

平成29年度補正 廃炉・汚染水対策事業費補助金

「原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発」

2019年度実施分最終報告

2020年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

目 次

1. 研究の背景・目的
2. 目標
3. 実施項目とその関連,他研究との関連
4. 実施スケジュール
5. 実施体制図
6. 実施内容
7. 成果のまとめ

専門用語/略語	説明
燃料デブリ	高温となった燃料が,制御棒や原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内の構造物等とともに溶け,冷えて再び固まった物質
1F	福島第一原子力発電所
RPV	Reactor Pressure Vessel : 原子炉圧力容器
PCV	Primary Containment Vessel : 原子炉格納容器
D/W	Dry Well : 原子炉格納容器のうち,原子炉圧力容器等を格納するフラスコ型容器
S/C	Suppression Chamber : 圧力抑制室。原子炉建屋の地下階にあるドーナツ型容器
R/B	Reactor Building : 原子炉建屋
ペネ	Penetration : 原子炉格納容器に設けられている様々な貫通部（孔）のこと （例：第6ペネトレーションは「X-6」）
トーラス室	原子炉建屋の地下階に,トーラス形状（ドーナツ状）の圧力抑制室（S/C）が配置されている部屋のこと
JAEA櫛葉	日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センターのこと 福島第一原子力発電所の廃止措置に必要な技術開発のために設置した実証施設
液相・気相システム バウンダリ	汚染水・汚染空気が外部に漏れださないように閉じ込めるためのシステム 境界のこと。ここでは汚染水・汚染空気を閉じ込める範囲のこと
モックアップ試験	適用対象を再現した実物大の試験体を用いて行う試験のこと
MT/PT/UT/RT/VT WJ	非破壊検査の手法。左から磁粉探傷/浸透探傷/超音波/放射線探傷/目視検査 ウォータージェットのこと。高圧水を微小径のノズルから噴出させ切断を行う
延長配管	R/B1階床からD/W・S/C内部にアクセスする為の配管。ガイドパイプ

略 称	事 業 名
工法・システム高度化PJ	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化
基盤技術高度化PJ	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化
PCV調査PJ	原子炉格納容器漏えい箇所特定技術の開発
PCV補修技術PJ	原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発
PCV内部詳細調査PJ	原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発
PCV内部調査PJ	原子炉格納容器内部調査技術の開発
PRV内部調査PJ	原子炉圧力容器内部調査技術の開発
炉内状況把握PJ	総合的な炉内状況把握の高度化
臨界管理PJ	燃料デブリ臨界管理技術の開発
水循環PJ	原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発
水循環実規模PJ	原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発（実規模試験）
RPV/PCV腐食抑制PJ	圧力容器／格納容器の腐食抑制技術の開発
取り出し規模の更なる拡大PJ	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術開発

事業の背景・目的

1 Fの廃止措置に向け、燃料デブリ取り出しを行うにあたり、その作業によるリスクを低減し、安全を確保するための環境整備が重要である。環境整備のための液相システム、気相システムの開発は「工法・システム高度化PJ」で開発が行われた後、現在事業者によるエンジニアリングにて開発が進められている。本事業は、水循環システムにおける取水のため、現場に適用できるPCV内へのアクセス・接続技術の開発を行うことを目的とする。

事業の概要

燃料デブリ取り出しを行うにあたり、安全を確保するための環境整備の一環として、PCV内の水を安全に管理することが重要である。安全な水管理システム実現に向け、汚染水の循環ラインのエリア縮小のために、原子炉注水ライン（PCV循環冷却）の小循環ループ化が必要である。小循環ループを実現するために、PCV内から直接取水するための取水部構造を設ける必要があるが、取水部構造には、気相・液相の閉じ込め機能や長期的な健全性が求められ、また、設置や運用は高線量環境下の現場で遠隔装置を使い行うことになる。設計、施工、メンテナンスにおいて難度の高い技術が必要であり、本事業でその開発を行う。

関連する事業「工法・システム高度化PJ」と十分に連携を図りながら、水循環システムのための現場実現性の高いPCV内アクセス・接続技術の開発を行い、必要なものについて実規模での検証を行う。

水循環システムのうち、D/W取水部構築技術については、要素技術の開発・検証まで、S/C取水部構築技術については、要素技術の開発・検証、実規模スケールでの検証まで実施する。

なお、本報告は、水循環PJのうち、2018年度～2019年度の2か年事業の成果を示す。

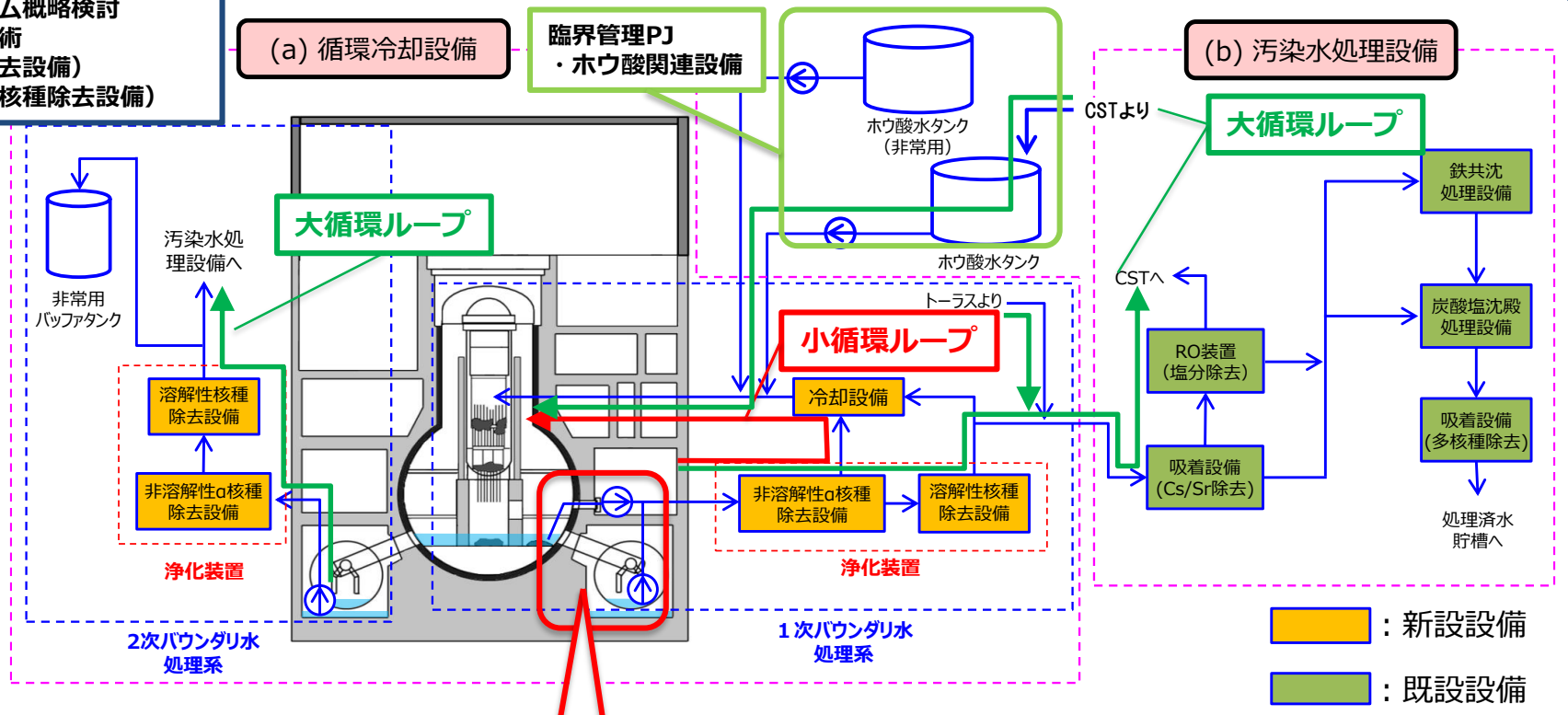
工法・システム高度化PJ

- ・システム概略検討
- ・要素技術
(粒子除去設備)
(溶解性核種除去設備)

臨界管理PJ ・ホウ酸関連設備

(a) 循環冷却設備

(b) 汚染水処理設備



D/W及びS/C取水点の構築は高線量環境かつバウンダリ維持が必要であり、技術的難度が高い。従って、本PJでは、D/W及びS/C取水点構築技術を開発対象とする。

備考：PCV循環冷却(小循環ループ)、アクセス・取水部構築の必要性を参考資料2に示す。

図. 燃料デブリ取り出し時の水循環システム (概念図)

● 取水部構築技術 開発のポイント (1/3)

No.6

「工法・システム高度化PJ」からの要求に対応するため、水循環システム構築の中で技術的難度の高い、PCV内に取水のためのアクセス・取水部構築のための技術開発を行う。

工法・システム高度化PJ

水循環PJ,水循環実規模PJ

水循環システムの構築

循環の起点となるPCV取水口の構築が必要

PCVへのアクセス・接続技術の開発

【要求機能】

放射性物質の漏えい・拡散防止

作業員の被ばく低減

燃料デブリ取り出し期間の長期機能維持

システム機器のメンテナンス

外部事象（地震）に対する機能維持

D/W,S/C低水位からの取水

【開発のポイント】

耐震強度・シール性を有する接続構造

遠隔での施工

施工中のバウンダリ維持

システム機器メンテナンス中のバウンダリ維持

接続部のメンテナンス

D/W,S/C低水位へのアクセス

高線量のPCV近傍での施工

本PJでは、水循環のアクセス・取水部に求められる「要求仕様,要求機能」を整理し、それを踏まえて、「技術課題」を解決、実現するための開発を進める。次葉以降に図示説明する。

● 取水部構築技術 開発のポイント (2/3)

No.7

① D/W内水循環システム構築技術の開発の要求仕様・要求機能

□ : 要求仕様, 要求機能

□ : 検討課題

施工時, メンテナンス時の
バウンダリ維持方法

貫通部の選定
必要強度・シール性/接続方法
メンテナンス方法

水循環システムへの検査要求

PCV内環境条件
[施工時]
水中
気中正圧 5KPa
気中負圧 -200Pa
[燃料デブリ取り出し時]
気中負圧 -200Pa

取水ホース設置装置

雰囲気線量

配置要求
取水ホース設置装置重量
耐震要求
取合い条件

X-2 外扉穿孔方法

延長配管支持方法

X-2 内扉穿孔方法

延長配管

1次バウンダリ

要求開口径

グレーチング穿孔方法

D/W内の干渉物を避けての
取水ライン投下方法
ポンプの運搬・吊り降ろし
ホースの整線
ポンプ・ホースの交換・接続

系統数
配管(ホース)口径
配管(ホース)材質
配管(ホース)重量
配管(ホース)支持方法
ポンプ寸法・重量
計測項目・方法
メンテナンス頻度
共振防止の確認

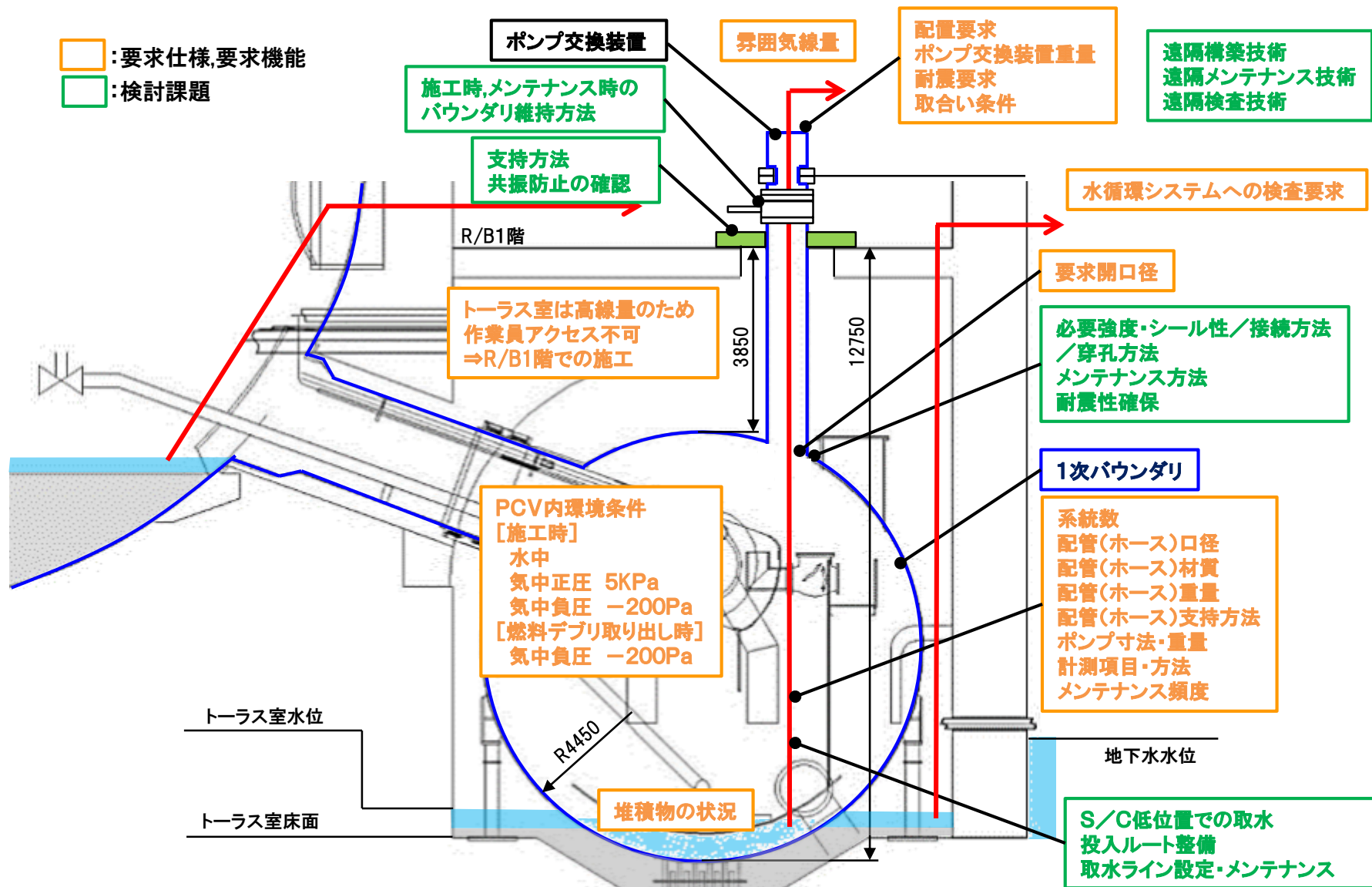
堆積物の状況

D/W取水口は, 水循環システムの配置要求に応じて使用貫通部を選定する。
本図はX-2を取水口とした場合の例。

● 取水部構築技術 開発のポイント (3/3)

No.8

② S/C内水循環システム構築技術の開発の要求仕様・要求機能



➤ 目標に照らした達成度（1/2）

下表の技術熟成度（以下「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,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 of 経験を応用,組合せによる開発,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

2. 目標

➤ 目標に照らした達成度 (2/2)

● 原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発

項目	目標を判断する指標
D/W内アクセス・接続技術	接続部の遠隔施工技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。 (終了時目標TRL: 4)
S/C内アクセス・接続技術	接続部の遠隔施工技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。 (終了時目標TRL: 4)
	施工時,供用中の遠隔によるアクセスルート検査技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。 (終了時目標TRL: 4)
	施工時,供用中における接続部の遠隔補修技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。 (終了時目標TRL: 4)

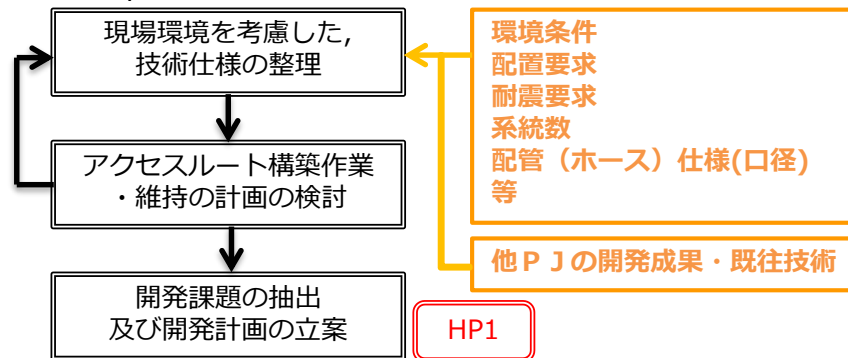
3. 実施項目とその関連,他研究との関連

3.1 P J 全体の検討とホールドポイント (H P)

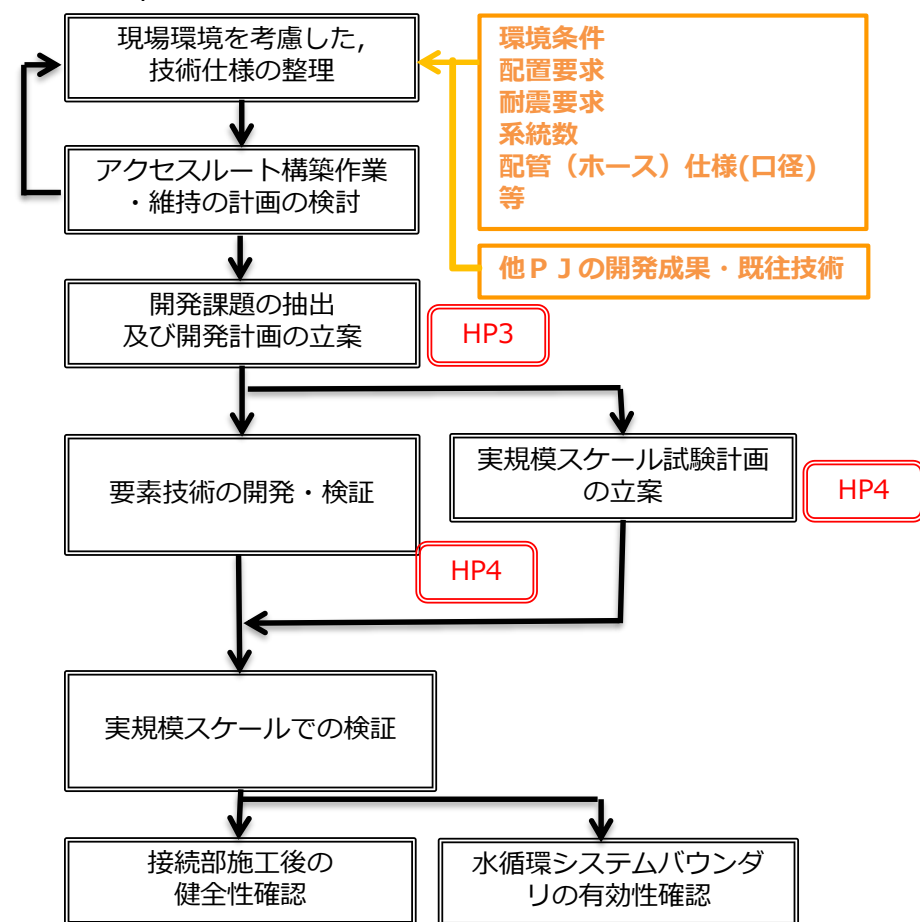
水循環PJ

(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理,作業計画の検討,及び開発計画の立案

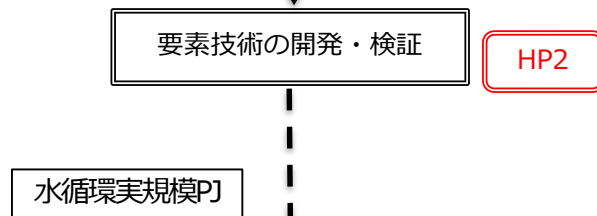
①D/W内水循環システム・技術の検討



②S/Cを用いた水循環システム・技術の検討



(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証



(1) PCV内アクセス・接続技術等の実規模スケールでの検証

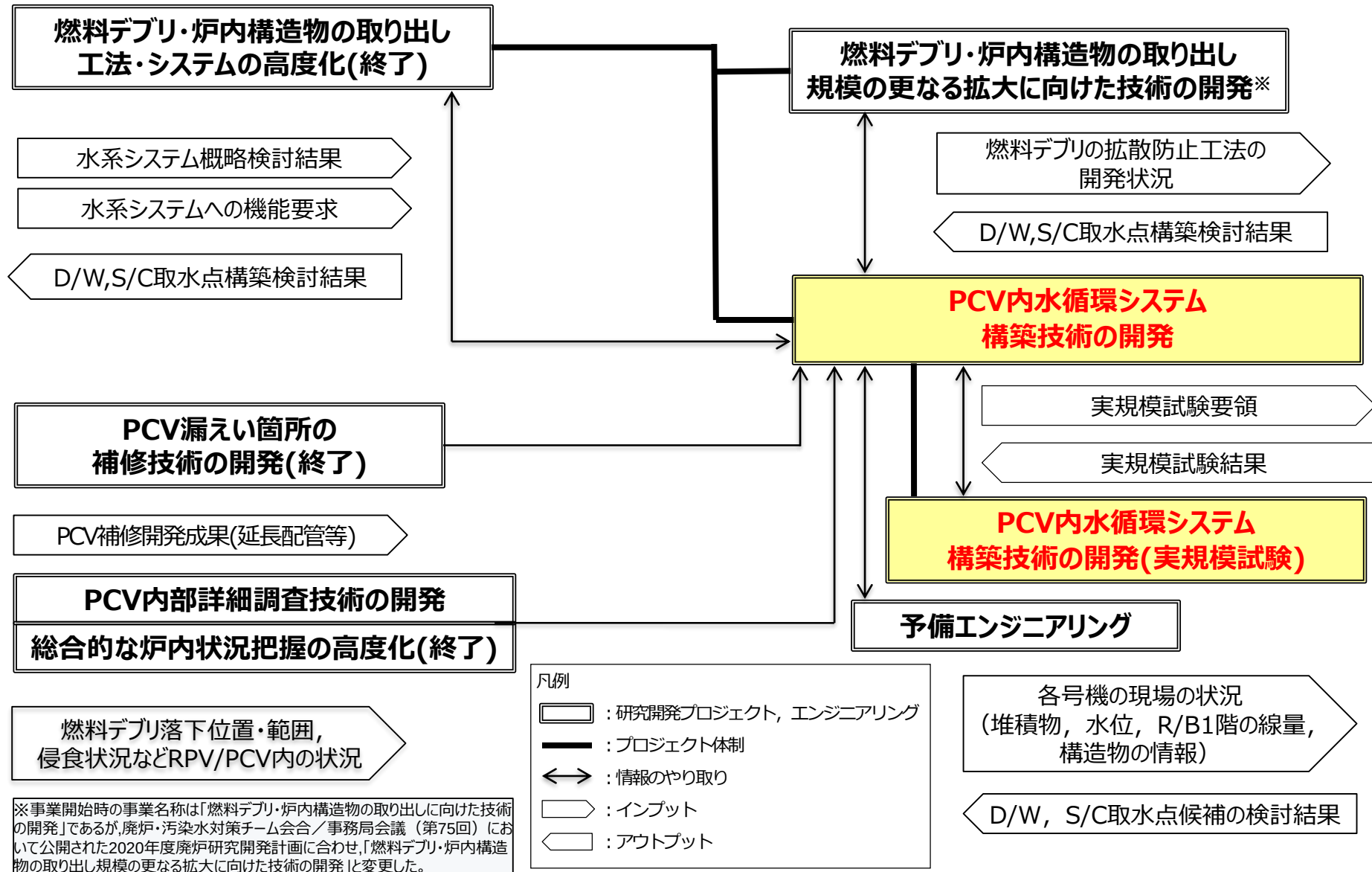
＝ ＝ ＝ ＝
|| 実規模スケールでの検証 ||
＝ ＝ ＝ ＝

- 【H P 1】・要求仕様・機能の妥当性
・開発の要否
・開発計画の妥当性
- 【H P 2】・要求仕様・機能に対する要素試験での達成度
- 【H P 3】・要求仕様・機能の妥当性
・開発の要否
・開発計画の妥当性
- 【H P 4】・要求仕様・機能に対する要素試験での達成度
・実規模スケール試験計画の妥当性

凡例 □ :水循環開発PJ,水循環実規模PJ対象
|| :水循環開発PJ,水循環実規模PJ対象外

3. 実施項目とその関連, 他研究との関連

3.2 他研究との関連

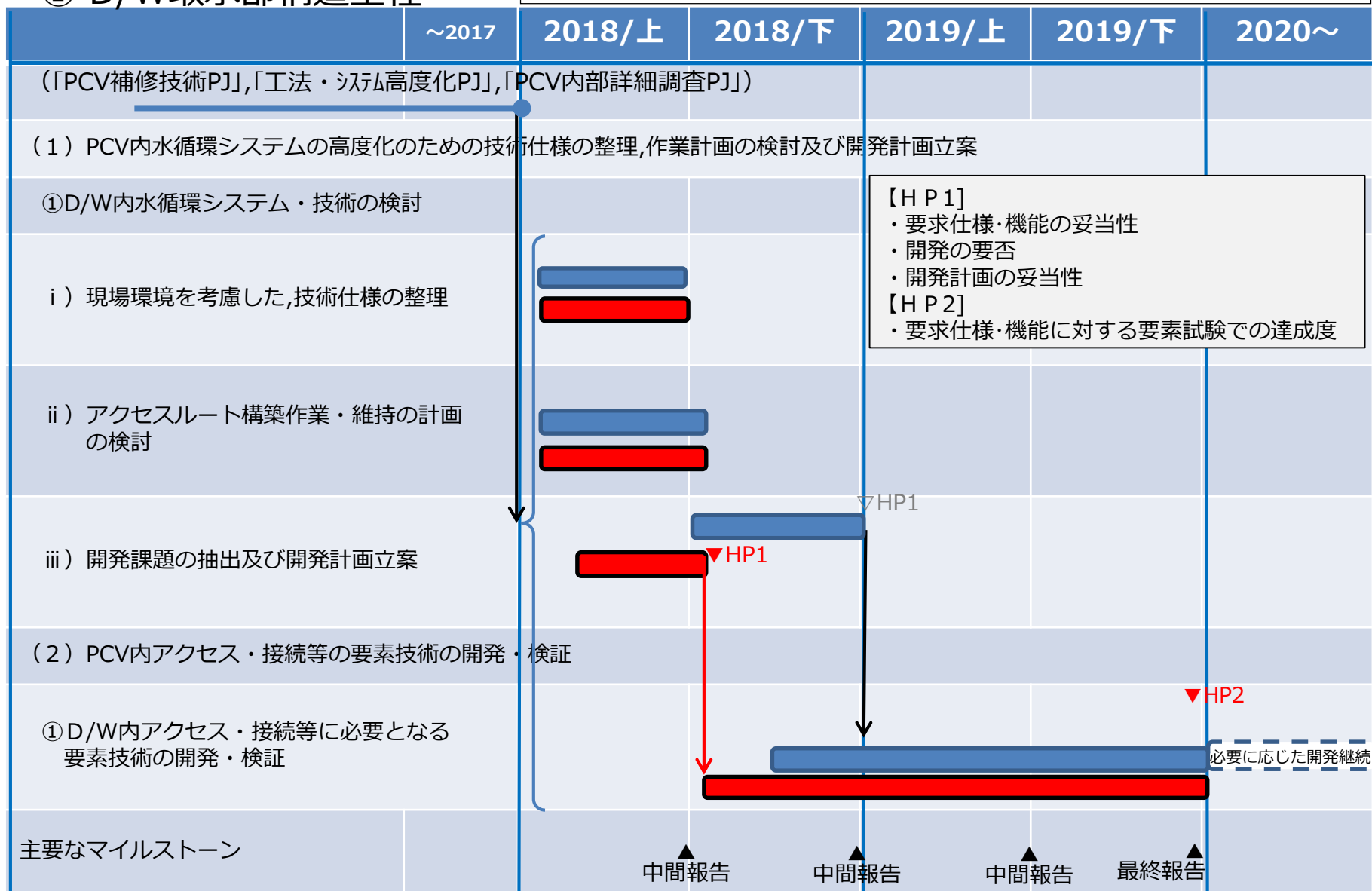


4. 実施スケジュール（水循環PJ）

No.13

① D/W取水部構造工程

■：計画(当初), ■：計画(見直し後), ■：実績(2020/3末時点)

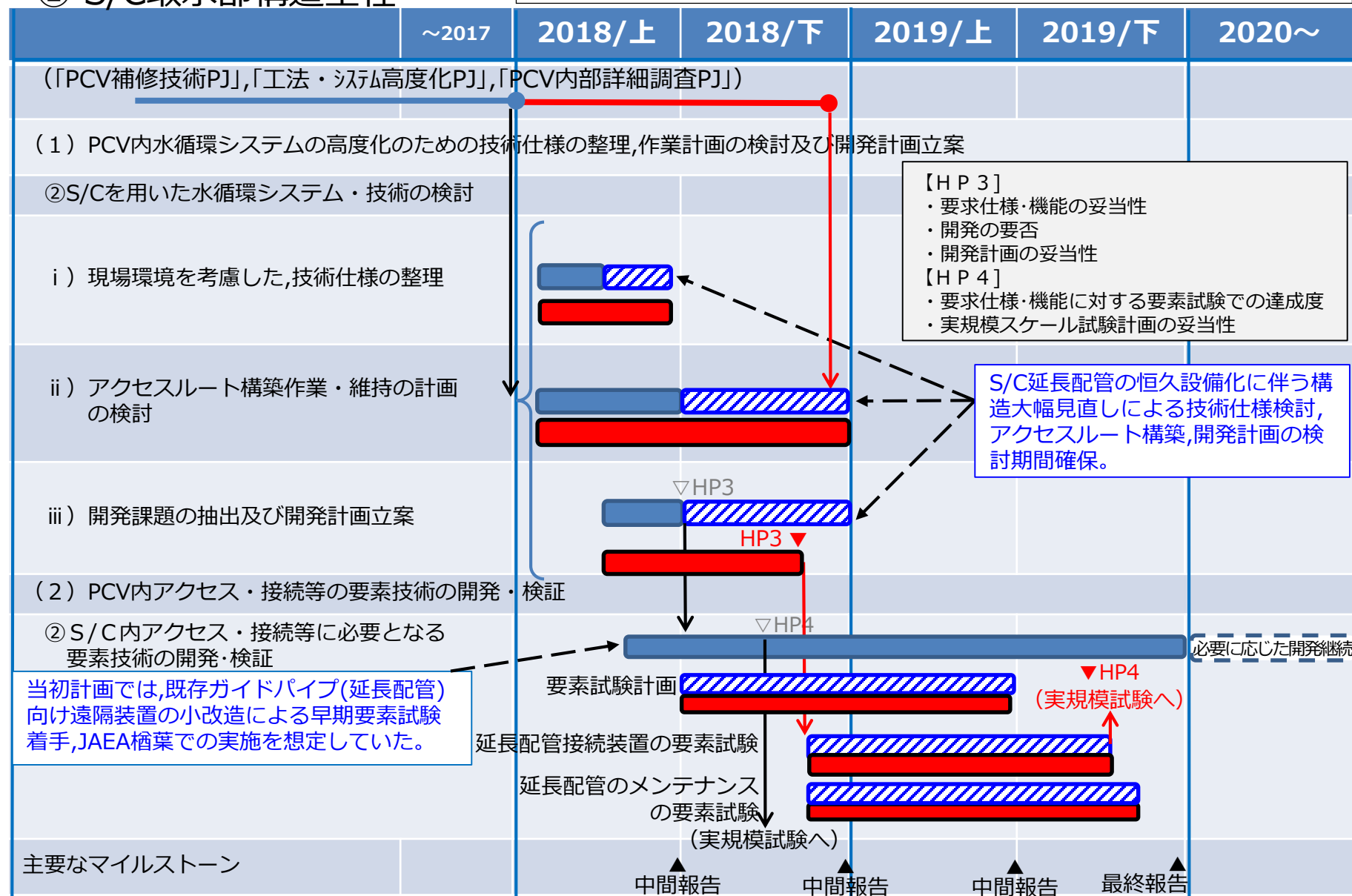


4. 実施スケジュール (水循環PJ)

No.14

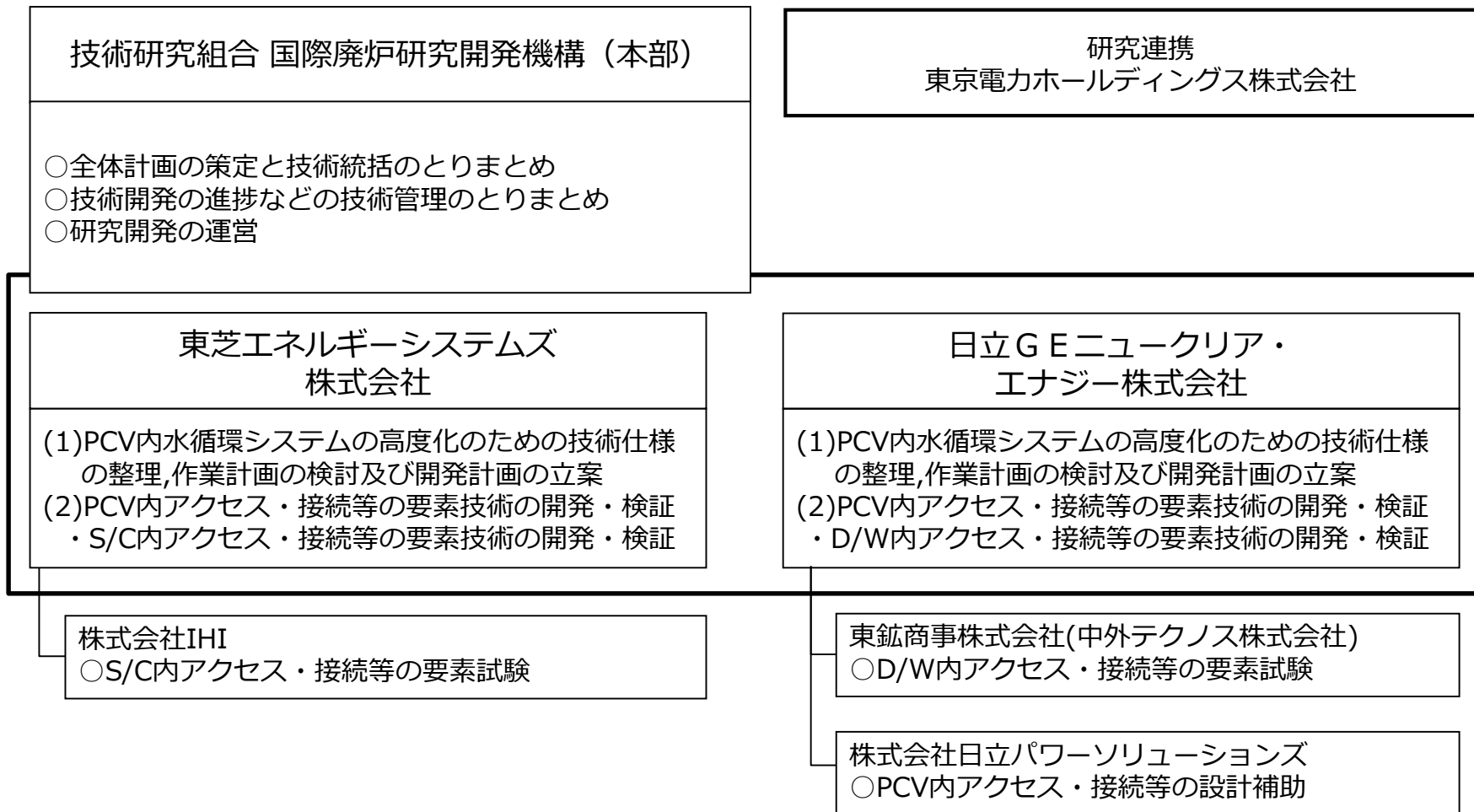
② S/C取水部構造工程

■ : 計画(当初), ■ : 計画(見直し後), ■ : 実績(2020/3末時点)



5. 実施体制図（水循環PJ）

No.15



(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理,作業計画の検討 及び開発計画の立案

① D/W内水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

② S/Cを用いた水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

①D/W内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

②S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

(1)①i)-1 D/W取水のためのアクセスルート構築に係る技術 No.17

仕様の整理結果

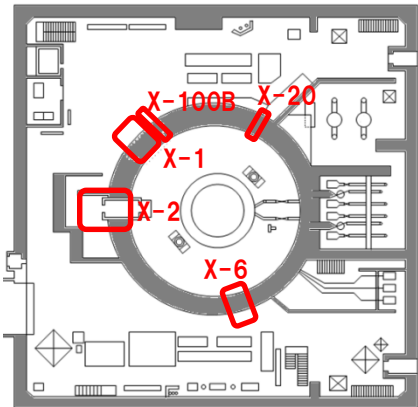
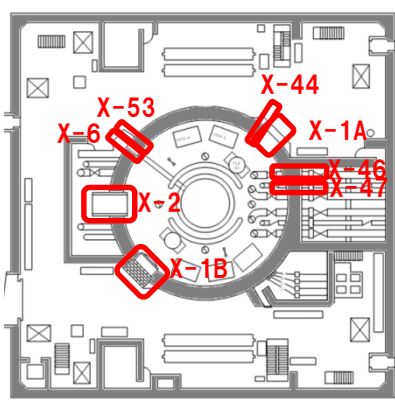
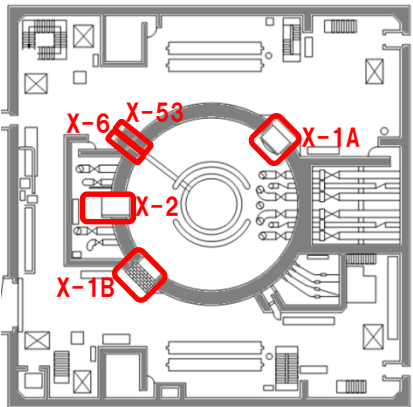
- 現場状況の整理結果を踏まえ、本PJにおけるD/W取水のためのアクセスルート構築に係る技術の仕様を下表の通り整理した。

No.	項目	技術仕様	備考
1	PCV内へのアクセスルート	既設貫通口の使用を前提とし、新規貫通口構築は行わない。 大規模取り出し用のアクセスルートや既設貫通口を利用するものとする。	
2	環境線量率	[R/B1階]10mSv/h	
3	D/W内水位	1階グレーチングより下のレベルとする。	
4	D/W内堆積物	考慮する。ただし、除去作業は技術開発の範囲外とする。 <u>堆積物の除去状況に応じて、D/W内の取水点を変更可能な技術構成とする。</u>	
5	D/W内干渉物	撤去済みとする。	D/W内に遠隔装置をインストールし、干渉物を撤去した状態を想定
6	D/W内取水位置	ポンプピットとする。 【理由】 有効かつ合理的なD/W取水点は、実機状態（堆積物、干渉物、PCV外作業環境など）によって変化する。また燃料デブリ取り出しに向けた取り組みの中で、段階的に変更されることも想定される。これら理由により、現時点では場所を特定することはできない。 従って本事業では、アクセス開口から距離が離れており、PCV内での遠隔装置による配管敷設が必要となるため施工上の難度が最も高いと考えられるポンプピットを取水箇所として具体的な技術開発を行い、他の場所とする場合にはその技術を応用することとする。	
7	系統数（最大）	常用：2、非常用：2（可搬としても可）	
8	取水用配管（ホース）口径（最大）	[ポンプPCV内設置時] 50A [ポンプPCV外設置時] 100A	
9	ポンプ外形寸法/重量	[PCV内設置時]Φ0.28m×0.75mH/重量 80kg/台 （水中ポンプ） [PCV外設置時]1.5mL×0.6mL×0.5mH,500kg/台 （真空ポンプ）	施工性を考慮し必要に応じポンプサイズを見直す

(1) ① i)-2 既設ペネのうち,D/W取水のためのアクセス口の候補の抽出と実現性の比較検討

No.18

- 各号機R/B1階に設置されているペネのうち,PCV内が開放となっている型式を対象として,比較検討を行った。
- ペネの現場での施工性（設置高さ,内径,周囲の空間線量率）を考慮した結果,各号機において,D/W取水口としての有効性・可能性が高いペネは下表の通り。
- 各型式の中から号機間で共通して抽出されたX-1(1A/1B),X-2,X-6を代表ペネとして取り上げ,(1)① ii)にてD/W取水のためのアクセスルート具体的な検討を実施した。

ペネ型式	1F-1	1F-2	1F-3
ハッチ（遮へいプラグあり）	X-1	X-1A,1B	X-1A,1B
ハッチ（二重扉）	X-2	X-2	X-2
配管,予備	X-6	X-6	X-6
	X-20	X-44	X-53
	X-100B	X-46,47	
		X-53	
取水候補ペネの配置			

(1) ① ii)- 1 D/W内取水のためのアクセスルート構築方法の検討 (1/2) No.19

- D/W取水用のアクセスルートとしては、既設のペネを利用するのが効率的であり、(1)① i)にて候補として有望なペネを抽出した。
- 既設のペネを利用したアクセスルート構築技術は、他PJでの実施実績があるものや、現在検討・要素試験が進められているものもあるので、候補ペネに対する既存技術の適用可否を検討し、アクセスルート構築技術開発の必要性について整理を行った。
- D/W取水用アクセスルート構築に際して有用な既存の技術（各PJにて開発中のものを含む）の例は以下の通り：
 - a. 【新規延長配管構築技術】1F-1：X-2ペネ向け延長配管接続技術「PCV内部詳細調査PJ」
 - b. 【遮へい体の開口技術】1F-2/3：BSW開口・シール技術「基盤技術高度化PJ」
 - c. 【ペネとの遠隔接続技術】1F-2/3：X-6ペネへの接続技術「PCV内部詳細調査PJ」

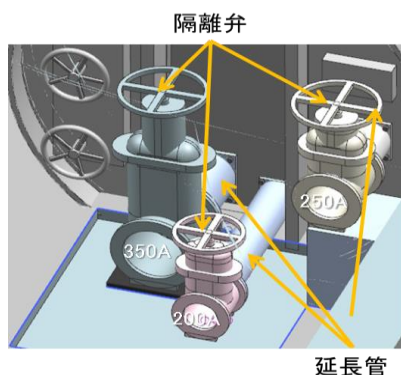


図. X-2ペネ向け延長配管接続技術

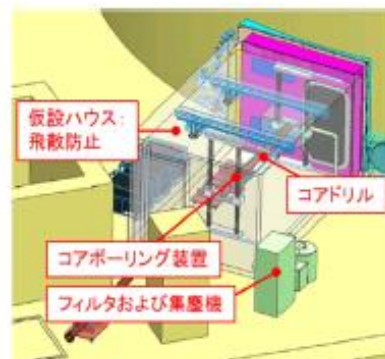


図. BSW開口・シール技術

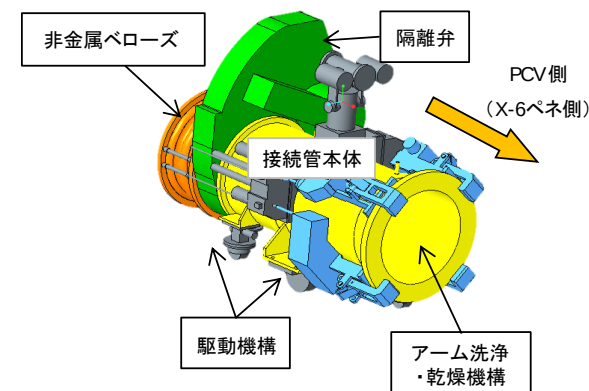


図. X-6ペネへの接続技術

(1) ① ii)- 1 D/W内取水のためのアクセスルート構築方法の検討 (2/2) No.20

候補ペネ		X-1			X-1A		X-1B		X-2			X-6		
号機		1F-1	1F-2	1F-3	1F-2	1F-3	1F-2	1F-3	1F-1	1F-2	1F-3	1F-1	1F-2	1F-3
既存技術の適用性	(a) X-2延長配管接続	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△	△	△	△
	(b) BSW開口	△	△	△	△	△	－	△	△	－	－	－	－	－
	(c) X-6接続	－	－	－	－	－	－	－	－	－	△	△	△	△

【凡例】 ○：適用可能（課題無し）, △：適用可能（課題あり）, ×：適用不可, －：適用対象外

- ✓ 既存のアクセスルート構築技術の適用性：
適用に際して詳細検討が必要な部分もあるものの、適用可能な見通し。

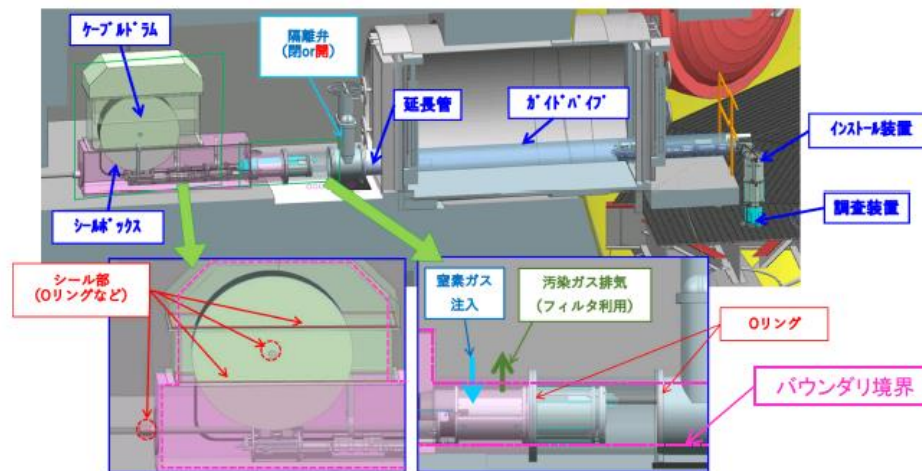


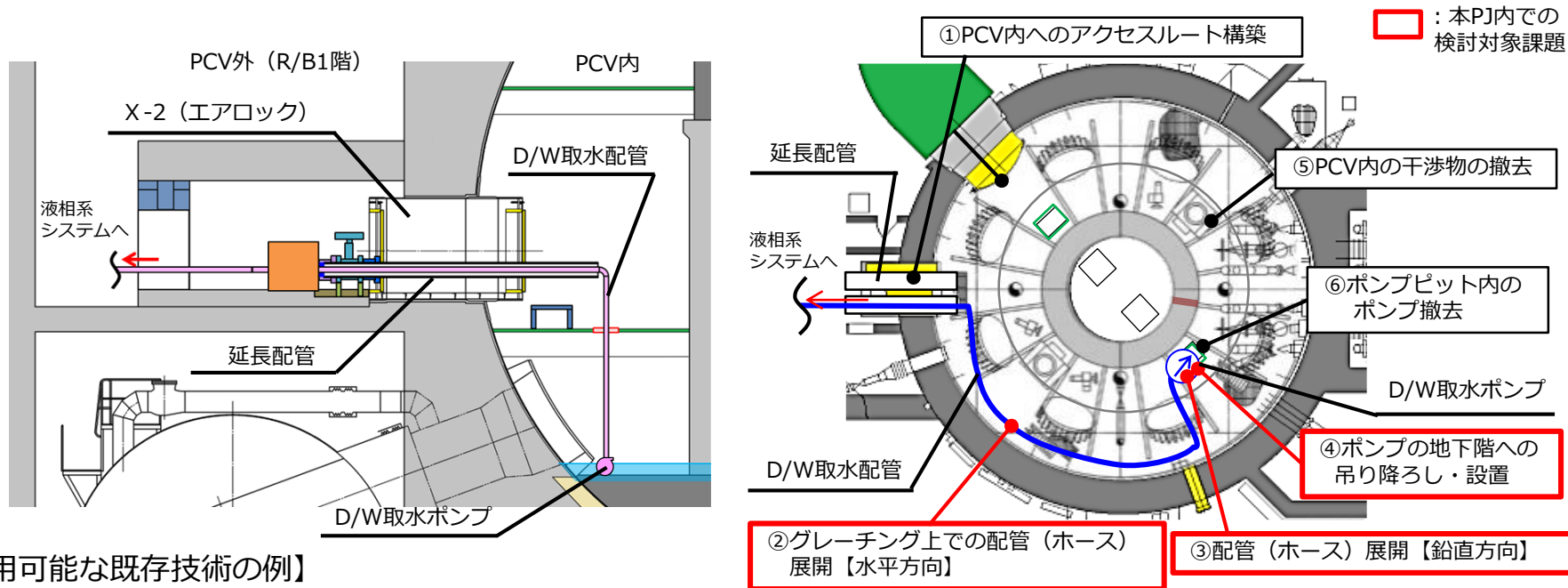
図. PCV内部詳細調査装置におけるアクセスルート構築例*

*：(出典)原子炉格納容器内部調詳細調査技術の開発PJ 検討資料

(1) ① iii)- 1 D/W内水循環システム・技術における開発課題の抽出・整理,開発計画の立案

No.21

● D/W内水循環システム構築技術の開発における課題



課題	既存技術の例
①PCV内へのアクセスルート構築	1F-1 X-2向け延長配管設置技術 (内部調査PJ) ,アクセストンネル接続技術 (工法・システムPJ) 等
⑤PCV内の干渉物の撤去	ペDESTAL外干渉物撤去技術 (基盤技術PJ)
⑥ポンプピット内のポンプ撤去	

PCV内での配管 (ホース) の展開 (水平/鉛直方向) ,ポンプの地下階への吊り降ろし・設置の課題解決を検討対象とする。

(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理,作業計画の検討及び開発計画の立案

① D/W内水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

② S/Cを用いた水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

①D/W内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

②S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

【目的】

S/C取水口構築技術開発計画の立案

【課題】

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
 ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
 iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

【成果概要】 i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理

- 燃料デブリ取り出し時における気相バウンダリの各深層防護レベルに対する安全・システム機能要求および本PJ目標(案)

防護レベル	気相漏えいに対するFP障壁	
	システム機能要求*1	本PJ目標(S/C取水部)
1	既存の損傷箇所や他の新規接続部と合わせた開口が,システム検討条件(必要差圧を確保時のインリーク量: 1000m ³ /h以下)を満足すること	一次バウンダリ開口面積の微小な増加(1mm ²)*2以下
2	レベル1と同条件	一次バウンダリ開口面積の増加(2cm ²)*3以下
3	レベル3については2次バウンダリで閉じ込める方針であり,一次バウンダリについての直接要求なし	—

*1: 工法・システム高度化PJの進捗を反映

*2: 現状の1F-2気相部開口面積(1cm²)をシステム全体の開口増加量と想定,S/C取水部は全体量の1%と設定*3: 小口径配管(15A)の破断(2cm²)をシステム全体の開口増加量と想定,S/C取水部は全体量と同じとする(単一事象が取水口で発生したものと仮定する)

■ S/C取水口延長配管に対する気相バウンダリとしての機能要求への適合性

防護レベル		監視	防止	緩和
1	システム機能要求	—	①S/C取水口に作用する荷重に対して十分な強度を有すること ②構造部材の腐食を抑制できること ③施工完了時に,取水構造内側からVTにより異常がないこと,漏えい試験により漏えいがないことを確認し,水循環システムメンテナンス時に取水構造内側からVTにより異常がないことを確認できること	—
	要求への適合方針	—	①-1R/B 1階-S/C間の変位吸収機構の追加,延長配管を1階床から吊り下げにより,S/Cシェルとの接合部の過大な応力を抑制する ①-2溶接部は継手効率を考慮した必要のど厚を確保する ②-1施工時に腐食代を確保することにより腐食による開口の発生を防止する ②-2防食塗装により,腐食の進行を抑制する ②-3水循環システムメンテナンス時のVT結果に応じ,必要な場合には塗装の補修を行い,腐食を抑制する ③施工完了時に,取水構造内側からVTにより異常がないこと,漏えい試験により漏えいがないことを確認し,水循環システムメンテナンス時に取水構造内側からVTにより異常がないことを確認する	—
2	システム機能要求	負圧管理システムにおいて漏えいの増加が検知されたとき,S/C取水口からの漏えいの有無を検知できること	バウンダリ構成部材の非延性破壊を防止できること	漏えいを停止または抑制できること
	要求への適合方針	PCV内圧・負圧管理システムの排気流量の監視により開口の増加が検知された場合には,漏えい試験等により漏えいの有無を確認する。	延性材料の採用により非延性破壊を防止する	漏えい箇所に補修材を塗布することにより漏えいを停止・抑制する

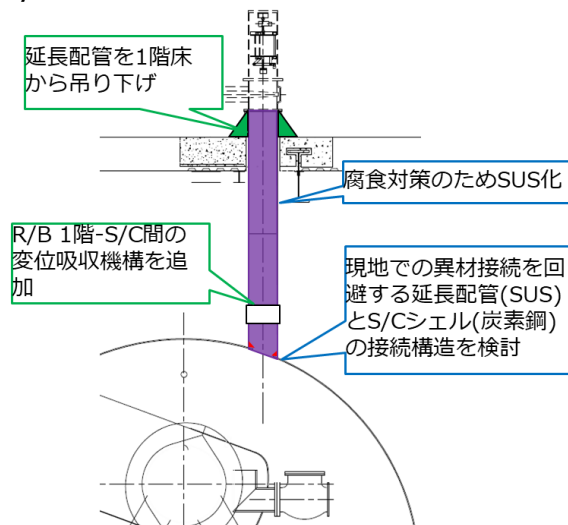
(補足) ○レベル3は2次バウンダリで閉じ込める方針であり,一次バウンダリの延長配管に対する機能要求はなし

○異常時収束後の対応策として下記を想定。

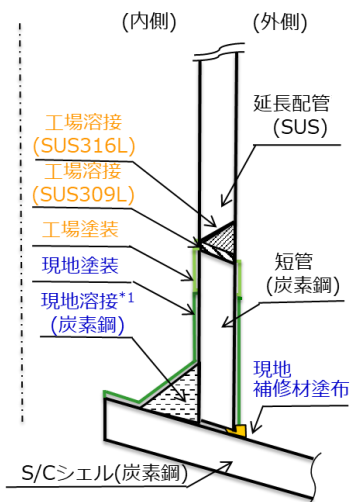
・S/C取水口から取水設備を取り出し,S/C開口を閉止することにより漏えいを停止・抑制する

・S/C開口を閉止することにより漏えいを停止・抑制している間に漏えい箇所の補修またはS/C取水口の閉止を行う

■ S/C取水部の構造



本PJで採用した構造



炭素鋼配管の溶接

■ S/C取水部の開発目標

① S/C継手溶接

- 継手効率 0.35相当のS/C継手溶接を行う
炉心支持構造物の規定の継手効率0.35*の準用
* : JSME 設計・建設規格CSS-3150 : 目視検査のみを行う
片側すみ肉溶接の継手効率
- 下記により溶接品質のばらつきがなく、安定した溶接品質を確保
 - ✓ 適正溶接条件(トーチ角度、トーチ回転速度など)の確立
 - ✓ 溶接手順(トーチ時計回り追加など)の確立
 - ✓ 隙間許容値の設定
 - ✓ 計測した隙間に合わせて適正な軌跡・トーチ狙い位置のプログラム制御による自動溶接
 - ✓ 溶接パラメータの指示値/実績値の記録の構築

② 施工時の検査

- VT: カメラにより割れまたはアンダーカット、オーバーラップ、クレータ、スラグ巻き込み、ブローホール等有害なものがないこと(CSS-4222(2)の規定を準用)
- DT: 所定のものど厚、脚長を満足すること
- 漏えい試験: 延長配管(内側)の気圧試験により漏えいがないこと

③ メンテナンスの検査・補修(10年に一度を想定)

- VT: 延長配管(内/外面)で異常な発錆がないこと
- 補修塗装: VT結果に応じ、遠隔施工による補修塗装を行う

④ レベル2の検査・補修

<検査>

- VT: 延長配管(内/外面)で異常がないこと
- 漏えい試験(エア加圧): 延長配管(内側)を仮閉止し、エア加圧により漏えいがないこと
- 漏えい確認(発泡試験): 格納容器内の負圧を利用し、延長配管(内面)からの発泡試験により漏えいがないこと
- 漏えい試験(トレーサガス): 格納容器内の負圧を利用し、延長配管(外面)からのトレーサガスにより、S/C接続部の漏えいがないこと

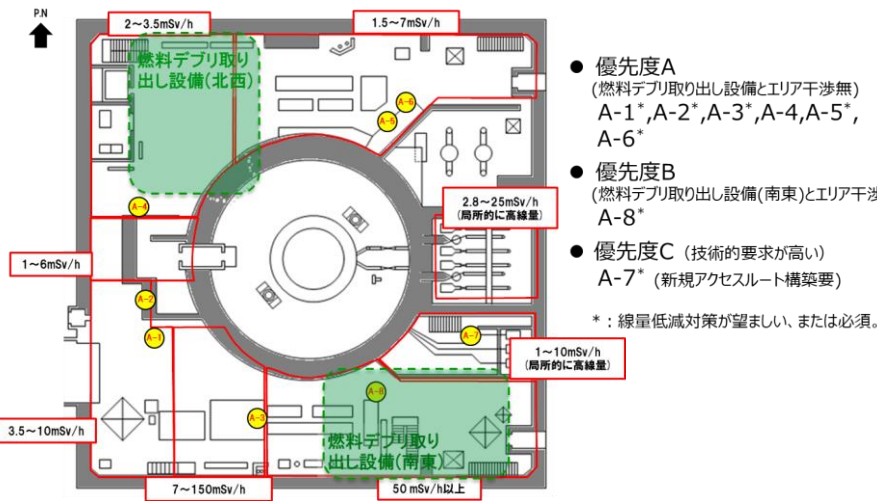
<補修>

- 漏えい箇所の補修: 延長配管(内/外側)からのコーティング剤塗布により漏えい箇所の遠隔補修を行う
(内側からの補修は、仮閉止によりPCV負圧の補修部に内側へ空気の流れを止めるため、延長配管内の気密化の必要がある)
- VT: 補修箇所の状態を確認できること

(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理

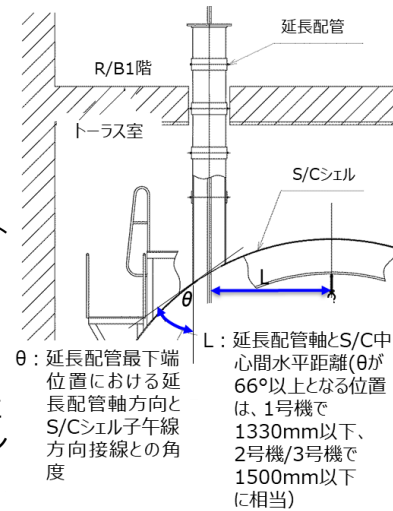
No.25

■ S/C取水部の配置計画 (S/C取水部配置検討結果：1号機の例)



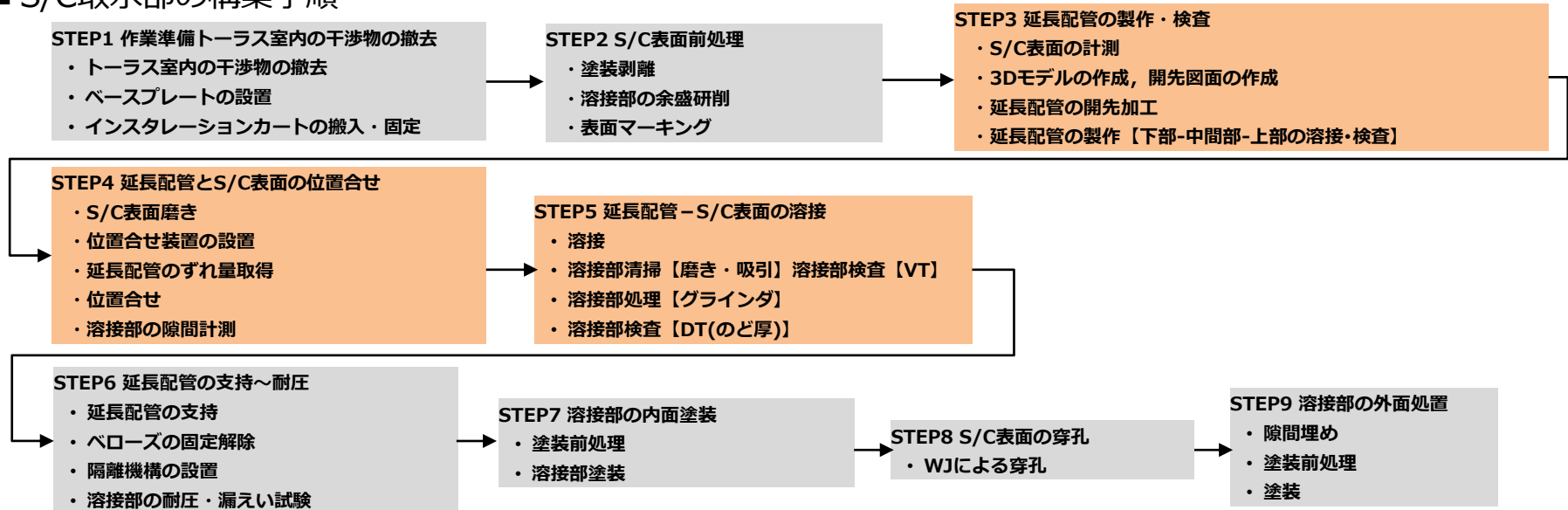
[検討結果]

- 1～3号機は図中θの66°以上で8箇所以上のS/C取水口が配置可能。
⇒当該角度θを66°以上として溶接装置開発を進める
- 遠隔によるトラス室内の干渉物撤去が必要。
⇒トラス室内の代表的干渉物(配管、ケーブルトレイ、空調ダクト、手摺)について、PCV下部補修装置(FRM)による撤去手順の概念検討を行う。
- R/B1階干渉物撤去検討は必要に応じ、今後のエンジニアリング範囲とし本PJ対象外とする。
- S/C内構造物(バント管、バントヘッド、ダウンカム)と取水設備の干渉影響の確認は必要だが、フレキシブルホースにより影響度は小さい見込み。
- 選定箇所には高線量エリアが含まれており、線量低減対策が必須



ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討

■ S/C取水部の構築手順



■ S/C取水部の維持手順

	検査	補修
メンテナンス時	【手順1】延長配管、S/C接合部のV T (延長配管内／外面) 【既存技術応用】 No. M1a VT検査装置(内面) 【既存技術応用】 No. M1b VT検査装置(外面)	【手順1】塗膜劣化箇所の塗装前処理 (延長配管内／外面) 【No. C14a共用】 No. M2a 素地調整装置(塗装用:内面) 【No. C14b共用】 No. M2b 素地調整装置(塗装用:外面) 【手順2】塗膜劣化箇所の補修塗装 (延長配管内／外面) 【No. C15a共用】 No. M3a 塗装装置(内面) 【No. C15b共用】 No. M3b 塗装装置(外面)
レベル 2	(延長配管内側) 【手順1】延長配管、S/C接合部のV T 【既存技術応用】 No. M1a VT検査装置(内面) 【手順2】漏えい試験による漏えい箇所の特定 (エア加压)* 【既存技術応用】 No. M6 仮設シール装置 【手順3】漏えい試験による漏えい箇所の特定 (P C V 負圧状態) 【既存技術応用】 No. M7 漏液供給装置 *:仮設シール装置で延長配管下端部を閉止し、S/C取水部の(仮設収納容器を含む)局部漏えい試験を行う。漏えい確認された場合、段階的に本装置を移動し加圧範囲の絞込みにより、漏えい箇所を特定する。 (延長配管外側) 【手順1】延長配管、S/C接合部のV T 【既存技術応用】 No. M1b VT検査装置(外面) 【手順2】漏えい試験による漏えい箇所の特定 (P C V 負圧状態) 【既存技術応用】 No. M8 トレーサガス供給装置	(延長配管内側) 【手順1】延長配管内の気密化 【既存技術応用】 No. M6 仮設シール装置 【手順2】漏えい箇所の表面清掃 【既存技術応用】 No. M1a VT検査装置(内面) 【No. C14a共用】 No. M4a 表面清掃装置(コイキング 前塗布:内面) 【手順3】漏えい箇所の補修 【No. C15a共用】 No. M5a コーティング塗布装置(内面) 【手順4】補修後のV T 【既存技術応用】 No. M1a VT検査装置(内面) (延長配管外側) 【手順1】漏えい箇所の表面清掃 【既存技術応用】 No. M1b VT検査装置(外面) 【No. C14b共用】 No. M4b 表面清掃装置(コイキング 前塗布:外面) 【手順2】漏えい箇所の補修 【No. C15b共用】 No. M5b コーティング塗布装置(外面) 【手順3】補修後のV T 【既存技術応用】 No. M1b VT検査装置(外面)

iii)開発課題の抽出及び開発計画の立案

□: 本PJでの試験対象

<S/C取水部の構築用装置>

No.	装置	既存技術 適用度	本PJ 対応方針
C1	干渉物撤去装置(FRM)	2	▲
C2	S/C表面処理装置(塗膜剥がし)	2	▲
C3	余盛除去装置(S/C接手部)	No.C10b 応用可	▲
C4	マーキング装置	2	▲
C5	形状計測スキャナ	3	—
C6	延長配管継手溶接装置	2	▲
C7	溶接ビード処理装置 (延長配管継手溶接用)	No.C10b 応用可	▲
C8	位置合せ装置	1	○*
C9	隙間計測装置(DT機能付き)	2	△
C10a	溶接部清掃装置のうちS/C表面磨 き装置(浮き錆除去)	No.C10b 応用可	▲
C10b	溶接部清掃装置のうちビード処理 装置	1	○*
C10c	溶接部清掃装置のうち配管内面清 掃装置(吸引)	3	▲
C11	S/C継手溶接装置	1	○*
C12	ガイドリング撤去装置	0	▲ (実現可能の見 通しを得たため)
C13	隔離機構	3	▲
C14a	素地調整装置(塗装用:内面)	No.C10b 応用可	▲
C14b	素地調整装置(塗装用:外面)	2	▲
C15a	塗装装置(内面)	3	▲
C15b	塗装装置(外面)	2	▲
C16	収納容器	2	▲
C17	WJ穿孔装置	3	▲
C18	その他共通装置	2	▲* (組合せ向けに 実規模PJで簡易 機製作)
C19	表面清掃装置 (コーティング材塗布:外面)	No.C14b と共用	▲
C20	コーティング装置(外面)	No.C15bと共用	▲

<S/C取水部のメンテナンス用装置>

No.	装置	既存技術 適用度	本PJ 対応方針
M1a	VT検査装置(内面)	2	▲
M1b	VT検査装置(外面)	2	▲
M2a	素地調整装置(塗装用:内面)	No.C14aと共用	▲
M2b	素地調整装置(塗装用:外面)	No.C14bと共用	▲
M3a	塗装装置(内面)	No.C15aと共用	▲
M3b	塗装装置(外面)	No.C15bと共用	▲
M4a	表面清掃装置 (コーティング材塗布:内面)	No.C14aと共用	▲
M4b	表面清掃装置 (コーティング材塗布:外面)	No.C14bと共用	▲
M5a	コーティング装置(内面)	No.C15aと共用	▲
M5b	コーティング装置(外面)	No.C15bと共用	▲
M6	仮設シール装置	2	△
M7	発泡液供給装置	2	▲
M8	トレーサガス供給装置	2	▲

(凡例)

既存技術適用度

3:流用可 2:応用可 1:応用困難orなし 0:既存技術はないが設計対応可

本PJ対応方針

○:プロトタイプの単体機能試験, △:要素試験, ▲:机上検討のみ, □:設計・製作,
—:対象外, ():改良, *:遠隔施工性確認の1/1スケール組合せ試験

【S/Cを用いた水循環システム・技術の検討のまとめ】

- ・S/C取水部に対する要求機能を整理
- ・S/C取水部の設計仕様,要求事項を整理
- ・S/C取水部の配置計画を立案
- ・S/C取水部構築・維持に係る作業手順を立案
- ・S/C取水部構築・維持に係る技術開発計画を立案

(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理,作業計画の検討 及び開発計画の立案

① D/W内水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

② S/Cを用いた水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

①D/W内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

②S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

(2)①-1 D/W内水循環システム構築までの全体作業ステップ案

No.29

- D/W内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証にあたり、全体作業ステップについて検討を実施した。

D/W水位低下 (1F-3のみ)
・ R/B 1 階床レベルまで

大規模取り出し用
PCV内へのアクセスルート構築

PCV内干渉物撤去

水循環システム構築①・運転

- ・ PCV外真空ポンプ設置
- ・ PCV内ホース投入
- ・ ホース設置 (堆積物上)

堆積物撤去

水循環システム構築②

PCV内配管展開

水中ポンプ吊り降ろし・設置
(ポンプピット内)

取水ポンプの切り替え
(ピット内ポンプへ)

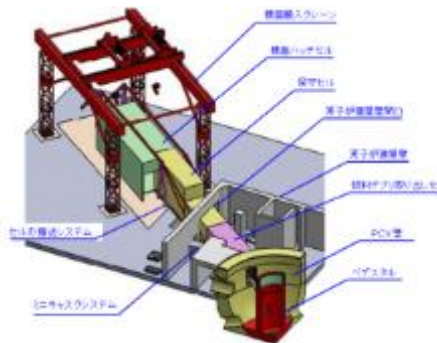
水循環システム稼働
(D/W底面以下での水位制御可能)

D/W取水の前提条件

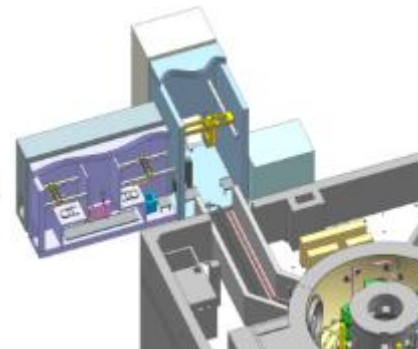
- ✓ ポンプピットにて取水するためには、PCV内での遠隔装置による配管敷設作業が必要。
- ✓ その遠隔装置の搬出入ルートとしては、大規模燃料デブリ取り出し用のアクセスルートを用いるものとする。

大規模取り出し用のPCV内アクセスルートの例

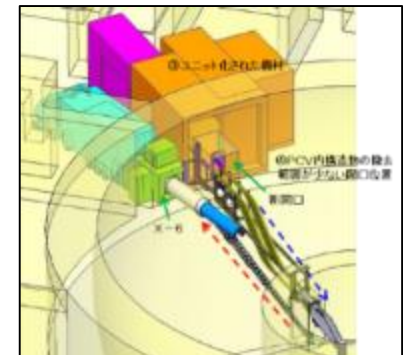
- ✓ アクセスルートとしては、複数案が検討され、アクセスルートとしての閉じ込め方法等について検討されている。
- ✓ D/W内での作業のための搬出入ルートとして、当該大規模燃料デブリ取り出し用のアクセスルートの利用を計画する。なお、本検討はX-1ペネを開口する等により遠隔装置を搬入可能な開口を設け、遠隔装置やポンプ等の設備を搬入することが前提である。



PLAN-Aでのアクセスルート※



PLAN-Bでのアクセスルート※



PLAN-Cでのアクセスルート※

■ : 本PJの検討範囲

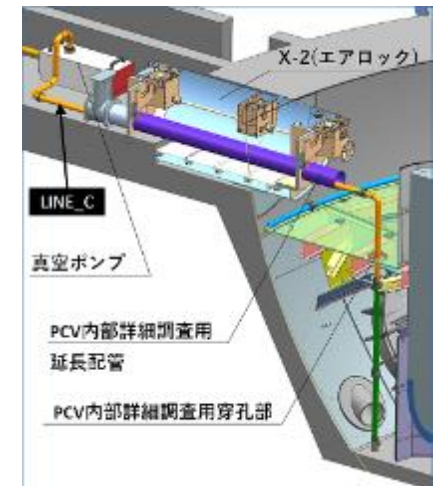
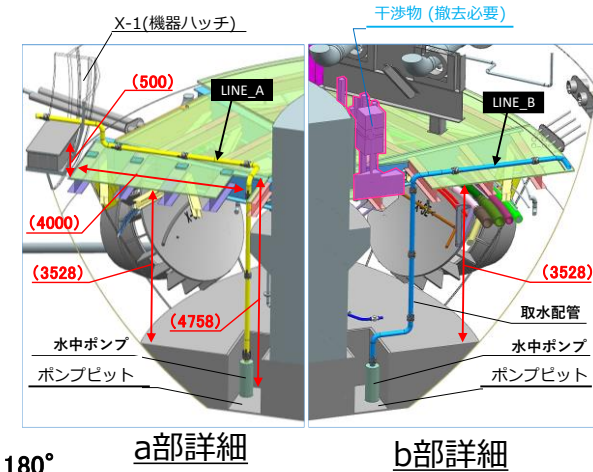
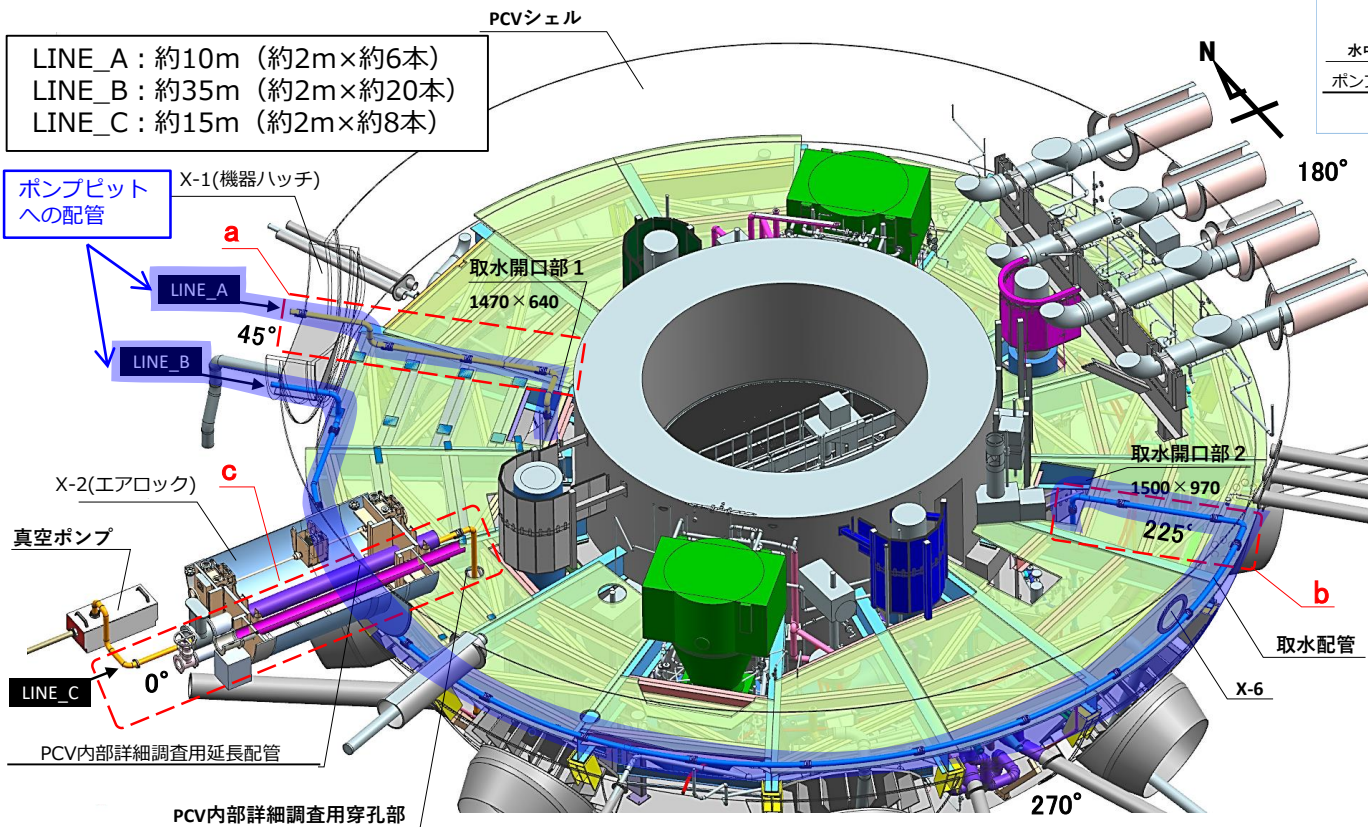
※ : アクセスルート(PLAN-A,PLAN-BおよびPLAN-C)の詳細は、平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システムの高度化事業」および平成28年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化」に関する報告書参照。

(2)①-2 D/W内配管敷設上の詳細課題

● 1F-1でのD/W取水ラインの構築例

【D/W取水ラインの考え方の例】

- ・ D/W底面以下での水位管理のため、ポンプピットから取水する。
- ・ ポンプピットには、水中ポンプを投入する。（PCV外でのポンプ設置の自由度を考慮）
- ・ 水中ポンプは多重化のため、別々のポンプピットに投入する。
- ・ 2台の水中ポンプの故障時を考慮し、X-2前に真空ポンプを設置。D/W底面にホースを設置する。



- ✓ レベル1設備 : 水中ポンプ×2 (取水位置 : ポンプピット) / X-1設置アクセストンネル経由
- ✓ レベル2設備 : 真空ポンプ (取水位置 : D/W底面) / X-2設置延長配管経由

(2)①-3 D/W内配管敷設方法の詳細検討結果と予備試験結果

ID	項目	課題の詳細	解決案(詳細検討結果)	机上 検討	予備 試験	要素 試験	備考
1	配管の 接続部	遠隔装置での接続が可能な構造と する必要がある。	遠隔装置での接続が容易な,オートロックカプラを採 用。(交換性を考慮し,溶接は実施しない)	○	○	—	ID.4に 反映
		接続配管同士の位置合わせ方法	遠隔でカプラの着脱が可能な装置(治具)を準備。	○			
		接続部分の検査方法	遠隔監視モニタによる配管接続部の漏えい目視確認 を実施。	○	○	—	
2	配管交換	敷設後の配管の部分的な交換時 には,接続部にて変位を吸収す る必要がある。	地上階は金属フレキホース,地下階は放射線環境ゴム 製耐圧ゴムホースを採用。	○	○	—	
3	ポンプの 吊り降ろ し	配管を接続したポンプのポンプ ピットへの吊り降ろし方法	配管接続用の遠隔装置と,吊り降ろし用の補助装置 (移動型揚重機等)を組み合わせ,ポンプの自重を支 持しながら吊り降ろす。	○	—	○	
4	配管の 接続	地下階へ配管を延長するため, 吊り降ろしながら配管を接続す る必要がある。	吊り降ろしながらの配管接続は困難であるため,放射 線環境ゴム製耐圧ゴムホース等とポンプを一体で吊 り降ろす。	○	—	○	ID.1, 2を反 映
		グレーチング上の配管と地下階 への配管の接続構造	カプラで接続。	○	—	○	
5	ポンプ 設置	ポンプピット内へのポンプの固 定方法	事前にピット内へポンプ固定用容器を設定し,そこへ ポンプを設置。 ⇒詳細検討の結果,固定治具にてポンプを固定。	○	—	○	
6	ポンプの 交換手順	ポンプピット内に設置したポン プの交換手順の検討	要素試験にて最適な交換手順を確認。	○	—	○	

要素試験実施

- 使用する配管・接続部構造・接続部の検査方法の検討結果について,予備試験で成立性を確認する。
- 要素試験では上記検討結果を反映し,地下階へのポンプの吊り降ろし⇒配管接続⇒ポンプ設置を行
い,D/W内での配管・ポンプ設置工法の実現性を確認する。
- 上記確認後,ポンプ交換手順についても要素試験で実現性を確認する。

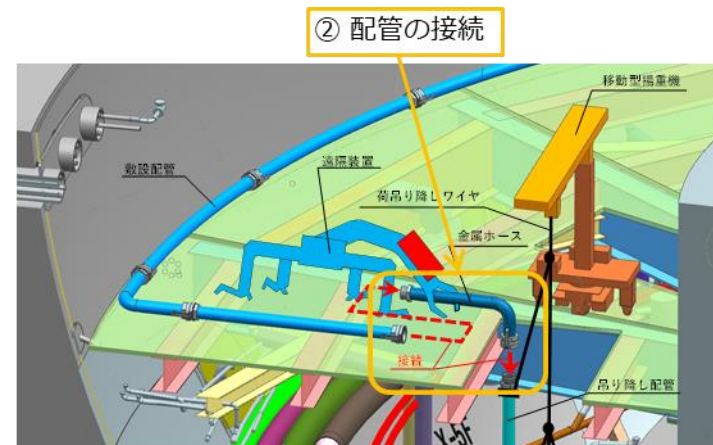
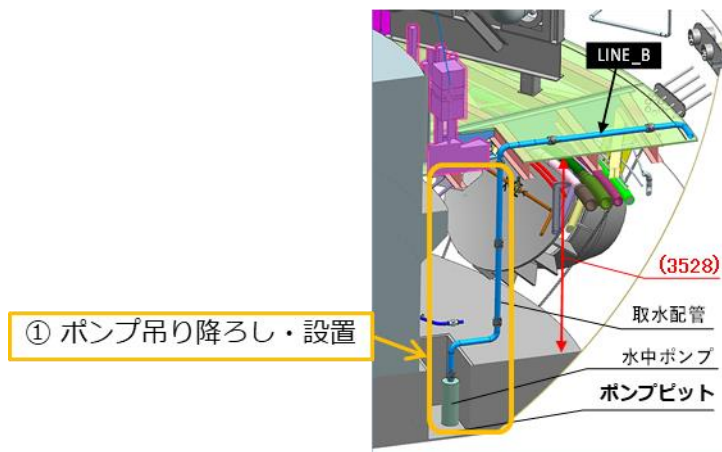
(2)①-4 D/W内配管敷設方法の要素試験計画

(2) 要素試験項目,試験手順および判定基準

ID	試験項目	試験手順	判定基準	備考
1	ポンプの吊り降ろし・設置(固定)	(1) 搬送装置(門型揚重機等)を用い,配管(ホース)接続済のポンプ模擬体をポンプピットへ吊り降ろす (2) ポンプ固定治具にてポンプピット内にポンプ模擬体を固定する (3) ポンプ模擬体が固定されていることを確認する	・配管を接続したポンプを,ポンプピットへ吊り降ろし,設置(固定)可能であること。 ・カメラによりポンプ設置状況の確認や監視が可能であること。	
2	配管の接続	移動型の柔構造作業アームを用い,グレーチング上の配管(ホース)とポンプ模擬体に接続されている配管(ホース)を接続する	・グレーチング上の配管と地下階の配管を接続可能であること。 ・接続後,10m ³ /hの流量を満足すること。(注記)	
3	ポンプの交換手順(ポンプの回収)	(1) 移動型の柔構造作業アームを用い,グレーチング上の配管(ホース)とポンプに接続されている配管(ホース)を切り離す (2) 搬送装置(門型揚重機等)を用い,ポンプ模擬体を吊り上げ回収する	ポンプピット内に設置したポンプを吊り上げ回収可能であること。	

(注記) ポンプ吊り降ろし,設置および回収は寸法,質量を模擬した模擬体を使用する。

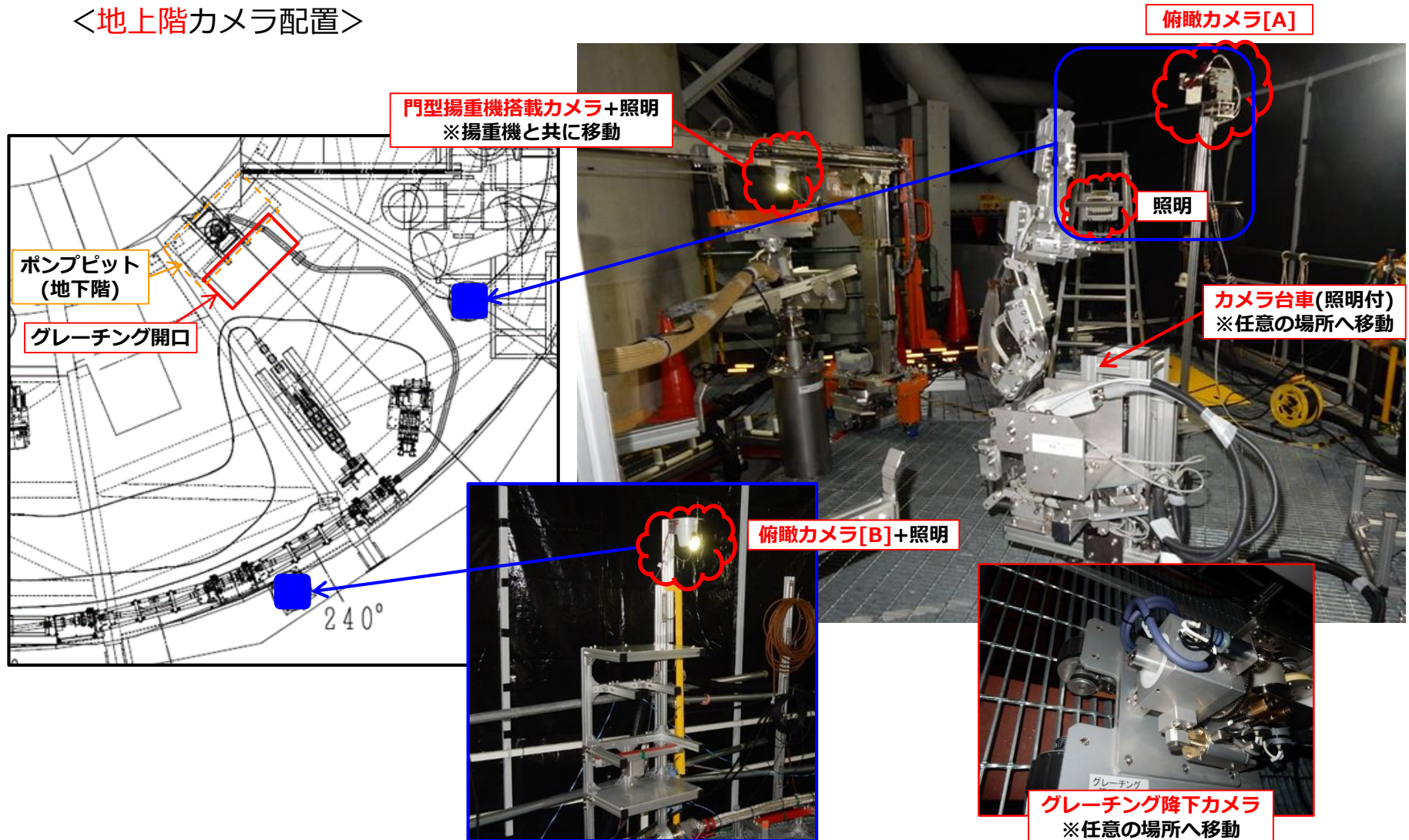
流量確認時にはポンプ模擬体を,10m³/h*を満足するポンプに交換し,流量確認を行う。 ※ 「システム」側からの要求による流量



(2)①-5 要素試験結果

(1) ポンプの吊り降ろし・設置(固定) : 1/4

<地上階カメラ配置>

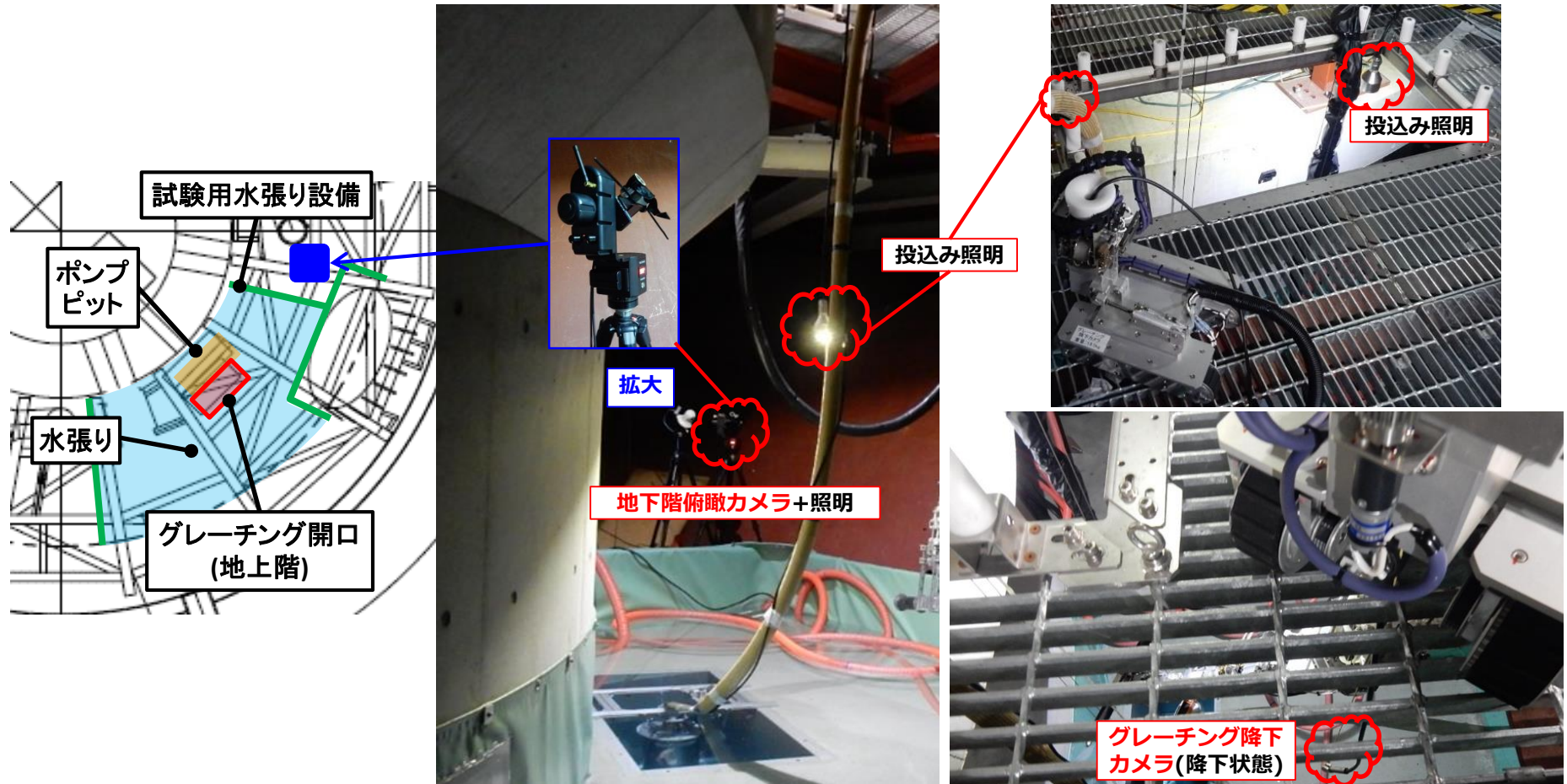


固定式の俯瞰カメラおよび移動式の装置搭載型カメラを用いて遠隔監視

(2)①-5 要素試験結果

(1) ポンプの吊り降ろし・設置(固定) : 2/4

<地下階カメラ配置>



固定式の俯瞰カメラおよび移動式のグレーチング降下カメラを用いて遠隔監視

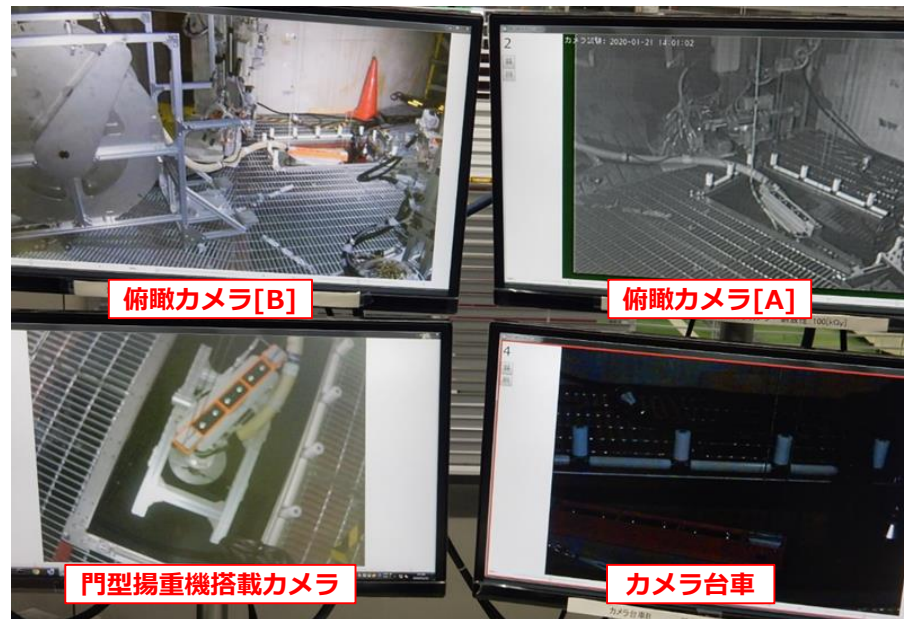
(2)①-5 要素試験結果

(1) ポンプの吊り降ろし・設置(固定) : 3/4

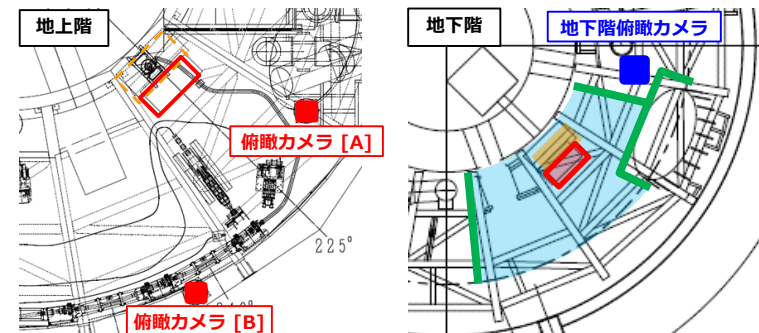
<主な作業監視方法>

- ・地上階での作業時：俯瞰カメラ2台,門型揚重機搭載カメラ,カメラ台車
- ・地下階での作業時：地下階俯瞰カメラ,グレーチング降下カメラ

地上階作業時(ポンプ開口通過直後まで)



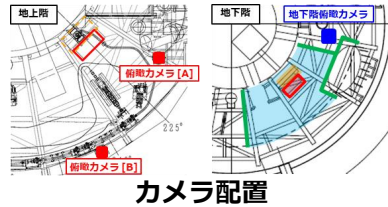
地下階作業時(ポンプ開口通過後)



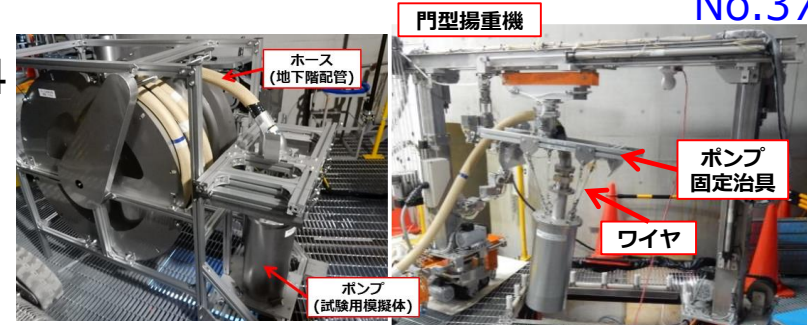
カメラ配置

(2)①-5 要素試験結果

(1) ポンプの吊り降ろし・設置(固定): 4/4



<試験結果>



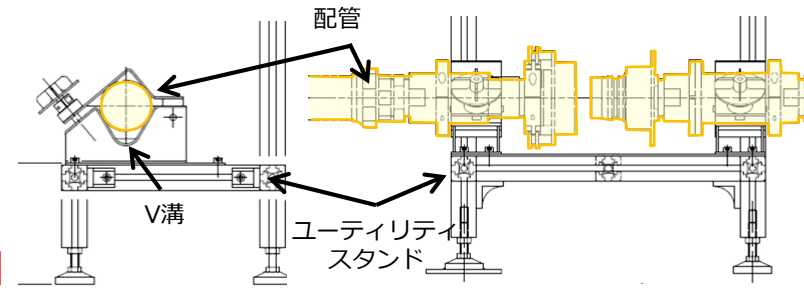
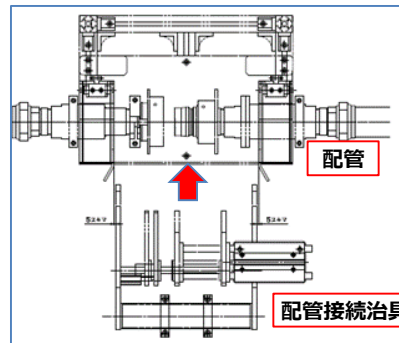
STEP	1. 開口部までポンプを搬送	2. 開口部からポンプを吊り降ろし
作業 状況		
STEP	3. 地下階へ吊り降ろし	4. ポンプをピットに設置
作業 状況		

遠隔操作でポンプをピットに設置可能であることを確認

(2)①-5 要素試験結果

(2) 配管の接続：1/2

<試験結果>



STEP	1. 地下階配管を引き回し	2. 地下階配管をユーティリティスタンドに設置
作業状況	柔軟作業アーム ホースドラム ホースドラムからホース取り外し 俯瞰カメラ[B]映像 ホース グレーチング開口部	ホルダ 柔軟作業アーム手先 カメラ台車映像
STEP	3. ホルダを閉じて配管を固定	4. 配管接続治具を取り付け、配管接続
作業状況	アーム手先 ロック機構(注記) ホース ホルダ カメラ台車映像 グレーチング降下カメラ映像	アーム手先 配管接続治具 カメラ台車映像

遠隔操作で地下階配管(ホース)と地上階配管を接続可能であることを確認

(2)①-5 要素試験結果

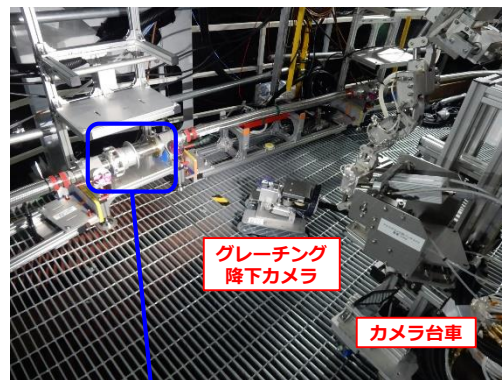
(2) 配管の接続：2/2

<流量・漏えい確認結果>

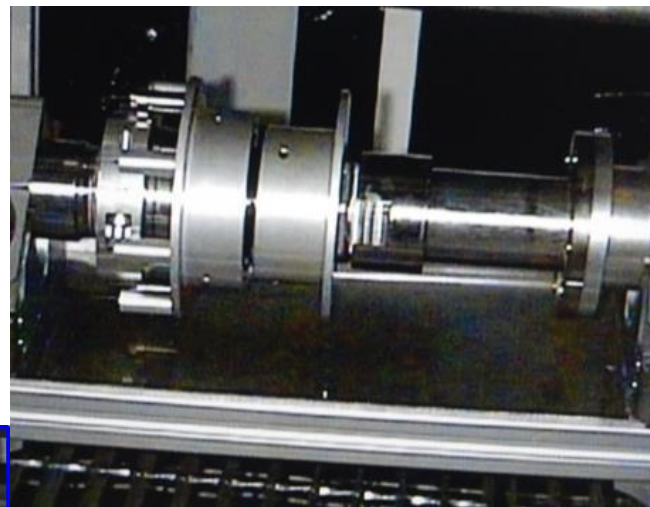
- ・ピット内ポンプを模擬体から10m³/hを満足するポンプに交換
- ・流量が14.4m³/hであることを確認
- ・遠隔にて配管接続部から漏えいがないことを確認



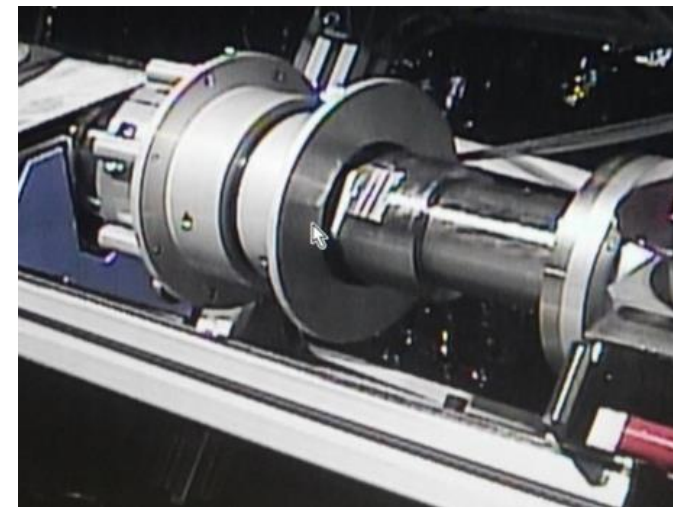
漏えいした場合の例



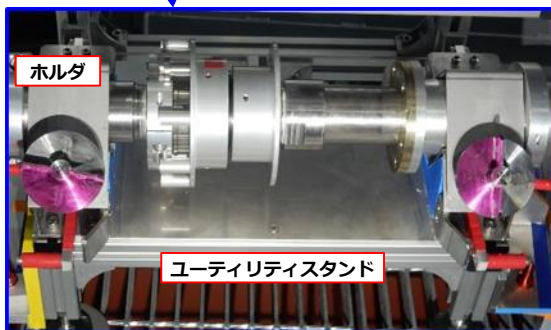
機器配置



カメラ台車映像



グレーチング降下カメラ映像



直接確認時

- 水中ポンプ仕様
- ・型式：50PN21.5(鶴見製作所)
 - ・吐出量：12m³/h
 - ・全揚程：14.5m
 - ・寸法：196×295×435mm
 - ・重量：15.9kg



規定流量を満足することおよび遠隔監視映像にて直接確認と
ほぼ同等の監視が可能であることを確認

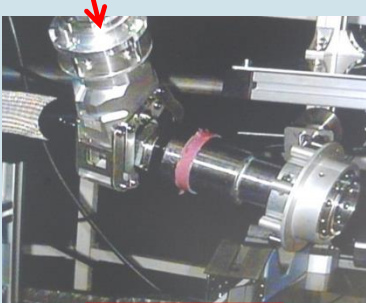
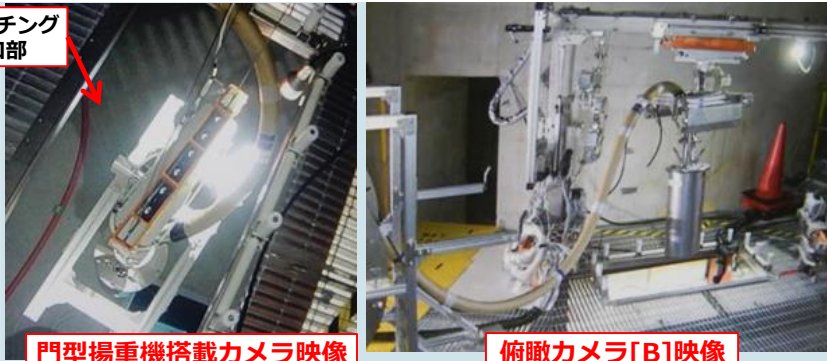
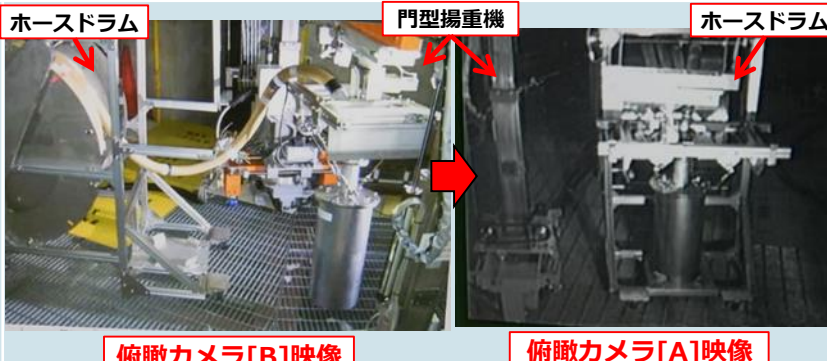
(2)①-5 要素試験結果

(3) ポンプの交換手順



カメラ配置

<試験結果> ※カメラ配置および作業監視方法はポンプ吊り降ろしと同様

STEP	1. 地下階配管の接続解除	2-1. ポンプを吊り上げ回収(地下階)
作業 状況	 アーム手先 ホースドラム ホースドラムに ホース取り付け 柔構造作業 アーム 俯瞰カメラ[B]映像 カメラ台車映像 門型揚重機搭載カメラ映像	 門型揚重機吊り具 柔構造作業 アーム (オフセット) ポンプ固定治具 門型揚重機吊り具にポ ンプ固定治具を固定 グレーチング降下カメラ映像 地下階俯瞰 カメラ映像 ピット
STEP	2-2. ポンプを吊り上げ回収(地上階)	3. 搬送装置でポンプを搬送
作業 状況	 グレーチング 開口部 門型揚重機搭載カメラ映像 俯瞰カメラ[B]映像	 ホースドラム 門型揚重機 ホースドラム 俯瞰カメラ[B]映像 俯瞰カメラ[A]映像

遠隔操作で設置したポンプを回収可能であることを確認

(2)①-5 要素試験結果

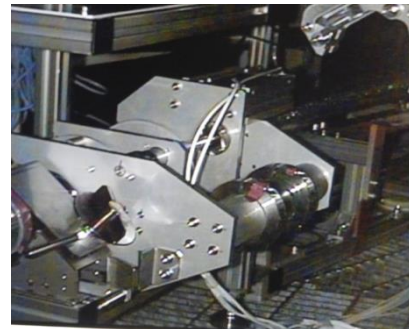
(4) 試験結果まとめ

ID	試験項目	判定基準	試験結果	備考
1	ポンプの吊り降ろし・設置(固定)	・配管を接続したポンプを,ポンプピットへ吊り降ろし,設置(固定)可能であること。 ・カメラによりポンプ設置状況の確認や監視が可能であること。	・ホースを接続したポンプを,門型揚重機にてポンプピットへ吊り降ろし,ピット内に設置可能であることを確認(ポンプ固定治具によりポンプは固定)。 ・地下階俯瞰カメラ等により,ポンプ設置状況を確認(監視)可能であることを確認。	
2	配管の接続	・グレーチング上の配管と地下階の配管を接続可能であること。 ・接続後,10m³/hの流量を満足すること。(注記)	・グレーチング上に敷設した配管と地下階のポンプに接続されているホースを,柔構造作業アームおよび配管接続治具にて接続可能であることを確認。 ・接続後の流量は14.4m³/hであり,規定流量を満足することを確認。	
3	ポンプの交換手順(ポンプの回収)	ポンプピット内に設置したポンプを吊り上げ回収可能であること。	ポンプピット内に設置したポンプを,門型揚重機にて吊り上げ,回収可能であることを確認。	

(注記) ポンプ吊り降ろし,設置および回収は寸法,質量を模擬した模擬体を使用した。
流量確認時にはポンプ模擬体を,10m³/hを満足するポンプに交換し,流量確認を行った。



ポンプ吊り降ろし・設置



配管の接続

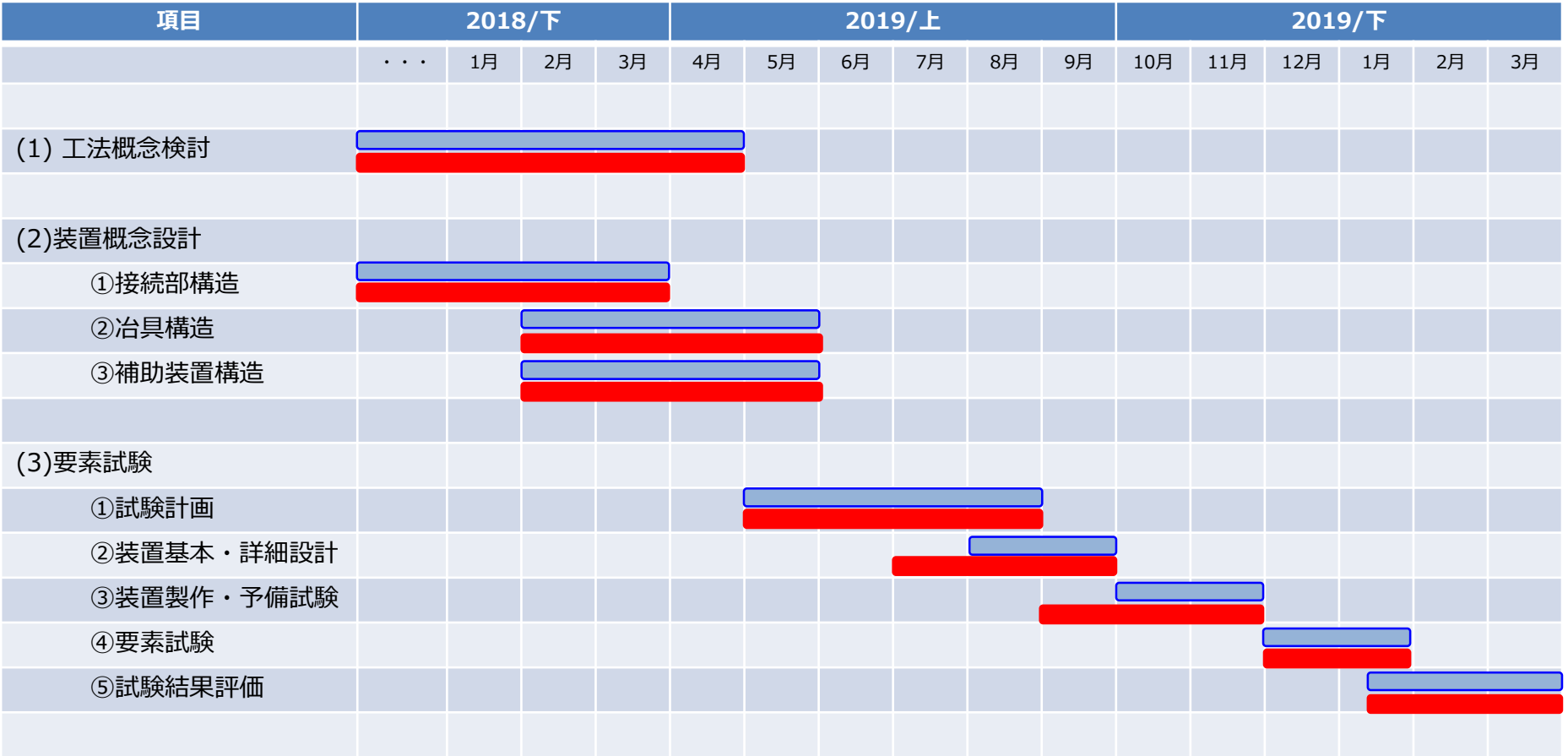


ポンプの回収

**全ての判定基準を満足しているため,D/W内での
配管・ポンプ設置および交換方法の実現性が確認できた。**

(2)①-5 要素試験結果と課題

(5) 試験工程



【凡例】
計画： 
実績： 

(1) PCV内水循環システムの高度化のための技術仕様の整理,作業計画の検討 及び開発計画の立案

① D/W内水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

② S/Cを用いた水循環システム・技術の検討

- i) 現場環境を考慮した,技術仕様の整理
- ii) アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- iii) 開発課題の抽出及び開発計画の立案

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

①D/W内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

②S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

②S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

- 1) マーキング装置,位置合せ装置,隙間計測装置の開発・検証
- 2) S/C表面磨き装置,溶接ビード処理装置,S/C継手溶接装置の開発・検証
- 3) 仮設シール装置の開発・検証
- 4) S/C取水部構築技術の開発スケジュール

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

【目的】

S/C取水口構築・維持に関する要素技術の確立

【課題】

- 1)マーキング装置,位置合せ装置,隙間計測装置の開発・検証
- 2)S/C表面磨き装置,溶接ビード処理装置,S/C継手溶接装置の開発・検証
- 3)仮設シール装置の開発・検証

【成果概要】

- 1)マーキング装置,位置合せ装置,隙間計測装置の開発・検証

■ S/C取水部位置合せ手順

・S/C表面の計測
インスレーションカートに形状計測スキャナを搭載して、S/C表面形状を計測する。

・S/C表面の3Dモデル作成
延長配管最下部の開先加工

・延長配管(最下部・中間部・最上部)の投入・溶接・検査
延長配管を搭載した搬送カートを購入。インスレーションカートと搬送カートとを接続し、延長配管(最下部)をインスレーションカート上のホイストにより下降させ、ベースプレートに仮置きする。延長配管(中間部)を延長配管(最下部)にのせ、溶接および溶接部の目視検査、寸法検査を実施する。延長配管(最上部)も同内容。

【既存技術活用】
No.C5 S/C表面計測装置

【既存技術活用】
No.C6 延長配管継手溶接装置

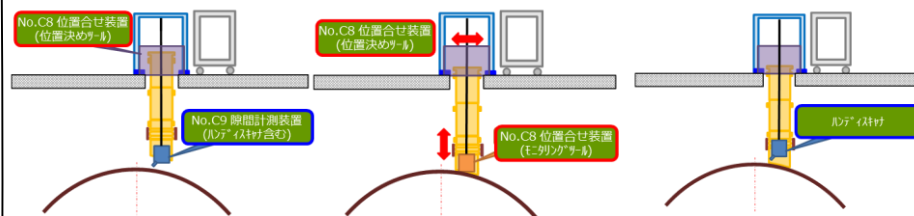
【既存技術活用】
No.C7 溶接ビード処理装置

【既存技術活用】
No.C10 配管可動装置

・延長配管位置合せ準備作業
位置合せ装置(位置決めツール)を設置し、延長配管と接続ルビディ(ルビディ)を引き上げ、代わりに位置合せ装置(モニタリングツール)で観察しながら、前手順で得られた数値を元に延長配管とS/C表面とを測定し、溶接が不可能である5mm以上の隙間がないことを確認する。

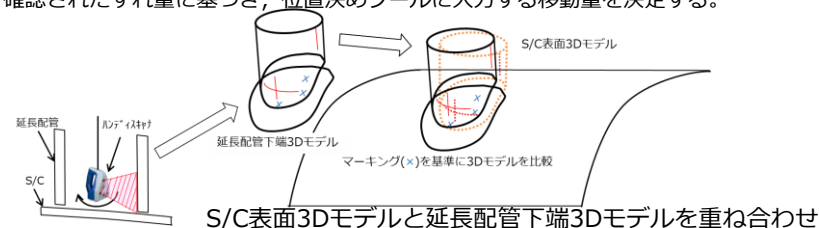
・延長配管の位置合せ
位置合せ装置(位置決めツール)を設置し、延長配管と接続ルビディ(ルビディ)を引き上げ、代わりに位置合せ装置(モニタリングツール)で観察しながら、前手順で得られた数値を元に延長配管とS/C表面とを測定し、溶接が不可能である5mm以上の隙間がないことを確認する。

＜延長配管のずれ量算定方法は右上参照＞



・延長配管のずれ量算定方法

- ① 延長配管をS/C上に降ろす。
- ② ルビディ(3D)を用いて、延長配管内全周のスキャンデータを取得し、延長配管下端(S/C表面を含む)の3Dモデルを作成する。
- ③ ルビディで作成した延長配管下端3Dモデル(上記手順②)と形状計測で作成したS/C表面3Dモデルを重ね合わせて、延長配管の3次元的位置・傾き(x,y,z軸×並進,回転の計6項目)のずれ量を確認する。
- ④ 確認されたずれ量に基づき、位置決めツールに入力する移動量を決定する。



■ 位置合せ時の目標精度の設定

項目	要因	目標精度	最大想定隙間量	備考
(1)延長配管下端の理想形状からの誤差				
①S/C表面の計測	計測	±0.5mm	1.0mm	
②S/C表面の3Dモデル作成	モデル化	(検討中)	1.0mm【目標】	1/1スケール組合せ試験により具体的なモデル化方法を決定
③延長配管最下部の開先加工	加工	±1.0mm	2.0mm	
④延長配管同士の周溶接	加工(遠隔)	—	影響なし	溶接変形による曲がりが発生するが、位置合せ装置の調整可能範囲内のため
(2)延長配管位置合せ				
①ハンディスキャナによる計測(準備作業)	計測(モデル)	±0.05mm	0.05mm	
②位置合せ	装置駆動(最小移動単位)	0.5mm	0.5mm	
(3)延長配管の隙間計測				
①延長配管の隙間計測	計測(モデル)	±0.05mm	0.05mm	
合計			4.60mm	5.0mm【目標隙間】

⇒目標隙間5mmから、各工程の目標精度をこのように設定

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

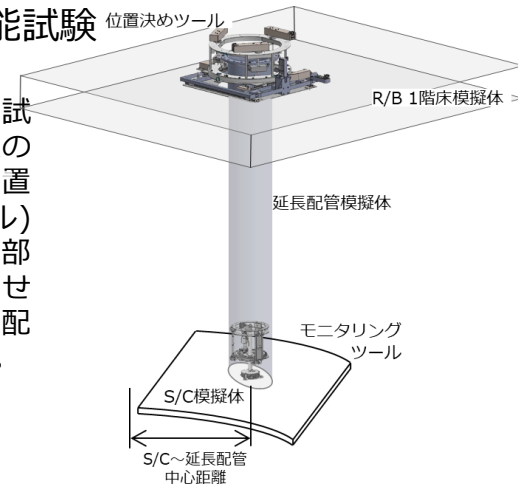
② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

■ 位置合せ装置の仕様

■ 位置合せ装置の単体機能試験

● 試験の目的

実機形状模擬の延長配管とS/C試験体を用いて、S/C取水部構造の構築における位置合せ装置(位置決めツール,モニタリングツール)のプロト機により延長配管上端部のフランジを把持し、位置合わせを行い、所定の隙間以下で延長配管を設定できることを確認する。



模擬範囲		備考
R/B1階床 穴径	650mm	
R/B1階床 平面度	床勾配なし	
R/B1階床-S/C間距離	約4100mm	1F-3相当
S/C～延長配管中心距離	1500mm	取水部構築予定箇所の最大値※1
S/C	内半径	4450mm
	厚さ	15.9mm
延長配管	材質	炭素鋼
	外径	540mm
	内径	521mm
	材質	炭素鋼
	形状	グラインダでS/C模擬体に合わせ現場加工
	外径	559mm
	内径	521mm
フランジ	材質	炭素鋼
	外径	720mm
構造(溶接部等)		模擬しない
トラス室干渉物		撤去後状態を前提
環境(明るさ・温度・湿度)		模擬しない

項目	仕様	備考
装置構成		●: 並進・回転中心 ↑ 並進X ← 並進Y ↻ 並進Z 0°(山側) 90° 180°(谷側) 270° 並進X 並進Y 並進Z Y軸回り回転RY X軸回り回転RX
基本機能	(1) 延長配管下端の隙間量を5mm以下に調整可能であること (2) 延長配管上部を固定,延長配管全重量を支持できること (3) 遠隔操作により,延長配管の並進3軸(X,Y,Z),回転3軸(RX,RY,RZ)の調整が可能であること (4) 遠隔操作により,モニタリングツールのカメラをS/C上へ固定可能であること (5) 遠隔操作による位置調整中,延長配管下端とS/Cとの隙間量が5mm以下であるか否かの確認を代表複数方位に対して常時可能であること (6) 延長配管溶接後,撤去可能であること	

【位置合せ装置の概要】

■位置合せ装置は、S/C表面－延長配管の溶接前に溶接施工に対するS/C表面－延長配管間の隙間許容限界値5mm以下に延長配管を遠隔操作にて位置合せするために用いる装置である。

■位置合せ装置は、位置決めツールとモニタリングツールで構成される。これらのツールが制御盤にケーブル接続され、装置から出力されたモニタ画面を確認しながら操作盤のタッチパネルやレバー、スイッチを操作することで遠隔作業が可能となる。

・位置決めツール：R/B1階床面上に設置し、延長配管上端フランジ部と装置3箇所の接続板で固定・延長配管を把持して、サーボモータの駆動力で各軸の並進(X,Y,Z)・回転(X,Y,Z)移動することにより延長配管下端部の位置調整を実施する装置

・モニタリングツール：延長配管内でS/C表面上に設置し、カメラボックスに搭載した9台のカメラにより延長配管-S/C表面間の隙間量を監視、確認する装置



位置決めツール



モニタリングツール モニタ, 操作盤

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

● 位置合せ装置の単体機能試験(内容・結果)(1/2)

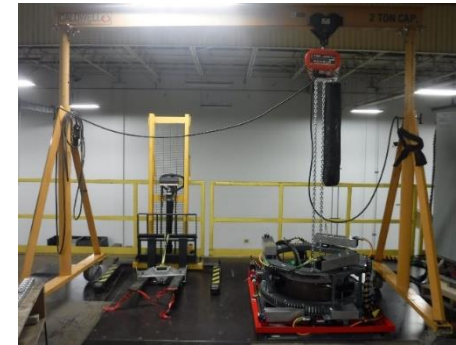
No.	試験内容	確認項目 (判定基準)	試験 結果	備考
0	延長配管をクレーンにて吊上げ、延長配管と床面の穴の間に仮設支持材を挿入し、延長配管を仮固定し、延長配管をクレーンから取り外す。	—	—	
1	クレーンを用いて位置決めツールを設置。設置位置は、予め床面に設けたマーキングに合わせる。	位置決めツールの設置が可能なこと(延長配管、仮設支持材との干渉有無確認)	良	
2	位置決めツールの設置位置を確認し、位置決めツールを床面にボルトにより固定する。	—	良	
3	接続板同士を連結しているロッドを外し、3か所の接続板を180°回転させる。フランジが接するまで接続板を上昇させる。その後、ボルトで接続板とフランジを締結する。	位置決めツールと延長配管の接続が可能なこと	良	
4	位置合せ装置を上昇させ、ロードセルの指示値が許容荷重を超えないように監視しながら、延長配管と床面を仮固定していた仮設支持材を取り外す。	仮設支持材の取り外しが可能なこと	良	
5	クレーンを用いて、位置決めツール上部より延長配管内面に沿って、モニタリングツールを下降させる。	モニタリングツールと延長配管が干渉しないこと	良	
6	モニタリングツールのカメラボックスをS/C表面に着座させる	カメラ目視でモニタリングツールをS/C表面に着座できること	良	
7	モニタリングツールのカメラより出力されたモニタ映像で各方位の隙間を確認しながらの微調整により、位置合せを行う。	モニタリングツールのカメラで監視しながら位置合せ操作が可能なこと	下記 参照	

No.7 試験結果：良

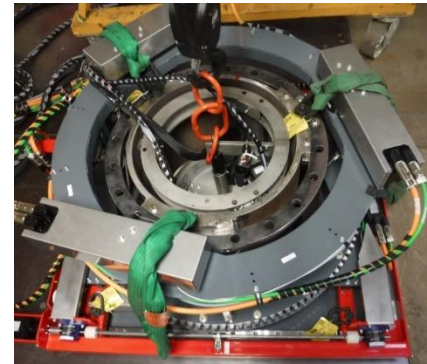
モニタにて90°毎の4方位を確認しながら、事前に施した合マークを手掛かりに隙間量が小さくなるように位置合せを実施。微調整しながら隙間量を小さくしていくことが可能であった。モニタ目視で隙間量は限りなく小さく調整することできたことから本手順を終了した。



延長配管の仮設支持材での仮固定(No.0)



位置決めツールの設置(No.1)



モニタリングツールの下降(No.5)

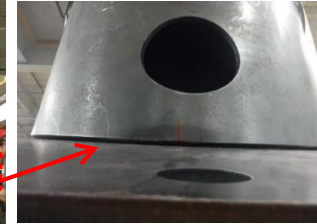
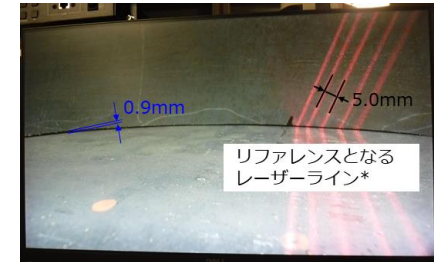
モニタリングツールの
S/C表面への着座(No.6)モニタリングツールでの
延長配管-S/C表面の監視(No.7)

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

● 位置合せ装置の単体機能試験(内容・結果)(2/2)

No.	試験内容	確認項目 (判定基準)	試験 結果	備考
8	(レーザーラインによる隙間分布の確認) 位置合せ後、S/C表面と延長配管 下端部の隙間が5mm以下である ことを5mm間隔で配置されたモ ニタリングツールのレーザーライン 間距離とのモニタ画面上での 比較により8方位確認する。	5mm 間隔のレーザーライン をリファレンスとして、 モニタ画面上の隙間が 5mm 以下であるか否か判 断可能なこと	良	
9	クレーンでモニタリングツール を引き上げる。	モニタリングツールと延 長配管が干渉しないこと	良	
10	スキマゲージでS/Cと延長配管内 面の隙間を4 方位計測する。	計測した隙間が5mm以下 であること	良	
11	4 方位の仮付け溶接により、延 長配管下端部をS/C 表面に固定 後、延長配管と床面の穴の間に 仮設支持材を挿入し仮固定した 後に、クレーンを用いて、位置 決めツールを撤去する。	位置決めツールの設置が 可能なこと(延長配管、支 持材との干渉有無確認)	良	

位置合せ後の延長配管-S/C表面の状況
(No.8)モニタリングツールのモニタ画面上
での確認状況：90°付近(No.8)*:レーザーライン間隔は延長配管
投入前に予め計測したもの

方位 (°)	No.8 結果 (mm)	No.10結果 (mm)	判定基準	試験結果
0	0.8	0.6	■ No.8 モニタ画面より隙間 5mm以下を判断可能 ■ No.10 隙間が5mm以下であ ること	良
45	0.3	-		
90	0.9	0.9		
135	1.5	-※		
180	1.5	1.4		
225	0.8	-		
270	0.7	0.7		
315	0.6	-		

※ 最大隙間量は135°方位で1.8mm

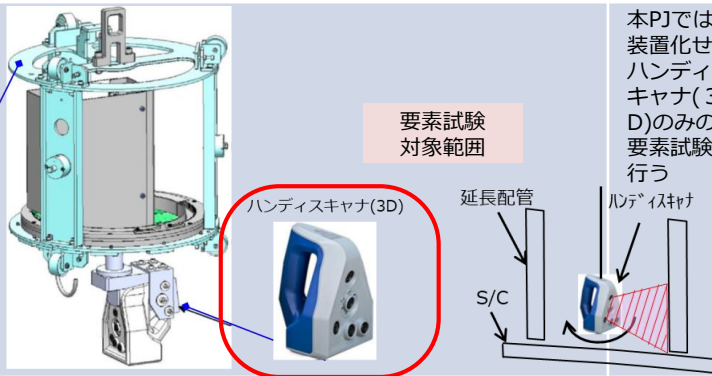
● まとめ

- 位置合せ装置の基本機能は満足することを確認
- モニタリングツールのカメラ映像を目視確認で事前に施した合マークを手掛かりに隙間量が小さくなるように微調整を繰り返す延長配管位置合せ方法で、S/C表面－延長配管隙間量の5mm以下への調整が十分可能（試験結果は2mm以内）であることを確認

- 単体機能試験結果から実規模スケール試験への反映事項
 - 実規模試験要領では、ハンディスキャン結果等で算定したずれ量による延長配管位置合せで隙間量が大きい場合、単体機能試験と同様、モニタリングツールのカメラ映像により目視確認の位置合せで隙間量を5mm以下に調整する手順とする。

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証
② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

■ 隙間計測装置の仕様

項目	仕様	備考
装置構成		本PJでは装置化せず、ハンディスキャナ(3D)のみの要素試験を行う
基本機能	(1)キャリアアセンブリの遠隔操作により、ハンディスキャナ(3D)を所定の位置まで降下させて設置・回収が可能であること (2)延長配管下端全周とS/C表面のハンディスキャナ(3D)による形状計測で隙間量の確認が可能であること (3)溶接前後の延長配管下端全周とS/C表面のハンディスキャナ(3D)による形状計測ですみ肉の溶接のど厚の確認が可能であること (4)S/C表面と延長配管内面のマーキング位置の確認が可能であること (5)ハンディスキャナ(3D)による寸法計測精度は±1mm以下であること	

・ ハンディスキャナの仕様

光源	LED(青)
3D解像度(最大)	0.1mm
3D精度(最大)	0.05mm
撮影可能範囲	200-300mm
撮影範囲(最短距離)(高さ×幅)	90×70mm
撮影範囲(最長距離)(高さ×幅)	180×140mm
撮影範囲(角度)(高さ×幅)	30×21deg
本体寸法(高さ×奥行×幅)	190×140×130mm
本体重量	0.85kg

(補足) ハンディスキャナは、撮影した画像データを高速で処理し、測定対象物の幾何学的特徴を認識して自動的にデータを統合し、データ同士を重ね合わせることで被写体の形状を正確にキャプチャし、3Dモデルを構築する機器である。

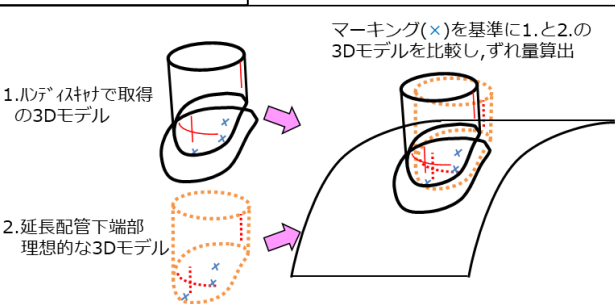
■ 隙間計測装置の要素試験

● 試験の目的

S/C取水部構造の構築作業のうち、S/Cと延長配管の溶接において、隙間計測装置は以下を遠隔操作で実施する装置である。

- a. 延長配管ずれ量の計測(位置合せ前の延長配管下端部の位置・姿勢の特定)
- b. 隙間量測定(溶接前のS/C表面と延長配管下端部の隙間量許容値5mm以下の確認)
- c. 溶接部寸法検査(溶接後の溶接部のど厚が必要な寸法であることの確認)

a.延長配管ずれ量の計測

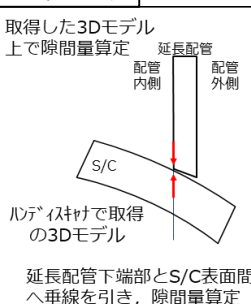


マーキング(×)を基準に1.と2.の3Dモデルを比較し、ずれ量算出

1.ハンディスキャナで取得の3Dモデル

2.延長配管下端部理想的な3Dモデル

b.隙間量測定



取得した3Dモデル上で隙間量算定

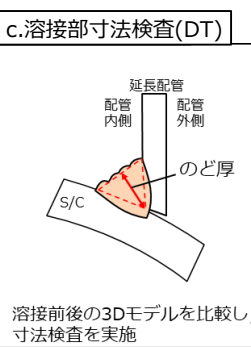
延長配管 配管内側 配管外側

S/C

ハンディスキャナで取得の3Dモデル

延長配管下端部とS/C表面間へ垂線を引き、隙間量算定

c.溶接部寸法検査(DT)



延長配管 配管内側 配管外側

S/C

のど厚

溶接前後の3Dモデルを比較し、寸法検査を実施

・ 要素試験による性能評価

隙間計測装置の主要構成要素であるハンディスキャナにより計測箇所(延長配管下端部-S/C表面間)の3Dモデルを取得し、上記を実施することから、ハンディスキャナ単体を用いた要素試験により下記の性能評価を行う。

- 1) 手動スキャンによる計測精度評価
- 2) 回転治具を用いたスキャンによる撮影範囲評価
- 3) マーキング評価
- 4) のど厚部の評価

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

No.50

i) 手動スキャンによる計測精度評価

【試験目的】

あらかじめ隙間量(4,5,6mm)を設けた試験体を**手動によりスキャン**し、表面状態によるスキャン可否、スキャンデータから得られた3Dモデルの確認を行う。また、スキャンデータから得られた3Dモデル上で計測した隙間量と直尺等で計測した隙間量を比較を行う。

【試験条件】

- 試験体形状 : S/C【鞍型】、延長配管【半割れ円筒】
- 試験体表面状態 : パフ掛有、パフ掛無【2条件】
- 計測位置 : 45°、90°、135°(3方位)
- 照度 : 暗幕で試験体を覆った状態(スキャナの照明のみで計測)、通常照明(既設工場照明)【2条件】

【判定基準】

- スキャンデータから得られた3Dモデル上で延長配管模擬体下端の端部が確認可能なこと
- スキャンデータから得られた3Dモデル上でS/C表面が確認可能なこと
- スキャンデータから得られた3Dモデル上で隙間を計測できること
- スキャンデータから得られた3Dモデルと実測値の差が±1mm以下であること

【試験結果】

パフ掛有無	照度	スキャンデータ	3DCAD	
無	通常			
	暗幕有			
有	通常			
	暗幕有			

試験体(パフ掛無)

試験体(パフ掛有)

表面状態	照度	隙間量	判定a	判定b	判定c	判定d
パフ掛無	通常照明	4mm	良	否※1	否※1	否※2
		5mm		良	良	良
		6mm		否※1	否※1	否※2
	暗幕あり	4mm		良	良	良
		5mm		否※1	否※1	否※2
		6mm		良	良	良
パフ掛有	通常照明	4mm	否※3	否※3	—※3	—※3
		5mm				
		6mm				
	暗幕あり	4mm				
		5mm				
		6mm				

- ※1:S/C表面180°で3Dモデル欠損部がある
- ※2:S/Cモデル欠損部を周辺採取データより形状補完
- ※3:延長配管下端部、S/C表面で3Dモデル欠損部があり、信頼性低いため、隙間計測未実施

ii) 回転治具を用いたスキャンによる撮影範囲評価

【試験目的】

あらかじめ隙間量(5mm)を設けた試験体を**回転治具により**手動で回転させて全周**スキャン**し、計測対象部位がハンディスキャナの撮影範囲内にあることを確認する。回転軸位置(偏心量)やスキャナ取付角度(水平・鉛直)、スキャナ設置高さをパラメータとして変更する。

【試験条件】

- 試験体形状 : S/C【鞍型】、延長配管【配管】
- 試験体表面状態 : パフ掛無
- 照度 : 通常照明(既設工場照明)

【試験パラメータ】

- 回転軸位置(偏心量)
- ハンディスキャナ取付角度
- ハンディスキャナ設置高さ

【判定基準】

- 回転治具等を用いてスキャンした際に計測(スキャン)対象部位が撮影可能であること(3Dモデルを構築できること)
- スキャンデータから得られた3Dモデルの隙間値とスキマゲージによる隙間実測値との差が±1mm以下であること

【試験結果】

a.スキャン条件パラメータと撮影可能範囲

	高さ	偏心量	取付け角度(水平)	取付け角度(垂直)	撮影可能範囲
1	144	30	50	0	280°~60°
2		80	50	25	270°~100°
3			50	45	0°~130°
4	180	80	50	45	240°~140°
5	200	80	50	45	240°~140°
6		80	50	45	50°~290°
7		100	20	50	110°~210°
8		130	20	50	120°~230°
9		150	20	50	120°~230°
10			20	60	130°~220°
11			20	60	130°~220°
12			0	55	140°~210°
13	230	80	30	50	90°~230°

b.隙間計測値の比較結果

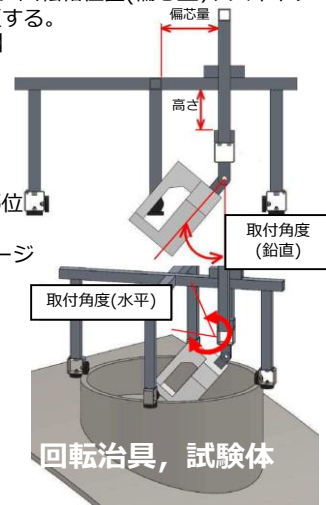
方位(°)	①3Dモデルによる隙間値(mm)	②隙間実測値(mm)	①-②(mm)	判定
0	3.0	4.0	-1.0	良
90	2.7	4.7	-2.0	否
180	2.8※	2.5	0.3	否※
270	4.7	5.1	-0.4	良

※:S/C表面(180°)で3Dモデル欠損部があり、周辺採取データより欠損部の形状補完

【結論】・**回転治具によるスキャン**では、**パフ掛無でS/C表面(180°)に欠損部あり**(1)と同様)、**延長配管下端部90°のスキャナが不十分で3Dモデルと実測の隙間値の誤差で判定値±1mmを逸脱**

→実規模試験への対応(結果は実規模PJで報告)

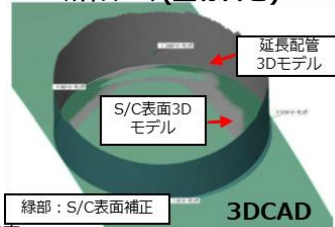
- S/C表面のスキャンデータが欠損した場合、周辺採取データより形状補完(1)と同様)
- 延長配管下端部のスキャンデータが欠損した場合、予め取得した3Dモデルで不足範囲の位置補完
- 十分なスキャンデータ採取のため、更に本試験のスキャン条件(取付角度、位置)の拡充



①スキャンデータと3DCAD比較



スキャンデータ(重ね合せ)



緑部:S/C表面補正

3DCAD

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

iii) マーキング評価

【試験目的】

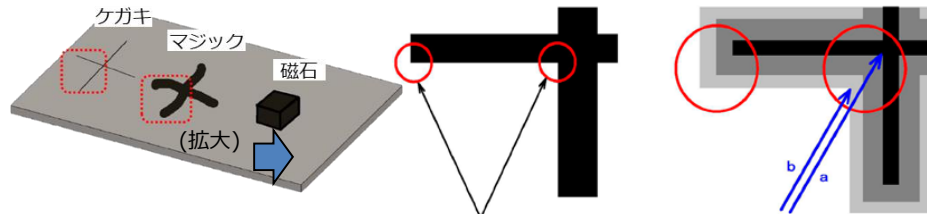
平板にマーキングを施し、スキャンデータから得た3Dモデル上でマーキングを確認する。
 実機のマーキングを想定し、マーキングの種類を試験パラメータとした。

・マーキングの種類：ケガキ、マジック(赤、黒、白)、磁石、ポンチ

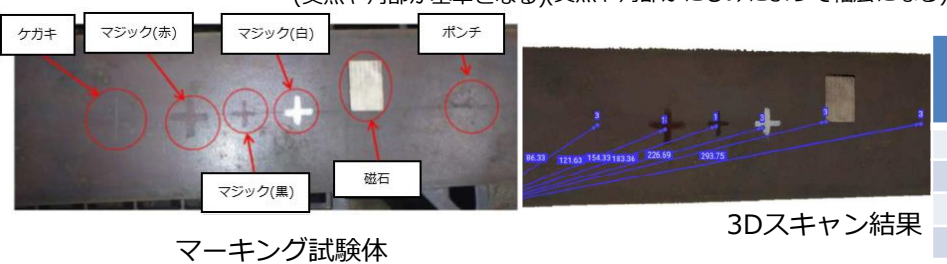
【試験条件】
 ・試験体形状：平板
 ・S/C 模擬体表面状態：バフ掛無

【判定基準】
 ・照度：通常照明(既設工場照明)

- スキャンデータから得られた3Dモデルでマーキングを確認できること
- にじみによる確からしさ:別の基準からの距離(幅広最大・最小)の差が1mm以内



【試験結果】



マーキング試験体

マーキング方法	a,b判定	実測値 (参考)	3Dモデル 計測値a	3Dモデル 計測値b
ケガキ	良	87mm	85.9mm	86.3mm
マジック赤		122mm	121.6mm	122.6mm
マジック黒		154mm	154.0mm	154.4mm
マジック白		184mm	183.3mm	183.9mm
磁石		227mm	226.3mm	226.6mm
ポンチ		295mm	293.7mm	294.1mm

【結論】・磁石・マジック(特に白)の視認は良好、ケガキ線・ポンチは光沢があり凹凸も少ないため視認が難しい

・各マーキングでにじみによる確からしさに差異はなく目標値を満足

➤ 実規模スケール試験への対応：確認しやすい磁石、マジック(白)のマーキングを採用

iv) のど厚部の評価

【試験目的】

S/C継手溶接装置の単体機能試験(STEP3)の試験体にて、溶接前後のスキャンデータより得た3Dモデルを重ね合わせて、のど厚計測の可否、溶接後に実施する断面マクロ観察位置ののど厚の実測値との比較を行う。

【試験条件】

- 試験体形状：S/C【鞍型】、延長配管【配管】
 (S/C継手溶接装置の単体機能試験と同一試験体)
- 試験体表面状態：バフ掛有
- 照度：通常照明(既設工場照明)
- 隙間量：0mm, 5mm (1500mm位置)【2条件】

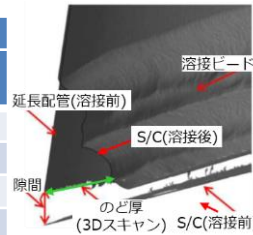
【判定基準】

- 磨き後の溶接部表面が撮影可能であること
 (3Dモデルを構築できること)
- 溶接前後のスキャンデータから得られた3Dモデルを重ね合わせて、のど厚を計測できること
- 溶接前後のスキャンデータから得られた3Dモデルで計測したのど厚と、断面マクロ観察で切り出した断面ののど厚の実測値を比較し、誤差が±1mm以下

【試験結果】

	判定a	判定b	判定c
のど厚部の評価	良	良	否

方位	のど厚(隙間量0mm)			のど厚(隙間量5mm)		
	モデル計測値	実測値	判定	モデル計測値	実測値	判定
0°	19.9mm	19mm	良	17.3mm	18mm	良
90°	19.1mm	19mm	良	15.3mm	17mm	否
180°	20.0mm	20mm	良	16.6mm	17mm	良
270°	21.0mm	20mm	良	18.2mm	19mm	良



・隙間5mm ののど厚で、3Dモデル計測値と実測値の誤差が判定値(±1mm以内)を一部逸脱する(原因)

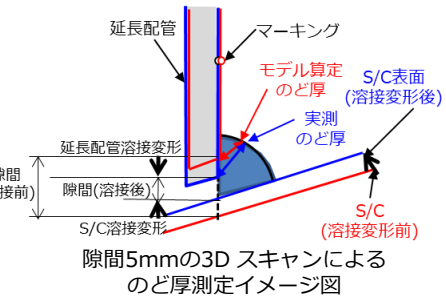
溶接前後の3Dモデルは溶接変形を考慮していないことが本誤差の要因と推定される。
 溶接変形により隙間が狭くなり、のど厚の溶接変形前(モデル値)が溶接変後(実測値)より小さい傾向を示したと考える。

(対策) 不要

(この溶接変形の大きさを見積もること及び、配管内面から計測することは困難である。ただし、溶接変形により隙間は小さくなり実際ののど厚に比べ、3Dモデルによるのど厚計測値は常に保守的なものとなり、DTに使用することは可能であると考え)

【結論】

- 溶接前後の3Dモデルの比較でのど厚の計測は可能。
- 隙間5mmの試験体で、溶接後の溶接変形により隙間が小さくなる影響を考慮できず、モデル値が実測値よりも小さくなる傾向を示すが、のど厚は保守的な計測結果となるため、現状通りとする。



(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

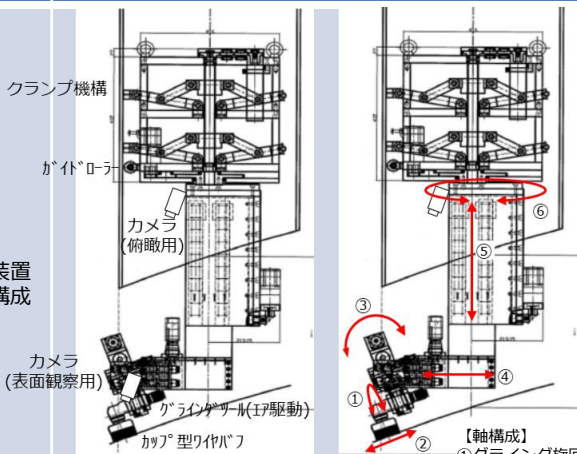
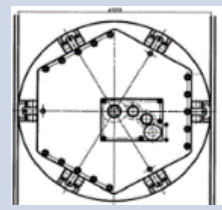
2)S/C表面磨き装置,溶接ビード処理装置,S/C継手溶接装置の開発・検証

■ S/C表面磨き装置の仕様

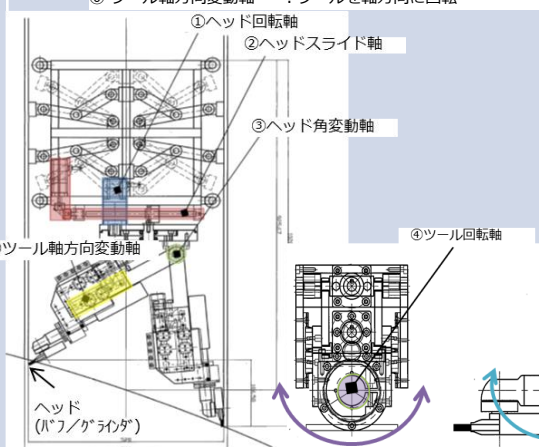
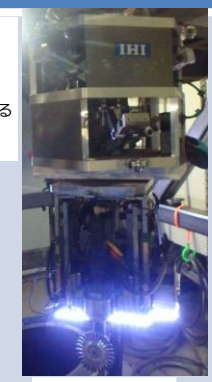
【概要】

延長配管溶接前(S/C表面の塗装剥離除去後)に延長配管とS/C表面の溶接予定箇所の磨きをバフにより行い, S/C表面の浮き錆を除去する装置である。

S/C表面-延長配管位置が500mm程度離れた状態で延長配管内面に装置を固定して使用する。

項目	仕様	備考
装置構成	 クランプ機構 ガイドローラ カメラ(俯瞰用) カメラ(表面観察用) グラインダ(モーター駆動) カップ型ワイヤバフ 【軸構成】 ①グラインダ旋回軸 : 軸回転方向にスイング ②繰り返し前後微動軸 : 軸方向に自動で前後微動 ③グラインダ首振り軸 : 半径方向にスイング ④グラインダ前後移動軸 : 半径方向に移動 ⑤グラインダ上下移動軸 : 上下方向に移動 ⑥ユニット旋回軸 : 円周方向に回転	 クランプ機構(6箇所)
基本機能	(1) S/C表面が塗装剥離された状態で,延長配管設置前のS/C表面の浮錆除去 (2) 配管内面をガイドローラで補助し装置を所定の位置まで投下,クランプ機構で装置を固定 (3) 装置軸により延長配管設置箇所近傍のS/C表面に対し,ヘッドの位置調整が可能 (4) グラインダ前後移動軸・グラインダ上下移動軸,ユニット旋回軸を用いてカップ型ワイヤバフを処理対象面へ押し当てて浮き錆除去 (5) バフがS/C表面に均一に接するよう,グラインダ旋回軸,グラインダ首振り軸のスイングにより傾きを調整可能 (6) カメラで処理対象範囲のS/C表面観察,集音マイクで異常音の確認が可能	

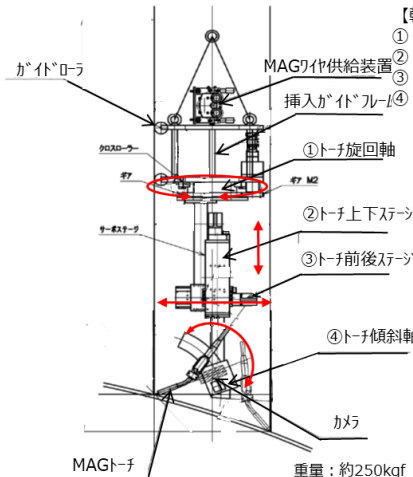
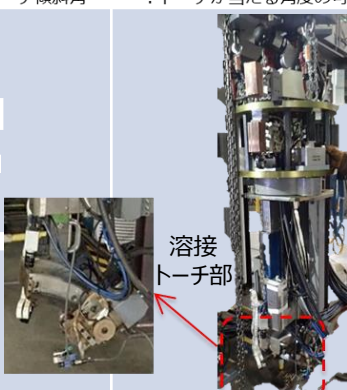
■ 溶接ビード処理装置の仕様

項目	仕様	備考
装置構成	【軸構成】 ①ヘッド回転軸 : 2方向(正転・逆転) ②ヘッドスライド軸 : 延長配管半径方向の可動 ③ヘッド角変動軸 : S/C形状に合わせてツールが当たる角度の可動 ④ツール回転軸 : 溶接線方向に傾けてビード全体にツールを当てる ⑤ツール角変動軸 : ツールを上下方向に回転 ⑥ツール軸方向変動軸 : ツールを軸方向に回転  ①ヘッド回転軸 ②ヘッドスライド軸 ③ヘッド角変動軸 ④ツール回転軸 ⑤ツール角変動軸 ⑥ツール軸方向変動軸 ヘッド(バフ/グラインダ)	 ⑤ツール角変動軸
基本機能	(1) 溶接中,溶接後のホイール型バフによるスラグ除去磨き* (2) VT不合格部のグラインダ(砥石)によるビード成形研削* (3) チャッキング: 延長配管内面にガイドローラで挿入後,クランプ機構で固定 (4) 装置軸: 装置軸により溶接部に接するよう,ヘッドの位置調整が可能 (5) 制御: マニュアル操作により狙い位置を調整エアシリンダーによりヘッドを一定の力で押し付け可能 (6) モニタリング: カメラ(1台以上),集音マイク** (1台以上)	*:スラグ除去磨き・ビード成形研削の用途に応じヘッドの交換を行う ** : 施工管理上,異音感知などの判断指標として機能追加

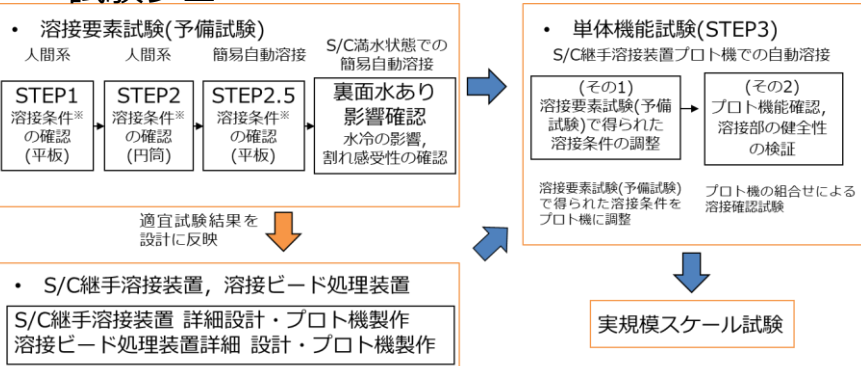
(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

■ S/C継手溶接装置の仕様

項目	仕様	備考
装置構成	 【軸構成】 ① トーチ旋回軸 : 2方向 (正転・逆転) ② トーチ上下ステージ : 上下方向の可動 ③ トーチ前後ステージ : 延長配管半径方向の可動 ④ トーチ傾斜軸 : トーチが当たる角度の可動	
	(1) 溶接方法 : MAG (2) 制御 : ティーチング : ワイヤタッチ式, 最大30点 溶接速度・トーチ角度 : 教示点間で変更可 (3) チャッキング : 延長配管内面にクランプ機構で固定 (4) モニタリング : カメラ(2台以上) 集音マイク*(1台以上)	
基本機能		* : 施工管理上, 異音感知などの判断指標として機能追加

■ 試験フロー



■ STEP1 要素試験内容・結果

【目的】 平板による簡易形状模擬試験体で, 人間系溶接試験より下記項目を確認

- ・ 最適な溶接材料
- ・ 溶接条件(電流, 電圧, 溶接速度, 溶接方向, トーチ角度(前進角, 後退角), 積層パターン)
- ・ パス間磨き程度の確認 (バフによるビード処理でスラグ除去程度確認)
- ・ S/C表面の溶接前処理程度(磨き程度)の確認 (溶接可能表面状態(錆程度)の確認)

【試験内容】

- ・ 施工方法 : **MAG手動溶接** 隅肉溶接
- ・ 溶接前処理 : 手動ワイヤバフ

試験体	形状	厚さ	材質	隙間
S/C模擬体	平板	19mm	SM490	0mm
延長配管模擬体	平板	12mm	SM490	

- ・ S/C角度模擬架台(平板)で実機S/C傾斜を模擬
4方位毎(山, 谷, 左, 右)に立板(平板)の延長配管を模擬
- ・ S/C中心からの実機想定距離 : 700mm, 1500mm

<S/C中心～延長配管中心までの距離1500mm*>



項目	判定基準	結果
VT	割れがないこと	割れなし
DT	所定のと厚(10mm以上)を満足	断面マクロで所定値を確保
(参考確認) 断面マクロ	溶け込み形状確認	一部1mm以下の隙間あり (隙間分削除してもDT満足するため, 問題なし)

【STEP1試験で得られた成果】

- 簡易形状模擬試験体を人間系溶接により, 下記溶接条件を確認
- ・ 溶接方法 : 体積検査が要求されず, 最終層VTのみであるため, **MAG溶接を選定, 溶接可**を確認
- ・ 溶接材料 : フラックスコードワイヤはスラグ発生量多く, バフでは十分取れないことから **ソリッドワイヤを選定**
- ・ ベースとなる溶接条件 : 以下 **大まかな条件出しを実施**, 問題ないこと確認
電流 : 250A前後, 電圧 : 30V程度, 溶接速度, 溶接方向 : 20~30cm/min程度(上進, 下進)
トーチ角度 : 25°~65°(1500mm), 30°~50°(700mm)
- ・ 積層パターン : 3層6パスでも設計のと厚10mmを満足したが, 余裕をみて **3層8パス施工を選定**
- ・ バフによるパス間の磨き程度 : ホイール型, カップ型のバフを比較
想定される溶接施工箇所は狭隘のため, ビード磨き時のバフ干渉度合より **ホイール型バフを選定**
- ・ S/C表面の溶接前処理程度 : S/C模擬材の黒皮(錆)表面の直接バフ処理で問題ないことを確認

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

■ STEP2 要素試験内容・結果

【目的】STEP1の条件に基づき実機形状模擬試験体で、人間系溶接試験により下記項目を確認・検証

- ・溶接条件
- ・パス間磨き程度の確認（バフによるビード処理でスラグ除去程度確認）
- ・S/C表面の溶接前処理程度の確認（溶接可能表面状態（錆程度）の確認）

【試験内容】. 施工方法：MAG手動溶接 隅肉溶接

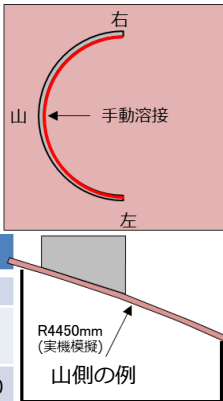
- ・溶接前処理：手動ワイヤバフ【ホイール型】
- ・パス数：3層8パス

試験体	形状	厚さ	材質	隙間
S/C模擬体	鞍型	19mm	SB450	0mm
延長配管模擬体	半割れ円筒	15.9mm	SM490	

- ・S/C実機形状を模擬、4方位毎(山,谷,左,右)に半割れの延長配管を模擬
- ・S/C中心からの実機想定距離：700mm,1500mm

【試験結果】

項目	判定基準	結果
VT	割れないこと	割れなし
DT	所定のど厚(10mm以上), 脚長(17mm以上)を満足	断面マクロで所定値を 確保
(参考確認) 断面マクロ	溶け込み形状確認	一部2mm以下の隙間あり (隙間分削除してもDT満 足するため,問題なし)



【STEP2試験で得られた成果】

- STEP1の条件を用いて実機形状模擬試験体を人間系溶接により、下記条件で溶接可能を確認

○1500mm溶接条件

電流270A固定, 溶接速度:17~26cm/min(上進,下進含む), トーチ角度:25°~60°

○700mm溶接条件

電流270A固定, 溶接速度:17~28cm/min(上進,下進含む), トーチ角度:20°~45°

■ STEP2.5 要素試験内容・結果

<その1>

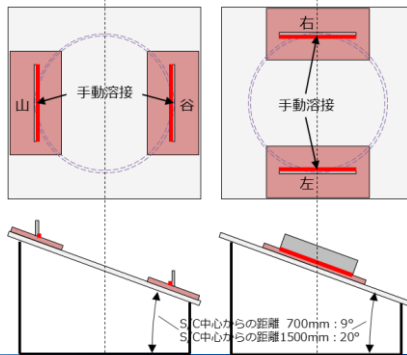
【目的】STEP1,2で求めた条件に基づき簡易形状模擬試験体で、簡易自動溶接試験より溶接部健全性を確認・検証

【試験内容】

- ・施工方法：MAG簡易自動溶接 隅肉溶接
- ・溶接前処理：手動ワイヤバフ【ホイール型】
- ・パス数：3層8パス

試験体	形状	厚さ	材質	隙間
S/C模擬体	平板	19mm	SM490	0mm
延長配管模擬体	平板	12mm	SM490	

- ・S/C角度模擬架台(平板)で実機S/C傾斜を模擬
4方位毎(山,谷,左,右)に立板(平板)の延長配管を模擬
- ・S/C中心からの実機想定距離:700mm,1500mm



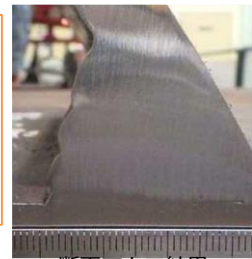
■ STEP2.5 要素試験内容・結果(続き)

【試験結果】

項目	判定基準	結果
VT	割れないこと	割れなし
DT	所定のど厚(10mm以上), 脚長(17mm以上)を満足	断面マクロで所定値を確保
(参考確認) 断面マクロ	溶け込み形状確認	溶け込み不良なし

【STEP2.5(その1) 試験で得られた成果】

- STEP1,STEP2の条件を用いて簡易形状模擬試験体を簡易自動溶接により、溶接可能を確認。
- 自動溶接で実機形状においても溶接可能な見通しを得た。STEP3プロト機による単体機能試験の溶接条件を導出。
→ STEP3 プロト機による単体機能試験を実施可能と判断

断面マクロ結果
(例) 1500mm位置(谷)

<その2>

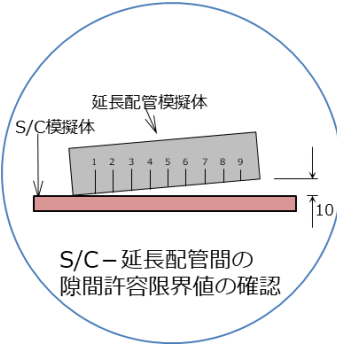
【目的】隙間許容限界(1パスによるS/Cと延長配管の溶融可能な最大隙間寸法)を確認

【試験内容】

- ・施工方法：MAG簡易自動溶接 隅肉溶接
- ・溶接前処理：手動ワイヤバフ【ホイール型】
- ・パス数：1パス

試験体	形状	厚さ	材質	隙間
S/C模擬体	平板	19mm	SM490	図参照
延長配管模擬体	平板	12mm	SM490	

- ・あらかじめ隙間を設けた状態でS/C角度模擬架台(平板)で実機S/C傾斜を模擬、4方位毎(山,谷,左,右)に立板(平板)の延長配管を模擬
- ・S/Cと延長配管を溶融可能な隙間の最大寸法を検証
- ・S/C中心からの実機想定距離：700mm,1500mm



【STEP2.5(その2) 試験で得られた成果】

- 隙間許容限界値は5mmであることを確認
→S/C表面ー延長配管の位置合せにおける隙間許容値として、得られた値をフィードバックし、位置合せに関わる精度等の設計へ反映

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

■ 裏面水あり溶接影響確認試験内容・結果

【目的】STEP2.5(水なし)条件で延長配管溶接によるS/C内満水状態が及ぼす影響を確認する。
高線量下,狭隘,遠隔施工での現場状況で,予熱は非常に困難であるため,予熱なしで成立する溶接条件の確認を目標とする。

【試験内容】

- ・施工方法: MAG簡易自動溶接 隅肉溶接
- ・溶接前処理: 手動ワイヤバフ
- ・パス数: 1パス^{*1}

試験体	形状	厚さ	材質	隙間	Pcm
S/C模擬体	平板	17mm	SB450	2mm ^{*2}	0.272 ^{*3}
延長配管模擬体	平板	12mm	SM490		—

- ・水温: 12℃^{*4}
- ・電流,溶接速度等の条件: Step2.5の要素試験で確認した条件
- ・満水(3ケース), 水なし(1ケース)
- ・S/C角度模擬架台で実機S/C傾斜を模擬し, 立板(平板)を立てて溶接施工(保守的な溶接条件となるケースに絞って実施)

- *1: 1パスは多層盛りに比べ再熱効果が見込めず, 固くなり低温割れしやすい
- *2: ルート部の応力集中を考慮: JIS Z 3158 y形溶接割れ試験方法
- *3: 満水条件となる可能性がある1F-1/3のS/C実機ミルシートのPcm(溶接割れ感受性組成)を包絡する板の(Pcm: 0.272)を使用
- *4: 1F-1~3のサイト実測値(2019/1/1~5/8)のうち最低値(1F-3)を採用
- *5: 下進は溶接速度が他の溶接方向より速く低入熱であり, またプールの垂れ落ち挙動の影響で母材に熱が入りにくい
- *6: 700mmに比べ勾配大で下進溶接時の溶融プール垂れ落ちによる影響が大きい

【試験結果】

【VT】

【PT】

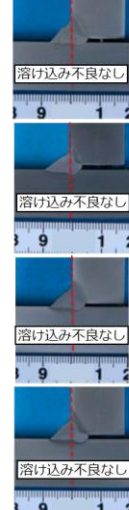
【断面マクロ】

満水(試験体1)

満水(試験体2)

満水(試験体3)

水なし



--- 硬さ測定の実施ライン

【断面ミクロ】

満水(試験体1)

満水(試験体2)

満水(試験体3)

水なし

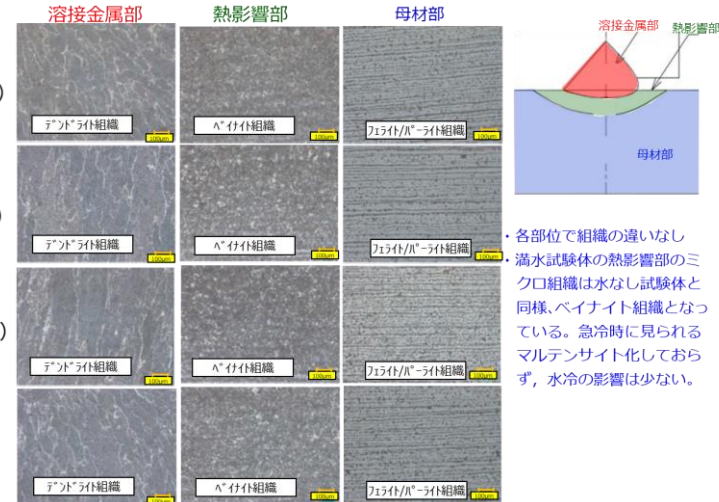
【硬さ測定】

満水(試験体1)

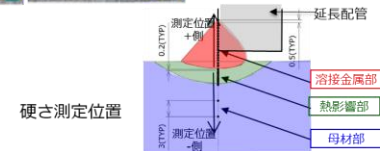
満水(試験体2)

満水(試験体3)

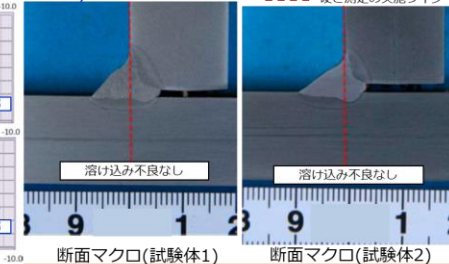
水なし



・各部位で組織の違いなし
満水試験体の熱影響部のミクロ組織は水なし試験体と同様、ベイナイト組織となっている。急冷時に見られるマルテンサイト化しておらず、水冷の影響は少ない。



- ・満水状態で若干硬さに違いがみられるが, 有意な差はない
- ・満水(試験体2)と満水(試験体1)・満水(試験体3)の傾向の違いは溶け込み形状の違いによるものと考え(施工のばらつき, 装置据付誤差が溶け込み形状に影響したと推定)



【裏面水あり溶接影響確認試験で得られた成果】

- 満水状態において, STEP2.5試験(水なし状態)の溶接条件で溶接部の割れ・溶け込み不良がないことを確認
- 満水状態の硬さ試験は若干硬さに違いはあるが, 有意な差はないことを確認
- 満水状態の熱影響部のミクロ組織は, 水なし試験体と同様, ベイナイト組織である。急冷時に見られるマルテンサイト化しておらず, 水冷の影響は少なく, 満水条件で低温割れ発生はないと推定
→S/C内満水条件は, 水なし状態と同条件で溶接可能な見通しを得た

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

■ STEP3単体機能試験内容・結果 (溶接装置・ビード処理装置関連)

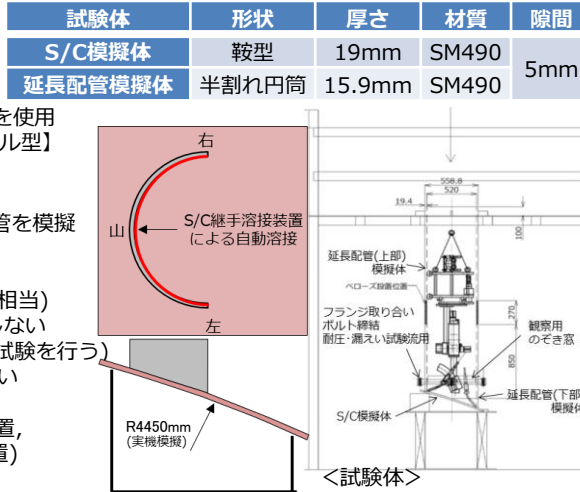
<その1>

【目的】溶接要素試験(予備試験)で得られた溶接条件の調整

実機形状模擬の延長配管とS/C試験体を用いて、**予備試験で得られた溶接条件をS/C継手溶接装置のプロト機能に調整**する。

【試験内容】

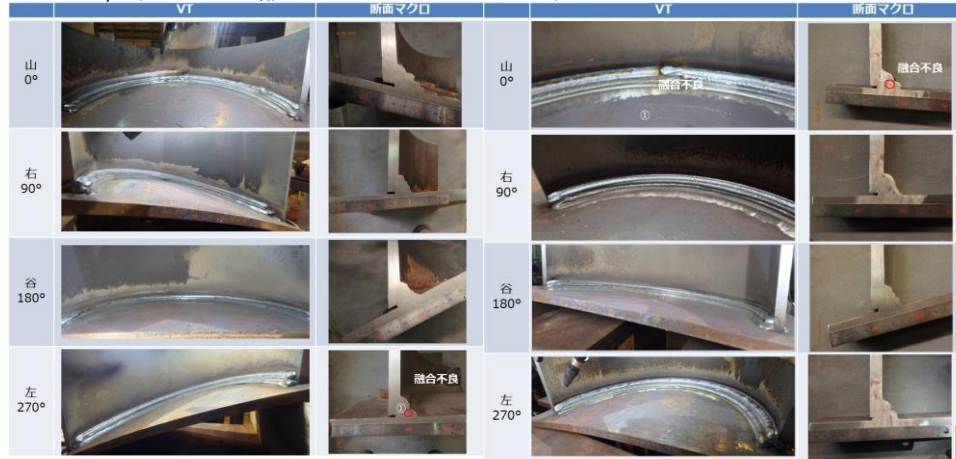
- 施工方法：**MAG自動溶接** 隅肉溶接
- S/C継手溶接装置(開発品)を使用
- 溶接前処理：手動ワイヤバフ【ホイール型】
- パス数：3層8パス
- S/C実機形状を模擬
- 4方位(山,谷,左,右)に半割れの延配管を模擬
- S/C中心からの実機想定距離：700mm,1500mm
- S/C模擬体の内半径：4450mm(1F-3相当)
- R/B1階床からS/Cまでの距離：模擬しない
- (実規模フル試験で1F-3相当距離の確認試験を行う)
- 環境(明るさ・温度・湿度)：模擬しない
- 必要に応じ、溶接条件*を調整する
- *:溶接速度,トーチ角度,トーチ狙い位置,条件切り替え位置(ティーチング位置)



【試験結果】

<S/C中心からの距離:1500mm>

<S/C中心からの距離:700mm>



- VT：最終層で割れまたはアンダーカット、オーバーラップ、クラック、スラグ巻込み、ピットで有害なものなし
- DT：4方位分のすべての試験体において「のど厚10mm以上、脚長17mm以上」を満足

- 断面マクロ:4方位の断面観察による溶込み形状より、**融合不良があるが、当該部を除外してもDT判断基準を満足するため問題なし**

<1500mmの場合>①6パス目の左側(270°)に融合不良あり

・推定原因

下進溶接で発生している。下進溶接時は溶融プールが垂落ちて溶接方向にアークより先行して進んでしまい、溶融金属表面から母材までの距離が長くなり、母材に十分な熱が伝わらず融合不良が発生したと推定

・対策：不要

(融合不良は下進溶接時に更に溶接速度を上げ、溶着量を減らし溶融プールの垂落ちを減らすことで解消するが、当該部を除外してもDT判断基準を満足するため、対策は不要と考える)

<700mmの場合>①6パス目の山側(0°)に融合不良あり

・推定原因

溶接スタート位置に発生している。MAG溶接の溶接スタート部はアークが安定せず、熱が集中しにくいため融合不良が発生し、またシールドガス範囲外にアークが飛散したため融合不良が発生したと推定

・対策:不要(1500mmと同様)

■ STEP3(その1)で求めた溶接条件(1500mm位置)

施工方法：GMAW自動溶接 隅肉溶接

溶接部処理：ワイヤバフ(ホイール型)

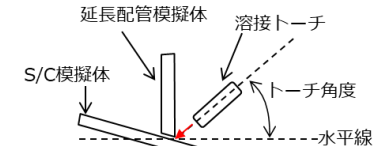
パス数：3層8パス

対象	層数	パス数	溶接方向*1	溶接速度 (cm/min)	トーチ角度(°)*2	トーチ狙い位置*3	狙い基準	X
山	1	1	-	25	45	1	0	
	2	2	-	25	45	2	0	
	2	3	-	25	45	3	0	
	2	4	-	25	45	4	0	
	3	5	-	25	45	5	0	
	3	6	-	25	45	6	0	
	3	7	-	25	45	7	0	
	3	8	-	25	45	8	0	
右	1	1	下進	30	60	1	0	
	2	2	上進	20	60	2	0	
	2	3	下進	30	60	3	0	
	2	4	上進	20	45	4	0	
	3	5	下進	30	60	5	0	
	3	6	上進	20	50	6	0	
	3	7	下進	30	60	7	0	
	3	8	上進	20	45	8	0	
谷	1	1	-	25	60	1	0	
	2	2	-	25	60	2	3	
	2	3	-	25	60	3	0	
	2	4	-	25	50	4	0	
	3	5	-	25	60	5	0	
	3	6	-	25	60	6	0	
	3	7	-	25	60	7	0	
	3	8	-	25	45	8	0	
左	1	1	上進	20	45	1	0	
	2	2	下進	30	45	2	0	
	2	3	上進	20	45	3	0	
	2	4	下進	30	55	4	0	
	3	5	上進	20	60	5	0	
	3	6	下進	30	60	6	0	
	3	7	上進	20	45	7	0	
	3	8	下進	30	45	8	0	

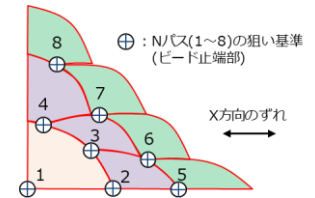
朱書きはSTEP2.5条件からの変更点

溶接電流	: 270A (設定値), パルス有り
ワイヤ突き出し長さ	: 15mm
溶接速度【左表参照】	: 20cm/min~30cm/min
トーチ角度【左表参照】	: 45°~60°
トーチ狙い位置	: 下図参照

- *1:溶接方向はパス毎に正転・逆転を繰り返す
- *2:トーチ角度は溶接狙い位置の溶接トーチと水平線の角度を示す



- *3:トーチ狙い位置は狙い基準からX方向へのずれを示す



【STEP3(その1) 試験で得られた成果】

STEP2.5条件を適用した結果、ビードの広がり方が確認されたことから、ビード形状の安定・再現性の向上を目的に**STEP3(その1)条件はSTEP2.5から「トーチ角度」を立て、「トーチ狙い位置」の一部変更を実施**

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要となる要素技術の開発・検証

STEP3(その2)試験結果一覧 (判定結果) ○:良,×否

No.57

<その2>

【目的】装置機能確認、溶接部の健全性の検証

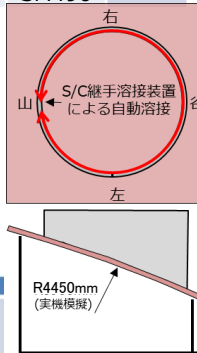
- S/C継手溶接装置と溶接ビード処理装置のプロト機の組合せで、実機に近い条件において装置設置・撤去～溶接施工～ビード処理までの一連の作業により、装置機能確認と要求される継手性能の検証を行い、実規模スケール試験要領へ反映する
- 装置機能の課題確認および想定リスク評価を行い、実規模スケール試験に向けた装置の課題を抽出する(可能な範囲で試験開始までに修正)

【試験内容】

- 施工方法: MAG自動溶接 隅肉溶接
S/C継手溶接装置(開発品)を使用
- 溶接部処理: ワイヤバフ(ホイール型)
溶接ビード処理装置を(開発品)を使用
- パス数: 3層8パス
- S/C実機形状を模擬、配管形状の延長配管模擬試験体を模擬
- S/C中心からの実機想定距離: 700mm, 1500mm
- S/C模擬体の内半径: 4450mm(1F-3相当)
- R/B1階床からS/Cまでの距離: 模擬しない
(実規模スケール試験で1F-3相当距離の確認試験を行う)
- 環境(明るさ・温度・湿度): 模擬しない
- S/C継手溶接装置で溶接施工,溶接部をビード処理装置で磨き施工,繰返し

【試験結果】<S/C中心からの距離:1500mm,隙間0mmの例>

	VT	PT	断面マクロ																																
山 0°																																			
右 90°																																			
谷 180°																																			
左 270°																																			
<table><tr><th>継手引張試験</th><th>母材引張強さ (N/mm²)</th><th>試験片幅 (mm)</th><th>のど厚 (mm)</th><th>引張荷重 (kN)</th><th>引張強度 (N/mm²)</th><th>継手効率</th></tr><tr><td>山 0°</td><td rowspan="4">547</td><td>33.6</td><td>19</td><td>189.8</td><td>297</td><td>0.54</td></tr><tr><td>右 90°</td><td>33.1</td><td>19</td><td>176.0</td><td>280</td><td>0.51</td></tr><tr><td>谷 180°</td><td>33.6</td><td>20</td><td>190.0</td><td>283</td><td>0.51</td></tr><tr><td>左 270°</td><td>33.6</td><td>20</td><td>165.9</td><td>247</td><td>0.45</td></tr></table>				継手引張試験	母材引張強さ (N/mm ²)	試験片幅 (mm)	のど厚 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	継手効率	山 0°	547	33.6	19	189.8	297	0.54	右 90°	33.1	19	176.0	280	0.51	谷 180°	33.6	20	190.0	283	0.51	左 270°	33.6	20	165.9	247	0.45
継手引張試験	母材引張強さ (N/mm ²)	試験片幅 (mm)	のど厚 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	継手効率																													
山 0°	547	33.6	19	189.8	297	0.54																													
右 90°		33.1	19	176.0	280	0.51																													
谷 180°		33.6	20	190.0	283	0.51																													
左 270°		33.6	20	165.9	247	0.45																													



※1: VTで7パス目の0°,180°にオーバーラップで有害な欠陥あり(割れ,アンダーカット,クラック,スラグ 巻込み,ピットはなし)

- オーバーラップの推定原因: 時計回りの1,3,5,7パス目の上進でトーチケーブルが延長配管と接触した際の曲がりにより溶接中にワイヤが上向きに曲がり,ティーチング時の狙い位置からずれたことが原因と推定

- 対策: トーチケーブルを装置内側に収納などケーブルマネージメント方法を改善

・VT可否の判定基準の再設定(例: DTとの組合せで判定) (課題として残しエンジニアリングで対応)

※2: 断面マクロでブローホール,融合不良があるが,当該部を除外してもDT判断基準を満足するため問題なし

- ブローホール推定原因: 溶接スタート位置で発生している。MAG溶接の溶接スタート部はアークが安定せず,シールドガス範囲外にアークが飛散し,ブローホールが発生したと推定。

- 対策: 不要(ブローホールはMAGの特性上,溶接スタート部のアークの乱れにより発生し得るものであるため溶接スタート部の溶接金属を削り,次パスのスタートを他の箇所からとすることで解消するが,当該部を除外してもDT判断基準を満足するため,対策は不要と考える) なお,融合不良の原因,対策はSTEP(その1)試験と同様

<判定基準>

- VT: 最終層で割れまたはアンダーカット,オーバーラップ,クラック,スラグ 巻込み,ピットで有害なものがない

- PT: 最終層で割れなし

- DT: 4方位分の断面マクロより,のど厚10mm以上,脚長17mm以上を満足

- 断面マクロ: 4方位の断面マクロで溶け込み形状確認

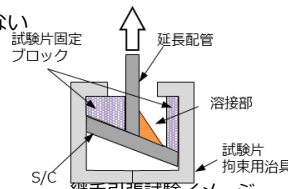
- 耐圧試験: 試験圧力110kPa以上に耐え,10分以上 過度な変形が無いこと

- 漏えい試験: 試験圧力90kPa以上で60分後の圧力降下が5kPa以下であること

- 継手引張試験※3: 溶接部継手の強度より,継手効率0.35を満足すること

※3: 引張試験による荷重-変位曲線およびのど厚実測値を元に継手効率の算定: 継手効率 $\eta = \sigma_{TJ} / \sigma_{TB}$

ここに, σ_{TJ} : 継手の引張強さ = 引張り試験の破断荷重/のど断面(のど厚 $\times$ 試験片幅), σ_{TB} : 母材の引張強さ = 試験片母材の引張強さ(ミルシート) ※4 のど厚は試験体の2断面の値を測定, その平均値



(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

No.58

STEP3(その1)試験結果を踏まえ、**実規模スケール試験**(S/C中心からの距離1500mm)

で適用する溶接条件は以下の通り。

施工方法: GMAW自動溶接 隅肉溶接

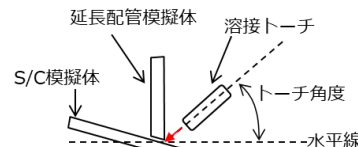
溶接部処理: ワイヤバフ(ホイール型)

パス数: 3層8パス

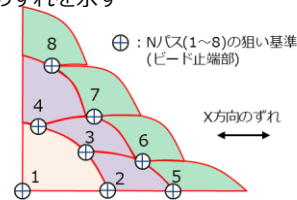
溶接電流	: 270A (設定値), パルス有り
ワイヤ突き出し長さ	: 15mm
溶接速度【左表参照】	: 20cm/min~30cm/min
トーチ角度【左表参照】	: 45°~60°
トーチ狙い位置	: 下図参照

*1: 溶接方向はパス毎に正転・逆転を繰り返す

*2: トーチ角度は溶接狙い位置の溶接トーチと水平線の角度を示す



*3: トーチ狙い位置は狙い基準からX方向へのずれを示す



朱書きはSTEP3(その1)条件からの変更点

ティーチング位置: 15°毎にティーチングポイント(TP)を合計24点設定



ティーチング時
カメラ映像

・溶接装置のカメラからの画面で溶接トーチを手動にて遠隔操作、溶接狙い基準に合せる
・合せた箇所をティーチングポイントとして装置に記録

【STEP3(その2) 試験で得られた成果】

・**実規模スケール試験の溶接条件を設定**

・STEP3(その1)条件を適用した結果、1500mm条件において、上進・下進(右・左)でトーチ角度を立てすぎるとビードが凸型になりやすいため、**STEP3(その2)条件はSTEP(その1)から「トーチ角度」を45°ベースへ、「トーチ狙い位置」の一部変更を実施**

STEP3単体機能試験内容・結果(ビード処理装置関連)

VT不合格部のグラインダによる溶接ビード形成

・グラインダ(砥石)で**溶接ビード研削可能**だが、**溶接ビード形状を整える施工方法は確立不可**

<推定原因>

・砥石の厚さが3mm程度と細く、溶接ビード部に砥石が線でしか当てられず、溶接ビード形成の調整が困難であった。

<対策>

・**面で当てられるような砥石形状に変更**(課題として残り、エンジニアリングで対応)



3) 仮設シール装置の開発・検証

■ 仮設シール装置の仕様

項目	仕様	備考
装置構成		供用運転中、延長配管内の圧力監視により、リーク発生傾向の有無を確認し、 リーク発生の疑いが確認された場合 、取水運転の停止、取水設備の回収後、本設備により延長配管の漏えい検査を実施する。
基本機能	レベル2におけるS/C取水部の延長配管内の検査として、 仮設シール装置で延長配管下端部を閉止し、S/C取水部の(仮設収納容器を含む)局部漏えい試験を行う。漏えい確認された場合、段階的に本装置を移動し加圧範囲の絞り込みにより、漏えい箇所を特定する。	

■ 仮設シール装置の要素試験(内容・結果)

【目的】

本要素試験で、漏えい試験に用いる仮設シール装置の下記項目を検証する。

- (a) 仮設シール装置の投下性
- (b) 通常の設置状態におけるシール性
- (参考試験) 位置ずれが生じた状態でのシール性

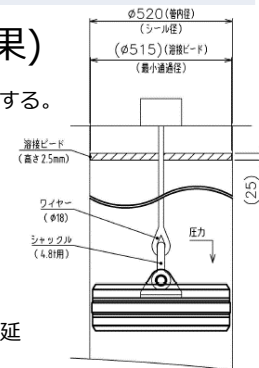
(a) 仮設シール装置の投下性確認試験

【試験内容】

- ✓ 試験方法・仮設シール装置をホイストにより投下し、延長配管模擬体内の継手溶接部の模擬余盛段差を通過させる。
- ✓ 試験パラメータ・配管材質(SUS鋼, 炭素鋼塗装有), 表面結露の有無, 延長配管の傾斜(0, 1°)
- ✓ 試験条件・試験温度; 室温
- ✓ 判定基準・ホイスト操作のみ(人手補助なし)で延長配管模擬体内をスムーズに昇降できること

【試験結果】

No.	試験ケース	判定
1	SUS 管, 結露無	良
2	SUS 管, 結露有	良
3	炭素鋼管(塗装有), 結露無	良
4	炭素鋼管(塗装有), 結露有	良
5	SUS 管, 結露無	良
6	SUS 管, 結露有	良
7	炭素鋼管(塗装有), 結露無	良
8	炭素鋼管(塗装有), 結露有	良



【本試験で得られた成果】

各要因(SUS/炭素鋼, 塗装有無, 結露有無, 1°程度の延長配管の傾き)**が、装置の投下性に与える影響は小さい**

(2) PCV内アクセス・接続等の要素技術の開発・検証

② S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発・検証

(b) 通常の設置状態におけるシール性確認試験

【試験内容】

✓ 試験方法

- 仮設シール装置をホイス等により投下する
- 仮設シール装置のチューブシールを0.10~0.15MPaGに加圧する。チューブシールの加圧後、加圧ラインの弁(V4)を閉とする。
- 仮設シール装置より下側の範囲の延長配管内を-10kPaGに減圧する。
- 減圧ラインの弁(V1)を閉じた後、圧力及び温度の履歴を60分間記録する。

✓ 試験パラメータ…配管材質(SUS鋼,炭素鋼塗装有),表面結露の有無

✓ 試験条件…試験媒体;エア, 試験温度;室温

✓ 判定基準 a.構造安定性:減圧中,仮設シール装置の有意な位置ずれが発生しないこと
b.シール性: 漏えい率が0.5vol%/h以下であること(注1)

(注1) 漏えい率に関し,JIS Z 4820「ガス・液体の気密試験方法」の解説内

“大気圧比較法の漏れ率の算出”の方法により,以下の式で算出。

試験中の温度一定,大気圧一定(1.013×10⁵Pa)と仮定。漏れ量: $Q = V_e \times (\Delta P / 1.013 \times 10^5) \times (3600 / t)$ [mL/h]漏えい率: $q = (Q / V_e) \times 100$ [vol%/h]

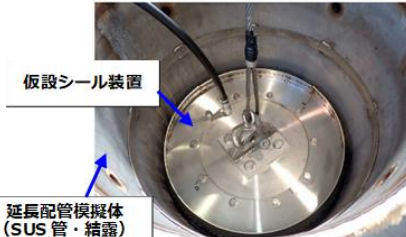
ここで, Q: 漏れ量(mL/h)

V_e: 等価内容量(=1.147×10⁵mL)

ΔP: 試験開始時と終了時の圧力変化(Pa)

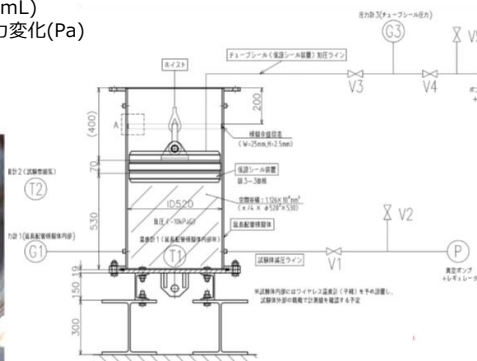
t: 検査時間(sec)

q: 漏えい率(vol%/h)

T₁: 試験開始時温度(℃)T₂: 試験終了時温度(℃)

漏えい試験状況

【試験結果】



(参考試験) 回転ずれが生じた状態でのシール性確認試験

【試験内容】

✓ 試験方法

- 仮設シール装置をホイスにより投下し,水平に対し約15°斜めに傾けた状態で保持し,仮設シール装置の水平からの傾きをデジタル水準器により計測する。
- 上記i)の状態を維持し,仮設シール装置のチューブシールを0.10~0.15MPaGに加圧する。チューブシールの加圧後,加圧ラインの弁(V4)を閉,仮設シール装置の傾きを再度計測する。
- 仮設シール装置より下側の範囲の延長配管内を-10kPaGに減圧する。
- 減圧ラインの弁(V1)を閉じた後,圧力及び温度の履歴を60分間記録する。

✓ 試験パラメータ…配管材質(SUS鋼,炭素鋼塗装有),表面結露の有無

✓ 試験条件…試験媒体;エア, 試験温度;室温

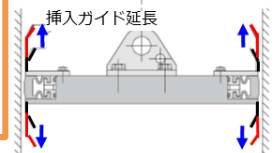
✓ 判定基準(参考用) a.構造安定性:減圧中,仮設シール装置の有意な位置ずれの発生有無確認
b.シール性: 漏えい率の算定(算定方法は試験(b)注1参照)

【試験結果】

No.	試験ケース		a. 判定	試験開始時	試験終了時	試験終了時の圧力変化	試験開始時	試験終了時	試験終了時の圧力変化	漏れ量	漏えい率	b. 判定
	配管材料, 結露有無	装置傾き		P1 [kPa]	P2 [kPa]	ΔP [kPa]	T1 [℃]	T2 [℃]	ΔT [K]	Q [ml/h]	q [vol%/h]	
1	SUS管, 結露無	約14.7°	良	-10.20	-9.90	0.30	13.3	14.3	1.0	339.7	0.296	良
2	SUS管, 結露有	約14.8°	良	-10.20	-10.00	0.20	16.4	17.0	0.6	226.5	0.197	良
3	炭素鋼管(塗装有), 結露無	約4.7°	良	-10.30	-10.20	0.10	17.6	18.1	0.5	113.2	0.099	良
4	炭素鋼管(塗装有), 結露有	約2.4°	良	-10.25	-10.20	0.05	18.3	18.6	0.3	56.6	0.049	良

【本試験で得られた成果】

大きな回転ずれで設置した場合,SUS管では通常設置状態と比較し,漏えい性能に大きな差異はなし。

塗装有炭素鋼管ではチューブシール加圧時に**仮設シール全体が垂直方向に大きく滑り回転しシール不可。**→実機向けに**回転ずれの設置状態を考慮した装置の回転防止対策が望ましい**例)仮設シール装置の**挿入ガイドを延長した回転抑制機構**を設けるなど

【本試験で得られた成果】

仮設シール装置の通常設置状態(約0°)のシール性能確認試験で,各ケースで延長配管内の減圧による仮設シール装置の**有意な位置ずれなく,漏えい率は判定値0.5vol%/h以下**であった。**十分な構造安定性とシール性を発揮できることを確認した。**

【S/C内アクセス・接続等に必要な要素技術の開発まとめ】

- 各装置の仕様整理
- 各装置の要素試験,単体機能試験で合格基準満足を確認(一部未達あり)
- 課題と解決方針の明確化(7.(2)に示す)

4) S/C取水部構築技術の開発スケジュール

■ S/C取水部構造の構築

■ : 設計・機器製作

■ : 要素試験

■ : 機能試験(プロト機)

■ : 実規模試験

■ : 実績



4) S/C取水部構築技術の開発スケジュール

■ S/C取水部構造の検査・補修

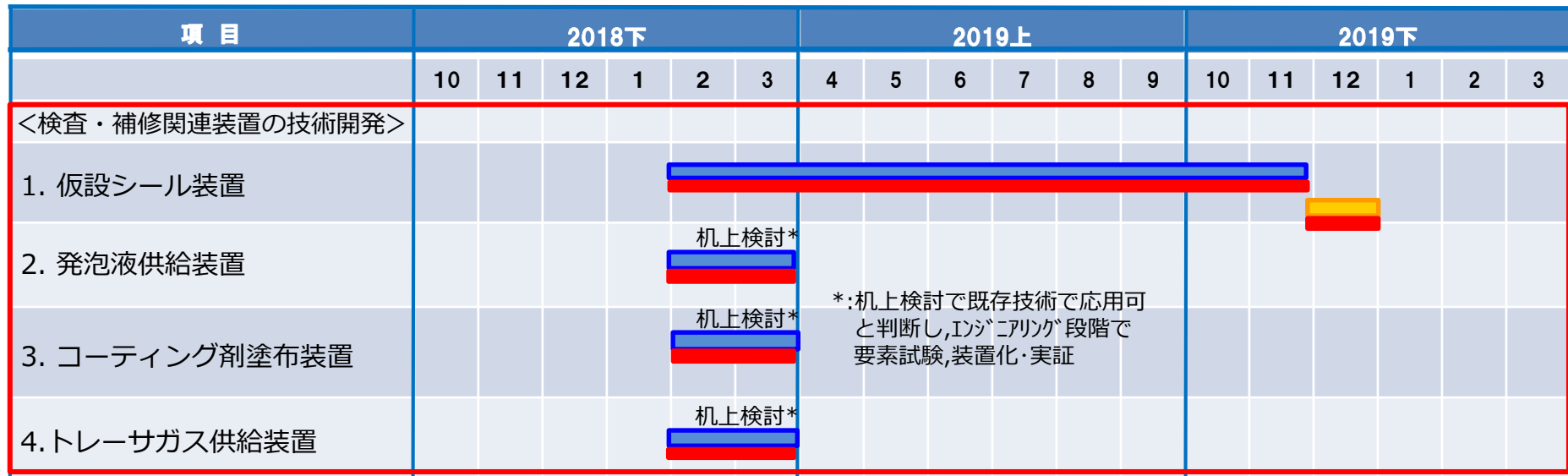
■ : 設計・機器製作

■ : 要素試験

■ : 機能試験(プロト機)

■ : 実規模試験

■ : 実績



(1) 当初目標に対する達成度

- ① D/W取水部 (終了時目標TRL: レベル4)
- ② S/C取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

(2) 課題と対応方針

- ① D/W取水部
- ② S/C取水部

(1) 当初目標に対する達成度

No.63

① D/W取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

目標を判断する指標	完了したこと 主な課題	到達TRLレベル (自己評価)
接続部の遠隔施工技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。	遠隔操作によるD/W底部(ポンプピット)へのポンプの吊り降ろし・設置,配管(ホース)の接続およびポンプ交換のためのポンプ回収に関する要素試験を実施し,実現可能な見通しを得た。 主な課題を以下にまとめる。 ・ 作業中の監視方法 (カメラ・照明配置等) ・ ホース送りおよび固縛方法 ・ ユーティリティスタンドへの配管固定方法 ・ 配管同士の芯ずれ ・ 装置類のケーブル処理*	4 (*3)

* : 目標TRLレベルに到達しないもの

(1) 当初目標に対する達成度

② S/C取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

目標を判断する指標	完了したこと 主な課題	到達TRLレベル (自己評価)
接続部の遠隔施工技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。	<隙間計測装置> ・ 隙間計測装置の主要構成要素であるハンディスキャナ単体を用いた要素試験で,下記合格基準を達成 (* : 一部未達) - ハンディスキャナと実測による隙間計測値の誤差が$\pm 1\text{mm}$以下* (*S/C,延長配管のデータ欠損部) : 手動,回転治具による回転スキャンの場合 - スキャンデータから得られた3Dモデルでマーキングを確認可能 - 溶接前後のスキャンデータから得られた3Dモデルによるのど厚と断面マクロ観察によるのど厚実測値の誤差が$\pm 1\text{mm}$ 以下*(*モデル値は実測値より保守的なため現状通りとする) ・ 解決すべき課題と解決方針を抽出	4 (*3)
	<位置合せ装置> ・ 位置合せ装置の単体機能試験で下記合格基準を達成 - 延長配管の隙間量を5mm以下に調整可能(モニタリングツール4方位のカメラ映像を目視確認しながらの微調整)	4

(1) 当初目標に対する達成度

② S/C取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

目標を判断する指標	完了したこと 主な課題	到達TRLレベル (自己評価)
接続部の遠隔施工技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。 (続き)	<S/C継手溶接装置およびビード処理装置> ・一連の遠隔施工による単体機能試験で下記合格基準を達成 (* : 一部未達) - 最終層VT : 割れまたはアンダーカット,オーバーラップ,クラック,スラグ 巻込み,ピットで有害なものなし>(*一部オーバーラップあり) - 溶接部DT : 断面マクロで所定のど厚10mm以上,脚長17mm以上 - 耐圧試験 : 試験圧力110kPaに耐え,過剰な変形がない - 漏えい試験 : 試験圧力90kPaに対し60分後の圧力低下が5kPa以下 - 継手引張試験 : 継手効率0.35以上 <参考確認> - 最終層PT : 割れなし - 断面マクロ観察 : 溶け込み形状で一部融合不良・ブローホールがあるが,当該分を削除してもDT判定基準を満足するため問題なし ・解決すべき課題と解決方針を抽出	4 (*3)

(1) 当初目標に対する達成度

② S/C取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

目標を判断する指標	完了したこと 主な課題	到達TRLレベル (自己評価)
施工時,供用中の遠隔によるアクセスルート 検査技術について,工場での要素試験が完了 しており,要素試験の合格基準を満足してい ること。または,解決すべき課題と解決方針 が明確であること。	<仮設シール装置> ・ 仮設シール装置の要素試験で下記合 格基準を達成 - 装置の投下性：ホイストの操作のみ (人手の補助なし)で延長配管模擬体 内をスムーズに昇降可能 (配管材質:SUS,炭素鋼塗装有,結露 有無,延長配管の傾斜:0°,1°の場合) - 構造安定性・シール性： 装置の通常設置状態で減圧中,装置の 有意な位置ずれなし,漏えい率 0.5vol%/h以下 (配管材質:SUS,炭素鋼塗装有,結露 有無の場合) - 参考試験の装置傾き状態では, 構造 安定性・シール性を一部有しない (SUSは可,炭素鋼塗装有,結露有無の 場合不可) ・ 解決すべき課題と解決方針を抽出	4

(1) 当初目標に対する達成度

② S/C取水部 (終了時目標TRL: レベル4)

目標を判断する指標	完了したこと 主な課題	到達TRLレベル (自己評価)
施工時,供用中における接続部の遠隔補修技術について,工場での要素試験が完了しており,要素試験の合格基準を満足していること。または,解決すべき課題と解決方針が明確であること。	<ビード処理装置> ・ 下記単体機能試験で下記合格基準を達成 (* : 一部未達) - ビード処理装置による単体機能試験で,延長配管基部の溶接ビードに対し,グラインダの砥石でビードを処理することはできた。 溶接ビード形状を整える施工方法までは確立できなかった* ・ 解決すべき課題と解決方針を抽出	4 (*3)

(2) 課題と対応方針

対応方針の凡例

A: 実規模スケールによる検証が必要

B: 工場での要素試験で検証可能

C: 工事に向けたエンジニアリングの中で調整・解決が必要

No.68

① D/W取水部

No.	分類	課題および対応方法	対応方針
1	作業監視	配管接続治具のユーティリティスタンドへの取り付けや地下階でのポンプ回収作業等において、カメラ映像での確認が困難。各作業が見やすいよう、例えば作業装置の手先にカメラを取り付けて手元を確認する等、カメラ・照明配置を検討する。	C
2	ホース取り回し	地下階敷設ホースのユーティリティスタンドへの固定時やポンプ回収時のホースドラムへのホース設置時に、ホースが自重で地下階側に引っ張られ、配管接続やポンプ回収が困難。ホースをグレーディング上に送り出す装置や一時的な固縛方法を検討する。	C
3	配管固定	ユーティリティスタンドへの配管固定時、遠隔装置でスタンド側の溝にツメを差し込んで固定する際に、奥まで差し込まれたことの確認が困難であった。遠隔装置で作業のしやすい構造に見直す必要がある。	C
4	配管固定	配管接続時、配管同士の芯がずれており、接続治具で接続できなかった。実機適用を考慮し、配管同士の芯出し方法・手順を検討する。	C
5	ケーブル処理	遠隔で装置類のケーブルを介助する装置等が無い場合、今回の試験では人手で介助した。狭い環境下で装置もケーブルも込み合っているため、遠隔での処理方法を検討する。[取り出し規模の更なる拡大PJにて検討中]	B

(2) 課題と対応方針

対応方針の凡例

A: 実規模スケールによる検証が必要

B: 工場での要素試験で検証可能

C: 工事に向けたエンジニアリングの中で調整・解決が必要

No.69

② S/C取水部

No.	分類	課題および対応方法	対応方針
1-1	隙間計測装置	S/C表面のスキャンデータ欠損対策の確立 →周辺採取データよりデータ欠落箇所の形状補完 (実規模スケール試験へ反映)	A*
1-2	隙間計測装置	延長配管下端部のスキャンデータ欠損対策の確立 →・予めスキャン取得した3Dモデルで不足範囲の位置補完 ・スキャン条件(取付角度,位置)を更に拡充 (実規模スケール試験へ反映)	A*
1-3	隙間計測装置	光沢の影響によるスキャンデータ欠損対策の確立 →・バフ掛け直後を避け,浮錆が発生する数時間後に撮影する ・測定箇所に対し正面ではなく角度を設けて撮影 (実規模スケール試験へ反映)	A*

*:実規模PJで検証

(2) 課題と対応方針

対応方針の凡例

A: 実規模スケールによる検証が必要

B: 工場での要素試験で検証可能

C: 工事に向けたエンジニアリングの中で調整・解決が必要

No.70

② S/C取水部

No.	分類	課題および対応方法	対応方針
2-1	S/C継手溶接装置	オーバーラップ対策の確立 (溶接中, トーチケーブルと延長配管の接触で, ワイヤ先端が上向きに曲がり, ティーチング時の狙い位置からのずれにより発生) →・トーチケーブルを装置内側に収納するなどケーブルマネジメント方法を改善(現状装置改良) ・VT合否の判定基準の再設定(例: DTとの組合せで判定)	C
2-2	S/C継手溶接装置	パス毎の溶接不良部の補修溶接の施工方法の確立 →・補修要否の判定基準の設定 ・補修施工方法の検討, 専用施工ツールの開発(現状装置改良)	C
2-3	S/C継手溶接装置	溶接部表面の結露対策の確立 →溶接前に延長配管内を乾燥空気を供給, S/C継手溶接装置のシールドガス噴射などにより結露除去	C
2-4	S/C継手溶接装置	ワイヤ固着の復旧方法の確立 →ワイヤ固着した状態でS/C継手溶接装置の引上げ, ワイヤを切断・引抜き後(一部遠隔作業を予定), 当該部のビード成形・補修溶接	C
2-5	S/C継手溶接装置	現状, S/C継手溶接装置に搭載のカメラで溶接部VTの判定は可能だが, より明確に判定するため, 画質の更なる向上 →・オートフォーカス付きカメラなどへ変更(現状装置改良) ・カメラおよび照明配置の見直し・改善	C
2-6	S/C継手溶接装置	溶接中のヒューム飛散対策 →施工中, 延長配管頂部に閉止蓋設置+吸引など	C
2-7	S/C継手溶接装置	装置の搬入・昇降・撤去作業の作業員被ばく低減対策 →実規模スケール試験結果を踏まえ, エンジニアリングで作業人数・時間の短縮化, 更なる人力から遠隔化の検討	A*, C

(2) 課題と対応方針

対応方針の凡例

A: 実規模スケールによる検証が必要

B: 工場での要素試験で検証可能

C: 工事に向けたエンジニアリングの中で調整・解決が必要

No.71

② S/C取水部

No.	分類	課題および対応方法	対応方針
3-1	溶接ビード 処理装置	VT不合格部のグラインダ(砥石)による溶接ビード形状を整える施工方法の確立 (砥石厚さが3mm程度と細く、溶接ビード部に砥石が線でしか当てられず、溶接 ビード形成の調整が困難であった) →面で当てられるような砥石形状の変更(現状装置改良)	C
3-2	溶接ビード 処理装置	パス毎の溶接不良部の除去・ビード形成の施工方法の確立 →補修施工方法の検討、専用施工ツールの開発(現状装置改良)	C
3-3	溶接ビード 処理装置	ビード処理によるダスト飛散対策の確立 →施工中、延長配管頂部に閉止蓋設置など	C
3-4	溶接ビード 処理装置	装置の搬入・昇降・撤去作業の作業員被ばく低減対策 →実規模スケール試験結果を踏まえ、エンジニアリングで作業人数・時間の短 縮化、更なる人力から遠隔化の検討	A*, C
4-1	仮設シール装置	装置の回転ずれで設置した場合の装置回転防止 →回転抑制機構の実装	C
5-1	現場環境	実機情報不十分による想定外に対応可能な対策(ロバスト性)の確立 →・結露環境での乾燥手順の確立(No.3-3と同様) ・R/B1階床の傾きに対応できるようベースプレートにレベル調整機構付与 ・汚染エリアの除染・被ばく対策の検討 等	C
5-2	本PJ開発対象外 の装置	本PJで開発対象外とした装置の開発・設計 →整理した各装置の課題・開発項目に基づきエンジニアリングで開発・設計	C
5-3	現場調査	本PJで開発対象外とした装置の開発を進めるのに必要な現場調査 →具体的な干渉物に応じた装置の開発・設計(特に干渉物撤去装置)	C
5-4	移動式 S/C取水セル	移動式S/C取水セルの開発・設計 →取り出し規模の更なる拡大PJのモバイルセルの技術開発等の動向共有	B, C

