

平成27年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金

原子炉格納容器漏えい箇所 の補修技術の実規模試験

平成29年度成果報告
(最終報告)

平成30年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

1. 研究の背景・目的	3
2. 目標	4
3. 実施項目とその関連、他研究との関連	12
4. 実施スケジュール	19
5. 実施体制図	21
6. 実施内容	
(1) S/C脚部補強	23
(2) ベント管止水	56
(3) S/C内充填止水	80
(4) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備	101

※ 目次及び本文中の略語については以下の通りとします。

JAEA : 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

PRV : 原子炉圧力容器

PCV : 原子炉格納容器

S/C : サプレションチェンバ

R/B : 原子炉建屋

TRL : 技術熟成度

VR : バーチャルリアリティ

FRM : 遠隔操作装置 (Fukushima Repair Machineの頭文字)

T.P. : 日本水準原点 (東京湾平均海面 (Tokyo Peil : T.P.))

1. 研究の背景・目的

(1) 本研究が必要な理由

福島第一原子力発電所は、高線量、狭隘等の過酷な環境を有しており、人が近づいて廃炉作業を行うことが極めて難しい部分が多く存在している。このため、除染や各部位の調査又は補修等を行う遠隔操作機器・装置を開発し、福島第一原発の廃炉を着実に進める必要がある。

本研究において、「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」の研究開発で開発される技術の実規模試験を実施し、遠隔操作による施工性の確認も含め、その成立性を確認する必要がある。また、実施工を念頭とした手順書を作成し、その手順の妥当性と補修・止水性能の確認を行う。

(2) 本研究の成果の反映先

福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策事業

(3) 成果の反映先への寄与

「東京電力HD株式会社福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」に基づく、号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定ならびに初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に寄与する。

また、実工事計画実施時の有効な検討情報となる。

➤ 目標に照らした達成度（1/8）

下表、TRLの定義に基づき、実規模試験での達成時の想定レベルを設定し、IRID内部レビュー等にて試験条件や開発仕様を明確にし、研究開発を実施する。

レベル	本事業に対応した定義	フェーズ
7	実用化が達成している段階。	実運用
6	現場での実証を行う段階。	フィールド実証
5	実機ベースのプロト機を製作し、工場等で模擬環境下での実証を行う段階。	模擬実証
4	開発、エンジニアリングのプロセスとして、試作レベルの機能試験を実施する段階。	実用化研究
3	従来経験を活用、組み合わせによる開発、エンジニアリングを進めている段階。または、従来経験のほとんど無い領域で基礎データに基づき開発、エンジニアリングを進めている段階。	応用研究
2	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。	応用研究
1	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。	基礎研究

➤ 目標に照らした達成度 (2/8)

(1) PCV下部補修技術の実規模試験		達成の結果
① S / C 脚 部 補 強	1) S/C脚部補強の施工性確認試験 以下の内容を検討・実施。	
	・実機適用に向けた手順書案の作成	平成28年度達成
	・施工性確認試験の実施	
	・遠隔施工性の成立性についての評価	
	・施工手順の成立性についての評価	
	・実機適用に向けた課題抽出	
	(終了時目標TRL: レベル5達成)	レベル5達成
	2) S/C脚部補強材の打設試験 以下の内容を検討・実施。	
	・打設試験の実施	平成29年度達成
	・施工手順の成立性についての評価	
・施工方法(監視方法、打設高さのコントロール等を含む)の成立性についての評価		
・実機適用に向けた課題抽出		
(終了時目標TRL: レベル5達成)	レベル5達成	

2. 目標

➤ 目標に照らした達成度 (3/8)

(1) PCV下部補修技術の実規模試験		達成の結果
② ベント管止水	1) ベント管止水の施工性確認試験 以下の内容を検討・実施。	
	・実機適用に向けた手順書案の作成	H28年度達成
	・施工性確認試験の実施	H29年度達成
	・遠隔施工性の成立性についての評価	
	・施工手順の成立性についての評価	
	・実機適用に向けた課題抽出	
(終了時目標TRL: レベル5達成)		レベル5達成

➤ 目標に照らした達成度 (4/8)

(1) P C V下部補修技術の実規模試験		達成の結果
③ S / C 内 充 填 止 水	1) S/C内充填止水の施工性確認試験 以下の内容を検討・実施。	
	・実機適用に向けた手順書案の作成	平成29年度達成
	・施工性確認試験の実施	
	・遠隔施工性の成立性についての評価	
	・施工手順の成立性についての評価	
	・実機適用に向けた課題抽出	
	(終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成
	2) S/C内充填止水の打設試験 以下の内容を検討・実施。	
	・打設試験の実施	平成29年度達成
	・施工手順の成立性についての評価	
・施工方法 (監視方法、打設高さのコントロール等を含む) の成立性についての評価		
・実機適用に向けた課題抽出		
(終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成	

➤ 目標に照らした達成度 (5/8)

(1) P C V下部補修技術の実規模試験		達成の結果
④ 試験 準備 等	以下の内容を実施。	
	・ JAEA 楯葉遠隔技術開発センターを使用した今後の施設利用計画等に反映できるよう実規模試験利用時の手続き、課題等を取りまとめて報告。	平成29年度 達成
	(終了時目標 T R L : なし)	—

➤ 目標に照らした達成度 (6/8)

(2) 試験後の補強材・止水材の健全性確認		達成の結果
① S / C 脚部補強	1) 材料性能等の分析評価 以下の内容を検討・実施。	
	・補強材の材料性能の分析の実施	平成29年度達成
	・材料性能分析結果より施工状態での健全性を評価 (終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成
	2) 充填状況の評価 以下の内容を検討・実施。	
	・充填部位の充填状況観察	平成29年度達成
	・充填状況観察結果より施工状態での健全性を評価 (終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成

➤ 目標に照らした達成度 (7/8)

(2) 試験後の補強材・止水材の健全性確認		達成の結果
② S / C 内 充 填 止 水	1) 材料性能等の分析評価 以下の内容を検討・実施。	
	・ 止水材の材料性能の分析の実施	平成29年度達成
	・ 材料性能分析結果より施工状態での健全性を評価 (終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成
	2) 充填状況の評価 以下の内容を検討・実施。	
	・ 充填部位の充填状況観察	平成29年度達成
	・ 充填状況観察結果より施工状態での健全性を評価 (終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成

2. 目標

➤ 目標に照らした達成度 (8/8)

(3) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備		達成の結果
① データ精度アップ 遠隔操作機器等の	以下内容を検討・実施。	
	・ 遠隔装置等と必要な作業手順の精度アップ	平成29年度達成
	(終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成
② 効率的な使用方法の確立 VRデータの効果的	以下内容を検討・実施。	
	・ ①の成果を利用したVRデータと実機操作の動作検証 (実規模試験の動作検証)	平成29年度達成
	・ 動作検証結果のVRデータ等への反映	
	・ 動作検証結果に基づく利用課題の抽出	
	・ 使用方法別のVRシステムデータ整備費の費用対効果まとめ	
(終了時目標 T R L : レベル5 達成)	レベル5 達成	

3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 本研究の実施項目（1/5）

（1）原子炉格納容器下部補修技術の実規模試験

① S / C脚部補強

- 施工性確認試験、打設試験。

② ベント管止水

- 施工性確認試験。

③ S / C内充填止水

- 施工性確認試験、打設試験。

④ 試験準備等

- 給排水設備等の維持管理及び運転訓練、濁水処理設備等の適合性検討及び改善、JAEA楯葉遠隔技術開発センターの利用。

3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 本研究の実施項目（2/5）

（2）試験後の補強材・止水材の健全性確認

① S / C脚部補強材の健全性確認

- ・ 材料性能等の分析評価、充填状況の評価。

② S / C内充填止水材の健全性確認

- ・ 材料性能等の分析評価、充填状況の評価。

（3）予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

① 遠隔操作機器等のデータ精度アップ。

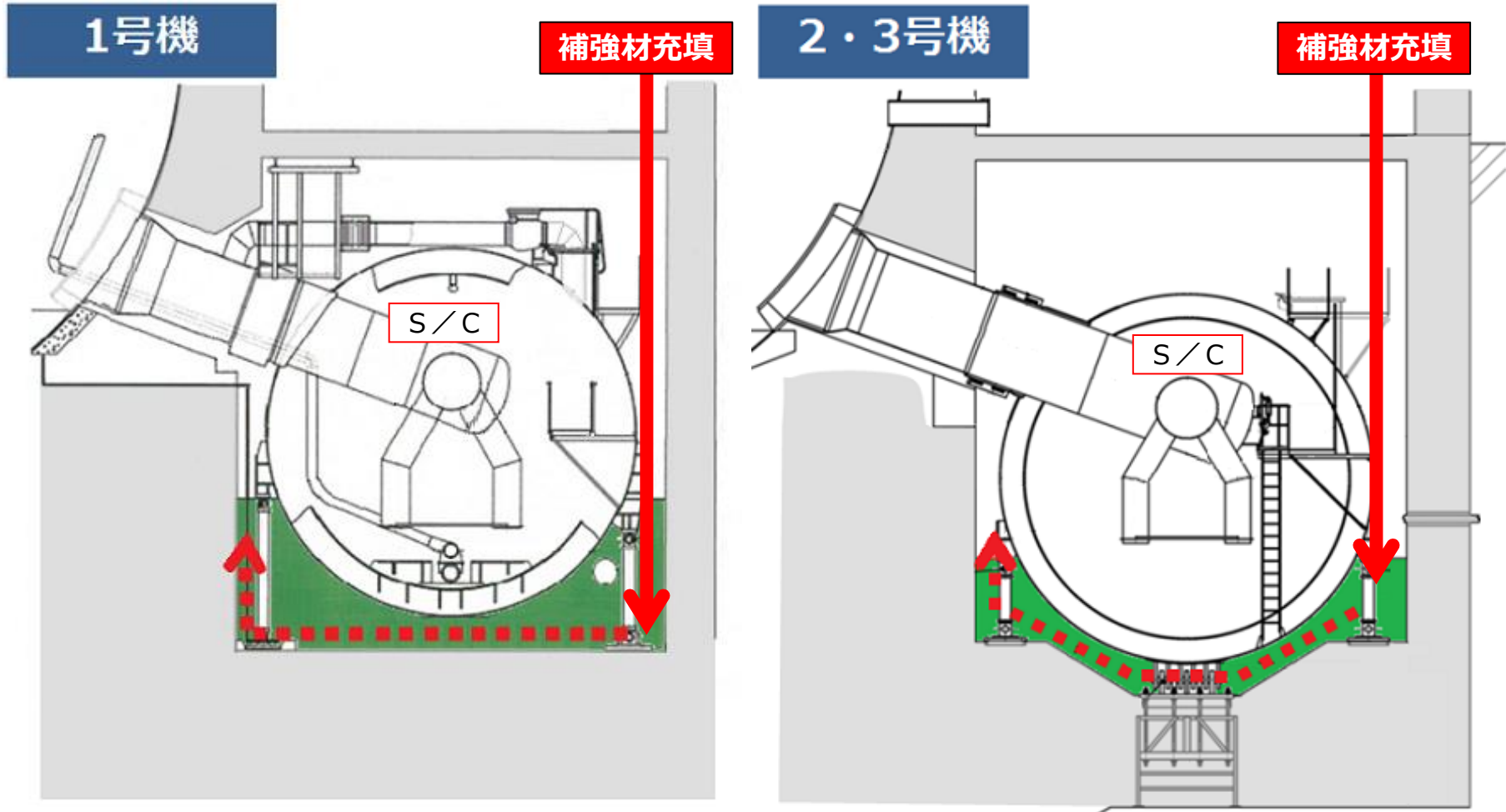
② VRデータの効果的・効率的な使用方法の確立。

3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 本研究の実施項目 (3/5)

(1) S/C脚部補強の概要

S/C内充填止水により止水材の充填による重量増加が見込まれるため、S/Cを支える脚部の耐震補強する技術開発。

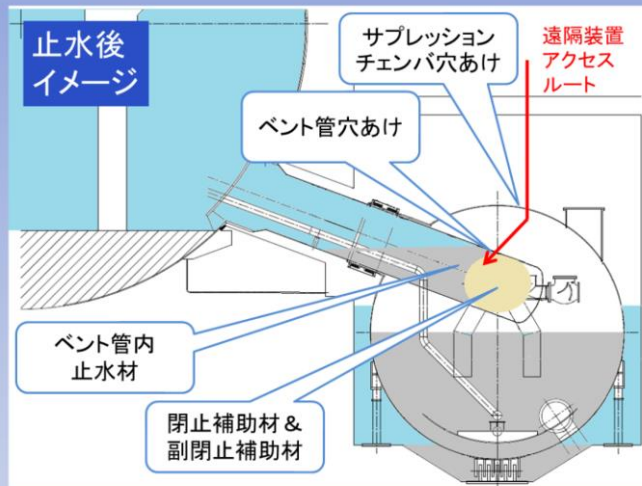


3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 本研究の実施項目（4/5）

（2）ベント管止水の概要

PCVからの漏えいの主経路となるベント管を止水し、水張りができる状態にする技術開発。

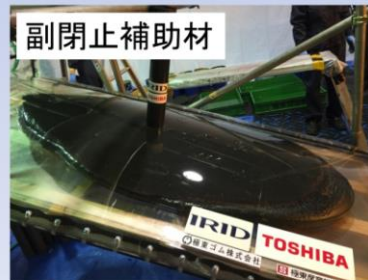


【候補材】

閉止補助材：アラミド系繊維

副閉止補助材：高耐放射性ゴム等

ベント管内止水材：セメント系材料等

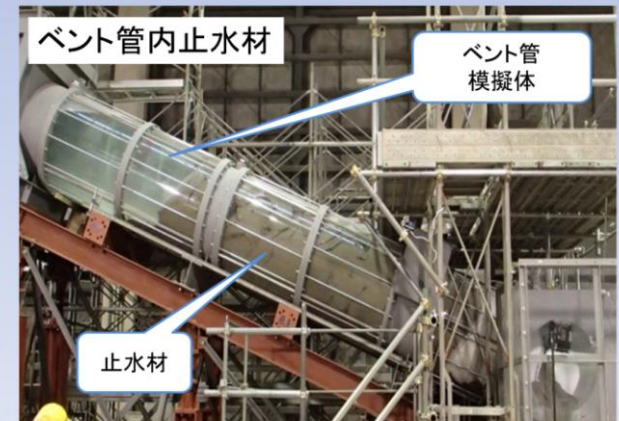


【実施手順】

① サプレッションチェンバ及びベント管へ穴あけ

② ベント管内へ閉止補助材展開及び副閉止補助材による隙間充填

③ ベント管内に止水材を打設



3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 本研究の実施項目 (5/5)

(3) S/C内充填止水の概要

S/C内外の流路となる配管端部（クエンチャ、ストレーナ）及びS/Cの損傷部（φ50mm以下を想定）を止水する。また、ダウンカマ、真空破壊弁までを埋設することでベント管止水のバックアップとなる。

【実施手順】

- ① サプレッションチェンバへ穴あけ
- ② サプレッションチェンバ内へ止水材打設
- ③ ストレーナ、クエンチャを埋設止水

※ダウンカマ、真空破壊弁を埋設止水(オプション)

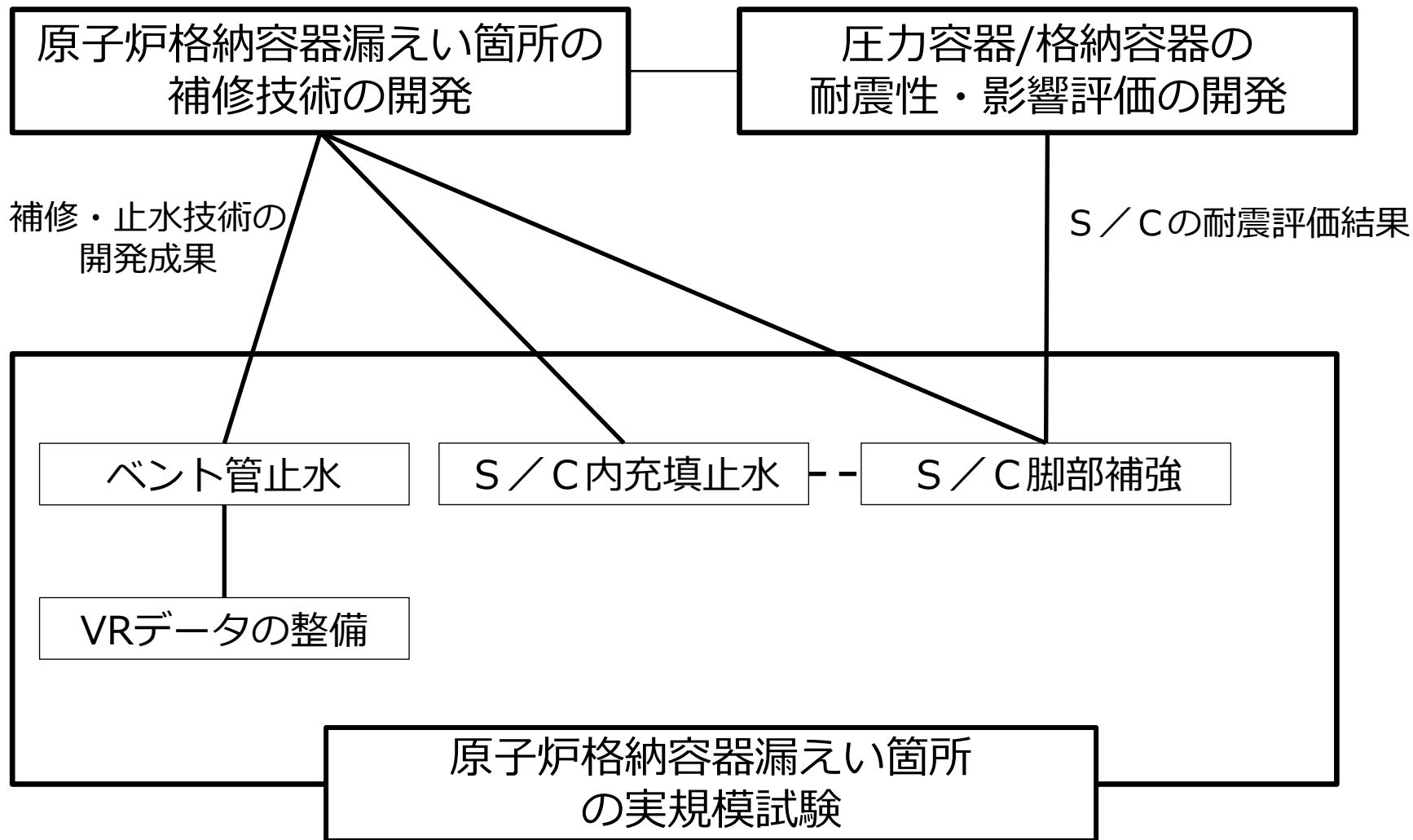
工場試験(コンクリート打設中)

工場試験(ストレーナ埋設前)

【候補材】
サプレッションチェンバ内止水材：
水中不分離性コンクリート

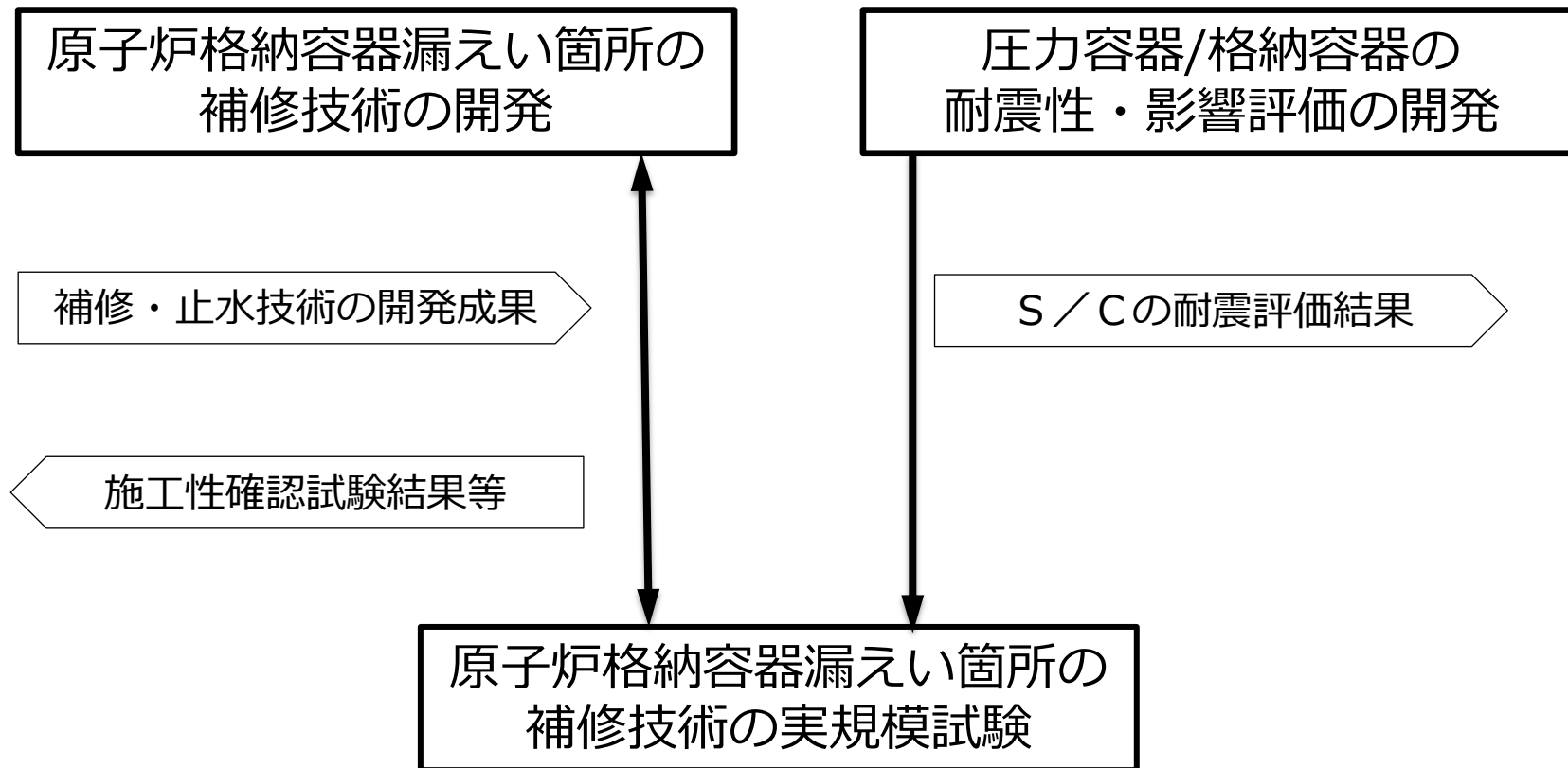
3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 実施項目とその関連



3. 実施項目とその関連、他研究との関連

➤ 他の研究との関連



□ : 研究開発プロジェクト ▷ : インプット ◁ : アウトプット

4. 実施スケジュール (1/2)

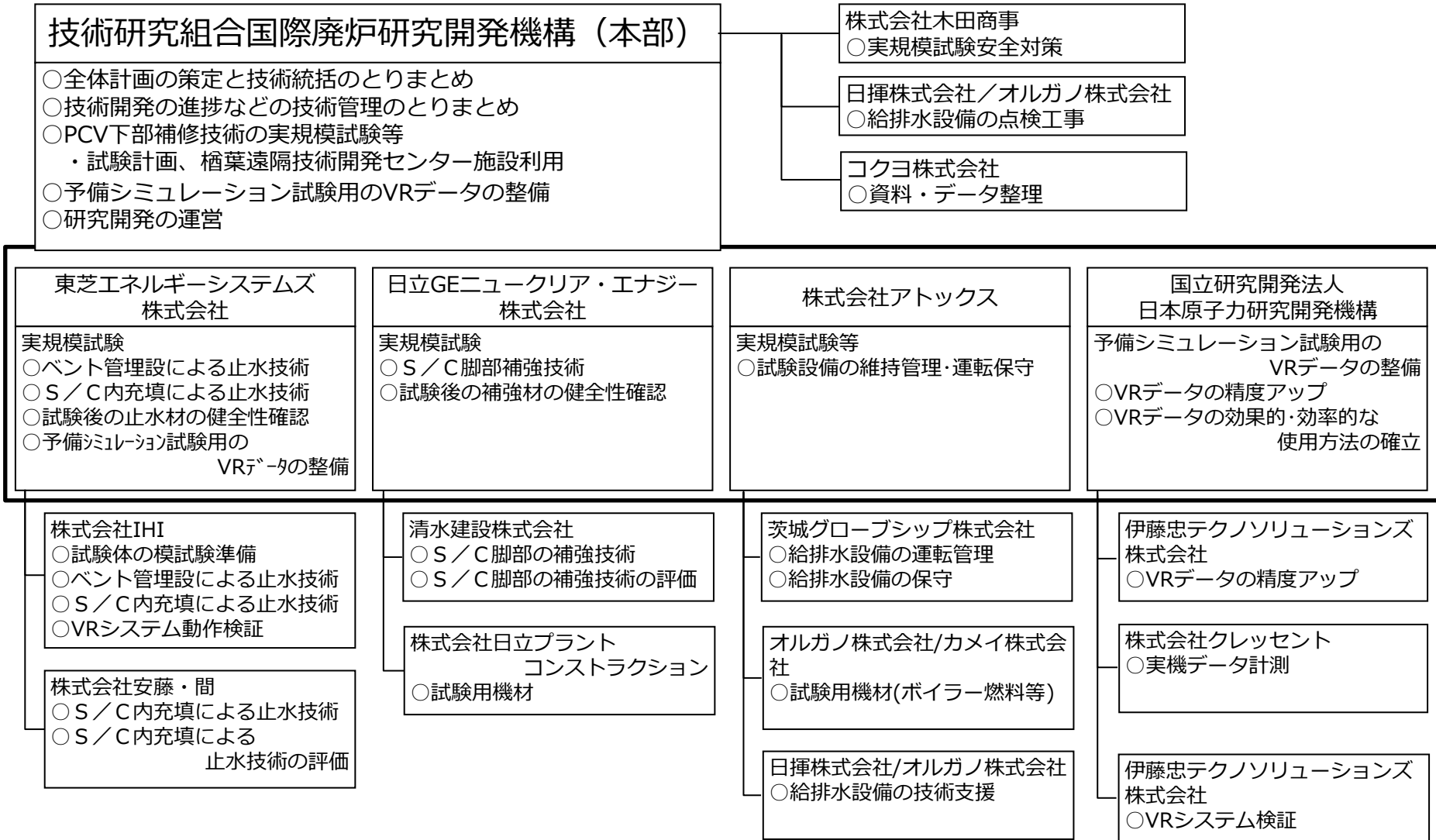
項目	平成28年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
試験準備等												
試験体の準備	[Red dashed box]											
給排水設備等の維持管理及び運転訓練		運転訓練完了 ▼						運転計画・設備運転・維持管理				
濁水処理設備等の適合性検討及び改善	[Red dashed box]											
JAEA楡葉遠隔技術開発センターの利用	[Red dashed box]										利用実績の取り纏め ▼	
S/C脚部補強	[Red dashed box]											
施工性確認試験					試験準備			試験				
打設試験	試験準備				[Red dashed box]							
材料性能等の分析評価												
充填状況の評価												
ベント管止水												
施工性確認試験											[Red box]	
S/C内充填止水												
施工性確認試験												
打設試験												
材料性能等の分析評価												
充填状況の評価												
予備シミュレーション試験用VRデータの整備												
遠隔操作機器等のデータ精度アップ	[Red box]											
VRデータの効果的・効率的な使用方法の確立											データ収集	
主要なマイルストーン		IRIDシンポジウム (8/4) ▲					▲中間報告会 (10/3)					

[Red dashed box] は、平成26年度補正予算で実施した範囲を示す。

4. 実施スケジュール (2/2)

項目	平成29年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
試験準備等												
試験体の準備												
給排水設備等の維持管理及び運転訓練	運転計画・設備運転・維持管理					昇温・給水、濁水排水処理設備点検工事						
濁水処理設備等の適合性検討及び改善				排水分析	排水分析							
JAEA楡葉遠隔技術開発センターの利用	利用実績取り纏め▽											
S/C脚部補強												
施工性確認試験												
打設試験				試験 (7/31打設)								
材料性能等の分析評価						サンプリング・分析						
充填状況の評価					観察							
ベント管止水												
施工性確認試験	(平成29年1月から継続)											
S/C内充填止水												
施工性確認試験				試験 (6/24打設)								
材料性能等の分析評価						サンプリング・分析						
充填状況の評価												
予備シミュレーション試験用VRデータの整備												
遠隔操作機器等のデータ精度アップ												
VRデータの効果的・効率的な使用方法の確立	データ収集 (平成29年2月から継続)					実機解析・検証						
主要なマイルストーン	▲中間報告会 (4/19)				▲IRIDシンポジウム (8/4)				最終報告会 (3/22) ▲			

5. 実施体制図



6. 実施内容

(1) S / C 脚部補強

- ① 施工性確認試験
- ② 打設試験
- ③ 材料性能等の分析評価
- ④ 充填状況の評価

(2) ベント管止水

- ① 施工性確認試験

(3) S / C 内充填止水

- ① 施工性確認試験
- ② 打設試験
- ③ 材料性能等の分析評価
- ④ 充填状況の評価

(4) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

- ① 遠隔操作機器等のデータ精度アップ
- ② VRデータの効果的・効率的な使用方法の確立

(1) S / C脚部補強

6. 実施内容（1）S / C脚部補強

- 目的、目標
- 実施スケジュール、実施事項、成果
 - 1) 実施スケジュール
 - 2) 実施事項
 - 2-1) 打設試験計画
 - 3) 成果
 - 3-1) 施工性確認試験からの改善結果
 - 3-2) S / C脚部補強材の打設試験結果
 - 3-3) 材料性能等の分析評価（途中経過含む）
 - 3-4) 充填状況の評価
 - 3-5) S / C脚部補強材の流動解析結果
 - 3-6) S / C脚部補強材の打設試験まとめ
- 成果の反映先への寄与
- 現場への適用性の観点における分析
- 目標に照らした達成度
- 今後の予定

➤ 目的、目標

「PCV漏えい箇所補修・止水技術の開発(H26-H27)」で開発した補強材を「PCV漏えい箇所補修技術の実規模試験(H26-H27)」で製作した試験体に打設し、施工状態の確認・評価を実施する。

S / C脚部補強の課題である次の項目について、「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」等関連プロジェクトと連携して試験計画を策定する。

- ・補強材打設中にトラス室内の滞留水を建屋外へ漏出させないための操作
- ・号機毎の打設高さの設定
- ・滞留物等の実機環境の模擬

また、以下の試験・評価を実施する。

1) S / C脚部補強材の打設試験

- ・打設試験の実施
- ・施工手順の成立性の評価
- ・施工方法（監視方法、打設高さコントロール等を含む）の成立性の評価
- ・実機適用に向けた課題の抽出

2) 補強材の性能等の分析評価

- ・補強材の材料性能の分析
- ・材料性能の分析結果による補強材の健全性の評価

3) 充填状況の評価

- ・充填部の観察
- ・充填部の観察結果による施工状態の健全性の評価

(終了時目標TRL : レベル5完了)

6. 実施内容（1）S／C脚部補強

No.26

➤ 1) 実施スケジュール

	2017年度（H29年度）												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
主要工程							▼ 中間報告					▼ 最終報告	
1)S／C脚部補強 打設試験													
試験準備・ 片付け	■				■								
打設試験				▼ 7/31 打設試験									
2)材料性能等の 分析評価													
補強材コア抜き、 強度試験・評価					■								
流動解析評価 (樁葉/実機モデル)							■						
3)充填状況の 評価													
充填状況の 観察・評価					■	観察				■			評価

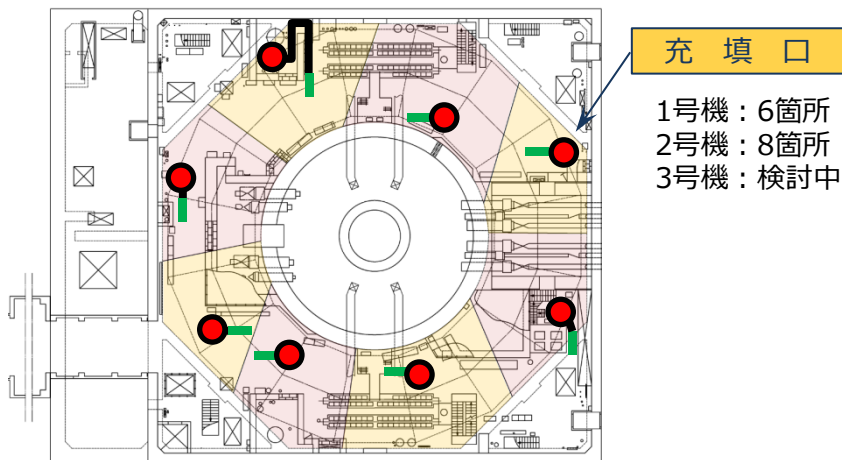
6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 2)実施事項 2-1)打設試験計画 (1)要求事項と制約事項

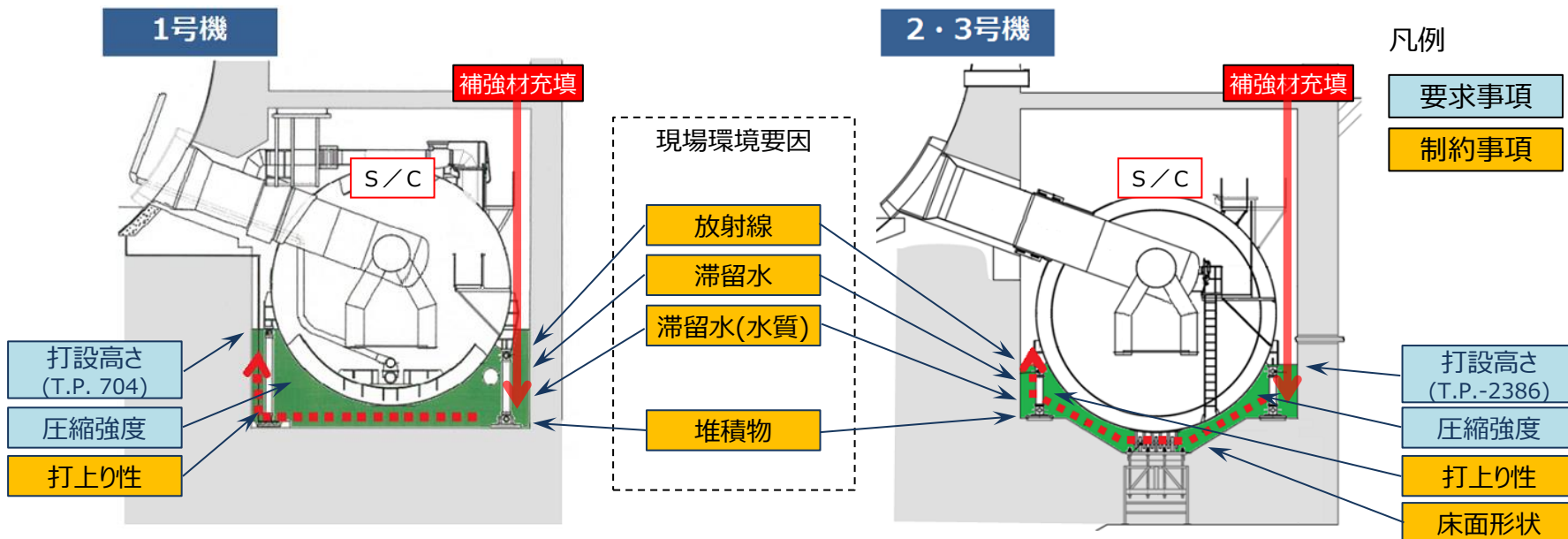
S/C脚部補強工事に於ける、目的を達成するための要求事項と、主に現場環境の要因により対応が必要な制約事項（間接的な要求事項）を図に示す。

RPV/PCVの耐震性・影響評価手法の開発PJ※
からの要求値

要求事項	圧縮強度 (N/mm ²)	打設高さ
1号機	2.4	T.P. 704
2・3号機	8.4	T.P. -2386



充填口
1号機：6箇所
2号機：8箇所
3号機：検討中



※以下本項内では「耐震影響評価PJ」と記す

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 2)実施事項 2-1)打設試験計画 (2)開発状況と課題の整理

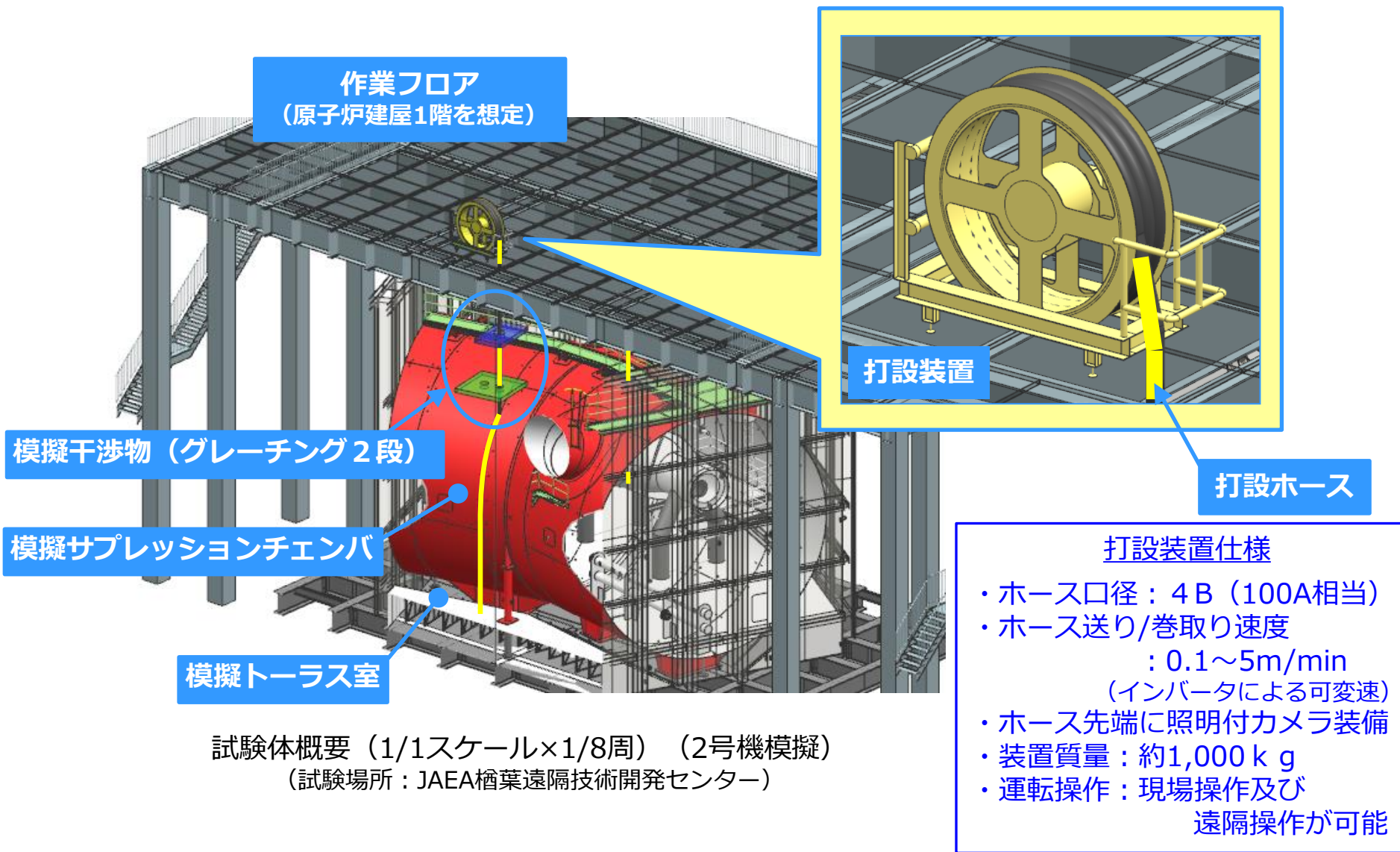
○:確認項目 △:一部確認 ●:確認済 ▲:一部確認済 -:対象外

性能	確認項目	検証方法			備考	
		工場試験	実規模試験	解析評価		
補強材性能	圧縮強度	要求値8.4N/mm ² (T.P.-2386まで補強した場合)を満足することを確認する。	●	(●)	—	実規模試験は工場試験と同等の結果であることを確認した。
	合流部の圧縮強度	合流状況を確認し、強度低下の影響を確認する。	▲	—	●	合流部の強度低下は、実規模試験でも確認できないため、合流状況を流動解析で確認し、強度評価を行い要求圧縮強度を満足することを確認した。
	流動性	補強材練り混ぜ後、長時間にわたり流動性が保持できることを確認する。	●	(●)	—	実規模試験は工場試験と同等の結果であることを確認した。
	長距離流動性	各打設箇所から補強材をトラス室に流動させ、充填できることを確認する。	▲	▲	●	長距離流動は槽業でも確認できないため、流動解析で評価した。
	温度ひび割れの影響	S/C脚部補強はマスコンクリートとなるため、温度ひび割れに対する検討として補強材の温度特性を取得し温度解析で評価する。	●	●	●	実規模試験では、S/C底部と耐震ピット間に熱電対を設置し、温度データを採取・確認した。
	補強材の打ち上がり性	補強材をS/C型側から打設し、反対側へ打ち上がることを確認する。	●	(●)	▲	実規模試験は工場試験と同等の結果であることを確認した。
	補強材の充填性	実機では補強材の充填状況を確認することができないため、試験で充填性に問題ないことを確認する。	●	(●)	—	実規模試験において充填性を確認するとともに、流動解析においても充填性に支障ないことを確認した。
	水質の影響	臨界管理のためにPCV内に注入するホウ酸について、補強材の硬化への影響を確認する。	●	—	—	実規模試験では模擬しない。工場要素試験で確認した。
	放射線の影響	トラス室の放射線環境下において、補強材の硬化への影響を確認する。	●	—	—	実規模試験では模擬しない。工場要素試験で確認した。
	堆積物の影響	トラス室に沈殿している堆積物が補強材の流動を阻害する、もしくは補強材に巻き込まれて強度が低下する可能性について確認する。	●	—	—	実規模試験では模擬しない。工場要素試験で確認した。
	長期健全性	補強材に割れが生じるモードを検討し、S/C支持能力を評価する。	●	—	●	補強材にひび割れが生じても、S/C支持能力に支障ないことを解析により評価した。
	補強材受入時の品質確認	補強材への要求性能(仕様)を満足することを確認する。	●	●	—	フロー値、フリーディング等について試験成績表により品質を確認した。
	補強材打設前の品質確認	練り混ぜ時のサンプルを採取してフローチェックを確認する。	●	●	—	実規模試験では、打設開始前、一定時間毎(1時間毎)の測定を実施し、規定値内であることを確認済。
施工成立性	遠隔施工	被ばく低減の観点から遠隔操作により打設する必要がある。	●	●	—	実規模試験は工場試験と同等の結果であることを確認した。
	打設ホース挿入性	打設ホースをトラス室床面まで障害物を回避しながら挿入できることを確認する。	●	●	—	2号機干渉物を模擬して施工性確認試験で確認済。
	モニタリング	補強材打ち上がり高さの監視と滞留水水位の監視ができることを確認する。	●	●	—	打設試験で補強高さの監視ができることを確認した。
	材料供給設備	補強材を練混ぜするミキサ、圧送ポンプの成立性を確認する。	●	●	—	実規模試験は工場試験と同等の結果であることを確認した。
	長距離圧送	パッチャプラントから打設位置まで長距離圧送が必要となるため、その成立性を確認する。	●	●	—	工場試験及び実規模の打設試験で長距離圧送による成立性を確認した。
	施工中断のリスク	ホース閉塞や材料供給設備のトラブルが発生した場合、想定以上の流動距離となる可能性がある。	—	—	—	実施施工時のリスク評価を実施し、予備品などの対応で回避する方針とした。
	全体手順の確認	実機施工を想定した一連の手順が妥当であることを確認する。	—	●	—	実規模試験で手順を確認し、標準施工要領書にまとめた。
	滞留水	打設中の滞留水水位が地下水水位と逆転しないT.P.-1736以下で管理できることを確認する。	—	●	—	排水ポンプ操作により、T.P.-1736以下で管理できることを確認した。
	打設中の滞留水水質	補強材打設中の滞留水の処理方法について検討する。	●	(●)	—	実規模試験では、濁水処理設備へ移送し、環境基準を満足していることを確認後、排水した。
	打設時間	打ち上がり性が維持できる時間試験にて確認し、制限時間内に打設が完了できるか確認する。	●	(●)	—	2号機を模擬した試験体で、打設時間は5時間52分であり、制限時間(目標10時間)内に施工した。
温度条件	実機で想定される環境温度で施工可能であることを確認する。	●	(●)	—	水と熱による温度上昇データを採取し、温度上昇抑制策を検討した。	

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

No.29

➤ 2)実施事項 2-1)打設試験計画 (3)試験装置概要 (打設装置)



6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

No.30

➤ 2)実施事項 2-1)打設試験計画 (3)試験装置概要 (モニタリングセンサ)

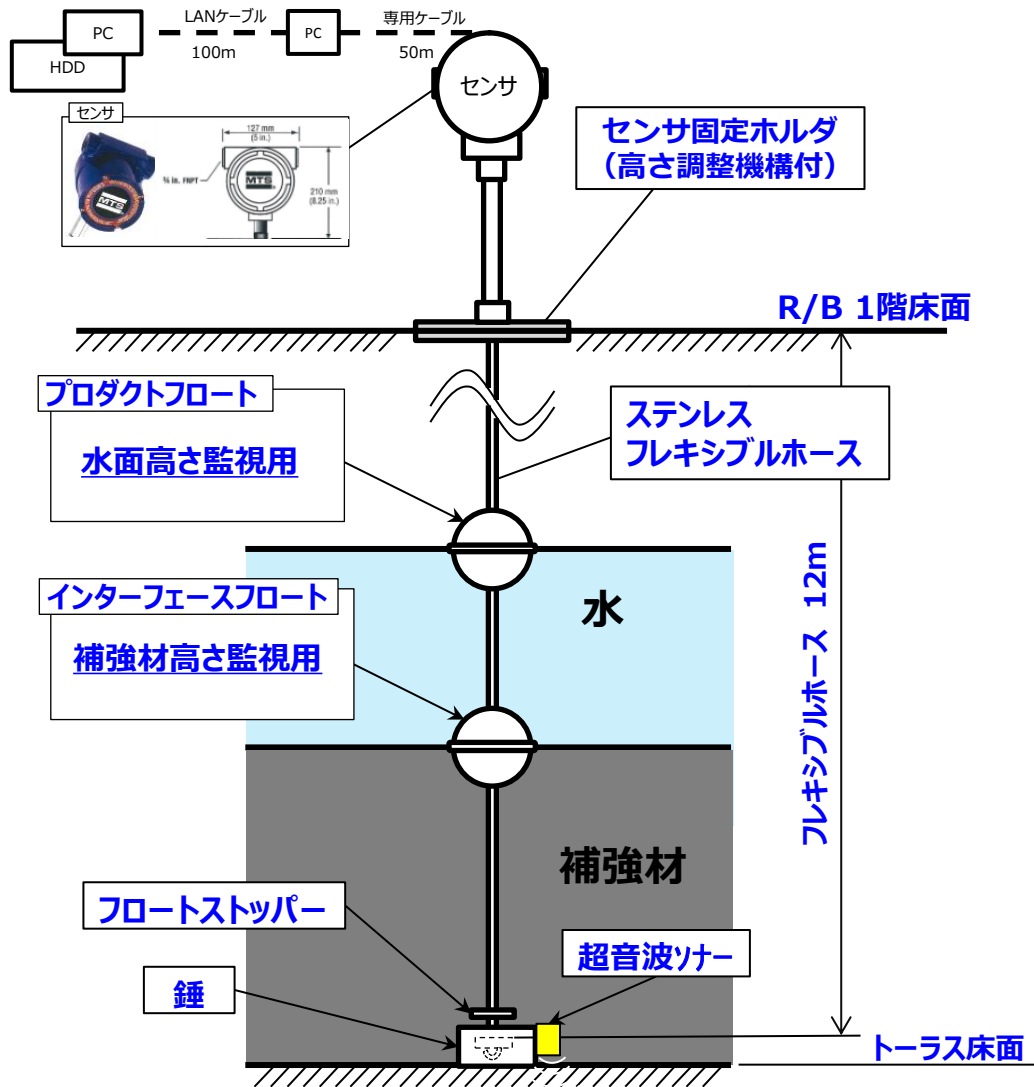
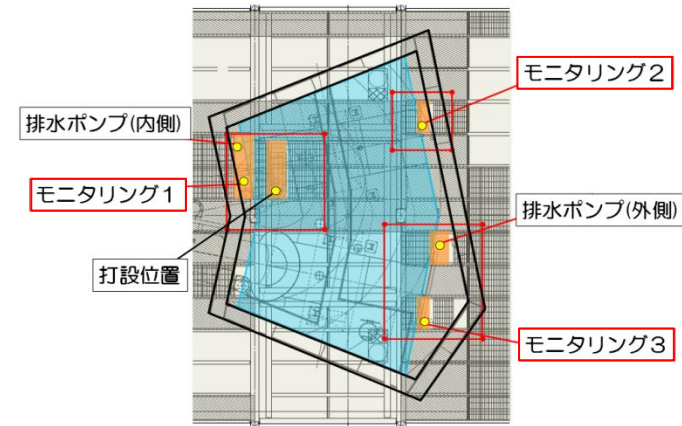


図 モニタリングセンサ概要

モニタリングセンサ設置位置



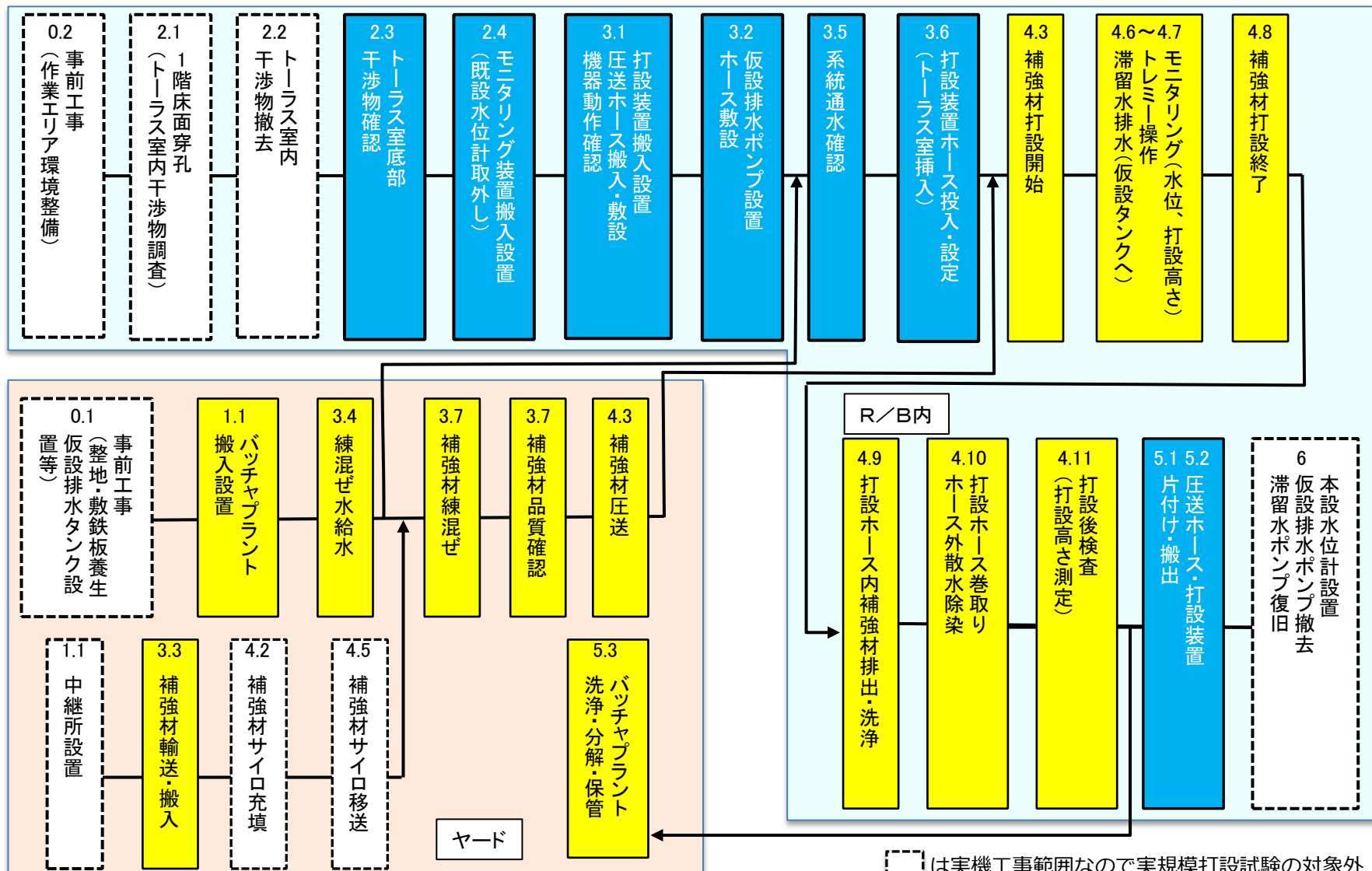
モニタリングセンサ仕様

- ・検出方式：磁歪式
- ・着座検知：錘に超音波ソナーを設置 (錘底面から10mmの位置に設置)
- ・温度計：錘に熱電対を設置
- ・センサ質量：約7kg (+錘5kg)
- ・実規模試験はS / Cの内周側に1セット+外周側に2セットを設置
- ・測定精度：±30mm

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 2)実施事項 2-1)打設試験計画 (4)打設試験フロー

- ・2016/11 施工性確認試験 ■
- ・2017/07 実規模打設試験 ■ + ■

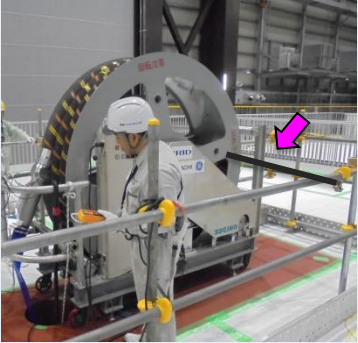
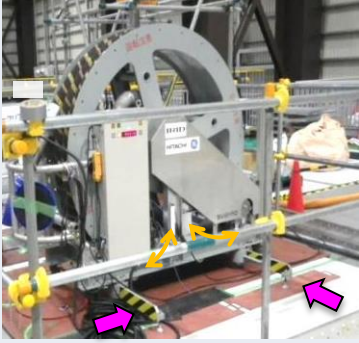

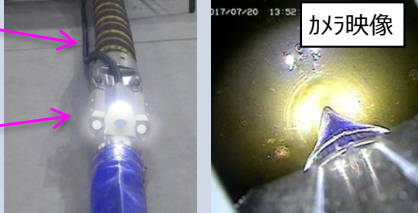



は実機工事範囲なので実規模打設試験の対象外

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-1)施工性確認試験からの改善結果 (1/3)

例 1 : 打設装置改善結果

項目	改善前	改善後	
		改善内容	結果
転倒防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ・単管パイプによる固定方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・可動式アウトリガーを本体に追設 	<ul style="list-style-type: none"> ・装置単独で転倒防止が行えるため、単管パイプ取付/取り外し作業が不要となり、作業工数を削減することができた。
先端カメラケーブルの損傷防止及び照度向上	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラケーブル単独 ・カメラ一体型照明 (1灯) 	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラケーブルをフレキシチューブで補強 ・電池式のLED照明 2 個を追加 (計3灯) 	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラケーブルの保護により ホース挿入作業の損傷防止が図れたこと、滞留水着水時のカメラの視認性が向上したことを確認した。
打設ホース回収時の被ばく対策	-	<ul style="list-style-type: none"> ・遮へい体 (鉛毛マット) を引掛けるフックを追加 	<ul style="list-style-type: none"> ・遮へい体設置を可能としたことで汚染ホースからの被ばく低減が期待できる。(想定対策として実施)

➤ 3)成果 3-1)施工性確認試験からの改善結果 (2/3)


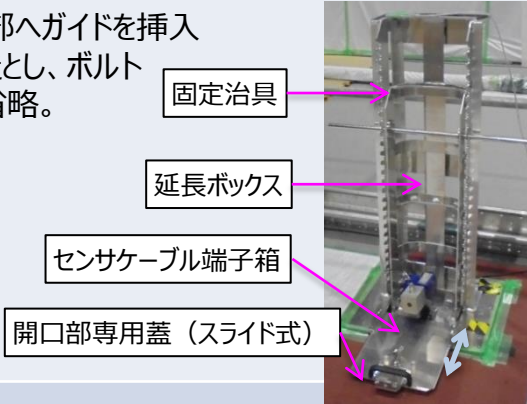
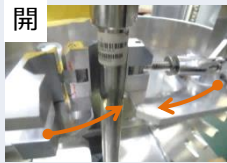



例2：打設装置改善結果

項目	改善前	改善後	
		改善内容	結果
打設ホース先端操作 ロープ 要否判断	全ての箇所 でロープを 使用 	キャットウオークの グレーチング穿孔部では ロープを使用しない ホース設定手順とした。 	ロープを使用しない場合、 作業員を4名から3名に削減 可能なことを確認した。
ホースガイドと カメラケーブルの 引っ掛かり改善	- 	ガイド形状を円筒に変え、 ローラの配置を見直した。 	打設ホース挿入確認時、 パンチルトカメラケーブルの 引っ掛かりがなく作業できること を確認した。

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-1)施工性確認試験からの改善結果 (3/3)

例3：モニタリングセンサ改善結果

項目	改善前	改善後	
		改善内容	結果
装置固定治具の穿孔穴部への設置方法の改善	 <p>・ボルトによる固定</p>	<p>穿孔穴部へガイドを挿入する構造とし、ボルト固定を省略。</p>  <p>固定治具 延長ボックス センサケーブル端子箱 開口部専用蓋 (スライド式)</p>	アンカーボルトの施工手順が省略でき、据付作業性が向上したことを確認した。
固定治具, 延長ボックスの軽量化	・鋼製	アルミ製	装置軽量化により据付作業性が向上したことを確認した。
MTSセンサ固定ネジ止め方法の改善	・ボルトねじ込み式	パッチン錠タイプ  	ボルト締付作業がなくなり、据付作業性が向上したことを確認した。
重り部のセンサ取付構造	・UTセンサ外付式 	UTセンサ埋め込み一体型 	据付作業時にセンサの損傷や引っ掛かりがないことを確認した。

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

No.35

➤ 3)成果 3-2)S / C脚部補強材の打設試験結果 (1)実機施工手順確認結果 (1 / 2)

○ : 確認項目 ● : 確認済 ▲ : 一部確認済 - : 対象外

No.	実機施工手順		高線量 下作業	工場 試験	実規模試験		
					施工性 確認試験	打設試験	
						打設試験での判定基準	確認結果
0	事前工事	-	-	-	-	-	-
1	ヤード準備作業	1.1 バッチャプラント搬入設置	-	●	●	搬入設置できること	● 搬入設置可
2	R/B内準備作業	2.3 S / C下部干渉物調査	-	-	●	作業に支障ないこと	● 支障なし
		2.4 モニタリング装置搬入設置、 既設水位計取外し	○	●	●	設置できること (既設水位計取外しは含まず)	● 設置可
		2.5 排水ポンプ設置、ホース敷設	○	-	●	設置できること	● 設置可
3	打設準備作業	3.1 3.2 打設装置、圧送ホース設置・ 接続、装置動作確認	○	-	●	単体で動作すること	● 動作良好
		3.3 補強材搬入・保管 (中継所)	-	-	-	雨水の影響がないこと	● 影響なし
		3.4 練混ぜ水給水	-	●	●	必要水量が供給できること	● 供給可
		3.5 系統通水漏えい確認	○	-	●	継手部から漏えいしないこと	● 漏えいなし
		3.6 打設装置ホース投入、設定	-	●	●	滞留水水面基準に、 水中へ100mm送り出し設定。 (水面レベルはモニタリング測定値)	● 設定可
		3.7 補強材練混ぜ (材料投入、練混ぜ水注入)	-	●	▲ (通水)	練混ぜが連続してできること	● 連続練混ぜ可
		3.8 補強材品質確認 (フロー試験等)	-	●	-	フロー値 : 270±30mm	● 規定値を満足

6. 実施内容 (1) S / C 脚部補強

No.36

➤ 3) 成果 3-2) S / C 脚部補強材の打設試験結果 (1) 実機施工手順確認結果 (2 / 2)

○ : 確認項目 ● : 確認済 ▲ : 一部確認済 - : 対象外

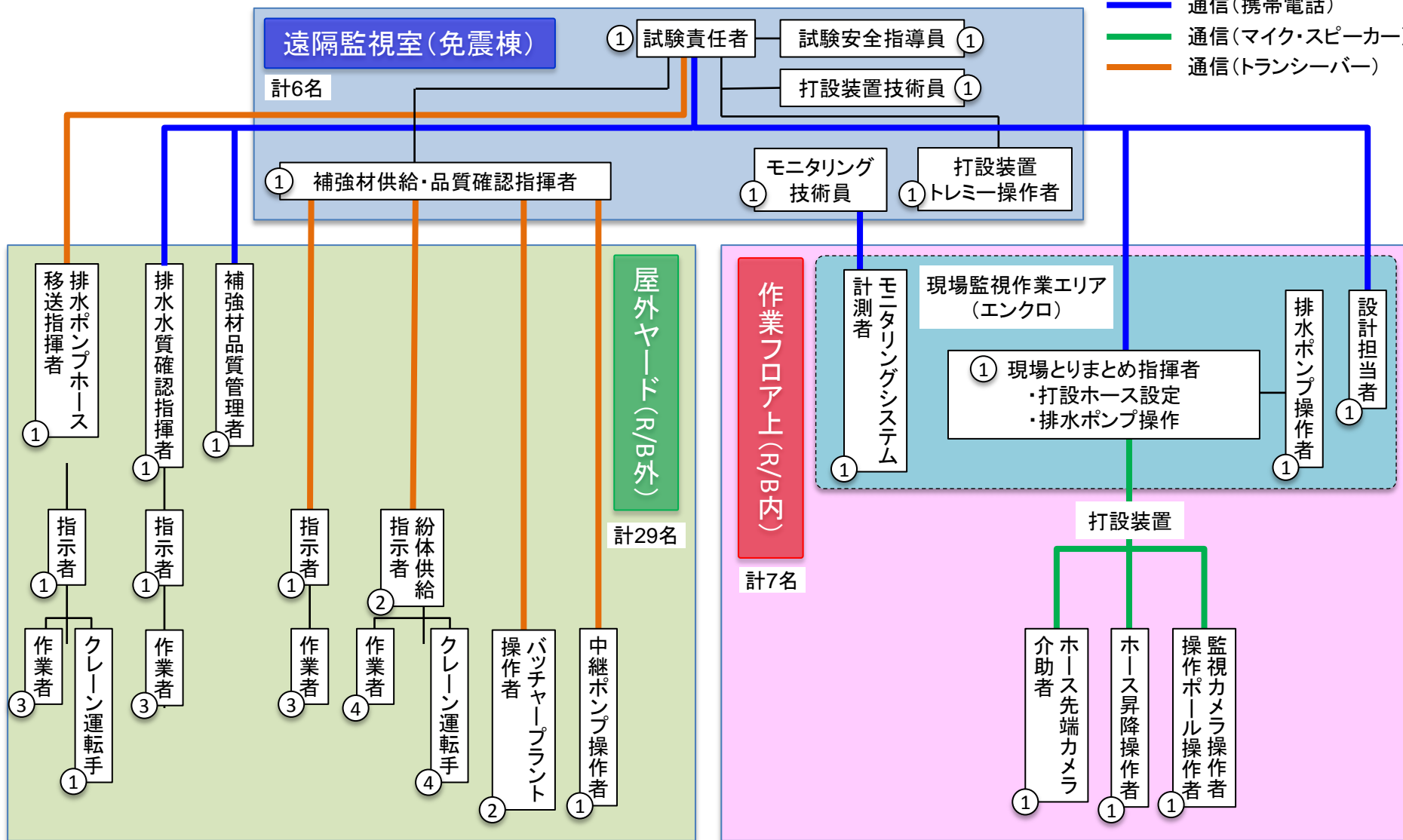
No.	実機施工手順	高線量 下作業	工場 試験	実規模試験			
				施工性 確認試験	打設試験		
					打設試験での判定基準	確認結果	
4	補強材打設	4.1 補強材圧送、打設開始	-	●	▲ (通水)	打設流量 : 15~30m ³ /h	● 規定値を満足
		4.6 4.7 打設状況モニタリング、 トレミー操作、滞留水排水	-	●	▲ (通水)	打設高さに応じてトレミー操作 できること。 打設中の水位 : T.P.-1736以下	● トレミー操作可 滞留水排水可
		4.2 4.5 補強材補給 (材料充填、移送)	-	-	-	補強材が連続供給できること	● 供給可
		4.8 規定高さ到達打設完了	-	-	▲ (通水)	打設高さ : T.P.-2036以下 T.P.-2386以上	● 規定値を満足
		4.9 圧送ホース内補強材排出、洗浄	-	●	-	補強材排出・洗浄ができること	● 排出・洗浄可
		4.10 打設ホース巻取り、散水除染	○	●	●	巻取り、散水ができること	● 巻取り・散水可
		4.11 打設後検査 (打設高さ測定)	○	●	-	打設高さ : T.P.-2036以下 T.P.-2386以上	● 規定値を満足
5	片付け	5.1 5.2 圧送ホース解体、打設装置搬出	○	●	●	ホース解体、装置搬出できること	● 解体・搬出可

実機を想定した手順に従って打設できることを確認した。

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

➤ 3)成果 3-2)S / C脚部補強材の打設試験結果 (2)試験実施体制

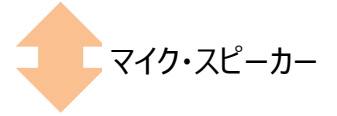
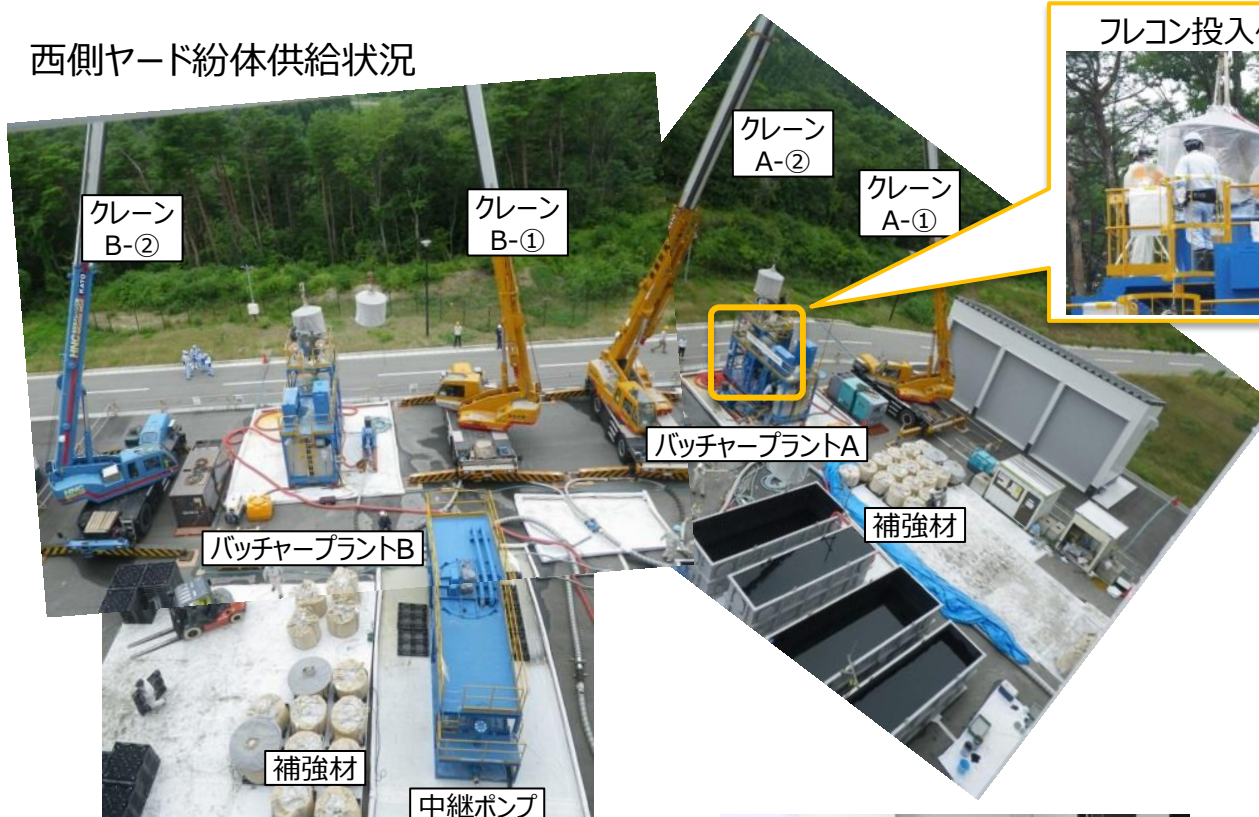
- 人数
- 通信(携帯電話)
- 通信(マイク・スピーカー)
- 通信(トランシーバー)



6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

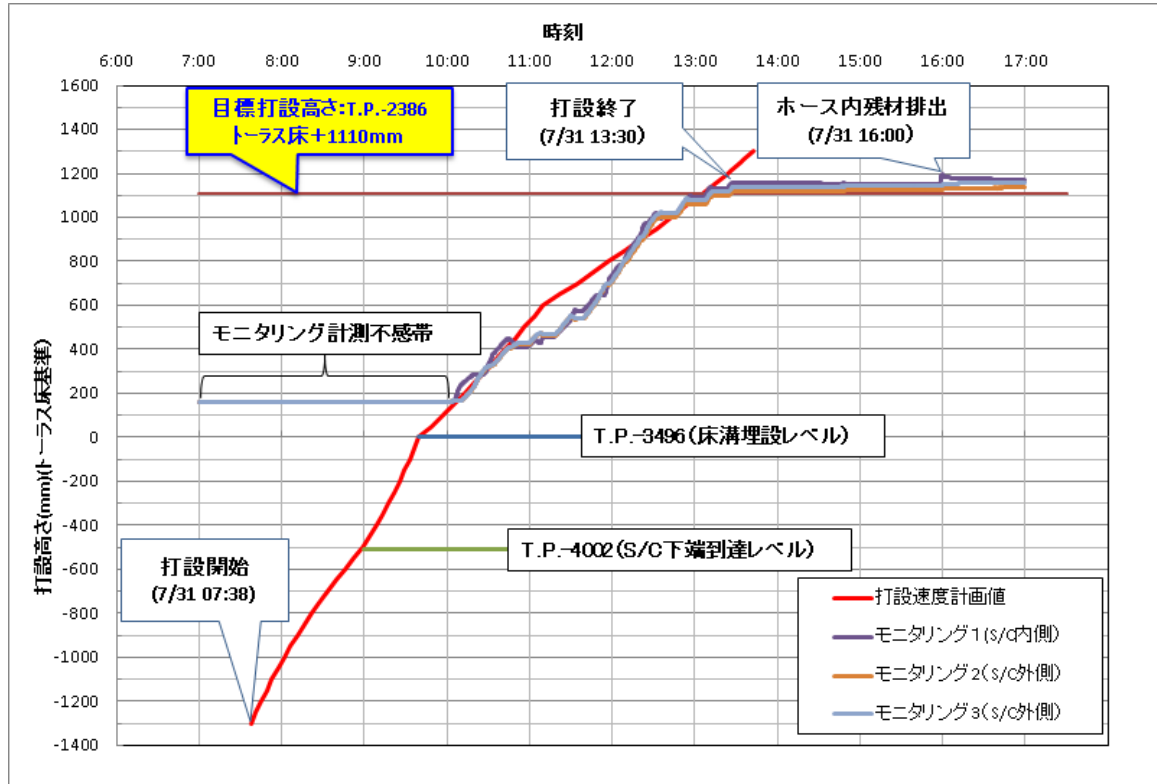
➤ 3)成果 3-2)S / C脚部補強材の打設試験結果 (3)打設試験状況

西側ヤード紛体供給状況



6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

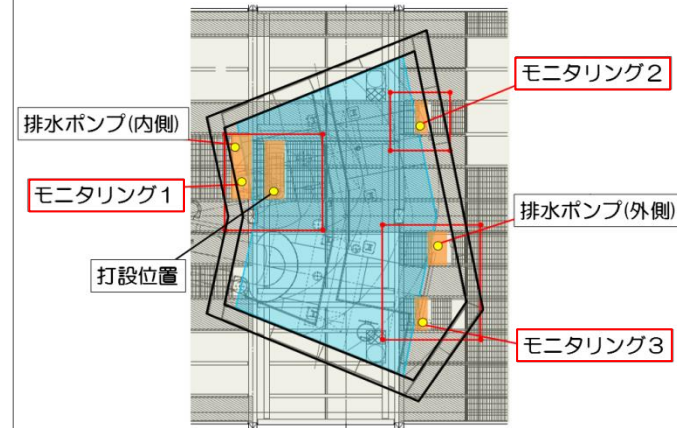
➤ 3)成果 3-2)S/C脚部補強材の打設試験結果 (4)モニタリングセンサによる打設高さ計測結果



※トラス室床面 (T.P.-3496) を高さ [ゼロmm] とする。

モニタリングにより、打設高さ (打設量) をコントロールし
目標高さまで打設できることを確認した。

モニタリング設置位置



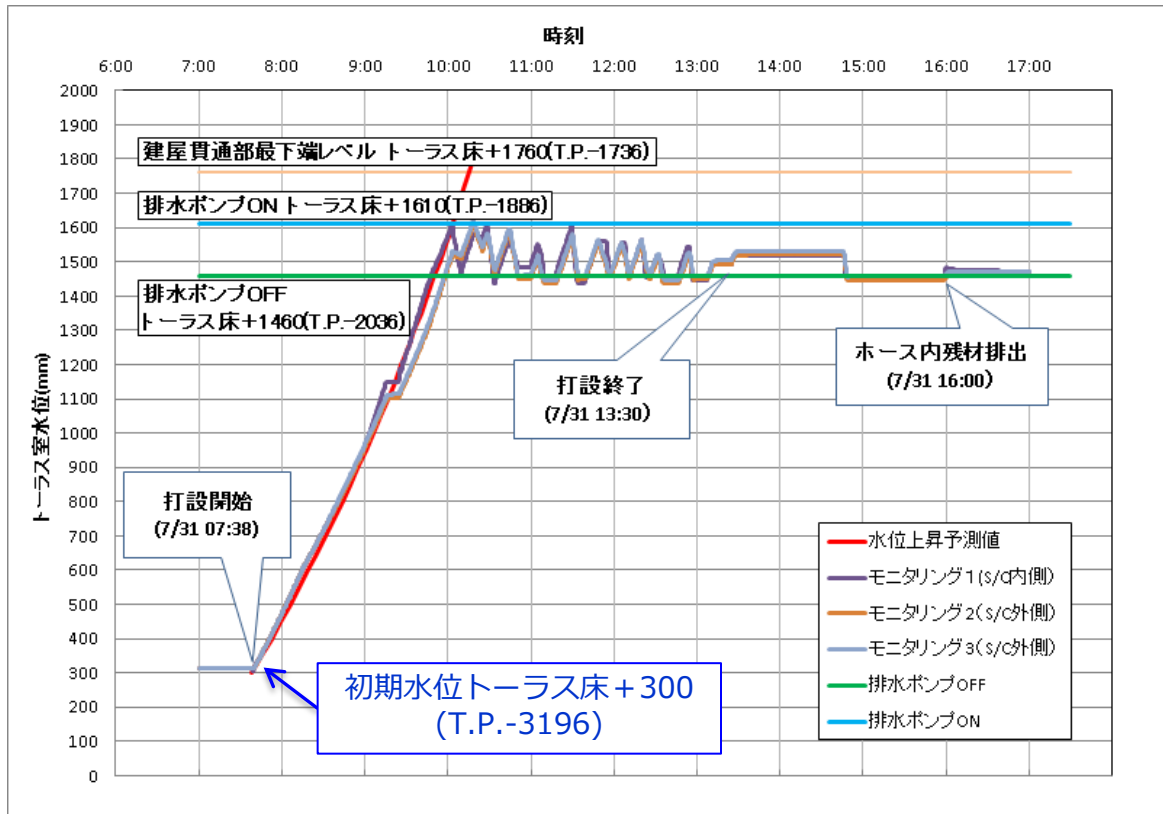
打設終了から24時間後の補強材高さ

	ホース内 残材排出時 (7/31 17時)	24時間後 (8/1 17時)
モニタリング1 (内側)	1,192	1,179 (-13)
モニタリング2 (外側)	1,160	1,167 (+7)
モニタリング3 (外側)	1,176	1,185 (+9)

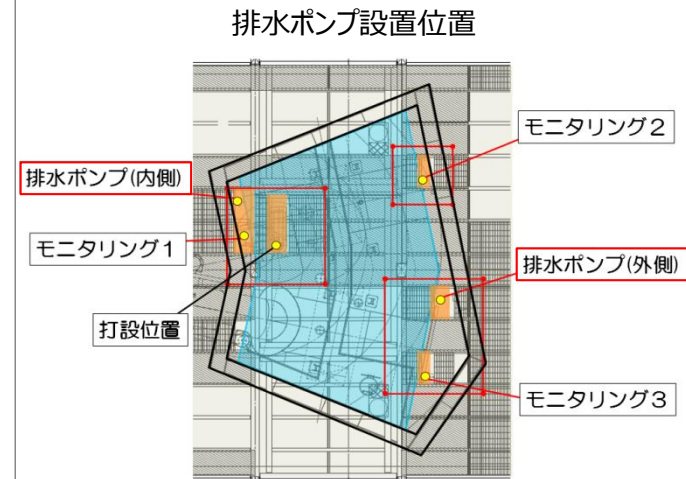
単位 : mm

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-2)S/C脚部補強材の打設試験結果 (5)排水ポンプによる滞留水排水結果



※トラス室床面 (T.P.-3496) を高さ [ゼロmm] とする。



【排水ポンプ仕様】
容 量 : 30m³/h
揚 程 : 15m以上

S/C内外に各1台設置した排水ポンプを操作し、トラス室の水位コントロールが可能なことを確認した。

6. 実施内容（1）S／C脚部補強

No.41

➤ 3)成果 3-3)材料性能等の分析評価 (1)補強材の品質確認結果

品質確認項目であるテーブルフロー試験（基準値 $270\pm 30\text{mm}$ ）を行い、打設前、打設中の全てにおいて基準値を満足していることを確認した。

測定時期		測定時刻	テーブルフロー 基準値 270 ± 30 (mm)	(参考) 補強材の 練り上がり温度 ($^{\circ}\text{C}$)	(参考) 練混ぜ水温 ($^{\circ}\text{C}$)	(参考) 外気温 ($^{\circ}\text{C}$)	
打設前	作液装置A	06:20	284×284	30.0	25.0	24.1	
	作液装置B	06:28	292×292	30.0	25.0	24.1	
打設中	打設開始 1時間後	作液装置A	08:39	277×280	32.0	26.0	26.0
		作液装置B	08:50	286×286	31.0	26.0	25.7
	打設開始 2時間後	作液装置A	09:39	277×277	33.0	27.0	27.4
		作液装置B	09:49	287×287	33.0	27.0	27.0
	打設開始 3時間後	作液装置A	10:39	283×278	34.0	27.0	28.1
		作液装置B	10:49	285×288	33.0	27.0	28.2
	打設開始 4時間後	作液装置A	11:37	286×286	33.0	27.0	28.1
		作液装置B	11:48	286×284	34.0	26.0	28.7
	打設開始 5時間後	作液装置A	12:37	283×283	34.0	28.0	29.5
		作液装置B	12:47	285×284	35.0	28.0	29.7

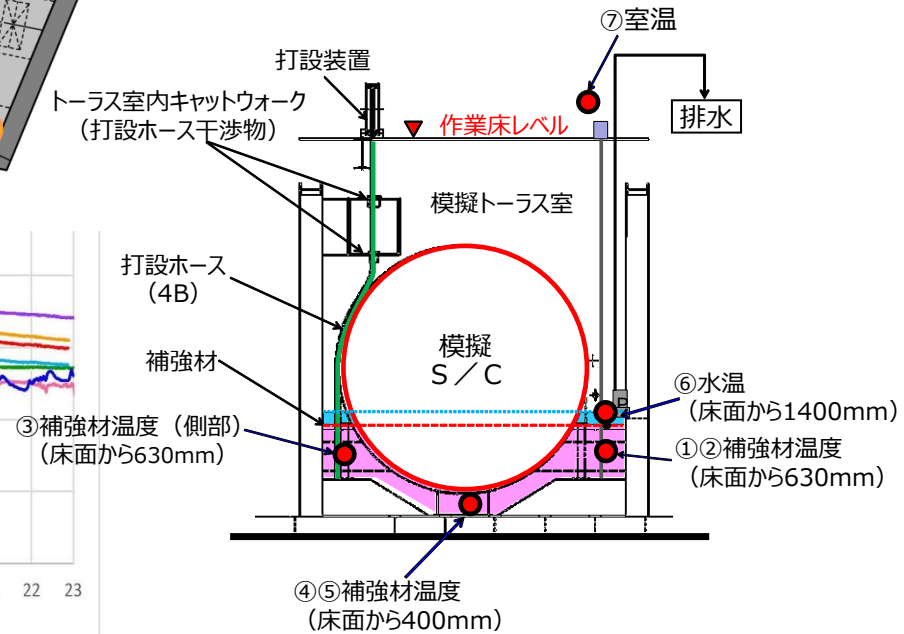
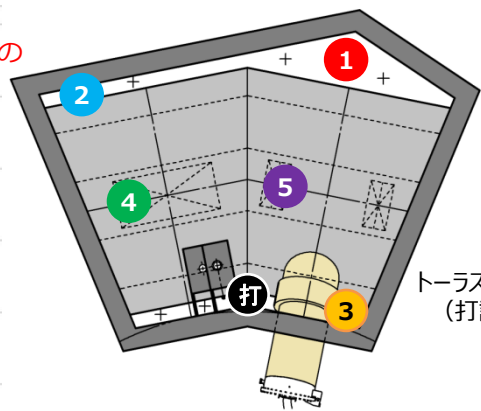
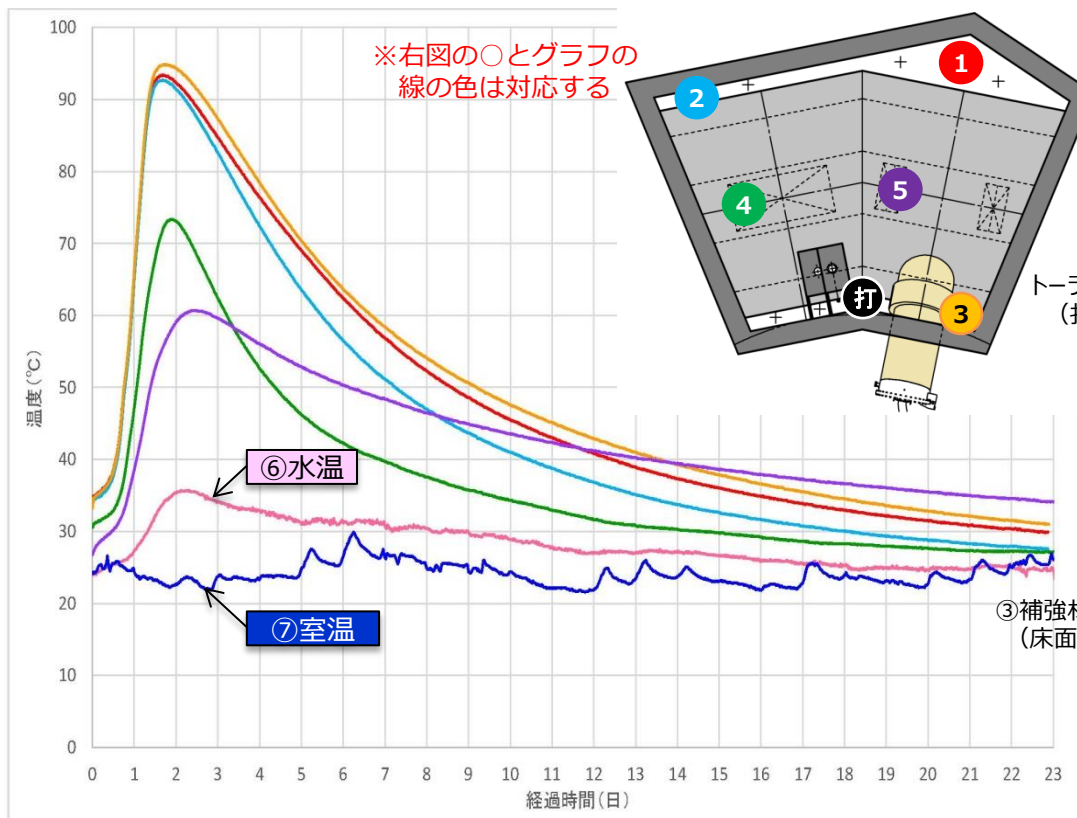
6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-3)材料性能等の分析評価 (2)熱電対による補強材打設後の温度測定結果

- ・打設から1~2日経過時点で補強材の温度が最も高くなることを確認した。
→熱解析結果と同等であることを確認した。
- ・IRID内レビューワーキングから高温履歴を受けるとDEF(トリチウム遅延生成)による膨張ひび割れのリスクが高まるとの指摘を受け、水和熱低減対策の検討を行うこととした*。【PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)で実施】
(*材料開発当初は圧縮強度の増強が最優先とされたため、水和熱に対しては対策が十分でなかった。)

ピーク温度 (経過時間)	
① 93.3℃ (40h後)	} 床面 +630mm
② 92.7℃ (40h後)	
③ 94.9℃ (41h後)	
④ 73.4℃ (45h後)	} 溝底面+400mm
⑤ 60.7℃ (57h後)	
⑥ 水温 24℃ (打設前)~35.7℃ (51h後)	
⑦ 室温 21.6~29.9℃ (作業台上)	

打 打設位置



6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

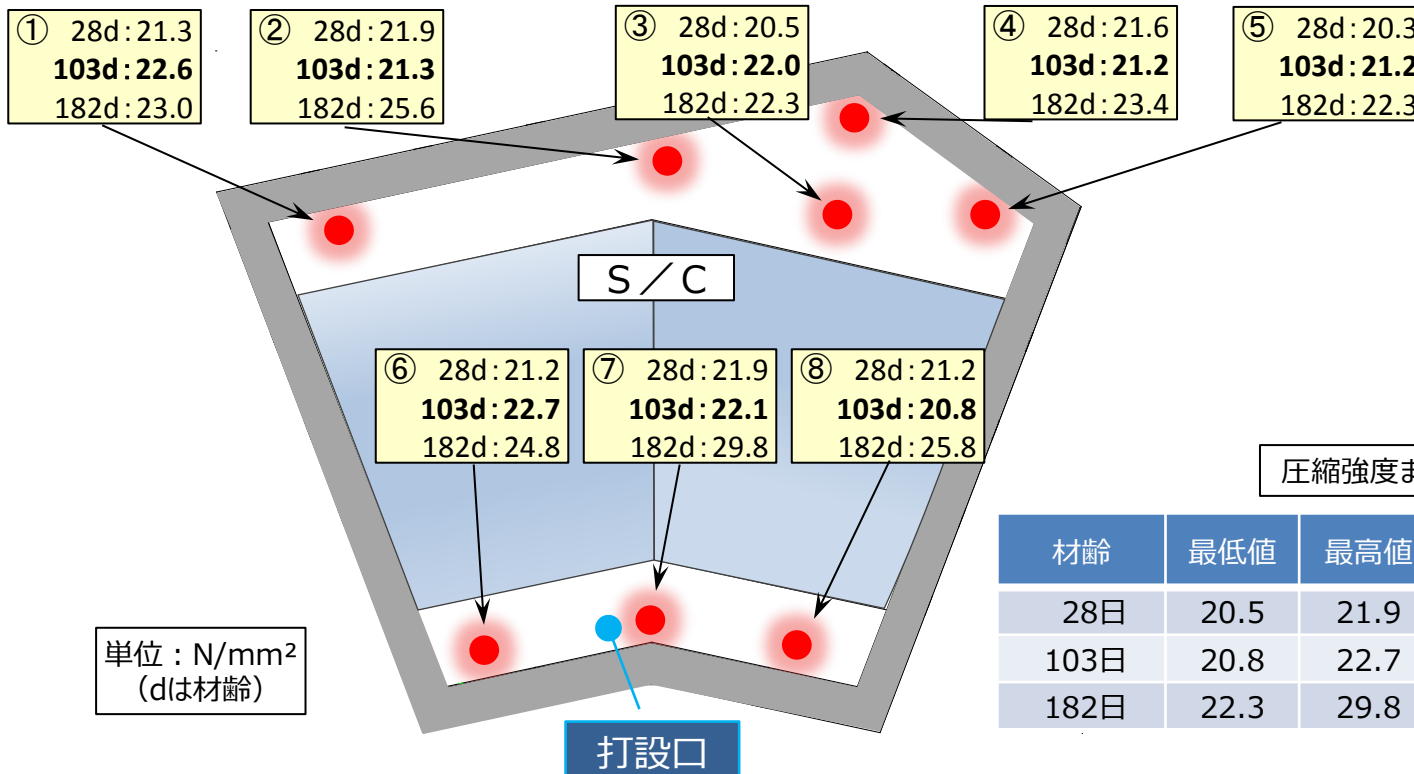
➤ 3)成果 3-3)材料性能等の分析評価 (3)コア採取マップと圧縮強度試験結果

材齢28,103^{*},182日のコアに対して圧縮強度試験を行い、「耐震影響評価PJ」の要求強度8.4N/mm²を満足していることを確認した。

※圧縮強度は91日で評価するが、28日コアと同時採取したことで養生状態の違いによる影響があったため、103日目に追加コア採取を実施し、91日相当として評価した。

参考データ (工場試験)

試験名	91d圧縮強度 平均値
40m水路試験	23.1 N/mm ²
1/1打上り試験	24.1 N/mm ²
1/1平面流動試験	24.5 N/mm ²



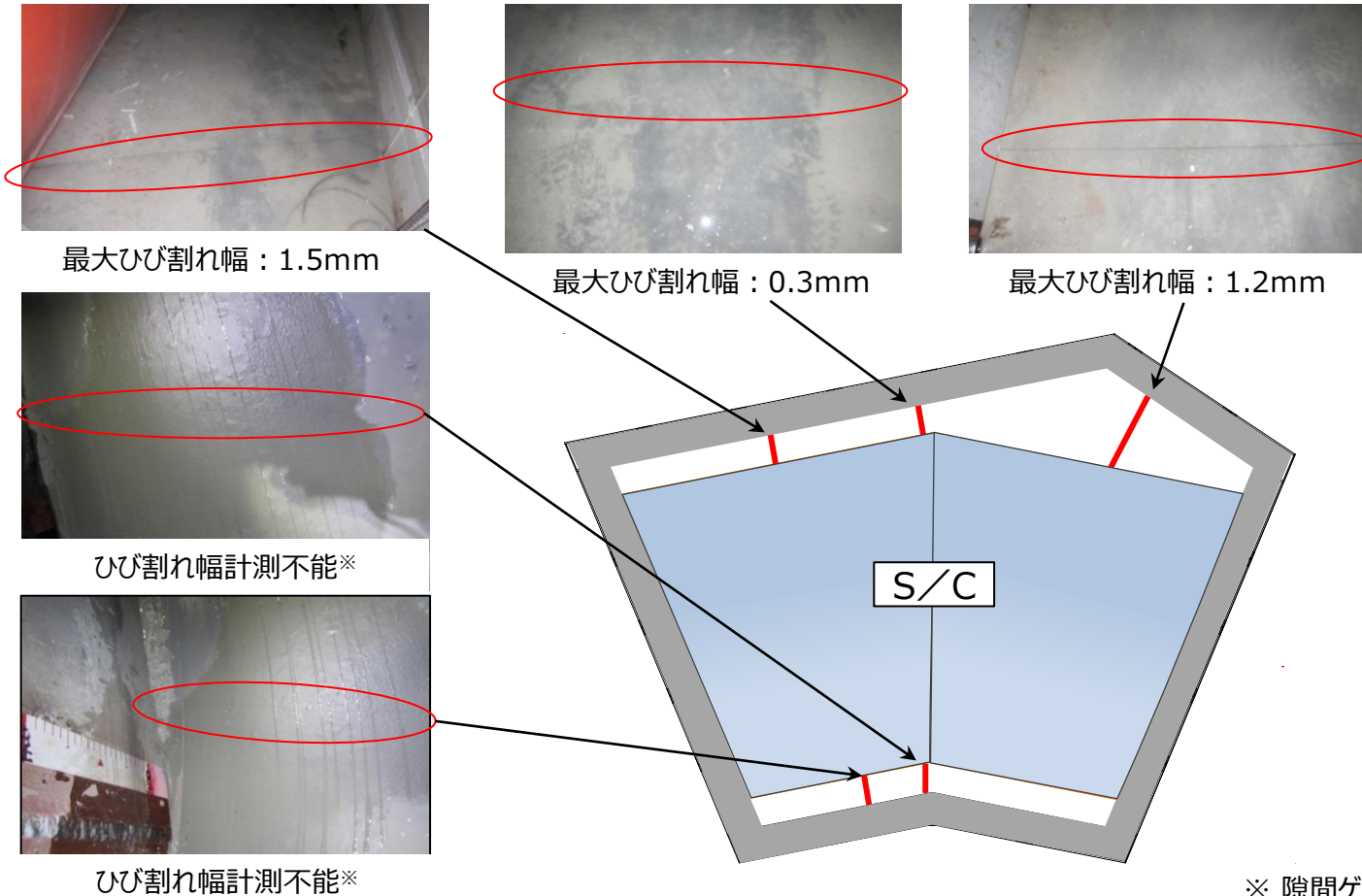
圧縮強度まとめ

単位 : N/mm²

材齢	最低値	最高値	平均値	要求強度
28日	20.5	21.9	Ave. 21.2	8.4
103日	20.8	22.7	Ave. 21.7	
182日	22.3	29.8	Ave. 24.6	

➤ 3)成果 3-3)材料性能等の分析評価 (4)ひび割れ観察結果

最大幅1.5mmの温度ひび割れの発生を確認した。
温度ひび割れの方向・ピッチを、「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」で
実施するS / C支持の有効性確認の評価条件とした。(なお、ひび割れによる止水
への影響は無い)

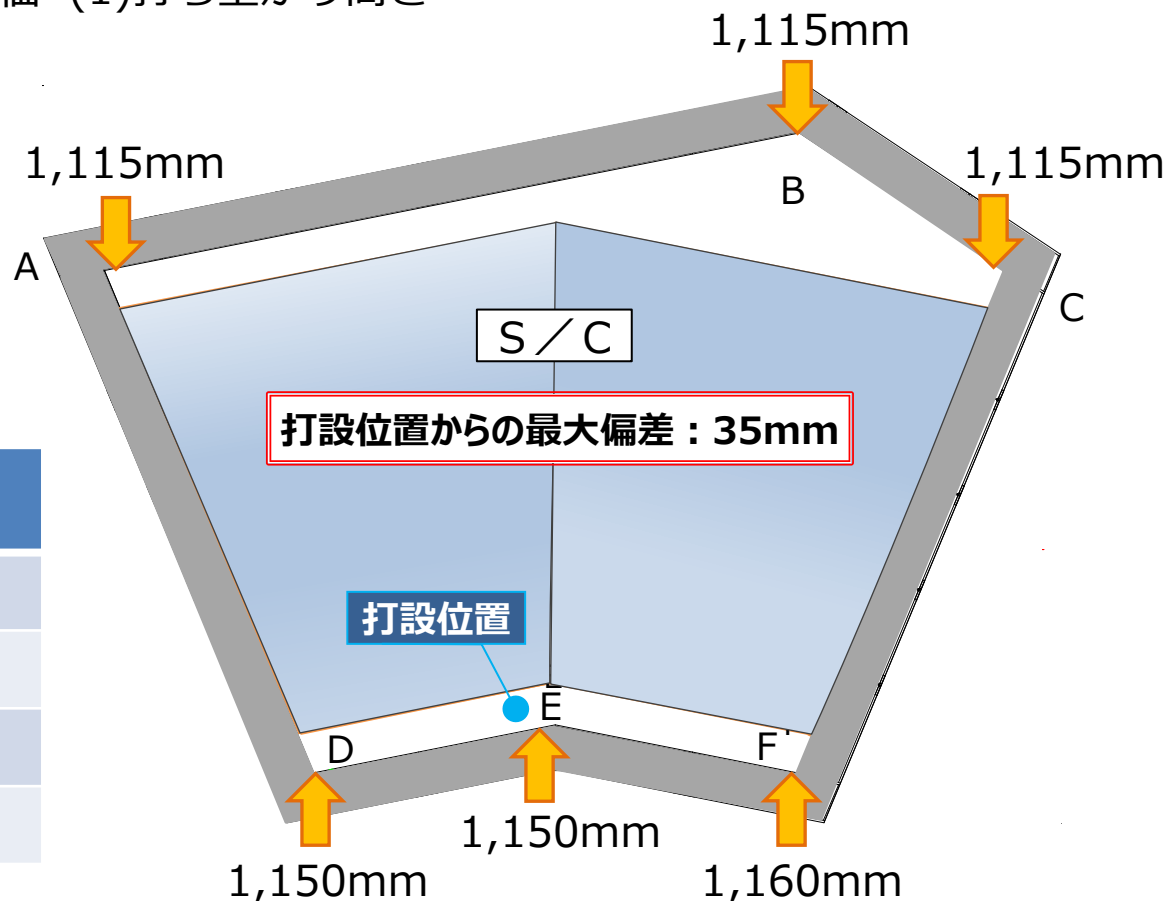


※ 隙間ゲージの測定限界以下

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

No.45

➤ 3)成果 3-4)充填状況の評価 (1)打ち上がり高さ



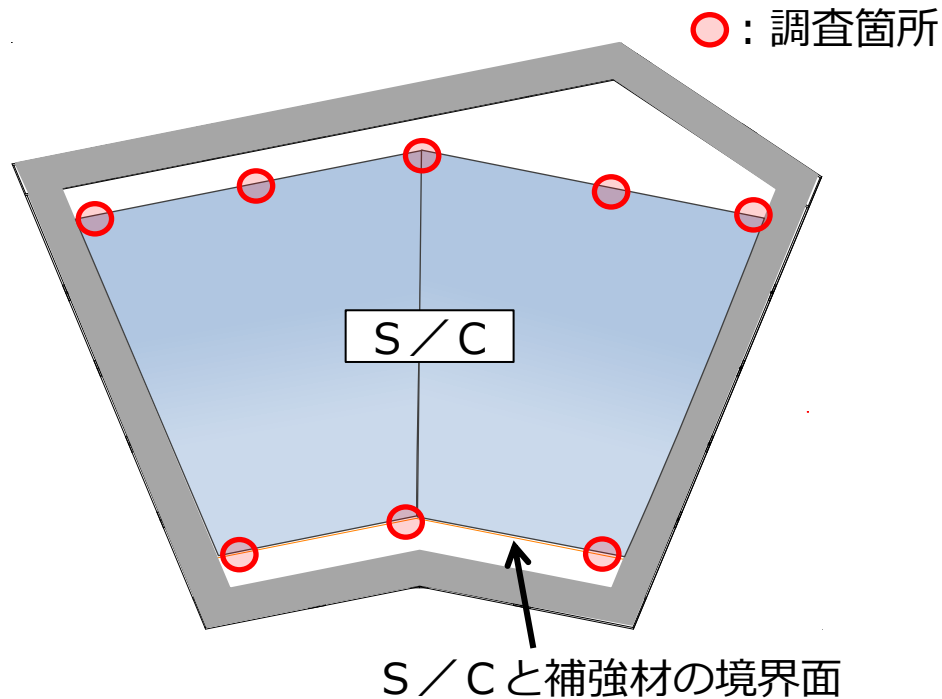
参考データ (工場での確認結果)

試験名	24h後の 打上り偏差
40m水路試験	10 mm
1/1打上り試験	40 mm
1/1平面流動試験	10 mm
1/4立方試験	65 mm

補強材硬化後、打上り実測ですべての計測点で目標値1,110mmを超えていることを確認した。また打設点との最大偏差は35mmであった。
打上り高さの偏差は、実工事計画時に考慮するよう施工要領に反映した。

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

➤ 3)成果 3-4)充填状況の評価 (2)肌隙観察結果



使用した隙間ゲージ(0.03mm)



調査状況

隙間ゲージによりS / Cシェルと補強材の境界面の肌隙きを測定した結果、0.03mm未満であり有意な空隙が生じていないことを確認した。

➤ 3)成果 3-5)S / C脚部補強材の流動解析結果 (1 / 6)

① 流動解析の目的

S / C脚部補強の各プロジェクトで実施してきた要素試験や実規模試験においては、実機大の全周モデルで且つ複数箇所からの同時打設を模擬することができなかつたため、実機における補強材の流動経路や流動距離、合流の様子を確認するために流動解析を実施した。

② 解析ケース・条件

【解析ケース】

- ・ 実規模試験モデル (2号機モデル、1/1スケール×1/8周×1箇所打設)
打設試験の実績データを条件として使用した (打設時間：5時間55分)
- ・ 実機モデル (2号機モデル、1/1スケール×全周×8箇所打設)
2号機を代表ケースとし、8箇所打設とした (打設時間：5時間30分)

【解析条件】

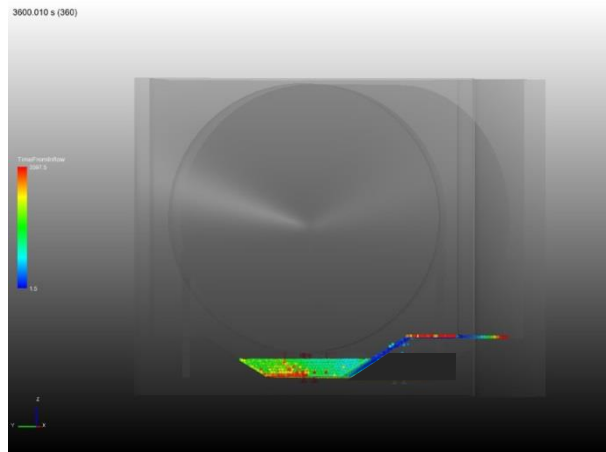
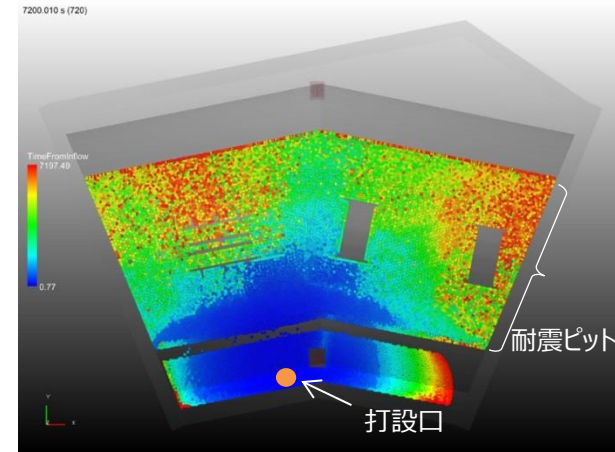
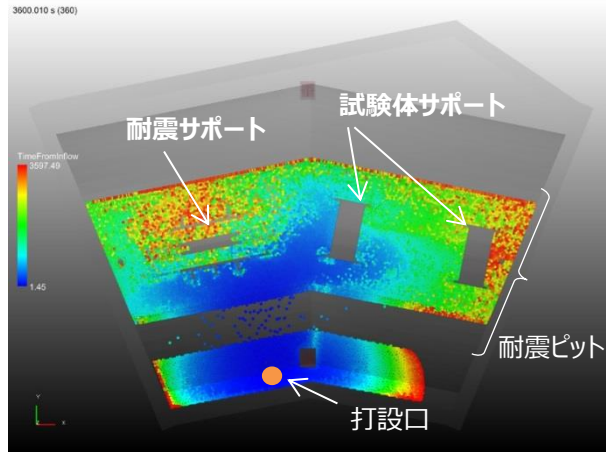
- ・ 粒子径：10cm (单相流近似)
- ・ 補強材の材料定数：密度1860kg/m³、降伏値10Pa、塑性密度29Pa・m
- ・ 解析コード：Particleworks Ver.6.1(プロメテック・ソフトウェア(株)) 粒子法 (MPS法)

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

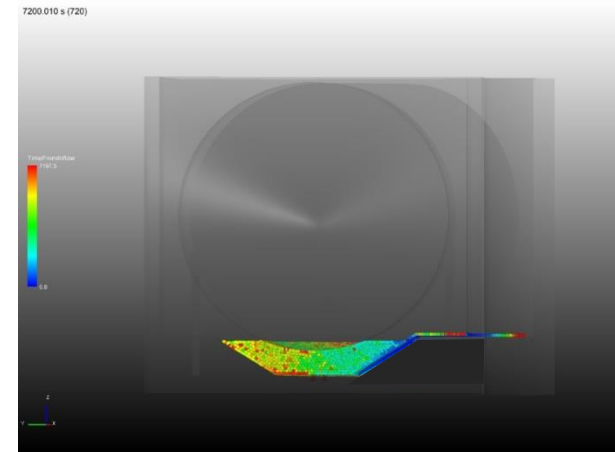
➤ 3)成果 3-5)S / C脚部補強材の流動解析結果 (2/6)

【実規模試験モデルの解析結果】 (粒子数：約25万)

短い←打設からの時間→長い



実規模試験モデル 打設開始後60min

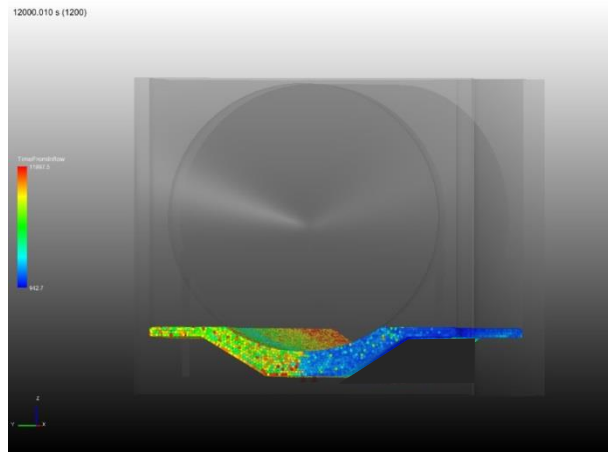
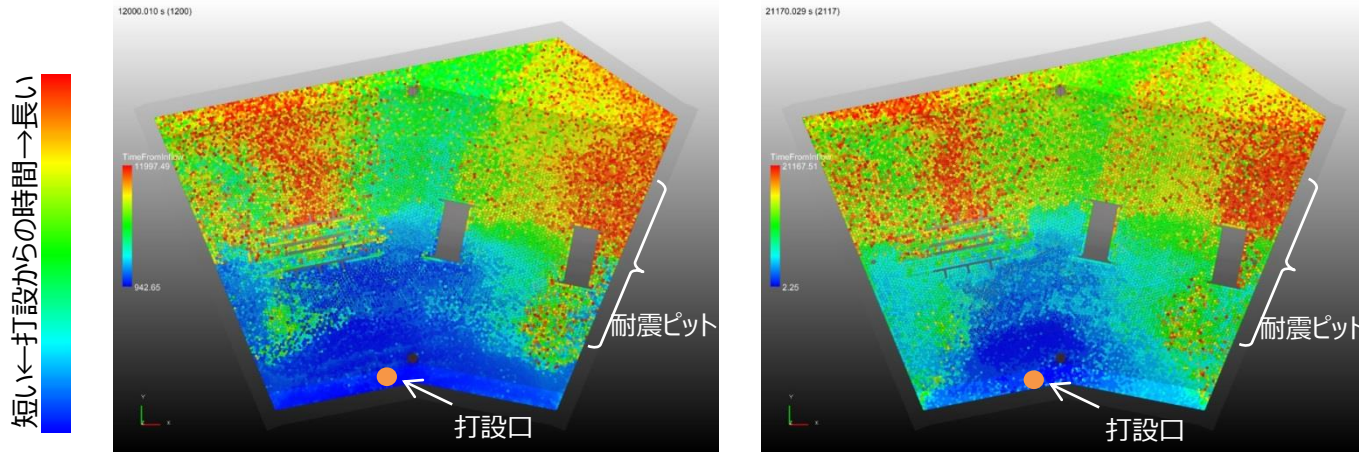


実規模試験モデル 打設開始後120min

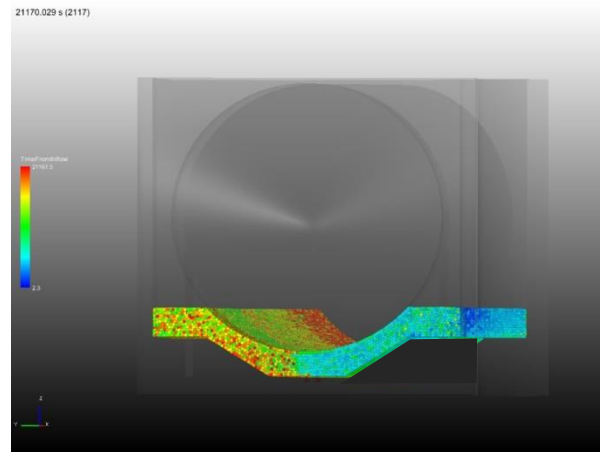
6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-5)S/C脚部補強材の流動解析結果 (3/6)

【実規模試験モデルの解析結果】 (粒子数：約25万)



実規模試験モデル 打設開始後200min



実規模試験モデル 打設開始後355min

実規模試験モデル解析結果のまとめ

- ・打設した補強材は耐震ピットを埋めるように流動し、その後S/Cの内周部と外周部に打ち上がる。
- ・耐震サポート、試験体サポートの障害物付近では粒子が対流する傾向がある。
- ・打設口からの流動距離*は、最長のもので13m程度であり、想定流動距離(20m)以内であることを確認した。

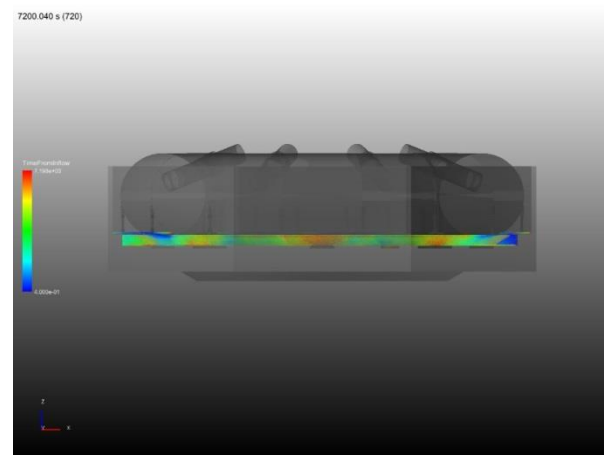
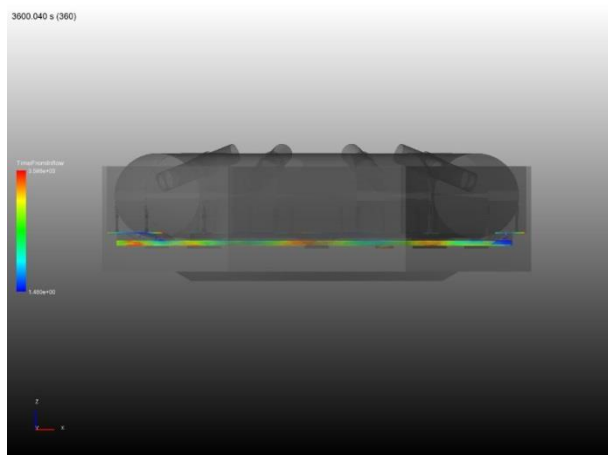
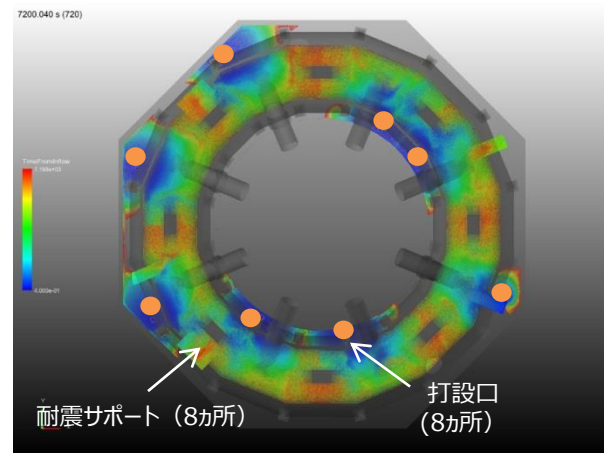
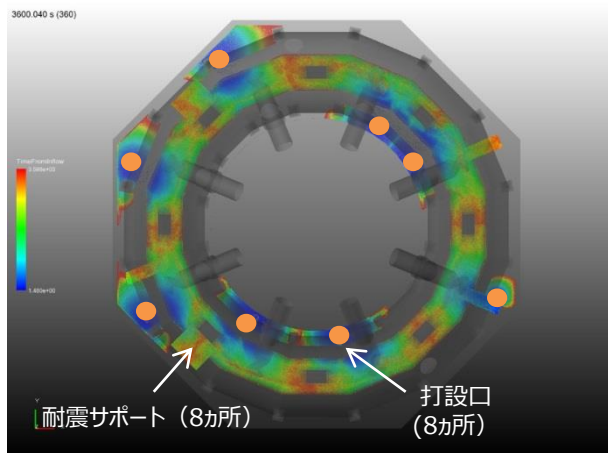
*流動距離は、打設口からの直線距離を指す

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-5)S/C脚部補強材の流動解析結果 (4/6)

【実機モデルの解析結果】 (粒子数：約200万)

短い←打設からの時間→長い



実機モデル 打設開始後60min

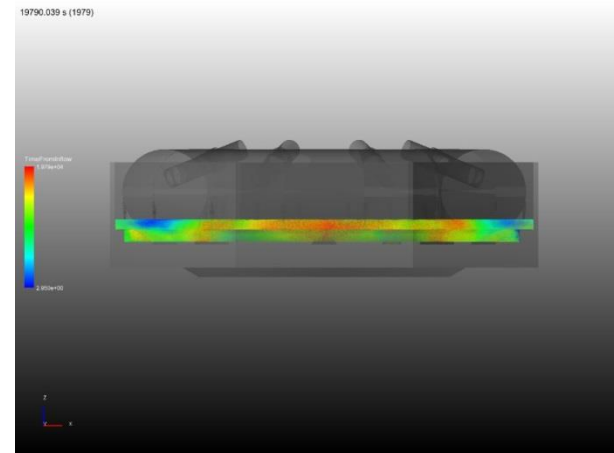
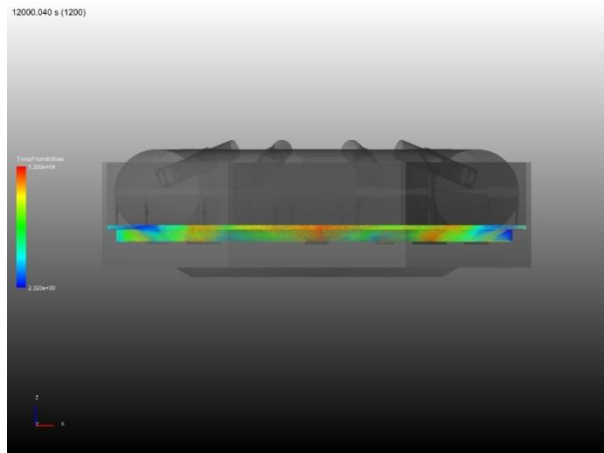
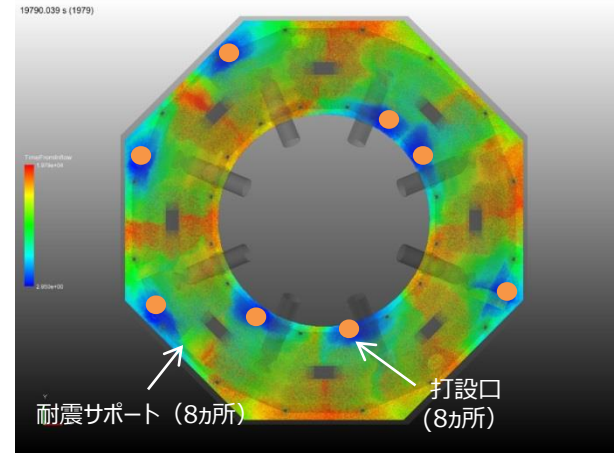
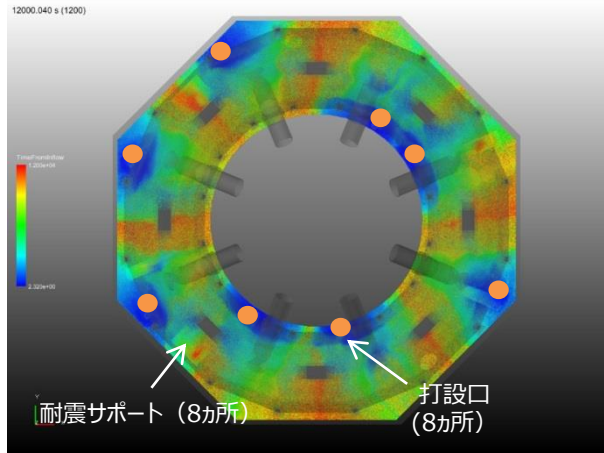
実機モデル 打設開始後120min

6. 実施内容 (1) S/C脚部補強

➤ 3)成果 3-5)S/C脚部補強材の流動解析結果 (5/6)

【実機モデルの解析結果】 (粒子数：約200万)

短い←打設からの時間→長い



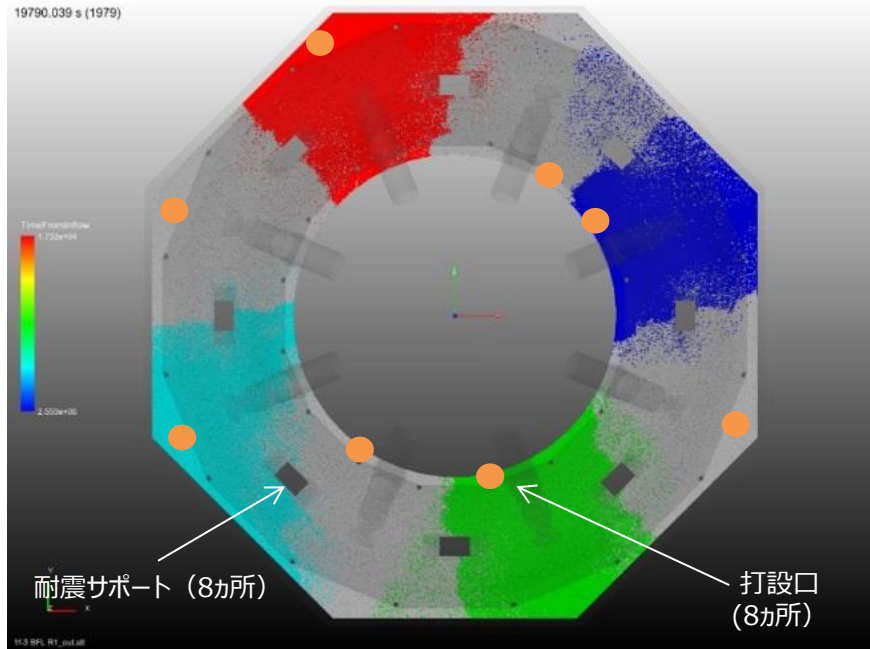
実機モデル 打設開始後200min

実機モデル 打設開始後330min

6. 実施内容 (1) S / C脚部補強

➤ 3)成果 3-5)S / C脚部補強材の流動解析結果 (6/6)

【実機モデルの解析結果】 (粒子数: 約200万)



合流分布(打設開始後330min)
(各色の境界が合流部)

実機モデル解析結果のまとめ

- ・実規模試験モデル結果と同様に、打設した補強材は耐震ピットを埋めるように流動し、その後S / Cの内周部と外周部に立ち上がる。
- ・耐震サポートの付近では粒子が対流する傾向があり、合流部の境界となっている。
- ・打設口からの流動距離*は、最長のもので14m程度であり、想定流動距離 (20m) 以内であることを確認した。

* 流動距離は、打設口からの直線距離を指す

流動解析で得た合流部の分布を、「PCV漏えい箇所補修技術の開発 (H28-H29)」で実施する補強材の強度算定のインプットとした。

➤ 3)成果 3-6)S / C脚部補強材の打設試験まとめ

■ 施工手順の成立性

- 実機を想定した手順に従って施工できることを確認した。

■ 施工方法（監視方法、打設高さコントロール等を含む）の成立性

- 打設高さ及び水位監視用のモニタリングセンサを用いて、補強材打設高さ及び滞留水位の監視ができることを確認した。

■ 補強材の品質・性能

- 打設前～打設中（1時間毎）のテーブルフロー試験で、全て基準値（ $270 \pm 30 \text{mm}$ ）を満足していることを確認した。
- 材齢28日、103日、182日の補強材のコア強度を測定し、全て2号機の要求強度（ 8.4N/mm^2 ）を満足していることを確認した。
- 硬化後の補強材を観察した結果、S / Cシェルと補強材との間に肌隙等は確認されなかった。
- S / C内周側及び外周側の複数箇所に径方向の温度ひび割れを確認した。
- 温度ひび割れの発生状況を「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」のS / C支持の有効性確認の評価にフィードバックした。

■ 補強材の流動解析

- 実規模試験結果に基づいて実機モデルの流動解析を実施し、流動経路や流動距離、合流の様子を確認した。

6. 実施内容（1）S / C脚部補強

➤ 成果の反映先への寄与

S / C脚部補強の実規模試験の実施により、実機工事を想定した施工手順で施工できる見通しが得られ、標準施工要領書としてまとめた。

本補強工事は、燃料デブリ取り出し時にPCV水位を確定する際の、S / C支持部の耐震性向上に資するものである。

➤ 現場への適用性の観点における分析

S / C脚部補強工事においては、R / B 1階全域へのアクセスやR / B外のヤードに補強材供給設備を設置する必要があり、現場調査や線量低減作業により実機適用性を判断する必要がある。

➤ 目標に照らした達成度

- S / C脚部補強材の打設試験を実施し、施工手順や監視方法について成立性を確認した。【達成】
- 補強材打設後にコアを採取し、圧縮強度試験により要求強度を満足することを確認した。【達成】
- 補強材の打設結果を観察するとともに、流動解析により充填状況や流動距離が想定通りであることを確認した。【達成】

➤ 今後の課題

実規模試験の成果を実機適用する際の主な課題は以下の通り。

- 補強材の水和熱低減対策に伴う施工成立性の詳細検討
長期健全性の観点から、DEF（エトリンガイトの遅延生成）による膨張ひび割れ発生リスク低減のための水和熱低減対策として、プレクーリングや分割打設の詳細検討を行い、設備構成や作業手順に反映する。
- 補強材打設/供給システム成立性の詳細検討
打設箇所数と打設装置・ホース・バッチャープラントレイアウトの決定が必要。
補強材供給所の設置場所と構内輸送ルートを確保する。
- S / C内充填止水への影響確認（補強範囲に損傷がある場合）
S / C内充填止水工事に先行して脚部補強工事を実施する場合、S / Cシェル損傷部から補強材が流入する可能性があるため、S / C内充填止水への影響確認が必要。

(2) ベント管止水

6. 実施内容（2）ベント管止水

- 目的、目標
- 詳細実施スケジュール
- 施工性確認試験
 - 試験概要
 - 確認項目と達成状況
 - 実機適用に向けた課題の抽出
- 打設試験及び健全性評価について
- 手順の検証状況
- ベント管止水の実機適用に向けて確認すべき項目
- ベント管止水の主な技術課題
- 成果のまとめ
- 目標に照らした達成度

➤ 目的、目標

- ・ 2018年3月までに、ベント管止水の施工性確認試験を実施し、成立性の評価、課題抽出を実施。

ベント管止水の施工性確認試験の目的・目標は以下の通り。

「PCV漏えい箇所の補修・止水技術の開発(H26-H27)」で開発した補修装置を用いて、施工性の確認として施工部位へのアクセス性の確認を行い、その手順の妥当性の検証と施工状態の確認・評価を実施する。

また、以下内容が検討実施されることを目標とする。

- ・ 実機適用に向けた手順書案の作成
- ・ 施工性確認試験の実施
- ・ 遠隔施工性の成立性についての評価
- ・ 施工手順の成立性についての評価
- ・ 実機適用に向けた課題抽出

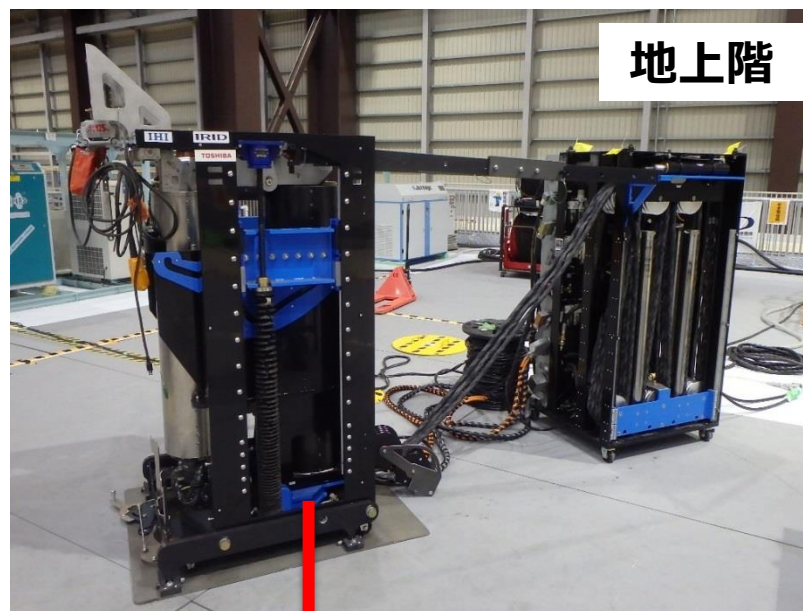
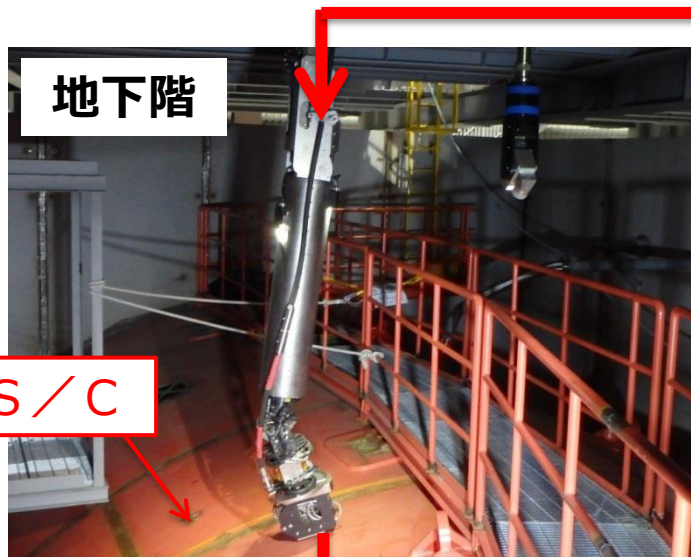
6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 詳細実施スケジュール

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ベント管止水 施工性確認試験①												
S/Cへの穿孔	■											
ベント管への穿孔		■										
S/C内充填止水 実規模試験		■	■	■								
S/C脚部補強 実規模試験				■	■							
ベント管止水 施工性確認試験②												
試験準備									■	■	■	
閉止補助材 ツール取付											■	
副閉止補助材 ツール取付												■
止水材 ツール取付												■

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 施工性確認試験 試験概要（1/2）



有人作業が1作業単位が20分以内で終わること、一連手順が完了できることを確認した。

これにより、以下を達成した。

- ✓ 実機適用に向けた手順書案を作成
- ✓ 施工性確認試験の実施を完了
- ✓ 遠隔施工性の成立を確認
- ✓ 施工手順の成立を確認
- ✓ 実機適用に向けた課題を抽出

6. 実施内容 (2) ベント管止水

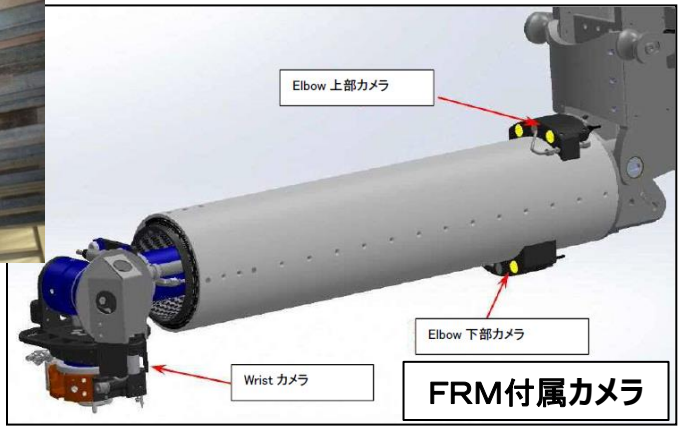
➤ 施工性確認試験 試験概要 (2/2)



実規模試験体



俯瞰カメラ
(FRMとは別穴より投入)



施工対象 (S/C、ベント管、干渉配管) を1/1で模擬

監視装置 (カメラ) の配置・視野を実機条件で模擬



模擬操作本部

重要免震棟に設置予定の操作本部を模擬

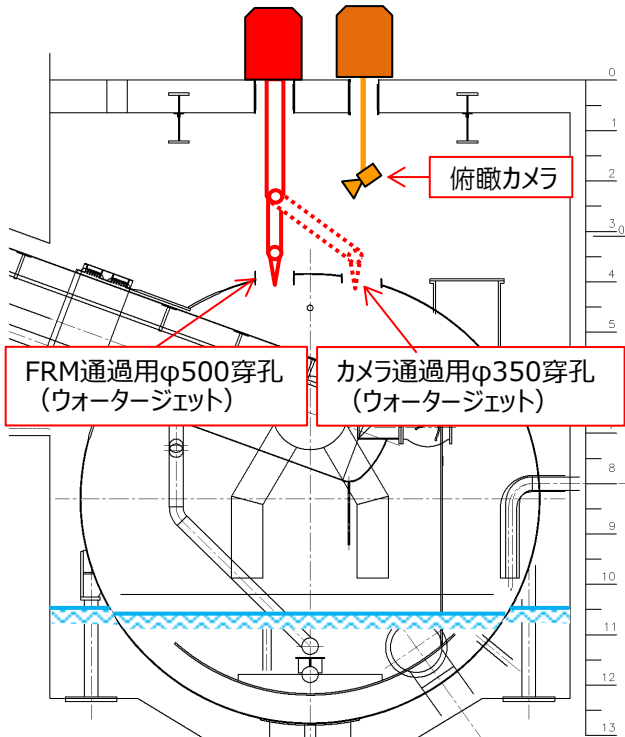


高線量作業模擬状況

高線量作業時の装備を模擬

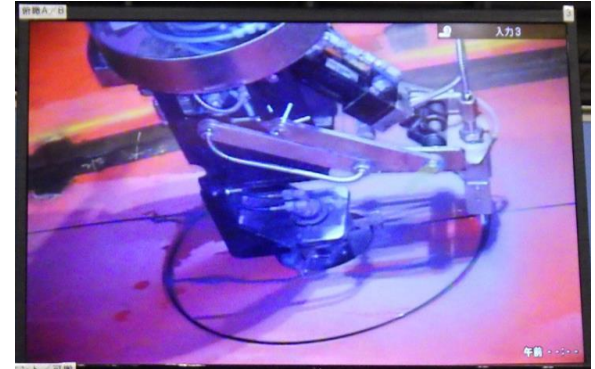
6. 実施内容 (2) ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況 (1/9)



1 S/Cへの穿孔 (2箇所)

- ・FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- ・切断ツール (ウォータージェット) にてS/C上面を穿孔 (補修装置用: φ500mm、俯瞰カメラ用: φ350mm)
- ・FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- ・切断ツール (ウォータージェット) にてS/C上面を穿孔 (補修装置用: φ500mm、俯瞰カメラ用: φ350mm)

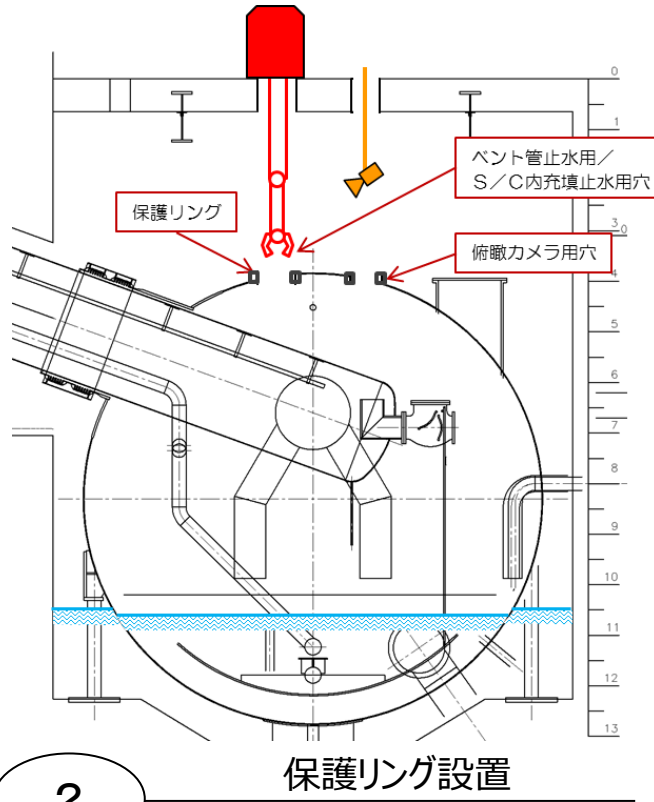


S/Cへの穿孔試験状況

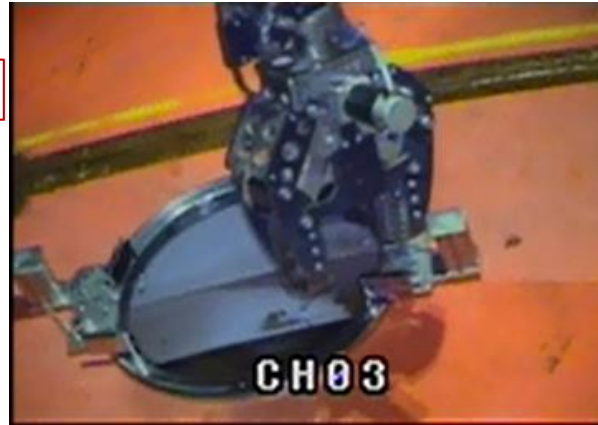
クライテリア	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了すること	成立を確認 3名、合計約90分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
ウォータージェットに水・ガーネットを供給可能であること	成立を確認 (0.37kg/min、累計320分間)
位置誤差100mm以内 穿孔径誤差+10mm、-0mm以内 切断片を撤去できること	成立を確認 (位置誤差: 最大30mm 穿孔誤差: 最大+5mm)
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（2/9）



- ・保護リングをトラス室内に投下（高線量有人作業）
- ・FRMに把持ツール取付（高線量有人作業）
- ・把持ツールにて保護リングを把持
- ・S/C穴に保護リングを設置する

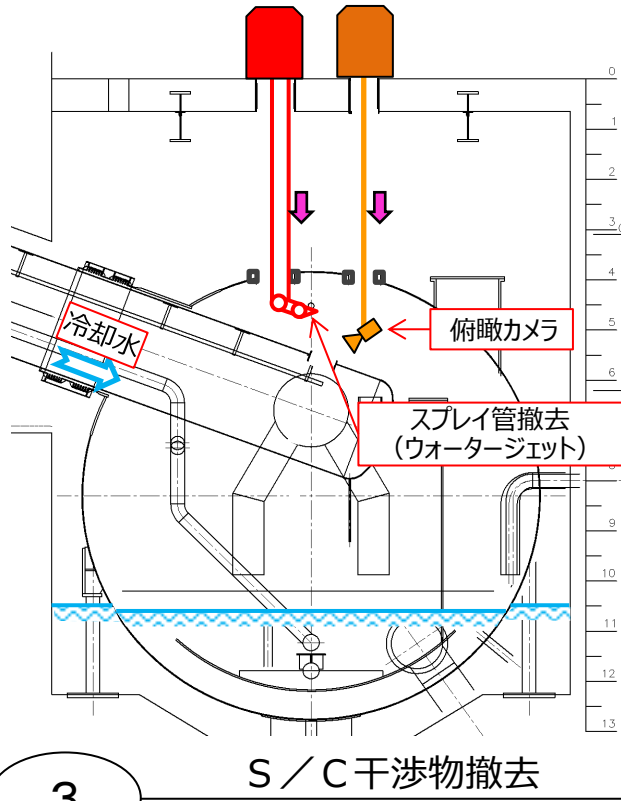


保護リングの設置試験

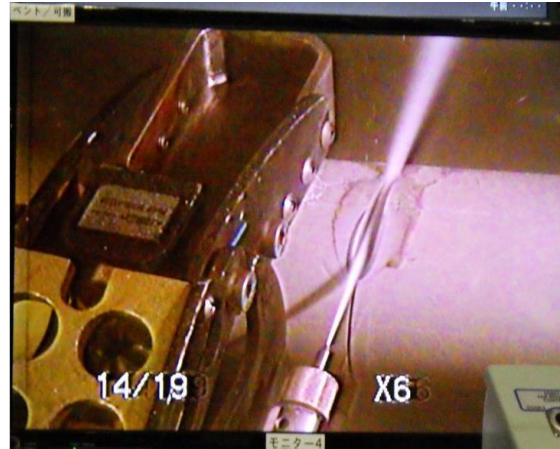
クライテリア	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了すること	成立を確認 3名、合計約40分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
保護リングを設置・固定できること	成立を確認
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容 (2) ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況 (3/9)



- ・FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- ・切断ツール (ウォータージェット) にて、干渉物であるS / Cスプレィ管を撤去

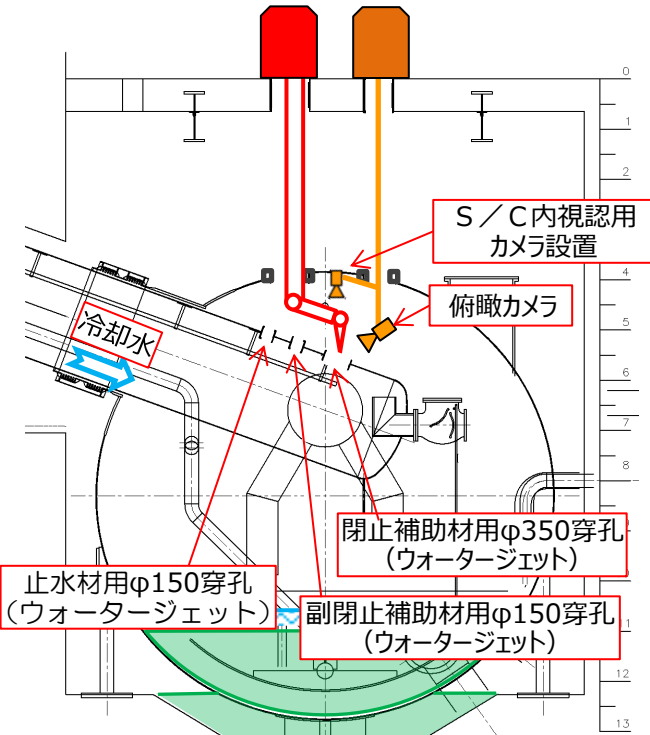


S / C内干渉物撤去試験

クライテリア	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了すること	成立を確認 3名、合計約5分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
ウォータージェットに水・ガーネットを供給可能であること	成立を確認 (0.37kg/min、累計267分間)
干渉物をウォータージェットで切断できること。(切断幅1600mm以上)	成立を確認 (切断幅：1640mm)
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容 (2) ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況 (4/9)



ベント管への穿孔試験

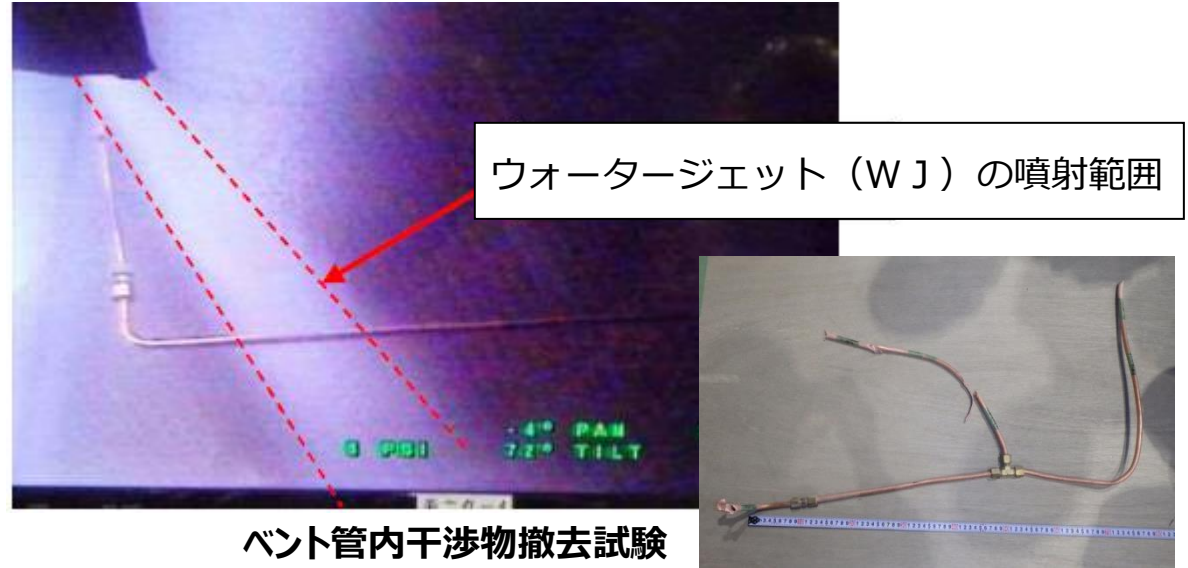
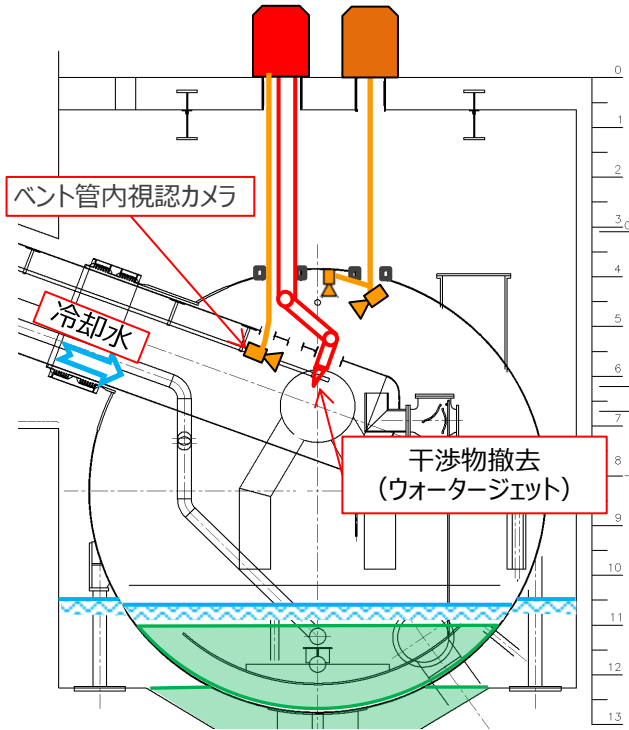
4 ベント管への穿孔 (3箇所)

- FRMに把持ツール取付 (高線量有人作業)
- 把持ツールにて、S/C内視認用カメラをS/C内天井に設置 (永久磁石により接着)
- FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- 切断ツールにてベント管上面を穿孔
- FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- アームを上流側へ移動しベント管上面を穿孔
- アームをさらに上流側へ移動しベント管上面を穿孔

クライテリア	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了すること	成立を確認 3名、合計約75分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
ウォータージェットに水・ガーネットを供給可能であること	成立を確認 (0.37kg/min、累計164分間)
位置誤差100mm以内 穿孔径誤差±10mm以内 切断片を撤去できること	成立を確認 (位置誤差：最大70mm 孔径誤差：最大-1.1mm)
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容 (2) ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況 (5/9)



ベント管内干渉物撤去試験

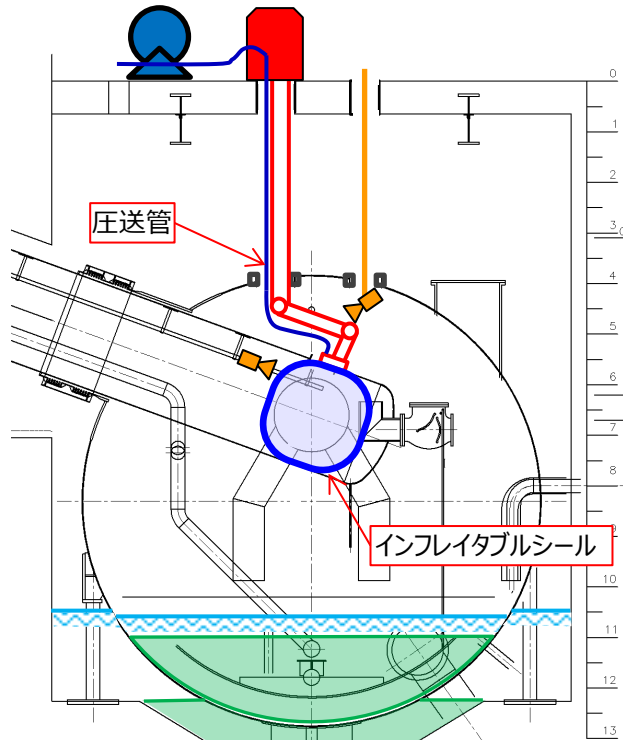
5 ベント管内干渉物撤去

- ・FRMに把持ツール取付 (高線量有人作業)
- ・止水材用穴へベント管内視認用カメラを設置
- ・FRMに切断ツール取付 (高線量有人作業)
- ・切断ツールによりベント管内干渉物を撤去
- ・ベント管内部調査
(撤去後、落下した干渉物片の状況調査)

クライテリア	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了すること	成立を確認 3名、合計約50分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
ウォータージェットに水・ガーネットを供給可能であること	成立を確認 (0.37kg/min、累計103分間)
干渉物をウォータージェットで切断できること	成立を確認
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容（2）ベント管止水

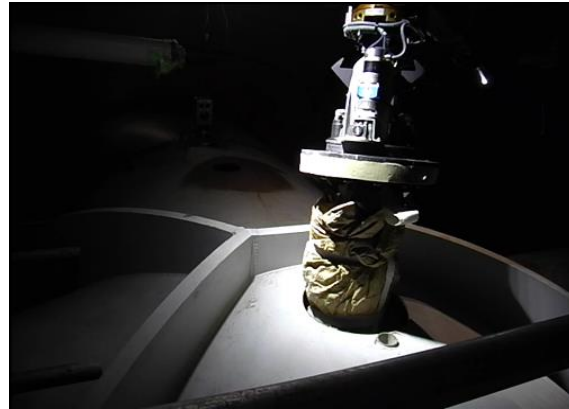
➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（6/9）



閉止補助材展開

6

- ・FRMに閉止補助材ツールを取付（高線量有人作業）
- ・アームを投下しベント管穴位置（閉止補助材用穴）までアクセス
- ・閉止補助材ツールをベント管内に挿入
- ・ベント管内視認用カメラにて規定の設置状況に達したことを確認
- ・閉止補助材の折り畳み固縛を解除
- ・閉止補助材のエア展開
- ・ベント管内視認用カメラにて規定の展開状況に達したことを確認
- ・閉止補助材ツールの切り離し
- ・圧送管及び補修装置アームの1階に引き上げ

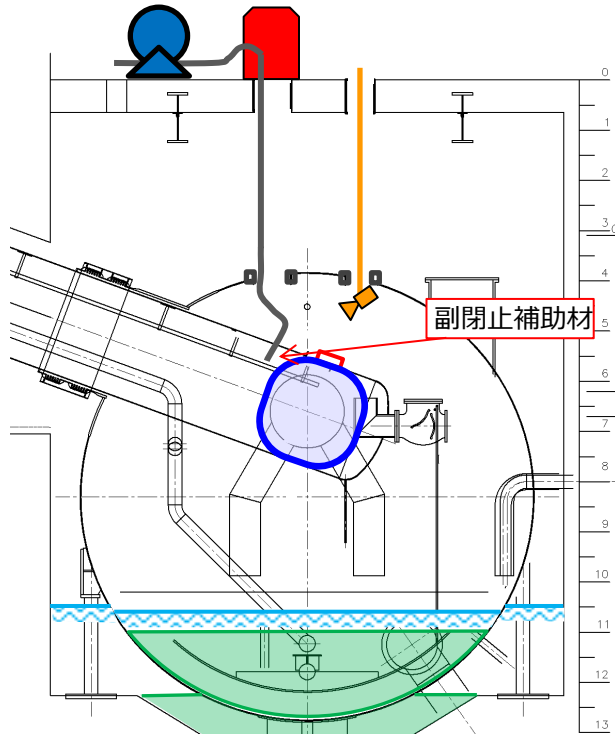


閉止補助材展開試験

クライテリア（以下が可能なこと）	達成状況
防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了する	成立を確認 3名、合計約30分の作業
遠隔で操作可能であること	成立を確認
閉止補助材を所定の形状にエア展開できること 張り出し量：1100mm以上 左右ずれ量：200mm以内	成立を確認 （張り出し量：1120mm 左右ずれ量：200mm）
閉止補助材展開後、ツールを分離できること	成立を確認
遠隔で作業完了を確認できること	成立を確認

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（7/9）



副閉止補助材ツール設置試験

7

副閉止補助材ツール設置

- ・FRMに副閉止補助材用ツールを取付（高線量有人作業）
- ・アームを投下しベント管穴位置（副閉止補助材用穴）までアクセス
- ・副閉止補助材ツールをベント管内に挿入
- ・圧送管の弁を閉止
- ・副閉止補助材ツールの切り離し
- ・圧送管及び補修装置アームの1階に引き上げ

クライテリア（以下が可能なこと）

達成状況

防護服を着た状態で1作業単位が20分以内に完了する

成立を確認
3名、合計約30分の作業

遠隔で操作可能であること

成立を確認

ツールを分離できること

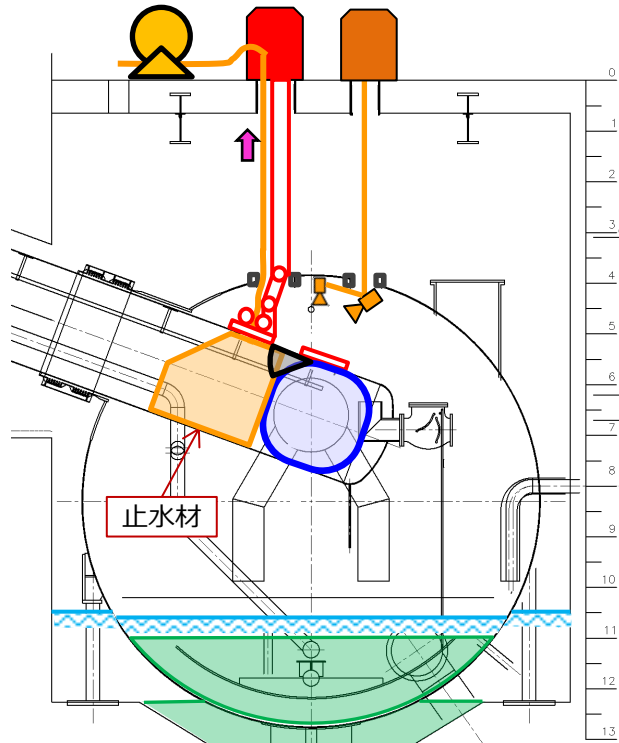
成立を確認

遠隔で作業完了を確認できること

成立を確認

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（8/9）



止水材用ツール設置試験

8

止水材用ツール設置

- ・FRMに把持ツール取付（高線量有人作業）
- ・把持ツールにてベント管内視認用カメラを撤去
- ・ベント管内視認用カメラの回収（高線量有人作業）
- ・FRMに止水材用ツール（グラウト用）取付（高線量有人作業）
- ・アームを投下しベント管穴位置（止水材用穴）までアクセス
- ・止水材用ツールをベント管止水材用穴に挿入して固定
- ・ホースを規定長さ送りだしたことを確認
- ・止水材用ツールの切り離し
- ・圧送管、アームの引き上げ

クライテリア（以下が可能なこと）

達成状況

防護服を着た状態で1作業単位が
20分以内に完了する

成立を確認
3名、合計約30分の作業

遠隔で操作可能であること

成立を確認

ツールを分離できること

成立を確認

遠隔で作業完了を確認できること

成立を確認

6. 実施内容（2）ベント管止水

No.70

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（9/9）

試験ステップ	項目	目標	達成度評価
有人作業	高線量作業性	20分以内	○：防護装備着用状態で1作業単位20分以内を達成
S/Cの穿孔	遠隔施工性	中心位置の誤差100mm以内	○：最大でも30mm程度の誤差に抑えられることを確認
		Φ510（±10）mm	○：最大でも5mm程度の誤差に抑えられることを確認
		解除するまで落下させず保持	○：穿孔片の保持～トラス室回廊への解除を達成
保護リング設置	遠隔施工性	保護リング設置及びレバーロック操作	○：WJ Type1の把持機構により保護リングを遠隔把持し、所定位置への設置・固定を達成
S/C内 干渉物撤去	遠隔施工性	1600mm以上の範囲をアクセス	○：800mm程度の分割切断（2分割）を行う位置へアクセスできることを確認
		1600mm以上の範囲を切断	○：800mm程度の分割切断（2分割）で、スプレイヘッダ管の切断を達成。
		解除するまで落下させず保持	○：切断片の保持～移動～S/C内への解除を達成
ベント管穿孔	遠隔施工性	中心位置の誤差±100mm以内	○：最大でも70mm程度の誤差に抑えられることを確認
		Φ150（+10-0）, Φ350（±10）mm	○：目標穿孔サイズを達成
		解除するまで落下させず保持	○：穿孔片の保持～移動～S/C内への解除を達成
ベント管内 干渉物撤去	遠隔施工性	干渉物をウォータージェットで切断	○：段階的なウォータージェット切断により、止水材用、副閉止補助材用及び閉止補助材用穴下の干渉物切断を達成

今回の確認範囲については当初目標を概ね達成し、現場への適用の見込みを得た。

6. 実施内容（2）ベント管止水

No.71

➤ 施工性確認試験 実機適用に向けた課題の抽出（1/2）

施工性確認試験にて、工場試験では抽出されなかった新たな改善項目を抽出した。

確認項目	課題	件数
高線量作業性	①人間系作業の削減（機器の電動制御化）	18件
	②人間系作業の簡易化 （ウォータージェットツール接続部の改良）	5件
運搬性	③FRMによるカメラ装置等の運搬性の改善	3件
視認性	④カメラ映像へのワイヤ・ケーブル映り込みによる視界不良の改善	2件
材料供給性	⑤ウォータージェットへのガーネット供給の安定化	1件
	⑥ウォータージェット継手からの高圧水リーク対策	2件
施工性	⑦閉止補助材開口部へのアクセス性向上	2件
	⑧新たに判明した干渉物の撤去	1件
作業完了確認性	⑨ウォータージェット切断の完了判断性向上	1件

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 施工性確認試験 実機適用に向けた課題の抽出（2/2）

【代表例の紹介】

分類		代表的な抽出課題	内容
有人作業	高線量作業性	人間系作業の削減 (機器の電動制御化)	各単位作業時間は目標以内となる見通しを得たが、ツール交換作業のワンタッチ接続化、ケーブルマネジメントの電動制御化を行うことで、より被ばくを低減できる見込み。
遠隔作業	運搬性	FRMによるカメラ装置等の運搬時のケーブル絡まり	カメラのハンドリング時、ケーブル等の絡まることがあり、結線・引回しの改善によりリスク低減の見込み。
	視認性	S / C内干渉物切断時の視認性不良	ベント管内干渉物切断時のカメラ視認性が悪化する場合があります、アーム先端へのカメラ追設が有効であることを確認。
	材料供給性	ガーネット供給の不安定	必要量の供給は完了したが、詰まり等により供給不安定の事象が発生。実機適用時には改善が必要。
		ウォータージェット継手からの高圧水リーク	ホース振じれによるウォータージェット継手の緩みが発生することがあった。継手部緩み防止やスイベル構造による振じれ解消により改善できる見込み。
	施工性	貫通ペネトレーションの干渉	閉止補助材用穴位置アクセス時、ベント管外面の貫通ペネの干渉を新たに確認した。ペネを切除することでアクセスが可能であることを確認。
作業完了確認性	ベント管内干渉物切断時の視認性不良	カメラによる干渉物切断状況が把握できない場合があった。音による判断が有効であることを確認。	

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 打設試験及び健全性評価について

- ・「ベント管止水の打設試験」及び「ベント管止水の健全性確認」については、原子炉格納容器の補修・止水のための機器・装置を用いて止水材をベント管に打設する実規模試験を実施し、その有効性を確認することを目的としている。
- ・ベント管止水技術は、1/1スケール試験及び施工性確認試験にて、補修装置のプロト機を用いた一連手順及び止水性の検証はその大半を確認し、実機施工に繋がる課題抽出ができたと考える。
- ・止水材については「PCV漏えい箇所の補修・止水技術の開発(H26-H27)」にて本事業と並行して開発が行われていたが、ベント管止水の工場試験結果等から、当初計画の止水材では止水の達成に対し課題が多いことが判明し、途中での止水材料再選定の検討を余儀なくされた。また、止水材料変更及び要素試験の進捗に伴い、開発済みの補修・止水のための機器・装置等に対してもいくつかのフィードバック項目が抽出され、またベント管内の底部流量等、一部施工条件を絞る必要があるパラメータが新たに生じた。
- ・これらを鑑みると現在の試験準備状況にて打設試験を実施して得られる知見は、「ベント管止水の施工性確認試験」と同等であるとの結論に至り、**実規模試験体を用いたベント管止水打設試験及び健全性評価は実施しないこととした。**

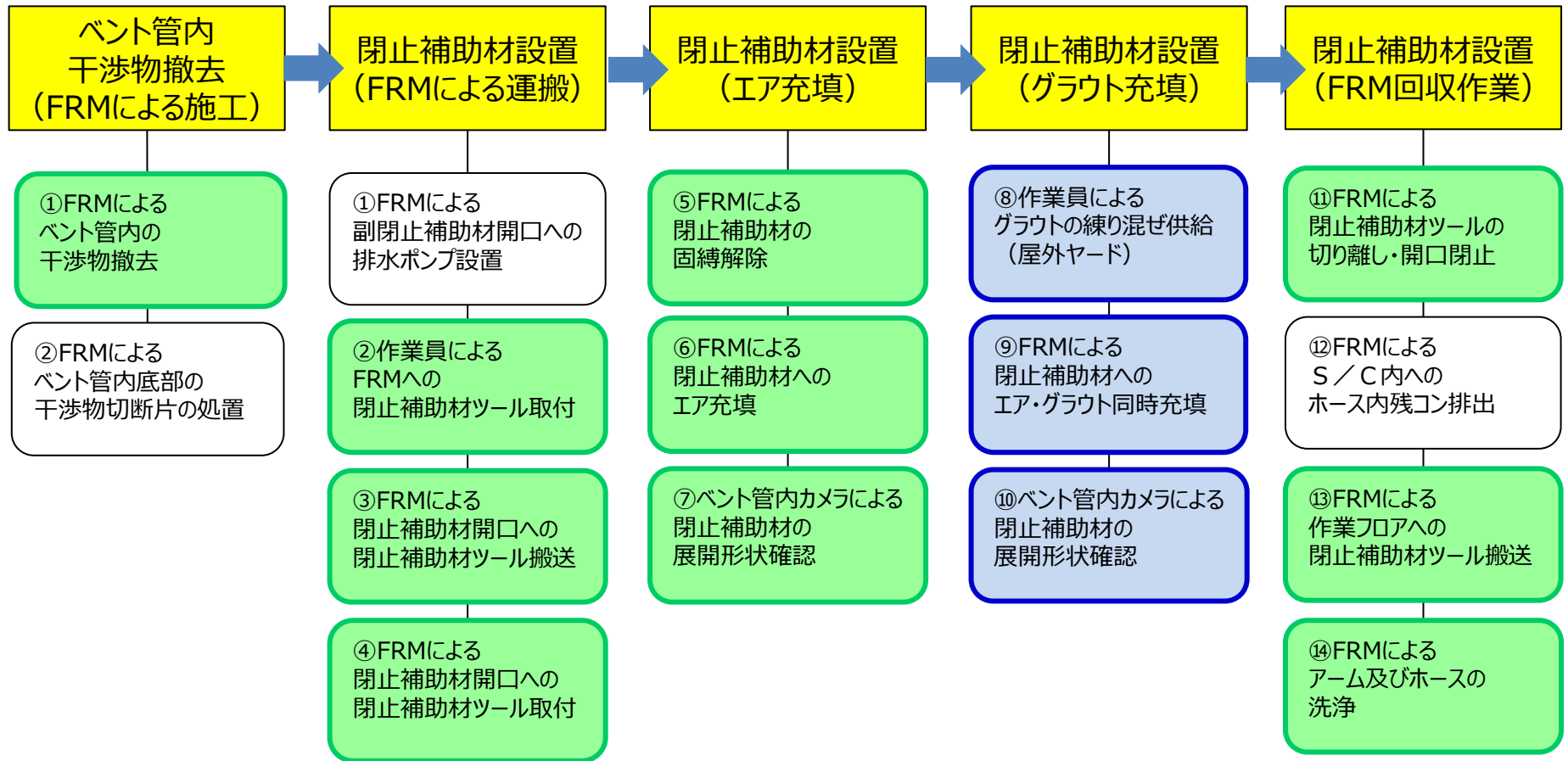
6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 手順の検証状況（1/3）

・打設試験にて予定していた、ベント管内干渉物撤去以降の
手順検証状況を以下に示す。

- : 施工性確認試験にて実施
- : 1/1スケール試験にて実施
- : 机上天にて検討済

【閉止補助材設置】

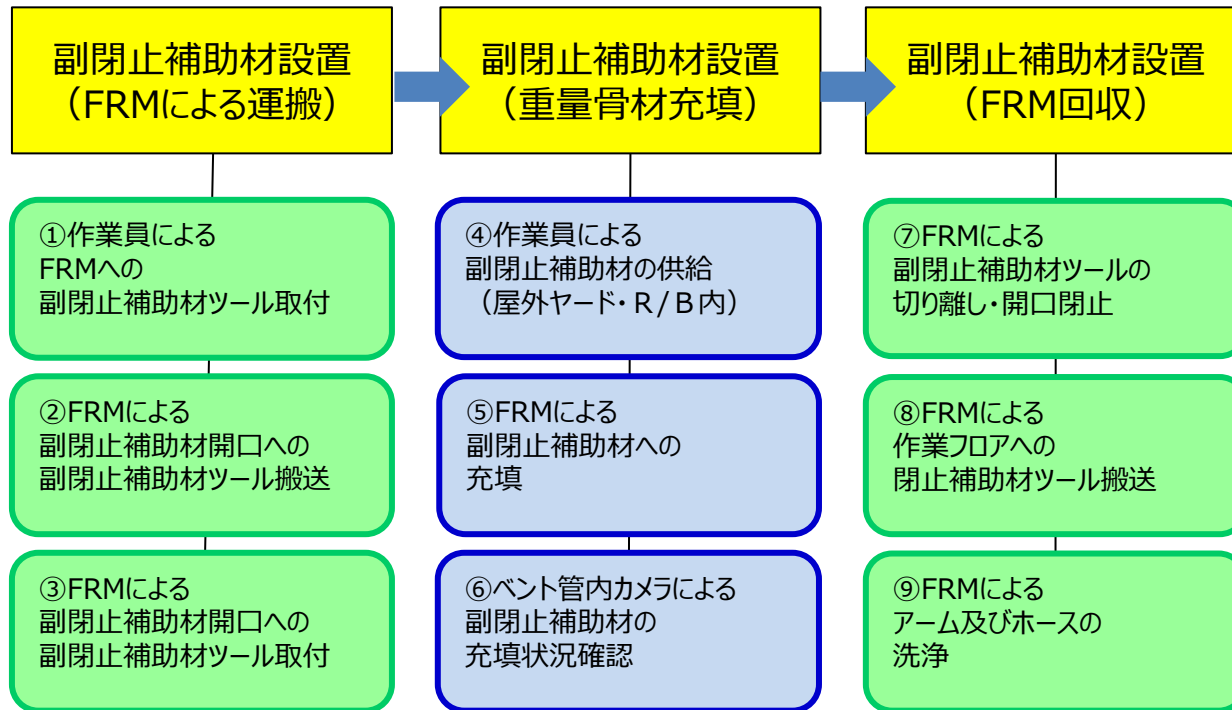


6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 手順の検証状況（2/3）

- : 施工性確認試験にて実施
- : 1/1スケール試験にて実施
- : 机上にて検討済

【副閉止補助材設置】

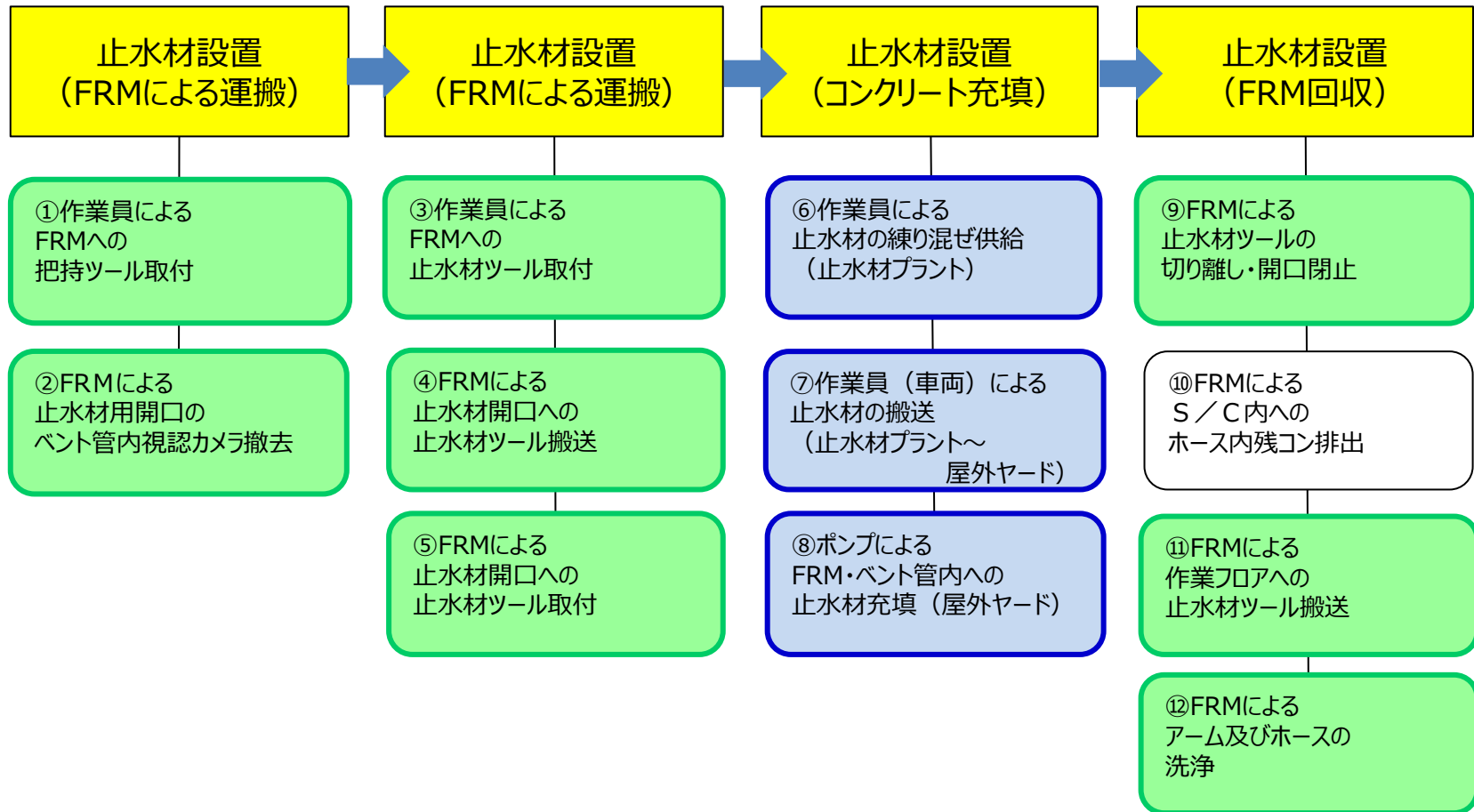


6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 手順の検証状況（3/3）

- : 施工性確認試験にて実施
- : 1/1スケール試験にて実施
- : 机上にて検討済

【止水材設置】



- ベント管止水の実機適用に向けて確認すべき項目

【PCV漏えい箇所の補修技術の開発(H28-H29)にて抽出されたフィードバック改造】

主に閉止補助材展開失敗のリスク低減のため、FRM先端ツールに対して以下の機能追加が必要。

- ・ 閉止補助材ツールへのエアグラウト同時供給ライン追加
- ・ 閉止補助材ツールへの閉止補助材入口圧力計の追加
- ・ 各ツールのラッチ解除機能の追加
- ・ FRM先端ツールへの切断片処置機能の追加
- ・ 閉止補助材上流溜まり水の排水ポンプ設置機能の追加

【実機適用に向けて確認すべき項目】

フィードバック改造の対象であるFRM先端ツール・供給ラインと関係が深い以下の手順は、フィードバック改造後に作業員の訓練を兼ねた要素試験等による動作検証が必要。

- ・ 機能追加するFRM先端ツールの動作検証
- ・ ホース内グラウト/コンクリート残材有りの状態でのFRM動作検証

➤ ベント管止水の主な技術課題

【PCV漏えい箇所の補修技術の開発(H28-H29)にて抽出された技術課題① 閉止補助材のロバスト性向上】

- 「PCV漏えい箇所の補修技術の開発(H28-H29)」にて閉止補助材の成立条件を確認したが、実機において現在の設備では測定・管理が困難な条件が含まれている。
- これらについてFRM先端ツールへの機能追加等による解決方針を示したが、実機適用に向けてはさらなるロバスト性向上が必要と考える。
- 現状実機環境条件が不明であるため、比較的厳しい環境条件下における成立を検討していること、1/1スケールでの試行回数が少なく、閉止補助材成否に関わる主要因を絞り切れていないことが研究開発を困難にしている要因と考える。
- 実機適用に向けては要素試験による主要因の特定とその監視・管理方法の確立が必要であり、試験ケースを削減するため、環境条件は実機調査等により絞り込みを行うことが望ましい。また、失敗時のリカバリー方法についても確立が必要である。

【PCV漏えい箇所の補修技術の開発(H28-H29)にて抽出された技術課題② 止水材の流動性向上】

FRMは可塑性グラウトの使用を前提とした装置であり、グラウトに対する圧送機能、隔離機能の成立のみが確認されている。可塑性グラウトによる止水が困難と判断し、自己充填コンクリートを新たに止水材候補として検討してきたが、ホース内径に比して大きい骨材を含む自己充填コンクリートを圧送した場合、現状ホースリール・ホース・先端ツール隔離機構のいずれかで閉塞するリスクが高いことが確認された。実機適用にあたっては、閉塞リスク低減のため、止水材の流動性向上又はFRMのホースリール・ホース・先端ツール隔離機構の再設計が必要。

6. 実施内容（2）ベント管止水

➤ 成果のまとめ

■ 実機適用に向けた手順書案の作成

- ・ 施工手順書を作成し、高線量作業及び遠隔作業手順が成立することを確認し、標準施工要領書のひな型をまとめた。

■ 遠隔施工、施工手順、施工方法の成立性

- ・ 遠隔装置による一連手順の成立を確認した。
- ・ 実規模試験により実機適用に向けた課題を抽出した。

➤ 目標に照らした達成度

(1) PCV下部補修技術の 実規模試験	達成度
1) ベント管止水の施工性確認試験	
・ 実機適用に向けた手順書案の作成	【達成】 手順書案の作成を完了し、施工性確認試験で実践した。
・ 施工性確認試験の実施	【達成】 施工性確認試験を完了した。
・ 遠隔施工性の成立性についての評価	【達成】 遠隔施工性の成立性を評価し、成立の見込みを得た。
・ 施工手順の成立性についての評価	【達成】 施工手順の成立性を評価し、成立の見込みを得た。
・ 実機適用に向けた課題抽出	【達成】 実機適用に向けた課題を抽出した。

(3) S / C内充填止水

6. 実施内容（3）S／C内充填止水

- 目的、目標
- 詳細実施スケジュール
- 施工性確認試験
 - 試験概要
 - 確認項目と達成状況
 - 実機適用に向けた課題の抽出
- 打設試験
 - 試験概要
 - 健全性確認概要
 - 止水材流動解析
 - 打設試験及び健全性確認の確認項目と達成状況
 - ひび割れに関する分析
 - 実規模試験打設手順での温度応力解析結果
 - 打設手順変更時の温度応力解析結果
 - 実機モデルによる温度応力解析結果
 - クエンチャ周辺温度応力解析結果
 - 温度応力解析結果のまとめ
 - 実機適用に向けた課題の抽出
- 成果のまとめ
- 目標に照らした達成度

➤ 目的、目標

- ・2018年3月までに、S / C内充填止水の施工性確認試験、打設試験、健全性確認を実施した。

S / C内充填止水の施工性確認試験の目的・目標は以下の通り。

「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」で開発した打設装置を用いて、施工性の確認として施工部位へのアクセス性の確認を行い、その手順の妥当性の検証と施工状態の確認・評価を実施する。

また、以下内容が検討実施されることを目標とする。

- 実機適用に向けた手順書案の作成
- 施工性確認試験の実施
- 遠隔施工性の成立性についての評価
- 施工手順の成立性についての評価
- 実機適用に向けた課題抽出

S / C内充填止水の打設試験の目的・目標は以下の通り。

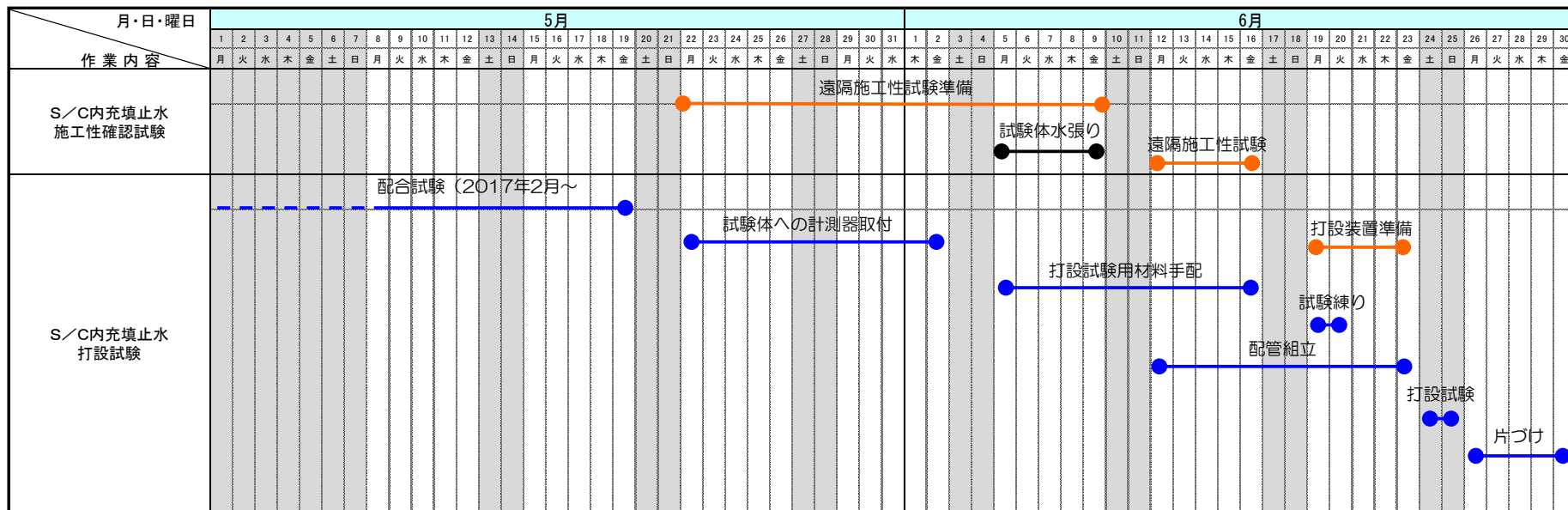
「PCV漏えい箇所の補修・止水技術の開発(H26-H27)」で開発した止水材を「PCV漏えい箇所の補修技術の実規模試験(H26-H27)」で準備した試験体に施工する試験を実施し、試験状態での止水性能の確認並びに施工状態の確認・評価を実施する。

また、以下内容が検討実施されることを目標とする。

- 打設試験の実施
- 施工手順の成立性についての評価
- 施工方法（監視方法、打設高さのコントロール等を含む）の成立性についての評価
- 実機適用に向けた課題抽出

6. 実施内容（3）S/C内充填止水

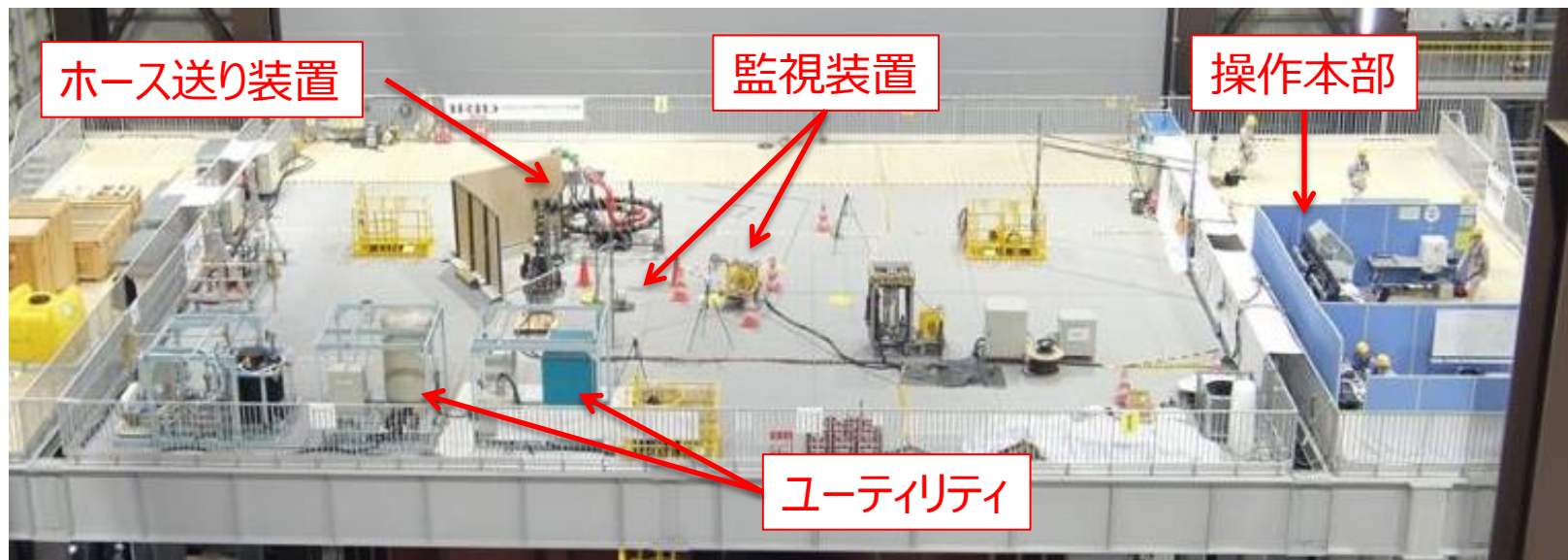
➤ 詳細実施スケジュール



施工性確認試験及び打設試験を2017年6月に実施した。

6. 実施内容（3）S / C内充填止水

➤ 施工性確認試験 試験概要



施工性確認試験を実施し、遠隔施工性を検証



高線量用装備を着用し施工手順を検証

有人作業が1作業単位が20分以内で終わること、一連手順が完了できることを確認した。

これにより、以下を達成した。

- ✓ 実機適用に向けた手順書案を作成
- ✓ 施工性確認試験の実施を完了
- ✓ 遠隔施工性の成立を確認
- ✓ 施工手順の成立を確認
- ✓ 実機適用に向けた課題を抽出

6. 実施内容（3）S／C内充填止水

No.85

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（1/2）【有人作業】

	試験項目	試験手順	判定基準（要求項目）	達成状況※
1	ホース送り機構 搬送／設置	ホース送り機構を作業フロア上で 搬送・設置する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	成立を確認 体制：5名 合計時間：約0.5h
2	ホースローラーサポート 搬送／設置	ホースローラーサポートを作業フロア上で 搬送・設置する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	
3	ホース搬送／設置	ホースを作業フロア上で搬送・設置する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	
4	ターンテーブル機構 搬送／組立／設置	ターンテーブル機構を作業フロア上で 搬送・設置する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	成立を確認 体制：5名 合計時間：約0.5h
5	圧送管搬送／設置	圧送配管を設置する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	成立を確認。 体制：5名 合計時間：約5.0h
6	ターンテーブル機構 解体	ターンテーブル機構を作業フロア上で 解体搬送する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	成立を確認 体制：5名 合計時間：約0.5h
7	ホース送り機構解体	ホース送り機構を作業フロア上で 解体搬送する。 作業員は高線量用装備を着用する。	作業単位が20分以内に完了できること	

※作業時間はいずれも本試験で実施した1方位当たりの時間。
実機作業は8方位で行うため、8倍の作業時間がかかる。

6. 実施内容（3）S / C内充填止水

No.86

➤ 施工性確認試験 確認項目と達成状況（2/2）【遠隔作業】

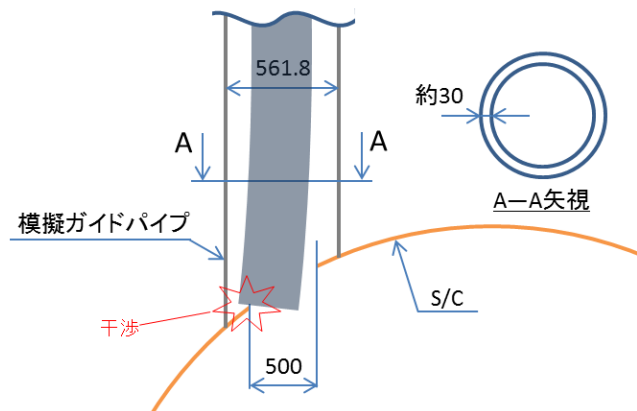
	試験項目	試験手順	判定基準（要求項目）	達成状況
1	ホース送出し操作の状況確認	遠隔操作によりホースを送り出す。 また、送出し速度を調整する。 送出し速度はスケールとストップウォッチにて確認する。	ホース送出し速度を設定の範囲で調整できること（目標速度500mm/min）	成立を確認
			人間系による補助なしでホース送出しができること	成立を確認
			作動により装置に異常振動・異音発生・構造上の優位な変形が認められないこと	成立を確認
2	ホース最大送りの確認	遠隔操作によりホースを送り出し、S / C底部まで到達することを確認する。	ホース下端がS / C底部まで到達すること	成立を確認
3	ホース引上げ操作の状況確認	遠隔操作によりホースを引き上げる。 また、引上げ速度を調整する。 送出し速度はスケールとストップウォッチにて確認する。	ホース引上げ速度を設定の範囲で調整できること（目標速度500mm/min）	成立を確認
			人間系による補助なしでホース引上げができること	成立を確認
			作動により装置に異常振動・異音発生・構造上の優位な変形が認められないこと	成立を確認
4	トレミー工法によるホース引上げ	遠隔操作によりホースを引き上げる。 WEBカメラにてマーキングの移動距離を遠隔で確認する。 （総引上げ距離1900mm）	ホース下端を約100mmピッチで段階的に引き上げられること（目標±20mm以下）	成立を確認
5	ホース全回収の確認	遠隔操作によりホースをガイドパイプ上端まで引き上げる。	ホースを作業フロアに完全に引上げ回収できること	成立を確認
6	ホース回収時の洗浄	ホース回収中に遠隔洗浄操作を行う。	ホースを洗浄しながら引上げ回収できること	成立を確認

6. 実施内容（3）S / C内充填止水

No.87

➤ 施工性確認試験 実機適用に向けた課題の抽出

分類		課題	内容
有人作業	高線量作業性	人間系作業の負荷低減 (作業簡易化)	各単位作業時間は目標以内の見通しを得たが、被ばく低減のために、設置・解体作業の簡易化（ワンタッチ接続化等）が必要
遠隔作業	施工性	ホースとS / Cシェル開口部の干渉	ホースの曲り癖が発生する可能性があり、その場合、ホースとS / Cシェル開口部との干渉リスク低減策を検討が必要
	操作性	操作盤エラー表示の改善	より速やかな異常事象の確認及び復旧のため、エラー事象の内容を操作盤表示で一目で確認可能とすることが望ましい



模式図：ホース曲り癖によるS / Cシェル開口部との干渉



操作盤

6. 実施内容 (3) S/C内充填止水

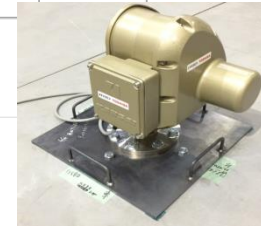
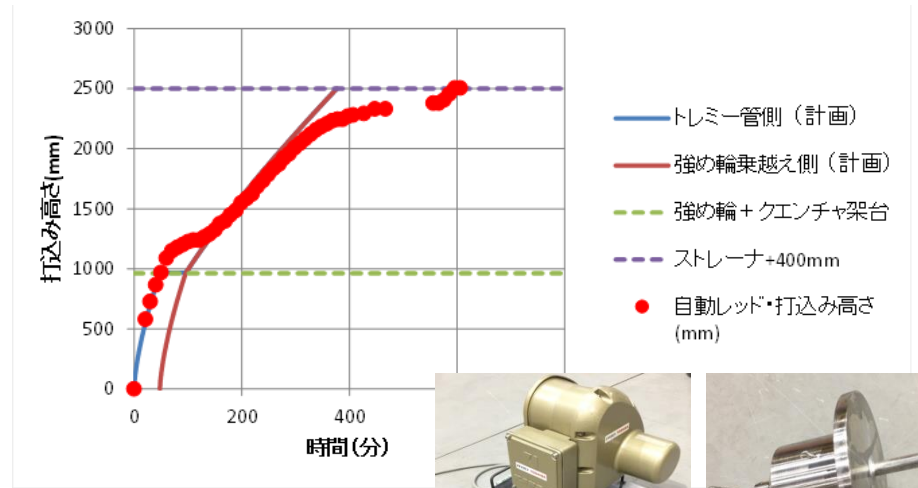
➤ 打設試験 試験概要



現地プラントからの止水材輸送の実施



模擬操作本部にて施工手順を検証

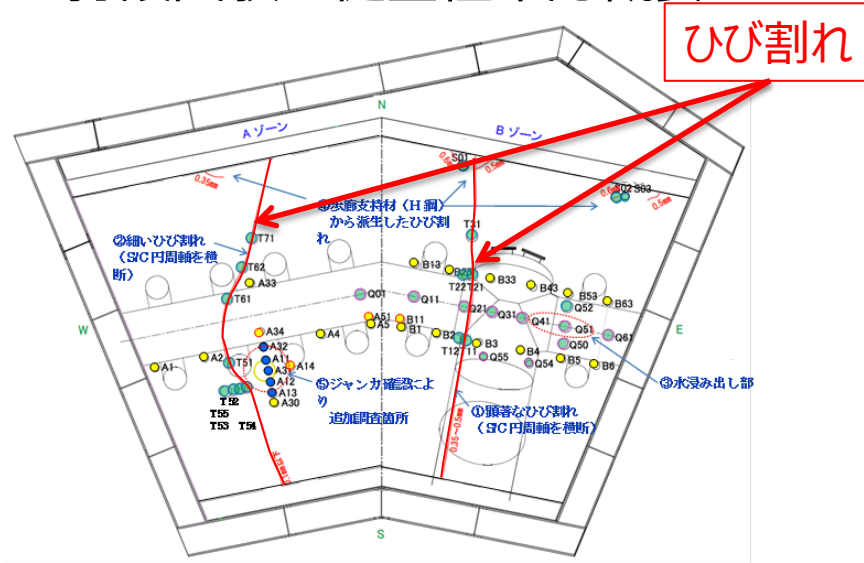


自動レッドによる遠隔打設高さ計測にて 施工方法を検証

- 現地プラントを使用した止水材の製造、遠隔による既定量の止水材の打設を行い、一連手順が完了できることを確認した。これにより、以下を達成した。
- ✓ 打設試験の実施を完了
 - ✓ 施工手順の成立を確認
 - ✓ 施工方法（監視含む）の成立を確認
 - ✓ 実機適用に向けた課題を抽出

6. 実施内容 (3) S / C 内充填止水

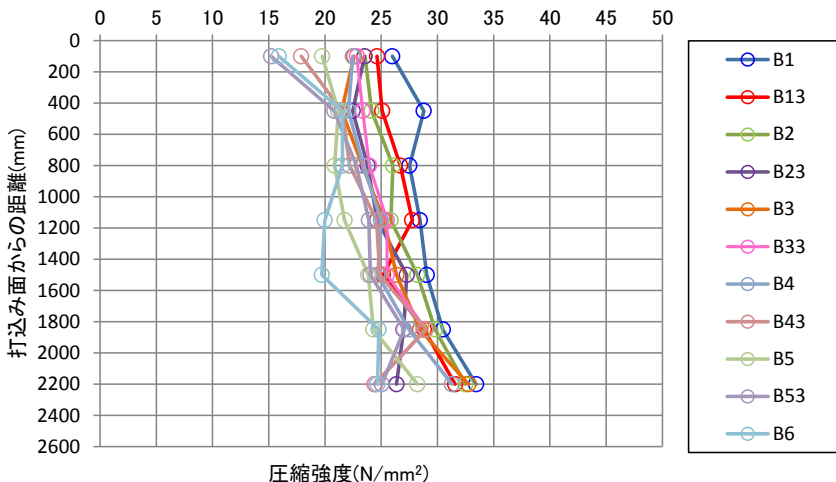
➤ 打設試験 健全性確認概要



ひび割れ及びコア採取箇所分布



**S / C 脚部補強材打設後、
止水材を横断・貫通するひび割れを確認**

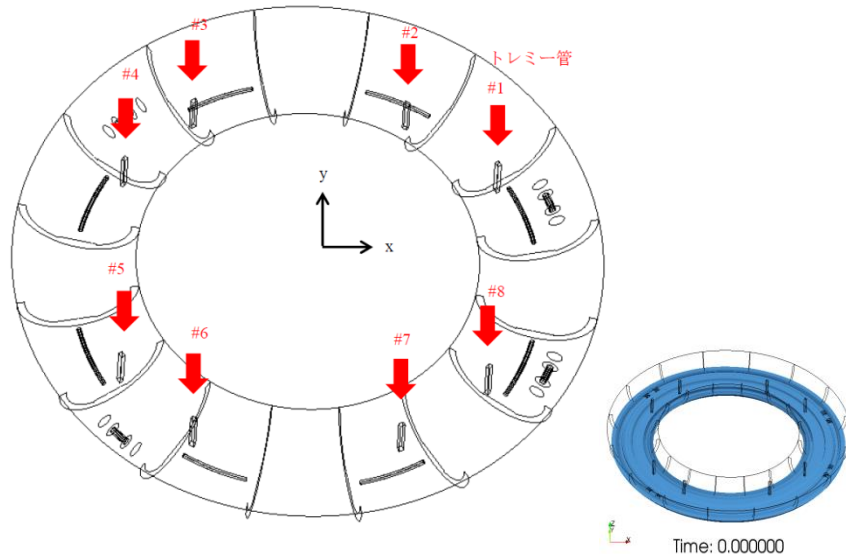


採取したコアの強度分布

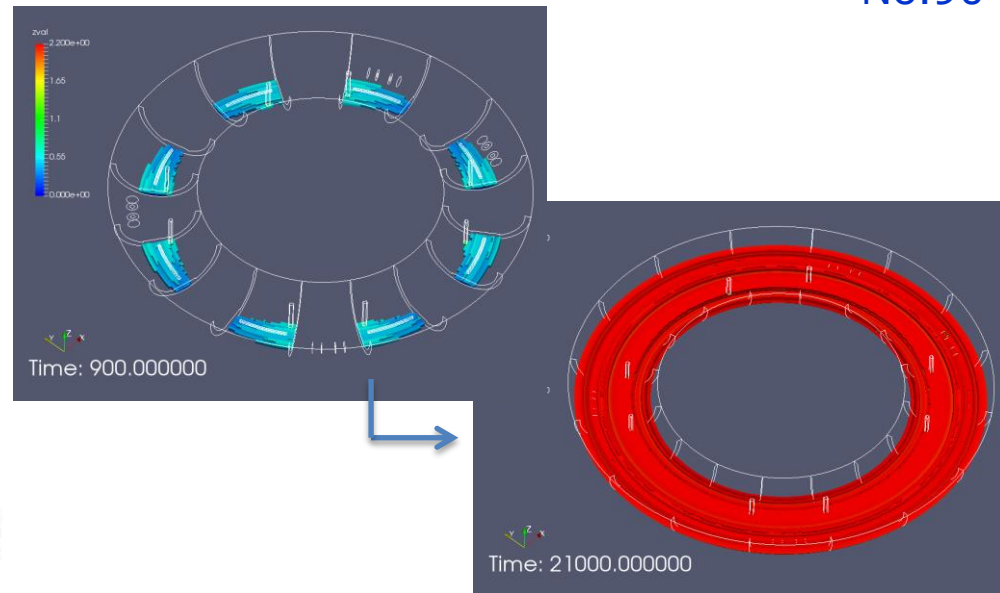
- 打設後の止水材の表面観察、クエンチャ加圧試験、コア抜きによる打設状況確認を実施し、止水材打設直後の充填状況に問題はないこと。脚部補強材打設後にひび割れが生じたことを確認した。
- ✓ コア採取及び加圧試験を実施
 - ✓ 材料性能分析による健全性を確認
 - ✓ 充填部位及びコアの表面観察を実施
 - ✓ 表面観察による健全性を確認

6. 実施内容 (3) S / C内充填止水

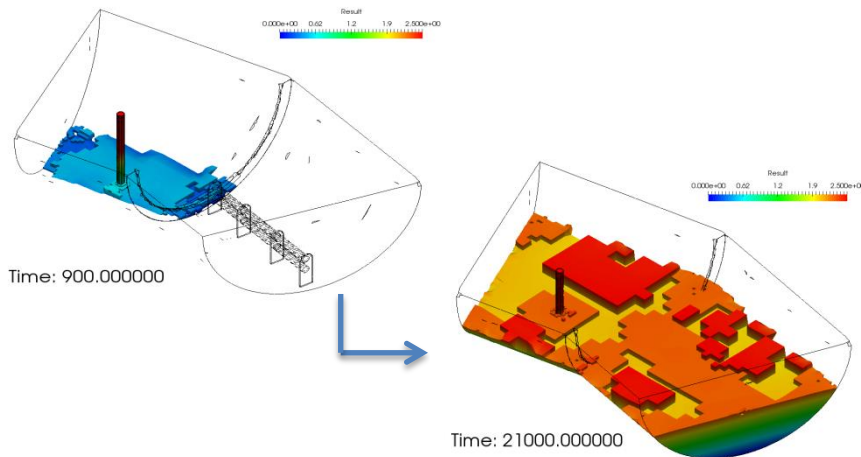
➤ 打設試験 止水材流動解析



解析モデル (右: 初期水位モデル)



**コンクリート全体打設高さ計算結果
(色は高さを表示)**



コンクリート表面形状 (色は高さを表示)

止水材流動解析を行い、360° S / Cモデルに対して止水材同時打設を行う解析を実施した。いずれも表面はほぼ平坦となり、規定量 (200m³) の止水材打設によりクエンチャ・ストレーナを埋設可能であることを確認した。

ケース1 : 8箇所同時打設

ケース2 : 7箇所同時打設 (トラブル想定)

6. 実施内容（3）S／C内充填止水

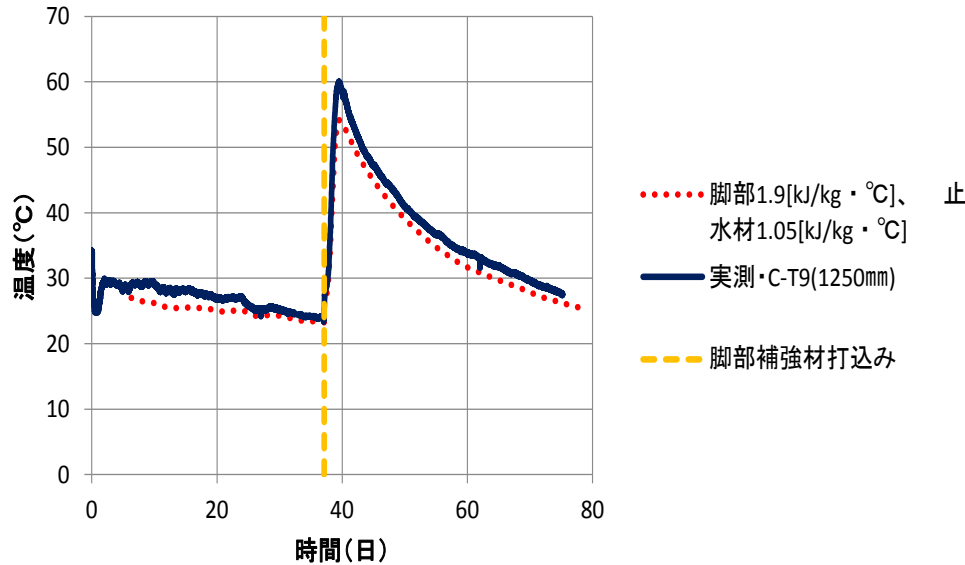
No.91

➤ 打設試験及び健全性確認の確認項目と達成状況

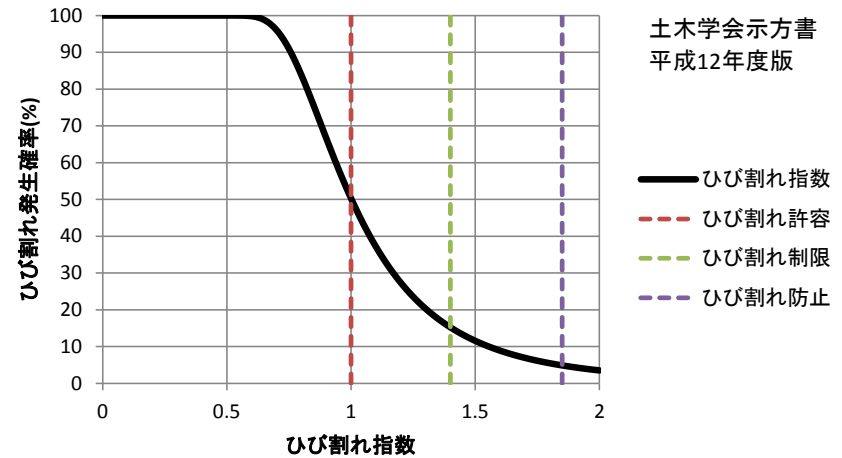
	試験項目	試験手順	判定基準（要求項目）	達成状況
1	止水材供給手順確認	現地生コンプラントにて製造したコンクリートを、アジテータ車及びポンプ車にて打設装置へ供給する。	現地プラントを用いて止水材を製造供給できること	成立を確認
			止水材プラントより止水材合計200m ³ を継続的に供給できること	成立を確認
			130m相当距離を圧送できること （ポンプ入口圧力：5Mpa）	成立を確認
			車両運行管理ができること。	成立を確認
2	トレミー工法による打設	打設を行いながら、遠隔操作によりホースを引き上げる。 打設量及び打設高さが規定値に達した時点で作業を完了する。	ホース下端を約100mmピッチで段階的に引き上げられること	成立を確認
3	コンクリート高さ計測	打設を行いながら、自動レッド及び打設量測定により遠隔で打設高さを計測する。	打設位置付近の打ちあがり高さを遠隔で確認できること（＝ホース先端が止水材に300mm程度埋設していることを確認できること）	成立を確認
4	ホース回収時の洗浄	ホース回収中に遠隔洗浄操作を行う。	ホースを洗浄しながら引上げ回収できること	成立を確認
			スポンジ・ゴムボールの加圧送出しによりホース内止水材を排除できること	成立を確認
5	ホース全回収の確認	遠隔操作によりホースをガイドパイプ上端まで引き上げる。	ホースを作業フロアに完全に引上げ回収できること	成立を確認
6	クエンチャへの加圧	クエンチャ加圧ラインを加圧し、漏えいの有無を確認する。	0.12MPaの加圧時：漏えい量： 1000mL/min以下	漏えい量： 1.0mL/min

6. 実施内容 (3) S / C内充填止水

➤ 打設試験 ひび割れに関する分析



解析による温度計算結果と 実測値の比較



ひび割れ指数の考え方

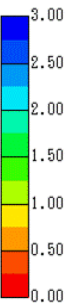
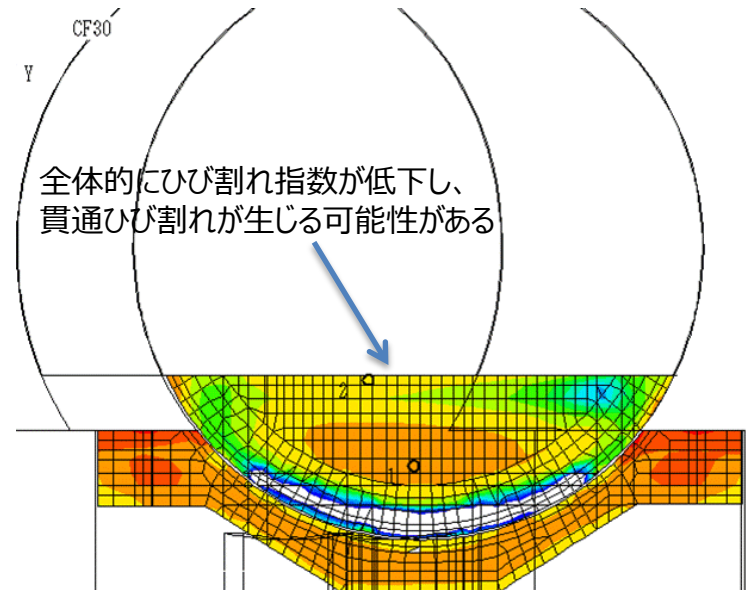
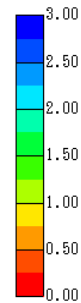
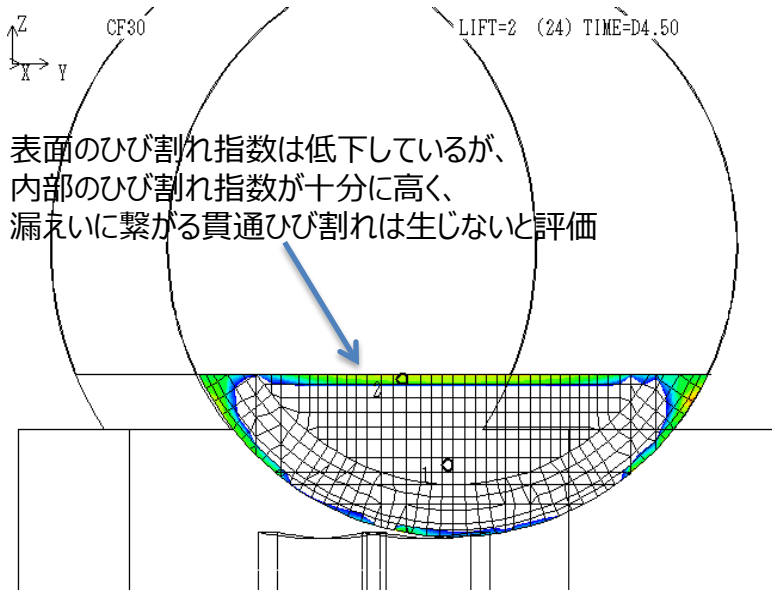
対策レベル	ひび割れ発生確率 (%)	ひび割れ指数
ひび割れを防止したい場合	5	1.85以上
ひび割れの発生を出きる限り制限したい場合	15	1.40以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅を過大とならないように制限したい場合	50	1.00以上

- ✓ ひび割れはその観察状況から温度応力によるものと推測し、また脚部補強材打設後に生じたと考え、温度応力解析によるひび割れ指数評価を実施した。
- ✓ 温度応力算出のため、温度の整合を優先し、文献に記載のある範囲で止水材及びS / C脚部補強材の比熱等のパラメータサーベイを実施。
- ✓ 解析による温度計算結果と実測値は良い整合を示した。

6. 実施内容 (3) S/C内充填止水

No.93

➤ 打設試験 実規模試験打設手順での温度応力解析結果



等高線図
指数

脚部補強材打設前
最小ひび割れ指数発生断面

1100.00 指数

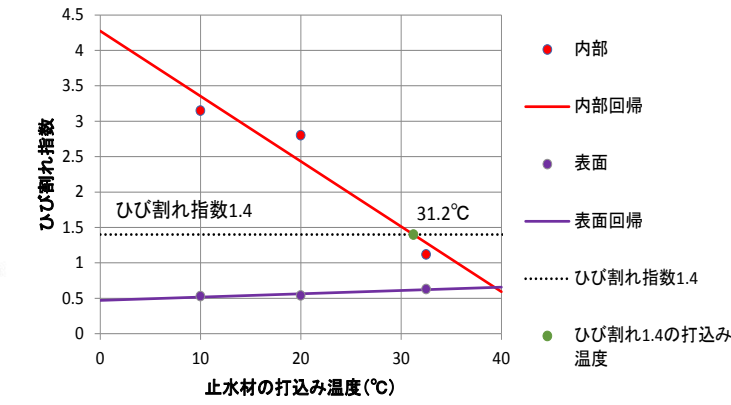
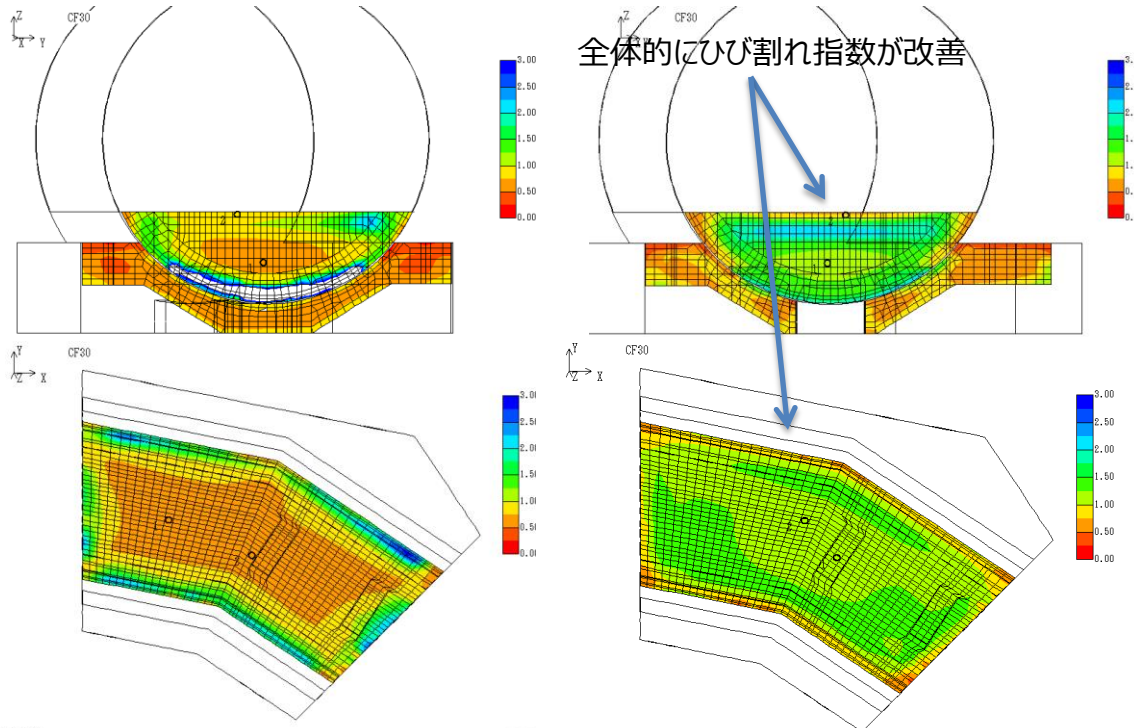
脚部補強材打設後
最小ひび割れ指数発生断面

1100.00

- ✓ 脚部補強前の最小ひび割れ指数 (内部) は3.0以上あることを確認。
- ✓ 脚部補強後の最小ひび割れ指数は0.58であった。
- ✓ 配合の違いによるひび割れ指数への影響は小さいことを確認。

6. 実施内容 (3) S / C内充填止水

➤ 打設試験 打設手順変更時の温度応力解析結果



止水材の打込み温度とひび割れ指数の関係

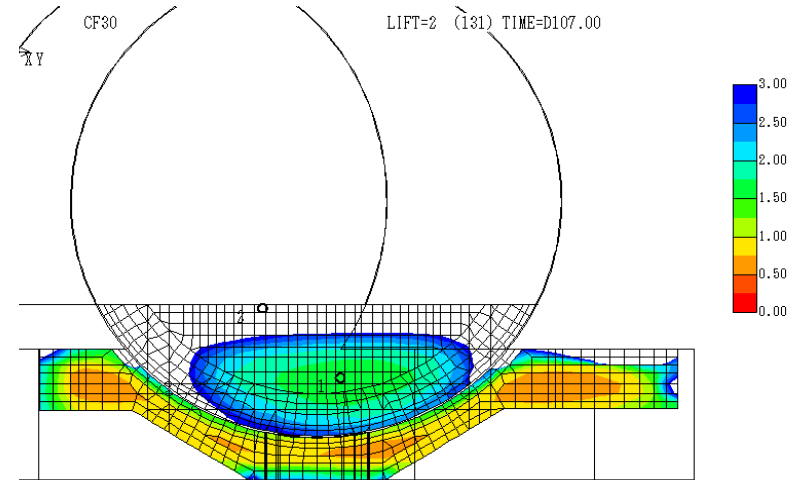
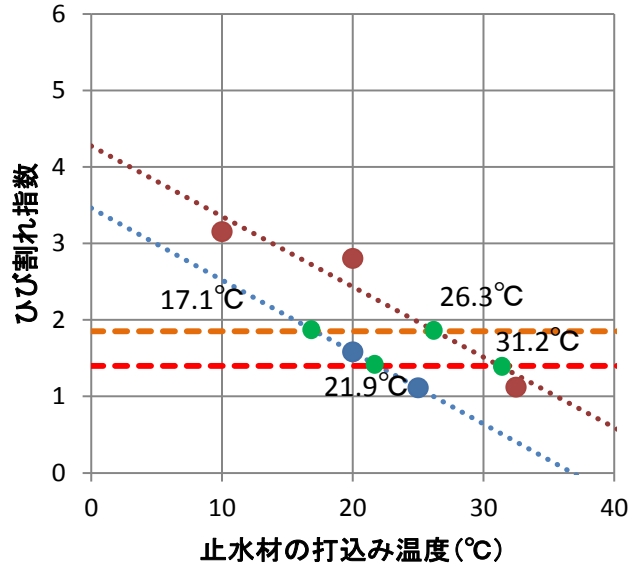
A : 止水材⇒脚部補強材 **B : 脚部補強材⇒止水材**

(最小ひび割れ指数が存在する断面を表示)

- ✓ A : 止水材⇒脚部補強材の順での最小ひび割れ指数 : 0.58
 - ✓ B : 脚部補強材⇒止水材の順での最小ひび割れ指数 : 1.12※
 - ✓ 脚部補強材⇒止水材の順、かつプレクーリング等により、止水材打込み温度を26.3℃以下にすることで、ひび割れ防止可能となるひび割れ指数1.85を超えることを確認
- ※ B 手順成立には、S / C 損傷箇所の事前調査と、S / C 底部に損傷がある場合は影響評価が必要

6. 実施内容 (3) S/C内充填止水

➤ 打設試験 実機モデルによる温度応力解析結果

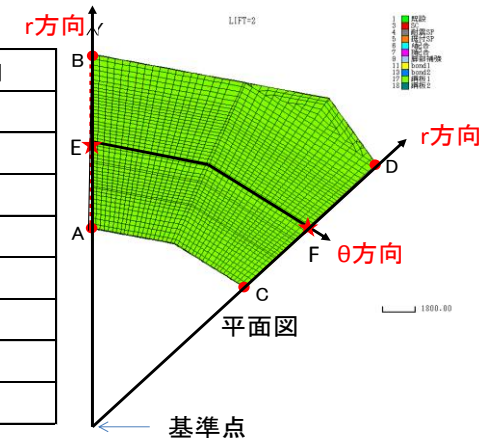


ひび割れ指数と止水材打込み温度の関係 (実機モデル)

最小ひび割れ指数時 温度応力分布図

- ✓ 材齢107日後で止水材内部にてひび割れ数が最小となった。
- ✓ ひび割れ指数1.85を確保するためには止水材打込み温度を17.1°C以下にする必要がある

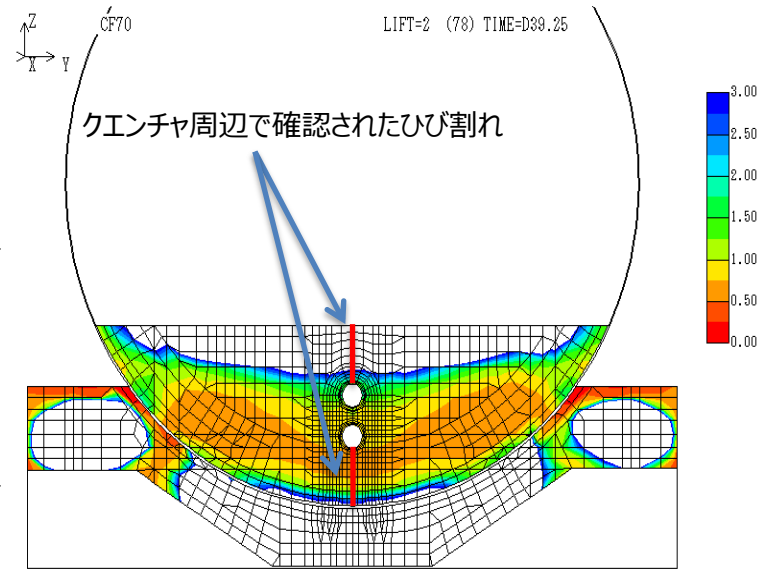
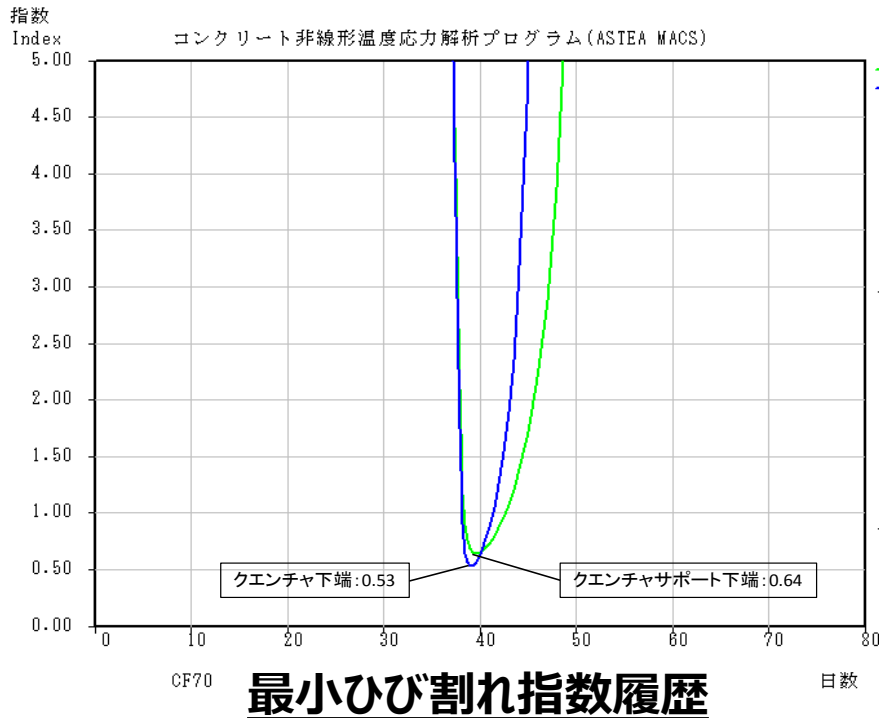
点および区間	θ 方向	r 方向	Z 方向
A	固定	固定	固定
B	固定	自由	自由
C	固定	自由	自由
D	固定	自由	自由
E	固定	自由	自由
F	固定	自由	自由
A-B	固定	自由	自由
C-D	固定	自由	自由



解析モデル

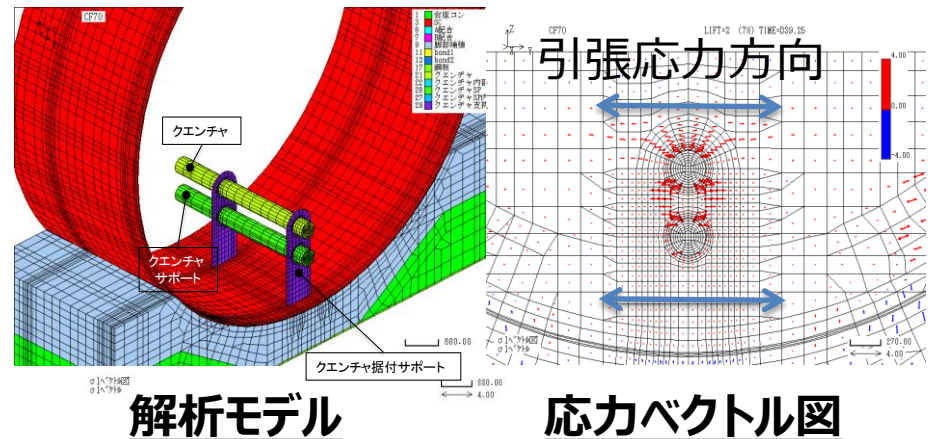
6. 実施内容 (3) S/C内充填止水

➤ 打設試験 クエンチャ周辺温度応力解析結果



最小ひび割れ指数時 温度応力分布図

- ✓ 材齢39.3日後 (脚部補強打設後2日) でクエンチャ下部にてひび割れ指数が最小となった。
- ✓ ひび割れ方向は実規模試験で確認された方向と整合した。



6. 実施内容（3）S / C内充填止水

No.97

➤ 打設試験 温度応力解析結果のまとめ

- ✓ ①と②の比較により、打設手順を変えるとひび割れ指数が改善することを確認した。
- ✓ ③により、プレクーリングを行うことによりひび割れリスクを低減できることを確認した。
- ✓ ④により、境界条件を実機相当に変えても、プレクーリングを行うことによりひび割れリスクを低減できることを確認した。
- ✓ ⑤により、クエンチャ周辺のひび割れについても温度応力が原因となり発生していることを確認し、打設手順変更やプレクーリング等の対策が有効であると評価した。

	解析モデル	打設手順	打込み温度	解析結果
①実規模試験打設手順での温度応力解析	実規模試験体モデル	①止水材打設 ②脚部補強材打設	打込み温度:32.5℃	最小ひび割れ指数: 0.58 発生日時: 39.5日
②打設手順変更時の温度応力解析 A	実規模試験体モデル	①脚部補強材打設 ②止水材打設	打込み温度:32.5℃	最小ひび割れ指数: 1.12 発生日時: 67日
③打設手順変更時の温度応力解析 B	実規模試験体モデル	①脚部補強材打設 ②止水材打設	プレクーリング有り 打込み温度: 26.3℃	最小ひび割れ指数:1.85 発生日時: 79日
④実機モデルによる温度応力解析	実機境界条件	①脚部補強材打設 ②止水材打設	プレクーリング有り 打込み温度: 17.1℃	最小ひび割れ指数:1.85 発生日時: 107日
⑤クエンチャ周辺温度応力解析	クエンチャ周辺のみ	①止水材打設 ②脚部補強材打設	打込み温度:32.5℃	最小ひび割れ指数: 0.53 発生日時: 39.3日

6. 実施内容（3）S / C内充填止水

➤ 打設試験 実機適用に向けた課題の抽出

課題	内容
止水材及び脚部補強材の硬化時の発熱によるひび割れ対策	<ul style="list-style-type: none">・ 止水材を先に充填する場合は、後から打設する脚部補強材の断熱温度上昇量を14℃以下に抑制する必要がある。（解析にて得られた値）・ 脚部補強材を先に充填する場合は、止水材打込み温度を17.1℃以下にする。そのためには、作業季節を気温が低い時期に設定するか、プレクーリングした上で止水材を供給するなどの対応が考えられ、実施時期のS / C内水温を用いた評価が必要。・ 止水材単体の打設ではひび割れ発生は防止されることを、「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」にて確認済み。
止水材の大量供給	<ul style="list-style-type: none">・ 実機施工時には、今回の8倍の止水材の供給と設備が必要になり、複数の生コンプラント・アジテータ車が必要となる。・ プラント毎で練混ぜミキサーの性能が異なるため、プラント毎に材料品質を調整し、統一することが必要となる。止水材性能のばらつきを抑えるためには、材料供給設備を備えた専用プラントを設置することが有力な選択肢となる。

6. 実施内容（3）S／C内充填止水

➤ 成果のまとめ

- 実機適用に向けた手順書案の作成
 - ・ 施工手順書を作成し、高線量作業及び遠隔作業手順が成立することを確認し、標準施工要領書のひな型をまとめた。
- 遠隔施工、施工手順、施工方法の成立性
 - ・ 遠隔装置により打設高さを計測し、トレミー工法の成立を確認した。
 - ・ 実規模試験により実機適用に向けた課題を抽出した。
- 止水材の材料性能、充填状況
 - ・ 止水材のコア抜き試験を実施し、充填状況に問題がないことを確認した。
 - ・ 止水材表面観察の結果、脚部補強材打設後にひび割れが生じたことを確認した。
 - ・ ひび割れ対策については「PCV漏えい箇所補修技術の開発(H28-H29)」へフィードバックした。
- 止水材の流動解析シミュレーション
 - ・ 実規模試験結果に基づく、実機モデルの流動解析を実施し、8箇所同時打設時の充填高さに偏りが生じないこと、トラブル等により1方位からの充填が不可能になっても問題がないことを確認した。

6. 実施内容（3）S / C内充填止水

No.100

➤ 目標に照らした達成度



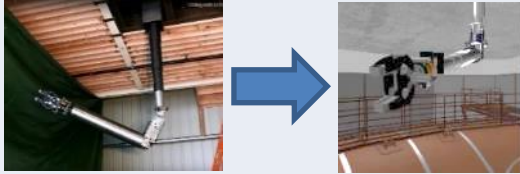
(1) PCV下部補修技術の 実規模試験		達成度
1) S / C内充填止水の施工性確認試験		
・実機適用に向けた手順書案の作成	【達成】	手順書案の作成を完了し、施工性確認試験で実践した。
・施工性確認試験の実施	【達成】	施工性確認試験を完了した。
・遠隔施工性の成立性についての評価	【達成】	遠隔施工性の成立性を評価し、成立の見込みを得た。
・施工手順の成立性についての評価	【達成】	施工手順の成立性を評価し、成立の見込みを得た。
・実機適用に向けた課題抽出	【達成】	実機適用に向けた課題を抽出した。
2) S / C内充填止水の打設試験		
・打設試験の実施	【達成】	打設試験を完了した。
・施工手順の成立性についての評価	【達成】	施工手順を評価し、成立の見込みを得た。
・施工方法の成立性についての評価	【達成】	施工方法を評価し、成立の見込みを得た。
・実機適用に向けた課題抽出	【達成】	実機適用に向けた課題を抽出した。
(2) 試験後の補強材・止水材の 健全性確認		達成度
1) 材料性能等の分析評価		【達成】 材料性能の分析を行い、健全性を評価した。
2) 充填状況の評価		【達成】 充填状況の評価を行い、健全性を評価した。

(4) 予備シミュレーション試験用の VRデータの整備

- 目的、目標
- 実施体制
- 詳細実施スケジュール
- 実施内容
 - 検証・評価の作業フロー
 - 実機計測
 - 動作検証
 - 評価
- 成果の反映先への寄与
- 現場への適用性の観点における分析
- 目標に照らした達成度

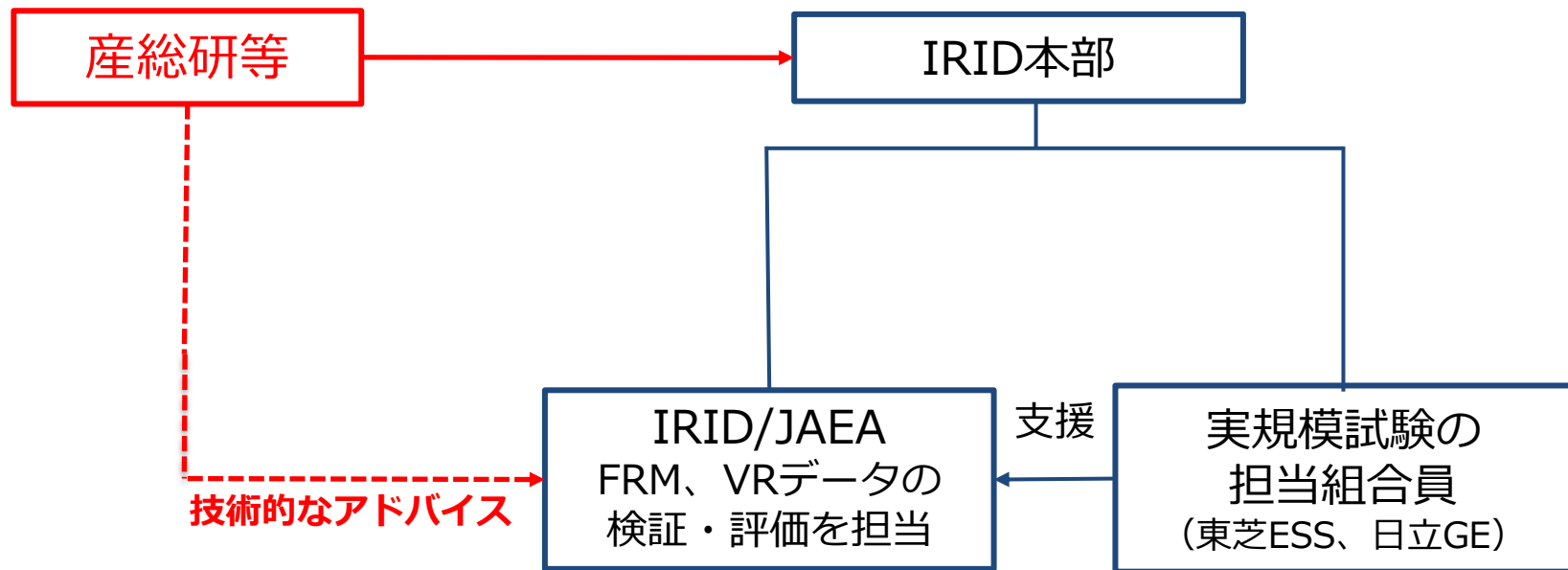
➤ 目的、目標

JAEA 楯葉遠隔技術開発センターに整備されたVRシステムを活用し、平成28年度までの事業において、「PCV漏えい箇所の補修技術の実規模試験(H28-H29)」に用いられるFRMの操作機能等の整備及びその機能の精度アップを実施し、作業検討及び操作訓練を可能とした。平成29年度は平成28年度までの成果と実機の比較検証を行い、有効性や課題を評価するとともにその結果からVRシステムの効果的・効率的な使用方法の提案を目指す。

H25補正 IRIDとJAEAとの共同提案	H27補正 IRID組合員としてIRID-JAEAが実施	
H27年度 基本機能の構築	H28年度 精度アップ	H29年度 検証・評価
<ul style="list-style-type: none"> FRM設計段階の情報を用いてVRデータを整備 必要な作業手順を模擬 ⇒ 基礎訓練の実施が可能となった。	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計情報と操作経験者からのヒヤリングをもとに精度アップ 操作卓を実機と同等に模擬 FRM操作機能の追加等精度アップ ⇒ 幅広い訓練の実施が可能となった。	<ul style="list-style-type: none"> モーションキャプチャ等を用いて実機の実測データを測定 VRシステムと実機の比較検証を実施 VRシステムの有効性評価を実施 ⇒ 操作訓練の活用範囲を明らかにするとともに、訓練上重要なパラメータについて明らかにする。
		<p style="text-align: center;">実機の実測データを反映</p> 

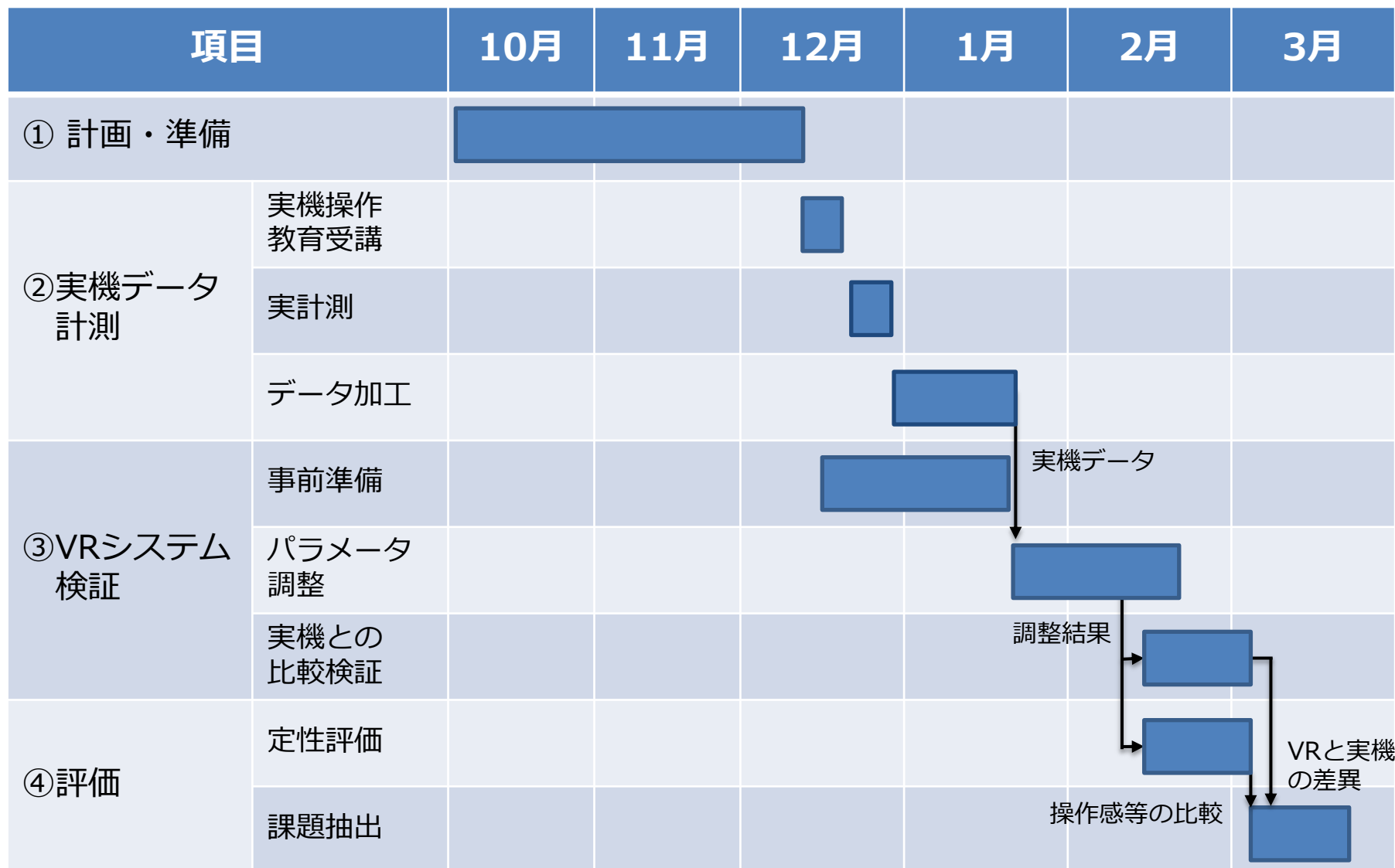
ヒヤリング
結果

➤ 実施体制

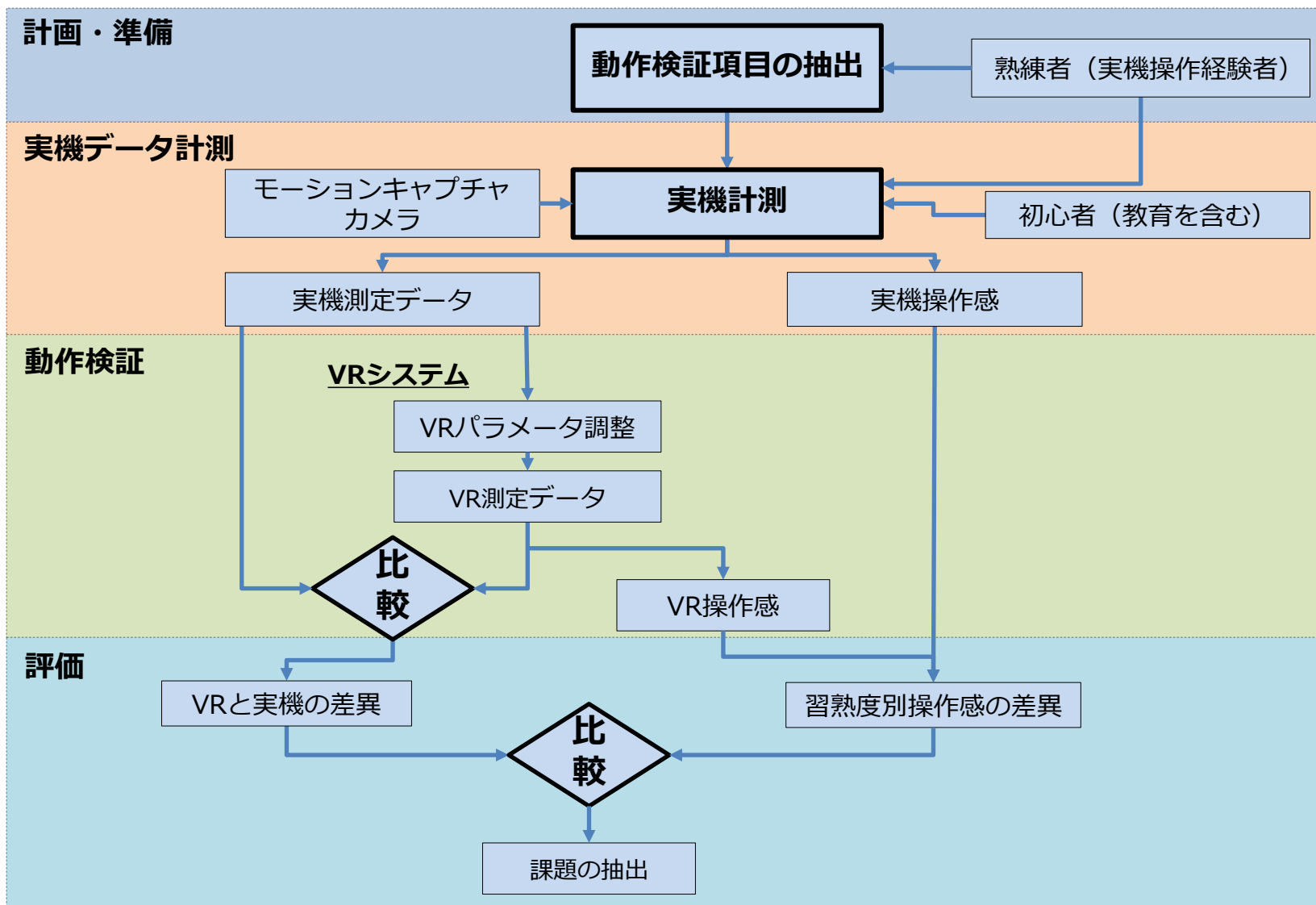


IRID本部並びに実規模試験の担当組合員は、VRに関する技術的な知見を多くは有していないことから、シーズ指向の開発とならないよう第三者の技術的なアドバイザーとして、IRID本部が委嘱した**産総研の有識者等**から、技術的なアドバイスを受けながら、本事業を進める。

➤ 詳細実施スケジュール



➤ 実施内容 検証・評価の作業フロー



➤ 実施内容 実機計測 (1/6) FRMの動作計測項目

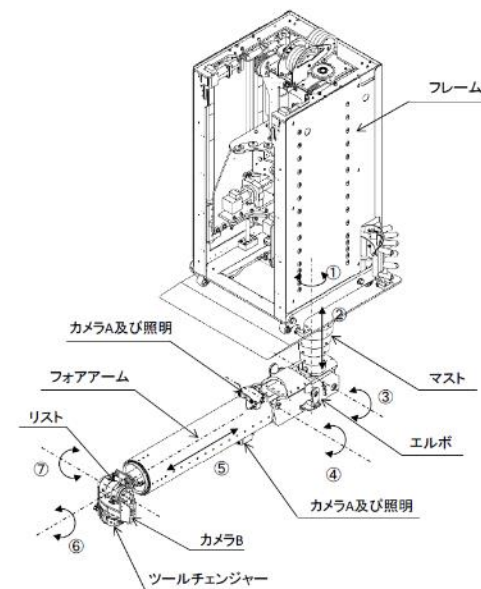
基本動作計測項目

動作部位	計測動作	先端ツール
マスト回転	90°回転 (往復)	WJ Type1
リスト回転		
リスト揺動		
エルボ2回転	±15°回転 (往復)	
マスト伸縮	最大伸長の25%~75%の範囲で上下	
エルボ1,2同時回転	±15°回転 (往復)	

条件ごとの動作への影響調査項目

動作部位	計測動作	先端ツール	動作速度	リストの状態	
				揺動	回転
マスト回転	30°回転	WJ Type1 + WJ Type2	100% + 40%	0°	0°
				90°	0°
				90°	90°
エルボ1回転	15°回転			0°	0°
				90°	0°
				90°	90°

FRM動作範囲



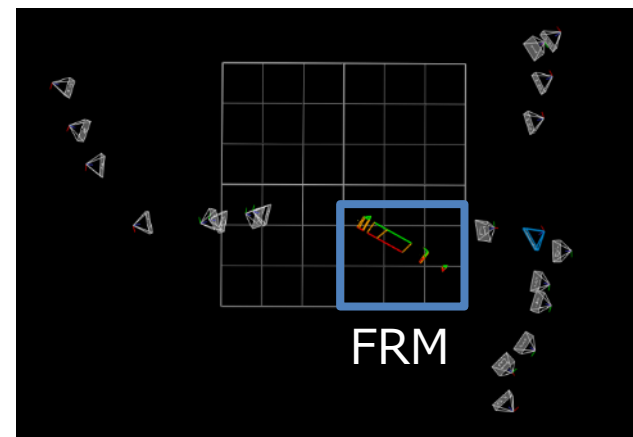
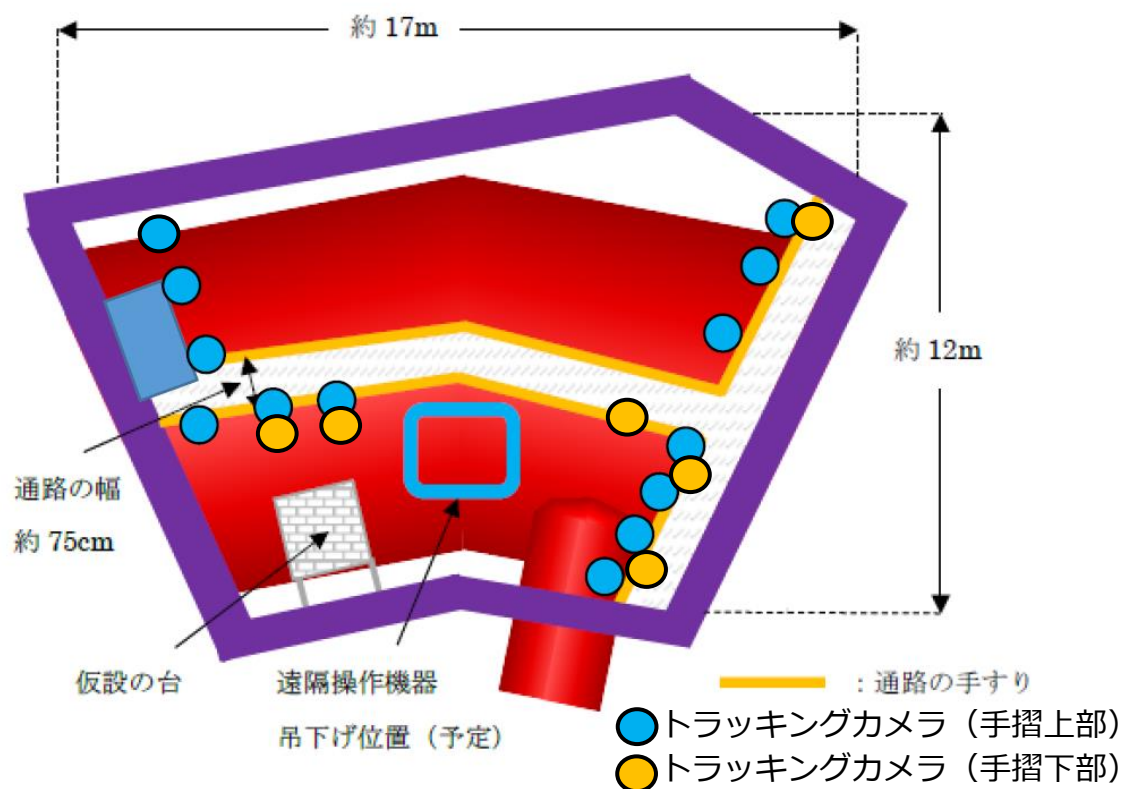
No.	軸名称	動作範囲
1	マスト回転 (Mast Rotate)	0° ~ 360°
2	マスト伸展 (Mast Extend)	0~5492 mm
3	エルボ1回転 (Elbow 1 Pitch)	0~90°
4	エルボ2回転 (Elbow 2 Pitch)	-10~90°
5	フォアアーム伸展 (Forearm Extend)	1378~3024mm
6	リスト回転 (Wrist Rotate)	±180°
7	リスト揺動 (Wrist Pitch)	±90°

6. 実施内容 (4) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

No.108

➤ 実施内容 実機計測 (2/6) FRMの動作計測トラッキングカメラ配置図

モーションキャプチャ用トラッキングカメラを19台使用



➤ 実施内容 実機計測 (3/6) FRMの動作計測

モーションキャプチャを使用して計測

- 基本動作計測
- 条件ごとの動作への影響調査

動作速度を変更 (100%→40%)
して計測
重量の異なるツール (WJ Type1,
WJ Type2) をつけて計測

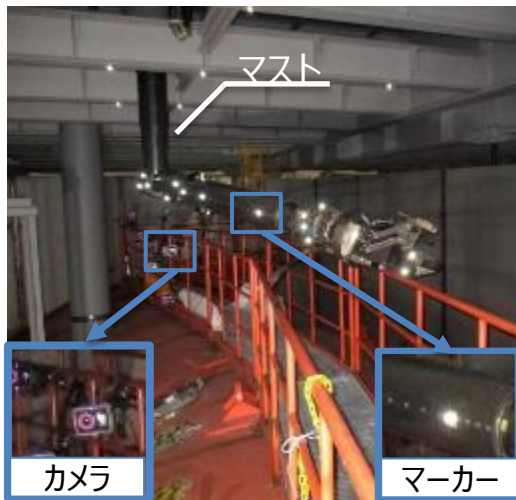
基本動作
マスト回転
マスト伸縮
エルボ1回転(ピッチ)
エルボ2回転(ピッチ)
フォアアーム伸縮
リスト回転
リスト揺動



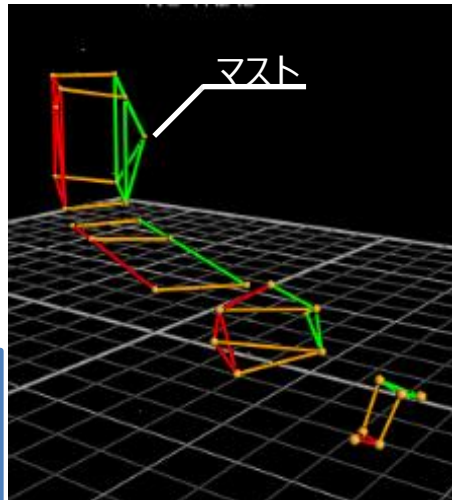
WJ Type1



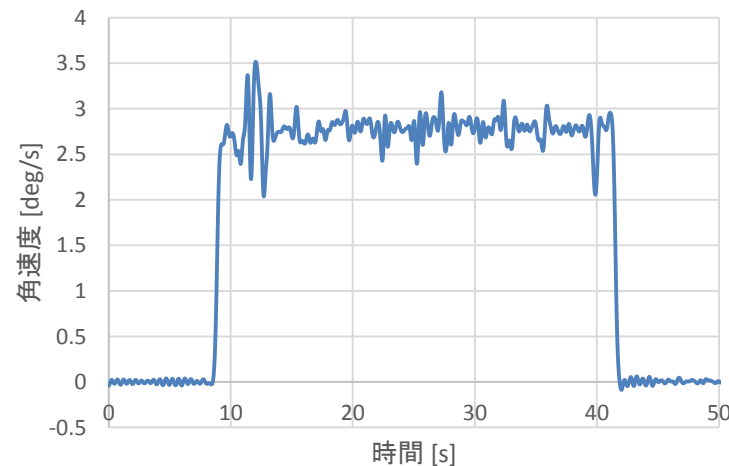
WJ Type2



計測時の様子



FRM動作解析モデル



マスト回転動作

➤ 実施内容 実機計測 (4/6) カメラ映像の計測

試験体の壁面に張り付けたキャリブレーションボード、メジャーを各カメラで撮影し、視野角、パン・チルト速度、ズームイン・アウト速度、上昇・下降速度、歪みを推定

計測対象カメラ
俯瞰カメラ
FRMエルボカメラA1
FRMエルボカメラA2
FRMリストカメラB
S/C内視認カメラ
ベント管内視認カメラ



計測時の様子

各動作中のカメラ映像をフレーム分割し、基準点の移動量を壁面に張り付けたメジャーをもとに算出し速度を推定



6. 実施内容（4）予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

No.111

➤ 実施内容 実機計測（5/6）カメラ照明の計測

試験体の壁面に張り付けた白紙にカメラの照明を当てた様子を各カメラで撮影し、照度分布を推定

計測対象カメラ
俯瞰カメラ
FRMエルボカメラA1
FRMエルボカメラA2
FRMリストカメラB
S/C内視認カメラ
ベント管内視認カメラ

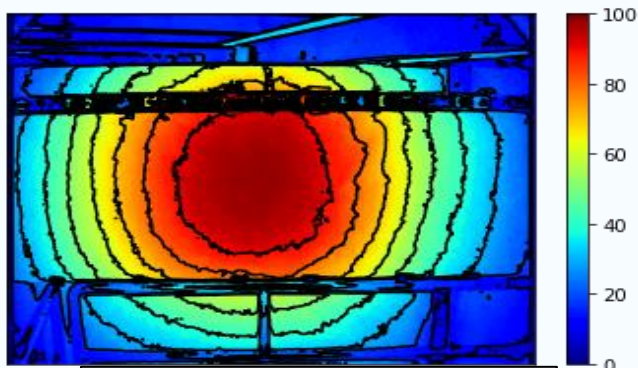


照明計測時の様子

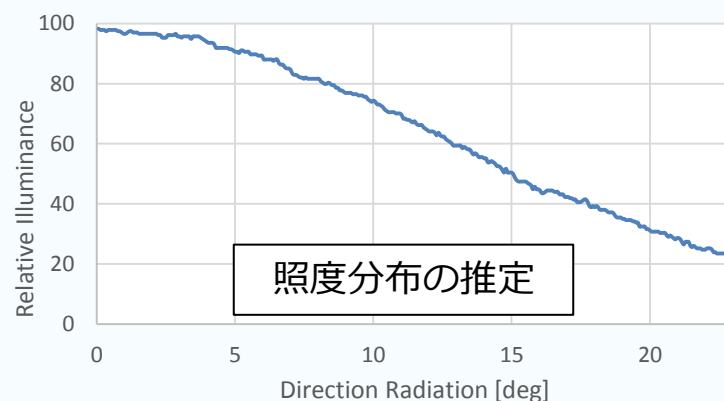


俯瞰カメラ映像

カメラ映像を解析し、各カメラの照度分布を推定



俯瞰カメラ照明解析結果



照度分布の推定

➤ 実施内容 実機計測（6/6）操作感確認

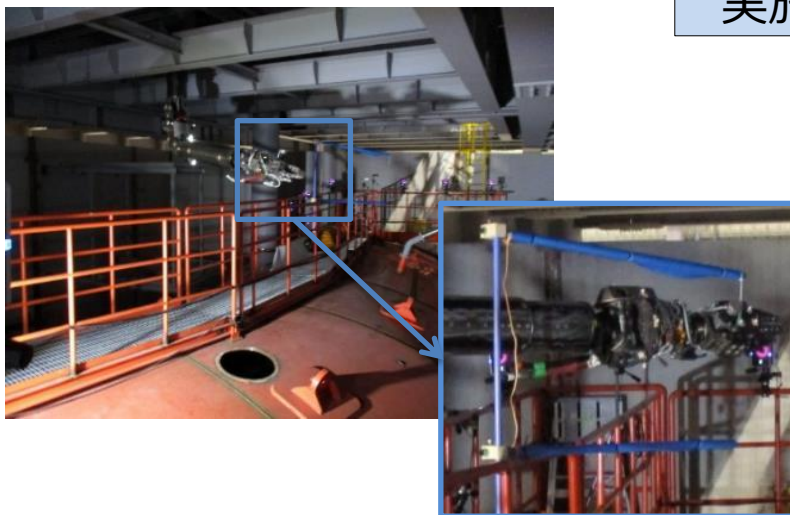
操作訓練の想定利用者である、以下の3グループの被験者を対象に課題を行い、操作感の確認を実施

対象者：実機操作熟練者 1名 / VR経験者 2名 / 初心者 2名

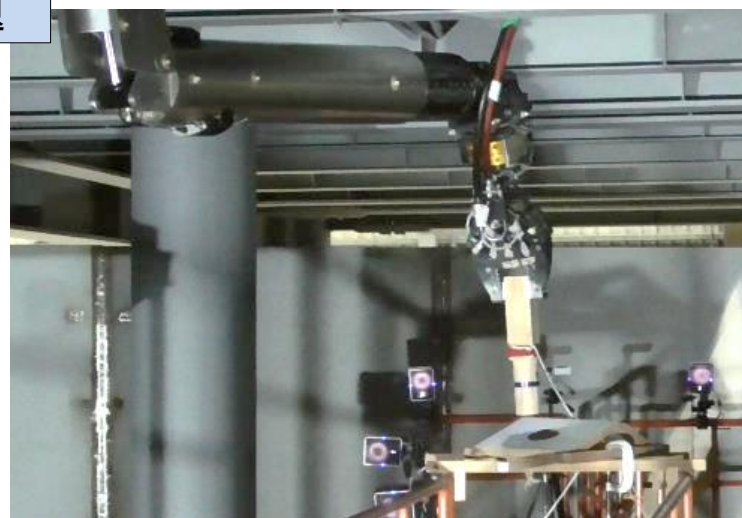
課題は実機設計者及び操作者への事前ヒヤリングによって決定

実機操作の未経験者は事前に操作教育を実施

実施課題



手摺上部に設置した干渉物を迂回
S/C内でスプレイ管等干渉物の回避動作を想定

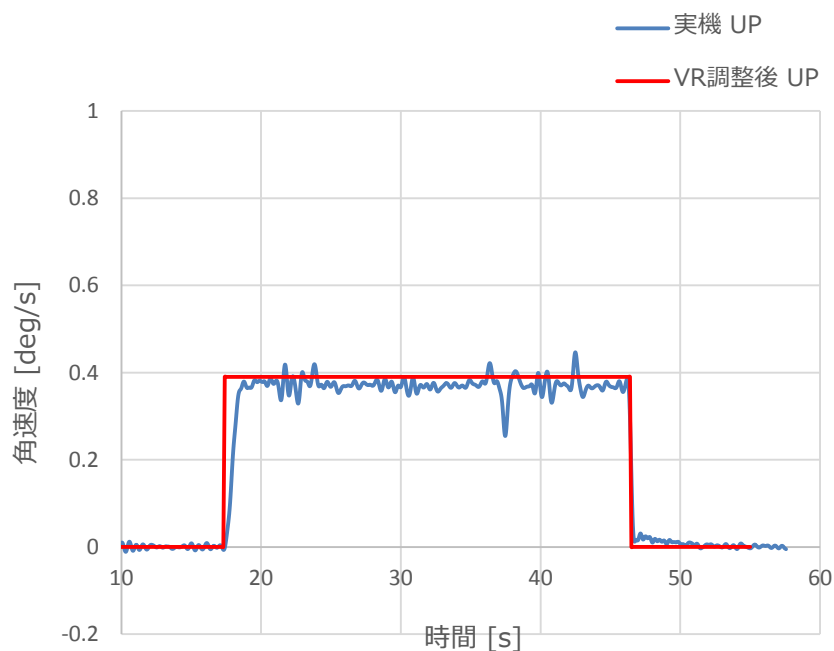


手摺上部に設置された模擬穴へ把持した棒を挿入
穿孔穴への先端ツール挿入動作を想定

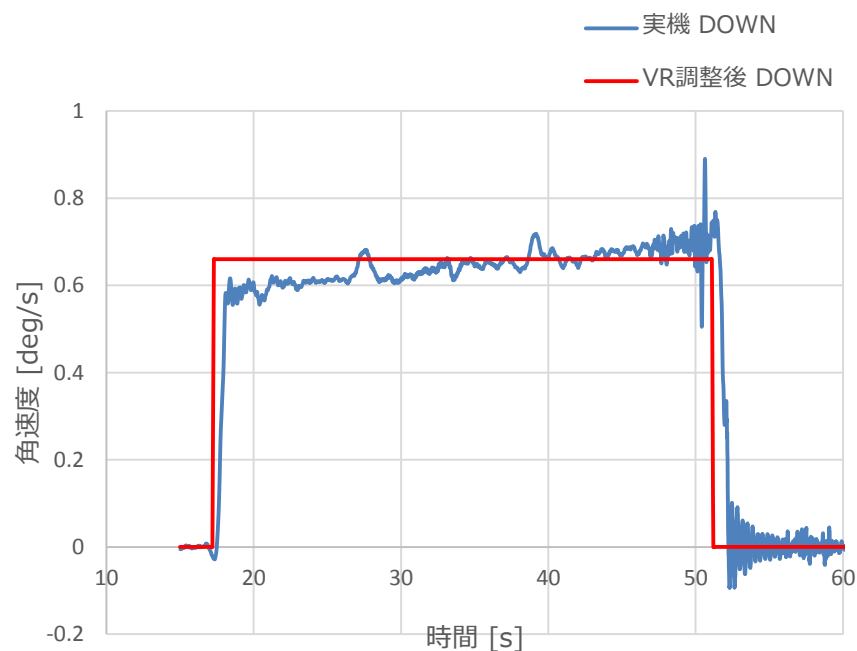
➤ 実施内容 動作検証 (1/3) VRパラメータ調整

FRM動作、カメラ映像・照明について、実機計測結果をもとにパラメータ調整を実施。

FRM動作の同一動作において、姿勢等の影響により計測データにばらつきがあるものについては、実機計測結果以外に実機操作者へのヒヤリングを行い、複数の条件でパラメータ調整を実施。



パラメータ調整結果(エルボ 1 回転UP時)



パラメータ調整結果(エルボ 1 回転DOWN時)

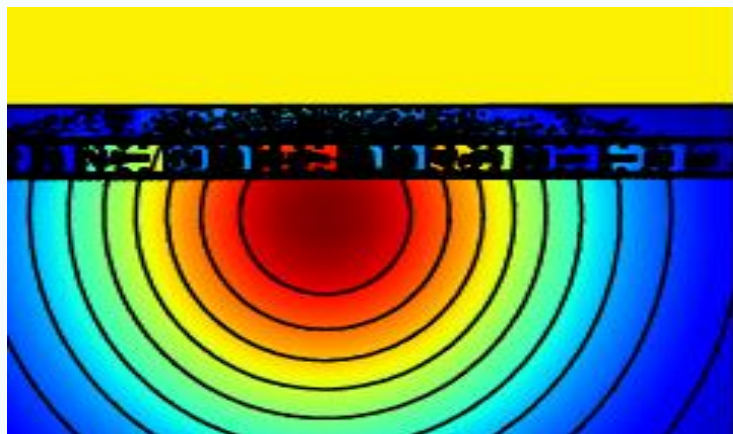
➤ 実施内容 動作検証 (2/3)

VR計測データ (カメラ映像)

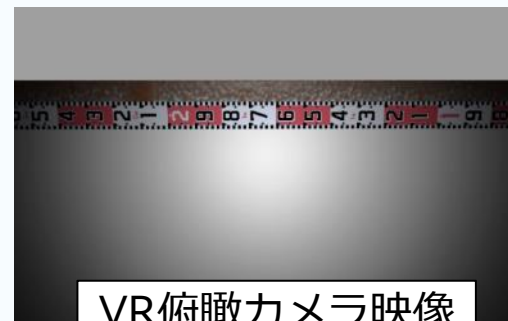
パン・チルト速度等はVRシステムのログ出力から計測
直接計測できない視野角と歪みはメジャー等をVRのカメラで撮影して推定

VR計測データ (カメラ照明)

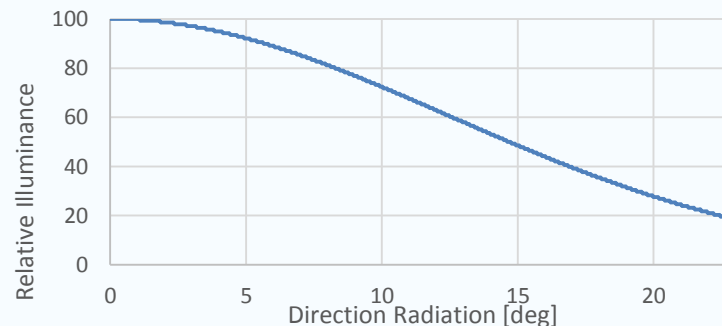
実機計測と同様に、試験体の壁面に貼り付けた
白紙にカメラの照明を当てた様子を各カメラ
で撮影し、照度分布を推定



VR俯瞰カメラ照明解析結果



VR俯瞰カメラ映像



照度分布の推定

➤ 実施内容 動作検証（3/3）VR操作感確認

実機と同様に、以下の3グループの被験者を対象に課題を行い、操作感の確認を実施

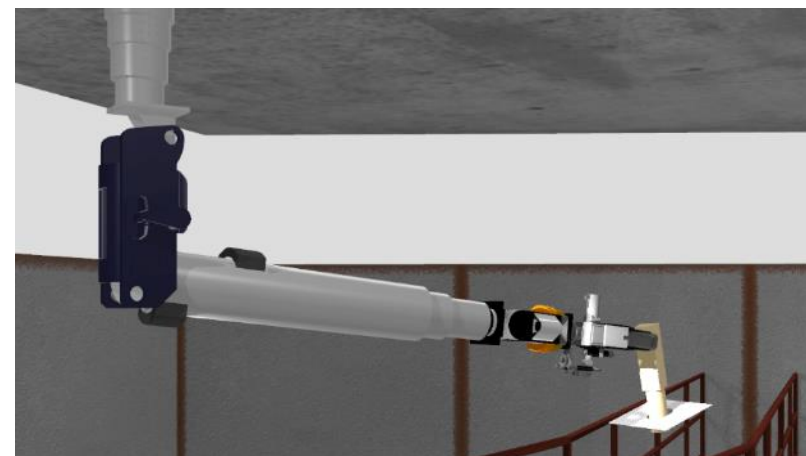
対象者：実機操作熟練者 2名 / VR経験者 2名 / 初心者 2名

課題は実機と同様のものを実施

実施課題



手摺上部に設置した干渉物を迂回
S/C内でスプレイ管等干渉物の回避動作を想定

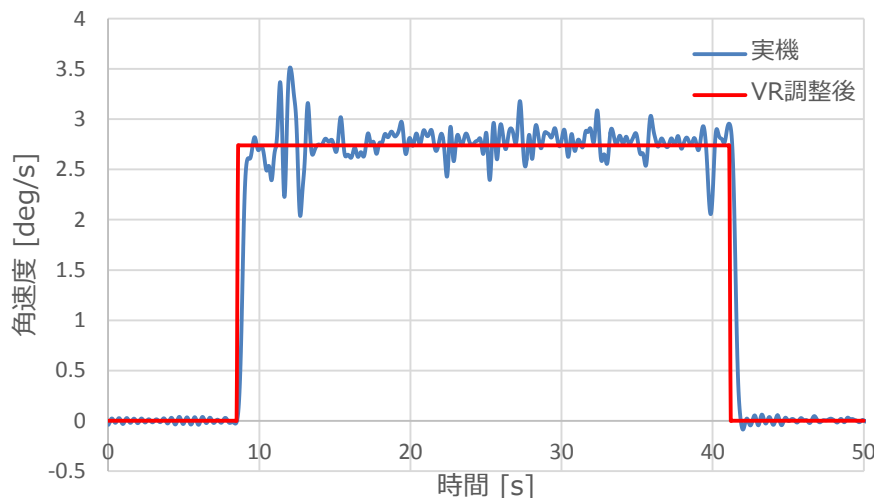


手摺上部に設置された模擬穴へ把持した棒を挿入
穿孔穴への先端ツール挿入動作を想定

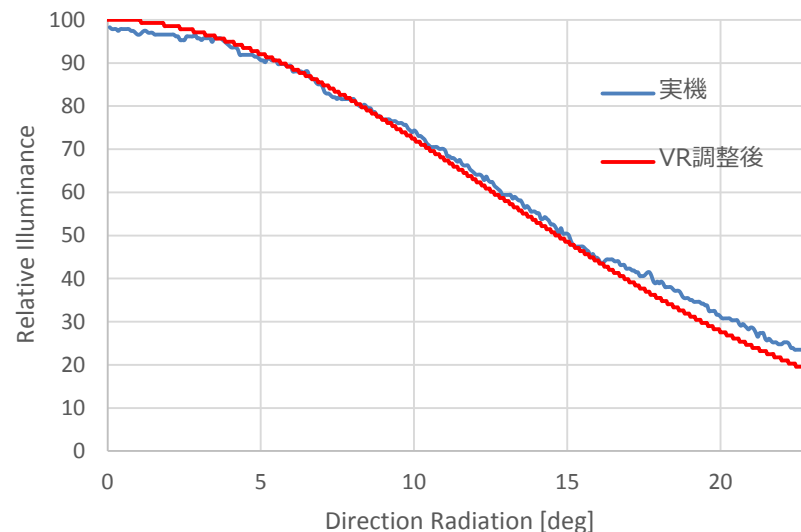
➤ 実施内容 評価 (1/6) 実機とVRの計測データの比較

VRのパラメータ調整において採用した実機計測データとパラメータ調整後のVR計測データを比較

- FRM計測時の振動等の影響、カメラや試験体の傷や汚れの照明の反射への影響により、実機とVRの計測データに差異が見られるものの、同様の傾向であることが確認できた。
- FRMの動作において、加速度に差異が見られた。これは、実機とVRの動作の制御方法に違いがあるためと考える。
(マスト回転 加速時間：実機 0.8 秒、VR 0.1 秒)

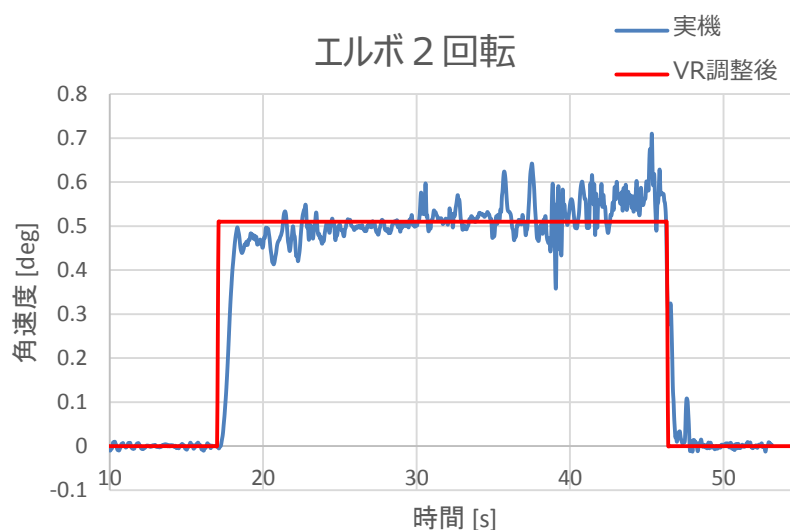
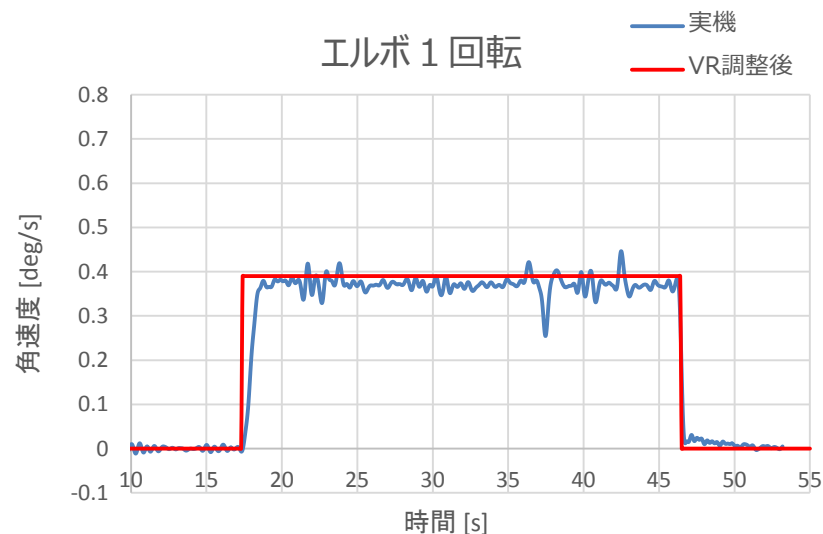
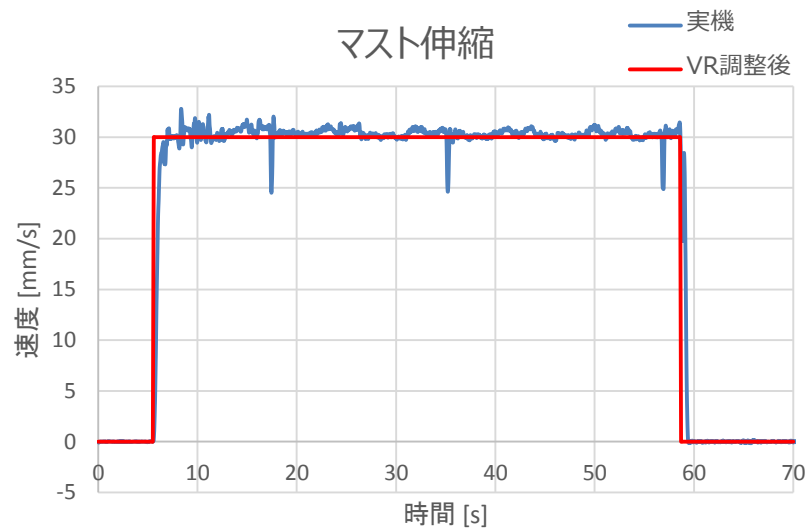
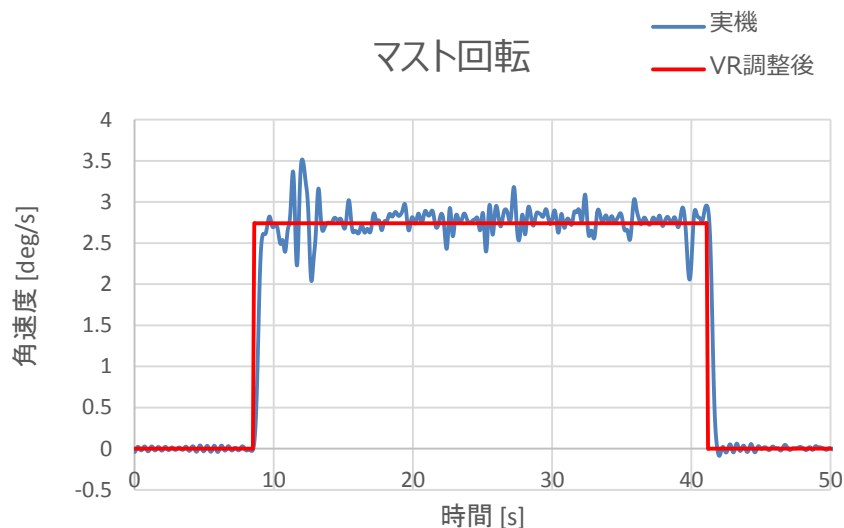


パラメータ調整結果例(マスト回転動作)



照度分布の推定例(俯瞰カメラ)

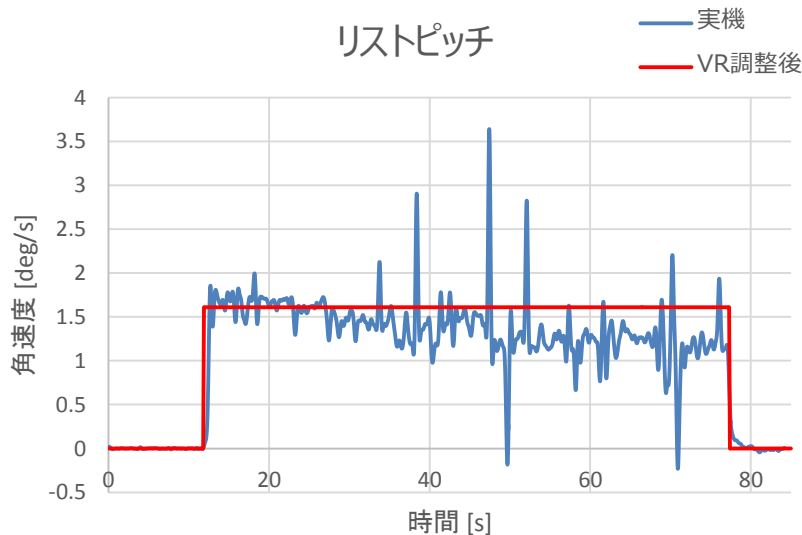
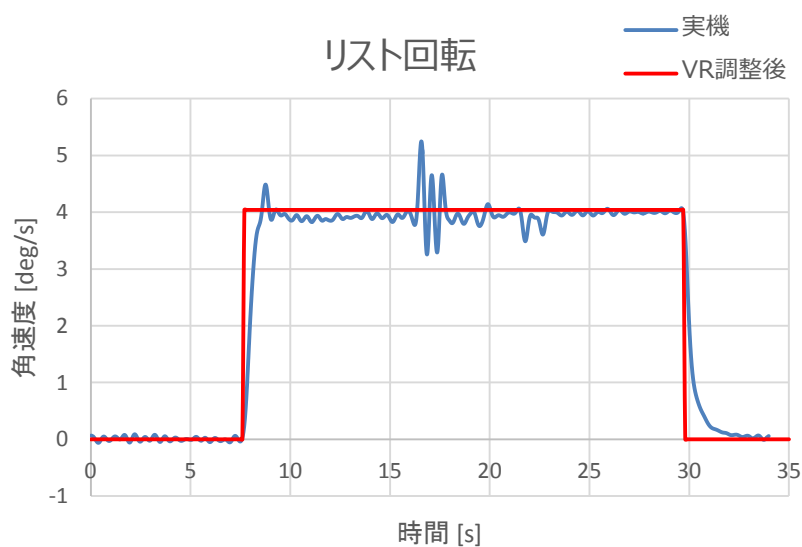
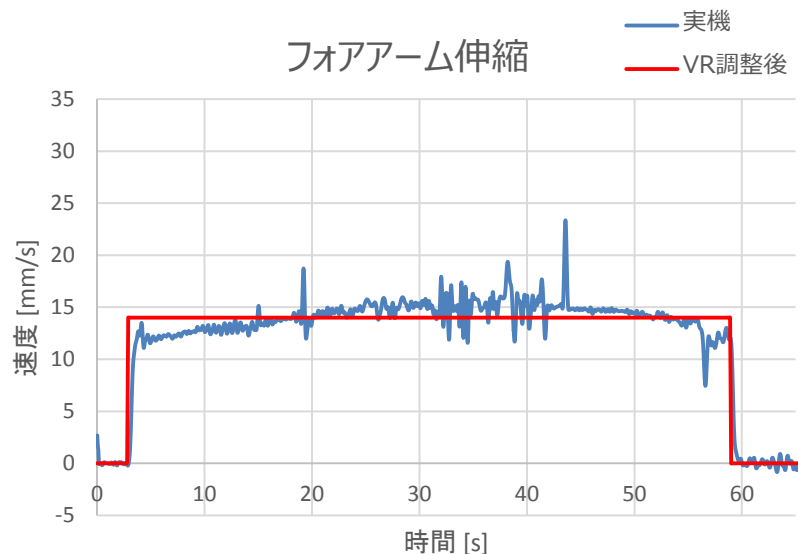
➤ 実施内容 評価 (2/6) 実機とVRの計測データの比較



6. 実施内容 (4) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

No.118

➤ 実施内容 評価 (3/6) 実機とVRの計測データの比較

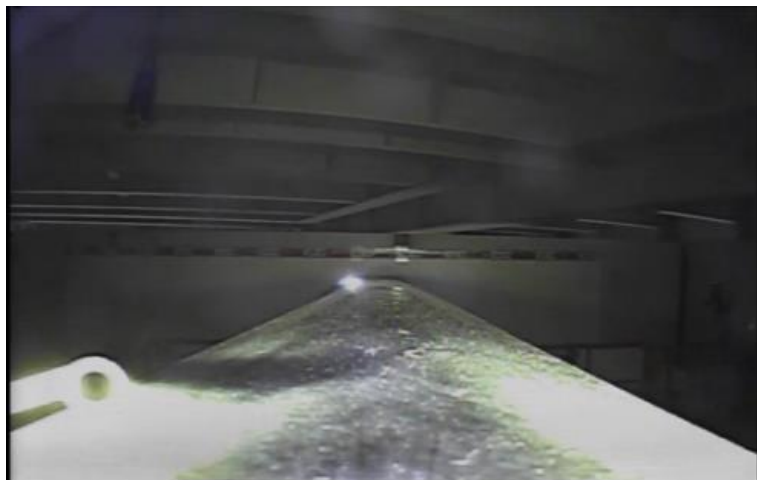


6. 実施内容（4）予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

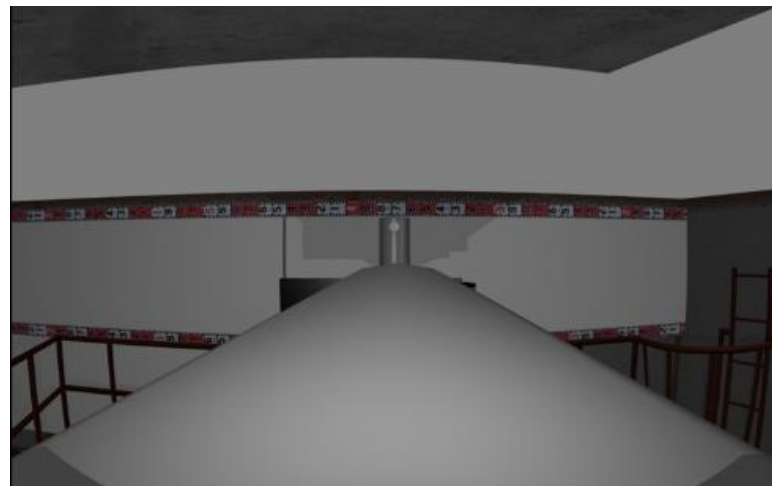
No.119

➤ 実施内容 評価（4/6）実機とVRのカメラ映像比較

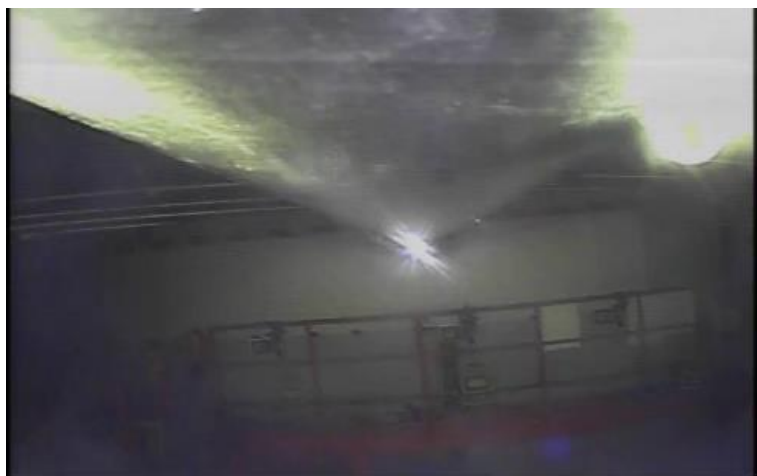
FRMエルボカメラA2映像（実機）



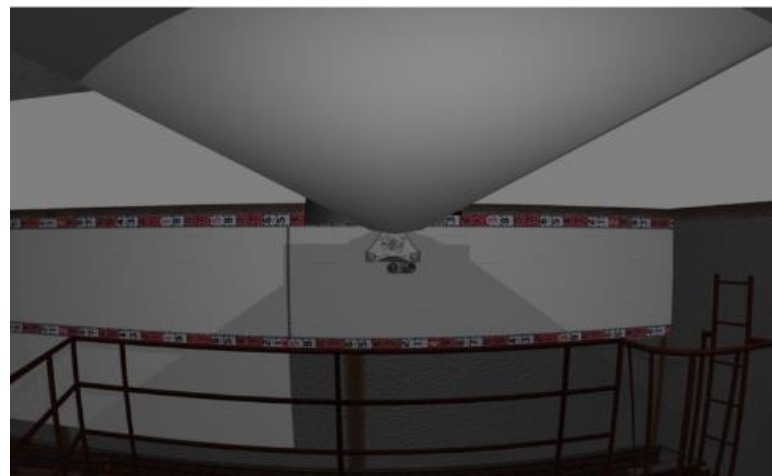
FRMエルボカメラA2映像（VR）



FRMエルボカメラA1映像（実機）



FRMエルボカメラA1映像（VR）



➤ 実施内容 評価（5/6）実機とVRの操作感の比較

実機とVRで操作感の確認を実施した結果、動作や挙動に大きな差異はなく、操作訓練等に十分活用可能であることが確認された。

確認項目	評価	内容
マスト伸縮	○	操作の違和感なし
マスト回転	△	おおむね一緒だが、FRMをまっすぐ下におろした姿勢の時は、回転速度が速く感じる。
エルボ1回転	△	実機ではエルボ上昇時は下降時より遅くなるが、VRでは同速度で動作しているため、上昇動作が速く感じる。ただし上昇・下降それぞれの速度にVRを調整した結果、違和感はなくなった。
エルボ2回転	△	
フォアアーム伸縮	○	操作の違和感なし
リスト回転	○	操作の違和感なし
リスト揺動	△	姿勢によっては違和感を感じたが、エルボ同様、姿勢によってVRを調整すれば違和感ない。
俯瞰カメラ	○	実機とほぼ同じ見え方・動き方と感じた。ただし、実機はカメラが吊るされているため動作時に映像が揺れるが、VRではこの現象は起こらないため、実機より見えやすく感じた。
S/C視認カメラ	○	実機とほぼ同じ見え方・動き方と感じた。
ベント管内視認カメラ	○	

➤ 実施内容 評価（6/6）課題の抽出

動作検証の結果、VRデータが操作訓練や作業検討に活用するために十分な精度を有していることを確認した。しかしながら、動作や挙動について、一部実機とVRにて差が認められた。位置決め動作等のより高度な訓練や検討を実施するにあたっては以下の課題について、対応する必要があると考える。

- ・ VRにおいてはFRMが干渉物と接触した場合その場で停止する。実機においては接触したまま動作することが可能。そのため、実機で穿孔穴にツールを設置する際に穴に擦るよう、位置決めを実施しているが、現在のVRでは同様の動作ができない。しかし穿孔穴挿入を想定した疑似的な反力・摩擦力等を付加することで対応可能と考えられる。
- ・ 実機ではエルボ回転動作等において重力の影響を受けて回転方向で速度が異なるが、VRではどちらも同じ速度で動作するため、操作感に差が生じる。操作感を正確に再現するには動作方向毎にパラメータ調整等ができるよう設計する必要がある。
- ・ VRでは操作信号入力終了後の慣性等による振動等を考慮していないため、操作感に差異が生じるが、疑似的な振動等の機能を追加することで対応可能と考えられる。
- ・ FRMの動作は操作卓のジョイスティック（No.103精度アップ写真参照）にて操作されるが、実機ではジョイスティックの傾け具合によりFRMの動作速度が変動するが、VRではオンとオフのみの設計となっているため、わずかに操作性が異なる。機能としては改修を行うことで対応可能であるが、VRシステム整備後に実機関係者へのヒヤリングを実施した結果の設定であるにもかかわらず実態は異なっていたことから、今後はヒヤリングのみに頼らず、より正確な制御方法等の資料を確認する必要がある。

➤ 成果の反映先への寄与（1/6）

「PCV漏えい箇所の補修技術の実規模試験(H28-H29)」に用いられるFRMの操作訓練等に寄与する。

VRデータの活用範囲

- ①干渉位置の確認
- ②アクセスルートを検討
- ③カメラ配置の検討
- ④作業工程(手順)の確認・訓練


活用可能

- ⑤先端ツールの穿孔穴への装着

工夫により活用可


各関節部のバックラッシュやアーム部分の重力によるたわみの再現を行っていないため、先端ツールの穿孔穴への装着のような操作においては操作感に一部差異を感じるが、FRMの一連の作業手順における操作訓練が可能であることに加え、アクセスルートやカメラ配置等の検討へも活用可能である。

➤ 成果の反映先への寄与（2/6）

VR活用における費用対効果

今後の実機適用検討や操作者の訓練を考慮すると、実機でそれらを実施した場合、以下のとおり総額で数億円規模の費用が発生することが見込まれる。これはVRの開発コスト以上の金額となるため、これら検討・訓練にVRを活用することは工数を削減できるだけでなく、費用的にもメリットがあると考える。

【実機モックアップ実施コスト(8ヶ所分)】

- ・ バリエーション試験の実施コスト：約2.2億円
 - ・ カメラ配置等の検討の実施コスト：約2.4億円
- 約4.6億円

【VRモックアップ併用実施コスト】

- ・ VRの操作訓練機能の開発コスト：約1.7億円
 - ・ バリエーション試験の実施コスト：約0.4億円（1回）
 - ・ カメラ配置等の検討の実施コスト：約0.3億円（1回）
- 約2.4億円

※金額は概算値

【参考：操作感確認時のコメント】

FRMの立ち上げ準備や監視人の配置、ユーティリティの運転費用、場所代等を考えるとFRMの簡単な操作に慣れるだけでもかなりの手間とコストがかかるため、VRで訓練を行うことで操作に慣れた状態から実機操作をできるのであれば非常に効果がある。

PCV補修作業に限っては上記の通りであるが、今後この成果をデブリ取り出し等、他の作業へも適用していくことで、開発コストの低減が見込め、さらなるコストメリットが期待できる。

➤ 現場への適用性の観点における分析

今後の現場への適用性の検討案

操作訓練はもとより、以下のような活用を行うことで、より効果的・効率的な活用になると考える。

（1）ベント管止水のバリエーション試験

2号機のベント管止水の施工時において、遠隔装置の設置位置が施工部位ごとに異なるため、アクセス性の確認をVRデータで確認する遠隔装置のアクセスルートのバリエーション試験

（2）FRM搭載カメラの設置箇所の改善

実規模試験の結果より、実機適用時により作業性の高いFRM搭載カメラの設置箇所を実機と同等の環境で検討

（3）手順書や説明資料の作成支援

実機操作と同様な操作のみで手順書等に記載する素材を実寸大且つ立体的に確認しながら手軽に取得し、実機適用時に必要となる手順書等の資料作成に活用

➤ 目標に照らした達成度

(3) 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備		達成の結果
① 遠隔操作機器等のデータ精度アップ	以下の内容を検討・実施。	
	・ 遠隔装置等と枢要な作業手順の精度アップ	平成29年度達成
	(終了時目標TRL：レベル5完了)	レベル5達成
② VRデータの効率的な使用方法の確立	以下の内容を検討・実施。	
	・ 「①遠隔操作機器等のデータ精度アップ」の成果を利用したVRデータと実機操作の動作検証（実模擬試験の動作検証）	平成29年度達成
	・ 動作検証結果のVRデータ等への反映	
	・ 動作検証結果に基づく用課題の抽出	
	・ 使用方法別のVRシステムデータ整備費の費用対効果まとめ	
(終了時目標TRL：レベル5完了)	レベル5達成	