

平成28年度補正予算
廃炉・汚染水対策事業費補助金

「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」

平成30年度分成果報告

令和元年7月

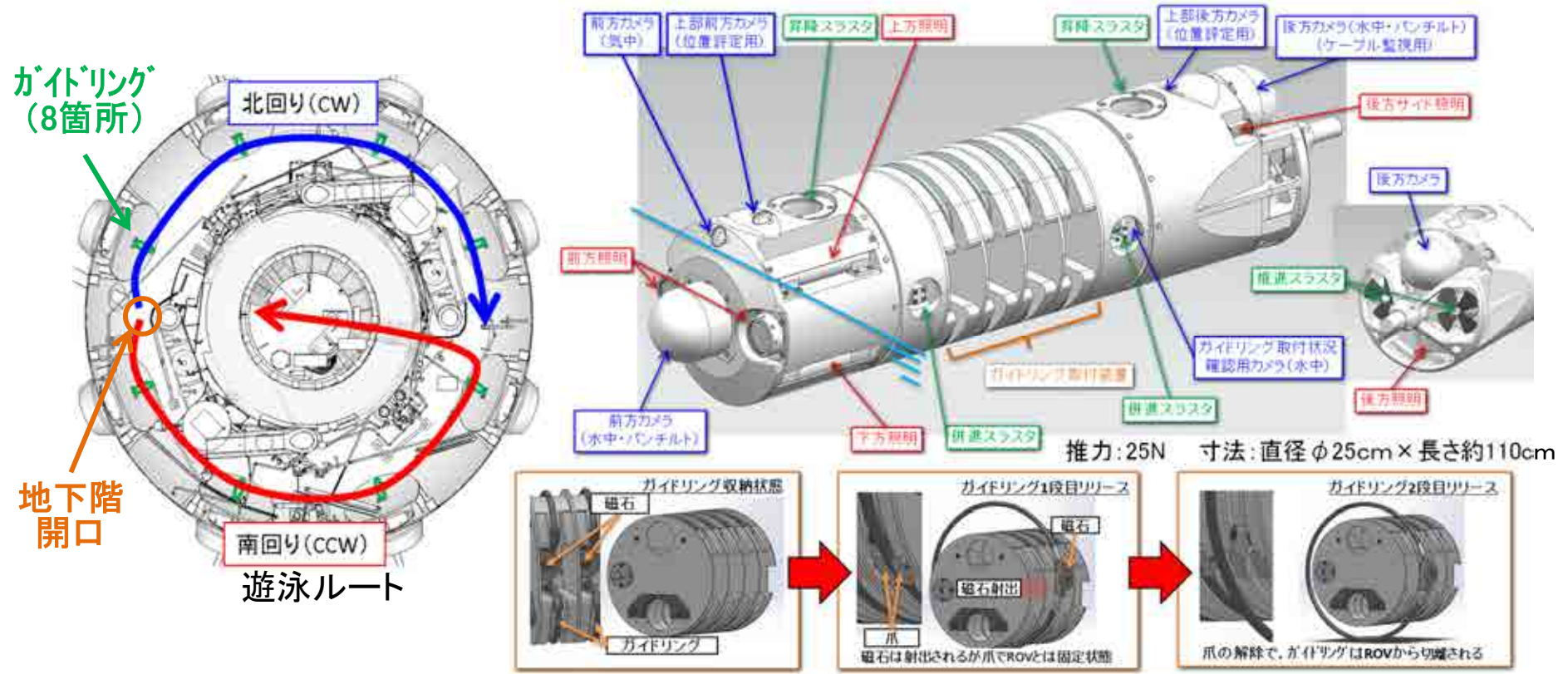
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

4.4 実施事項・成果 —アクセス・調査装置—

(2) 水中遊泳型装置(1/11) —設計—

【概要】1号機の現場実証ではX-2ペネからPCV内地下階に調査装置を投入し、ペDESTAL外周の広範囲とペDESTAL内の調査を行う

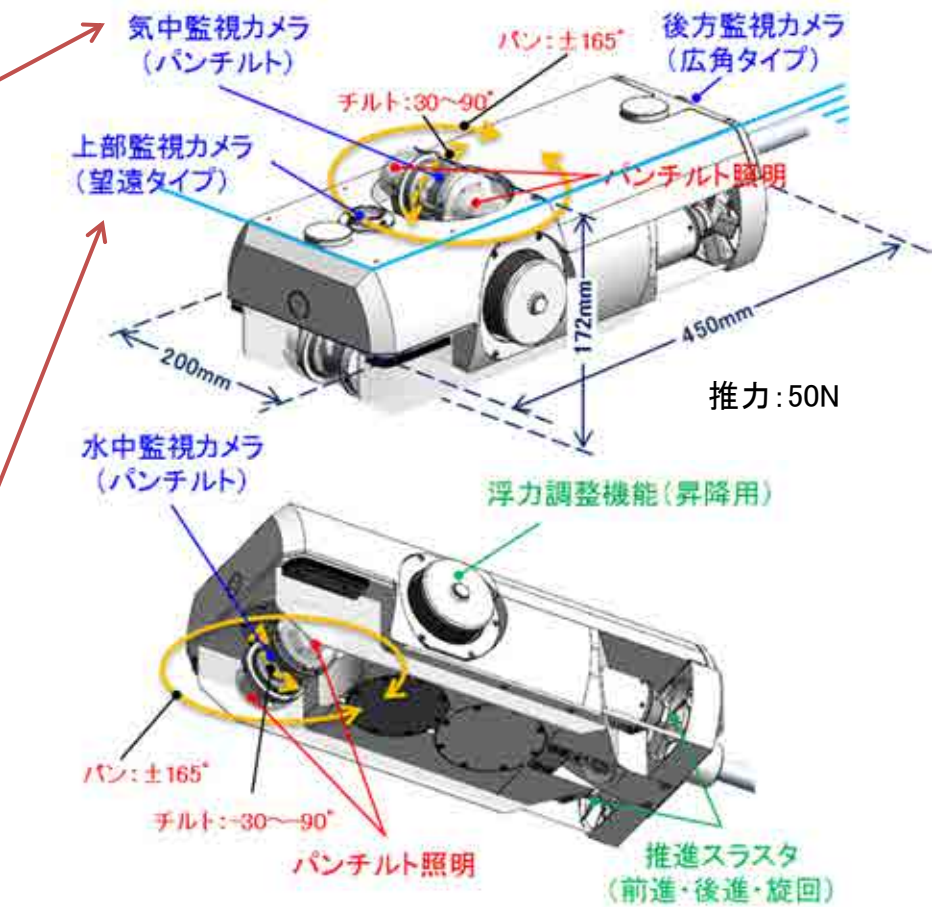
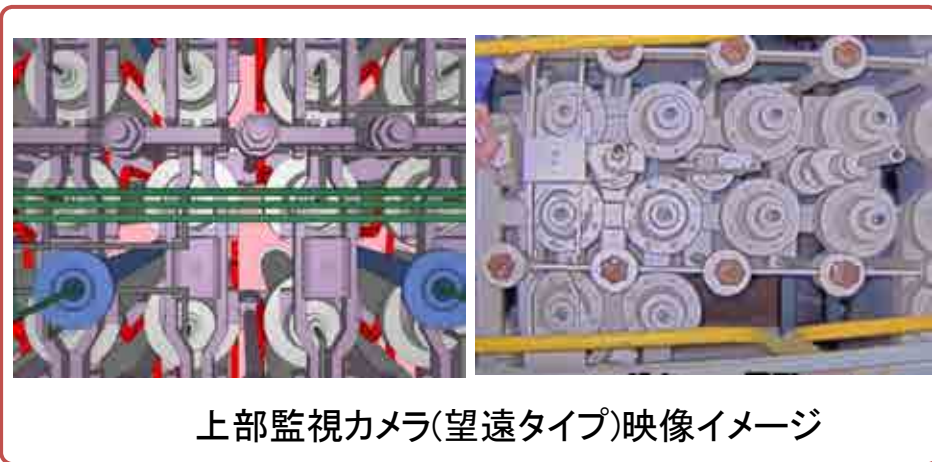
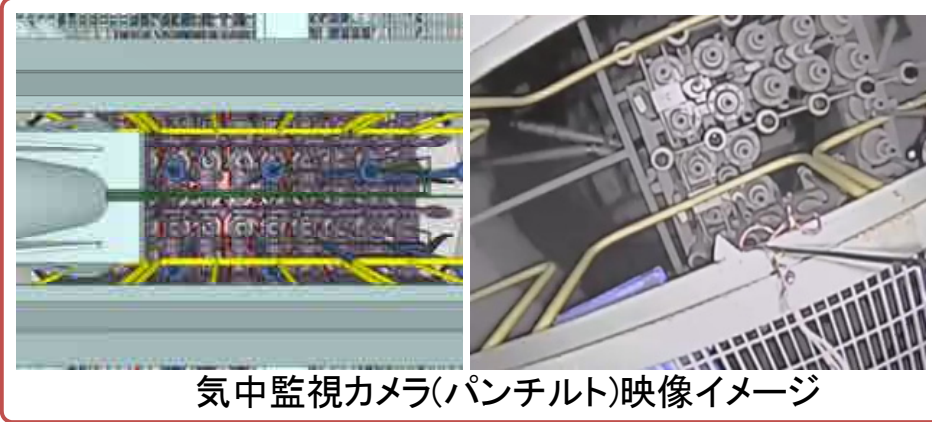
調査装置	計測器	用途
ROV-A ガイドリング取付	光ファイバー型γ線量計※ (ROV保護用) ※:B2用と同じ	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルと構造物との干渉回避のためジェットデフにガイドリングを取付ける ・装置の最大使用時間を確認するために移動ルートのγ線量率を測定する



4.4 実施事項・成果 —アクセス・調査装置—

(2) 水中遊泳型装置(2/11) —設計—

調査装置	計測器 ※:B2用と同じ	用途
ROV-A2 詳細目視	光ファイバー型γ線量計※, 改良型 小型B10検出器(ROV保護用)	地下階の広範囲とペDESTAL内のCRDハウジングの脱落状況等の目視調査を行う

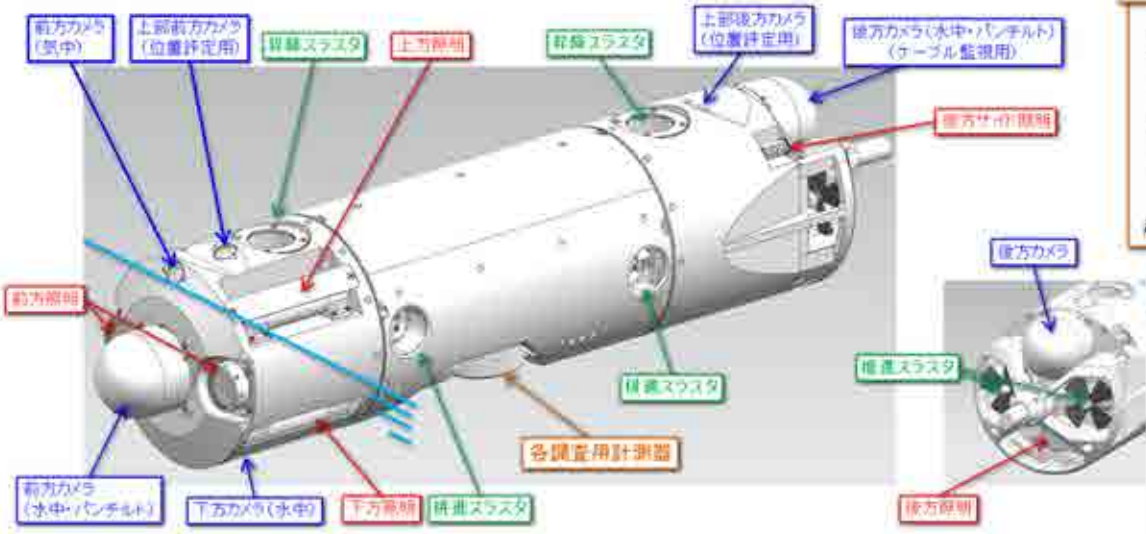


4.4 実施事項・成果 —アクセス・調査装置—

(2) 水中遊泳型装置(3/11) —設計—

調査装置	計測器	実施内容
ROV-B 堆積物3Dマッピング	・走査型超音波距離計 ・水温計	走査型超音波距離計を用いて堆積物の高さ分布を確認する
ROV-C 堆積物厚さ測定	・高出力超音波センサ ・水温計	高出力超音波センサを用いて堆積物の厚さとその下の物体の状況を計測し、デブリの高さ、分布状況を推定する
ROV-D 堆積物デブリ検知	・CdTe半導体検出器 ・改良型小型B10検出器	デブリ検知センサを堆積物表面に投下し、核種分析と中性子束測定により、デブリ含有状況を確認する
ROV-E 堆積物サンプリング	・吸引式サンプリング装置	堆積物サンプリング装置を堆積物表面に投下し、堆積物表面のサンプリングを行う

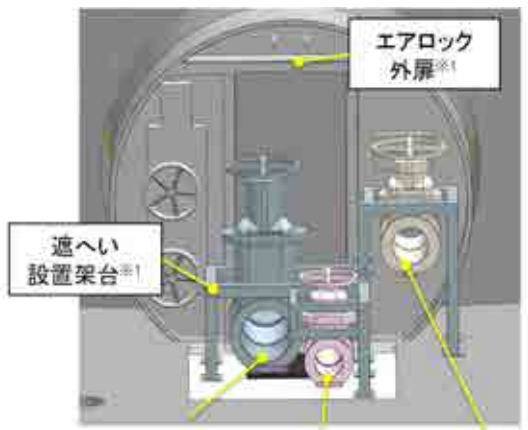
推力:25N 寸法:直径φ25cm×長さ約110cm



4.4 実施事項・成果 —アクセス・調査装置—

(2) 水中遊泳型装置(4/11) —設計—

【調査設備の仕様】



- 350A隔離弁 調査装置 搬出入用
- 200A隔離弁 監視カメラ/ 洗浄装置挿入用
- 250A隔離弁 PCV内照明 挿入用

詳細調査時の各ペネの 主な用途

【ケーブルドラムとシールボックスの 組合状態での仕様】

- ①耐圧:11kPa (発泡漏れ試験で漏れなし)

【主な機能】

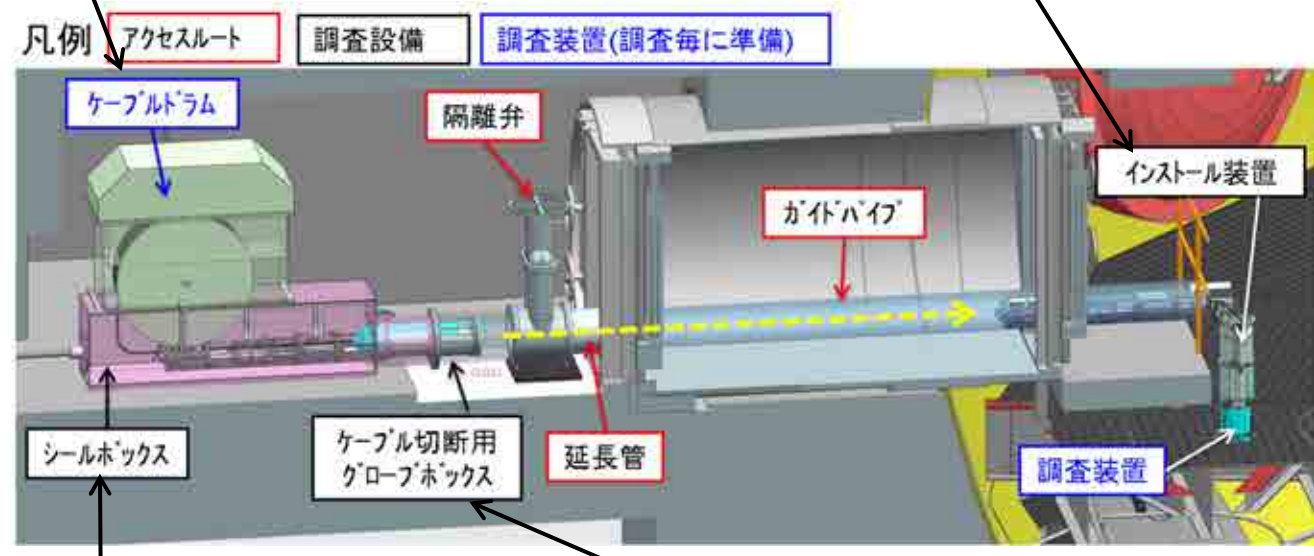
- ・PCV内との隔離(隔離弁全開時)
- ・シールボックスへの調査装置受渡・受取
- ・ケーブル送り・巻取り(遠隔操作)
- ・手動ケーブル巻取り※2
- ・ケーブル監視

※2 通常の操作はモータで行うが、モータが故障した場合は手動でケーブルを巻き取る

【主な機能】

- ・地下階への調査装置の搬入・搬出※1
- ・ケーブル送り(遠隔操作)
- ・地下階照明
- ・地下階ケーブルの監視(ガイドリング取付時のみ)
- ・ケーブルと調査装置の洗浄

※1 通常の操作は水圧で行うが、ポンプが故障した場合はPCV外からのポール操作で装置をアンインストールする



【主な機能】

- ・PCV内との隔離(隔離弁全開時)
- ・ケーブルドラムからの調査装置受取・受渡
- ・隔離弁へのインストール装置の案内
- ・ケーブル監視

【主な機能】

- ・PCV内との隔離(隔離弁全開時)
- ・ケーブル切断(非常回収時)
- ・窒素注入・窒素置換

4.4 実施事項・成果 ーアクセス・調査装置 ー

(2) 水中遊泳型装置(6/11) -製作-

潜水機能付ボート, 小型ROV計6種類の水中遊泳型調査装置を製作した



(a) ガイドリング取付用
(ROV-A)



(b) 詳細目視用
(ROV-A2)



(c) 堆積物3Dマッピング用
(ROV-B)



(d) 堆積物厚さ測定用
(ROV-C)



(e) 燃料デブリ検知用
(ROV-D)



(f) 堆積物サンプリング用
(ROV-E)

4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置 —

(2) 水中遊泳型装置(7/11) -製作・工場内検証-

潜水機能付ポートと小型ROVの設計・製作を行い、地下階の広範囲移動とペDESTアル内への進入、インストールなどの工場内検証を実施した

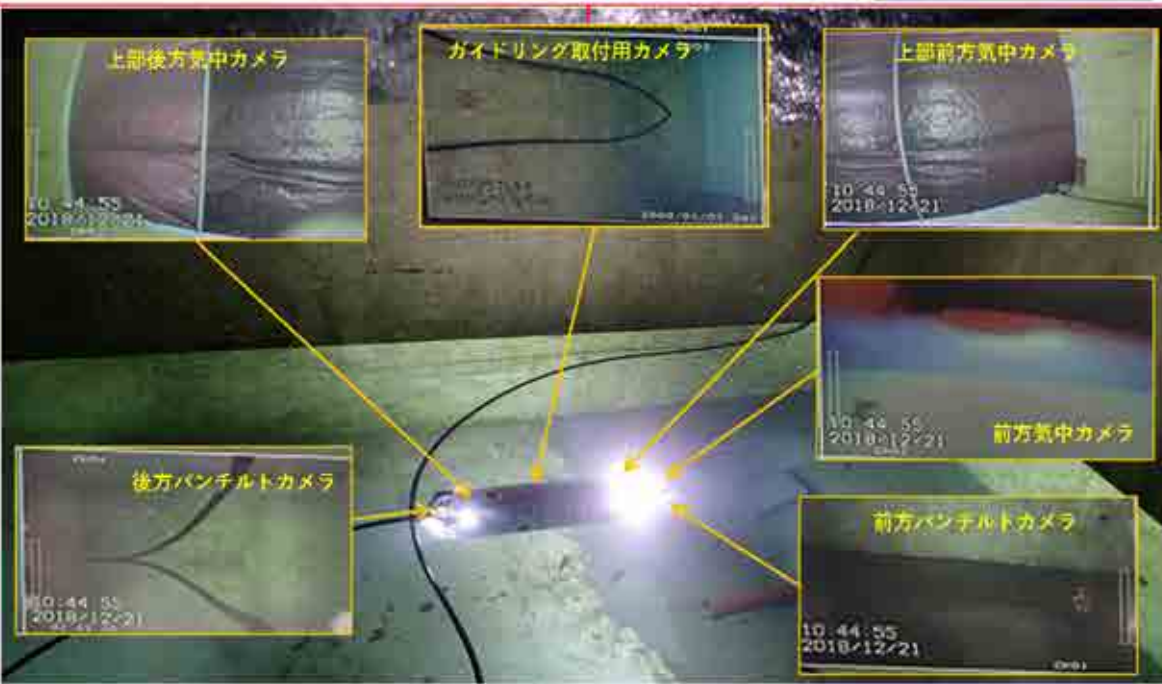
装置類	工場内検証での主な確認項目(判定基準)	工場内検証結果	説明
調査装置 (ケーブルドラム 含)	ガイドリングをジョットデフに設置できること	見通し確認済※	4.4(2) (7/10)
	ペDESTアル外の広範囲を移動できること	見通し確認済※	4.4(2) (8/10)
	ペDESTアル内への進入ができること	見通し確認済※	
インストール装置	ケーブルドラムとインストール装置の送り機構との連動操作でケーブルを送り、回収できること	見通し確認済※	4.4(2) (10/10)
	調査装置を地下階に搬出入できること	見通し確認済※	4.4(2) (10/10)
	調査装置とケーブルを洗浄できること	見通し確認済※	4.4(2) (9/10)
ケーブル切断用 グローブボックス	非常時に調査装置のケーブルを切断できること	見通し確認済※	—
シールボックス	ケーブルドラムと連結した状態でPCV内部と隔離できること (耐圧11kPa)	問題なし	4.4(2) (10/10)
監視カメラ治具 (200A)	グレーチング開口部下側の調査装置のケーブルの状況を監視できること	見通し確認済※	—
照明 (250A)			

※:課題:現場模擬環境下での確認が必要である

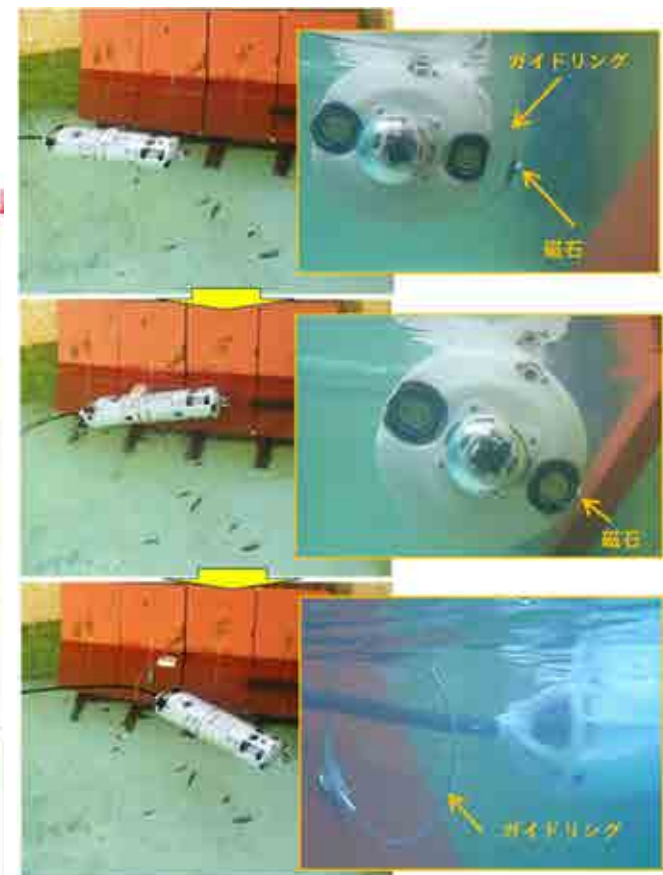
4.4 実施事項・成果 -アクセス・調査装置 - (2) 水中遊泳型装置(8/11) -工場内検証-

【ガイドリング取付】

- 暗闇での視認性を確認し、ガイドリング取付状況を搭載カメラで確認できる見通しを確認した
- 搭載カメラの映像のみでジェットデフへのガイドリング取付けができる見通しを確認した



暗闇での視認性確認



ガイドリング取付

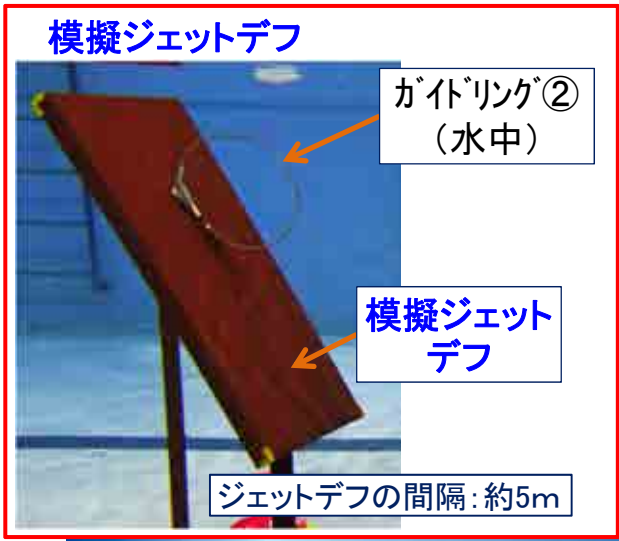
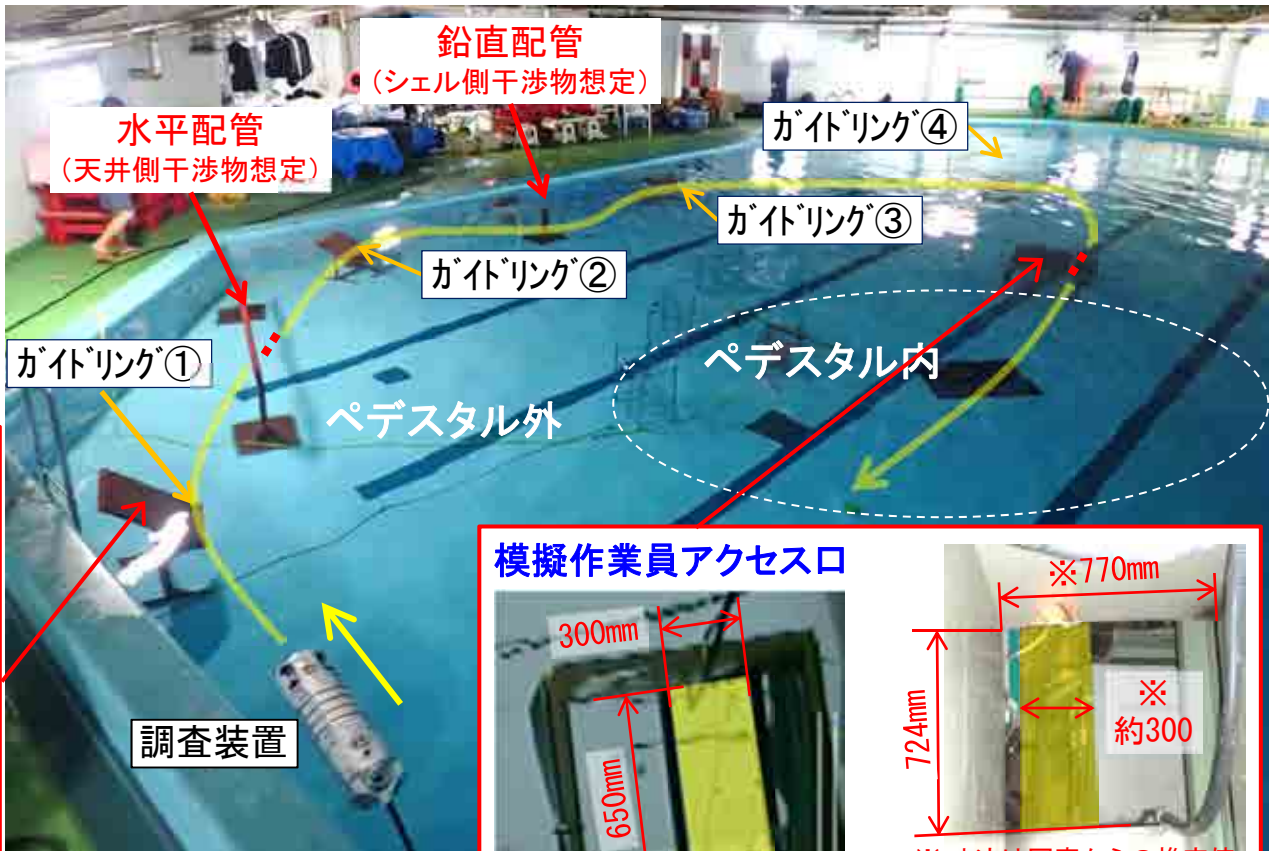
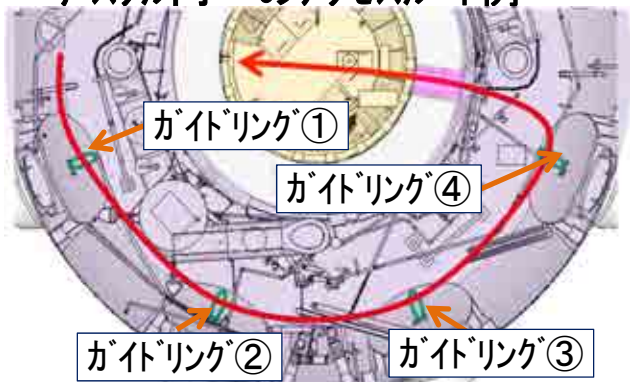
4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置 —

(2) 水中遊泳型装置(9/11) -工場内検証-

【広範囲移動とペDESTAL内進入】

搭載カメラの映像のみで調査装置を操作し、1号機PCV内地下階模擬空間※を広範囲移動でき、ペDESTAL内へ進入できる見通しを確認した

ペDESTAL内へのアクセスルート例



※ 寸法は写真からの推定値
実際の作業員アクセス
(震災前)



※: 試験設備の都合上、実機アクセスルートと左右反転した状態で試験を実施

4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置 —

(2) 水中遊泳型装置(10/11) -工場内検証-

【調査装置の地下階搬出入(洗浄含)】

インストール装置で調査装置の地下階搬出入(洗浄含)の見通しを確認した。



a) 先端位置合わせ



【課題】先端部が鉛直に向かないため、グレーチング開口に挿入できない
 【対策】①グレーチング切断径を大きくする、②インストール装置を前後操作し、自重で先端部を鉛直に向かせる(上図)

b) 洗浄



模擬ROVに石灰を塗布し、洗浄性能を確認。凹み部の石灰も洗浄でき、洗浄性能に課題なし

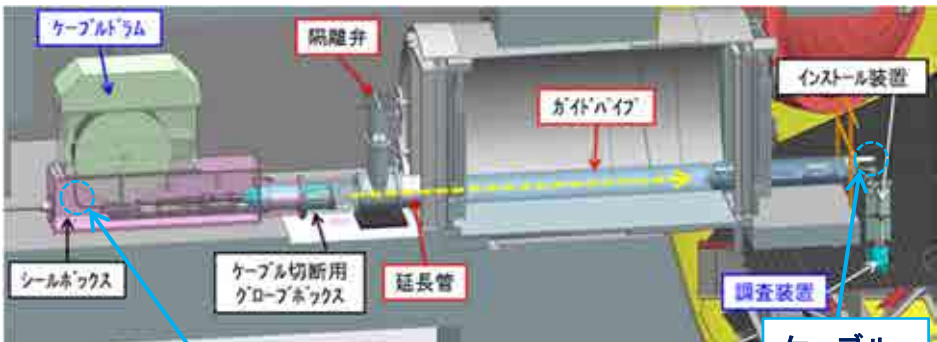


4.4 実施事項・成果 - アクセス・調査装置 -

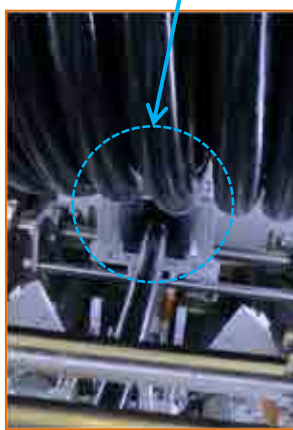
(2) 水中遊泳型装置(11/11) -工場内検証-

【連動操作】

ケーブルドラム, ピンチローラとケーブル送り機構の連動操作でケーブルを地下階に送り, 回収できる見通しを確認した



ピンチローラ



ケーブル送り機構のコントローラ

ケーブル送り機構



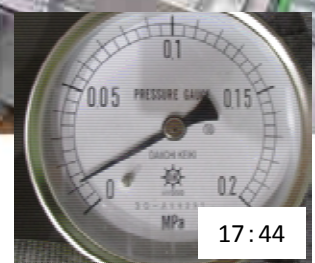
ケーブルドラム・ピンチローラのコントローラ(連動機能付)

【調査装置の耐圧】

ケーブルドラムとシールボックスを接続した状態で耐圧漏れ試験を実施し, 漏洩しないことを確認した



16:27



17:44

4.5 実施事項・成果
計測技術一覧

— 要素技術の適用性検証(1/22) —

	計測技術	計測目的	搭載予定の アクセス装置	説明
形状・ 寸法 計測技術	超音波ソナー	水中の燃料デブリ等の 3Dマッピング	アーム型(2号機)	4.5(1)(i)
	走査型超音波 距離計	堆積物の3Dマッピング	水中遊泳型(1号機)	4.5(1)(ii)
	光切断法	気中の構造物等の 3Dマッピング	アーム型(2号機)	4.5(1)(iii)
	高出力超音波 センサ	堆積物の厚さ測定 (堆積物下の物体確認)	水中遊泳型(1号機)	4.5(1)(iv)
	低周波超音波 センサ	ペDESTAL壁面の 残厚測定	—(計測技術のみ開発)	4.5(1)(v)
放射線 計測技術	γカメラ	γ線量率分布 (燃料デブリ分布の確認)	アーム型(2号機)	4.5(2)(i)
	CdTe半導体検出器 +改良型小型B10検出器	堆積物内・下の 燃料デブリ判定	水中遊泳型(1号機)	4.5(2)(ii)
位置特定 技術	単眼カメラ (特徴点-画像対応)	調査装置の位置特定	水中遊泳型(1号機)	4.5(3)

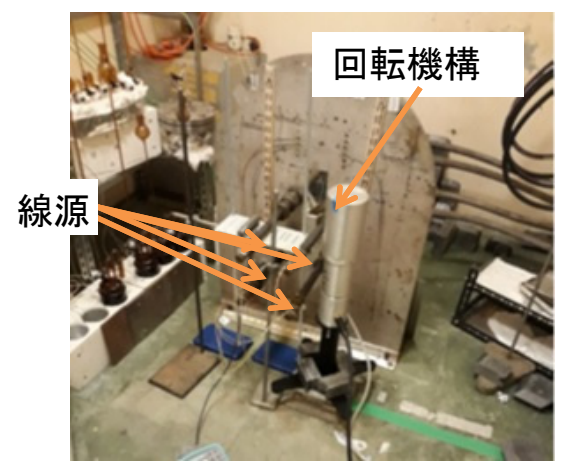
4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(2/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (i) 超音波ソナー

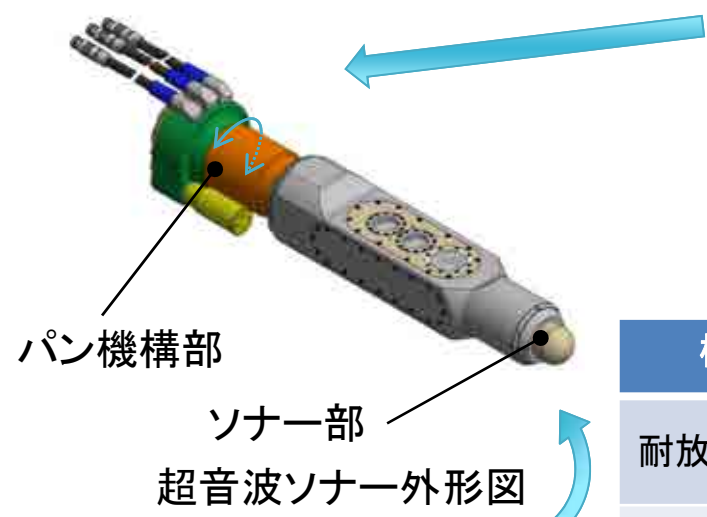
- ソナーの設計及び製作を実施した。
- パン機構はガンマカメラと共通設計とした。
- パン機構、外殻、ソナーヘッド製作を行い、組立(実施中)、確認試験(パン機構の動作確認、最終重量チェック等:実施中)



パン機構の組立



放射線環境下での回転機構の動作特性確認試験



ソナーヘッド

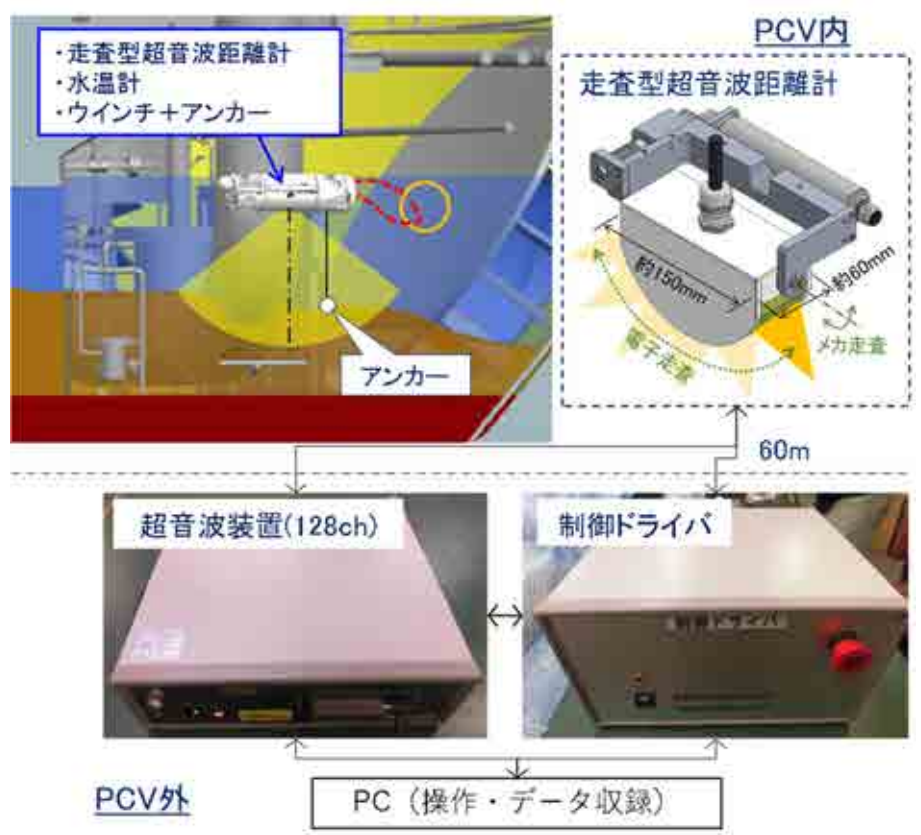
主な機能と検証結果

機能	検証結果
耐放射線性	パン機構含め10kGy以上の耐放射線性を確認
計測性能	水中試験により50mmの分解能を有することを確認
防水性	シール材による防水確保を実施予定

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(3/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (ii) 走査型超音波距離計(1/3)

堆積物3Dマッピングシステムの設計・製作及び適合性検証(単体・組合試験)を実施し、ROVに搭載した状態で計測できる見通しを確認した



適合性検証内容

分類	確認項目
単体試験① (現場実証に適用するセンサ, 計測器と実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態で行う試験)	測定可能な範囲
	測定精度
	分解能
	測定外乱の影響
単体試験②	3D表示機能
組合試験 (現場実証に適用するセンサ, 計測器をROVと組合せた状態で行う試験)	計測動作の確認、
	ROVの姿勢の影響
	測定外乱の影響

図4.5(1)(ii)-1 堆積物3Dマッピングシステムの構成

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(4/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (ii) 走査型超音波距離計(2/3)

【単体試験①(平成29年度実施)】

堆積物3Dマッピングの測定要領に必要な基本特性を確認し、測定精度がニーズ元要求を満足することを確認した

【単体試験②(3D表示機能)】

調査装置の位置情報をもとに堆積物の3Dプロファイル(超音波3D計測データ)をD/W1階の3D図面に重ねて表示する3次元表示(STL※1)ソフトを製作した

単体試験結果(平成29年度実施)

項目()内: ニーズ元要求		確認結果
測定可能な範囲	距離	500~3000mm
	入射角	±50° 以内
分解能		3m先の水平方向の分解能は50mm以内, 走査ピッチ間の超音波ビームはラップ
測定精度	鉛直 (±50mm)	高さ: 1.2mm (RMSE) 距離: 2.0mm (RMSE)
	水平 (±200mm)	6.2mm (RMSE)
測定外乱の影響	濁水	視程6cm濁水時の減衰率 -10dB/m※
	電気ノイズ	最大感度, 最大速度のメカ 走査で電気ノイズはない

※濃い濁水中でも距離2200mmまで計測可。

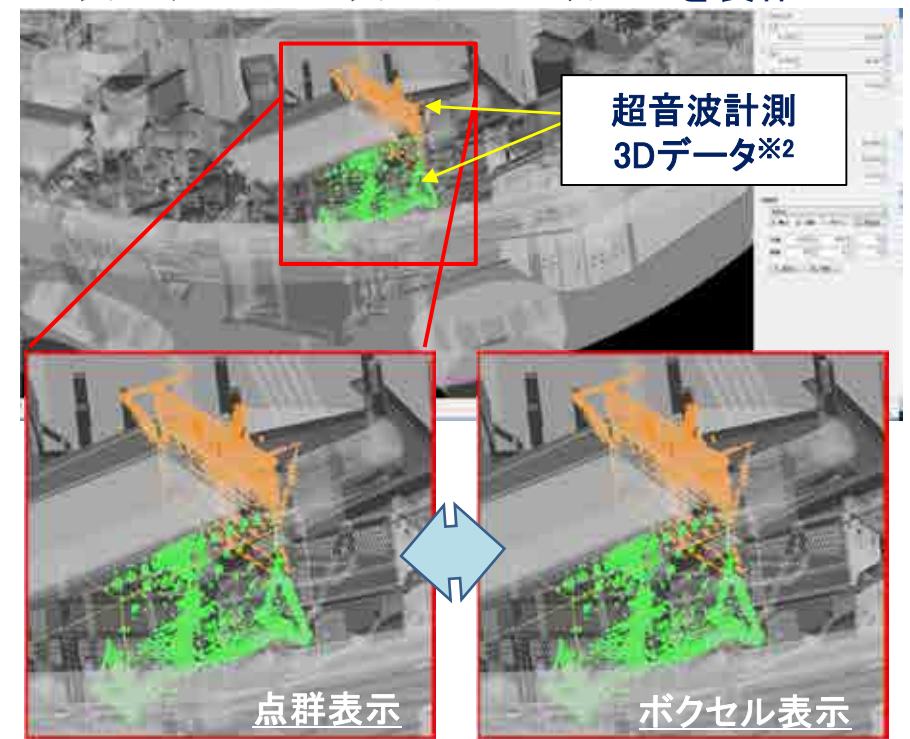


図4.5(1)(ii)-2 3D表示機能

※1 STL:Standard Triangulated Languageの略で三次元形状を表現するデータを保存するファイル保存形式

※2 磁石を貼付た脚付平板の超音波3D計測データ

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(5/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (ii) 走査型超音波距離計(3/3)

【組合試験(平成30年度実施)】

ROVの姿勢と電気ノイズの影響は小さく3Dデータを収集できること, 点群とボクセルの3D表示ができること, 測定精度がニーズ元要求を満足することなどを確認した

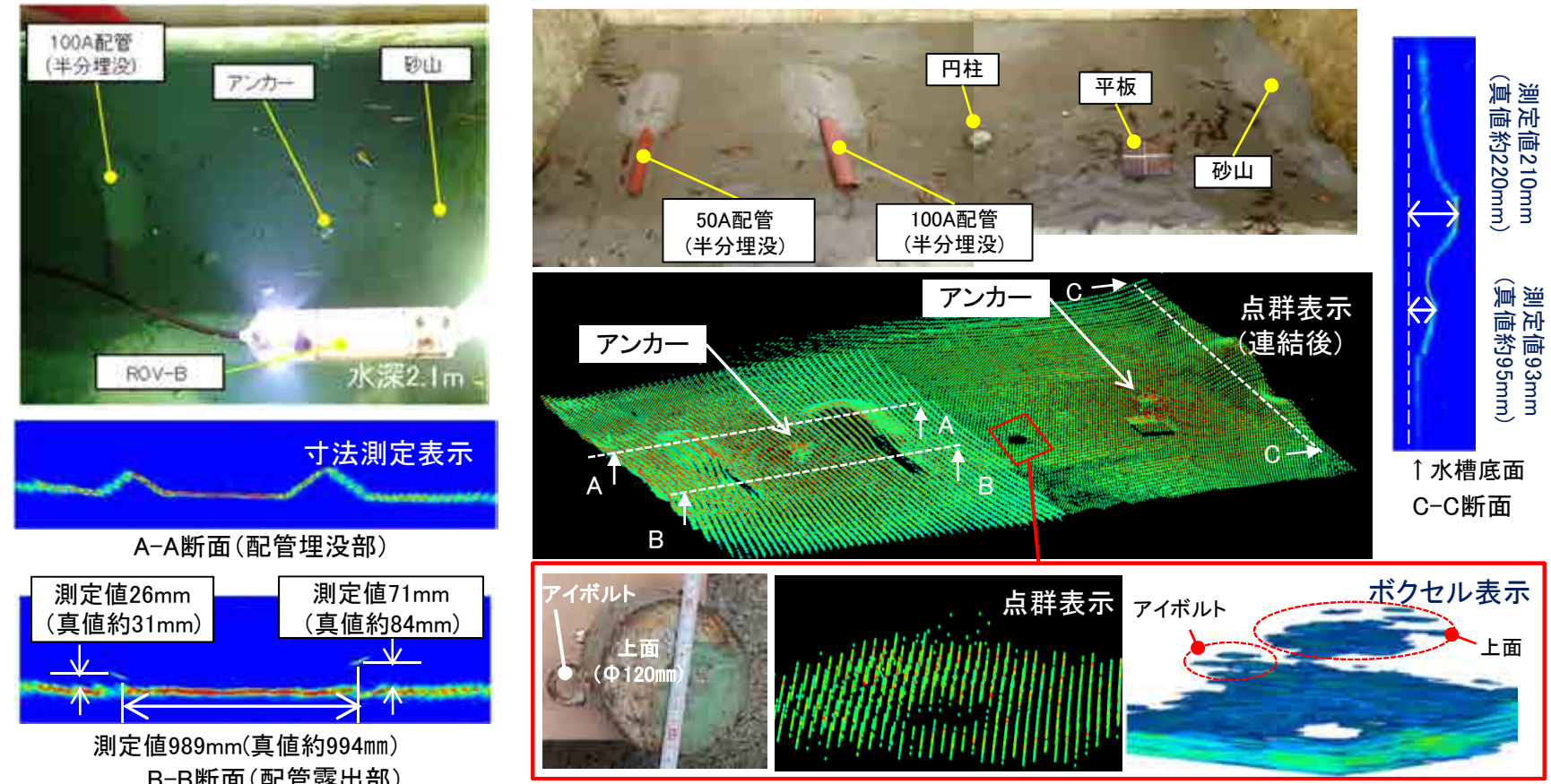


図4.5(1)(ii)-3 堆積物3Dマッピング組合せ試験結果

課題: ガイドリングを通過した条件での測定できることの確認, 実機での3Dデータの重ね合わせなど
対応: モックアップ試験設備で行う組み合わせ試験で確認

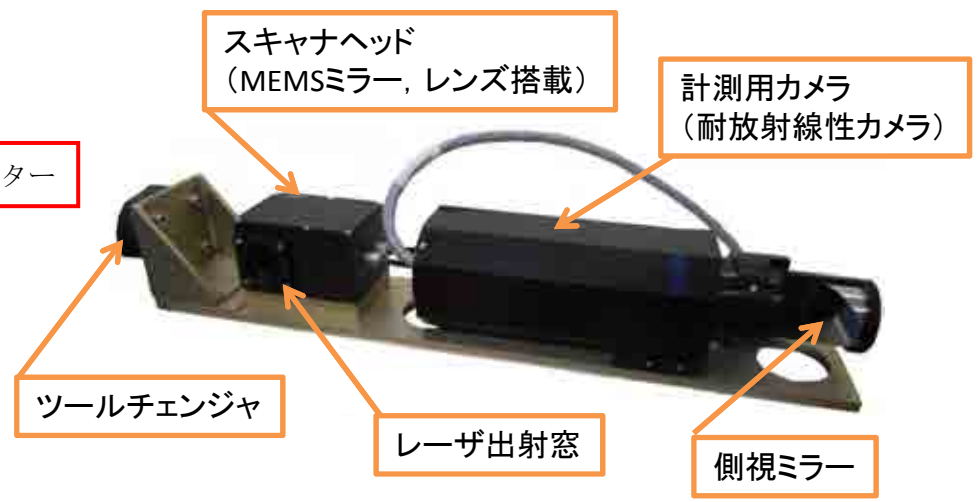
4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(6/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iii) 光切断法

- 代替カメラ(耐放射線性カメラ)の適合性検証試験(放射線環境下での計測精度検証)を実施し、計測用カメラを選定
- 耐放射線性試験及び摺動試験を実施し、稼働部の光ファイバ被覆を選定
- 実機用機材の製作を実施



放射線影響下(照射室)での計測精度検証



光切断法による形状・寸法計測装置外観



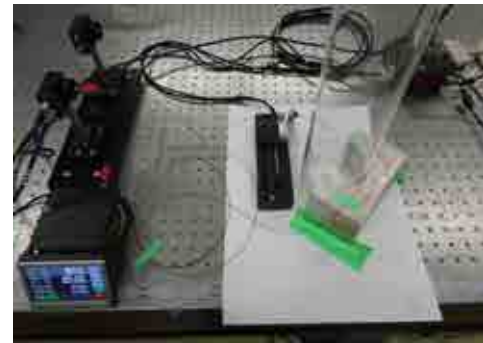
不採用カメラの画像

0.8kGy/h
50°C
ノイズ多い
S/N比小さい



採用カメラの画像

1.0kGy/h
50°C
ノイズ少ない
S/N比大きい



光ファイバ摺動試験

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(7/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(1/4)

堆積物厚さ測定システムの設計・製作及び適合性検証(単体・組合試験)を実施し, ROVに搭載した状態で計測できる見通しを確認した

適合性検証内容

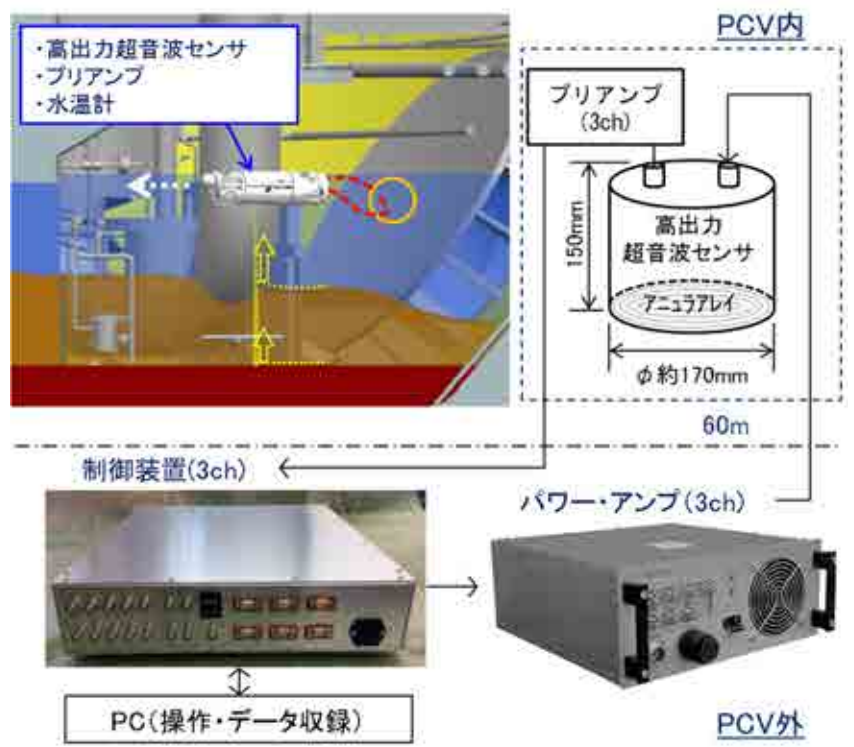


図4.5(1)(iv)-1 堆積物厚さ測定システムの構成

分類	確認項目	
予備試験 (類似センサで行う試験や解析による評価)	堆積物の粒径の影響	
	堆積物内在気泡(水の放射線分解)の影響	
	堆積物内の温度勾配の影響	
	堆積物材質,混合粒径の影響	
単体試験 (現場実証に適用するセンサ(センサ要素含),計測器と実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態で行う試験)	耐放射線性	プリアンプ センサ
	測定可能な深さ範囲	
	測定精度	
	分解能	
	計測動作の確認、	
組合試験 (現場実証に適用するセンサ,計測器をROVと組合せた状態で行う試験)	ROVの姿勢の影響	
	測定外乱の影響	音響的ノイズ 電気ノイズ

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(8/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(2/4)

単体試験結果(主に平成29年度実施)

確認項目		確認結果(予備・単体試験)
堆積物厚さ測定可能範囲		<ul style="list-style-type: none"> 100kHzの場合:0.04~最大0.5m(但し、粒径400um以上の場合は最大1m) 10kHzパラメトリック計測の場合:100kHzの測定可能範囲より広い
堆積物厚さ測定精度		代表的な粒径と温度での音速適用時の測定精度は±7% (粒径, 温度勾配の影響含)
分解能		方位分解能:56mm,, 時間分解能:43us(約40mm)@100kHz
測定外 乱・環境 因子	堆積物の粒径の 影響	<ul style="list-style-type: none"> 粒径(45~1700um)に起因する測定誤差は±5%程度※ 川砂のような混合粒径であって適用可能である見込み ※ 単一粒径の音速は水の約1.1~1.2倍(粒径で異なる)であるため、実機では暫定的に水の1.15倍(粒径900μm相当)の音速を適用予定
	堆積物内在気泡(水 の放射線分解)の影響	10~100Gy/hのγ線では水の放射線分解に起因する堆積物内在気泡の影響は現れない(図4.5(1)(iv)-2参照)
	堆積物内の温度勾 配の影響	温度勾配に起因する測定誤差は±2.3%程度である (約20℃水温の音速を基準に10℃~40℃を想定)
	電気ノイズ	パラメトリック計測には低周波ノイズの抑制のため十分なアースが必要※
耐放射線 性	プリアンプ	照射で出力波形(10kHz)にノイズ(2MHz)が発生したが、ローパスフィルタで除去でき、照射前の出力波形を再現可能(図4.5(1)(iv)-3参照)
	センサ	照射で14%の感度低下を確認(測定に大きく影響するレベルではない) (図4.5(1)(iv)-3参照)

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(9/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(3/4)

【堆積物内在気泡(水の放射線分解)の影響】

(1) 試験条件

- a) 線量率: 10Gy/h(堆積物表面),
100Gy/h(燃料デブリ表面)
- b) 照射時間: 約8日間

(2) 試験結果

10~100Gy/hのγ線では水の放射線分解に起因する堆積物内在気泡の影響は現れないことを確認

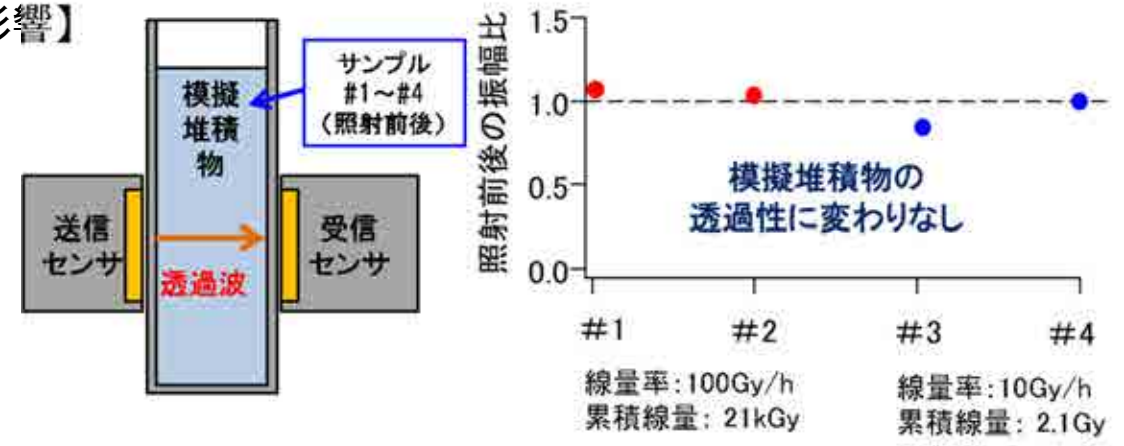


図4.5(1)(iv)-2 超音波の透過性に及ぼす水の放射線分解の影響

【耐放射線性】

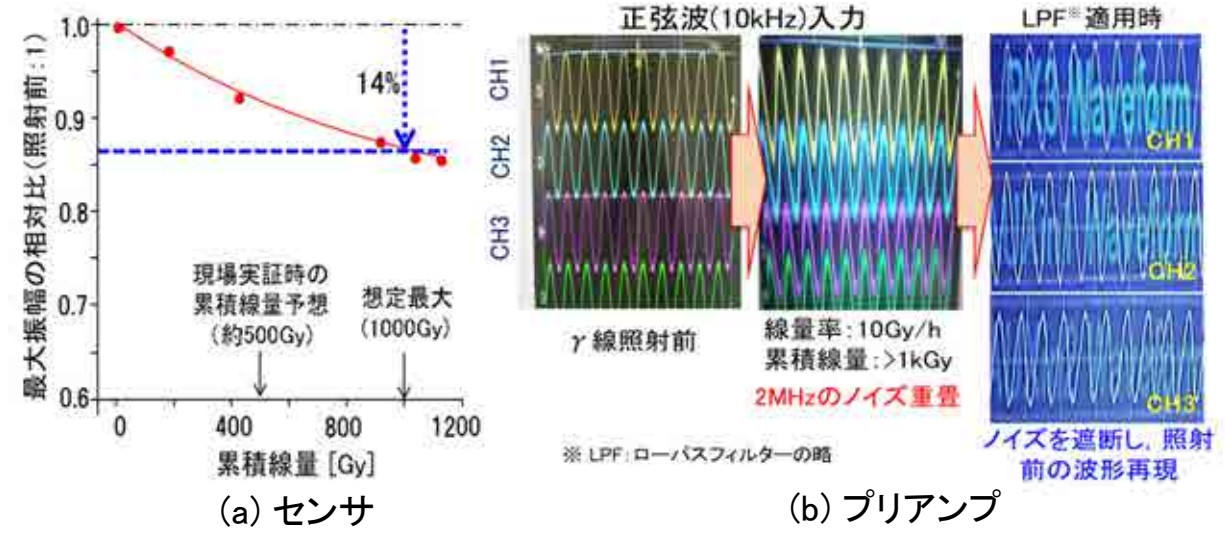
(1) 試験条件

- a) 線量率: 10kGy/h(センサ部環境)
- b) 累積線量: 最大1kGy以上

(2) 試験結果

センサ 照射で14%の感度低下を確認(測定に大きく影響するレベルではない)

プリアンプ 照射で出力波形(10kHz)にノイズ(2MHz)が発生したが, ローパスフィルタで除去でき, 照射前の出力波形を再現できることを確認



(a) センサ

(b) プリアンプ

図4.5(1)(iv)-3 センサとプリアンプに及ぼす累積線量の影響

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(10/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(4/4)

【組合試験(平成30年度実施)】

- 水深2.1mのプールで(a)100kHz基本測定方式と(b)パラメトリック方式の2方式を高速に切替ながら(図4.5(1)(iv)-4) ROVを航行し、厚さ100mmと300mmの模擬堆積物の厚さ測定を実施
- 航行姿勢や外乱ノイズの影響は小さく、堆積物の表面と底面および埋設物を画像化でき、堆積物厚さを測定できることを確認(図4.5(1)(iv)-6)

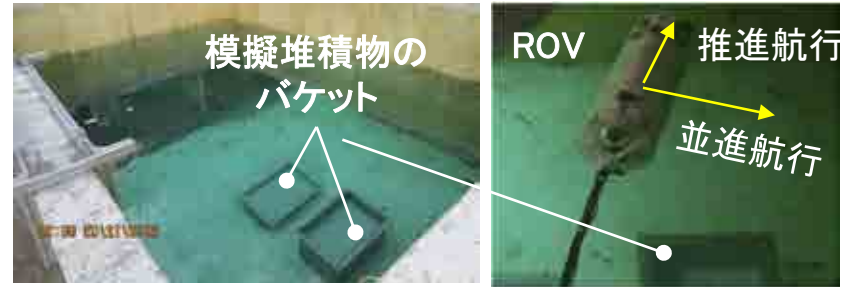


図4.5(1)(iv)-5 試験状況

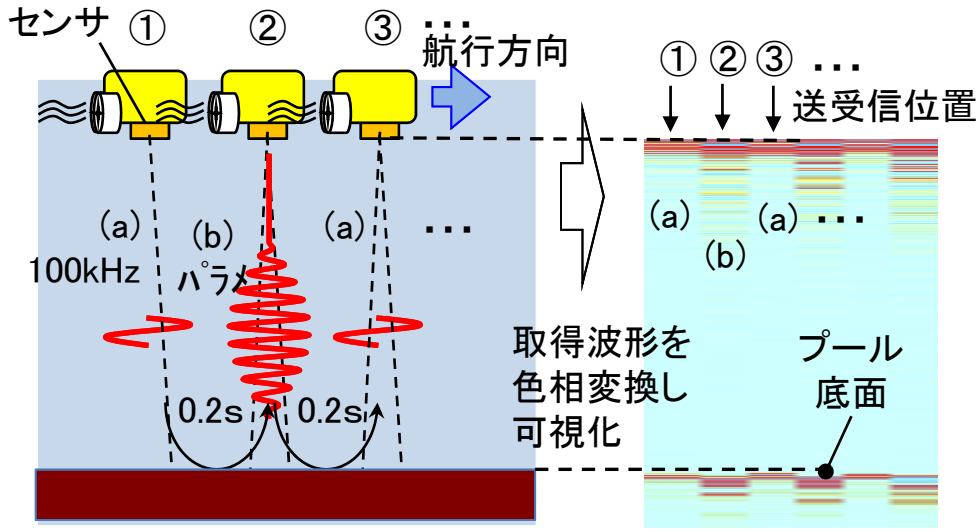


図4.5(1)(iv)-4 組合試験での画像化方式

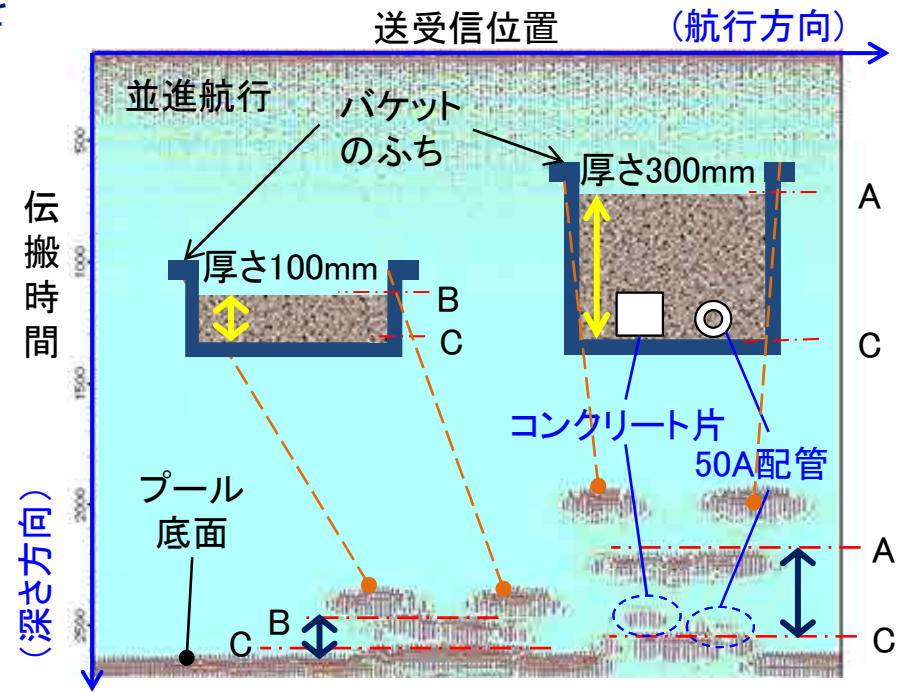


図4.5(1)(iv)-6 堆積物厚さ測定画像例

課題: ROVがガイドリングを通過した条件で測定できることの確認など
 対応: モックアップ試験設備で行う組み合わせ試験で確認

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(11/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (v) 低周波超音波センサ(ペDESTAL壁面残厚測定用)(1/4)

堆積物回収後の調査となるため開発の優先度を下げ、ペDESTAL壁面残厚測定用センサの試作と単体試験のみ実施。この試験で測定条件を検討し、測定性能を確認した。

適合性検証内容

分類	確認項目
単体試験 (実機用を模擬したセンサ、計測器と実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態で行う試験)	センサ選定
	センサの耐放射線性
	測定条件
	測定可能な残厚範囲
	測定精度
	分解能

【測定原理】

残厚に相当するコンクリート裏面(底面)までのエコー伝搬時間と音速(4km/s)からペDESTAL壁面残厚を計測

【測定上の課題】

底面のエコーの他に、骨材(最大20mmφ)のエコーを受信するため、底面エコーと骨材エコーの識別が課題

【波形の特徴(図4.5(1)(v)-2参照)】

- 高周波数成分の信号(100kHz以上)には骨材エコーが多く、底面エコーが殆ど含まれない
- 低周波数成分の信号(50kHz)には底面エコーが含まれている

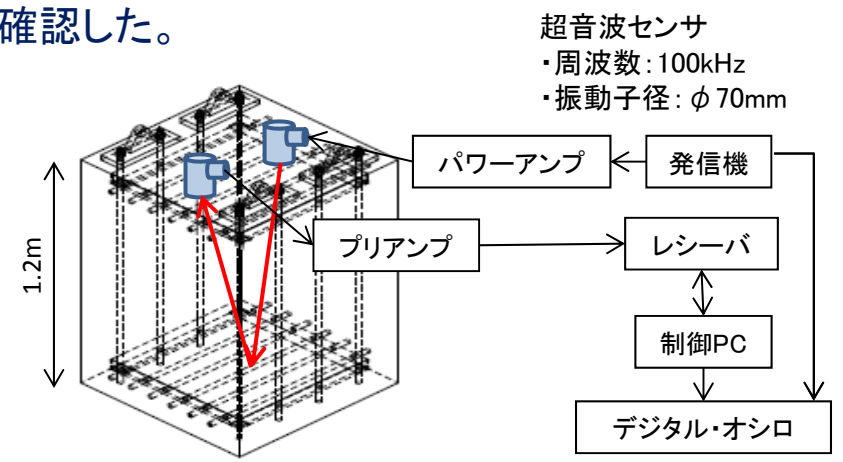


図4.5(1)(v)-1 単体試験の装置構成

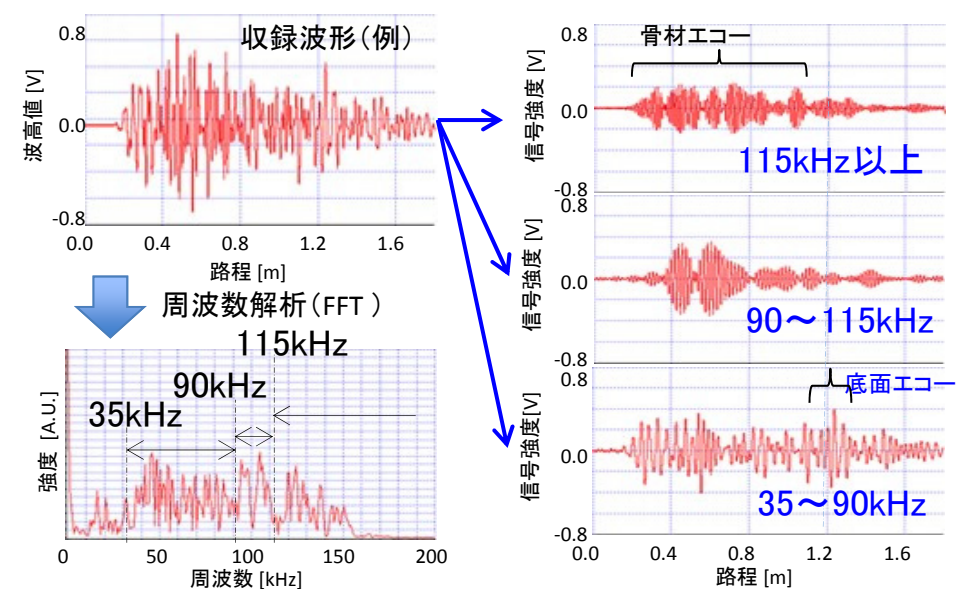


図4.5(1)(v)-2 収録波形、周波数解析結果(例)

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(12/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (v) 低周波超音波センサ(ペDESTAL壁面残厚測定用)(2/4)

単体試験結果(平成29・30年度実施)

確認項目()ニーズ元要求		試験結果まとめ
センサ仕様	共振周波数	100kHz
	振動子径	Φ 70mm(送信用, 受信用)
	耐放射線性	累積1kGy以上(図4.5(1)(v)-3)
測定条件	励振周波数	50kHz
	バンドパスフィルタ(BPF)周波数	透過中心周波数: 50kHz 減衰率: -14dB/oct.
	送受センサ間隔	450mm(図4.5(1)(v)-4参照)
	センサ走査と収録間隔	ペDESTAL外壁面を周方向走査し、50mm間隔で波形収録
	処理	9波形以上を平均化処理(図4.5(1)(v)-5参照)
測定可能残厚範囲(図4.5(1)(v)-6)	インナースカートがない領域	0.3m~1.2m
	インナースカートがある領域	0.3m~0.6m※ ※インナースカートの深さ
測定精度(±100mm)		100mm
分解能	時間分解能	200mm
	方位分解能	400mm

【耐放射線性】

(1) 試験条件

- a) 線量率: 10Gy/h(ペDESTAL外)
- b) 累積線量: 最大1kGy以上

(2) 試験結果

線量率10Gy/h × 116h(約5日)のγ線照射(累積1.16kGy)で波形に変化はなく、調査に必要な耐放射線性を持つことを確認

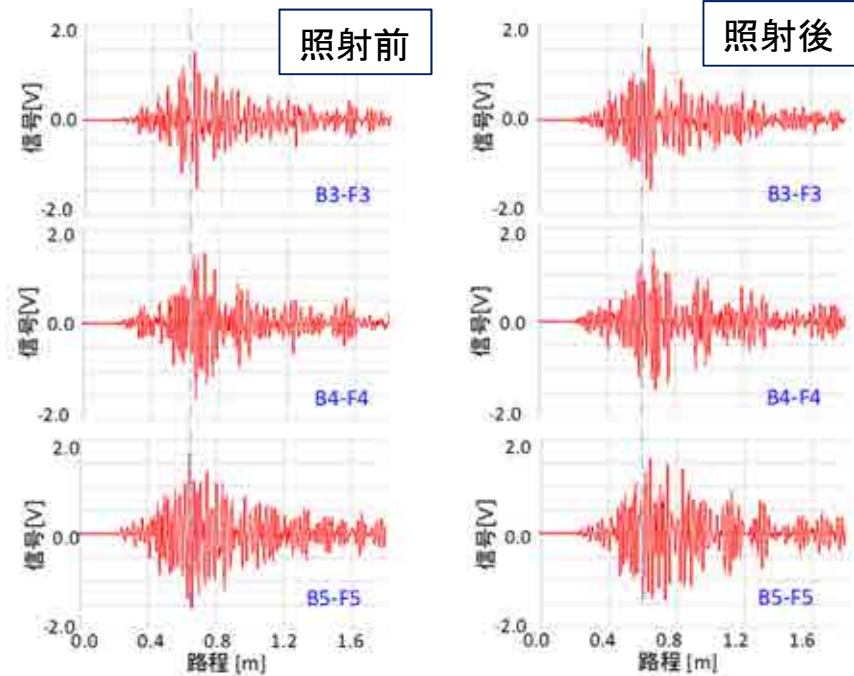


図4.5(1)(v)-3 耐放試験結果例

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(13/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (v) 低周波超音波センサ(ペDESTAL壁面残厚測定用)(3/4)

【送信/受信のセンサ間距離(L)の検討】

エコー信号に低周波成分が多く含まれるような条件で計測・送信センサを共振周波数(100kHz)より低い周波数(50kHz)の電気信号で励振するため、送信と受信のセンサ間距離(L)を大きくする

(同じ面積の音源であれば、低周波(長波長)の超音波の方が放射角が大きくなる性質を活用)

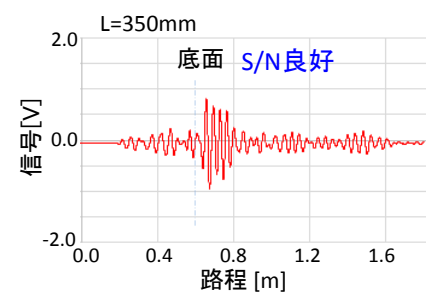
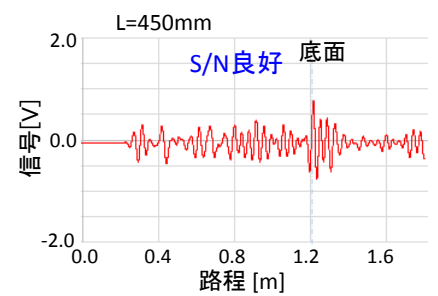
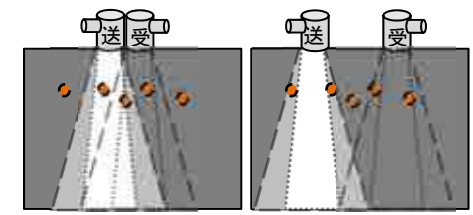
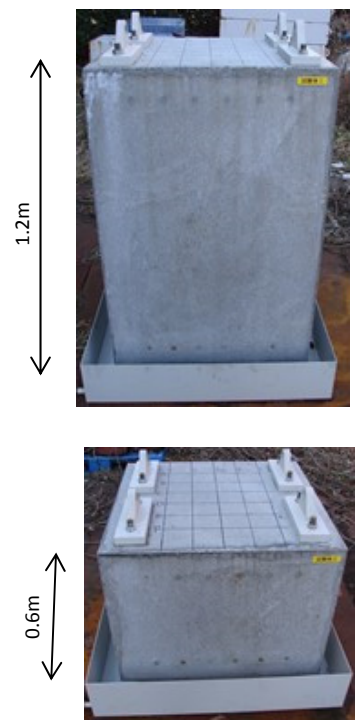
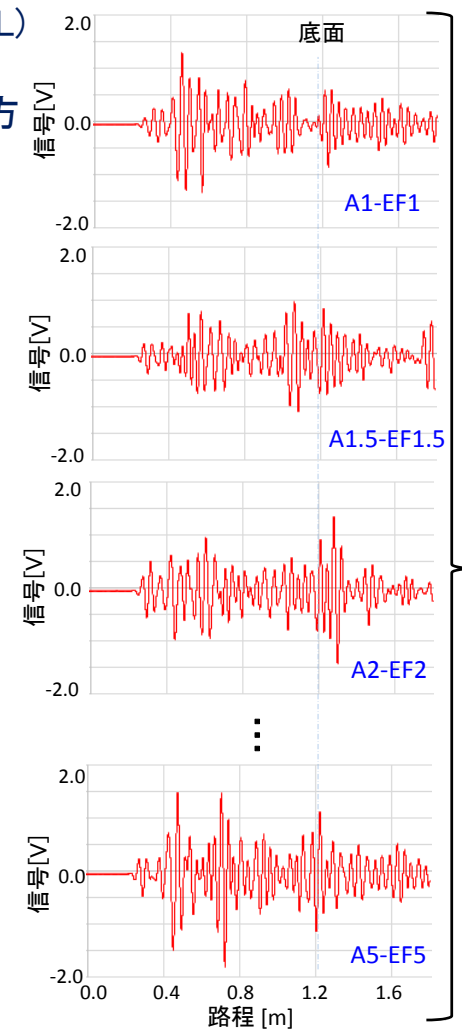


図4.5(1)(v)-4 センサ間距離の検討

【S/Nの向上】

測定場所を変えながら波形を収録して平均化することにより、S/Nの向上を図る



センサ間距離を一定(450mm)とし、50mmピッチで、1.2m厚試験体上面を走査

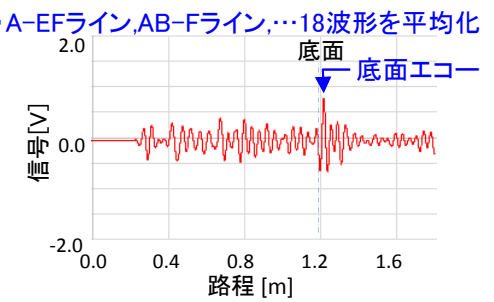
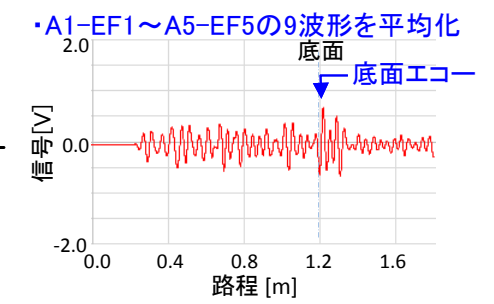
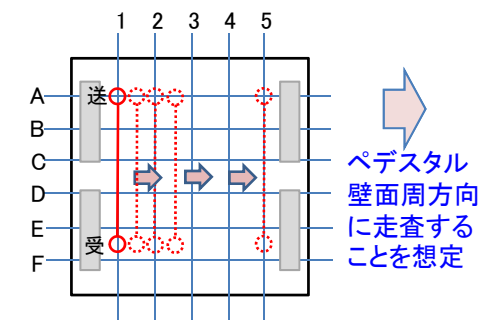


図4.5(1)(v)-5 波形平均化の効果

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(14/22) —

(1) 形状・寸法計測技術 (v) 低周波超音波センサ(ペDESTAL壁面残厚測定用)(4/4)

【ペDESTAL壁面残厚測定可能な範囲】

- 板厚0.6mと1.2mの試験体の底面エコーを受信
- 模擬インナースカートからのエコーを受信し、模擬インナースカート超の底面エコーは受信不可
- 高さ1m以下で路程0.6mにエコーがあればインナースカートは残存、内面浸食はスカートに到達していないと判断
- 不感帯により残厚0.3m以下の残厚測定は不可

<測定可能な残厚範囲>

- インナースカートがない領域: 0.3m~1.2m
 - インナースカートがある領域: 0.3m~0.6m※
- ※ ペDESTAL内面浸食のインナースカートへの到達の有無の判定に適用できる可能性有

【実機適用時の前提】

ペDESTAL壁面基部を含む異なる高さで、センサを周方向に走査する必要があるため、ペDESTAL外壁面の堆積物回収と干渉物の撤去が必要

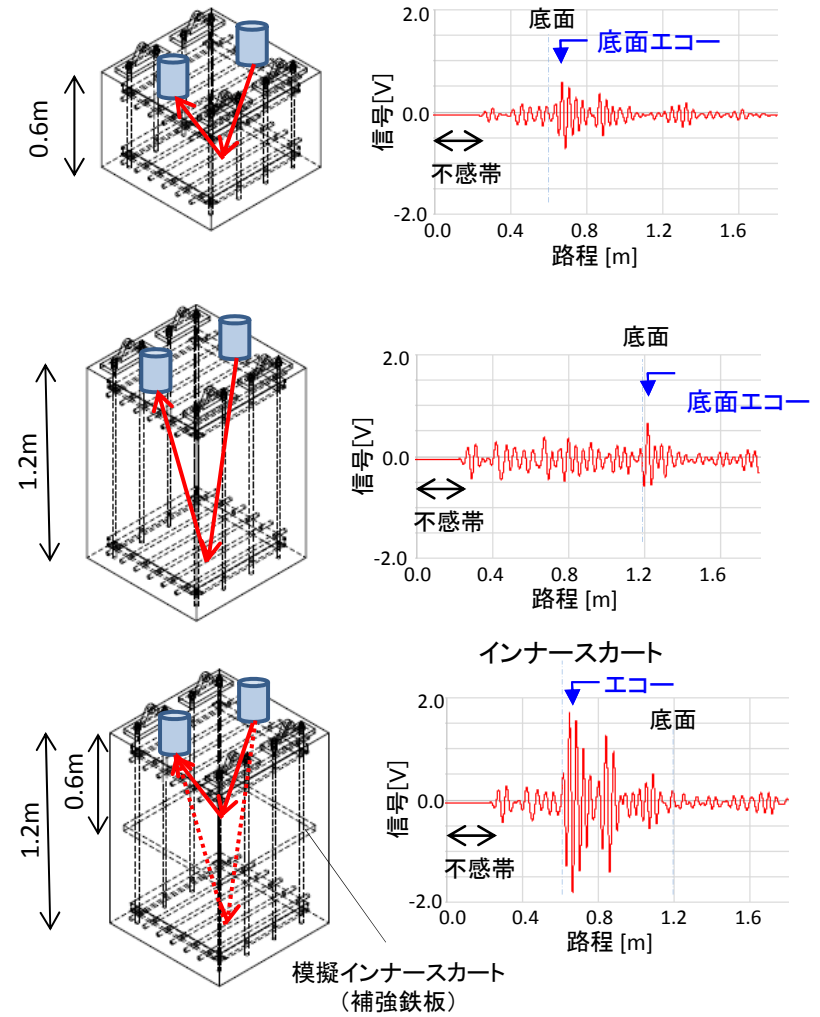
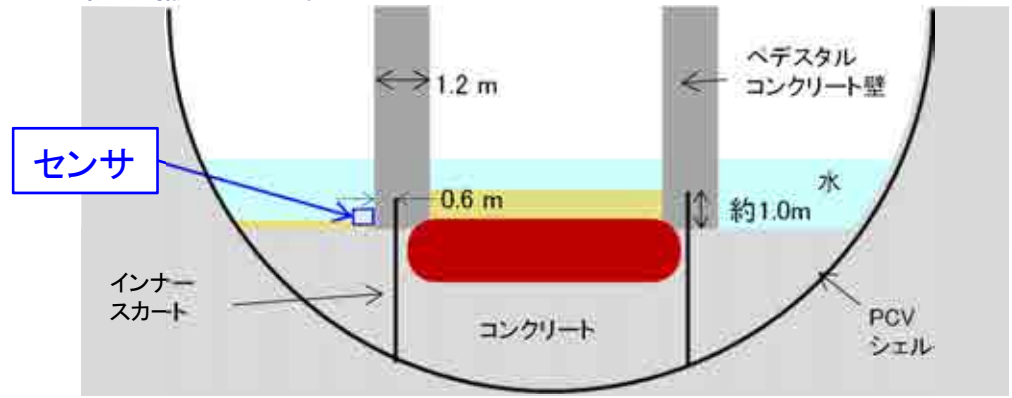


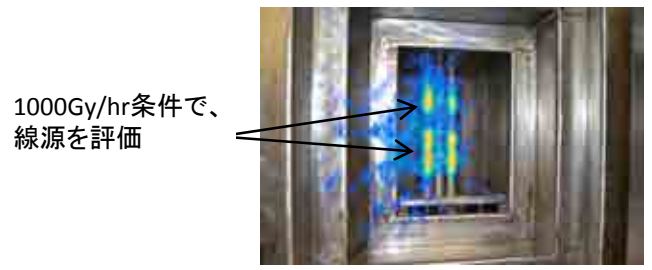
図4.5(1)(v)-6 残厚測定結果

課題: 熱劣化など、実機で想定されるコンクリートの状態での適用性検証
 対応: 1号機PCV内部詳細調査で実施予定の詳細目視結果をもとに試験条件の設定と検証が必要

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(12/18) —

(2) 放射線計測技術 (i) γ カメラ

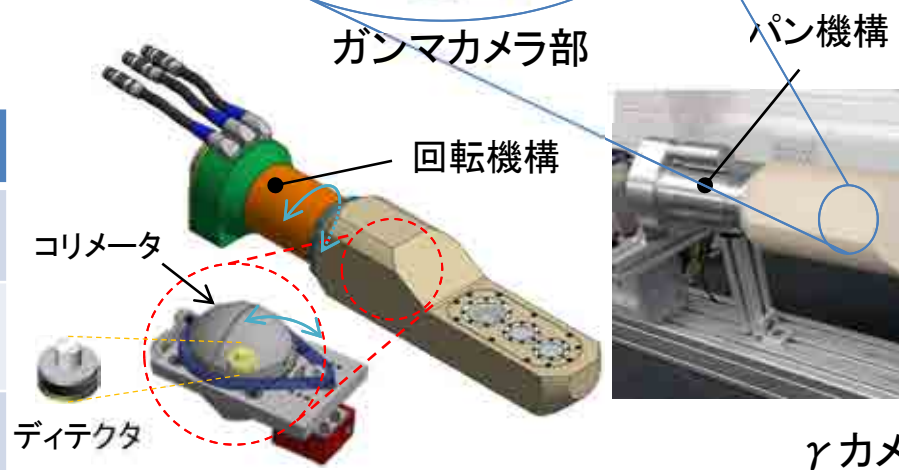
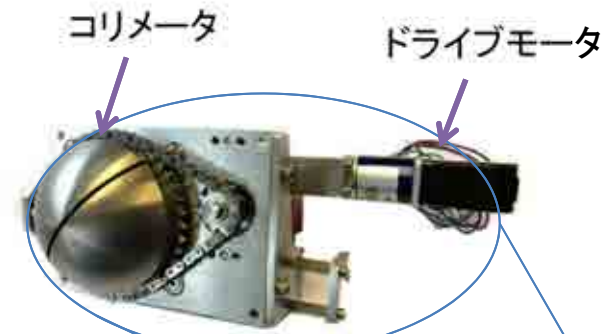
- γ カメラの設計及び製作を実施した。
- パン機構は超音波ソナーと共通設計とした。
- パン機構、外殻、 γ カメラ部の製作を実施し、組立、確認試験(パン機構/コリメータの動作確認、最終重量確認)を実施した。



ダイナミックレンジ(上限)確認

主な機能と検証結果

機能	検証結果
耐放射線性	構成部品が10kGy以上の耐放射線性を有することを確認
計測性能	照射試験によりダイナミックレンジ1-1000Gy/hrを確認
防水性	シール材による防水確保を確認予定



γ カメラ外形図



4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(16/22) —

(2) 放射線計測技術 (ii) CdTe半導体検出器・改良型小型B10検出器(燃料デブリ検知用)(1/4)

燃料デブリ検知システムの適合性試験(単体・組合試験)を実施し、ROVに搭載した状態で計測できる見通しを確認した

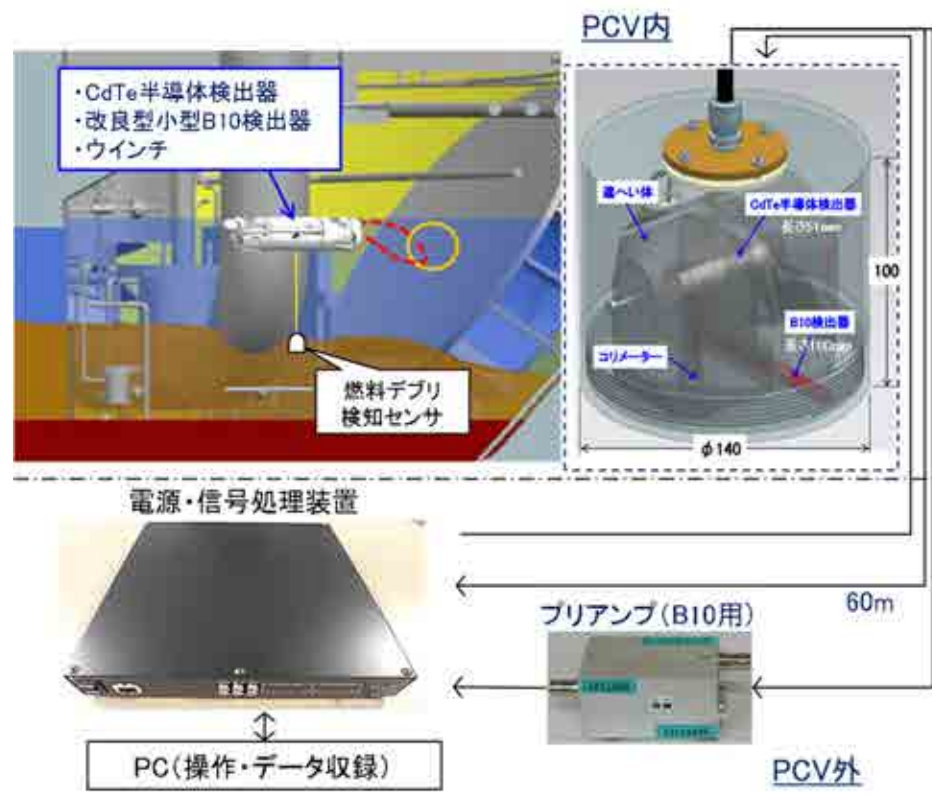


図4.5(2)(ii)-1 堆積物内・下の燃料デブリ検知システムの構成

適合性検証内容

分類	確認項目		
単体試験① (現場実証に適用するセンサ、計測器と実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態で行う試験)	検出効率		
	γ線核種分析性能		
	中性子検知性能		
	測定外乱の影響 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>高線量γ線</td></tr> <tr><td>電気ノイズ</td></tr> <tr><td>分極作用</td></tr> </table>	高線量γ線	電気ノイズ
高線量γ線			
電気ノイズ			
分極作用			
単体試験②	使用済燃料での応答		
組合試験 (現場実証に適用するセンサ、計測器をROVと組合せた状態で行う試験)	計測動作の確認、		
	ROVの姿勢の影響		
	測定外乱の影響 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>電気ノイズ</td></tr> </table>	電気ノイズ	
電気ノイズ			

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(17/22) —

(2) 放射線計測技術 (ii) CdTe半導体検出器・改良型小型B10検出器(燃料デブリ検知用)(2/4)

単体試験結果(平成29・30年度実施)

確認項目		確認結果
検出効率	Eu-154	2.2×10^{-4} cps/Bq(誤差±10%)
	Cs-137	1.6×10^{-3} cps/Bq(誤差±14%)
	Co-60	1.8×10^{-4} cps/Bq(誤差±26%)
	熱中性子	0.28 cps/nv (図4.5(2)(ii)-5)
Co-60とEu-154のピーク弁別性		Eu-154のピーク半値幅が33keV以内であり, 弁別可(図4.5(2)(ii)-3)
検出限界	CdTe	0.08cps
	改良B10	0.03cps
測定外乱影響	分極作用	測定1時間後も分極発生なし(図4.5(2)(ii)-4)
	高線量γ線の影響	約120Gy/h以下ではγ線と中性子を弁別できる見通し※(図4.5(2)(ii)-6)
	電気ノイズ	ノイズ対策(フェライトコアとグラウンドの統一)でケーブル長60m使用時のノイズを低減できる見通しを確認
使用済燃料での応答		Eu-154と中性子を検知できた(図4.5(2)(ii)-7)

【CdTe検出器の単体試験結果】

コリメータ付タングステン遮蔽体内にCdTe検出器を配置し、ケーブル長60mで各種応答取得

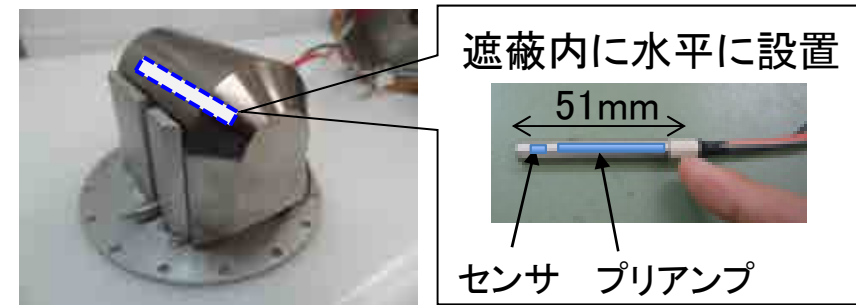


図4.5(2)(ii)-2 タングステン遮蔽体及びCdTe検出器外観

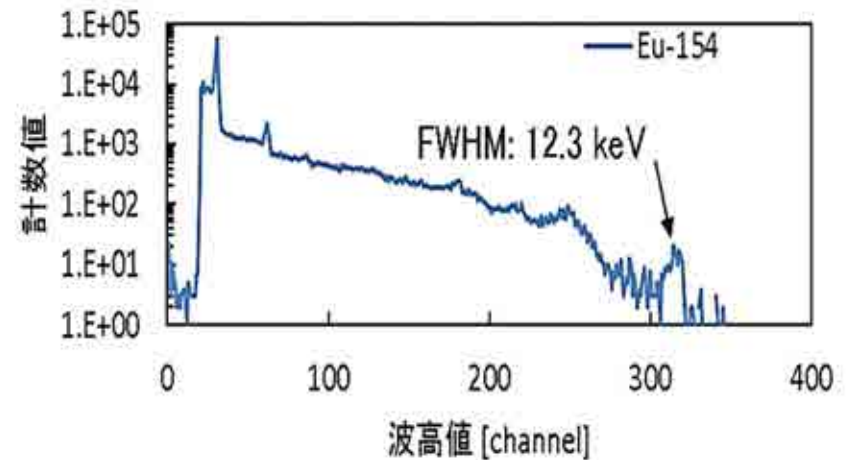


図4.5(2)(ii)-3 Eu-154 γ線測定結果

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(18/22) —

(2) 放射線計測技術 (ii) CdTe半導体検出器・改良型小型B10検出器(燃料デブリ検知用)(3/4)

【CdTe検出器の単体試験結果(続)】

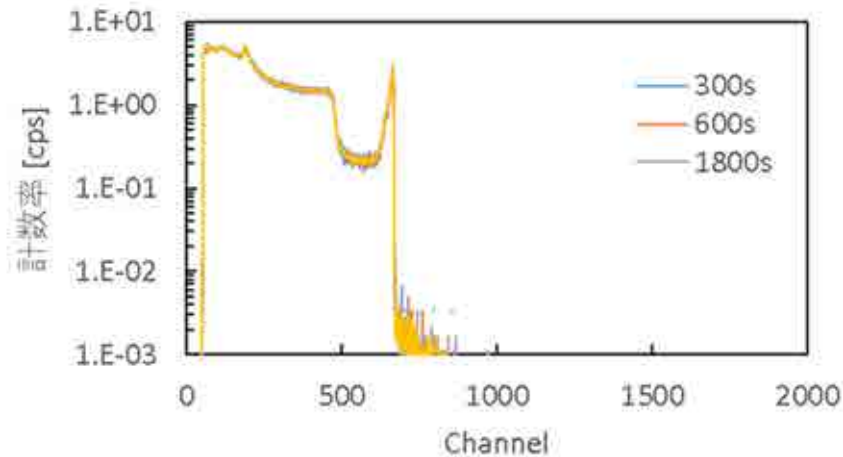


図4.5(2)(ii)-4 分極発生有無の確認結果

【改良型小型B-10検出器の単体試験結果】

- 改良型小型B-10検出器に60m長同軸ケーブルを接続し各種応答取得
- 熱中性子感度の波高値しきい値依存性を取得
- 100Gy/hを超える環境で中性子応答取得

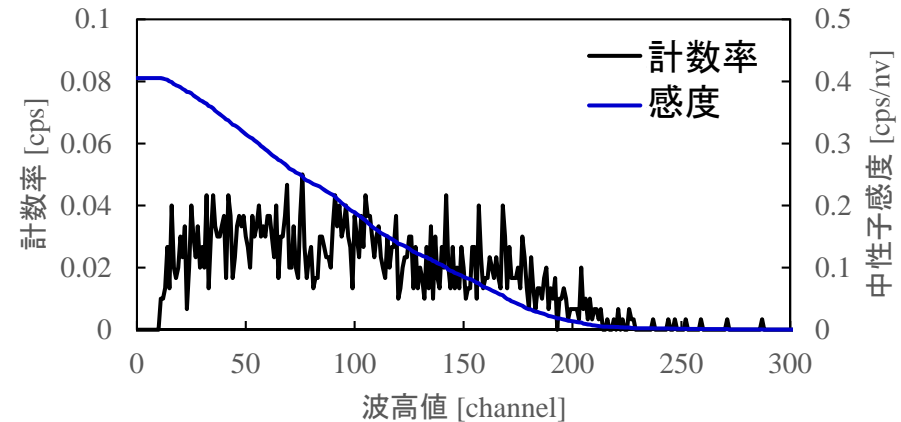


図4.5(2)(ii)-5 Cf-252を用いた中性子測定結果

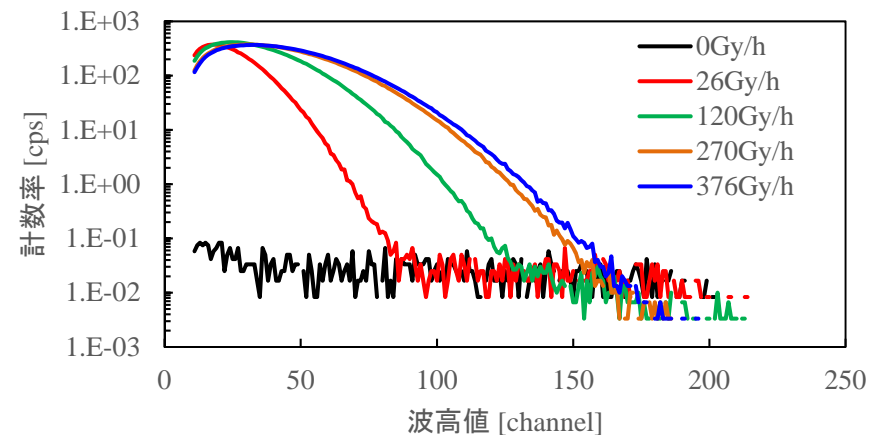
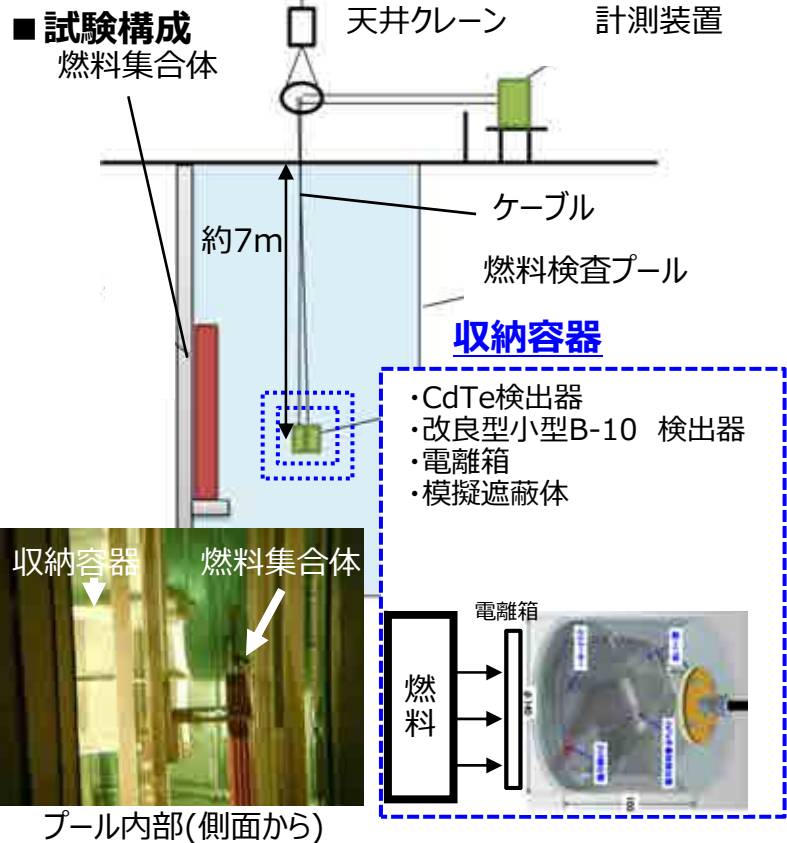


図4.5(2)(ii)-6 Co-60高線量率下での中性子測定結果

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(19/22) —

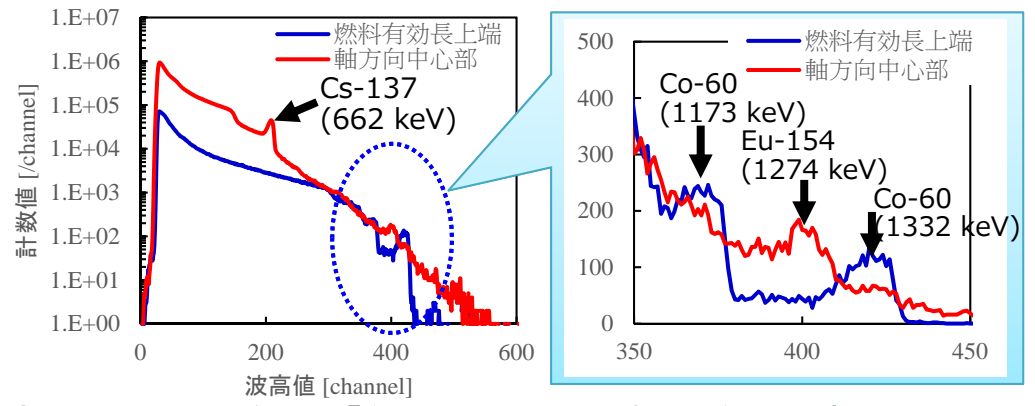
(2) 放射線計測技術 (ii) CdTe半導体検出器・改良型小型B10検出器(燃料デブリ検知用)(4/4)

【使用済燃料集合体での応答】



■ 測定データ

【CdTe半導体検出器】約20Gy/h下でEu-154検知に成功



【改良型小型B-10検出器】約20Gy/h下で中性子検知に成功

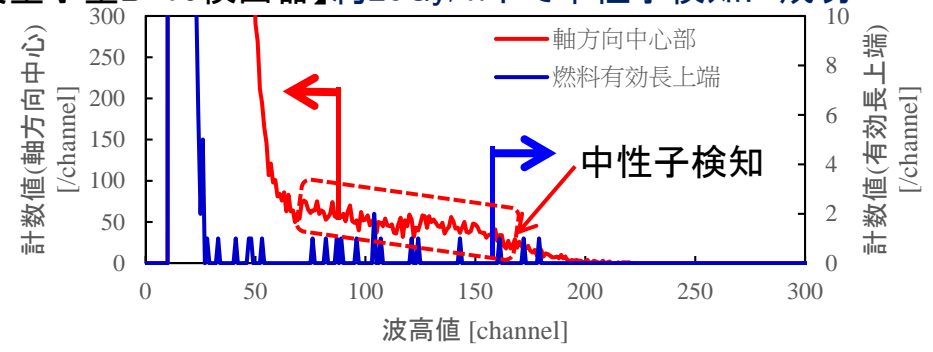


図4.5(2)(ii)-7 使用済燃料集合体での応答確認結果

【ROVとの組合試験】

ROV搭載カメラとLEDによる電気ノイズの発生はなかったが、ケーブルドラムのモータ駆動時にノイズが発生した。測定時はROVを静止するため、ノイズは問題なしと判断

課題: センサ着座可能ポイントの判断基準, 現場の状況に応じた測定時間の設定など
対応: 現場実証の詳細計画で検討

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(20/22) —

(3) 位置特定技術 (i)単眼カメラ (1/3)

位置特定システムの設計・製作および工場内検証(単体・組合試験)を実施し、ニーズ元要求精度(±200mm)内で位置を特定できる見通しを確認した

適合性検証内容

分類	確認項目	確認結果
単体試験	位置特定誤差	図4.5(3)(i)-3,4
	特徴点の視認性	
	ROV姿勢影響	
組合試験	ROV取付位置キャリブレーション	図4.5(3)(i)-5,6
	カメラ歪み補正	

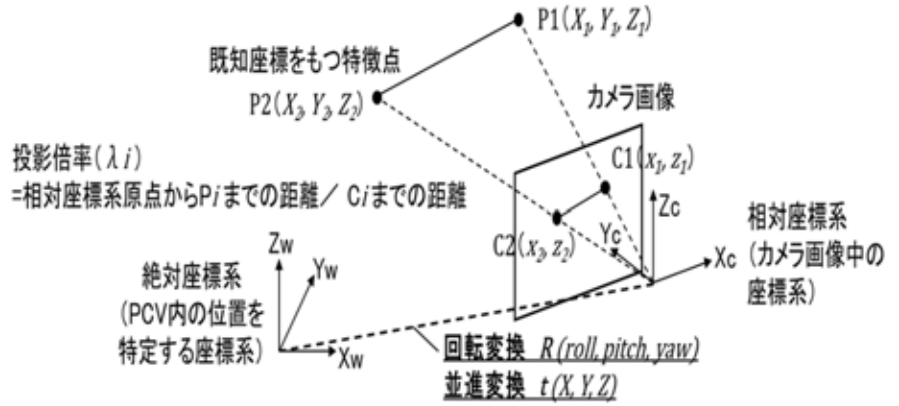


図4.5(3)(i)-1 単眼カメラによる位置特定原理

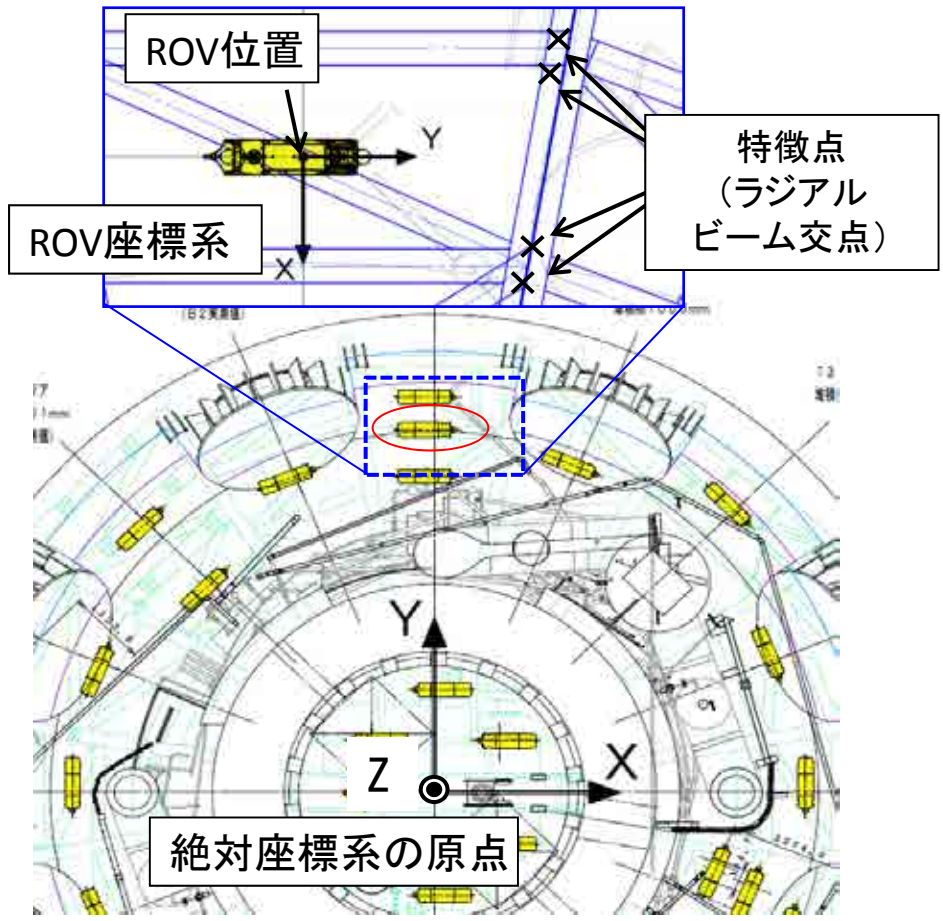


図4.5(3)(i)-2 構造物の特徴点を利用したROVの位置特定方法

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(21/22) —

(3) 位置特定技術 (i) 単眼カメラ (2/3)

【CAD図面による位置特定誤差評価(単体試験)】

- 3D-CAD空間内の特徴点と取得想定画像を用いて位置特定誤差を評価
- 画像中特徴点指定誤差±1画素で最大誤差40mmを確認

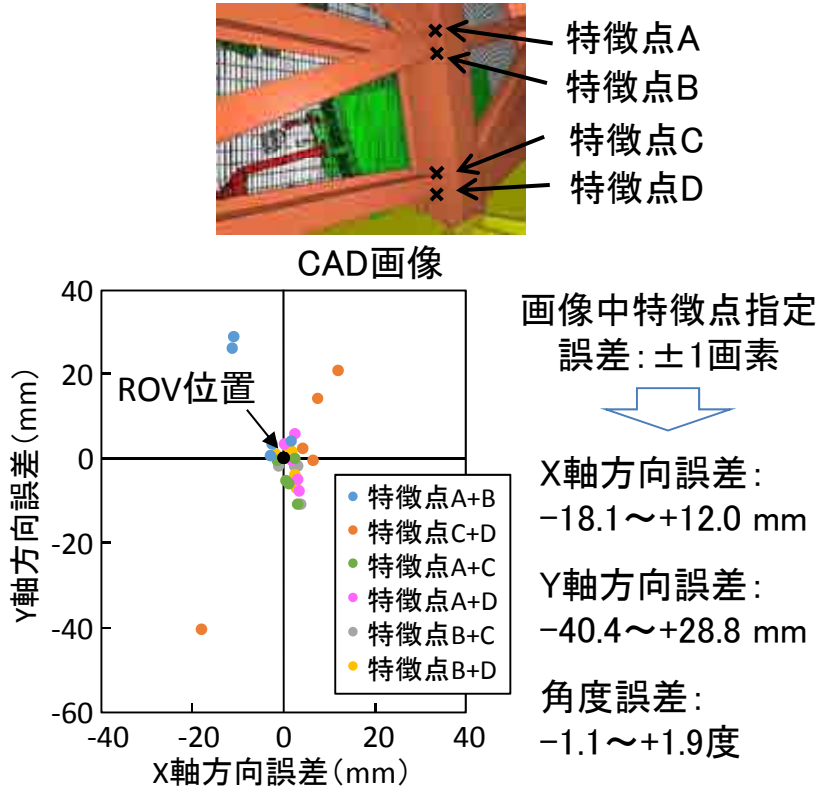


図4.5(3)(i)-3 ROVの位置特定誤差結果例

【実機模擬構造物による評価(組合試験)】

- 実機ラジアルビーム模擬体とROVを測定位置関係を保持して設置し撮像、特徴点の視認可を確認
- 撮像画像からROV位置算出し最大誤差242mmを確認

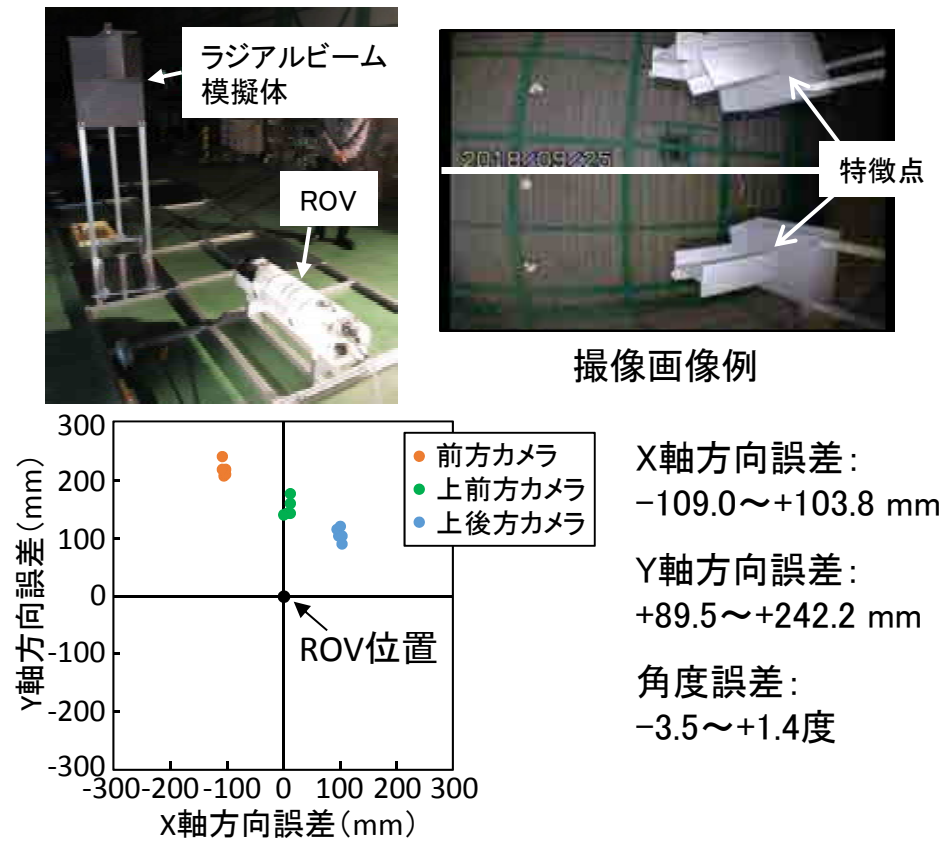


図4.5(3)(i)-4 実機模擬体によるROV位置誤差結果例

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(22/22) —

(3) 位置特定技術 (i)単眼カメラ (3/3)

【カメラ歪み補正・ROV取付位置キャリブレーション(組合試験)】

- 歪み補正プレートを用いた画像の歪みと基準プレートを用いた各カメラ位置の補正
- この補正により最大誤差が242→145mmに低減することを確認

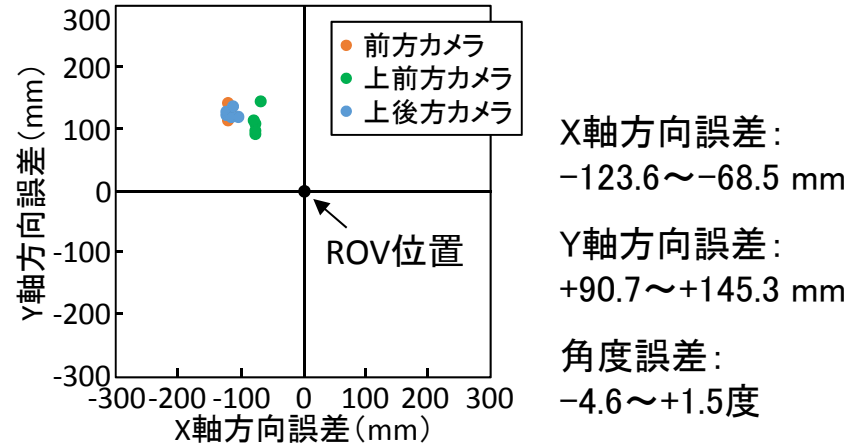
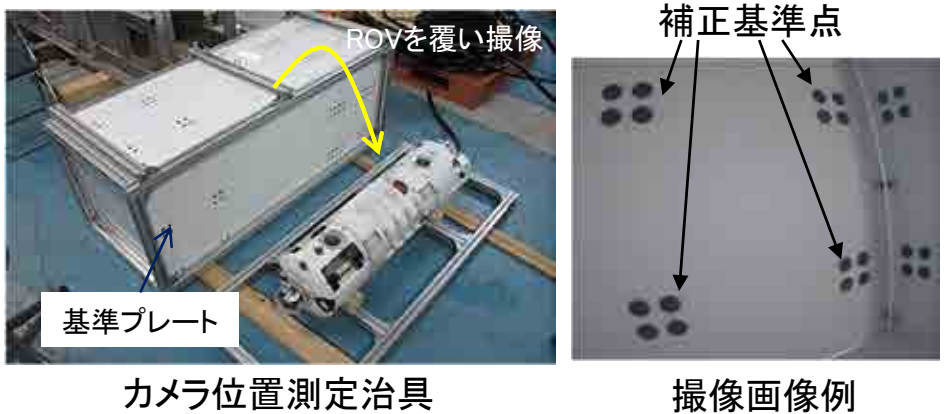
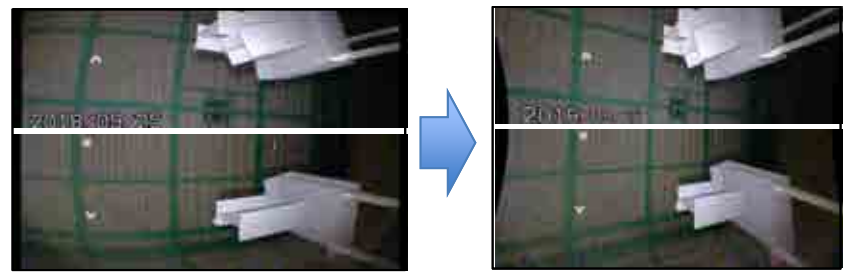
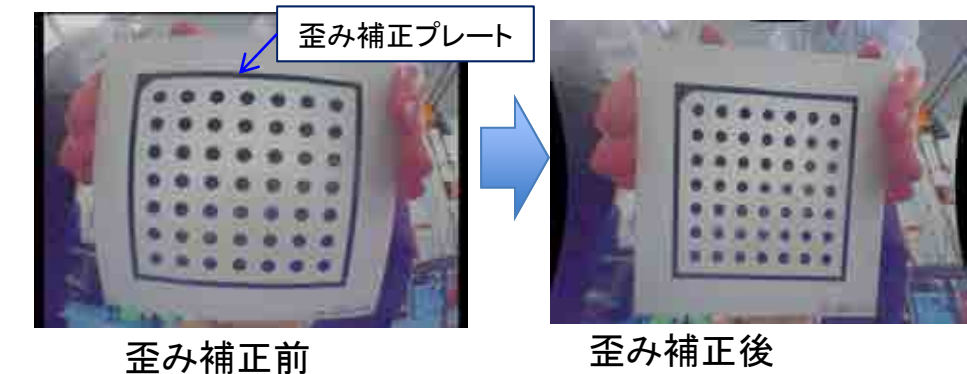


図4.5(3)(i)-5 カメラ歪みおよび位置姿勢算出方法概要

図4.5(3)(i)-6 補正值反映によるROV位置誤差結果例

課題: 視野内の特徴点が電線管等で隠れていた場合の対応など
 対応: 隠れた交点(特徴点)を2本の梁から求める外挿法やジェットデブなどの水中構造物を用いた位置特定など検討する