撤去計画～3号機の例～

【対象範囲】



3号機1FL 障害物分布

【瓦礫と撤去イメージの例】



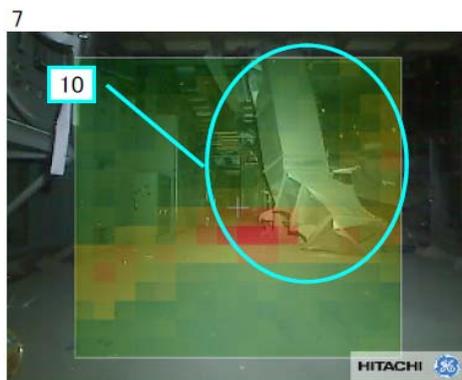
※これら瓦礫撤去範囲等は国プロジェクト「総合的線量低減計画の策定」の成果を活用

建屋内除染 — 重機使用計画

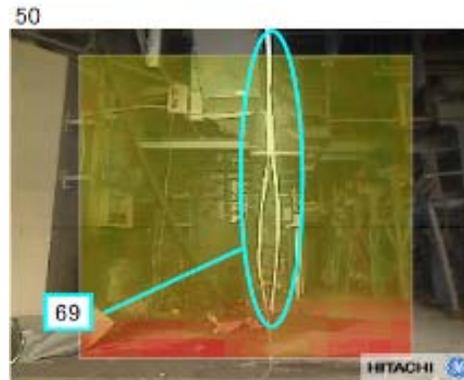
【瓦礫撤去ロボット】



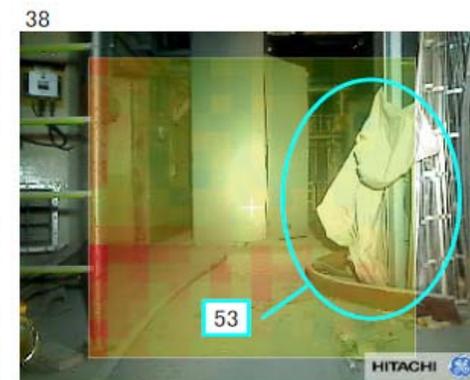
つかみ動作



左腕 右腕
A:つかみ具 B:切断刃



左腕 右腕
A:つかみ具 B:切断刃
撤去対象物と使用ツール



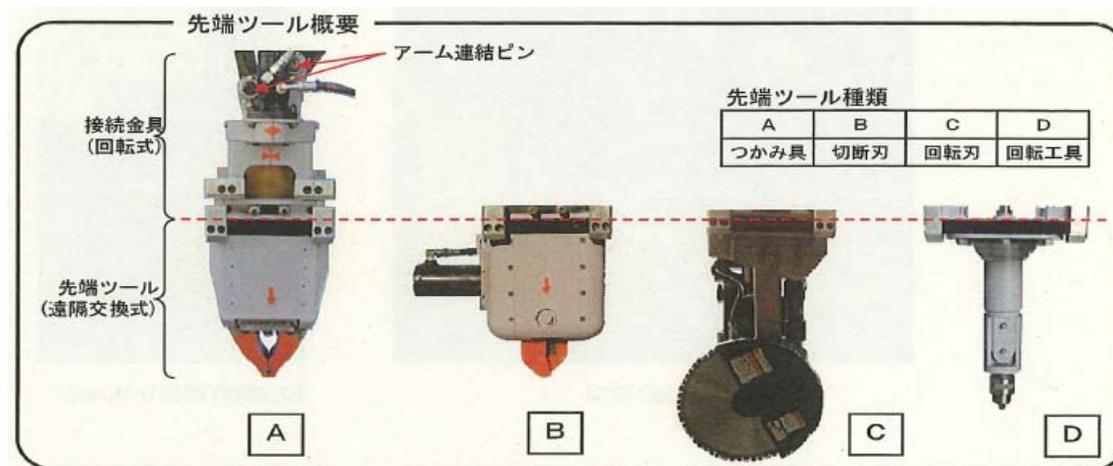
左腕 右腕
A:つかみ具 B:回転刃



切断(回転刃)



つかみ+切断(切断刃)



先端ツール

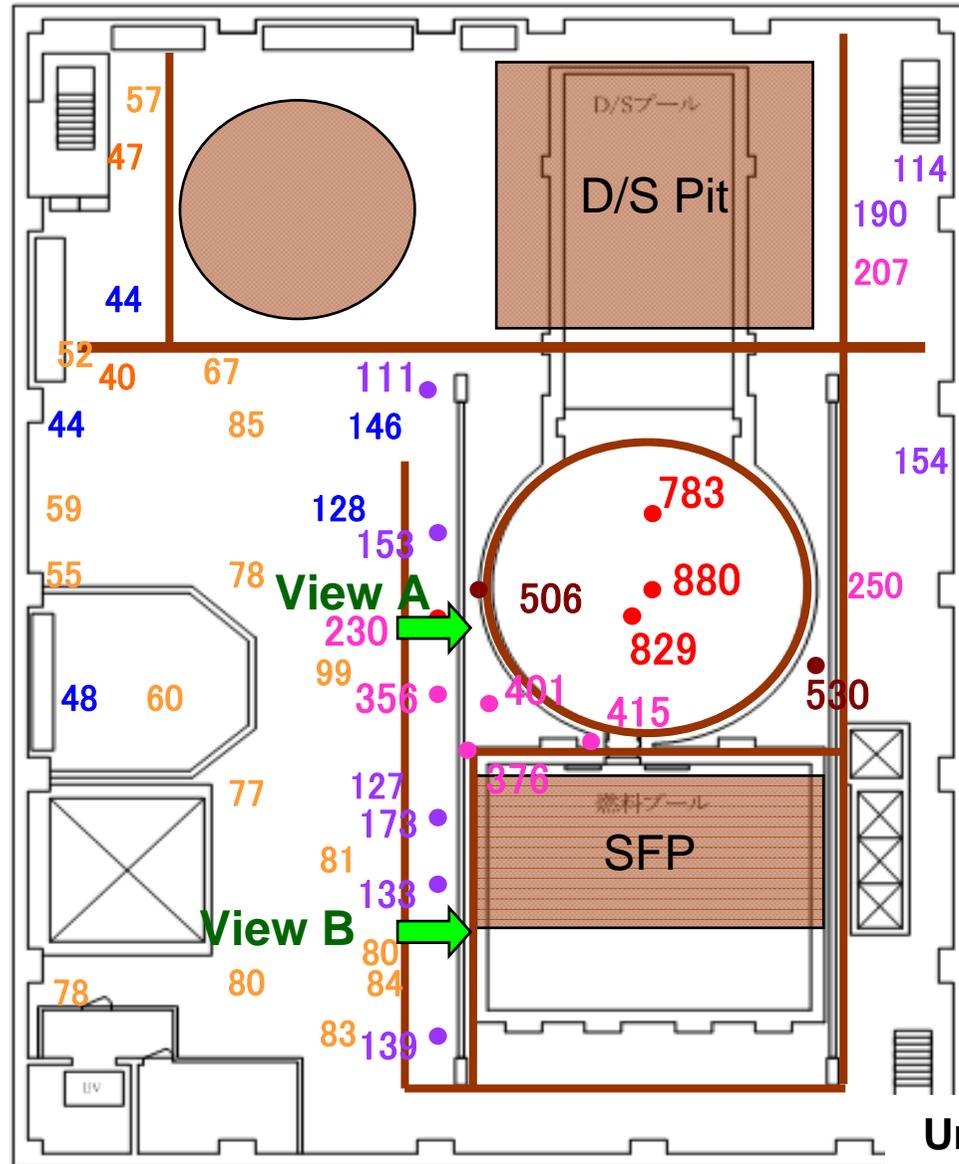
オペフロ線量マップの例 (2号機)

原子炉建屋
オペレーティングフロア

View A



View B



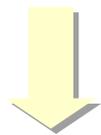
将来デブリ取り出し時に考慮すべき項目

デブリへのアクセスが極めて困難:

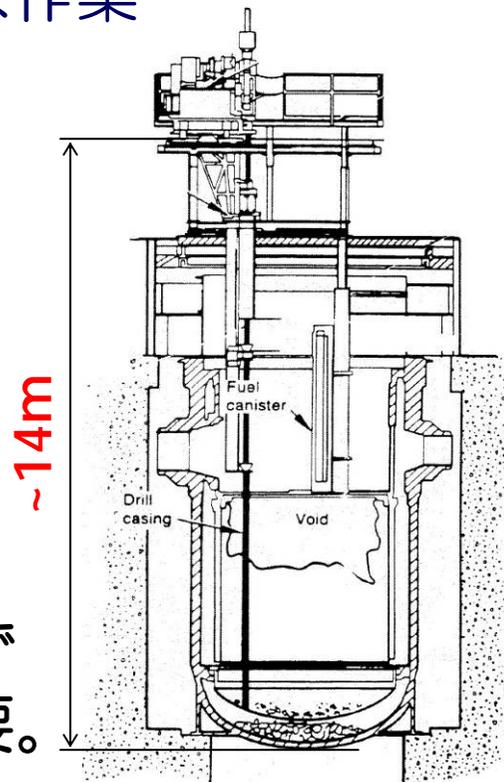
- 高線量 (オペフロ線量: ~ 880 mSv/h)
- オペフロからデブリまでの距離

デブリ性状によって、多様な作業を遠隔実施することが必要

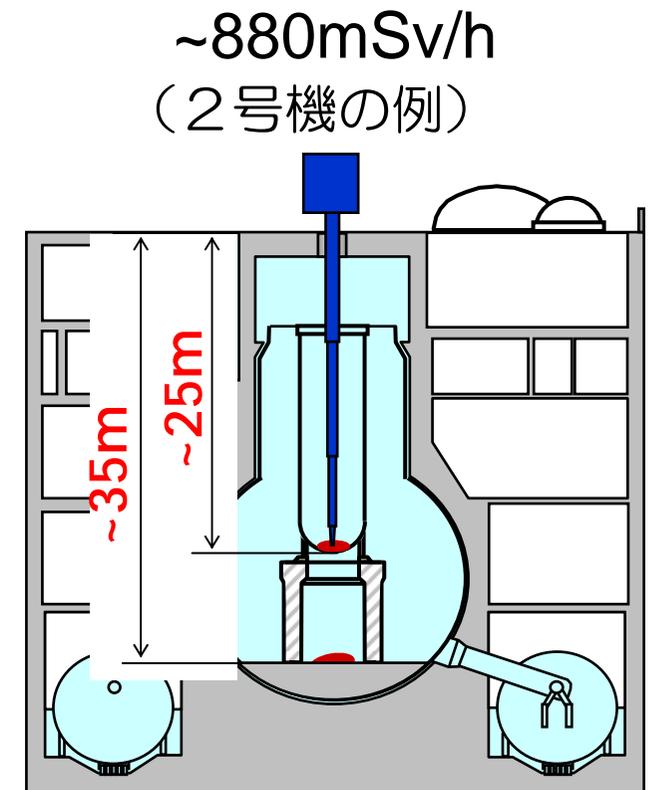
- コアボーリング
- プラズマアーク切断
- 機械的せん断
- 吸引, 把持



円滑な作業のためには、まずは遠隔装置による除染が重要。



TMI-2でのコアボーリング機器



福島第一の取出しイメージ

今後の展望

国プロ「建屋内の遠隔除染技術の開発」の今後の展望・課題について略記する。

福島第一原子力発電所における実証試験

H25年夏以降、福島第一原子力発電所原子炉建屋1階にて、開発した遠隔除染装置の実証試験（ホット）を行う。その後、実除染に使用していく予定。

国プロ「総合的線量低減計画の策定」との協調

「総合的線量低減計画の策定」では、1～3号機原子炉建屋内の状況把握(瓦礫配置、汚染分布等)を行い、除染／遮へい／機器撤去等の様々な工法を駆使し、原子炉建屋内の線量低減を目指すプロジェクトである。このプロジェクトと協調することにより、遠隔除染装置に求める機能を現場状態に即したものとし、真に現場線量低減に資する装置開発を目指す。

H25年度の開発方針

H24年度は1階床面及び高さ約1.5m程度までの壁面に適用することを目的に装置開発を行った。来年度については、2階以上への適用を可能とすると共にエリア上部にも適用可能な装置を志向する。

最後に

廃炉にあたっては、国内外の叡智を結集して、安全かつ的確な技術開発を行い、福島第一原子力発電所の廃止措置が着実に進展するように取り組んでまいります。