

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		2月		3月				4月			5月			6月			備考
			22	1	8	15	22	29	5	12	下	上	中	下	前	後				
建屋内除染	共通	(実績) 【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発																
		(予定) 【研究開発】建屋内遠隔除染装置の開発(継続)																		
		(実績) 【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討(継続)	検討・設計	【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討																
		(予定) 【検討】R/B1階南側高線量機器対策検討(継続)																		
2号機	共通	(実績) 【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討(継続)	検討・設計	【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討																
		(予定) 【検討】R/B1階高所線量低減・中～低所ホットスポット対策検討(継続)																		
3号機	共通	(実績) R/B1階除染作業(継続) R/B1階作業エリア遮へい設計・検討(継続)	検討・設計	【検討】R/B1階 作業エリア遮へい設計・検討																
		(予定) R/B1階除染作業(継続) R/B1階作業エリア遮へい設計・検討(継続)		現場作業 中～除染、床面再除染、局所遮へい設置																
燃料デブリ取り出し準備	共通	(実績) 【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】格納容器補修・止水技術の開発																
		(予定) 【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定(継続)		【研究開発】格納容器水張りまでの計画の策定																
		(実績)なし (予定)なし	現場作業																	
		(実績)なし (予定)なし																		
(実績)なし (予定)なし																				
燃料デブリの取出し	共通	(実績) 【研究開発】格納容器内部調査技術の開発(継続)	検討・設計	【研究開発】PCV内部調査技術の開発																
		(予定) 【研究開発】格納容器内部調査技術の開発(継続)		【研究開発】RPV内部調査技術の開発																
		(実績) 【研究開発】燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発(継続)	現場作業	【研究開発】燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発																
		(予定) 【研究開発】燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発(継続)		現場準備作業 1号機 PCV内部調査																

PCV内部調査実証予定
1号機 H27年4月～ **追加**
2号機 ベネ孔あけ H27年7月～
内部調査 H27年8月～
2号機PCV内部調査に係る実施計画変更

原子炉内燃料デブリ検知技術の開発 1号機測定結果速報

2015年3月26日
東京電力株式会社



東京電力

IRID

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の成果を活用しております。

1 . 概要

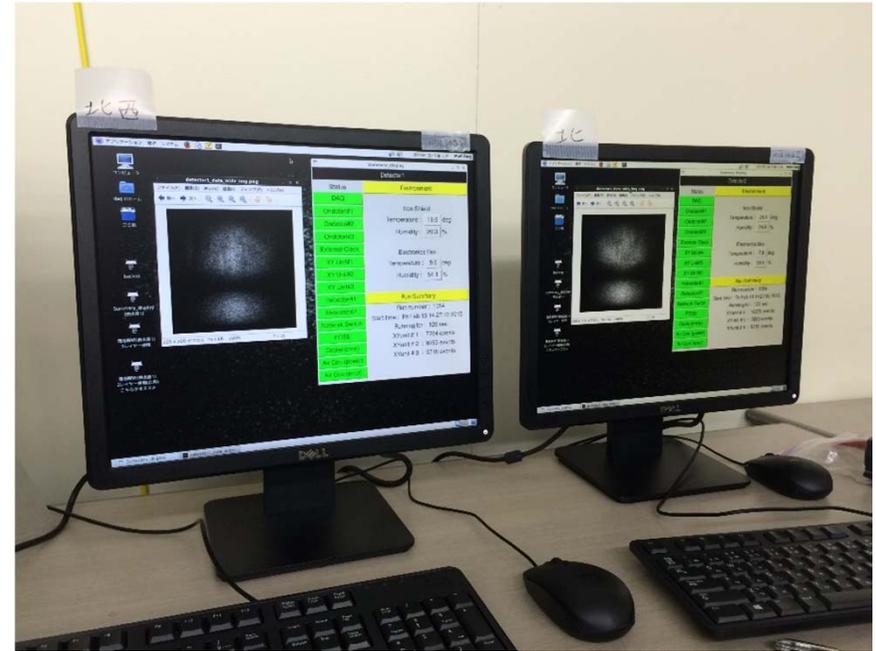
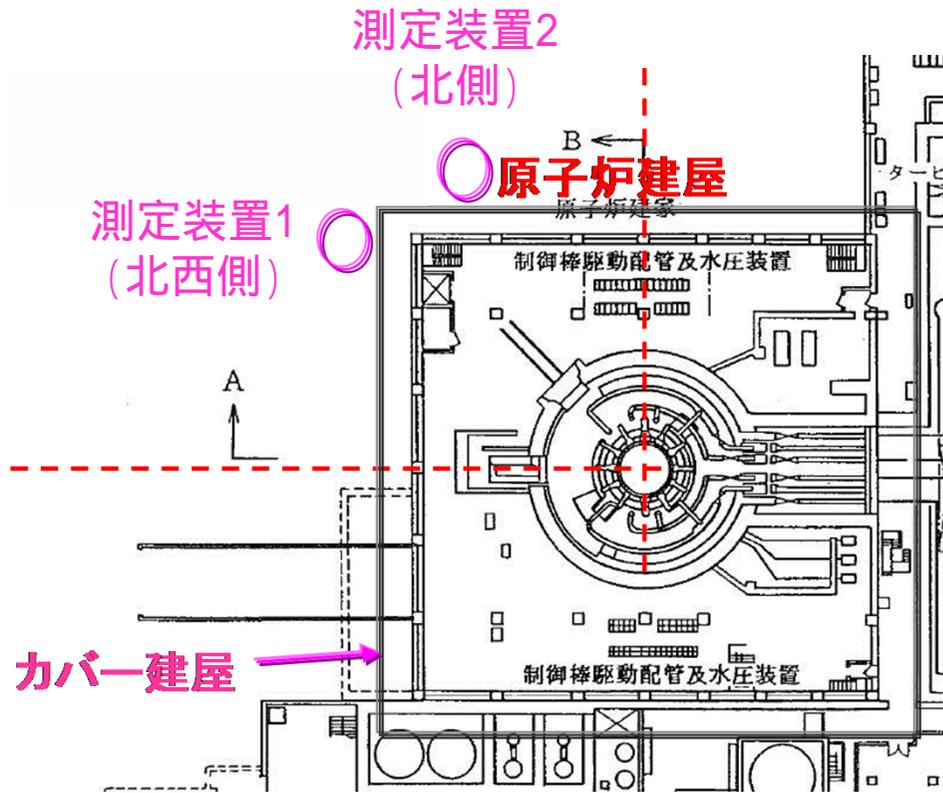
- 資源エネルギー庁の「平成25年度廃炉・汚染水対策事業費補助金」に係る補助事業（原子炉内燃料デブリ検知技術の開発）として、IRID及び高エネルギー加速器研究機構が、福島第一原子力発電所1号機において、ミュオンを用いた原子炉透視技術の開発が進められている
- 2月12日、測定装置の設置、電源・通信ケーブルのつなぎ込みが完了し、測定を開始している
- 以降、3月10日までのデータの蓄積を進めてきたところ、今回、約1ヶ月分（26日分）の蓄積データにて評価を実施した
- データの蓄積が大きい、視野の中心部分に存在する炉心位置については、情報が充実してきたため、速報として報告する

< 速報の結果 >

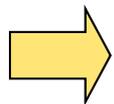
- 現時点では元々燃料が配置されていた炉心位置に、1mを超えるような大きな燃料の塊は確認できていない。この結果は、東京電力が公表している、原子炉・格納容器状態の推定と基本的に一致
- 今回の推定結果は、確実な廃炉作業の遂行のために必要な燃料デブリ位置の把握についての重要な情報である
- 多くの燃料が溶融して下方へ移動したことを示唆する結果が得られたことを踏まえ、今後は、原子炉下方の燃料デブリの分布状況を確認するため、ロボットを投入し、格納容器下部調査を実施していく予定である。これらの格納容器内部調査等の結果を組み合わせ、デブリ取出し計画の策定に反映していく。

2. ミュオン測定装置の設置完了

- 2月9日～12日にかけて設置作業を実施し、原子炉建屋の北側に測定器2、北西コーナーに測定器1を設置した



- 2月13日、測定開始から1日経過した時点で、確認作業を実施
 - 測定器1及び測定器2において安定的にミュオンを測定
 - ガンマ線による影響はほぼゼロ (設置地点は計画当初から線量が半減 (0.4 → 0.2 mSv/h))



測定装置に問題はなく、順調に測定が進んでいると判断

3 . 測定器1方向からの密度長分布イメージ（設計図面から作成）



図1 設計図面による測定器1方向からの密度長分布

密度の高い物質があるところで多くのミュオンが吸収されるため、黒くなる。
原子炉内の黒い部分は炉心位置(燃料は健全と仮定)

注：密度長とは、ミュオンの吸収されやすさの度合いを示すパラメータ

4 . 測定器 1, 2 による 2 6 日分の測定結果

- 設計図面により作成した図面ほどの精細さはないものの、様々な構造物・機器等が確認できるようになった

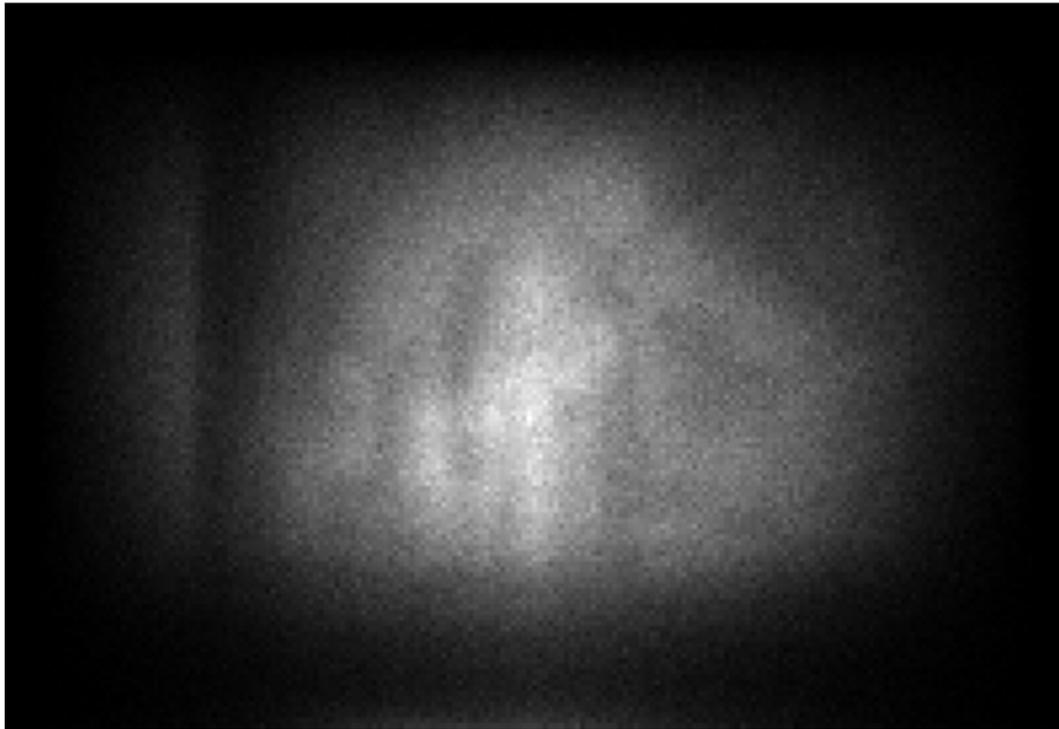


図2 測定器1(北西側)からの測定画像

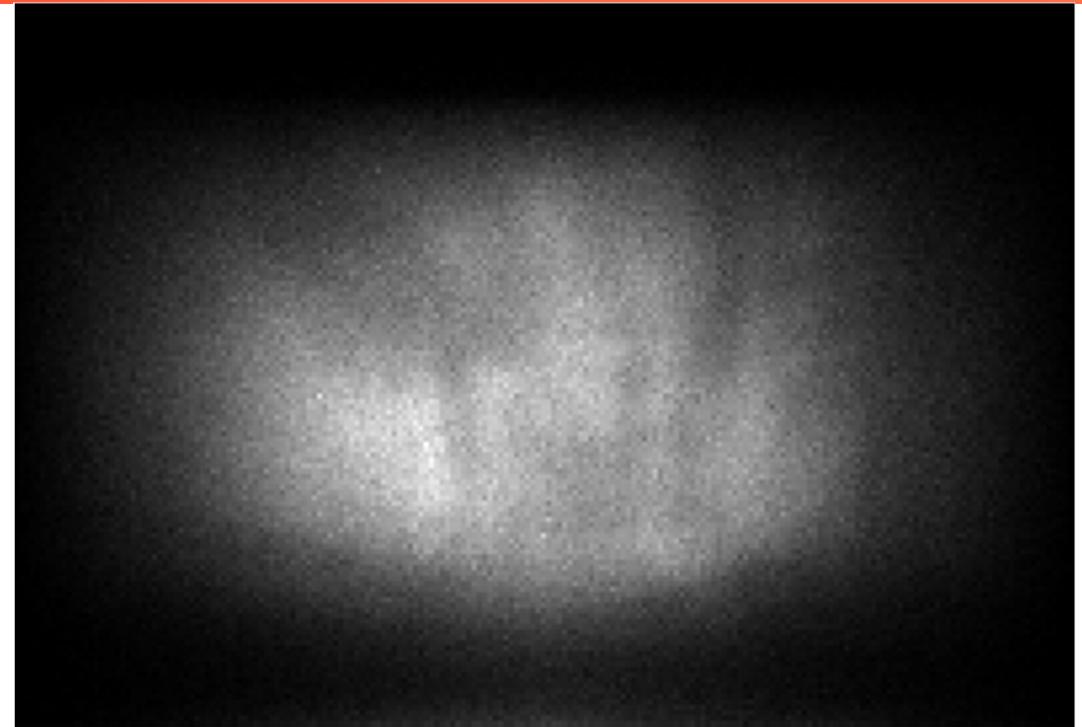
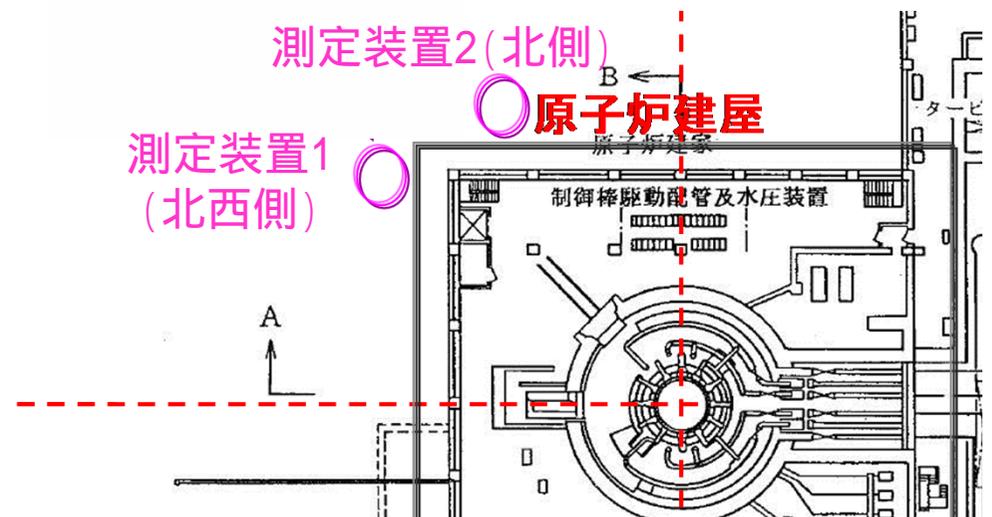


図1 測定器2(北側)からの測定画像



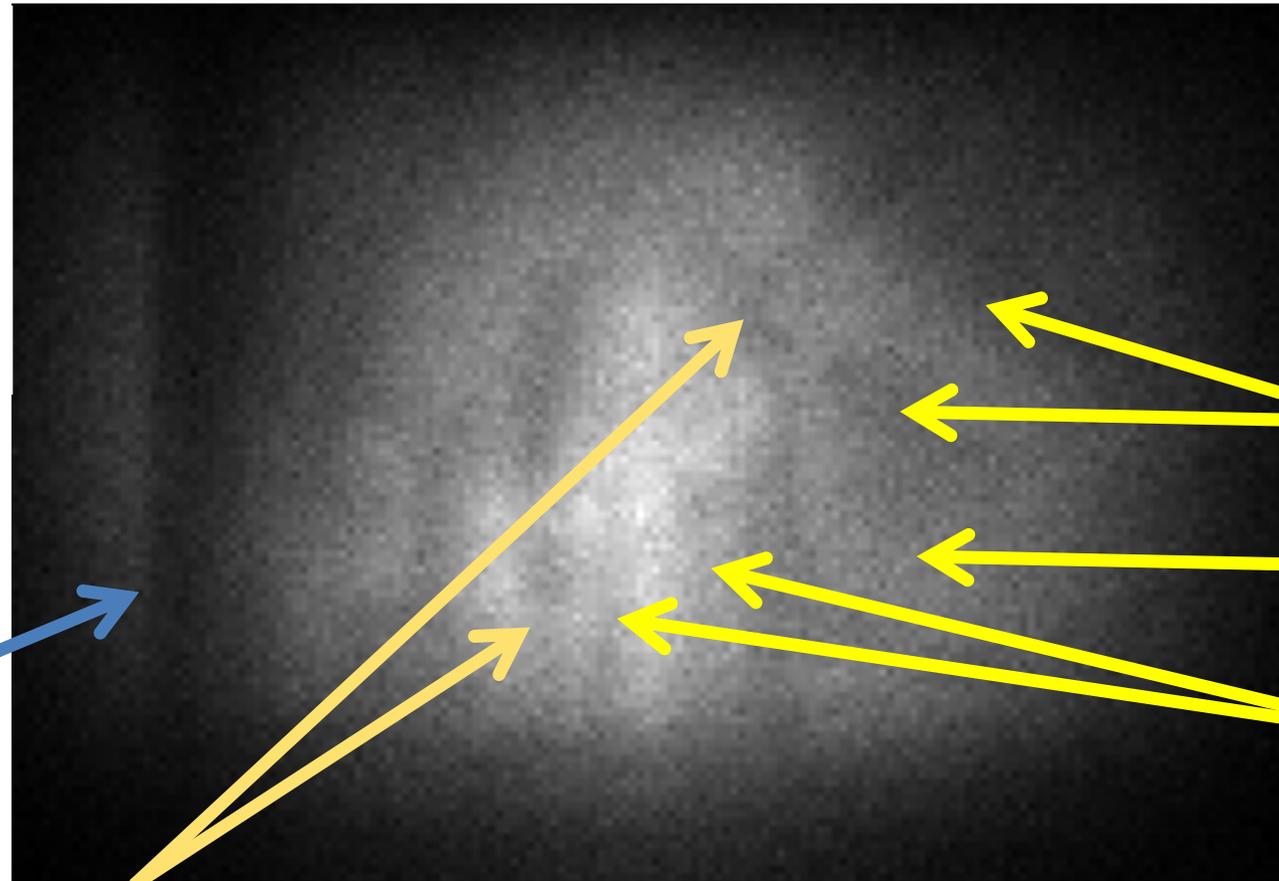
5 . 測定器 1 による 2 6 日分の測定結果の解釈

測定結果の1F1の実際の構造物・機器等との対応関係を示す



図1 設計図面から作成した

原子炉建屋
の北側壁



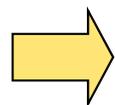
非常用
復水器(IC)

燃料プール

原子炉压力容器
と生体遮へい壁

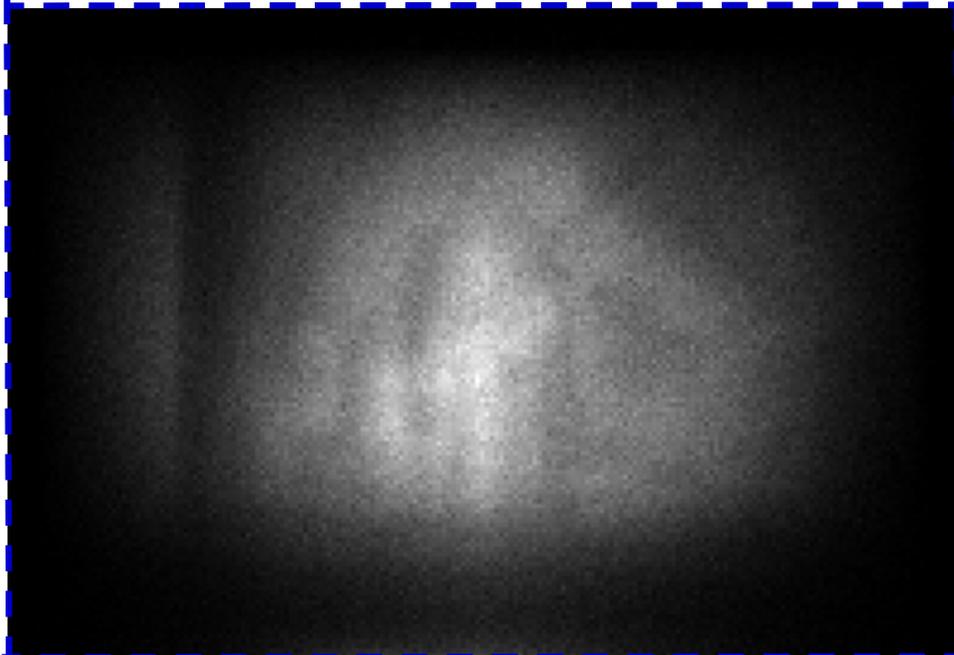
格納容器

図1 測定器1の測定結果とその解釈

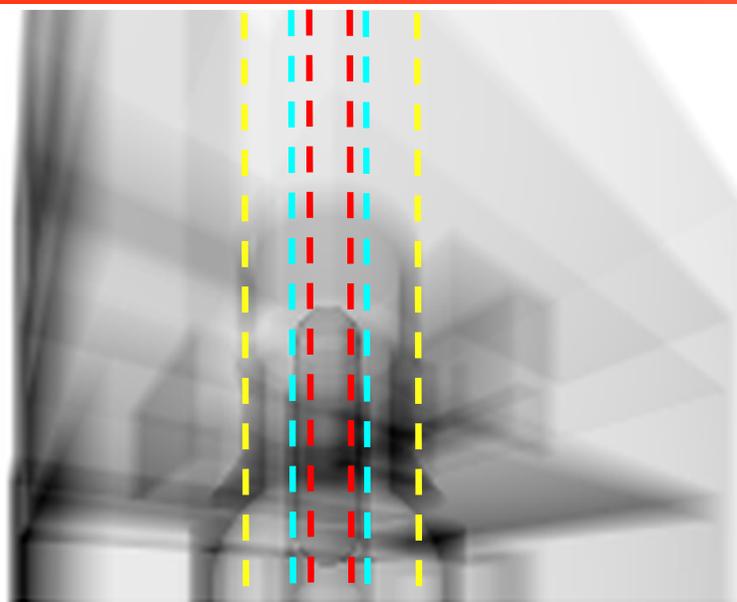


見えることが期待される大きな吸収体はかなり見えている
ただし、原子炉内には高吸収体は確認できず

6 . 設計図面画像と測定値比較によるデブリの位置推定（測定器1）



6 . 設計図面画像と測定値比較によるデブリの位置推定（測定器1）

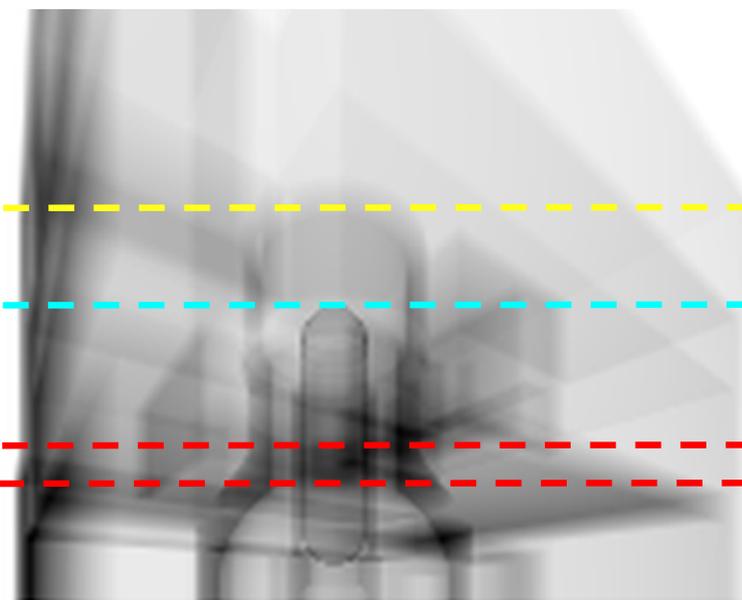
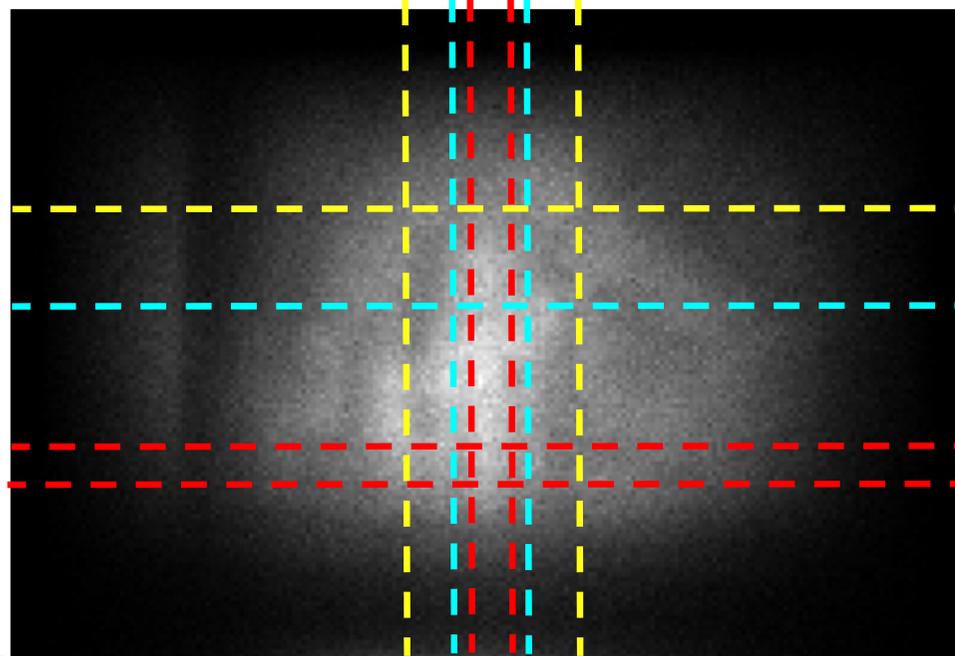


格納容器の境界

原子炉の境界

炉心の境界

- 鮮明ではないが、測定データでは、図面から予想される、見えるべき位置に機器等が確認できている
- また、格納容器・原子炉の境界も一致
- しかしながら、もともとの炉心位置には高密度物質（燃料）を確認することができない



7 . 測定器 1, 2 による 26 日分の測定結果 (再掲)

測定器1(北西側)の結果からは
原子炉内の燃料は確認できないが
測定器2(北側)では、
原子炉内に何か存在している
ように見える

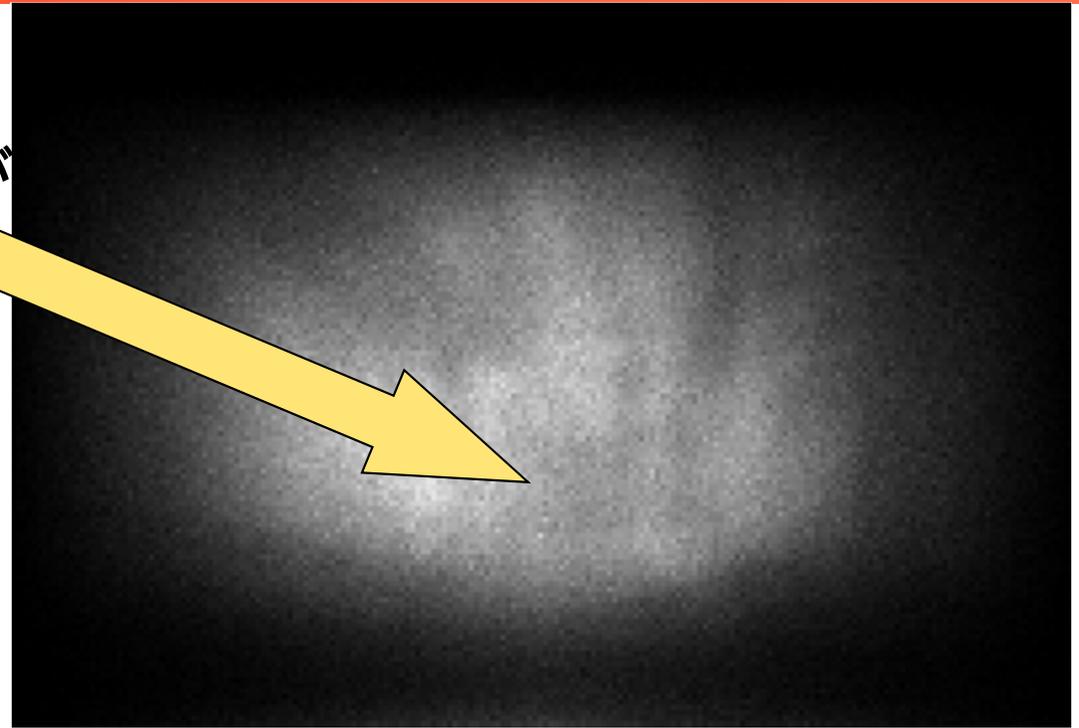


図1 測定器2(北側)からの測定画像

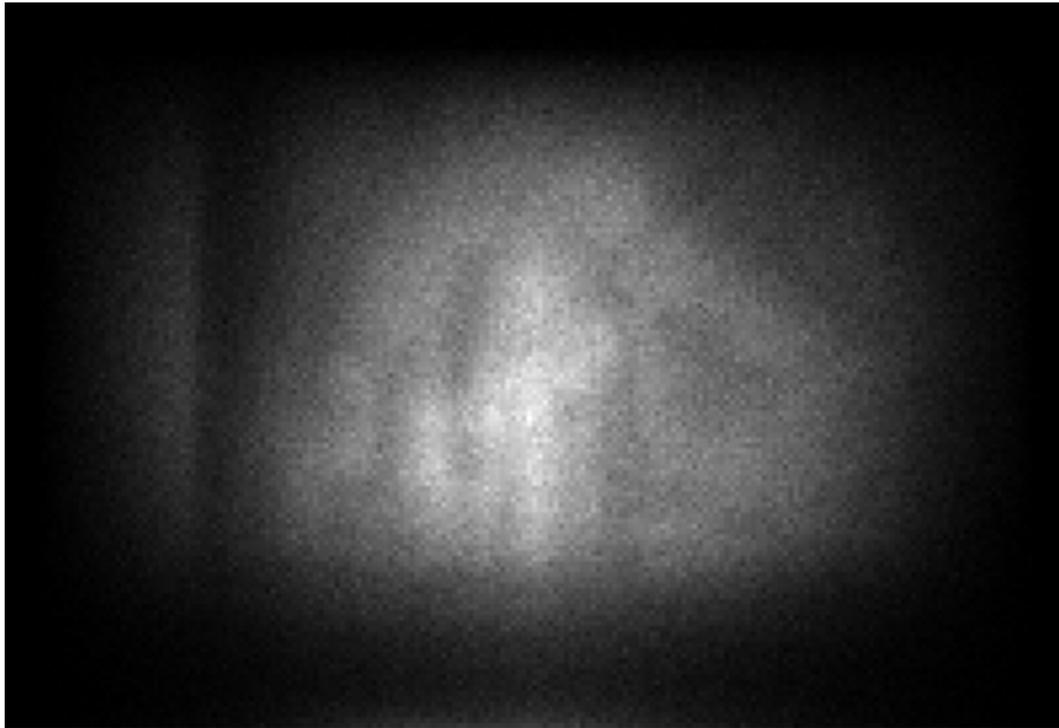
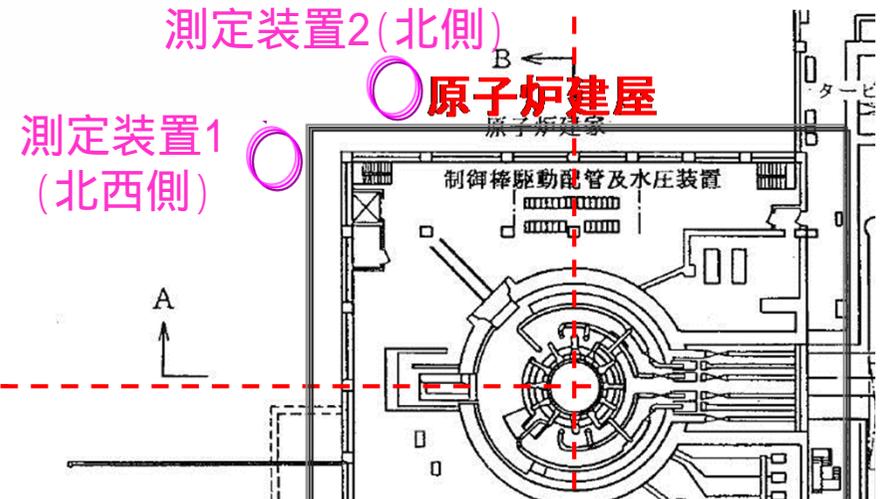
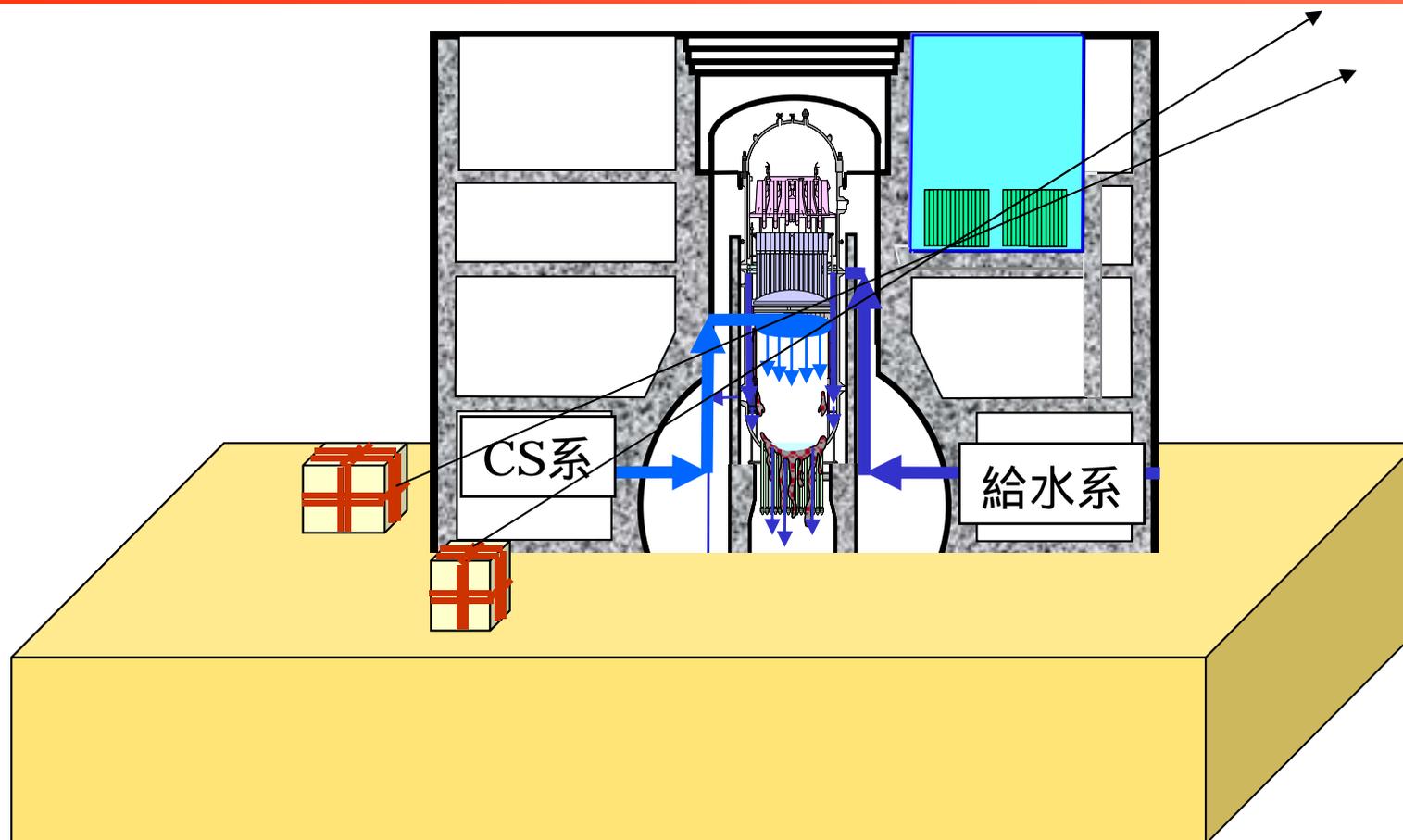


図2 測定器1(北西側)からの測定画像



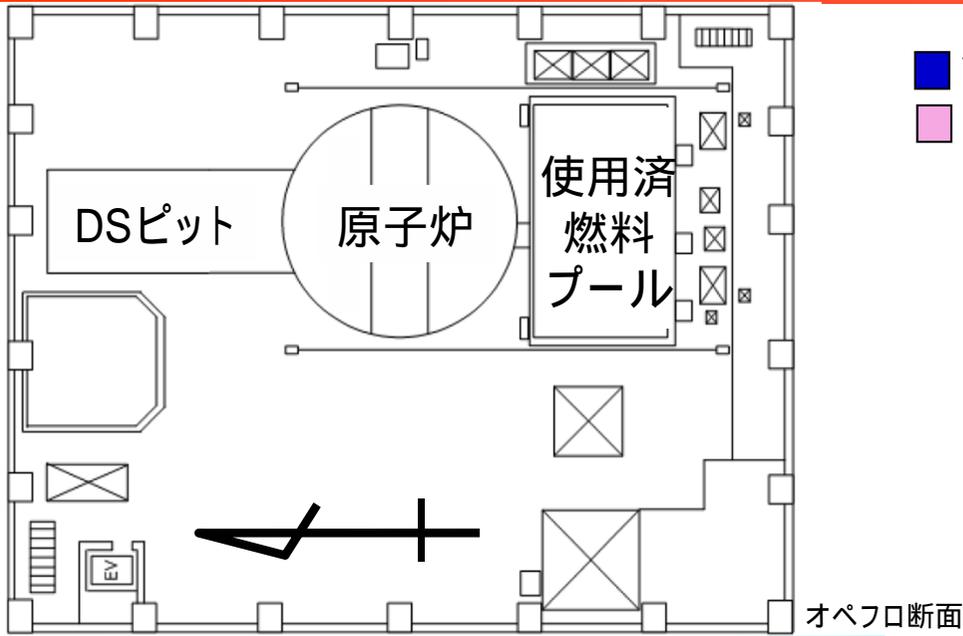
8 . 3 次元的な高吸収体位置の再構築の原理



透過法では、原理的に奥行き方向の位置の特定は出来ないが、2つの測定器を用いると、高吸収体のある方向(黒く見える向き)の交点を求めることで、3次元的な再構成が可能

➡ 測定器2(北側)で見えている原子炉方向に存在する黒い影について、3次元的な評価により推定する

9. 3次元評価による各断面での高吸収体の存在位置評価



- 両方の測定器が、高吸収体の存在を指すポイント
- 片方の測定器のみが、高吸収体の存在を指すポイント
(実際にはそのポイントに高吸収体は存在しない)

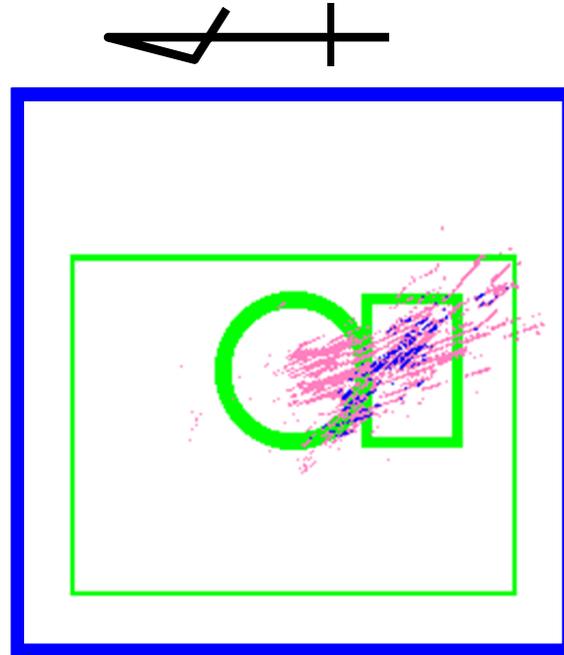


図3 SFP高さ断面
高吸収体の交点あり
(建屋の南側位置、
SFP内に相当)

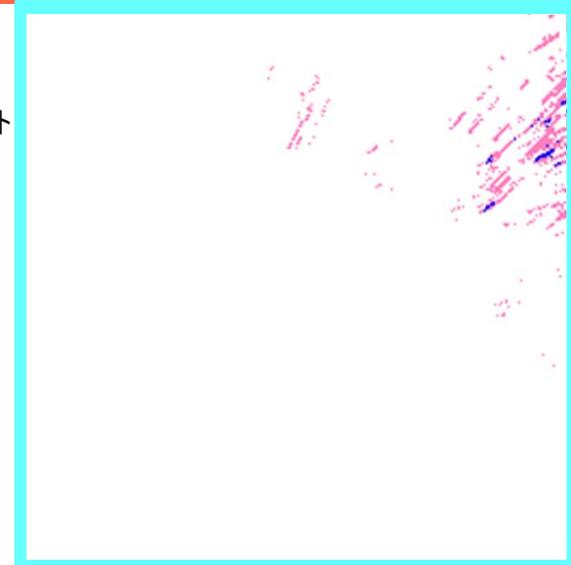


図4 オペフロ断面
高吸収体の交点なし
(一部にノイズ有り)



図2 炉心高さ断面
高吸収体の交点無し

図1 原子炉建屋の配置図(上:5階オペフロ、下:断面図)

10 . まとめ

- 約1ヶ月のデータ測定からの推定結果は以下の通り
 - 格納容器、原子炉建屋壁、非常用復水器（IC）等の、燃料を除く吸収が大きな物質は、ミュオン測定により確認できた
 - 一方で、現時点では元々燃料が配置されていた炉心位置に、1mを超えるような大きな燃料の塊は確認できていない
 - 原子炉圧力容器の炉心部には水が溜まっていない可能性が高い
(参考：2011年5月に水位計水張りを実施し、その結果から炉心部には水が溜まっていないと推定)
 - 3次元評価から、SFPには燃料があると推定（大きさの推定は今後）

- この結果は、東京電力が公表している、原子炉・格納容器状態の推定と基本的に一致

- 統計的な処理を実施するため、十分なデータが蓄積されるまでの間、今後も測定を継続していけるよう、1F現場も含め、関係各所と調整

- 今回の推定結果は、確実な廃炉作業の遂行のために必要な燃料デブリ位置の把握についての重要な情報である。

- 多くの燃料が溶融して下方へ移動したことを示唆する結果が得られたことを踏まえ、今後は、原子炉下方の燃料デブリの分布状況を確認するため、ロボットを投入し、格納容器下部調査を実施していく予定である。これらの格納容器内部調査等の結果を組み合わせ、デブリ取出し計画の策定に反映していく。

(参考) 1号機における格納容器内部調査

【調査対象部位】: ペDESTAL(外) 地下階

【調査及び装置開発ステップ】

B1 B2 B3の順で段階的にペDESTAL外からの調査を進める。

(1) 接近可能なX-100B(100mm)からの調査

ペDESTAL外1階グレーチング上の調査(CRDレール使用可否の調査等)を計画。: B1(2015.4頃予定)

ペDESTAL外地下階及び作業員アクセス口の映像取得に特化した調査。: B2(2015年度計画)

(2) X-6からの調査

デブリ形状計測装置を搭載し更なる状況把握を行なう。: B3(2016~2017年度)

B1. ペDESTAL外1階グレーチング上状況調査
(2015.4頃予定): X-100B^α使用

B2. ペDESTAL外地下階及び作業員アクセス口状況調査 (2015
年度計画): X-100B^α使用

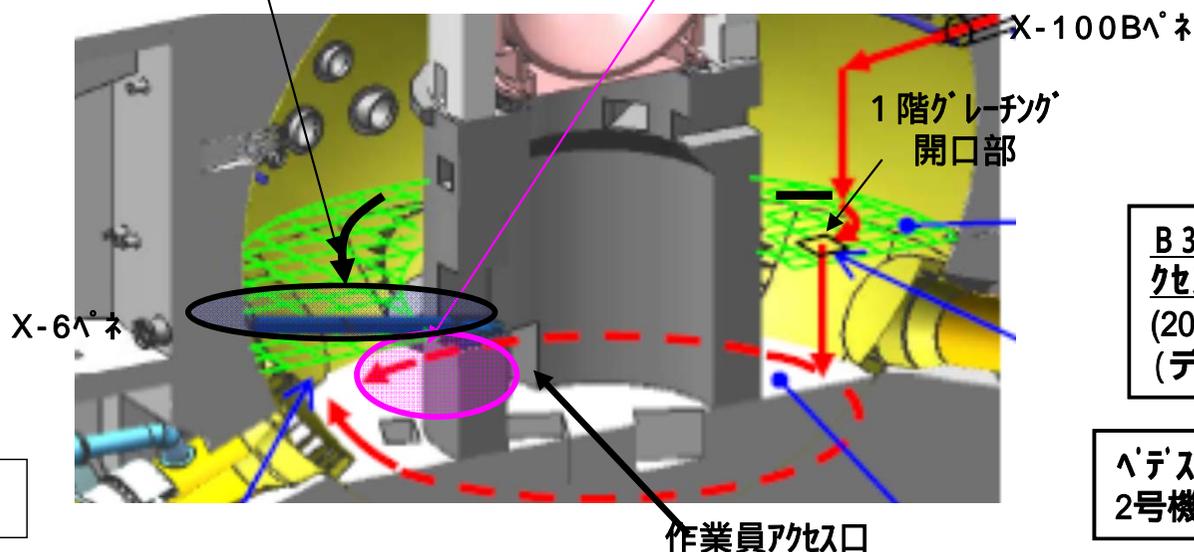
B2調査の結果を踏まえ
実施要否の検討

B3. ペDESTAL外地下階及び作業員
アクセス口状況調査
(2016~17年度予定): X-6^α使用
(デブリ計測装置を搭載)

ペDESTAL内部の調査については、
2号機の調査終了後の実施を検討。



B1装置の外観写真



現場状況、装置の開発状況次第では、
工程、調査方法変更の可能性あり

「原子炉格納容器内部調査技術の開発」

ペDESTル外側_1階グレーチング上調査(B1調査)の

現地実証試験の実施について

2015年3月26日

東京電力株式会社



東京電力

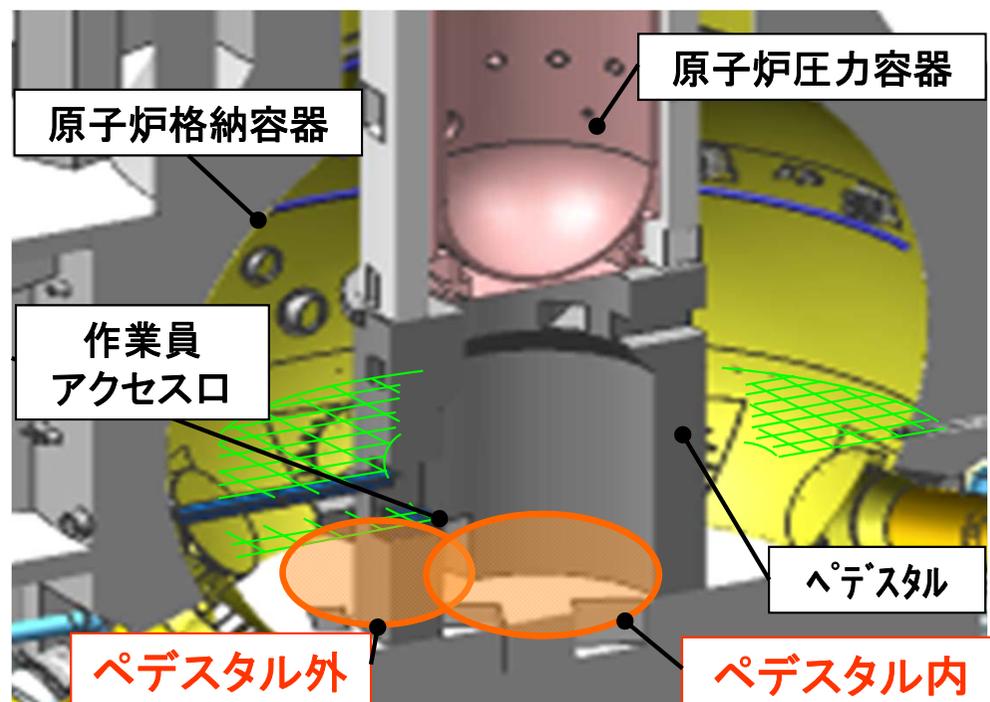
IRID

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)の成果を活用しております。

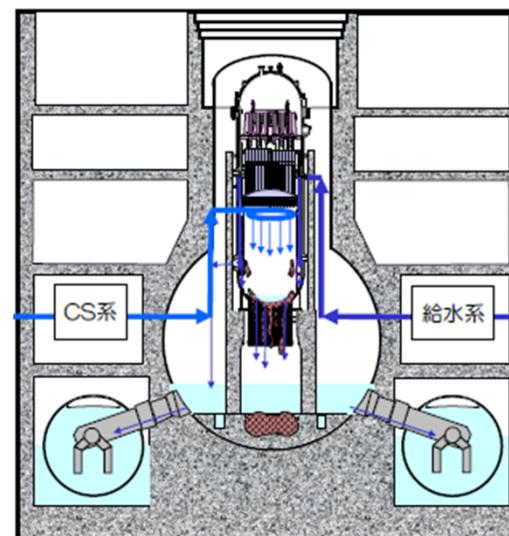
1. PCV内部調査の目的

- 燃料デブリの取出しに先立ち、原子炉格納容器(PCV)内の状況を早期に把握することが重要であるため、PCVペDESTAL内／外の状況を確認することを目的とする。
- 1号機は燃料デブリがペDESTAL外側まで広がっている可能性があり、ペDESTAL外を優先した調査を実施する。

調査対象部位



1号機炉心・PCVの状況推定(*1)

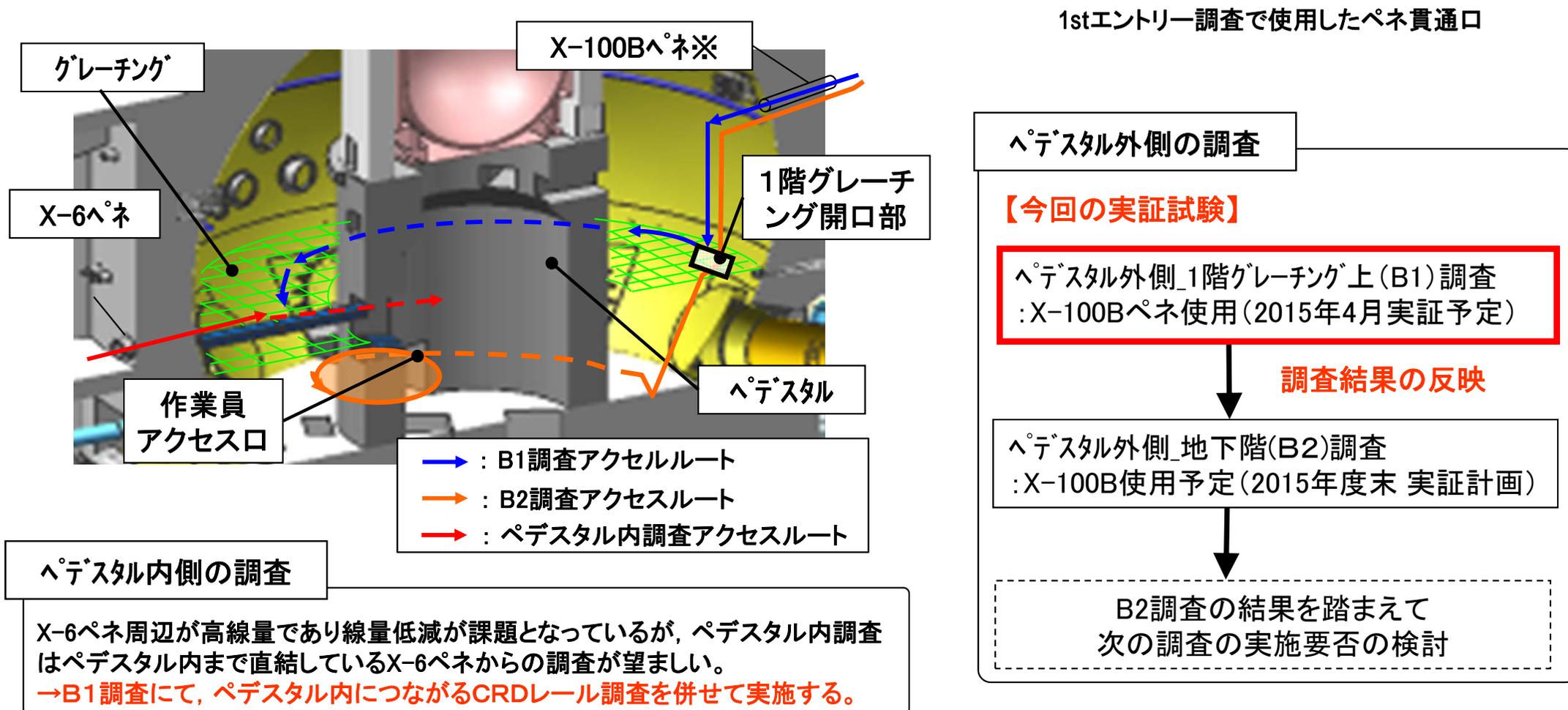


事故進展解析によれば炉心部の燃料は全て、下部プレナム部に落下、また圧力容器は破損して大部分の燃料はペDESTAL部に落下、コア・コンクリート反応が起こったものと推定。

*1:【出展元】東京電力HP(平成25年12月13日)「福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未説明問題に関する検討第1回進捗報告」より抜粋

2. ペデスタル外側_1階グレーチング上(B1)調査の位置付け

- 作業員アクセス口からの燃料デブリの広がり状況確認を目的としたX-100Bペネ※からのPCVペデスタル外側地下階調査(B2)を計画。
- 事前にペデスタル外1階グレーチング外周部の情報取得を目的とした調査(B1)を実施し、調査結果(1階グレーチング開口部の状況など)をB2調査の工法検討に反映する。



3. 調査項目

■ X-100Bペネから調査装置を投入し、PCV内の1階グレーチング上(以下①～③)の情報取得を目的とした調査を実施する。

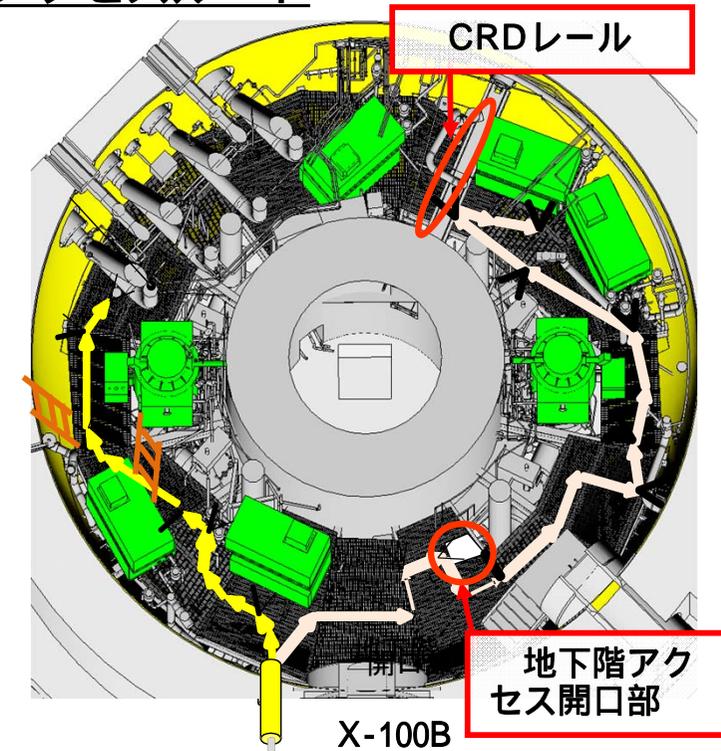
- ① PCVペデスタル外地下階(B2)調査時の地下階へのアクセス開口近傍の干渉物確認
- ② PCVペデスタル内調査工法に資する情報としてCRDレールの状況確認
- ③ 上記①, ②を最優先とするが, 更なる情報取得としてアクセスルート上の状況確認

調査項目

No.	目的	調査部位	調査項目	調査装置
①	ペデスタル外地下階(B2)調査時の干渉物確認	1階グレーチング開口部	映像	CCDカメラ
②	PCVペデスタル内調査時の干渉物確認	CRDレール	映像	CCDカメラ
③	環境の状況確認	アクセスルート上※	温度 線量	温度計 線量測定器
	既設建造物の状況確認		映像	CCDカメラ

アクセスルート上で可能な範囲で実施。

アクセスルート

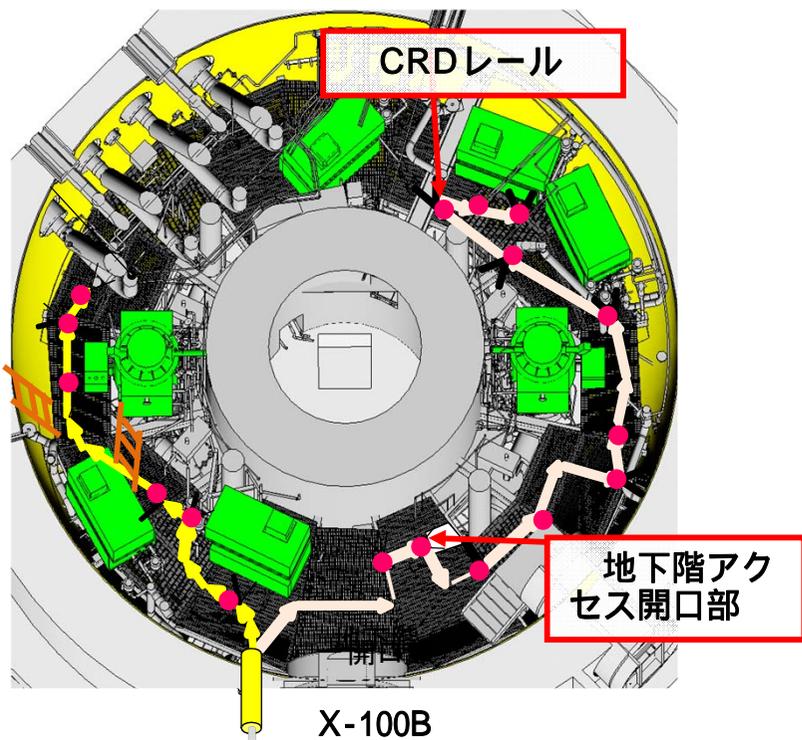


- : アクセスルート (反時計回りルート)
- : アクセスルート (時計回りルート)

4. 調査方法

- クローラ調査装置にて反時計周りルート、時計周りルートを2回に分けて行う。
- 各調査ポイントでクローラ装置を停止し調査(画像, 温度, 線量の情報取得)を行う。

調査ポイント

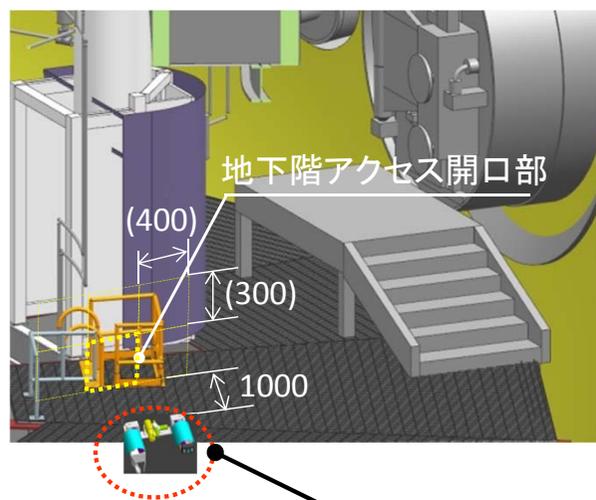


● 調査ポイントは調査時の現場環境状況によっては、変更の可能性あり

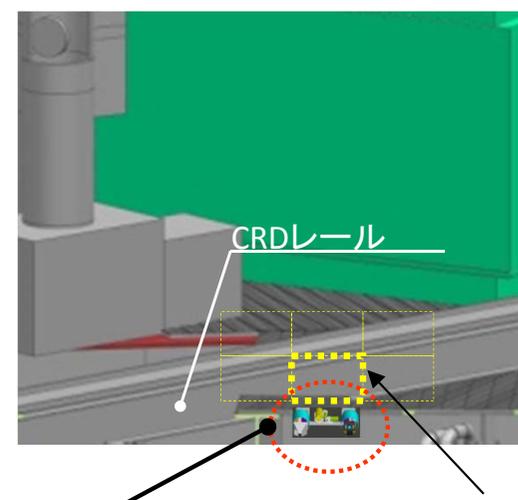
- : アクセスルート(反時計回りルート)
- : アクセスルート(時計回りルート)

調査イメージ例

① 地下階アクセス開口部



② CRDレール



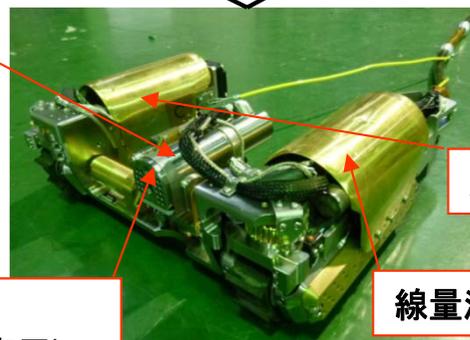
カメラのチルト動作、調査装置の旋回作業によるカメラ映像の取得を行う

CCDカメラ
※チルト範囲
上方向: 45°
下方向: 90°

温度計(カバー内に設置)

ラインレーザ
(構造物との距離測定用)

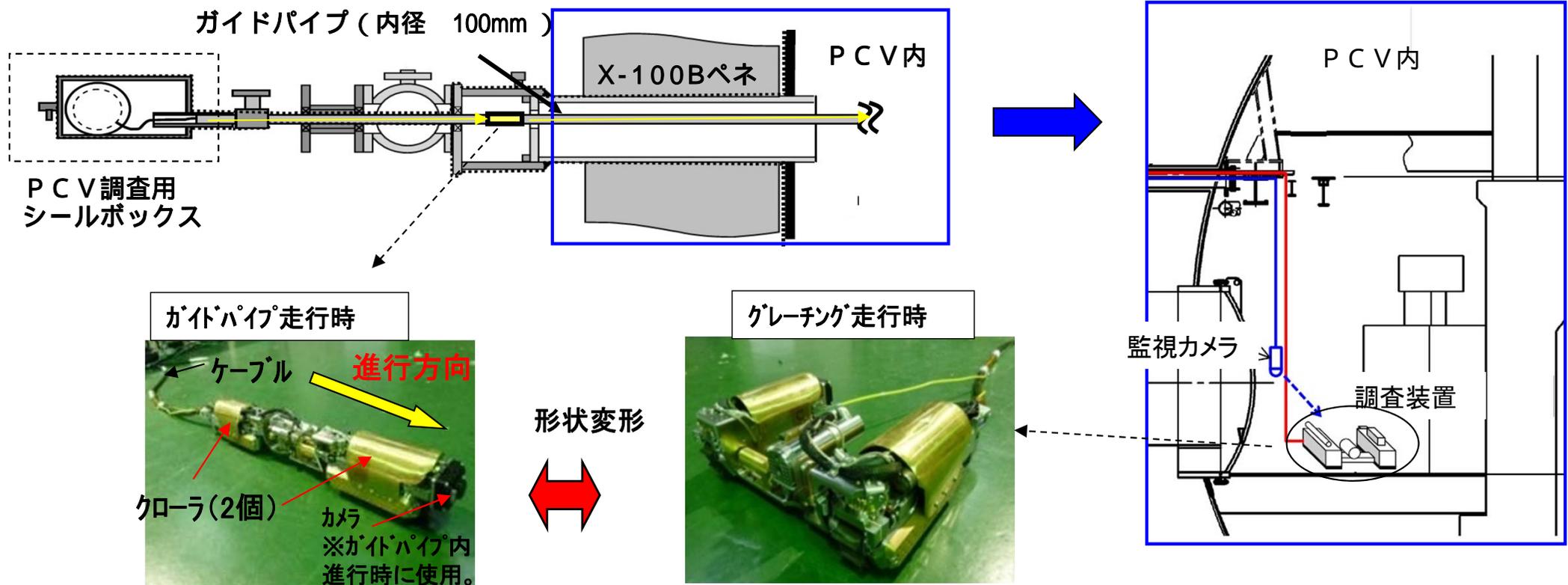
線量測定器(カバー内に設置)



クローラ調査装置

5. 作業概要

- 以下の要領でPCV内にクローラ調査装置を投入する。
 - ① PCV調査用シールボックス(調査装置を内包)を設置する。
 - ② ガイドパイプ経由でPCV内に調査装置を挿入し, PCV内の調査を実施する。
 - ③ 調査終了後, 調査装置をシールボックス内に回収する。



概略寸法: 600(L) × 70(W) × 95(H)mm

概略寸法: 220(L) × 290(W) × 95(H)mm

クローラ調査装置は狭隘なアクセス口(X-100Bペネ貫通口: 内径φ100mm)からPCV内へ進入し, グレーチング上を安定走行可能な, 形状変形機構を有する。

6-1. モックアップでの検証

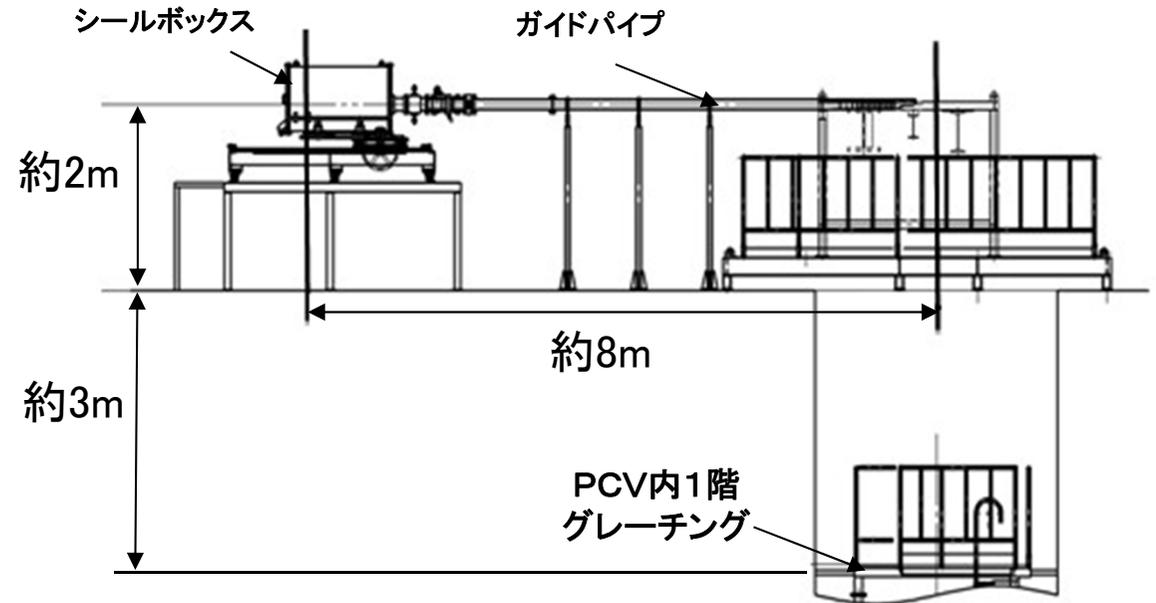
- 1号機のPCV内の実規模模擬体にて装置のPCV内への投入／回収やグレーチング上の走行性の確認試験を実施して、装置の機能・走行性能・遠隔操作性について問題ないことを確認。
- 模擬体は、模擬範囲が広範囲(高さ方向/平面方向)になることから、用途別2種類にて実施。

PCV内調査装置の挿入/回収時の検証項目

	作業内容
調査装置: エントリー作業	調査装置 ガイドパイプ内進行/治具類挿入
	調査装置 形状変更/エントリー
	調査装置 エントリー, 降下
	調査装置 グレーチング着座
	ケーブル監視カメラ エントリー
調査装置: 回収作業	X-100B直下へ調査装置移動
	ケーブル監視カメラ 回収
	調査装置 形状変更/回収
	調査装置をシールボックス内収納



模擬体の写真



PCV内挿入/回収用模擬体(側面図)
(高さ方向を模擬し、装置のPCV内への挿入/回収の検証用)

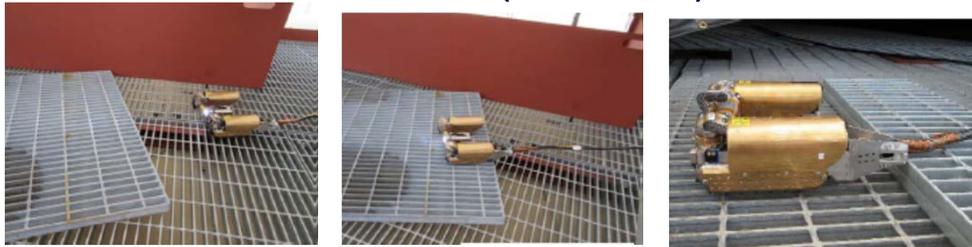
6-2 . モックアップでの検証

- グレーチング走行試験では，現場環境を模擬（グレーチングを濡らした状態，干渉物，暗闇）した状態で実施。
- アクセスルート上に干渉物が確認された場合，回避を基本方針とするがグレーチング上への落下が想定される干渉物（鋼板，L鋼，パイプ，ケーブル，ウエス，がれき，グレーチング等）を模擬した踏破性試験についても実施。

グレーチング走行試験の検証項目

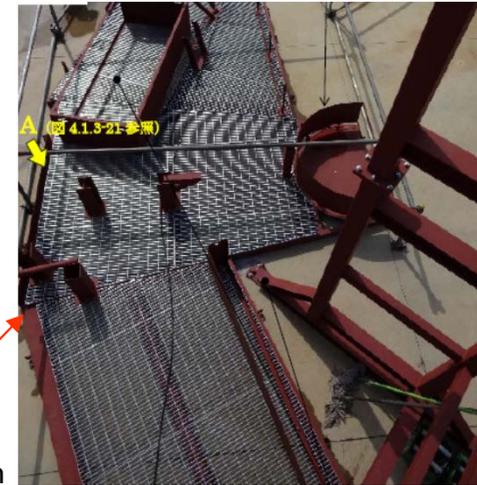
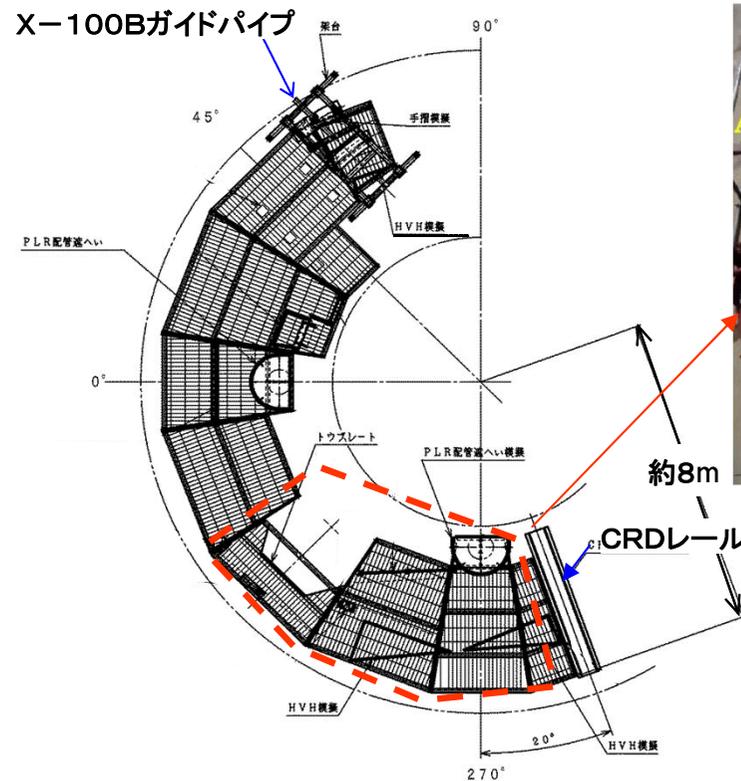
	作業内容
調査作業 (定常作業)	ケーブル遠隔送込み/調査装置移動 調査作業(映像/温度/線量)取得
調査作業 (非定常作業)	障害物による走行ルート変更 障害物の踏破性能の検証

踏破試験例：グレーチング段差(高さ40mm)の場合



踏破前 踏破後(低所 高所) 踏破後(高所 低所)

実力として40mm程度の踏破性能があることを確認した。



模擬体の写真

グレーチング走行確認用模擬体 反時計回り※(平面図)
(PCV内の平面方向を模擬し，グレーチング上の走行性検証用)
※ 時計回りの模擬体も製作

7. 視認性向上

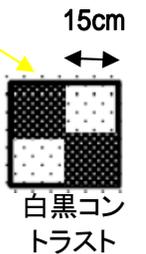
- カメラの視認性については、1stエントリー時の調査結果を踏まえ、ソフトウェア(画像処理:画像ノイズの除去)およびハードウェア(照明の照射角の狭隘化)の改善を実施。
- 本調査用装置搭載のLEDユニットを用い、画像処理を適用することで、実機相当の蒸気環境下(1stエントリー調査時と同程度)において、1~5mの距離にある白黒コントラストのターゲットや、グレーチングを視認できることを確認した。

視認性試験例: 5m先の白黒チャートでの霧視認性試験

1stエントリー時(H24.10.11)での画像例
カメラとグレーチングの推定距離: 約1m

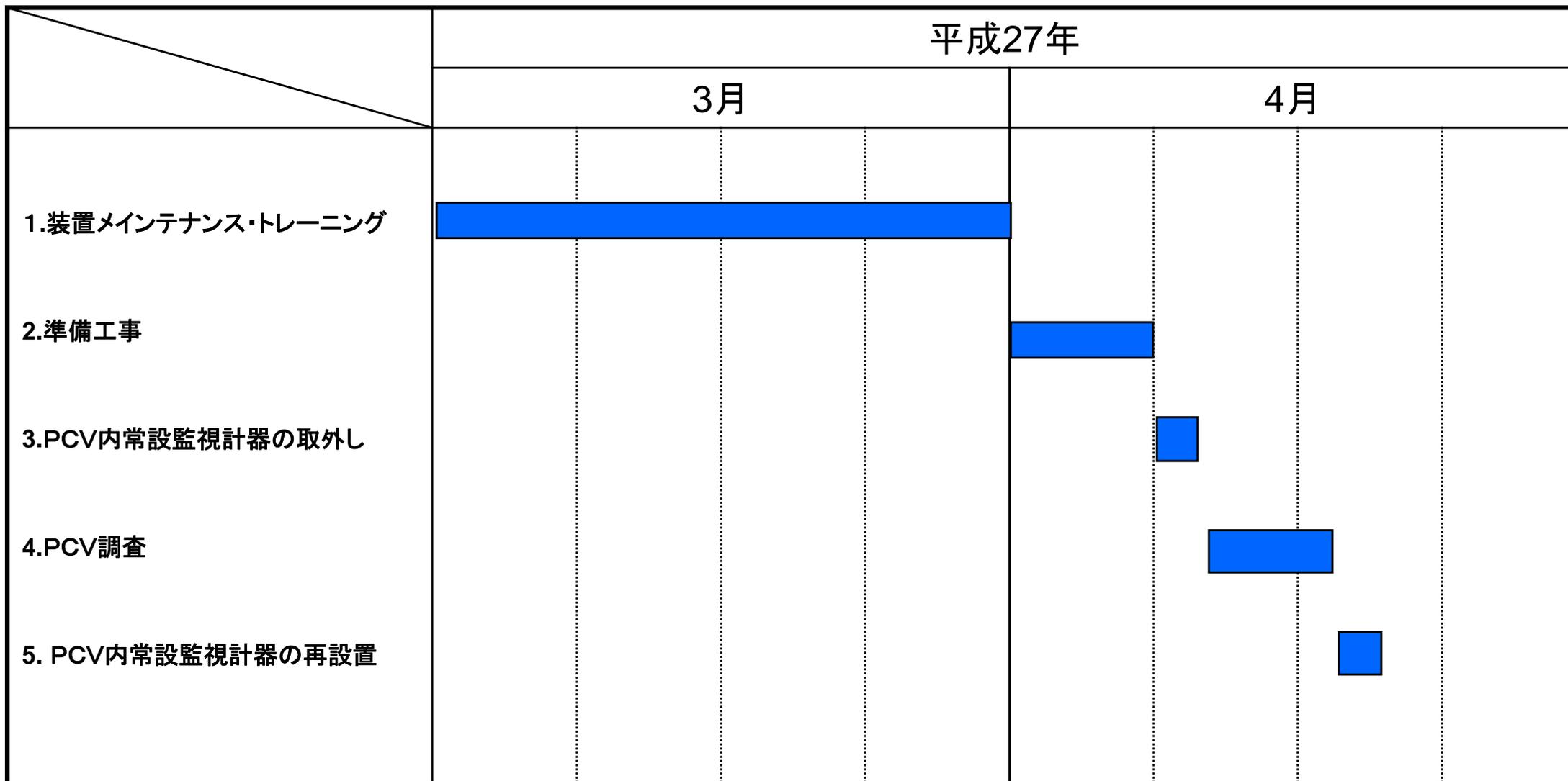


	1stエントリーで使用した照明	B1調査用照明 (画像処理無)	B1調査用照明 (画像処理有)
光の透過率 100% (蒸気なし)			
光の透過率 40%			
光の透過率 20% (1stエントリー相当)			



光の透過率 = 蒸気環境下での光の強度 / 蒸気なしでの光の強度

8. 実施工程(案)

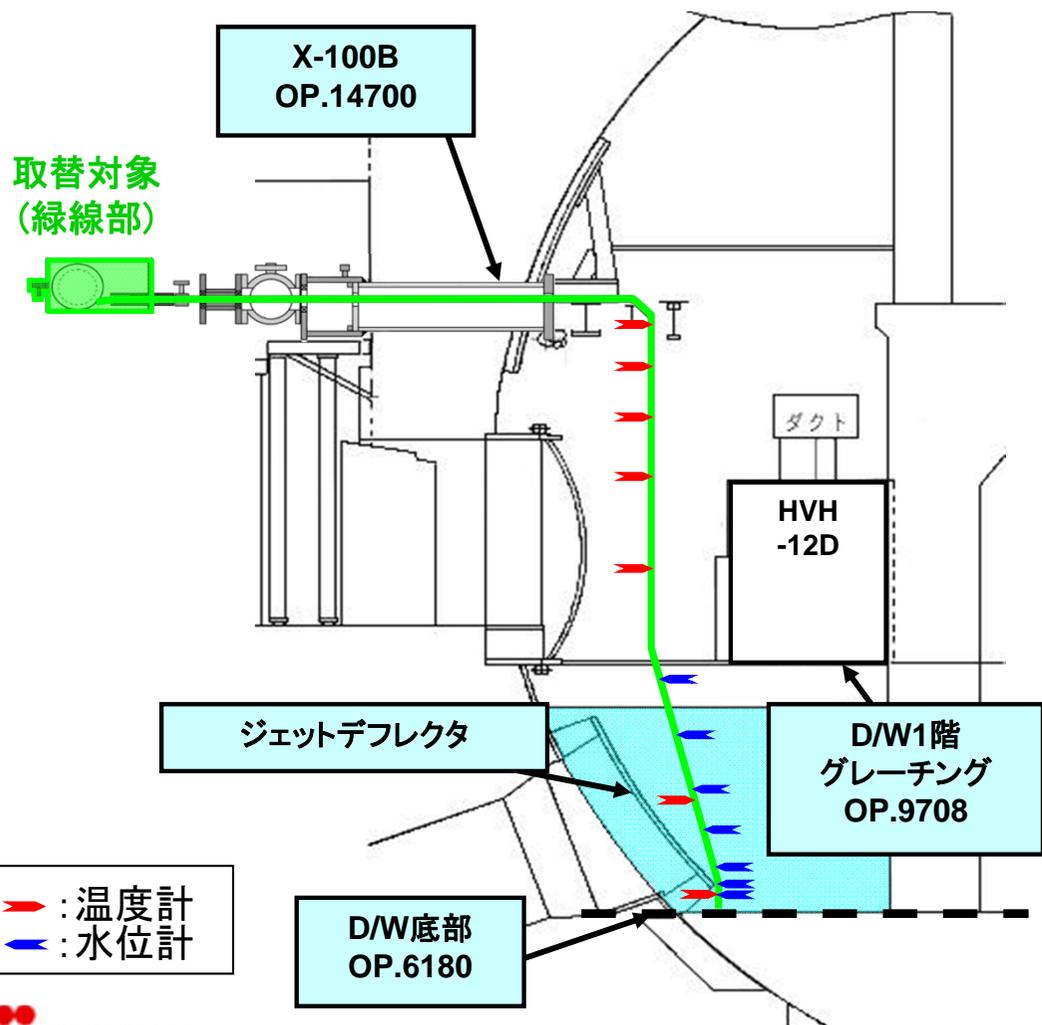


PCV内部調査実施のため、X-100Bペネに設置してある常設監視計器を取り外し、調査終了後、同等のものを同じ位置に再設置する。

(参考) PCV内常設監視計器取替

■常設監視計器概要

PCV内部調査実施のため、常設監視計器を取り外し、調査終了後、同等のものを同じ位置に再設置する。実施計画の記載に変更なし



温度計:熱電対

T7	OP.14500
T6	OP.14000
T5	OP.13230
T4	OP.12500
T3	OP.11200
T2	OP.7500
T1	OP.6330

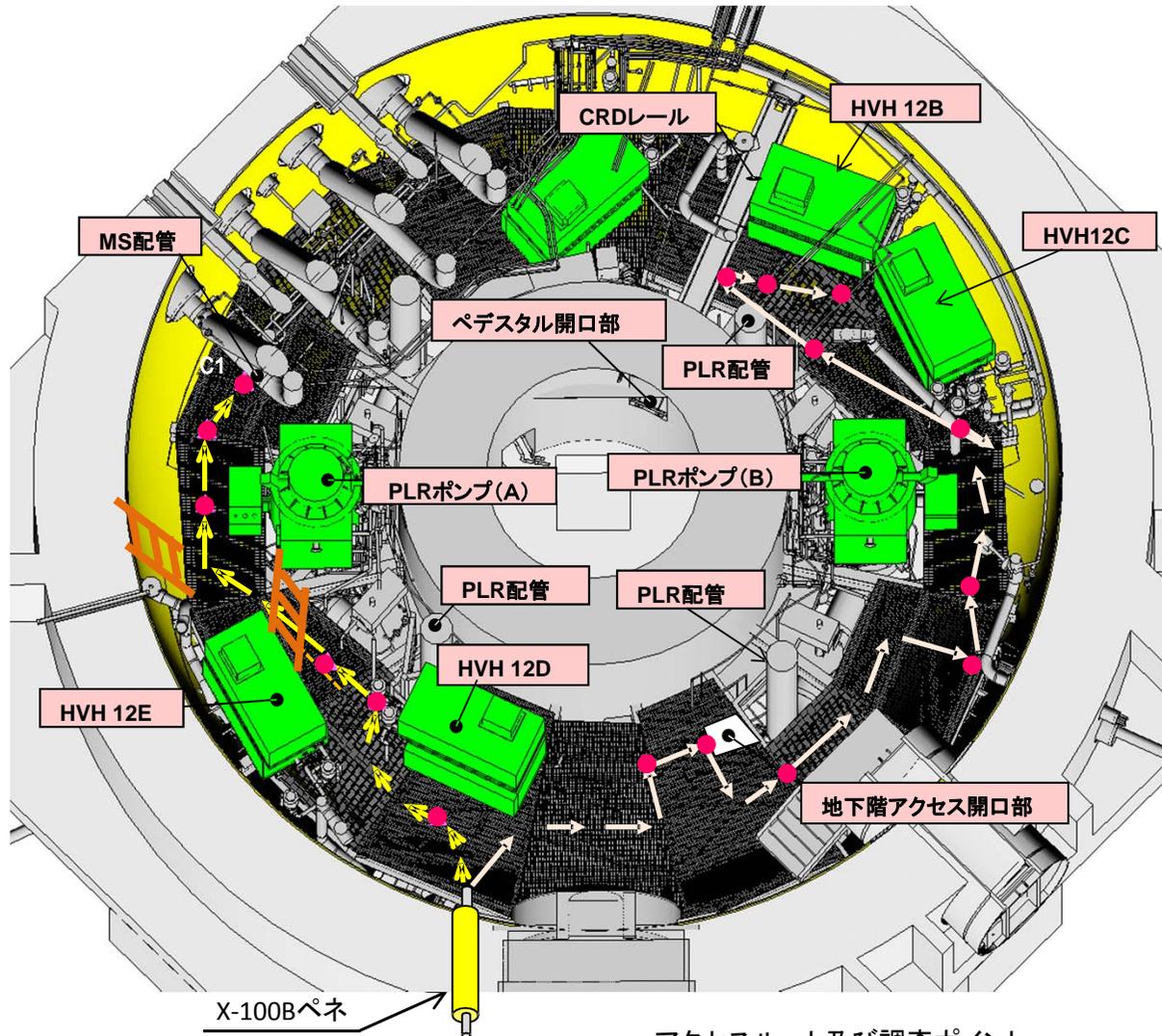
水位計:電極式

L7	OP.9380
L6	OP.8580
L5	OP.7780
L4	OP.7280
L3	OP.6780
L2	OP.6480
L1	OP.6330

実施計画 章18条の冷温停止状態監視温度計

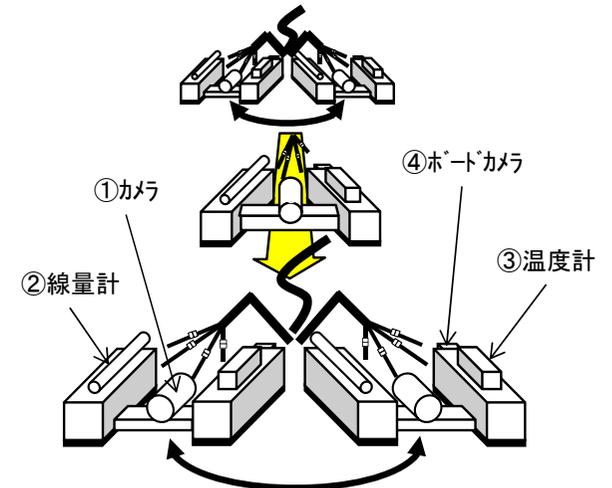
(参考) 調査ポイントの設定

■ アクセスルート上の調査ポイントとして地下階アクセス開口部、CRDレールの状況の他にHVH、PLR配管、PLRポンプ等の既設構造物の状況確認できるように設定した。



アクセスルート及び調査ポイント

【調査イメージ】



周囲を確認しながら、少しずつ走行し、調査対象位置では、カメラを上下、調査装置を左右に回転させて、各調査を行う。

- : アクセスルート (反時計回りルート)
- : アクセスルート (時計回りルート)