

廃炉・汚染水対策事業費補助金 原子炉压力容器内部調査技術の開発

中間報告 2020年度実施分成果

2021年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

- 1.研究の背景と目的
- 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
 - (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化No.8
 - (2)下部アクセス調査工法の開発
 - ・1号機:ドローンによるRPV内へのアクセス装置の開発.....No.34
 - ・2/3号機:テレスコピックによるRPV内へのアクセス装置の開発...No.62
- 7.まとめ

1. 研究の背景と目的

No.2

【原子炉圧力容器(RPV)内部調査の目的】

燃料デブリを取り出すためのRPV内部の基礎情報(燃料デブリの分布、線量、構造物の状態等)の取得。

【2019年度までの実施内容】

穴開けにより上部から炉心にアクセスする工法(以下「上部アクセス調査工法」という。)と側面から炉心にアクセスする工法(以下「側面アクセス調査工法」という。)の検討を実施した。先行の「原子炉圧力容器内部調査技術の開発」(2018・2019年度)事業では、2019年度までに、両工法に関して、実機適用に向けた装置の要素試験による機能確認、調査の工法概念の整理を行い、設備仕様を策定した。

【本事業の反映先】

原子炉圧力容器
内部調査技術の開発



実機調査



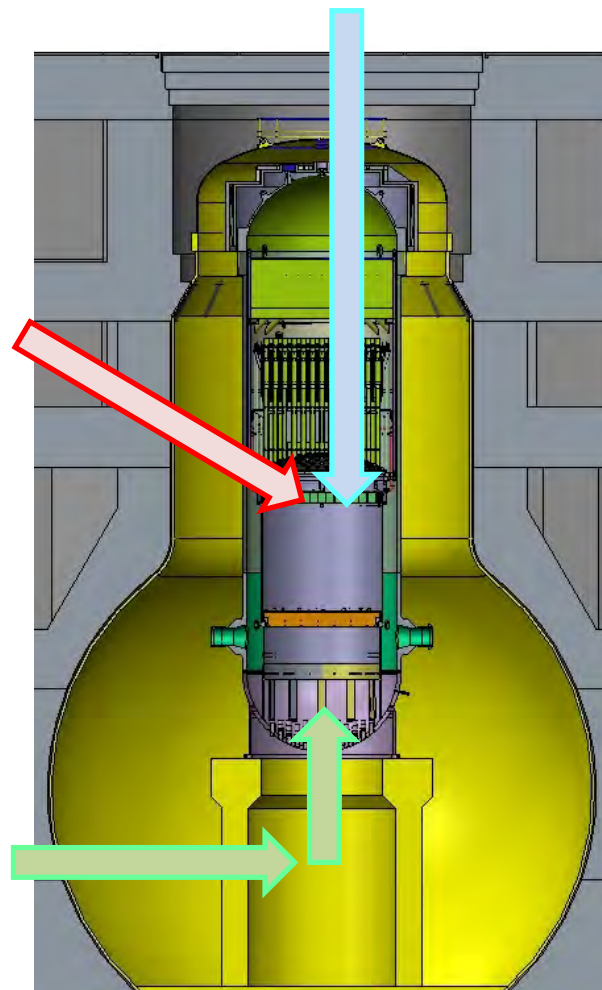
RPV内部の情報
(視覚情報・線量率 等)

燃料デブリ取り出し
工法検討・装置設計

上部アクセス調査工法

側面アクセス
調査工法

下部アクセス
調査工法



【本事業の実施内容】

上部アクセス調査工法については、シュラウド内へのアクセスルート構築のための炉内構造物(蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッド等)に開口部を開ける方法として、炉内構造物の状況に不確実性が高い中でも確実に切断することを優先に、アブレイシブウォータージェット(AWJ)を活用した方法の開発を先行させてきたが、アクセスルート構築作業による二次廃棄物(アブレイシブ等)をより低減する方法、作業時の放射性ダスト飛散をより抑制する方法の開発が課題となっている。また、側面アクセス調査工法については、2号機の使用済燃料取り出しの方法の変更に伴い、現場で実際にどのように適用可能かを確認するためのエンジニアリング作業が今後の課題となっている。

このため、本事業では、上部アクセス調査工法の実機適用性向上を図るために、シュラウド内へのアクセスルート構築のための炉内構造物(蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッド等)に対する開口加工方法として、従来のアブレイシブウォータージェット(AWJ)よりもRPV内での切断等により発生する二次廃棄物(アブレイシブ等)や放射性ダスト飛散のより少ない加工技術を開発する。

⇒(1) 上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

また、上部アクセス調査工法と側面アクセス調査工法については、現場適用までに一定の時間がかかると想定され、より早期にRPV内部調査を実施できる可能性のある工法の開発を進めることも重要であり、PCV内部詳細調査のためにPCV内部へのアクセスルート等の構築作業が進められている。

このため、本事業では、PCV内部詳細調査や段階的規模拡大取り出しのために既に構築されたペDESTAL内部へのアクセスルート等を利用してペDESTAL内部へ調査装置を投入し、RPV底部に存在すると想定される開口部から調査装置をRPV内に挿入し、RPV内部を調査する下部アクセス・調査装置の概念検討を行う。

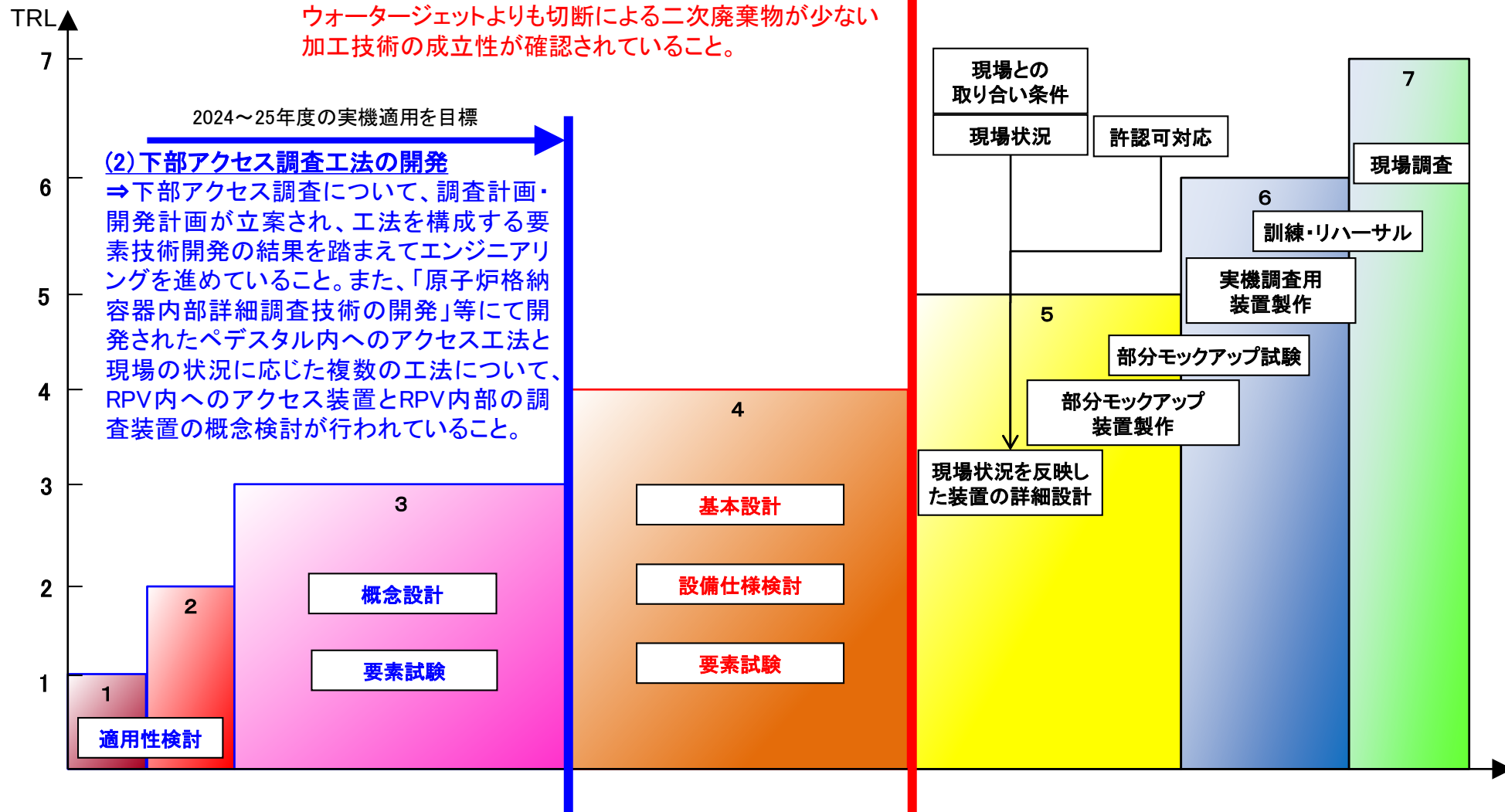
⇒(2) 下部アクセス調査工法の開発

2019年度まで開発した穴開け調査工法のTRLを目指す

(1) 上部アクセス調査工法における加工技術の高度化
⇒ 上部アクセス調査について、シュラウド内へのアクセスルート構築のための加工方法として、従来のアブレイシブウォータージェットよりも切断による二次廃棄物が少ない加工技術の成立性が確認されていること。

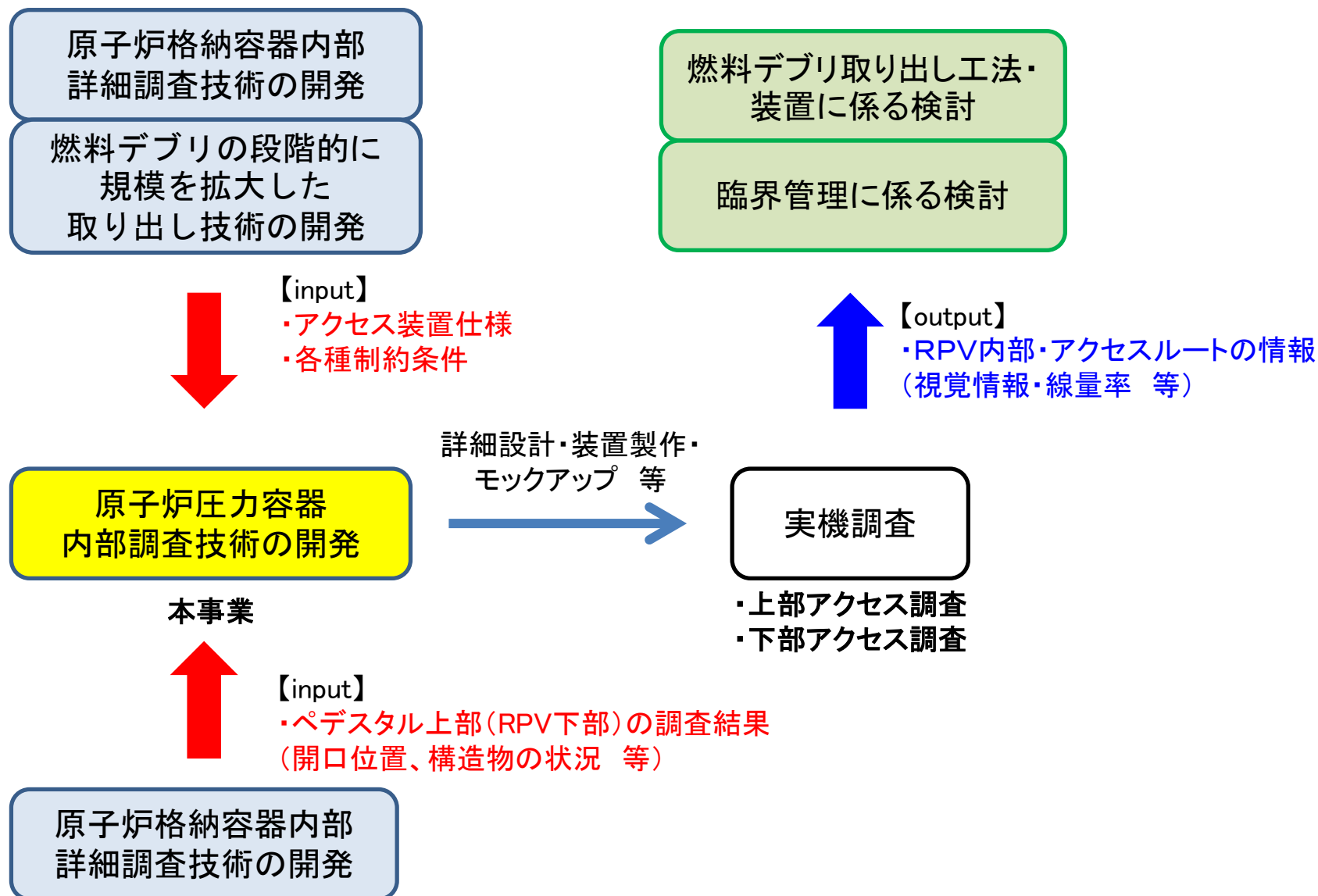
2024～25年度の実機適用を目標

(2) 下部アクセス調査工法の開発
⇒ 下部アクセス調査について、調査計画・開発計画が立案され、工法を構成する要素技術開発の結果を踏まえてエンジニアリングを進めていること。また、「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」等にて開発されたペDESTAL内へのアクセス工法と現場の状況に応じた複数の工法について、RPV内へのアクセス装置とRPV内部の調査装置の概念検討が行われていること。



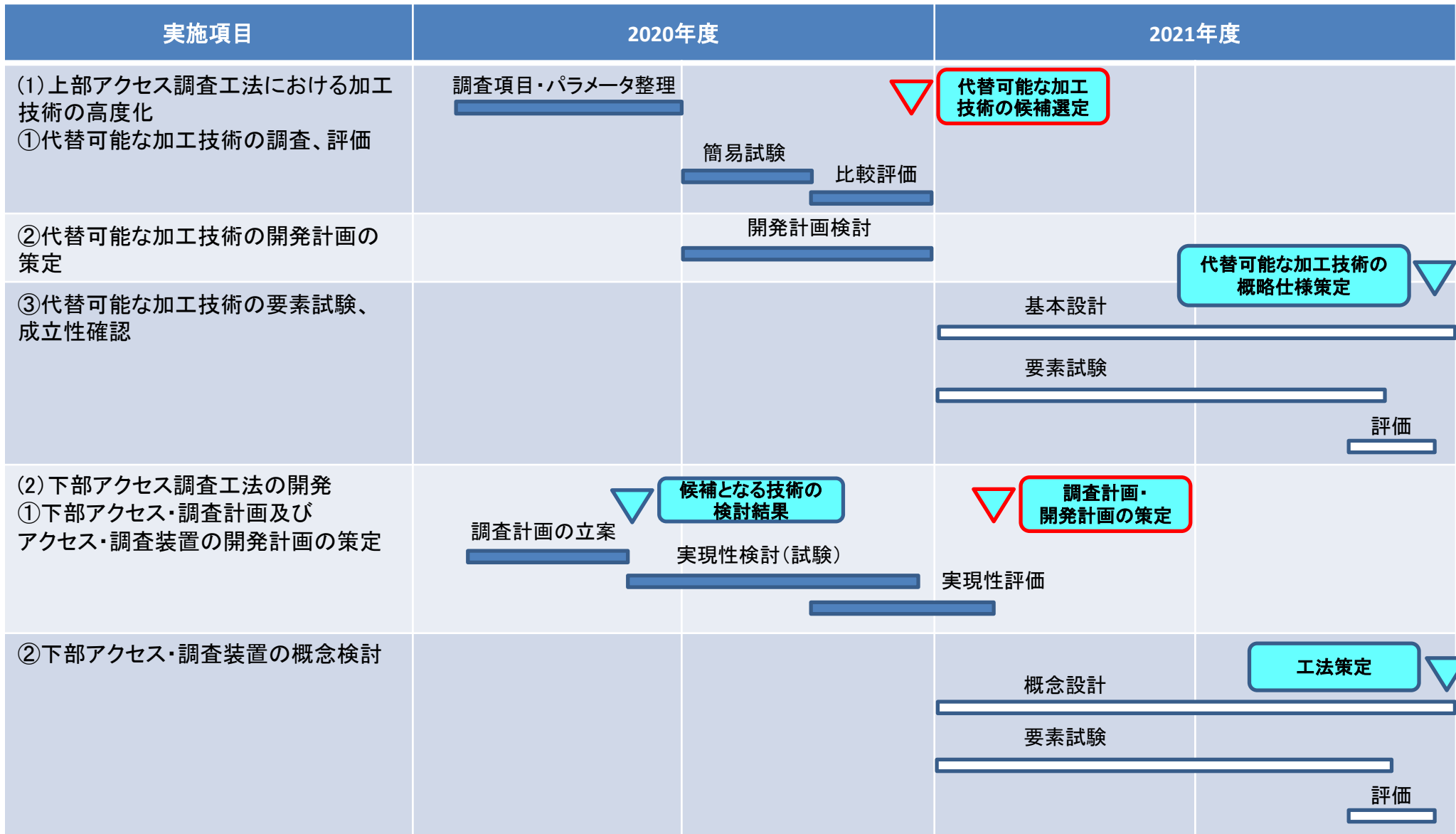
3. 実施項目とその関連、他研究との関係

No.5



4. 実施スケジュール

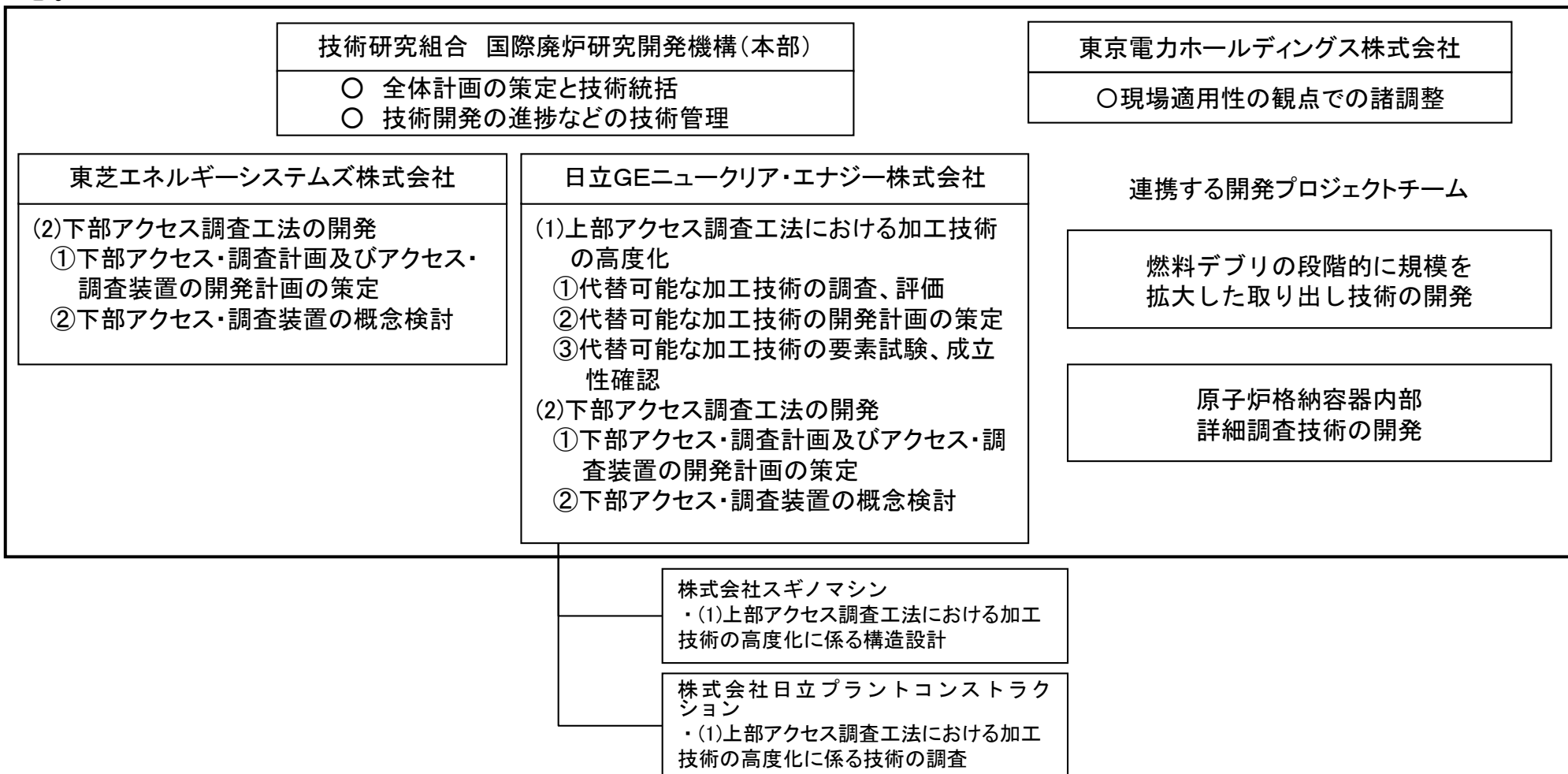
No.6



5. 実施体制図

No.7

本事業では、原子炉圧力容器内部調査技術の開発を行うが、各開発プロジェクトチームとのインターフェースが重要となる。このため、IRIDの構成員である国内プラント機器メーカーが相互に技術協力して開発にあたる事で、現地状況の分析、燃料デブリ取り出し計画との整合等まで含めた対応を一連で実施し、福島第一原子力発電所(1F)の安全、確実、合理的、迅速、および現場志向の燃料デブリ取り出し技術開発につなげられることから、IRID本部、東芝ESS及び日立GEが共同して開発に取り組む。



6. 実施内容

(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

<目的>

シュラウド内へのアクセスルート構築のための炉内構造物(蒸気乾燥器・気水分離器・シュラウドヘッド等)に対する開口方法として、従来のアブレイシブウォータージェット(AWJ)切断技術より発生する二次廃棄物(アブレイシブ等)や放射性ダスト飛散の少ない加工技術を開発する。

<実施内容>

・今年度は気水分離器を対象に下記を実施。

- ①従来のAWJの代替可能な加工技術の調査・評価及び選定(気水分離器以外も実施)
- ②AWJ切断の加工パラメータの最適化(アブレイシブ量低減)・AWJノズルの検討
- ③選定した各加工技術を適用した場合の装置・ツールの検討
- ④選定した各加工技術の簡易試験実施・評価及び加工技術の絞り込み
- ⑤2021年度の実施方針の検討

<結果>

- ①代替可能な加工技術の調査・評価を行い、ホールソー切断・ディスクソー切断・レーザ切断をAWJに加え適用加工技術の候補として抽出した。
- ②上記4工法について装置の検討を行い、狹隘部へ挿入可能な装置の成立性を見通しを得た。
- ③AWJではノズルの小型化を検討し、加工パラメータの最適化を計り、簡易試験を行った結果、従来より大幅なアブレイシブ量低減可能(8ton→0.33ton)な見通しを得た。
- ④その他のAWJ以外の加工技術については、鉛直方向切断にレーザ切断が適用可能と判断した。

<残る課題>

- ①今年度の簡易試験結果の気水分離器以外への適用可否及び更なるアブレイシブ量低減
- ②レーザ切断の水平切断への適用

6. 実施内容

(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.9

①代替可能な加工技術の調査、評価

各加工技術について、各加工対象(蒸気乾燥器底板・気水分離器・シュラウドヘッド)ごとに下表のような評価を実施。
その中から絞り込みを行い、気水分離器については、**AWJ(WJ含む)・ホールソー・ディスクソー・レーザ**を選定した。

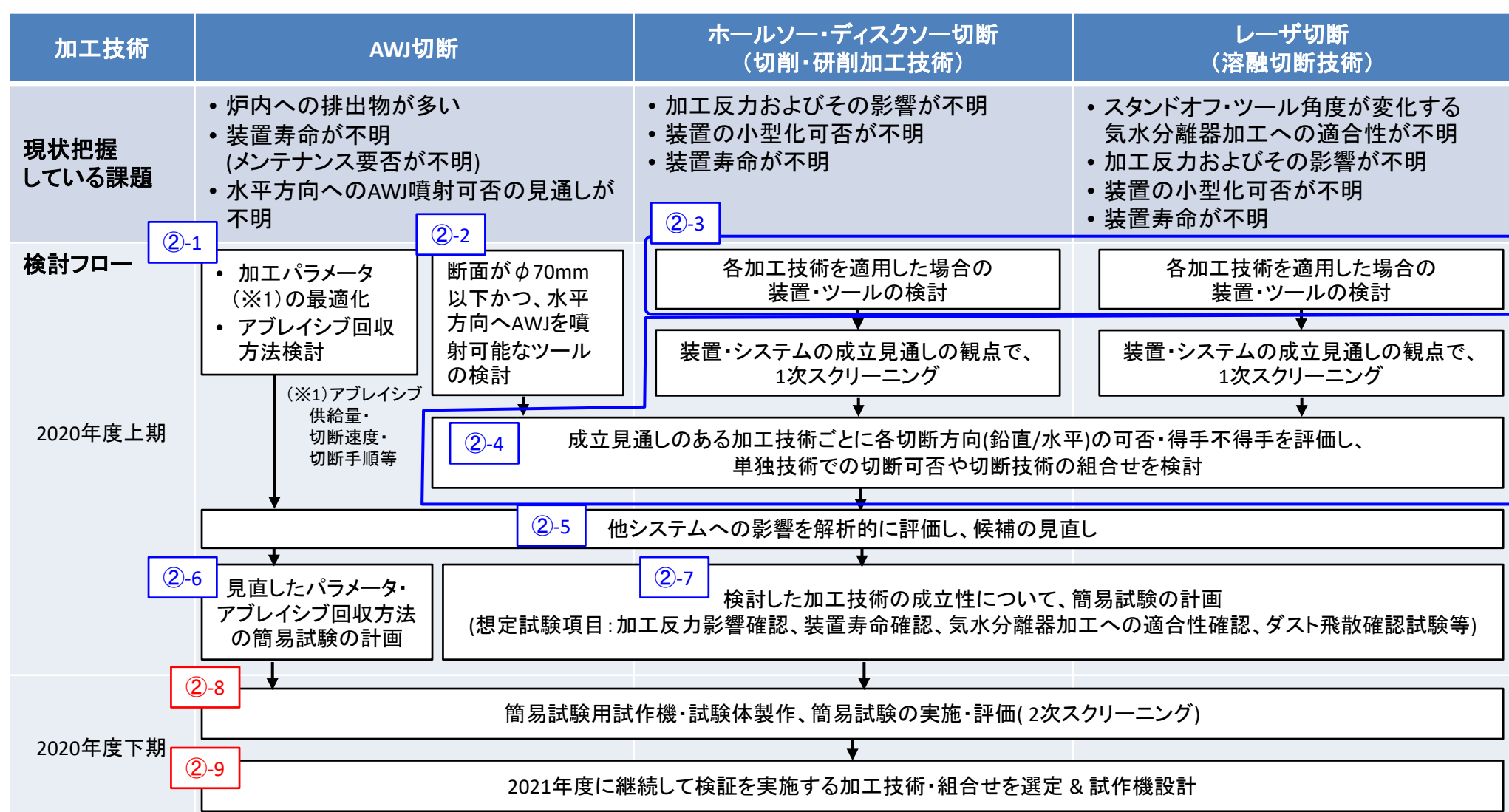
No.	加工対象	加工技術分類	切削・研削										溶融								
		加工技術 評価項目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	K'	L	M	N	O	P	Q	
			AWJ切断 (WJ切断も 含む)	ドリル 切断	ホールソー/ コアボーリング/ 超音波コアドリル/ トレバニング 切断	ディスクソー/ ディスクカッター/ ディスクグラインダ 切断	ワイヤーソー 切断	バンドソー 切断	セーパースー (レスプロソー) 切断	油圧カッター 切断	チゼル (タガネ) 切断	フライス/ エンドミル 切断	レーザ 切断	レーザ ガウジング	プラズマ アーク 切断	アークソー 切断	接触式 アーク放電	溶極式 WJ切断	ガス 切断	放電加工 (EDM)	
1	気水分離器	切断材質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	
2		切断板厚	○	○	○	○	○	○	○	○	□	○	○	□	○	□	□	□	—	□	
3		切断対象面 (円筒)	○	×	△	○	○	○	○	○	△	×	□	□	□	□	□	□	—	□	
4		二重管切断 (一括切断/多段切断)	○	×	○	○	○	○	○	○	□	×	□	□	□	□	□	□	—	□	
5		切断速度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	□	△	□	□	□	—	□
6		再加工リスク	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	△	△	□	□	□	—	□
7		位置決め スタンドオフ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	□	×	×	×	×	—	□
8		加工面に対する ツール角度	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	□	□	□	□	□	□	—	□
9		加工前作業	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□	□	—	□
10		炉内への排出物	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	—	△
11		ダスト飛散	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	—	□
12		加工反力	△	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	—	□
13		ツールサイズ (付帯設備)	○	□	□	□	×	×	×	×	×	×	□	□	□	□	□	□	□	—	□
14		装置の寿命 (メンテナンス性)	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	—	□
15		炉内環境条件	○	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	□	□	□	□	□	□	—	×
総合評価 (気水分離器開口への 適用可能性)		○	×	□	□	×	×	×	×	×	×	×	□	— ※1	×	×	×	×	—	×	
【備考】		【凡例】○:適用見通しあり △:対策要 □:評価不可(評価のために試作・味見試験が必要) ×:適用困難な見通し —:適用不可(評価せず) ※1:レーザガウジングについては、はつり技術のため評価せずとした。(同じ原理の切断技術としてはレーザ切断がある。)																			

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.10

②加工技術(複数可)の選定

以下の表に示す検討フローにて、加工技術を選定する。



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

②-1. AWJ切断の加工パラメータの最適化／アブレイシブ回収方法検討

アブレイシブ排出量を低減するための要因分析を行い、各加工パラメータを改善することによるアブレイシブ低減の効果、および実現性を検討し、今後の対応方針を設定した。

(※1)「検討の優先度」の凡例

項目/評価		効果		
		大	中	小
実現性	大	高	高	中
	中	高	中	低
	小	中	低	低

No.	検討項目			一次評価	効果	実現性	検討の優先度(※1)	今後の実施内容
	大項目	中項目	小項目					
1	アブレイシブの排出量を減らす	アブレイシブを使用しない(WJによる切断)	—	WJによる切断は可能。切断性能を確認する必要あり。	大	小	中	簡易試験
2		単位時間当たりのアブレイシブ使用量を減らす	—	単位時間当たりのアブレイシブ使用量と切断速度をパラメータとした切断試験を行い評価する必要あり。	中	大	高	簡易試験
3				切断性能が高いアブレイシブ材(超硬、セラミック等)を使用するとノズル消耗が早い。	小	中	低	—
4				切断性能が高い装置仕様(ノズル径、ノズル長さ等)検討を行い評価する必要あり。	中	小	低	机上検討
5		噴射時間を減らす	切断速度を上げる	ツール小型化(スライドNo.12、13参照)の見通しが立ったことで、スタンドオフ短縮し、切断性能を向上させることで、切断速度を上げることが可能な見込み。	大	大	高	机上検討 簡易試験
6		噴射時間＝切断長／切断速度	切断長を短くする(切断手順の見直し)	ツール小型化(スライドNo.12、13参照)の見通しが立ったことで、切断手順を見直し、切断長の短縮が可能な見込み。	大	大	高	机上検討 簡易試験
7		切断段数を減らす	切断深さを深くする(切断手順の見直し)	ツール小型化(スライドNo.12、13参照)の見通しが立ったことで、切断手順を見直し、切断深さを深くすることが可能な見込み。	大	大	高	机上検討 簡易試験
8		気水分離器開口高さ／切断深さ	気水分離器開口高さを短くする	変更不可。	—	無	—	—
9	アブレイシブの回収	切断中に回収	—	切断対象通過後のアブレイシブをキャッチャ等で回収可能ではあるものの、適用可能な範囲が狭く、アブレイシブ低減に対する効果は限定的。	小	小	低	机上検討
10		切断後に回収	—	切断時に噴射する高圧水により、シュラウドヘッド上に堆積するアブレイシブ量は少なく、アブレイシブ低減に対する効果は限定的。	小	小	低	机上検討

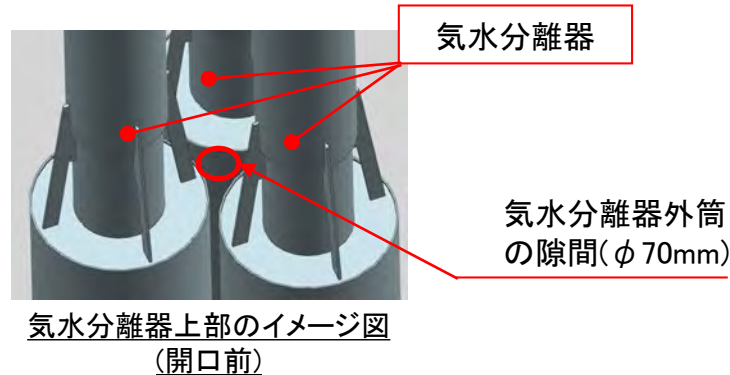
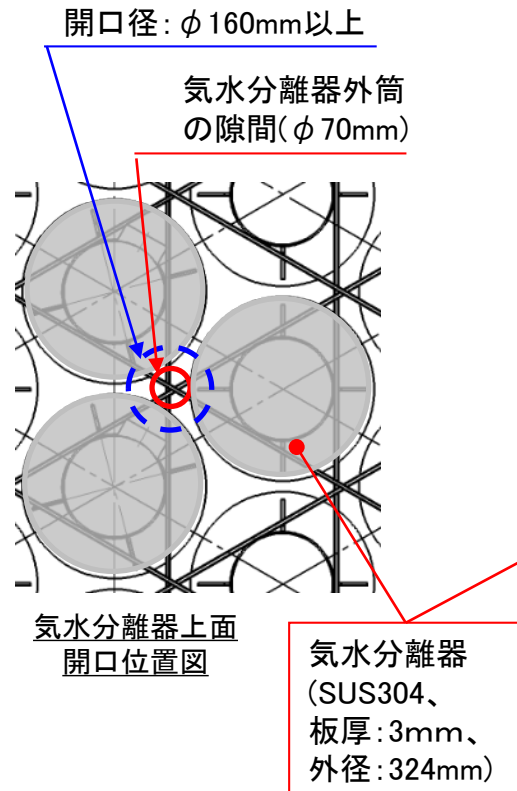
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.12

②-2. AWJ/WJノズルの検討 (1/2)

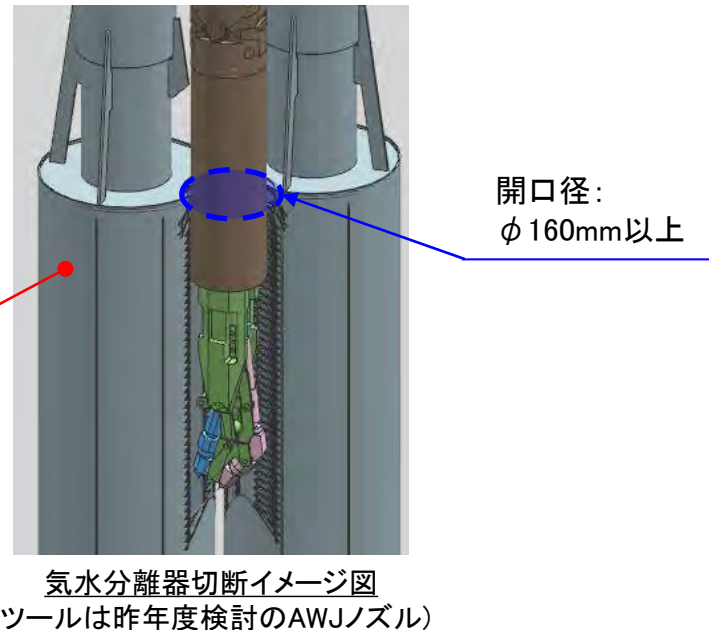
2019年度までの計画でアブレイシブ使用量の大半を占める気水分離器を切断対象とし、AWJ/WJノズルの小型化を検討する。寸法条件は以下の通り。

<気水分離器の開口イメージ>



<ノズル小型化の条件>

【寸法条件①】
気水分離器外筒の隙間に挿入するツール先端部は断面形状を $\phi 70\text{mm}$ 以下とする。



【寸法条件②】
気水分離器外筒の隙間に挿入しないツール本体部は開口部と干渉しないよう、 $\phi 140\text{mm}$ 以下とする。
(開口径 $\phi 160\text{mm}$ に対し、片側10mmのギャップを設定)

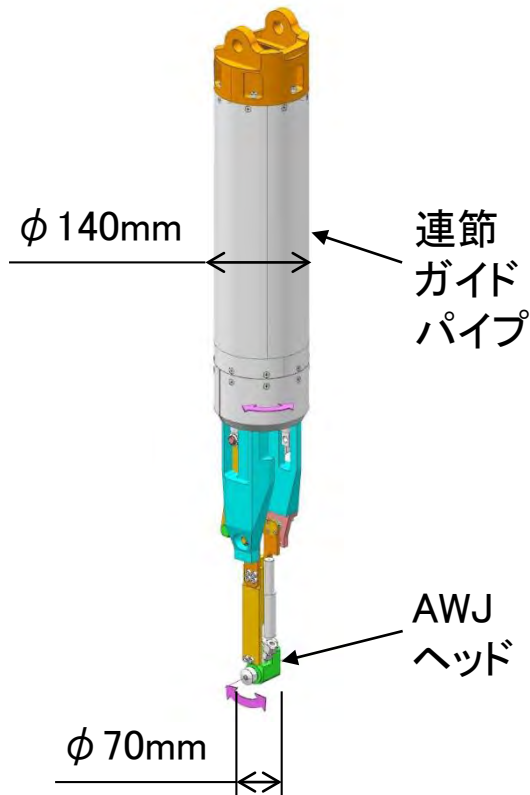
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

②-2. AWJ/WJノズルの検討 (2/2)

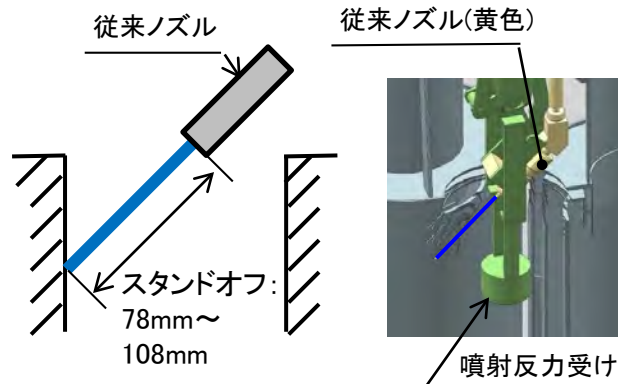
AWJ/WJヘッドを検討し、 $\phi 70\text{mm}$ 以下かつ、水平方向にAWJ/WJを噴射できる見通しを得た。

⇒気水分離器の三筒中心の狭隘部へ挿入可能な小型ノズルを適用することで以下の観点からアブレイシブ使用量低減が可能な見込み。

- ・切断手順を見直して切断長の短縮。⇒切断時間短縮(アブレイシブ使用量低減)
- ・スタンドオフを近づけ切断効率向上。⇒切断速度を上げ、切断時間短縮(アブレイシブ使用量低減)



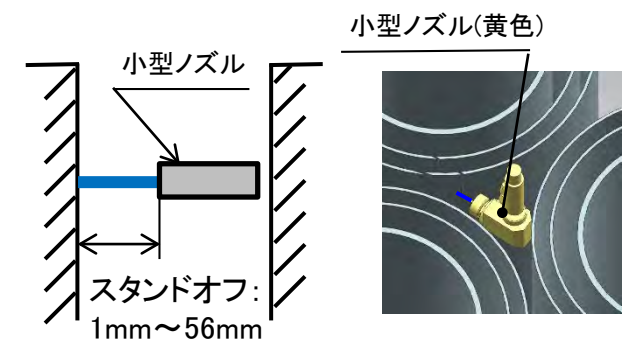
<2019年度までの施工条件>



【気水分離器本体部のみ】

- ・切断長: 約75m
- ・切断時間: 約203hr
- ・アブレイシブ使用量: 約8ton

<小型ノズルでの施工条件>



【気水分離機本体部のみ】

- ・切断長: 約31m(※1)
- ・切断時間: 約11hr
- ・アブレイシブ使用量: 約0.33ton
(No.29参照)

(※1) 1回の切断深さを 50mmとした場合の試算結果。

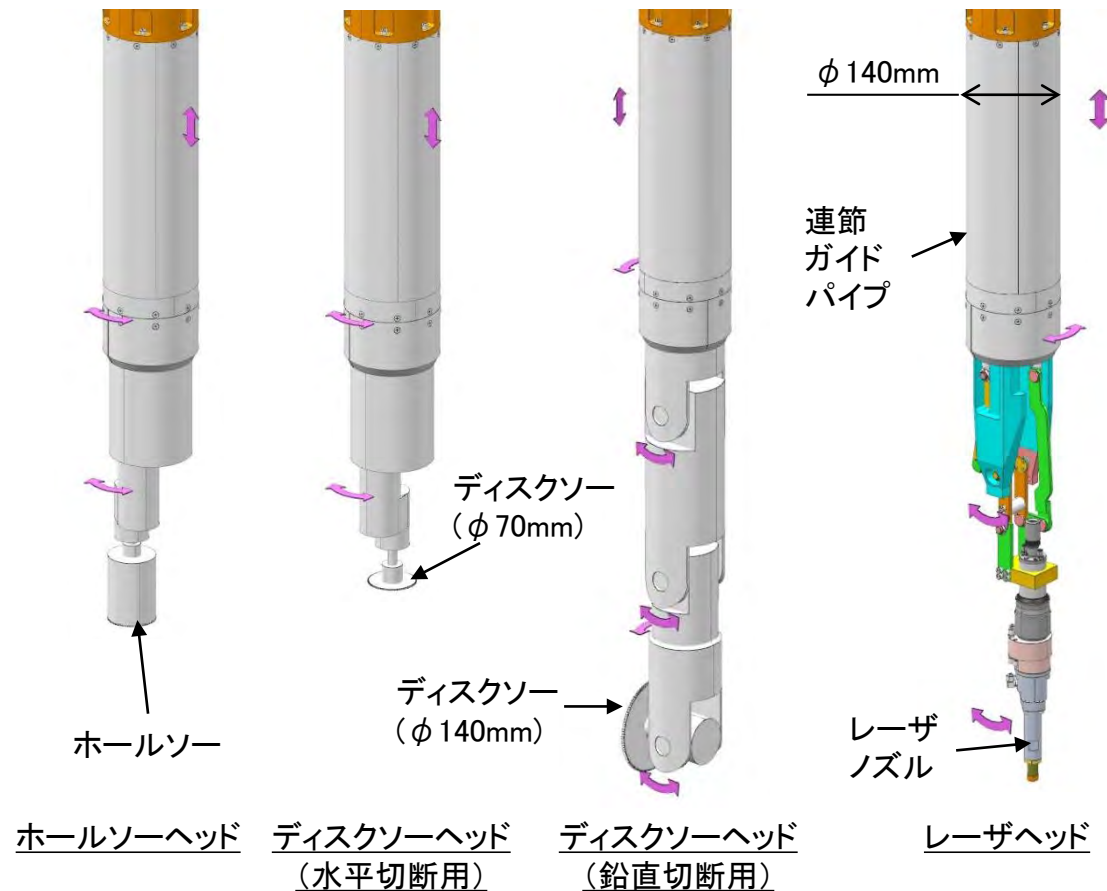
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.14

②-3. 各加工技術を適用した場合の装置・ツールの検討

各加工技術のうち、2019年度で開発した切断装置(外径 ϕ 140mm以下)に切断ツールヘッドが収まるか、ホールソー切断・ディスクソー切断・レーザ切断について、ツールヘッドを検討した。各切断ツールヘッドは、外径 ϕ 140mm以下になる見通しのため、各加工技術について、簡易試験や机上検討を実施した。

No.	加工技術	ツールヘッド (ϕ 140mm以下) の見通し
1	ホールソー切断	見通し有り
2	ディスクソー切断	見通し有り
3	レーザ切断	見通し有り



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

②-4. 単独技術での切断可否や切断技術の組合せ検討 (1/5)

成立見通しのある加工技術ごとに各切断方向(鉛直/水平)の可否、得手不得手を評価し、単独技術での切断可否や切断技術の組合せを検討した。

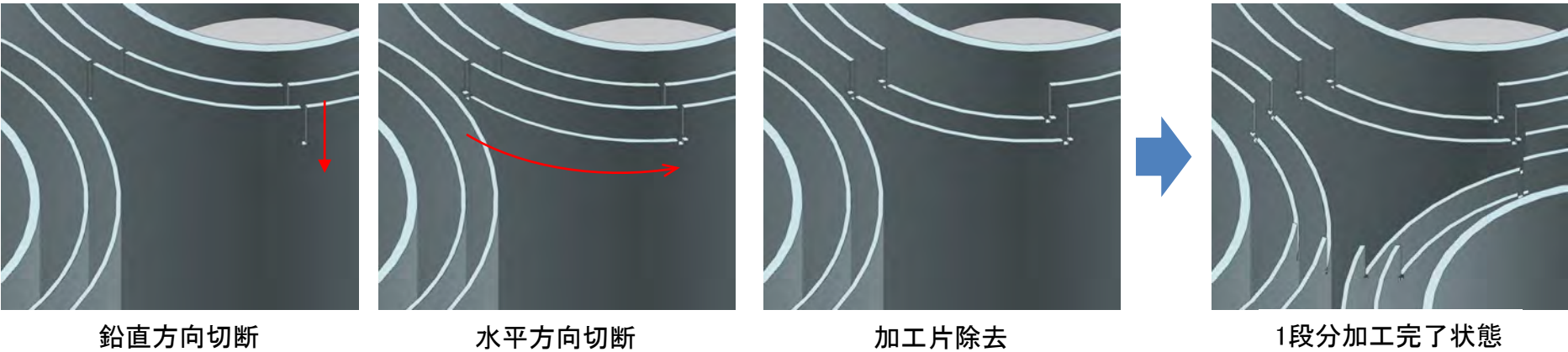
- (1) 単独技術で成立する見込みがある技術 ⇒ AWJ/WJ・ディスクソー(※1)
- (2) 技術の組合せで成立する見込みがある技術 ⇒ AWJ/WJ・ディスクソー・レーザ・ホールソー

(※1)レーザはツール概念
検討の結果、水平方向
切断への適用が困難と
判断。
ホールソーは技術の
特性上、水平方向切断
への適用は困難と判断。

〔加工技術の組合せ〕

No.		1	2	3	4	5	6	7	8
技術の 組合せ	鉛直 方向	AWJ/WJ	レーザ	ディスク ソー	ホール ソー	AWJ/WJ	レーザ	ディスク ソー	ホール ソー
	水平 方向	AWJ/WJ	AWJ/WJ	AWJ/WJ	AWJ/WJ	ディスク ソー	ディスク ソー	ディスク ソー	ディスク ソー

〔気水分離器(中間部)切断イメージ〕



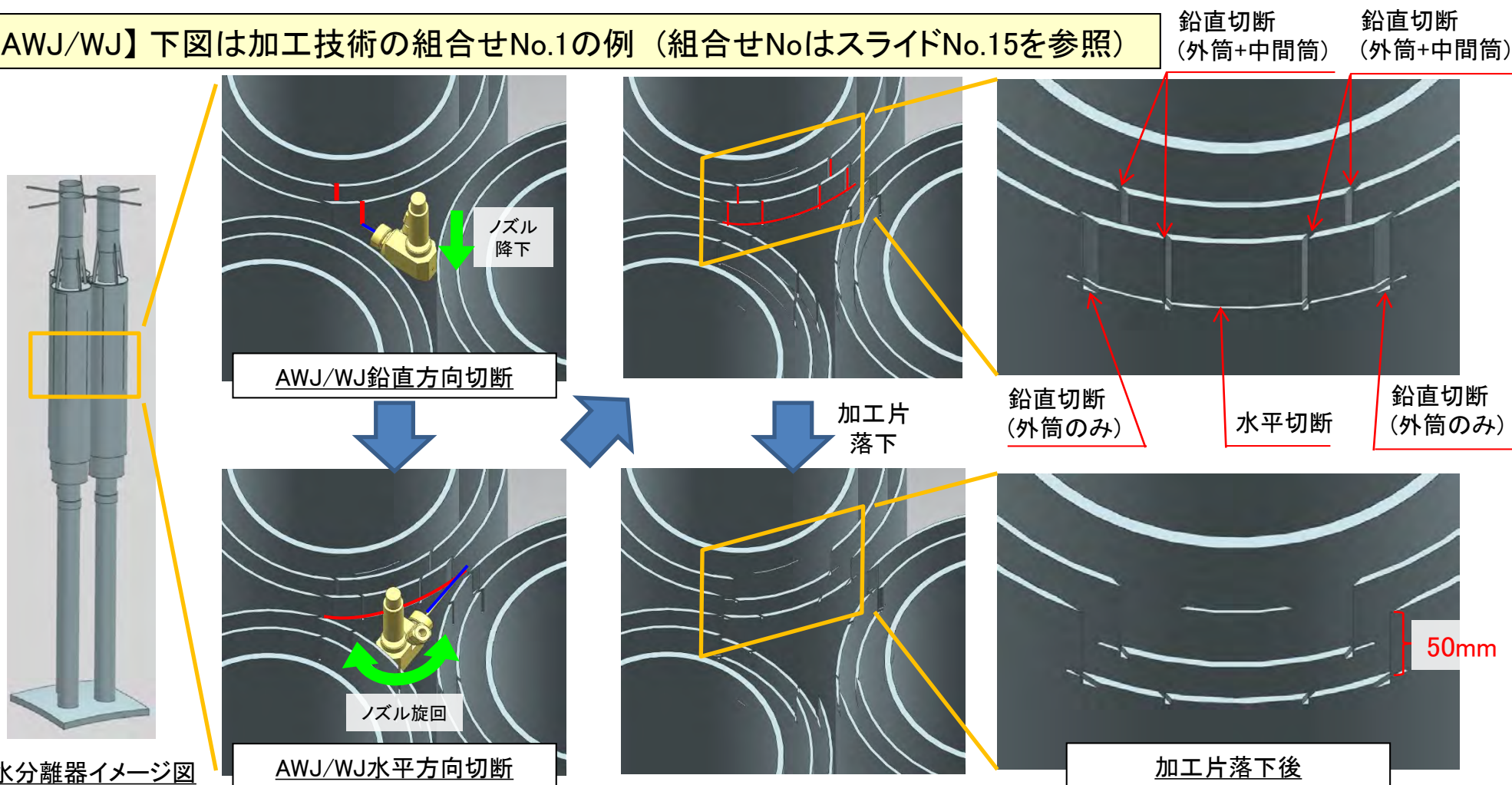
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.16

②-4. 単独技術での切断可否や切断技術の組合せ検討 (2/5)

2019年度までの計画でアブレイシブ使用量の大半を占める、気水分離器の切断手順について検討した。

【AWJ/WJ】下図は加工技術の組合せNo.1の例（組合せNoはスライドNo.15を参照）



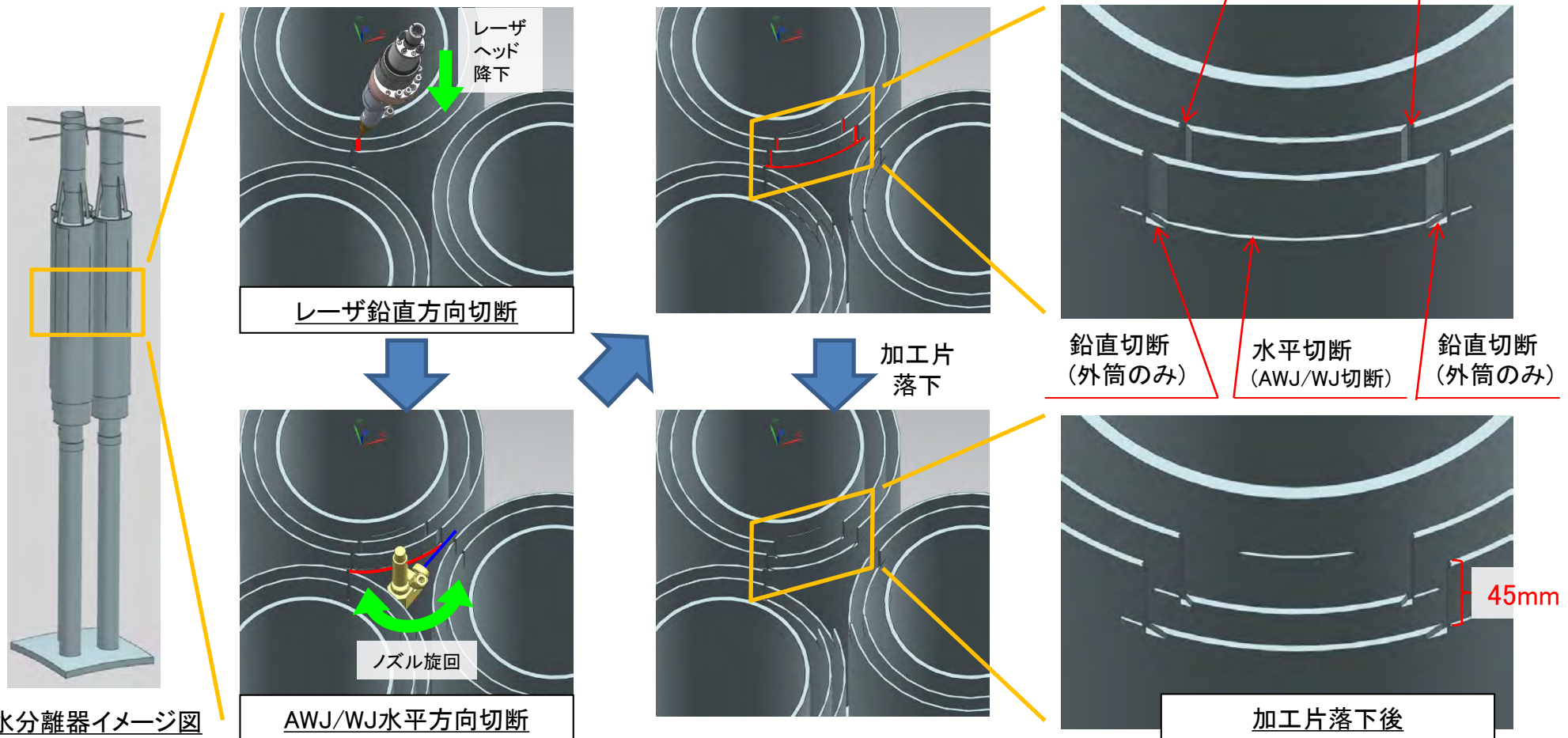
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.17

②-4. 単独技術での切断可否や切断技術の組合せ検討 (3/5)

2019年度までの計画でアブレイシブ使用量の大半を占める、気水分離器の切断手順について検討した。

【レーザ】下図は加工技術の組合せNo.2の例（組合せNoはスライドNo.15を参照）



気水分離器イメージ図

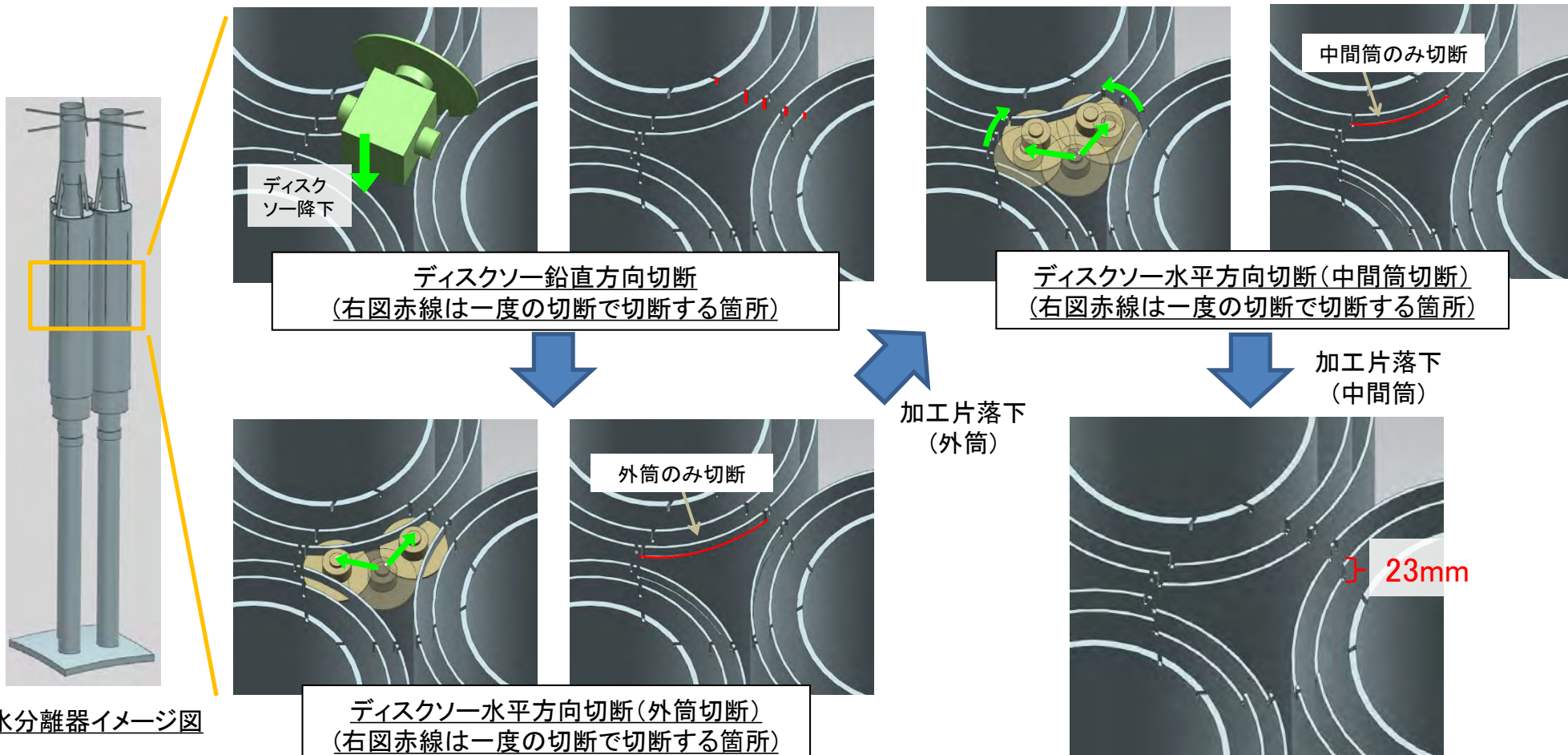
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.18

②-4. 単独技術での切断可否や切断技術の組合せ検討 (4/5)

2019年度までの計画でアブレイシブ使用量の大半を占める、気水分離器の切断手順について検討した。

【ディスクソー】下図は加工技術の組合せNo.7の例（組合せNoはスライドNo.15を参照）



気水分離器イメージ図

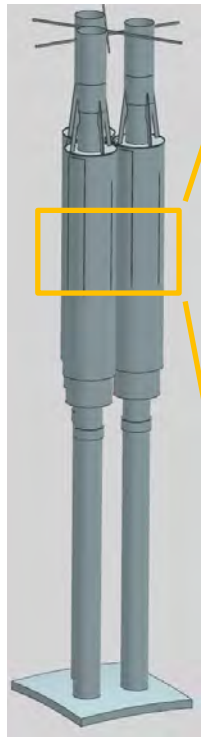
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.19

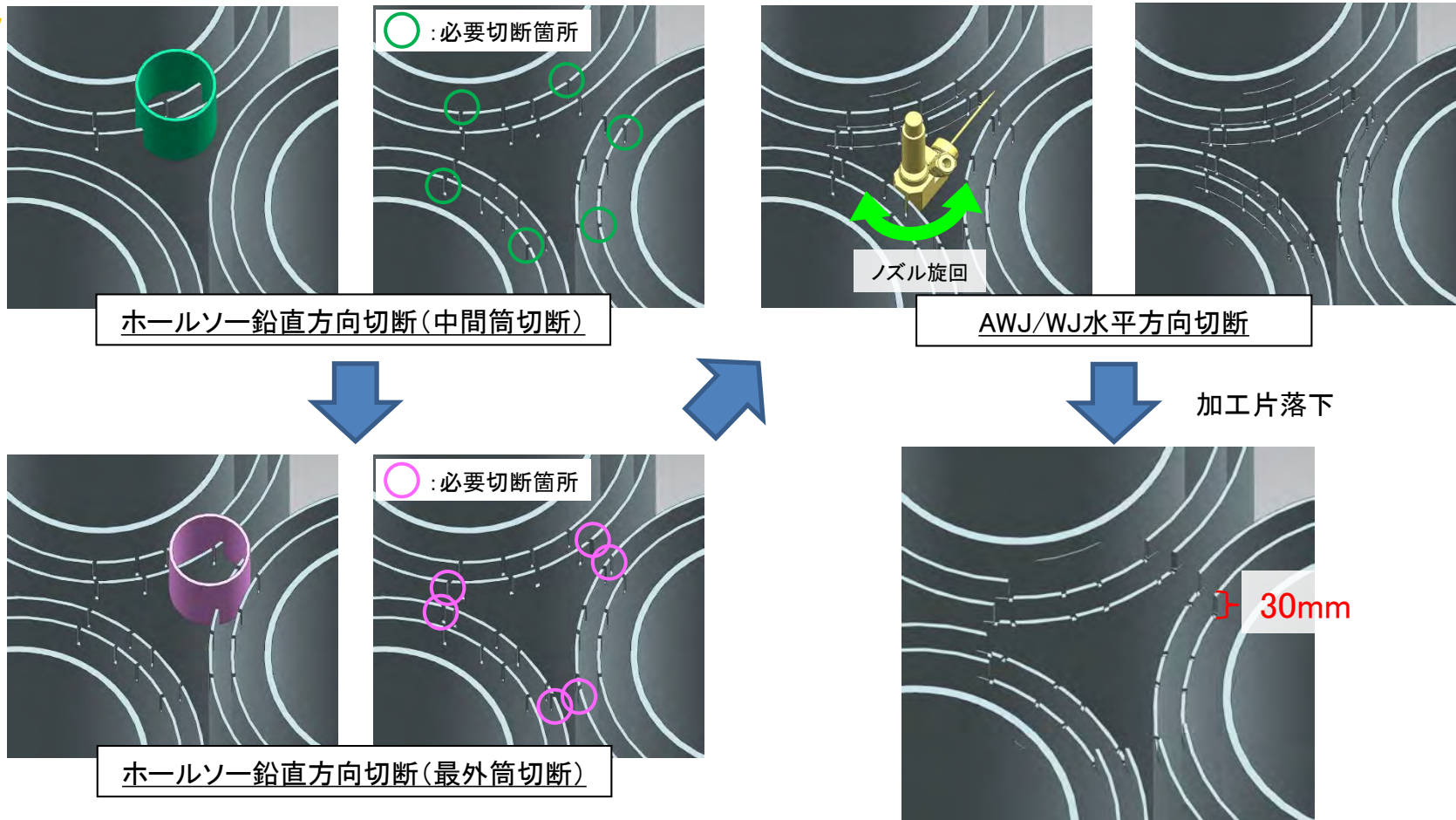
②-4. 単独技術での切断可否や切断技術の組合せ検討 (5/5)

2019年度までの計画でアブレイシブ使用量の大半を占める、気水分離器の切断手順について検討した。

【ホールソー】下図は加工技術の組合せNo.4の例（組合せNoはスライドNo.15を参照）



気水分離器イメージ図



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.20

②-5. 他システムへの影響評価

切断技術毎に他システムへの影響要因を検討し、評価した。

項目			AWJ	ディスクソー	ホールソー	レーザ	
影響因子	切断切粉		小	大	大	小	
	加工水		有	有	有	無	
	研磨剤／空気		有	無	無	有	
	装置入熱 ^(※1)		小	小	小	小	
他システムへの 影響	ダスト放出抑制	影響	1・3号機：中～大、2号機：中	小		1・3号機：中～大、2号機：中	
		ダスト飛散量・PCV圧力上昇	大	小		大	
		評価	・ 必要に応じて、切断対象物の汚染密度のサンプリング及び吐出水の噴射範囲の調査を行い、ダスト飛散量の事前予測と実測結果の定性的な検討を行う。 ・ PCV内部調査での作業実績を踏まえ、段階的に切断を行い、発生するダストについて、RPVからPCVへの漏えい箇所（ペネ部など）におけるダスト監視とPCVガス管理でのダスト監視を並行して行い、順次切断計画に反映する。				
	臨界管理	影響	・ 1号機：小、 2号機：小～大、 3号機：小～中 ・ RPV内からの燃料デブリ落下による臨界リスクを念頭に検討。号機毎のRPV内燃料デブリ残存量(推定)による相対比較。				
		評価	・ 震災後の余震や冷却水注水等の外力が付加されても落下していない燃料デブリに対して、炉内構造物加工中に使用する加工水や切断片落下等の比較的小さい外力により落下することは考えにくい。（但し、具体的な評価は困難） ・ 加工装置や加工に伴う副産物が落下する可能性のある場所を事前に調査し臨界リスクを確認することが望ましい。				
	廃棄物処理	影響	中	小			
		評価	・ 切断物と切粉（AWJはガーネットが追加）が廃棄物として増加する。 ・ 回収・保管設備の追加作業・コスト増といった影響はあるが、取り出し時の想定物量の一定割合以下（今後要確認）であり、影響は限定的である。 ・ 設備仕様としては、対象物のPCV内に留まるもの、システムに流れるもの、それぞれに対して回収する技術を開発中。 ・ ガーネットについては、溶出による水処理設備運用への影響がないことを、PCV内部調査時に確認済。				
	燃料デブリ取り出し			・ 燃料デブリ取り出し時に排出される二次廃棄物は評価中であるが、RPV内部調査による炉内構造物加工によって発生する量と比較し、物量は大きくなると想定される。			
切断技術の評価 （適用可否）			・ 本表で挙げた4つの加工方法について、他のシステムへの影響は、現状不明である部分はあるものの、小さい、若しくは限定的であると想定される。 ・ 現状、いずれの方法も致命的な影響は見られず、要素試験を含め、引き続き検討する。				

(※1):装置入熱は燃料デブリや冷却システムに対する熱の影響の観点で評価。「大:伝熱の可能性大、小:伝熱の可能性小」

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.21

②-6. 見直したパラメータ・アブレイシブ回収方法の簡易試験の計画

AWJ切断(WJ切断含む)について、アブレイシブ使用量低減及び、回収方法の検討を目的とした下記試験を実施する予定である。

実施項目	簡易試験項目	対象とする加工技術	確認項目
【AWJ/WJ技術の評価】 AWJ技術を用いた場合の アブレイシブ使用量低減及 び、回収方法の検討	切断条件確認試験	AWJ/WJ	・鉛直方向に対する切断性能 ・水平方向に対する切断性能
	ダスト飛散確認試験	AWJ/WJ	・炉内への排出物
	ノズル寿命確認試験	AWJ/WJ	・ノズルの寿命
	アブレイシブ回収試験	AWJ	・アブレイシブの回収量

➡ No.23、24の試験で
実施済。

➡ (※1)

➡ (※2)

➡ (※3)

(※1)ダスト飛散確認試験については、本年実施した簡易試験を踏まえ、絞り込んだ加工技術を対象に試験実施可否、試験計画を検討予定。

(※2)ノズル寿命確認試験については、本年実施した簡易試験を踏まえ、絞り込んだ加工技術を対象に実施予定。

(※3)スライドNo.23、24に示す切断条件確認試験結果からアブレイシブ使用量の大幅な削減が見込まれること、また、アブレイシブ回収の机上検討の結果、回収量は限定的な見込であることから簡易試験は実施しない。

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.22

②-7. 検討した加工技術の成立性について、簡易試験の計画

簡易試験が必要と考える、AWJ切断(WJ切断含む)・ホールソー切断・ディスクソー切断・レーザ切断について、下記の試験を実施し、切断性能を確認する。

実施項目	簡易試験項目	対象とする加工技術	確認項目
【加工技術の簡易試験】 AWJと他加工技術との比較	多重管の切断確認試験	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・鉛直方向に対する切断性能
		AWJ/WJ/ ディスクソー	・水平方向に対する切断性能
	要求位置決め精度確認試験	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・切断時における位置精度(振れ幅)
	反力確認試験	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・切断時における反力
	2次廃棄物量 ^(※1) 確認試験	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・炉内への排出物再加工リスク ・再加工リスク
	ダスト飛散確認試験	ホールソー/ディスクソー/レーザ	・炉内への排出物
	加工前(付帯)作業 ^(※2) 確認試験	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・加工面状態における切断性能
	装置の寿命(メンテナンス性)確認	AWJ/WJ/ ホールソー/ディスクソー/レーザ	・ツールの寿命

No.24～28に試験結果を示す。

簡易試験を踏まえ、絞り込んだ加工技術を対象に、実施要否、試験計画を検討予定。

No.24～28に試験結果を示す。

No.29に試算結果を示す。

簡易試験を踏まえ、絞り込んだ加工技術を対象に、実施要否、試験計画を検討予定。

「多重管の切断確認試験」の中で加工前(付帯)作業の有無を確認

簡易試験を踏まえ、絞り込んだ加工技術を対象に、実施要否、試験計画を検討予定。

(※1)加工によって発生する物のうち、炉内やシュラウドヘッド上部または側面に落下する可能性があるものとする。

(ただし加工片は除くこととし、例は、AWJのアブレイシブやレーザ切断のドロス等)

(※2)例としては、1回前の加工で発生したドロスの除去要否等

〔多重管の切断確認試験の確認範囲(赤枠)〕

No.		1	2	3	4	5	6	7	8
技術の組合せ	鉛直方向	AWJ/WJ	レーザ	ディスクソー	ホールソー	AWJ/WJ	レーザ	ディスクソー	ホールソー
	水平方向	AWJ/WJ	AWJ/WJ	AWJ/WJ	AWJ/WJ	ディスクソー	ディスクソー	ディスクソー	ディスクソー

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.23

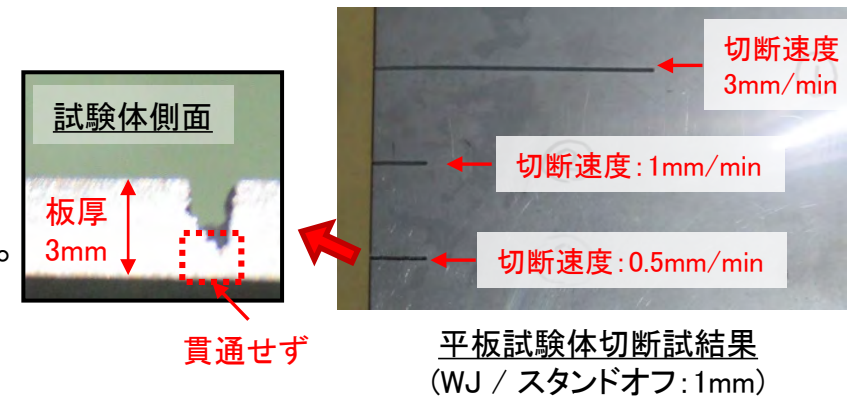
②-8. 簡易試験の実施・評価 (AWJ/WJ : 切断条件確認試験)

【概要】

- (1) 平板試験体(板厚3mm^(※1))を切断し、切断可否および切断可能な切断速度を確認。
(※1) 気水分離器の外筒部の板厚(3.2mm)を模擬
- (2) スライドNo.16に示す切断手順にて2重管模擬体を切断し、鉛直方向、水平方向の切断可否および切断可能な速度を確認。

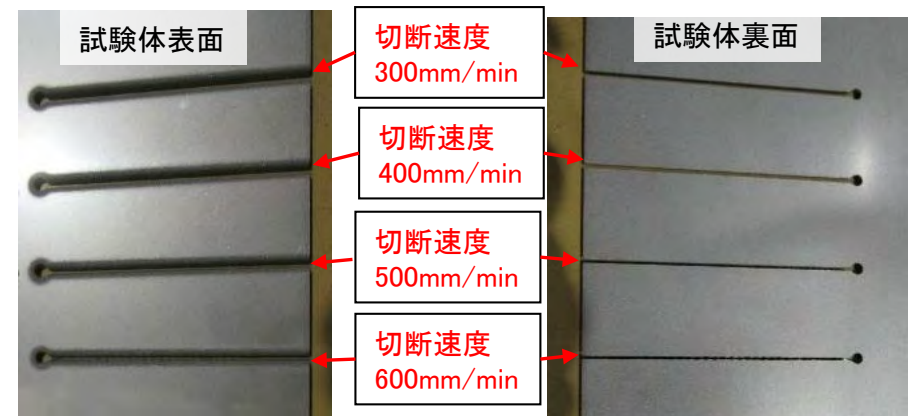
【結果(平板切断/WJ)】

- ① WJについては、切断手順のうち最もスタンドオフの短い条件(スタンドオフ:1mm)で平板試験体が切断不可であったため、2重管模擬体の切断は実施せず。



【結果(平板切断/AWJ)】

- ① AWJについては、平板試験体が試験設備の最高速度600mm/minで切断可能。
 - ・スタンドオフ:20mm
 - ・アブレイシブ供給量:500g/min



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.24

②-8. 簡易試験の実施・評価 (AWJ/WJ : 切断条件確認試験)

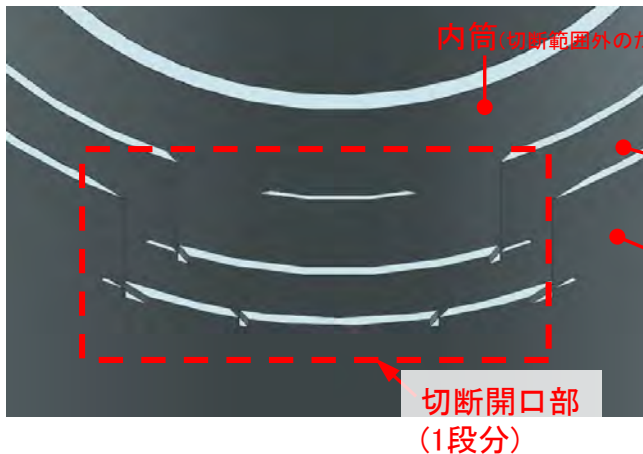
【結果(2重管切断/AWJ)】

① AWJについては、計画した切断手順で2重管試験体が切断可能。

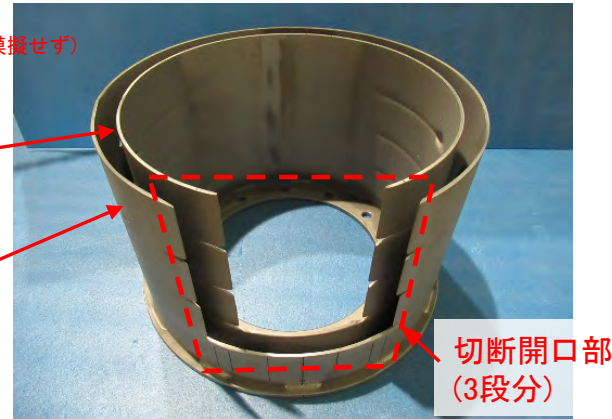
[切断速度] 鉛直切断(外筒のみ): 30mm/min
鉛直切断(外筒+中間筒): 110mm/min
水平切断: 40° /min

② 上記の切断速度にて切断した場合、気水分離器本体部の切断に使用するアブレイシブ総量は、約0.33ton(昨年度:約8ton)と試算。

③ AWJの加工反力は、AWJ噴射と逆方向へ約40Nかかるため、今後対策が必要と考える。



気水分離器切断イメージ



気水分離器部分模擬体切断試験結果(AWJ)

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.25

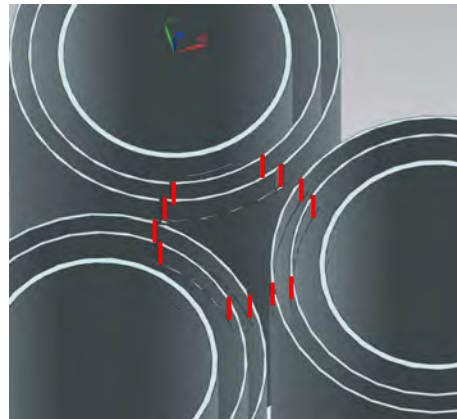
②-8. 簡易試験の実施・評価 (レーザ : 多重管の切断確認試験)

【概要】

- (1) レーザ切断仕様⇒レーザ種類:ファイバーレーザ／アシストガス:エアー
- (2) スライドNo.17に示す切断手順にて2重管模擬体を鉛直方向に切断し、切断可否および切断可能な速度を確認。

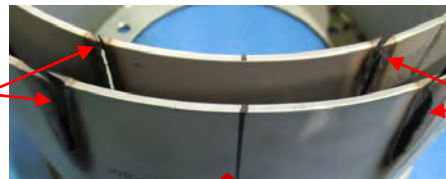
【結果】

- ① レーザ切断の終端部にドロスが確認されたものの、再溶着は無く、2重管模擬体を切断可能であった。
- ② 鉛直方向の切断が可能な見込み(切断可能な速度:～600mm/min)。
- ③ アシストガス噴射と逆方向に8Nの反力が発生するが、レーザヘッドは鉛直下向きに約12.5° 傾いているため、水平方向にかかる反力は約1.7Nとなる見込みで、AWJに比べ小さい反力であった。



気水分離器切断イメージ
(赤線:レーザ切断箇所)

切断速度
300mm/min



切断速度
600mm/min



切断速度
180mm/min



気水分離器部分模擬体切断試験結果(レーザ)

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.26

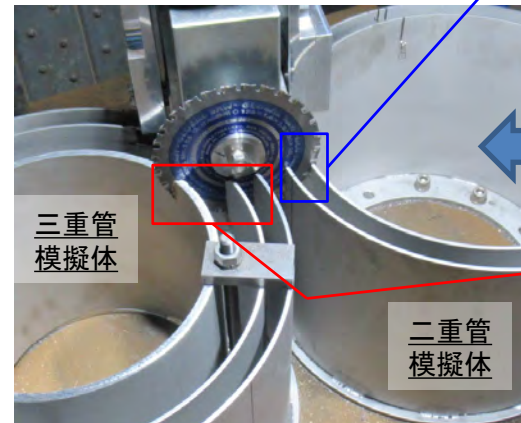
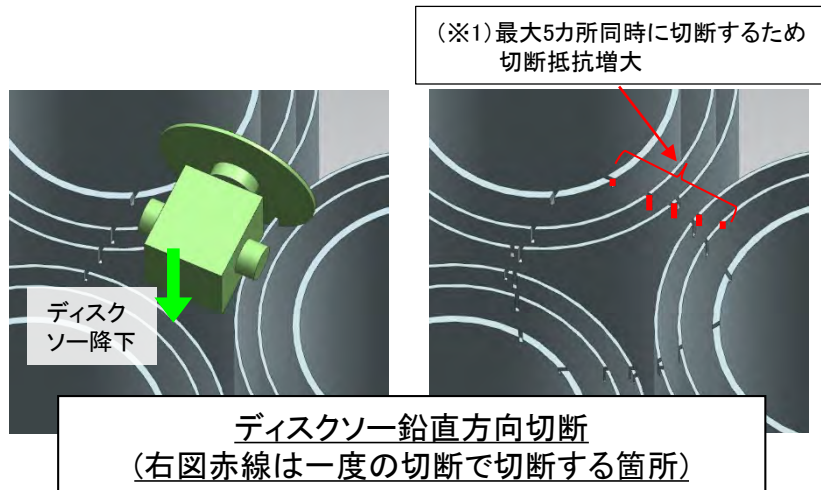
②-8. 簡易試験の実施・評価 (ディスクソー: 多重管の切断確認試験) (1/2)

【概要】

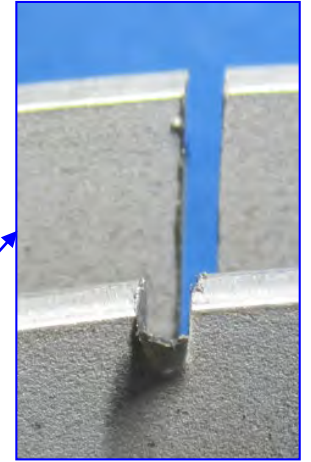
- (1) スライドNo.18に示す切断手順にて2重管模擬体および3重管模擬体を同時に切断し、鉛直方向の切断可否および切断可能な速度を確認。

【結果(鉛直方向切断)】

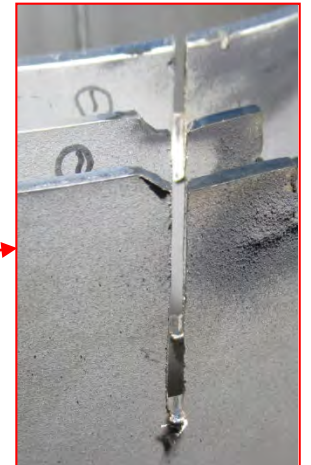
- ① 二重管および三重管の同時切断は可能ではあったが、切断途中に回転速度に変動発生する不安定な切断であった。
- ② また、切断速度は0.5mm/minと極めて低速であり、気水分離器の鉛直方向切断への適用は現実的ではないと考える。
- ③ 切断が不安定な理由としては、ツール小型化設計による回転トルク不足や、刃物が5カ所同時に接触するための切断抵抗の増大が考えられる(※1)。



気水分離器部分模擬体切断試験結果
(ディスクソー/鉛直)



二重管模擬体切断部写真



三重管模擬体切断部写真

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.27

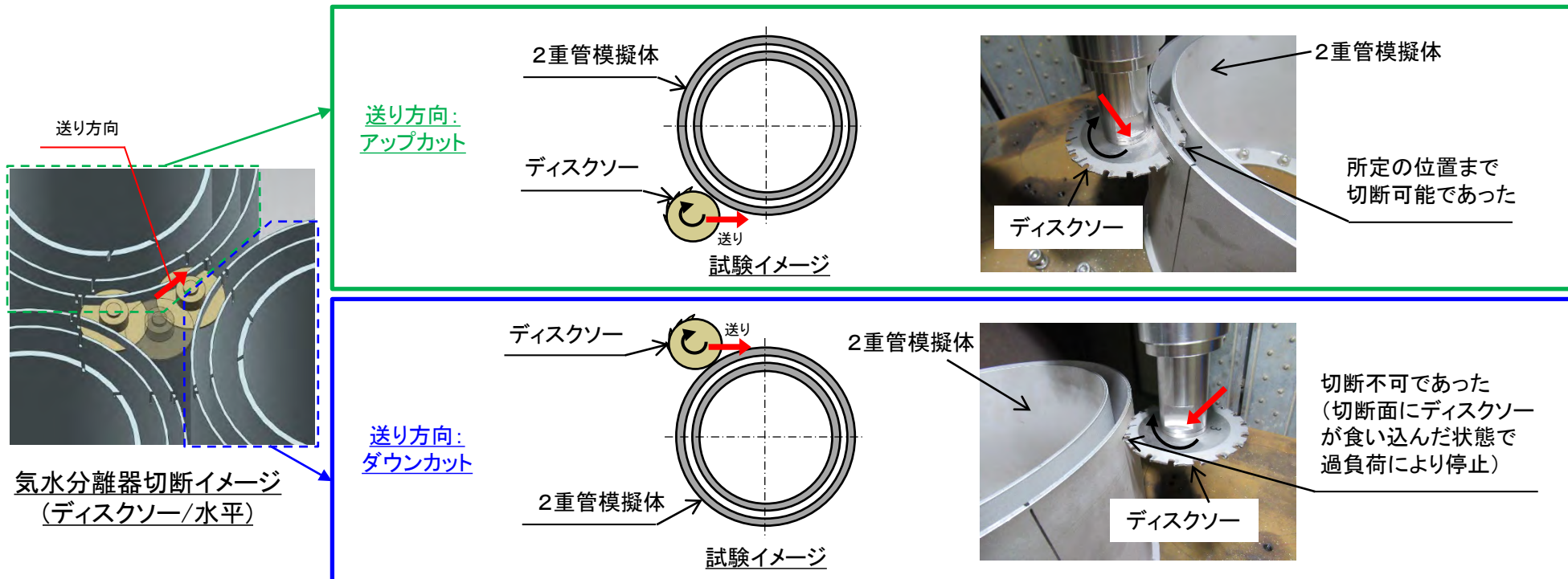
②-8. 簡易試験の実施・評価 (ディスクソー: 多重管の切断確認試験) (2/2)

【概要】

(1) 2重管模擬体を水平方向に切断し、スライドNo.18に示す切断手順にて2重管2体の水平方向の同時切断の可否を確認。

【結果(水平方向切断)】

気水分離器2体同時切断の場合、一度の切断でディスクソーの送りがアップカット/ダウンカットを同時に実施する必要がある。本試験ではまず、アップカット/ダウンカットを個別に1体ずつ切断したところ、送りがダウンカットの場合に切断不可であったことから、2体同時切断は不可と判断した。



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.28

②-8. 簡易試験の実施・評価 (ホールソー: 多重管の切断確認試験)

【概要】

- (1) スライドNo.19に示す切断手順にて2重管模擬体を2体同時に切断し、鉛直方向切断可否および切断可能な速度を確認。

【結果】

- ① ホールソーの鉛直方向送り量が1mm程度で過負荷により停止した。(切断速度: 0.5mm/min)
- ② 切断性能を改善するためにホールソーの回転トルク向上が考えられるが、現行のツール構成・寸法制約では大幅なトルク向上の見込みがなく、ホールソーは適用不可と判断した。

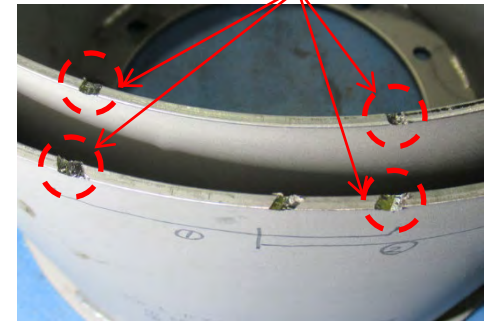
ホールソー
鉛直方向切断
(外筒+中間筒切断)



試験結果



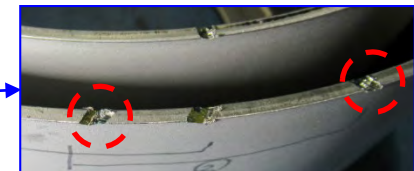
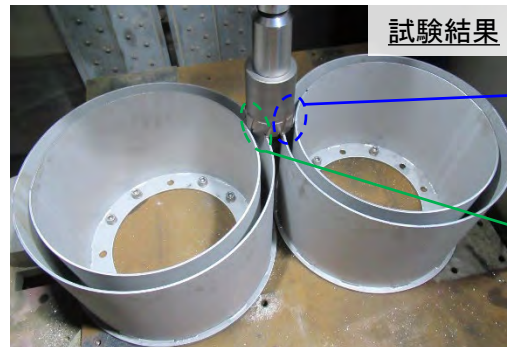
切断痕



ホールソー
鉛直方向切断
(外筒切断)



試験結果



6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.29

②-8. 簡易試験の実施・評価（最終評価）

【概要】

簡易試験結果（スライドNo.23～28）に二次廃棄物量と施工時間の試算を加え、各加工技術の実機適用の見通しについて評価を行った。なお、WJ切断については、平板切断試験において切断不可であったため、評価に含めないものとする。

【結果】

ディスクソー・ホールソーは実機適用不可と判断し、AWJ・レーザは実機適用の見通しがあると判断する。

項目 \ 加工技術		AWJ		レーザ	ディスクソー		ホールソー
		鉛直	水平	鉛直	鉛直	水平	鉛直
切断可否		○	○	○	△(※2)	×	×
二次廃棄物量	評価	○	○	○	○	—	—
	アブレイシブ(kg)	182.7	141.1(※1)	0.0	0.0	—	—
	切粉(kg)	7.0	1.2(※1)	2.4	2.7	—	—
	合計(kg)	189.7	142.3(※1)	2.4	2.7	—	—
施工時間	評価	○	○	○	×	—	—
	施工時間(min)	365.4	282.1(※1)	29.7	18900(315h)	—	—
評価		○	○	○	×	×	×

(※1) 気水分離器本体部の鉛直方向に50mmピッチで切断を繰り返した場合のAWJ水平方向切断の二次廃棄物量および施工時間。

(※2) 切断可ではあるものの回転トルクが不足しており不安定な切断であった(スライドNo.26参照)。

6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.30

②-9. 2021年度の実施方針について

【加工技術組合せの絞り込み】

簡易試験の結果からの評価結果(スライドNo.29)より、下表2パターンの加工技術の組合せに絞り込んだ。

加工技術の 組合せ	No.1(※1)		No.2(※1)	
	鉛直	水平	鉛直	水平
	AWJ	AWJ	レーザ	AWJ

(※1)スライドNo.15の表中のNo.と対応

【2021年度の実施方針】

絞り込んだ加工技術(AWJ・レーザ)について、2021年度は以下の検討を実施する方針とする。

加工技術	実施内容	
AWJ	①	気水分離器本体以外への適用検討
	②	更なるアブレイシブ量低減に向けた検討(切断パラメータの見直し)
	③	①、②について必要に応じて要素試験の実施 (要素試験の際は、ノズル寿命の確認も実施)
レーザ	①	気水分離器以外への適用検討
	②	水平方向切断への適用検討(ヘッド小型化検討)
	③	①、②について必要に応じて要素試験の実施
	④	実機適用するための課題の抽出と対策の検討

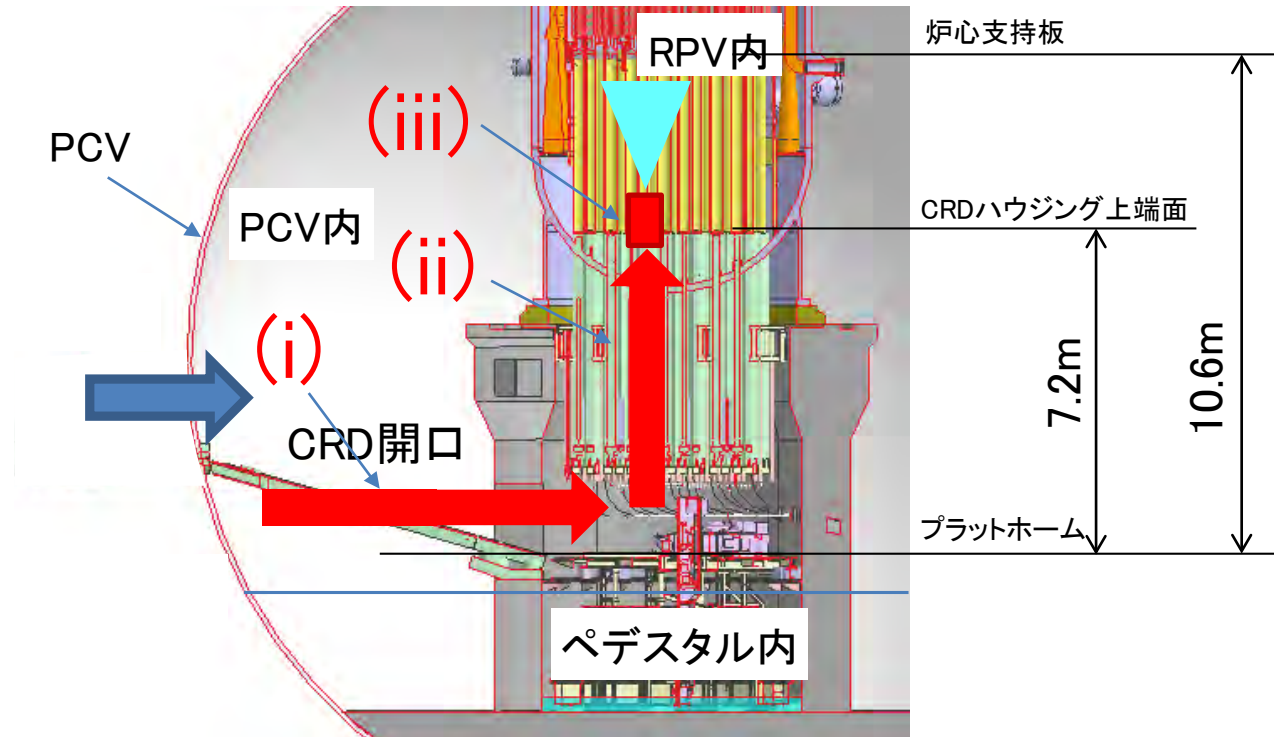
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1/2/3号機共通

No.31

開発項目の定義：アクセス装置、調査装置の定義

下部からのRPV内部調査工法に適用する技術については、以下の3つに分割して検討を実施した。



- (i) ペデスタル内へのアクセス装置
- (ii) ペデスタル内からRPV内部へのアクセス装置
- (iii) 調査装置

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1/2/3号機共通

No.32

①下部アクセス・調査計画及びアクセス・調査装置の開発計画の策定

検討プロセスを以下に示す。

実施項目	1号機	2号機	3号機
1.調査計画の立案			
A:調査ニーズの整理	⇒東電殿、NDF殿へ調査に対するニーズを確認 ・RPV内部へ早期にアクセスして情報を入手することが要求されており、取得する情報は画像データと線量率。 ・早期の実現を目指し、既存の技術開発成果を活用する。		
B:前提条件の整理	PCV内部調査結果等から前提条件を整理		
C:適用技術の整理 ⇒現在開発・準備中である先行事業で開発している装置で流用できるものを整理 ⇒「B:前提条件の整理」の結果から検討条件を設定	(i)ペDESTAL内へのアクセス装置 ⇒PCV内部詳細調査向けアクセス装置を流用	(i) ペDESTAL内へのアクセス装置 ⇒燃料デブリ取り出し向けアーム型アクセス装置を流用	(i)ペDESTAL内へのアクセス装置 ⇒PCV水位を低下する計画のため、2号機と同様に燃料デブリ取り出し向けアーム型アクセス装置を流用
	(ii)ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置(ドローンを適用) ⇒燃料の大部分がペDESTAL底部に落下していると評価されているため、RPV下鏡中央部に直径1m程度の開口部がある前提で新規に検討	(ii)ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置(テレスコピックを適用) ⇒上部タイプレートが落下していた位置の上方にタイプレートが通過できる寸法の開口部がRPV底部に存在する前提で新規に検討	(ii)ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置(テレスコピックを適用) ⇒CRGTが落下していたという調査結果からCRGTの直径程度の開口部がRPV底部に存在する前提で新規に検討
	(iii)調査装置 ⇒号機毎に、他PJも含めこれまで開発してきた装置を適用することで検討		

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

1/2/3号機共通

No.33

① 下部アクセス・調査計画及びアクセス・調査装置の開発計画の策定

実施項目

1号機

2号機

3号機

1. 調査計画の立案(続き)

D: 実現性評価項目の検討

- ・A、B、Cの各条件から適用可能な要素技術を抽出し、装置仕様の候補を挙げる。
- ・PCV内の状況に不確かさがあるため、複数の仕様にて検討し、条件の不確実性に対応する。
- ・各条件における調査仕様を比較評価し、候補となる要素技術の絞り込みを行う。



2. 実現性検討(試験)

E: 試験等の実施

- ・候補となる各要素技術の課題を抽出し、実現性を評価するために必要な評価項目を設定する。
- ・評価項目に従い、実現性を評価するために必要な試験計画を立案する。
- ・計画に基づき試験を実施する。



3. 実現性評価

F: 試験結果等を踏まえた評価

- ・試験結果を踏まえた実現性評価を実施し、次年度概念検討を実施する調査工法を選定する。
- ・選定した調査工法に関し、調査計画・開発計画を策定する。



② 下部アクセス・調査装置の概念検討(2021年度)

1号機:ドローンによるRPV内へのアクセス装置の開発

<目的>

1号機向けの下部アクセス調査工法として、ドローン(有線、無線)によりペDESTAL内からRPV内部へアクセスする工法について、簡易的な試験を実施し、実現性を評価する。

<実施内容>

- ①ドローン(有線、無線)について、実現性評価のための簡易な飛行試験を実施
 - ・ドローン単体試験
 - ・CRD開口部/RPV開口部を模擬した環境での伸縮ロッド等との組合試験
- ②簡易試験結果を踏まえた2021年度の対応案検討

<結果>

- ①簡易試験により、2021年度の概念検討に資するデータ(大きさ・ペイロード・バッテリー寿命)、調査要領(開口部通過性・調査手順)を確認した。
- ②ドローン(有線、無線)は以下の構成が適すると判断した。
 - ・有線ドローン:ドローンとケーブルドラムの構成を選定
 - ・無線ドローン:ドローンと伸縮ロッドの構成を選定

<残る課題>

- ①有線ドローン:給電電圧の安定供給、給電ケーブル電圧降下による飛行高さ不足
- ②無線ドローン:飛行時間の延長
- ③共通 :現場適用性(耐放射線性、暗闇・降雨環境)の評価

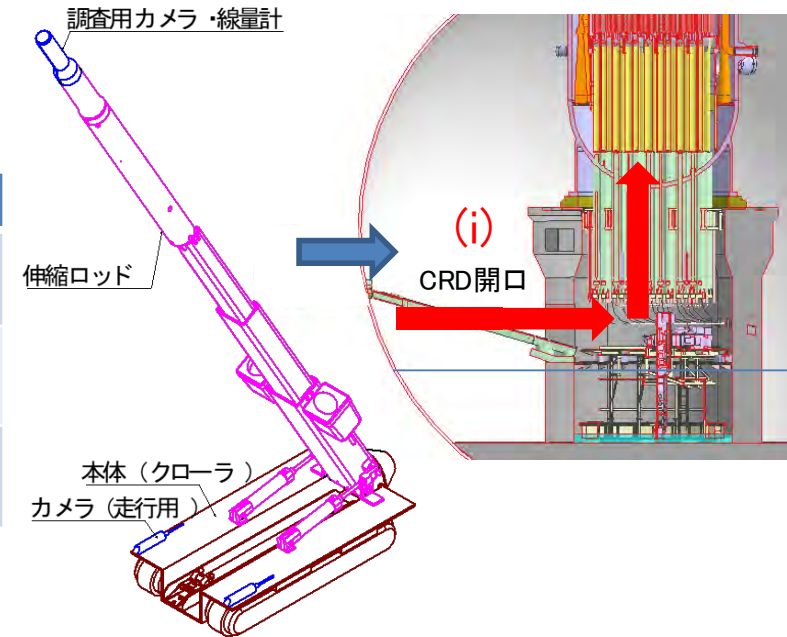
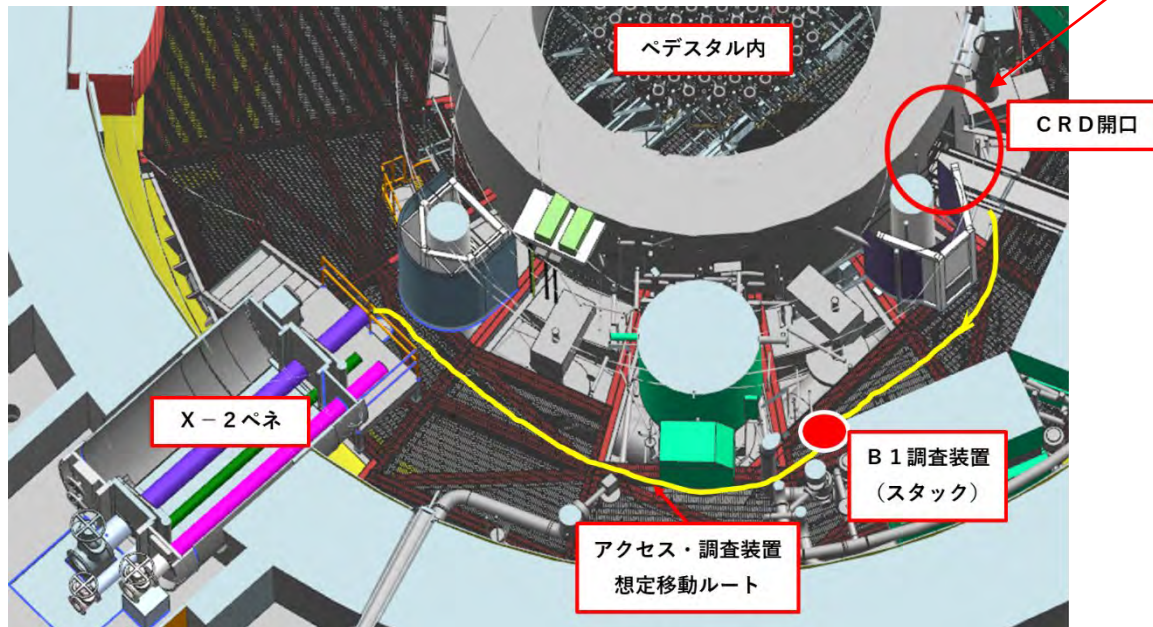
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1.調査計画の立案 C:適用技術の整理

(i)ペデスタル内へのアクセス装置

1号機:PCV内部詳細調査の検討・開発状況

項目	検討・開発状況
PCV内 アクセス位置	①X-2ペネ → ペデスタル外(地下階)→ 地下階遊泳移動 ②X-2ペネ → グレーチング上走行 → ペデスタル内進入(調査)
ペデスタル内への アクセス位置	①作業員アクセス口(水中) ②CRD開口(気中)
ペデスタル内への アクセス装置	①ペデスタル内ROV : 幅20cm、長さ45cm ②ペデスタル内調査装置 : 伸縮ロッド長5m



**ペデスタル内へのアクセス装置として
開発中**

- ①クローラでCRD開口までアクセス
- ②伸縮ロッドを伸長させ、調査用カメラ・線量計をペデスタル内へアクセス

伸縮ロッドは、下部アクセス装置をペデスタル内にアクセスする手段またはペデスタル内で下部アクセス装置を補助する手段として有効である。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.36

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<調査概要>

(1)調査目的

RPV底部内側の状況確認

(2)調査項目

- ①画像データ取得
- ②線量率計測(可能であれば)

(3)調査装置

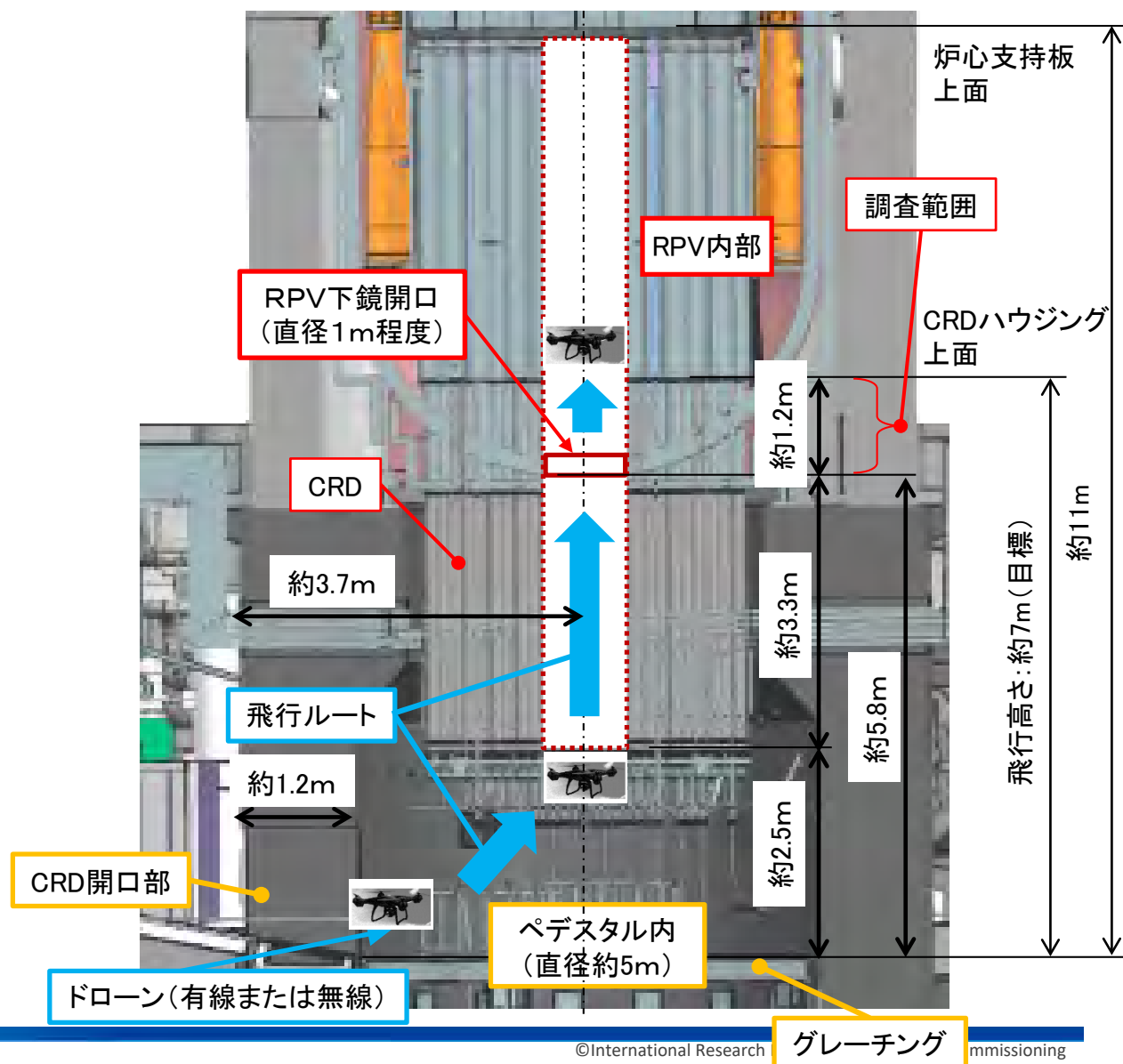
ドローン(有線または無線)

(4)調査範囲(ドローン飛行範囲)

- ①調査範囲:RPV底部
- ②飛行高さ目標:約7m
(ペDESTAL内グレーチング上面～
CRDハウジング上面)

(5)ドローン飛行発着位置

ペDESTAL外CRD開口部



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.37

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<調査概要>

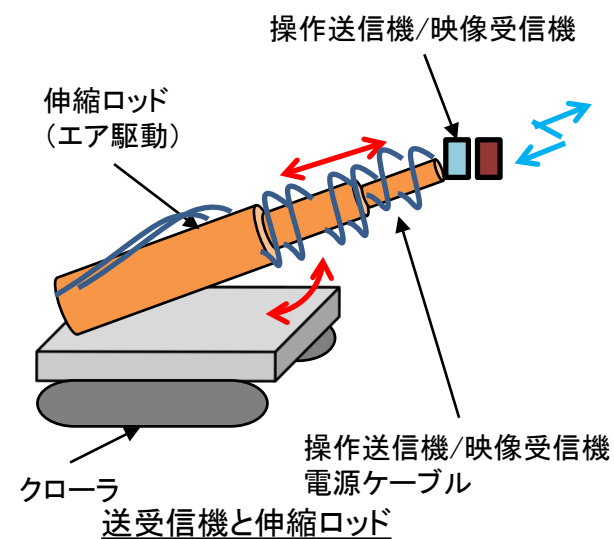
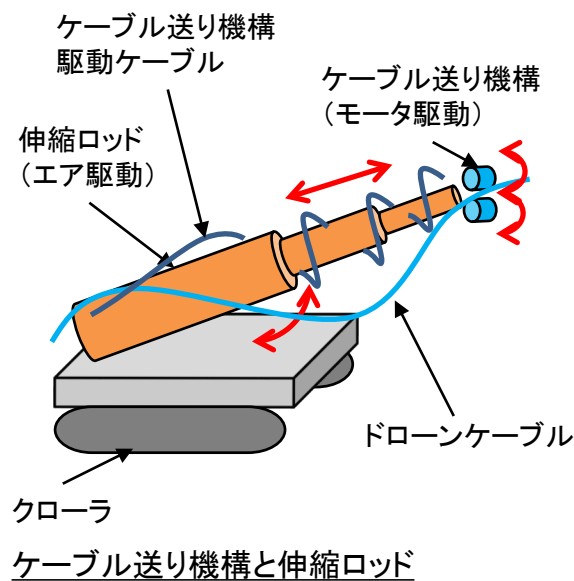
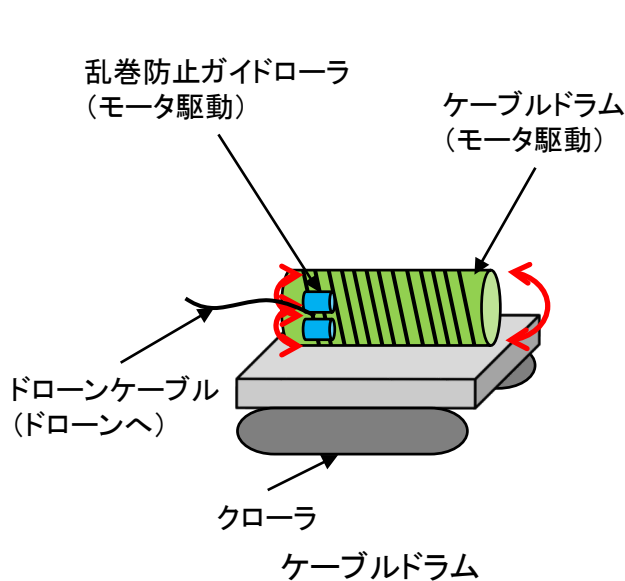
(6)補助装置(CRD開口部手前に設置)

1)ケーブルドラム(有線ドローンのみ)

- ・ケーブルドラムで有線ドローンケーブルの送り/戻しを行う。

2)伸縮ロッド(ペデスタル内部調査で開発中の技術を活用)

- ・有線ドローンの場合:伸縮ロッド先端にケーブル送り機構を設け、ペデスタル内での有線ドローンケーブルと既設機器のケーブル引っ掛かり回避やケーブル質量によるドローンへの負荷軽減を行う。
- ・無線ドローンの場合:伸縮ロッド先端に操作送信機/映像受信機を設け、ペデスタル内で無線ドローンとの通信を行う。



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

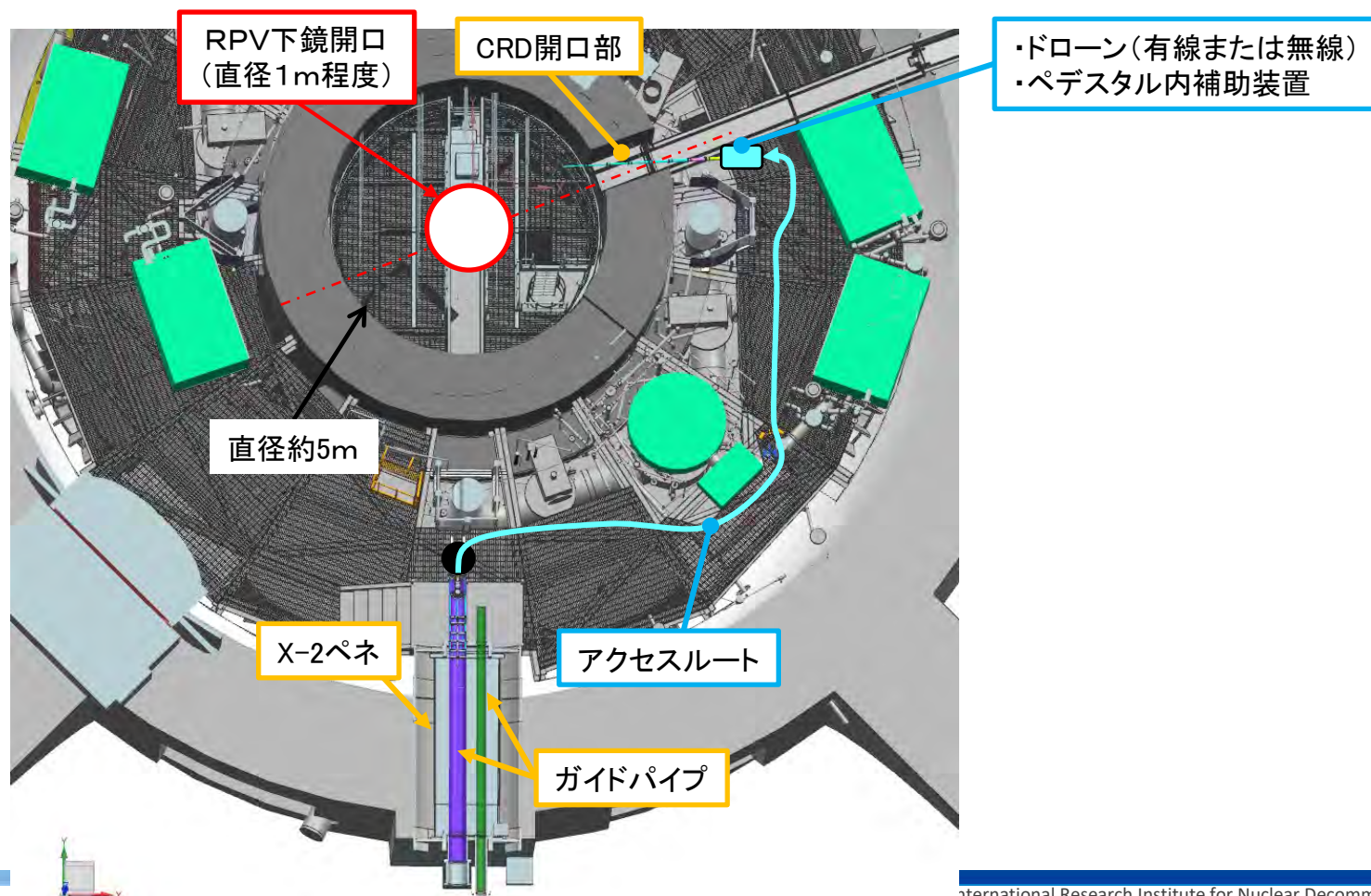
1号機

No.38

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

＜ペDESTAL(CRD開口部)までのアクセスルート＞

1号機PCV内部調査実証試験で構築中のX-2ペネのガイドパイプからアクセスし、そこからPCV内を反時計廻りでCRD開口部にアクセスする。



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<各機器(ドローン・補助装置)の移動経路>

→ :各機器の移動経路
--> :伸縮ロッド先端の延伸先

	X-2ペネ	CRD開口部	ペDESTAL内	RPV内
パターン1	【有線ドローン】 【クローラ(ケーブルドラム搭載)】 【クローラ(伸縮ロッド搭載)(※1)】	伸縮ロッド延伸		
パターン2	【有線ドローン】 【クローラ(ケーブルドラム搭載)】			
パターン3	【無線ドローン】 【クローラ(伸縮ロッド搭載)(※1)】	伸縮ロッド延伸		
パターン4	【無線ドローン】 【クローラ(送受信機搭載)】			

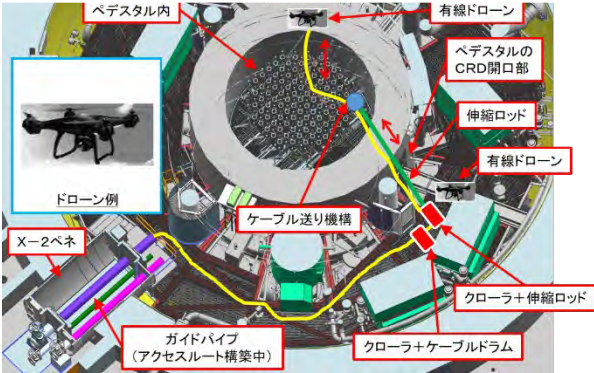
ドローンはX-2ペネからRPV内間を移動。
補助装置はX-2ペネからCRD開口部間を移動。

(※1)伸縮ロッド先端には、パターン1はケーブル送り機構、パターン3は送受信機を搭載。

<ドローン(有線、無線)のメリット、デメリット>

ドローンの種類	メリット	デメリット
有線ドローン	・電力の安定供給 ・通信の安定	・ケーブル負荷大 ・ケーブル引っ掛かりリスク有り
無線ドローン	・ケーブル負荷無し ・ケーブル引っ掛かりリスク無し	・バッテリーの寿命 ・通信不安定のリスク有り

パターン1の例



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.40

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<ドローン(有線、無線)の調査パターン>

No.	パターン1 有線ドローンと伸縮ロッド	パターン2 有線ドローンのみ	パターン3 無線ドローンと伸縮ロッド	パターン4 無線ドローンのみ
調査装置	有線ドローン	有線ドローン	無線ドローン	無線ドローン
補助装置	①ケーブル送り機構 ②伸縮ロッド ③ケーブルドラム	①ケーブルドラム	①伸縮ロッド ②送受信機	①送受信機
調査要領	- 補助装置(①②③)をCRD開口部手前に設置。 - ドローンの飛行前または飛行後に伸縮ロッドをペDESTAL内に伸展。 - ドローン飛行によりRPV内部を調査。	- 補助装置(①)をCRD開口部手前に設置。 - ドローン飛行によりRPV内部を調査。	- 補助装置(①②)をCRD開口部手前に設置。 - ドローンの飛行または飛行後に伸縮ロッドをペDESTAL内に伸展。 - ドローン飛行によりRPV内部を調査。	- 補助装置(①)をCRD開口部手前に設置。 - ドローン飛行によりRPV内部を調査。
概念図				

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.41

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<実機調査の要求仕様と前提条件>

要求仕様:①CRDハウジング上面(高さ7m)まで到達できること。

②ドローンまたは搭載カメラの操作にて、RPV底部内部をチルト:±90°、パン:±180°の範囲で確認できること。

<前提条件>

項目		条件	
寸法条件	PCV内へのアクセス位置	・X-2ペネに構築中のPCV内部調査装置投入用ガイドパイプ ・ガイドパイプ内径:φ314mm(使用可能上スペースは、φ290mm)	【最大許容寸法】 φ290mm(※1) (※1)RPV下部の開口はφ1000mmと想定しているが、アクセスルート上の制約から、最大許容寸法はφ290mmとなる。今後、アクセス装置の位置制御性能等を評価し、引き続き、調査可能領域を検討する。
	ペDESTAL内へのアクセス位置	・CRD開口部 ・開口部寸法:幅790mm×厚さ1200mm×高さ1173mm(グレーチング上から)	
	RPV下部開口部の外径	・φ1000mm ・RPV開口部から下にφ1000mmの円筒状の空間があると想定。	
	RPV下部開口位置	・RPV中心	
環境条件	線量率	・線量率:100 Gy/hr(暫定)、集積線量:1000Gy	
	温度	・80℃以下と想定	
	湿度	・100%と想定	
	その他	・暗闇 ・冷却水注水中(降雨状態) ・ペDESTAL内グレーチング上は、燃料デブリ落下の影響で損傷していると想定しているため、極力機器を接触させない。	

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.42

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<調査装置、補助装置の概要(仕様・機能)>

		搭載機器/仕様・機能			
装置名		パターン1	パターン2	パターン3	パターン4
調査装置	ドローン	・種類 : 有線ドローン ・大きさ : φ 290mm以内 ・飛行高さ : 7m ・調査機器 : (1)カメラ (2)線量計 (3)カメラ首振り用モータ		・種類 : 無線ドローン ・大きさ : φ 290mm以内 ・飛行高さ : 7m ・調査機器 : (1)カメラ (2)カメラ映像送信機 (3)線量計 (4)線量計用送信機 (5)カメラ首振り用モータ	
	ケーブルドラム	・ドローン用ケーブルの送り出し、巻き取り ・ケーブル収納長さ: 約15m		—	
補助装置	ケーブル送り機構	・ドローン用ケーブルの送り出し ・モータ駆動	—	—	
	伸縮ロッド	・ケーブル送り機構をペDESTAL内に挿入 ・延伸長さ 約5.3m ・エア駆動	—	・無線送受信機をペDESTAL内に挿入 ・延伸長さ 約5.3m ・エア駆動	—
	送受信機	有線(操作／映像)		無線(操作: 2.4 GHz、映像: 5.7 GHz)	

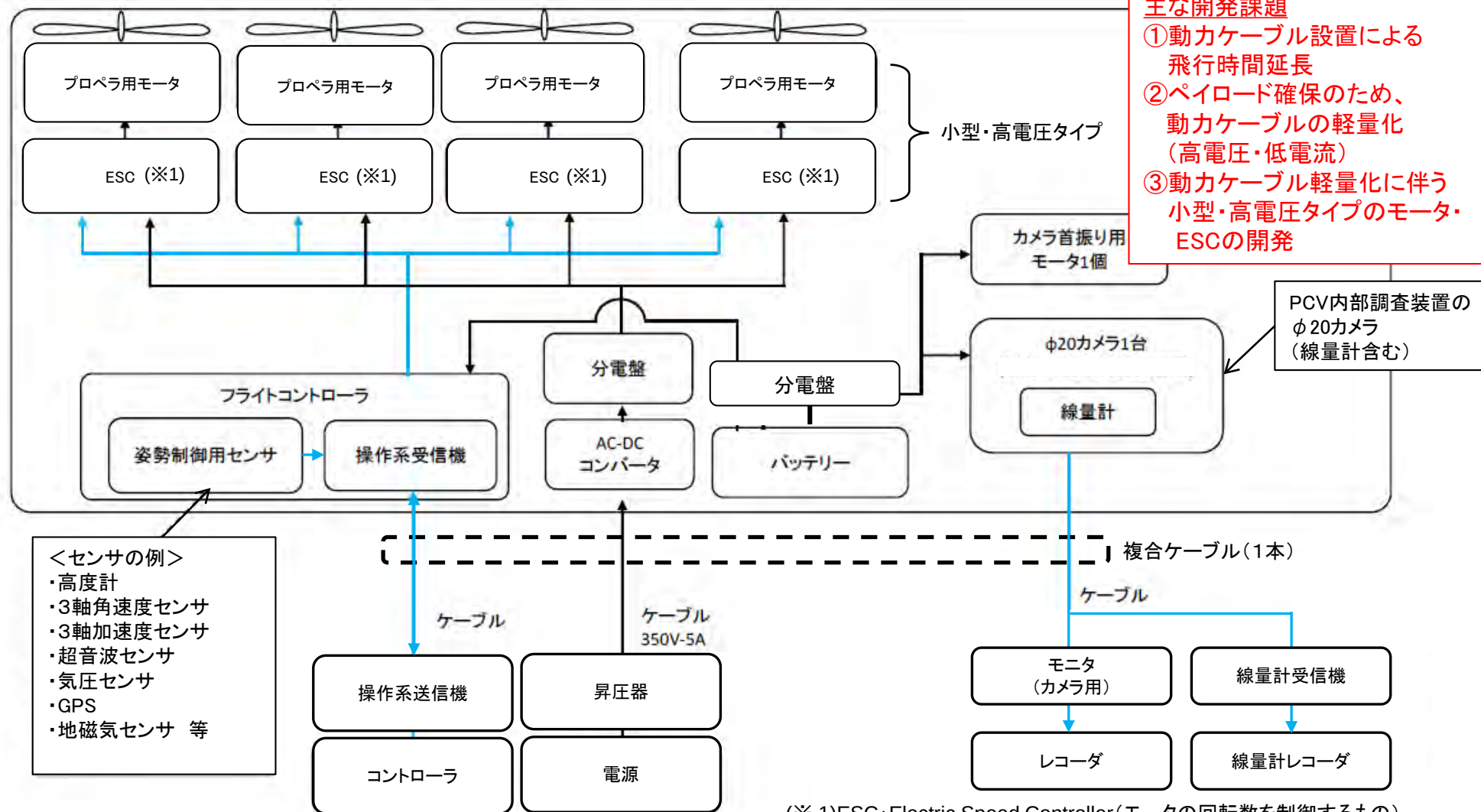
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.43

1. 調査計画の立案 D: 実現性評価項目の検討

<実機有線ドローンの構成(案)検討>



(※ 1)ESC: Electric Speed Controller (モータの回転数を制御するもの)

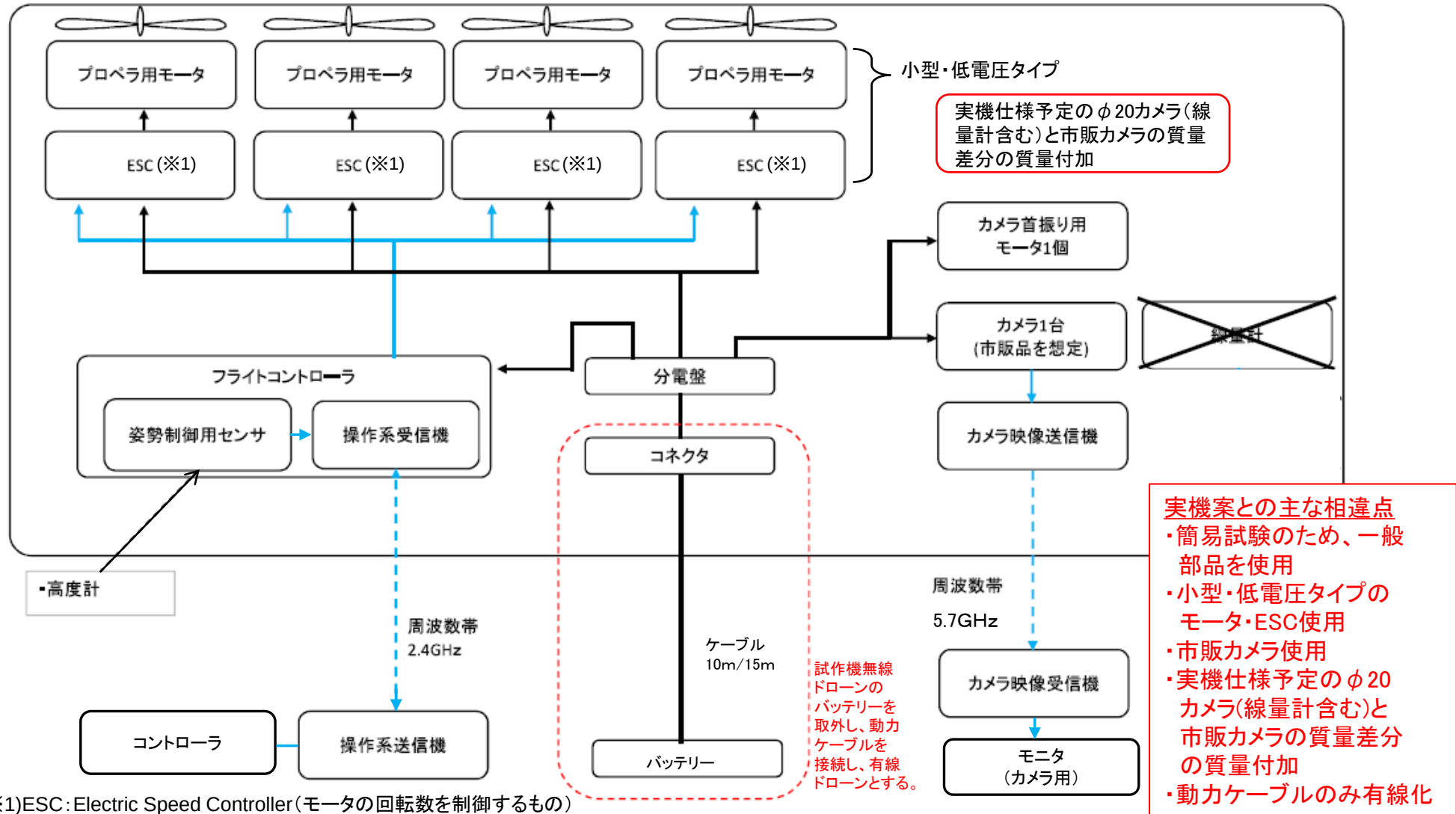
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.44

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<試験用有線ドローン構成検討結果>



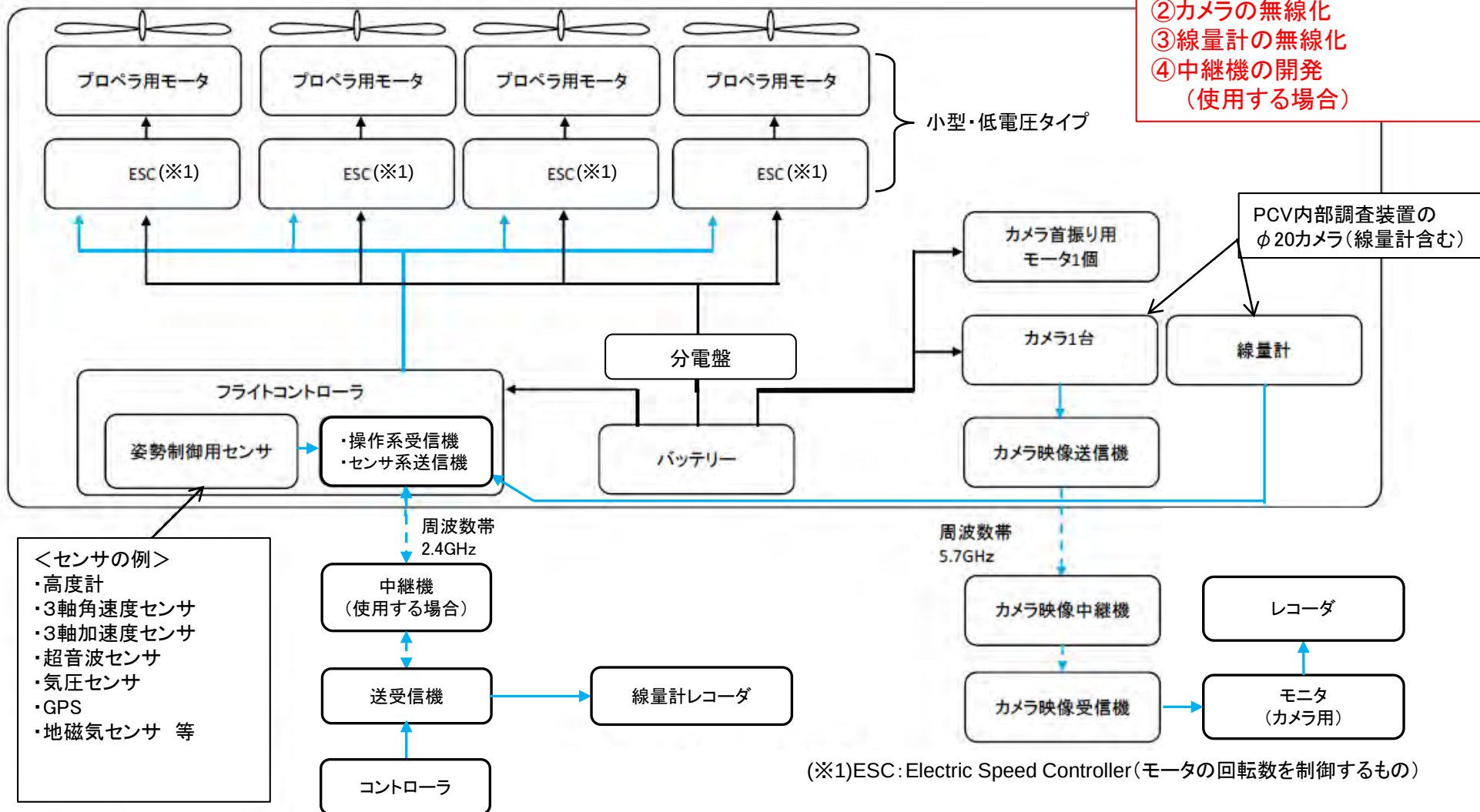
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.45

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

<実機無線ドローンの構成(案)検討>



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

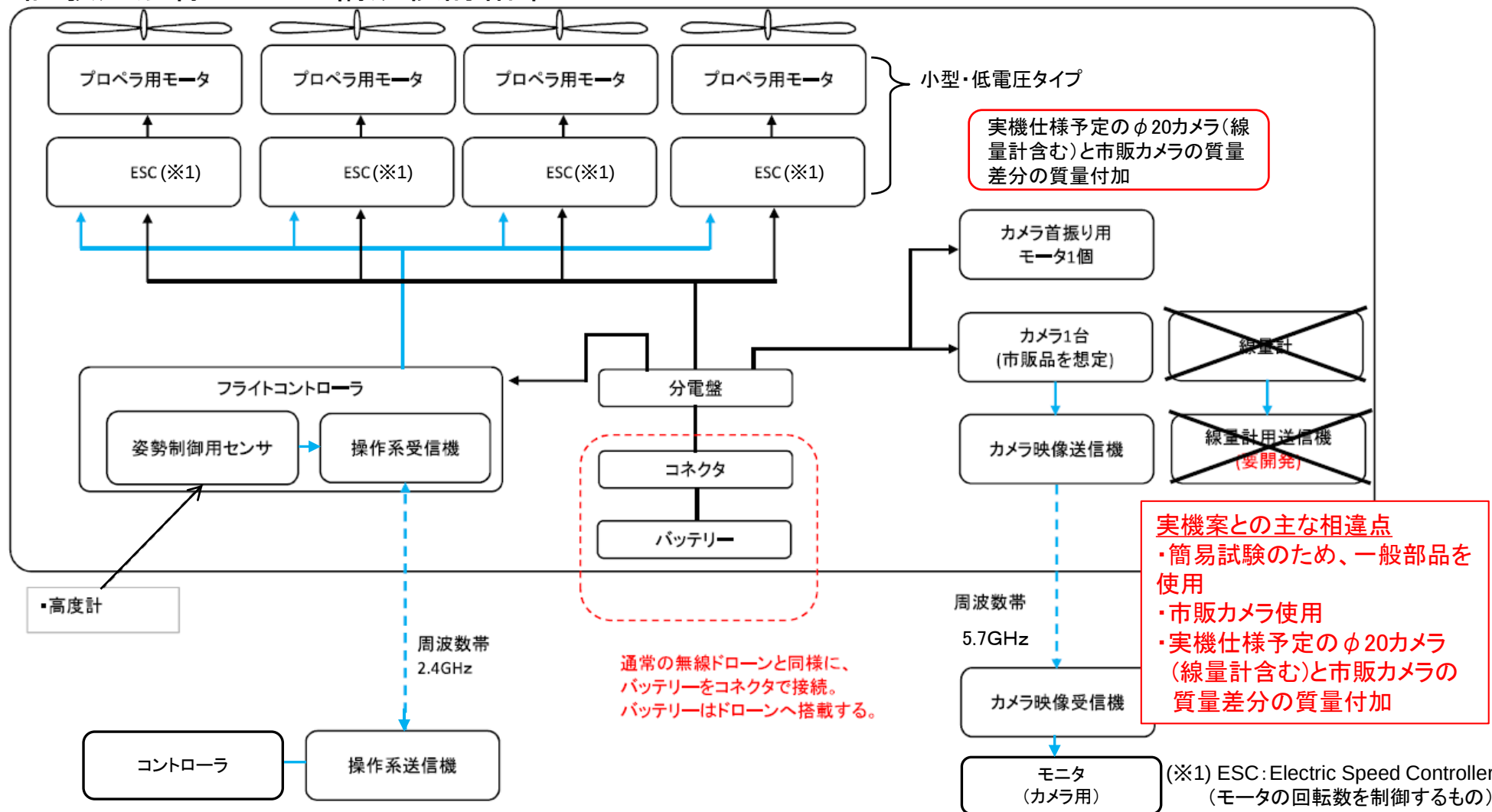
No.46

1.調査計画の立案 D:実現性評価項目の検討

←: 電流の流れ

←: 信号の流れ(実線:有線、点線:無線)

<試験用無線ドローン構成検討結果>



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.47

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】

<有線ドローンの開発課題、対応方針(目標仕様)、簡易試験内容>

区分	開発課題	対応方針(目標仕様)	簡易試験	確認項目	試験No.	検討結果
有線ドローン 本体	大きさ	ガイドパイプ内径(φ290mm)を通過できる構造であること。	単品試験	大きさ	1-1	No.47参照
	ペイロード	ドローン本体とケーブルを合わせた重量を牽引可能であること。	単品試験	ペイロード、飛行高さ	1-1	No.47参照
	飛行安定性	搭載カメラ映像のみで制御し、1000mm径内の範囲を飛行可能であること。	組合試験	CRD/RPV開口部通過性等	1-5 1-6	No.51、52参照
	視野範囲 (調査範囲)	・CRDハウジング上面(高さ7m)まで飛行できること。 ・上下90°、水平360°の範囲を視認できること。	単品試験	旋回性	1-2	No.48参照
ケーブル	安定した給電	50mにおいて、350Vの給電が可能であること。	—	—	—	仕様検討のみ(詳細検討は2021年度実施予定)
	安定した通信	最も離れた状態でも、制御可能であること。また、映像が途切れないこと。				
ケーブル ドラム	ケーブル送り/ 巻取り可否	ドローンをRPV内まで飛行させることを想定し、15mのケーブルを遠隔で送り出し/巻き取りできること。	単品試験	ケーブル送り/巻取り可否	1-3	No.49参照
	大きさ	クローラに搭載するため、φ290mmの半円状以内のサイズであること。	—	—	—	詳細検討は2021年度実施予定
	構造	遠隔での操作が可能であること。 構造は、モータ式であること。				
	トルク	ドローンをRPV内まで飛行させることを想定し、15mのケーブルを牽引可能なトルクであること。(試験的に評価する必要あり)				
ケーブル 送り機構	ケーブル送り/ 巻取り可否	伸縮ロッドの先端に取り付け、ドローンをRPV内まで飛行させるため、7mのケーブルを遠隔で送り出し/巻き戻しが可能であること。	単品試験	ケーブル送り/戻し操作可否	1-4	No.50参照
	構造	受動型のプーリを基本構造とする。	—	—	—	他の補助事業の開発技術を活用する。
伸縮ロッド	構造	CFRP(※1)の多段式ロッドとし、エア駆動で伸縮すること。				
	大きさ	クローラに搭載するため、収納した状態でφ290mmの半円状以内のサイズであること。				
	ペイロード	先端にケーブル送り機構を搭載可能であること。				

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.48

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-1

<単体試験:有線ドローン(大きさ、ペイロード、飛行高さ)>

【概要】(1)有線ドローンの大きさを確認。

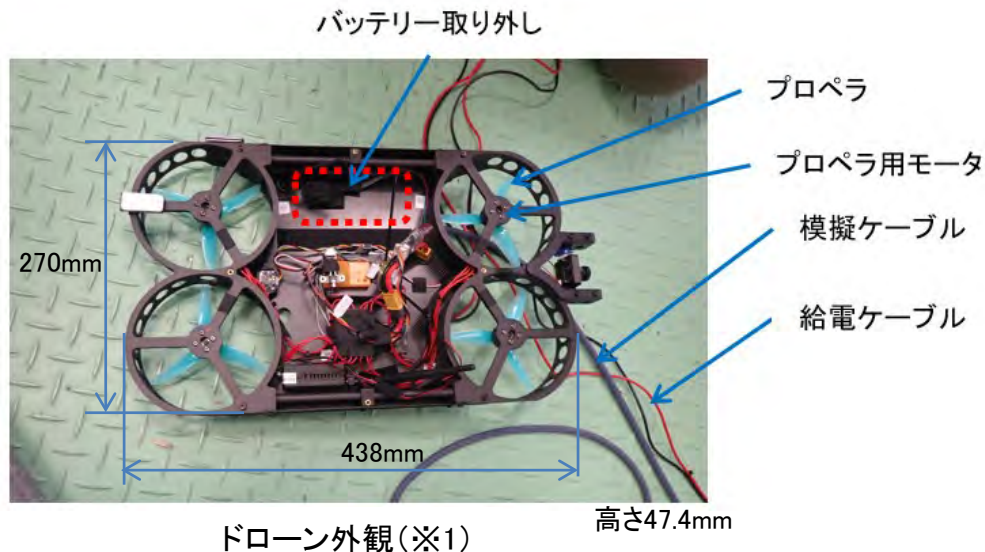
(2)有線ドローンのペイロードを確認。

・ドローンに飛行高さ測定用の模擬ケーブルを取付け、上昇可能な高さまで飛行させた際にけん引できたケーブルの長さを測定し、ケーブルの単位重量からペイロードとして換算。

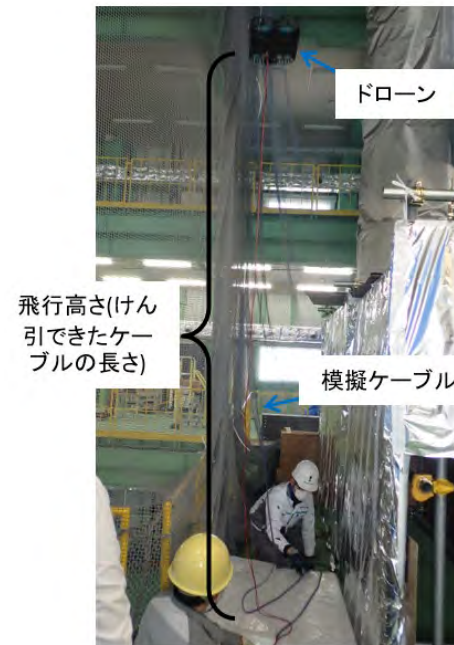
【結果】(1)ドローン大きさは、長さ438mm、幅270mm、高さ47.4mmであり、ガイドパイプ内径φ290mm以内を通過可能。

(2)飛行高さは3～5m程度であり、けん引できたケーブル長さから換算したペイロードは、465～800gとなった。

給電ケーブルの電圧降下により、目標飛行高さ7mまで到達することができなかったため、給電ケーブルの仕様見直しが必要となる。



(※1) 無線ドローンを模擬的に有線ドローン仕様として試験を実施した。



試験状況

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.49

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-2

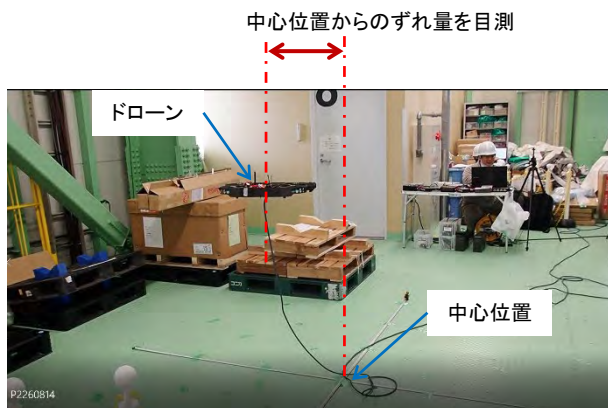
<単体試験:有線ドローン(旋回性)>

【概要】(1)カメラのパン機能は、ドローンによる旋回動作にて行う予定のため、旋回性能として、旋回中心からのずれ量を確認する。

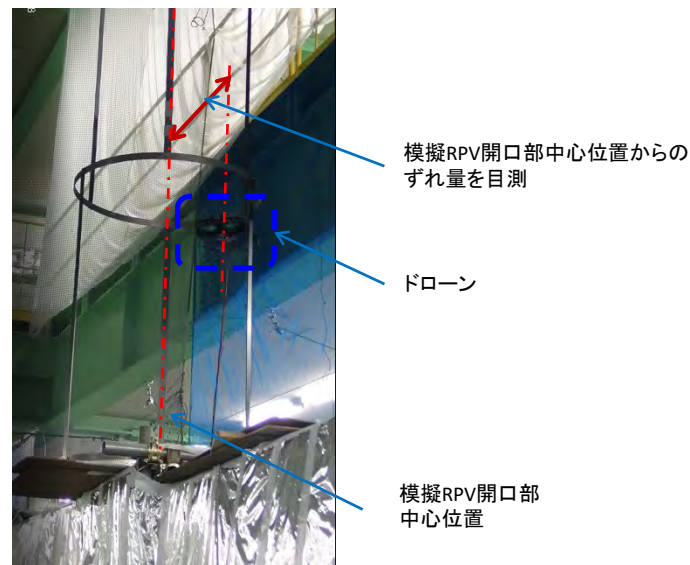
【結果】(1)ドローンの旋回性は、飛行高さ1～2mにおいて $\phi 2 \sim \phi 2.5\text{m}$ 、飛行高さ4～5mにおいて $\phi 1 \sim \phi 1.5\text{m}$ となり、RPV開口部径 $\phi 1\text{m}$ よりも大きく、 $\phi 1\text{m}$ 内での旋回は不可となる結果であった。

(2)ドローンの旋回性能の向上を図るには、4つのプロペラ配置を現状の長方形から等間隔となる正方形に近い形に配置する必要があるが、寸法制約上、困難である。(ドローン長さ方向の長い等間隔配置では、ガイドパイプ内径 $\phi 290\text{mm}$ 以上になるため、不可となる。また、ドローン幅方向の短い等間隔の配置ではフライトコントローラ等の機器を搭載するスペースが狭くなるため、必要機器を搭載できない。)

(3)上記により、旋回性能を向上させるための対策は実施せず、RPV開口部内では極力旋回しない運用方針とし、ドローンの旋回により確認することになっていたRPV底部内側の状況は、ドローン下面にパン・チルト機構付きカメラを設置することでCRDハウジング上面付近の高さから調査する運用方法を検討する。



試験状況(飛行高さ1～2m)



試験状況(飛行高さ4～5m)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.50

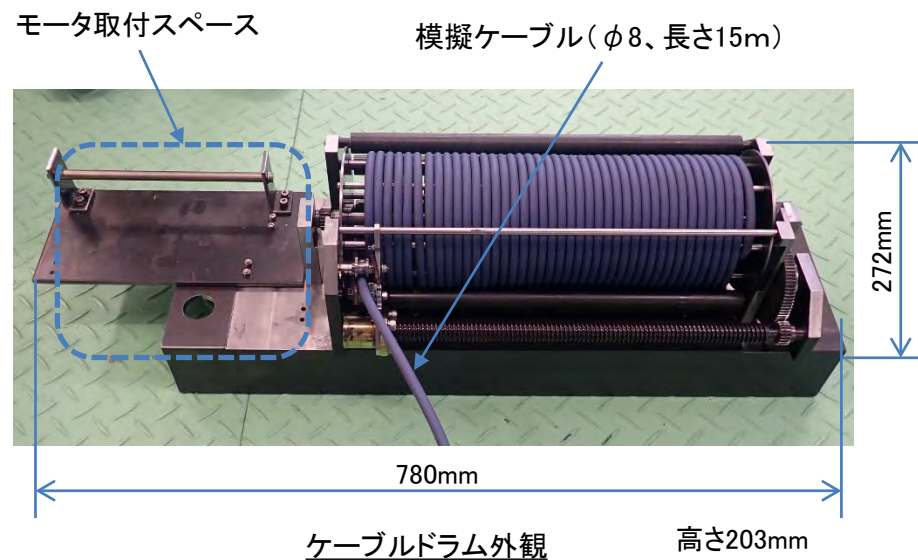
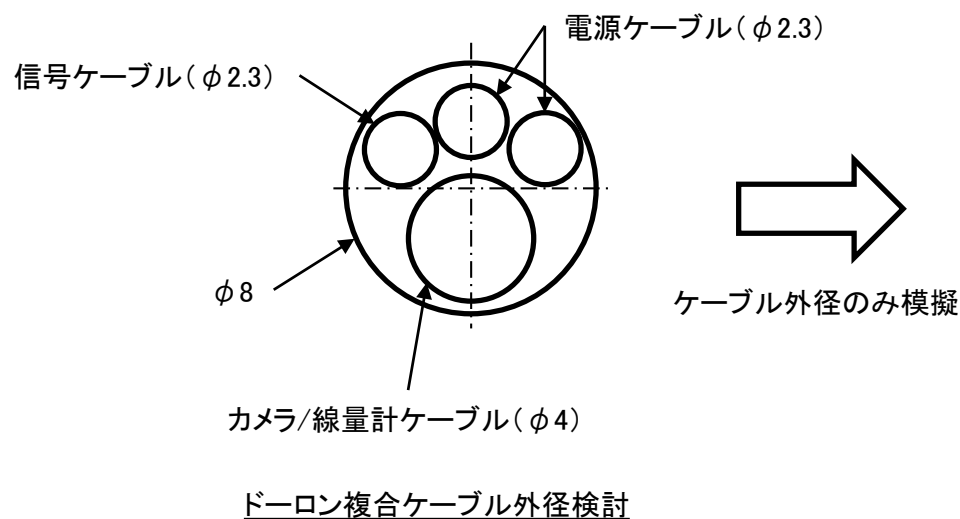
2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-3

<単体試験:ケーブルドラム(ケーブル送り/巻取り可否)>

【概要】(1)ケーブルドラム(手動)に長さ15mを収納し、ケーブル送り/巻取り可能かを確認。

【結果】(1)有線ドローンの複合ケーブル外径を検討し、手動のケーブルドラムを試作した。

(2)長さ15mのケーブルを収納し、大きさ $\phi 290\text{mm}$ 以内にでき、ケーブル送り/巻取りできることを確認した。



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

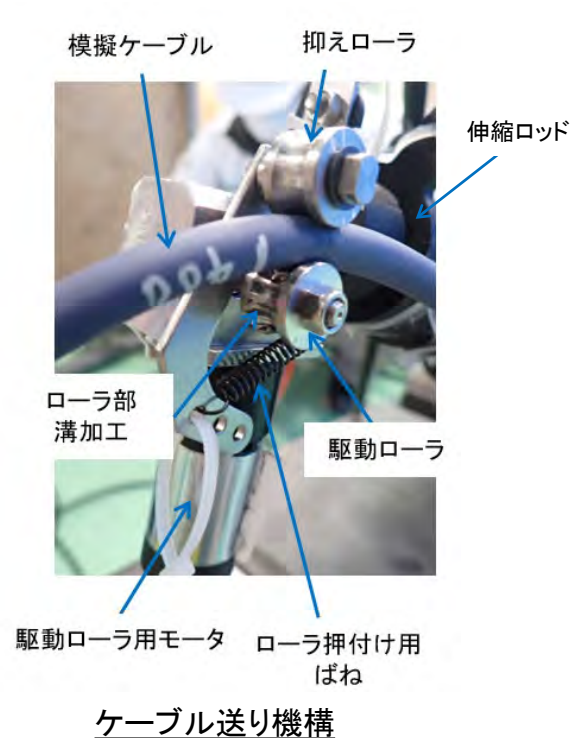
No.51

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-4

<単体試験:ケーブル送り機構(ケーブル送り/戻し操作可否)>

【概要】(1)ケーブル送り機構でケーブル送り/戻し操作が可能かを確認。

【結果】(1)ケーブル送り機構にて、ドローン必要高さ7m分のケーブルを送り出し、かつ巻き戻しが出来ることを確認した。



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.52

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-5

＜伸縮ロッド等との組合試験:CRD/RPV開口部通過性、ケーブル引っ掛かり有無、調査/動作パターン＞

【概要】(1)CRD開口部およびRPV開口部を模擬した環境で、有線ドローン・ケーブル送り機構・伸縮ロッド・ケーブルドラムを組合せ、動作確認を行う。

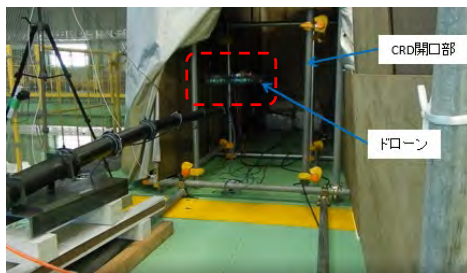
(2)動作確認は、調査時の動作手順により、以下2パターンで確認した。

- ・動作パターンA: 往路 ドロْنَをRPV開口部直下まで飛行(ホバリングで待機)→伸縮ロッド伸展→ドロْنَ上昇/調査
復路 ドロْنَをRPV開口部直下まで下降(ホバリングで待機)→伸縮ロッド収縮→ドロْنَをCRD開口部外まで飛行
- ・動作パターンB: 往路 伸縮ロッド伸展→ドロْنَをRPV開口部直下まで飛行→ドロْنَ上昇/調査
復路 ドロْنَをCRD開口部外まで飛行→伸縮ロッド収縮

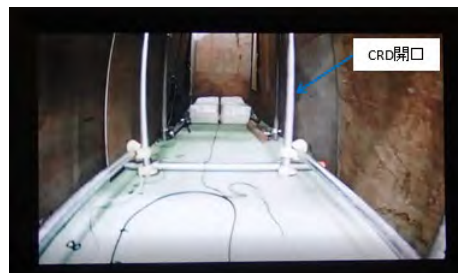
【結果】(1)ドロْنَケーブルが伸縮ロッドに引っ掛かるリスクを考慮し、動作パターンAの方が適している。

〔評価凡例〕 ○:問題なし、△:懸念有り、×:不可

No.	CRD開口部通過性	RPV開口部通過性	ケーブル引掛り	飛行時のカメラ映像	備考
動作パターンA	○	○	○	○	・RPV開口部下降時にケーブルが床面に接触した。
動作パターンB	○	○	△	○	・RPV開口部下降時にケーブルが床面に接触した。 ・復路において伸縮ロッドとのケーブル引っ掛かり事象が確認された。



〔飛行状態〕



〔カメラ画像〕

試験状況(CRD開口部通過時)



〔飛行状態〕



RPV開口

〔カメラ画像〕

試験状況(RPV開口部通過時)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.53

2.実現性検討 E:試験等の実施【有線ドローン】 試験No.:1-6

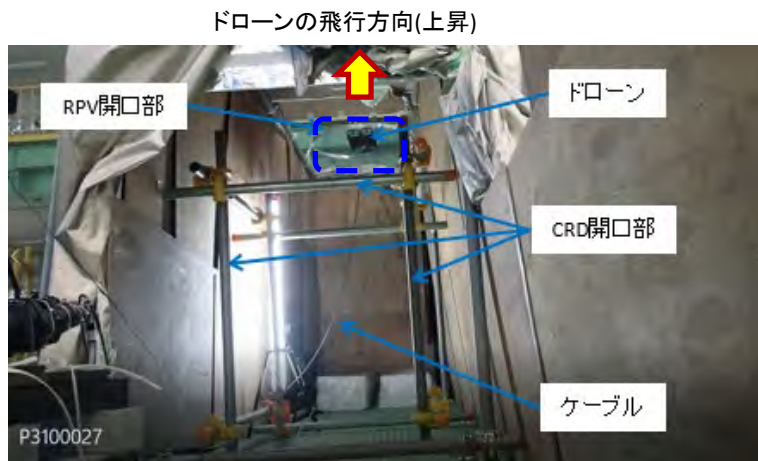
＜伸縮ロッド等との組合試験:CRD/RPV開口部通過性、ケーブル引っ掛かり有無、調査/動作パターン＞

【概要】(1)CRD開口部およびRPV開口部を模擬した環境で、有線ドローン・ケーブルドラムを組合わせ動作確認を行う。

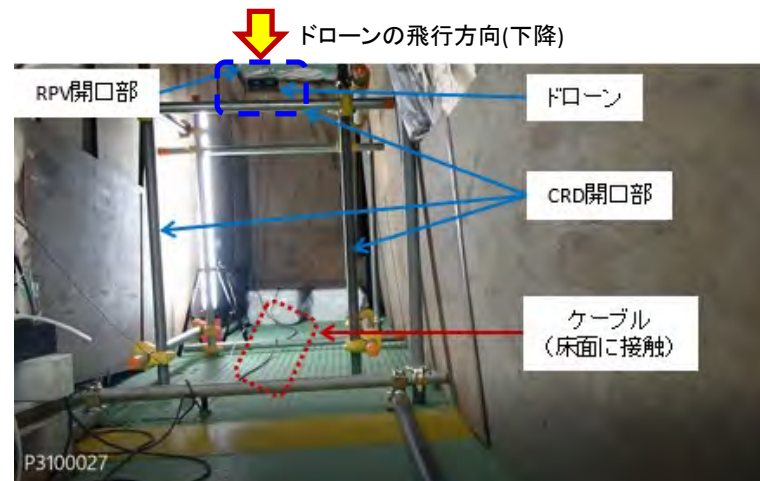
【結果】(1)CRD開口部などとのケーブル引っ掛かり回避やケーブル質量による負荷軽減を目的としたケーブル送り機構及び伸縮ロッドを使用しなくても、ペデスタル内およびRPV内を飛行することは可能と考える。但し、ドローンの下降動作時にケーブルと床面が接触するため、接触を回避する対策(ドローンの飛行動作とケーブルドラムの巻取り動作を同調させるなど)の検討が必要である。

〔評価凡例〕 ○:問題なし、△:懸念有り、×:不可

No.	CRD開口部通過性	RPV開口部通過性	ケーブル引掛り	飛行時のカメラ映像	備 考
1	○	○	○	○	RPV開口部下降時にケーブルが床面に接触した。



試験状況(RPV開口部上昇時)



試験状況(RPV開口部下降時)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.54

2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】

<無線ドローンの開発課題、対応方針(目標仕様)、簡易試験内容>

区分	開発課題	対応方針(目標仕様)	簡易試験	確認項目	試験No.	検討結果
無線ドローン 本体	大きさ	ガイドパイプ内径(φ290mm)を通過できる構造であること。	単品試験	大きさ	2-1	No.54参照
	ペイロード	ドローン本体重量を牽引可能であること。	単品試験	ペイロード、飛行高さ	2-1	No.54参照
	バッテリー寿命	10分間(暫定)飛行可能であること。 (調査時間を1分間～4分間、往復飛行時間を6分間と仮定)	単品試験	飛行時間	2-2	No.55参照
	飛行安定性	搭載カメラ映像のみで制御し、1000mm径内の範囲を飛行可能であること。	組合試験	CRD/RPV開口部通過性等	2-5	No.58参照
	視野範囲 (調査範囲)	・CRDハウジング上面(高さ7m)まで飛行できること。 ・上下90°、水平360°の範囲を視認できること。	単品試験	旋回性	2-3	No.56参照
無線システム	通信安定性	PCVコンクリート、制御棒駆動機構、RPV下鏡の全部または一部を介した環境で電波強度が低減しても通信できること。	単品試験	通信性確認	2-4	No.57参照
伸縮ロッド	構造	CFRP(※1)の多段式ロッドとし、エア駆動で伸縮すること。	—	—	—	他の補助事業の開発技術を活用する。
	大きさ	クローラに搭載するため、収納した状態でφ290mmの半円状以内のサイズであること。				
	ペイロード	先端に送受信機を搭載可能であること。				

(※1)CFRP:Carbon Fiber Reinforced Plastics(炭素繊維強化プラスチック)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.55

2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】 試験No.:2-1

<単体試験:無線ドローン(大きさ、ペイロード、飛行高さ)>

【概要】(1)無線ドローンの大きさを確認。

(2)無線ドローンのペイロードを確認。

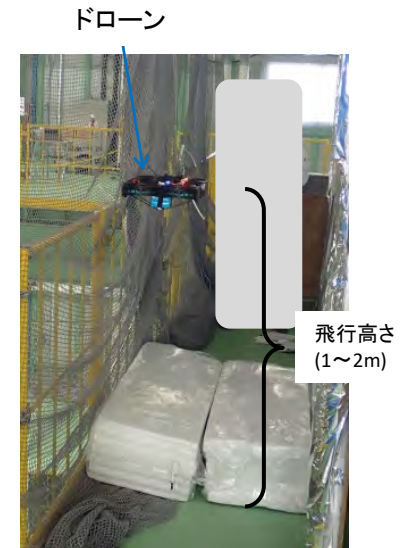
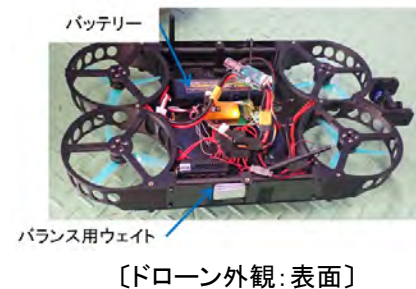
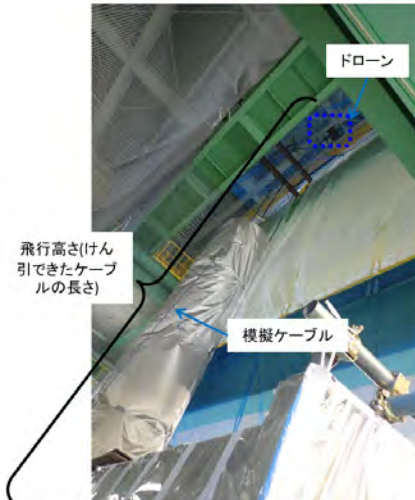
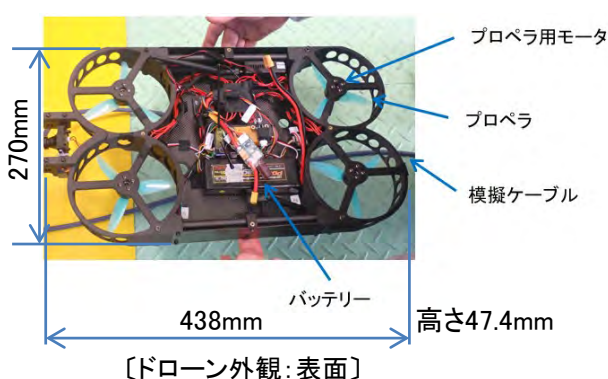
・ドローンに飛行高さ測定用の模擬ケーブルを取付け、上昇可能な高さまで飛行させた際にけん引できたケーブルの長さを測定し、ケーブルの単位重量からペイロードとして換算。

・ドローン下部にウェイトを付加し、無線ドローンを飛行させ、ペイロード上限の確認を行った。

【結果】(1)ドローン大きさは、長さ438mm、幅270mm、高さ47.4mmであり、ガイドパイプ内径φ290mm以内を通過可能。

(2)飛行高さは9～10m程度であり、けん引できたケーブル長さから換算したペイロードは、平均882gであった。

(3)ドローンに900g、1000g、1100g、1200gのウェイトを付加して飛行させた結果、1100gのウェイトまでは問題ない結果となった。1200gのウェイトを搭載した場合、上昇飛行は可能だが、飛行時の機体のふらつきが大きく、また、プロペラモータ電流値がバッテリー電流(3.5A)に対し、バッテリー損傷の恐れがある80Aを超過した為、本ドローンにおけるペイロードの上限値は1100gであると判断した。



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.56

2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】 試験No.:2-2

＜単体試験:無線ドローン(連続飛行時間(バッテリー寿命))＞

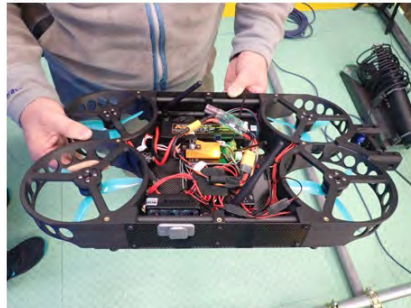
【概要】(1)無線ドローンの連続飛行時間(バッテリー寿命)を確認

【結果】(1)連続飛行時間(バッテリー寿命)は以下の確認結果となった。

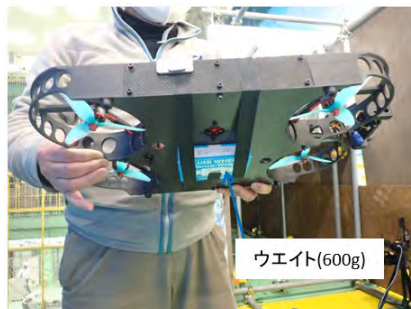
- ・ホバリング状態:4分23秒～4分40秒

- ・上昇下降の繰り返し状態:(1～7m間の往復) 2分26秒～2分36秒、(1～2m間の往復) 2分35秒～3分22秒

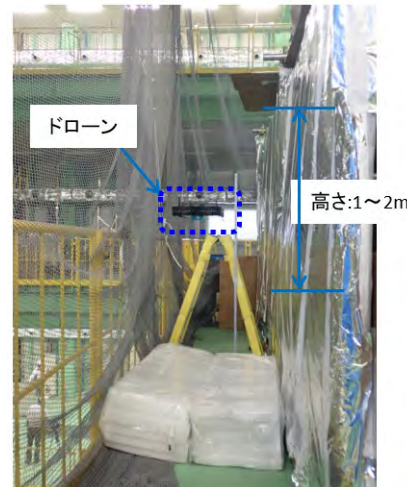
(2)RPV内部調査時間を10分間(暫定)(調査時間を1分間～4分間、往復飛行時間を6分間と仮定)した場合、飛行時間に裕度がないため、バッテリーの大型化や複数化等の対策が必要となる。



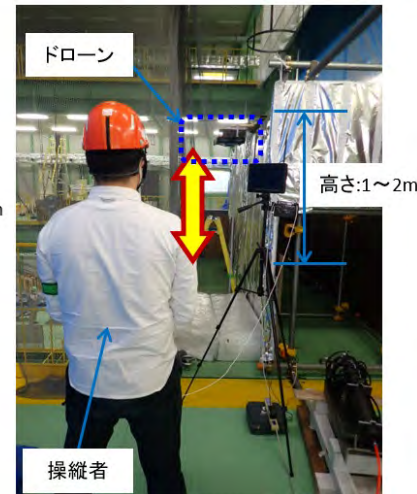
〔ドローン外観:表面〕



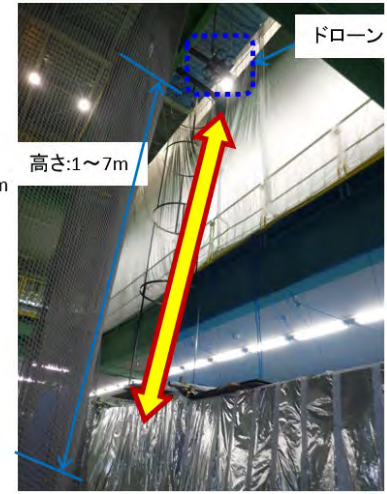
〔ドローン外観:裏面〕



〔ホバリング状態
:飛行高さ1～2m〕



〔上昇下降繰り返し
:飛行高さ1～2mの往復〕



〔上昇下降繰り返し
:飛行高さ1～7mの往復〕

試験状況

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.57

2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】 試験No.:2-3

<単体試験:無線ドローン(旋回性)>

【概要】(1)カメラのパン機能は、ドローンによる旋回動作にて行う予定のため、旋回性能として、旋回中心からのずれ量を確認する。

【結果】(1)ドローンの旋回性は、飛行高さ1～2mにおいて $\phi 2\text{m}$ 、飛行高さ4～5mにおいて $\phi 4 \sim \phi 7\text{m}$ となり、RPV開口部径 $\phi 1\text{m}$ よりも大きく、 $\phi 1\text{m}$ 内での旋回は不可となる結果であった。

(2)ドローンの旋回性能の向上を図るには、4つのプロペラ配置を現状の長方形から等間隔となる正方形に近い形に配置する必要があるが、寸法制約上、困難である。(ドローン長さ方向の長い等間隔配置では、ガイドパイプ内径 $\phi 290\text{mm}$ 以上になるため、不可となる。また、ドローン幅方向の短い等間隔の配置ではフライトコントローラ等の機器を搭載するスペースが狭くなるため、必要機器を搭載できない。)

(3)上記により、旋回性能を向上させるための対策は実施せず、RPV開口部内では極力旋回しない運用方針とし、ドローンの旋回により確認することになっていたRPV底部内側の状況は、ドローン下面にパン・チルト機構付きカメラを設置することでCRDハウジング上面付近の高さから調査する運用方法を検討する。



試験状況(飛行高さ1～2m)



試験状況(飛行高さ4～5m)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.58

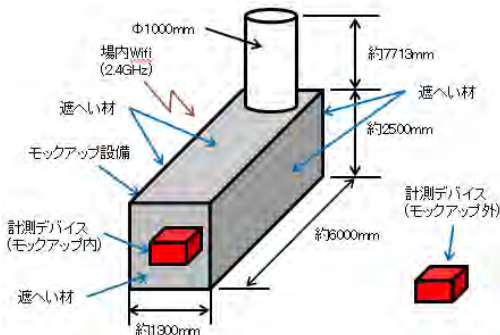
2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】 試験No.:2-4

<単体試験:無線ドローン(通信性確認)>

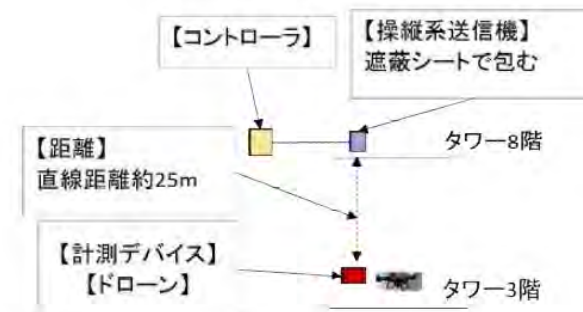
【概要】(1)ドローンと送受信機の位置による通信性の確認。(RPV(板厚200mm)内にドローン、ペデスタル内に送受信機を配置し、RPV想定開口φ1000mmからの通信性の確認)

【結果】(1)電波遮へいを施したモックアップ設備内に送受信機を配置し、φ1000mmの開口模擬よりドローンを飛行させたが、送受信機とφ1000mmの位置に関係なく、どの位置でもドローン操作は可能であった。この時のモックアップ設備の電波遮へい効果は通常電波強度-45dBmが-57dBm程度の遮へい。

- (2)ドローン飛行不可となる電波強度を測定するため、板厚28mmの金属容器内にドローンを入れ電波遮へい単体試験を実施し、-85dBm程度までの減衰を確認したが、ドローン操作可能であった。これは、容器のわずかな隙間から電波が漏れ完全に電波遮断が出来ていないものと想定。
- (3)ドローンの操作が不可となった条件は、2重の遮へいシートで包んだ送信機とドローンを約25m～30m離れた別フロアに配置した場合であった。但し、ドローン以外の電波が計測され、ドローン電波との判別が出来ず電波強度を測定不可。
- (4)以上より、(1)がドローン操作可能であったのは、RPV板厚200mm同等の電波遮へいが出来ず、電波が漏れていた為と推定。
- (5)実機では、RPVで電波は完全に遮断されるものの、φ1000mm開口部とドローン及び送受信機の位置によっては操作可能となるものと考えが、再度実機RPV同等の電波遮へい可能な試験方法・条件を検討し試験を行い検証する必要がある。



試験イメージ(試験設備の減衰効果確認)



試験イメージ(遮へい方法の組合せでの減衰効果確認)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.59

2.実現性検討 E:試験等の実施【無線ドローン】 試験No.:2-5

＜伸縮ロッド等との組合試験:CRD/RPV開口部通過性、調査/動作パターン＞

【概要】(1)CRD開口部およびRPV開口部を模擬した環境で、無線ドローン、伸縮ロッド(先端に送受信機搭載)を組合せ、動作確認を行う。

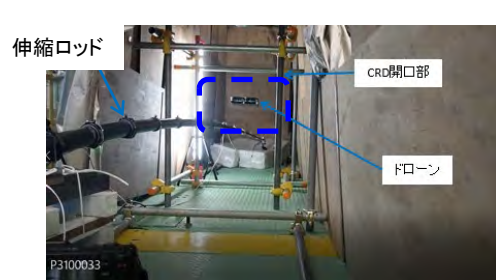
(2)動作確認は、調査時の動作手順により、以下2パターンで確認した。

- ・動作パターンA:往路 ドロンをRPV開口部直下まで飛行(ホバリングで待機)→伸縮ロッド伸展→ドローン上昇/調査
復路 ドロンをRPV開口部直下まで下降(ホバリングで待機)→伸縮ロッド収縮→ドローンをCRD開口部外まで飛行
- ・動作パターンB:往路 伸縮ロッド伸展→ドローンをRPV開口部直下まで飛行→ドローン上昇/調査
復路 ドロンをCRD開口部外まで飛行→伸縮ロッド収縮

【結果】(1)動作パターンAとBでは大きな有意差はなかったが、飛行時間(バッテリー寿命)を考慮し、ホバリング状態での待機時間がない、動作パターンBの方が適している。

〔評価凡例〕 ○:問題なし、△:懸念有り、×:不可

No.	CRD開口部通過性	RPV開口部通過性	ケーブル引掛け	飛行時のカメラ映像	備考
動作パターンA	○	○	—	○	RPV開口部の下降時にドローン操作を誤り墜落した。
動作パターンB	○	○	—	○	



〔飛行状態〕



〔カメラ画像〕

試験状況(CRD開口部通過)



〔飛行状態〕



RPV開口部 〔カメラ画像〕

試験状況(RPV開口部通過)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.60

3. 実現性評価 F: 試験結果を踏まえた評価

<簡易試験結果の評価>

〔評価結果凡例〕 ○:適用可能、△:仕様見直し等で適用可能性有り、×:適用困難、—:評価対象外

調査要領		パターン1	パターン2	パターン3	パターン4(※1)
調査装置		有線ドローン	有線ドローン	無線ドローン	無線ドローン
補助装置		①ケーブル送り機構 ②伸縮ロッド ③ケーブルドラム	①ケーブルドラム	①伸縮ロッド ②送受信機	①送受信機
評価項目	飛行高さ	△ 電圧降下の影響で必要高さ7m飛行不可。	△ 同左	○ 必要高さ7m飛行可能。	○ 同左
	飛行時間 (バッテリー寿命)	○ 制限無し。	○ 同左	△ 制限有り。	△ 同左
	通信安定性	— 無線通信無し。	— 同左	△ 電波を完全に遮断することは困難(実機も同等と推測)。	△ 同左
	CRD開口部の通過性	○ 模擬CRD開口部との接触無し。	○ 同左	○ 模擬CRD開口部との接触無し。	○ 同左
	RPV開口部の通過性	△ 模擬RPV開口部に接触し、スムーズに飛行できない場合有り。	△ 同左	△ 模擬RPV開口部に接触し、スムーズに飛行できない場合有り。	△ 同左
	ペDESTアル内補助装置との組合せ	△ 伸展した伸縮ロッドにケーブルが引っ掛かる場合有り。	— 対象外	○ 特に問題無し。	— 対象外

(※1) パターン4の試験結果は、パターン3の試験結果からの推定評価とした。

飛行高さに課題はあるが、飛行時間に制限がない有線ドローンを採用する。(機器構成が少なく、ケーブル引っ掛かりリスクがない、パターン2とする)

また、有線ドローンのバックアップとして、無線ドローンも検討する。(実機での電波遮断リスクがあると想定し、パターン3とする)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

1号機

No.61

3. 実現性評価 F: 試験結果を踏まえた評価

<2021年度の対応方針案>

簡易試験の結果を踏まえて、課題に対し、2021年度に検討を進める。

区分	課題	2021年度の対応案
有線ドローン (パターン2)	給電電圧の安定供給	・プロペラ用モータ駆動可能なDC-DCコンバータの選定
	給電ケーブル電圧 降下による飛行高さ 不足	・給電ケーブルの軽量化(高電圧・低電流仕様) ・複合ケーブルの試作(操作系・給電・カメラ) ・給電ケーブル軽量化に伴う小型・高電圧タイプのモータおよびESCの試作(高電圧を低電圧に可能なDC-DCコンバータを搭載可能であれば、今回使用した小型・低電圧タイプが使用可能と推測)
無線ドローン (パターン3)	飛行時間の延長	・バッテリーの容量増加、搭載数増加
共通 (環境条件)	耐放射線性	・部品レベルでの照射試験や机上検討
	暗闇、降雨環境	・暗闇環境での試験実施を検討 ・防水規格に沿った機器の選定

2/3号機: テレスコピックによるRPV内へのアクセス装置の開発

<目的>

2/3号機向けの下部アクセス調査工法として、燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置にテレスコピック機構を用いたアクセス装置を搭載してペデスタル内からRPV内部へアクセスさせる工法について、簡易的な試験を実施し、実現性を評価する。

<実施内容>

下記3種類の簡易試験を実施。

- CFRP接着部強度確認試験
- シール性能確認試験
- 挙動確認試験

<結果>

14段で設計検討しているテレスコピック式アクセス装置に関し、3段でのテレスコパイプによる簡易試験にて基本的な性能(伸縮動作、伸展量等)を確認した。シール部のリークや摺動抵抗が高いという課題が挙がったが、機構そのものについては実現性があると評価した。

<残る課題>

- ・シール部のリーク量及び摺動抵抗低減
- ・他事業にて開発中のアーム型アクセス装置との取り合い、仕様調整

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

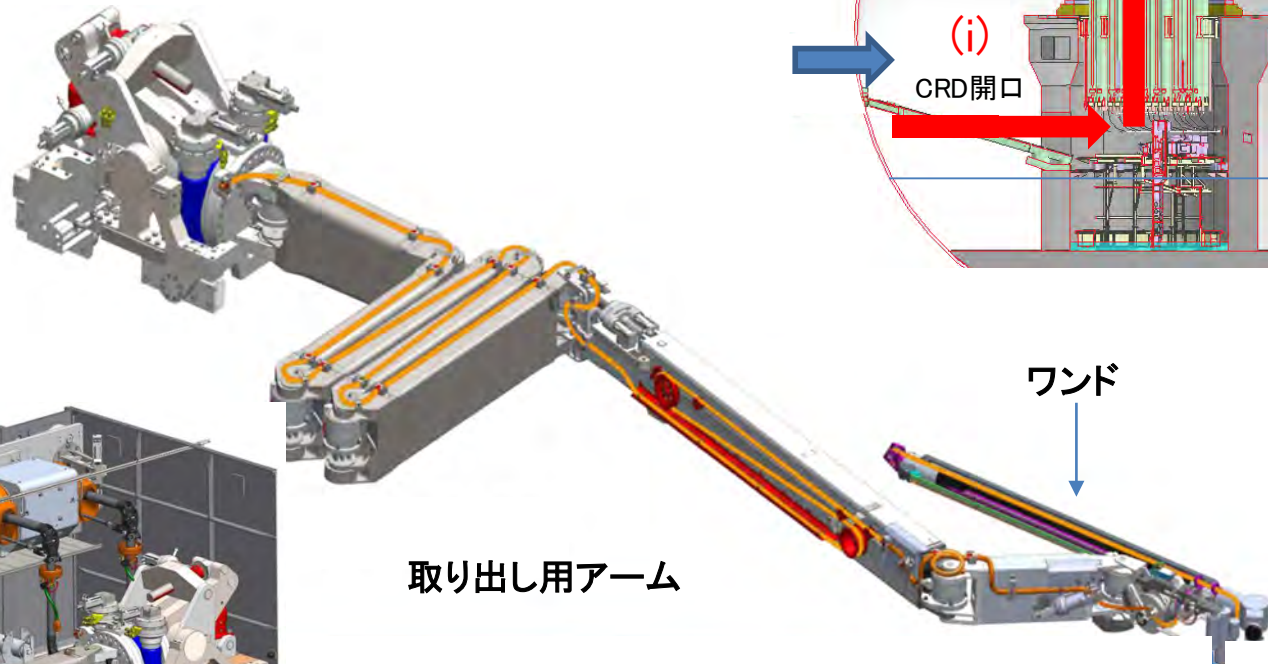
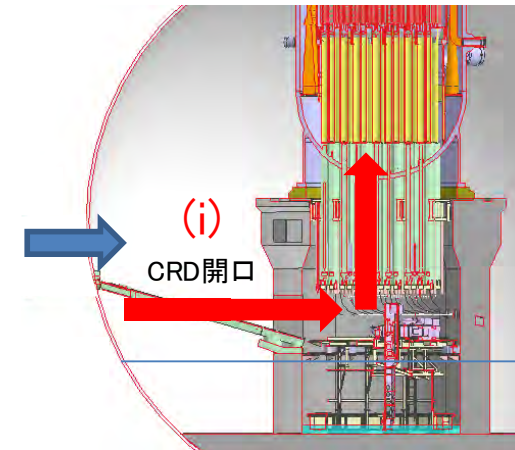
No.63

1. 調査計画の立案 C: 適用技術の整理

(i) ペDESTAL内へのアクセス装置

2号機: 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発の開発状況

項目	仕様
PCV内 アクセス位置	X-6ペネ
ペDESTAL内へ のアクセス位置	CRD開口(気中)
ペDESTAL内へ のアクセス装置	取り出し用アーム



双腕マニピュレータ(Dexter)

取り出し用アーム

取り出し用エンクロージャ

取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等) ペDESTAL内へのアクセス装置として流用可能な見込み

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.64

1. 調査計画の立案 C: 適用技術の整理

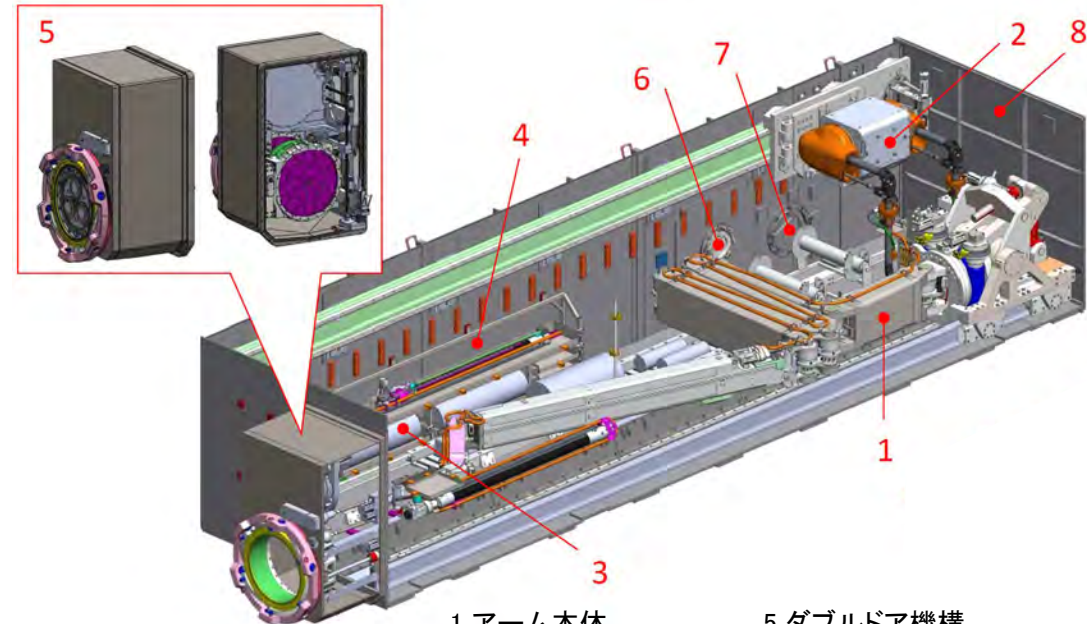
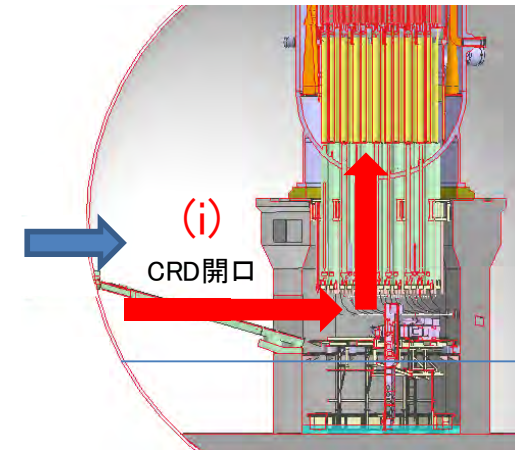
(i) ペデスタル内へのアクセス装置

2号機: 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発の開発状況

「燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」事業で開発中のアーム型アクセス装置を流用することで検討し、極力改造等がなく取合えるよう、当該事業との調整会議を実施した。

先端ツールの運用(全く改造しない場合の主な取り扱い条件)は以下であった。

- ・アームとの取り合いは取り出し用アーム先端のツールチェンジャ部。
- ・エンクロージャ内での先端ツールの寸法制約は全長700mm。
- ・エンクロージャから汚染したツールを取り出す際に、DPTE350というコンテナに入れる必要があるが、その奥行きが約400mmのためそれに収まるようにアームに搭載するツールは分割できるようにする必要がある。
- ・装置の直径に関する寸法制約はφ250mmとX-6ペネを通過可能な断面形状。
- ・アームの可搬重量は15kg。
- ・先端のツールに供給できるユーティリティはアームに付けるケーブル仕様により制約がある。
- ・先端のツールは双腕アーム(Dexter)で扱う。また、吊り耳を設ける必要がある。等



- | | |
|------------------|-------------------------|
| 1 アーム本体 | 5 ダブルドア機構 |
| 2 Dexter マニピュレータ | 6 DPTE270 (Padirac) ポート |
| 3 各種ツール | 7 DPTE350 ポート |
| 4 ツール保管ラック | 8 背面パネル |

制約条件が厳しいため運用上の対応や軽微な
対応で緩和できそうな条件を整理

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

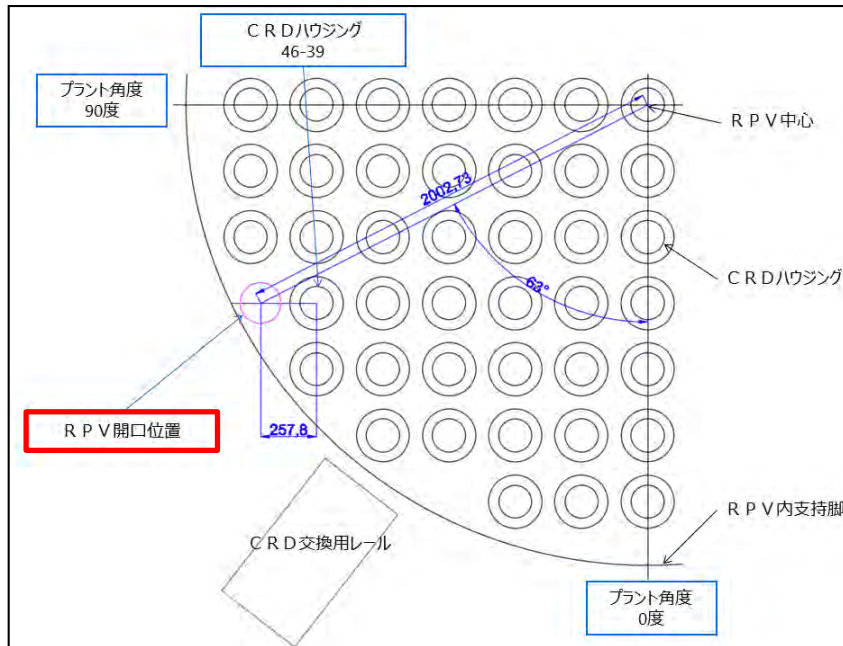
2/3号機

No.65

2. 実現性検討 D: 実現性評価項目の検討

2/3号機向け下部アクセス調査工法における環境条件及び前提条件

- 線量率: 100Sv/h
- 温度: 50℃
- 湿度: 100%
- その他: 暗闇、降雨、霧環境
- RPV下部開口部仮設定位置
 - ・2号機: CRDハウジング46-39近傍
 - ・3号機: CRDハウジング38-35の位置
- RPV下部開口部の外径
 - ・2号機: 187mm(上部タイプレート寸法より)
 - ・3号機: 284mm(CRガイドチューブの外形寸法より)
- RPV下部開口部仮設定位置から下の構造物の状態:
 - ・2号機: RPV下部開口部から下に $\phi 187\text{mm}$ の円筒状の空間が存在
 - ・3号機: RPV下部開口部から下に $\phi 284\text{mm}$ の円筒状の空間が存在



2号機 下部開口位置



3号機 下部開口位置

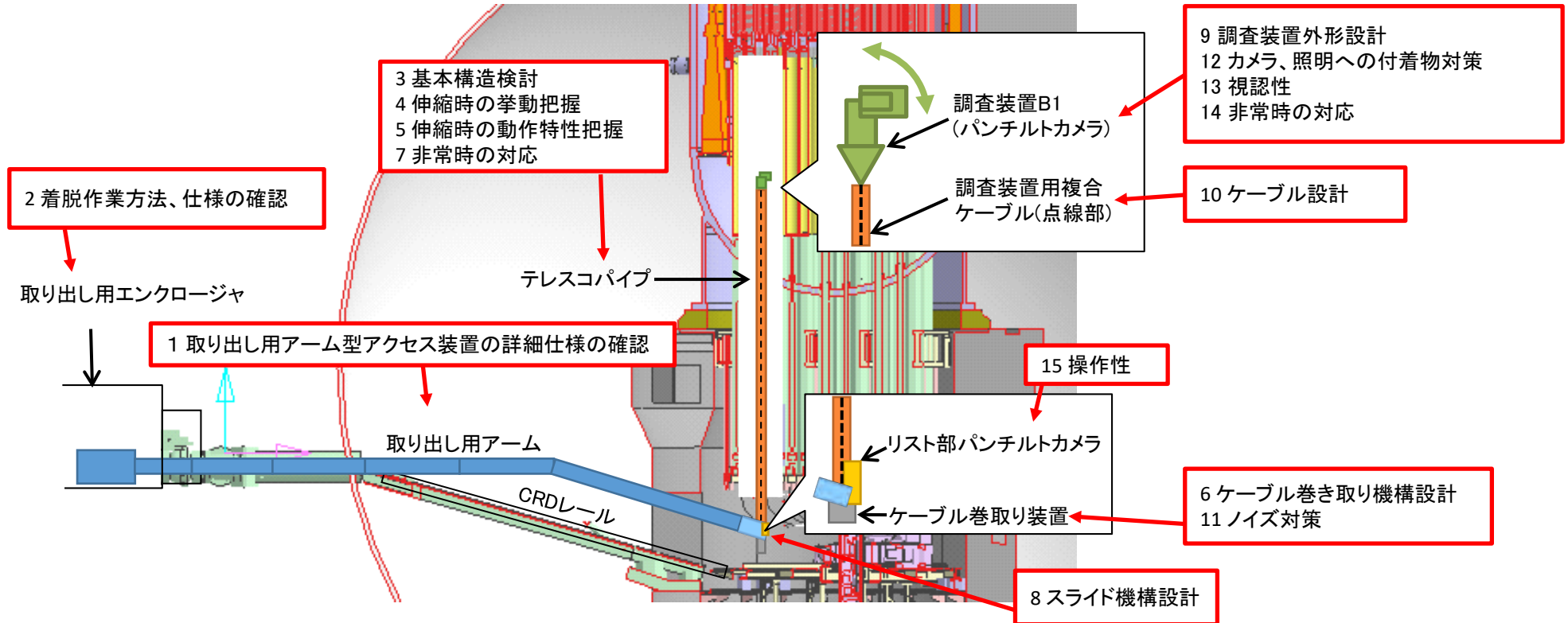
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.66

2. 実現性検討 D: 実現性評価項目の検討

2/3号機向け下部アクセス調査工法における課題の概要



<テレスコパイプの概略仕様>

- ・収縮時: 約1m 展開時: 約8m
- ・パイプ径: $\phi 97 \sim 32\text{mm}$ の14段構成
- ・材質: CFRP
- ・厚み: 1mm
- ・重量: 約12kg(カメラ、ケーブルドラム付き)



$\phi 100\text{mm}$ 、長さ約1mという寸法制約の中で約8m伸ばすため薄肉、多段構成のテレスコパイプの開発が必要

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.67

2. 実現性検討 E: 試験等の実施

2/3号機向け下部アクセス調査工法における課題(1/2)

赤字: 簡易的な試験にて確認する項目

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2020年度の対応方針
1	ペDESTAL内へのアクセス装置	取り出し用アーム型アクセス装置との取合確認	取り出し用アーム型アクセス装置の詳細仕様の確認	・先端位置決め精度 ・アームの撓み・振動 ・各軸の可動域 ・可搬重量 ・アームの外付けケーブル仕様 ・非常時の対応方針	・装置仕様検討に資する情報として、「段階的規模拡大取り出し」PJへ確認
2			着脱作業方法、仕様の確認	・エンクロージャへの搬出入手順・輸送容器の成立性確認 ・デクスターでの取り付け、取り外し方法	・装置仕様検討に資する情報として、「段階的規模拡大取り出し」PJへ確認
3	ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置	テレスコピック式アクセス装置設計	基本構造検討	・取り出し用アーム型アクセス装置での取り扱いに伴う寸法制約における構造の成立性	・設計検討 ・テレスコパイプの薄肉化に伴うCFRP同士の接着部における強度について、試作検証により環境条件の影響を把握する
4			伸縮時の挙動把握	・節接続精度(パイプ傾き)	・設計検討 ・装置仕様検討に資する情報として、数段テレスコによる試作検証により挙動を把握する
				・伸展時の揺れ(調査装置部)	
				・鉛直設置伸展時の先端ずれ量(ガタ・たわみ)	
				・テレスコ傾斜時の伸縮挙動確認	
				・引っ掛かり時の伸縮動作確認(テレスコが引っ掛かった際に伸縮できるか、調査装置が引っ掛かった際に収縮できるか)	
・付着物による伸縮挙動への影響					
5	伸縮時の動作特性把握	・伸展時必要エア圧	・設計検討 ・装置仕様検討に資する情報として、試作検証により想定した環境条件(線量・温度)におけるシールの摺動抵抗、シール性への影響を把握する ・装置仕様検討に資する情報として、数段テレスコによる試作検証により挙動を把握する		
		・位置決め制御性			
		・空気パッキンとテレスコの摺動抵抗			
			・テレスコ回転抑制ガイドの摺動抵抗		

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.68

2.実現性検討 E:試験等の実施

2/3号機向け下部アクセス調査工法における課題(2/2)

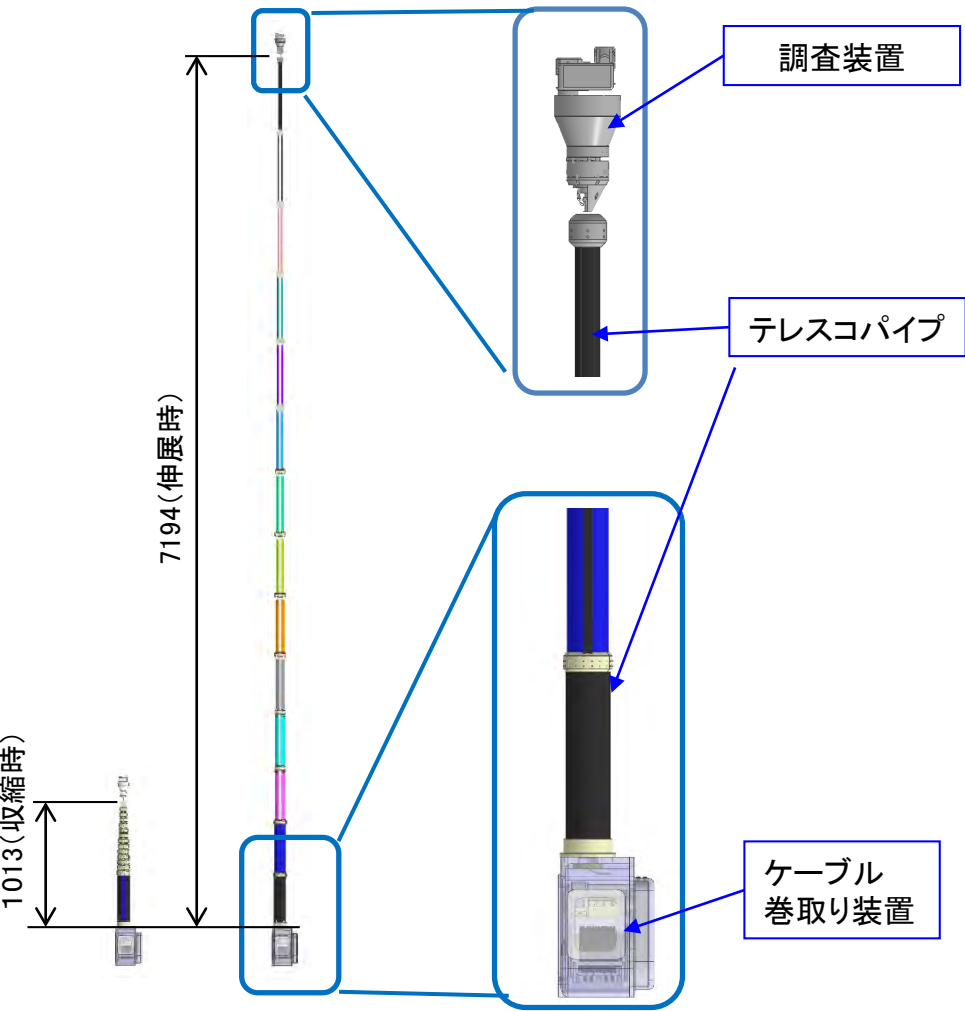
赤字:簡易的な試験にて確認する項目

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2020年度の対応方針
6	ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置	テレスコピック式アクセス装置設計	ケーブル巻き取り機構設計	・ワイヤ張力測定精度(たるみ検知可否)	・設計検討 ・装置仕様検討に資する情報として、数段テレスコによる試作検証により挙動を把握する
				・テレスコ伸縮時のケーブル巻取り張力とエア圧との連携制御	
				・リミット検出	
				・機構配置(X6ペネ通過、アーム干渉)	
7			非常時の対応	・動力遮断(断線等)、制御不能(ソフト暴走)、制御線断線、等の対応	⇒全体の装置構成が決定次第検討。
8			スライド機構設計	・機構配置(X6ペネ通過、アーム干渉)	・設計検討
9	調査装置	調査装置設計	調査装置外形設計	・X6ペネ、炉内構造物との干渉	・設計検討
10			ケーブル設計	・細径化(φ6以下を目標) ・引っ張り強度	・設計検討
11			ノイズ対策	・スリップリングを使用した際の回転時のノイズ(線量計)	⇒挙動確認試験結果、ケーブル巻き取り機構の設計がまとり次第実施。
12			カメラ、照明への付着物対策	・設計検討	⇒ケーブル細径化によるCMOSカメラ適用の検討に伴い、2021年度実施。
13			視認性	・カメラ近傍に機構や構造物が存在した場合の奥側の視認性確認(ハレーション問題) ・放射線量によるノイズで視認性低下特性の把握	⇒ケーブル細径化によるCMOSカメラ適用の検討に伴い、2021年度実施。
14			非常時の対応	・動力遮断(断線等)、制御不能(ソフト暴走)、制御線断線、等の対応	⇒全体の装置構成が決定次第検討。
15	その他	操作性	カメラを用いた操作性	・調査装置カメラおよびリスト部のカメラで、構造物との接触状況など状況を判断して操作できるか	⇒燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置の仕様が決定次第検討。
16		非常時対応	想定項目の検討	・地震、停電等のような事象を想定するか	⇒全体の装置構成が決定次第検討。 ⇒燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置の仕様が決定次第検討。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 D:実現性評価項目の検討

テレスコピック式アクセス装置:概略仕様



項目	仕様	備考
段数	14段	
材質	パイプ:CFRP、アルミ その他部品:アルミ部材	
駆動源	伸展:エア 収縮:ケーブル巻取り装置 各種モータ:電源	
パイプの厚さ	1mm	
収縮時の寸法 (テレスコパイプのみ)	1100mm以下	
伸展時の寸法 (テレスコパイプのみ)	7100mm以上	
外径	根元:φ97mm 先端:φ37mm	
エア圧	最大伸展時:0.1MPa	エア圧はパイプの段数に応じて段階的にかける計画
最大可搬重量	2kg(エア圧0.1MPa時)	
ケーブル	テレスコパイプに内蔵	
ケーブルハンドリング	根元のケーブル巻取り装置のリールの回転にて制御する。	
パイプ間のクリアランス	0.2mm	
シール材	NBR	耐放射線性: 累積1MGy

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

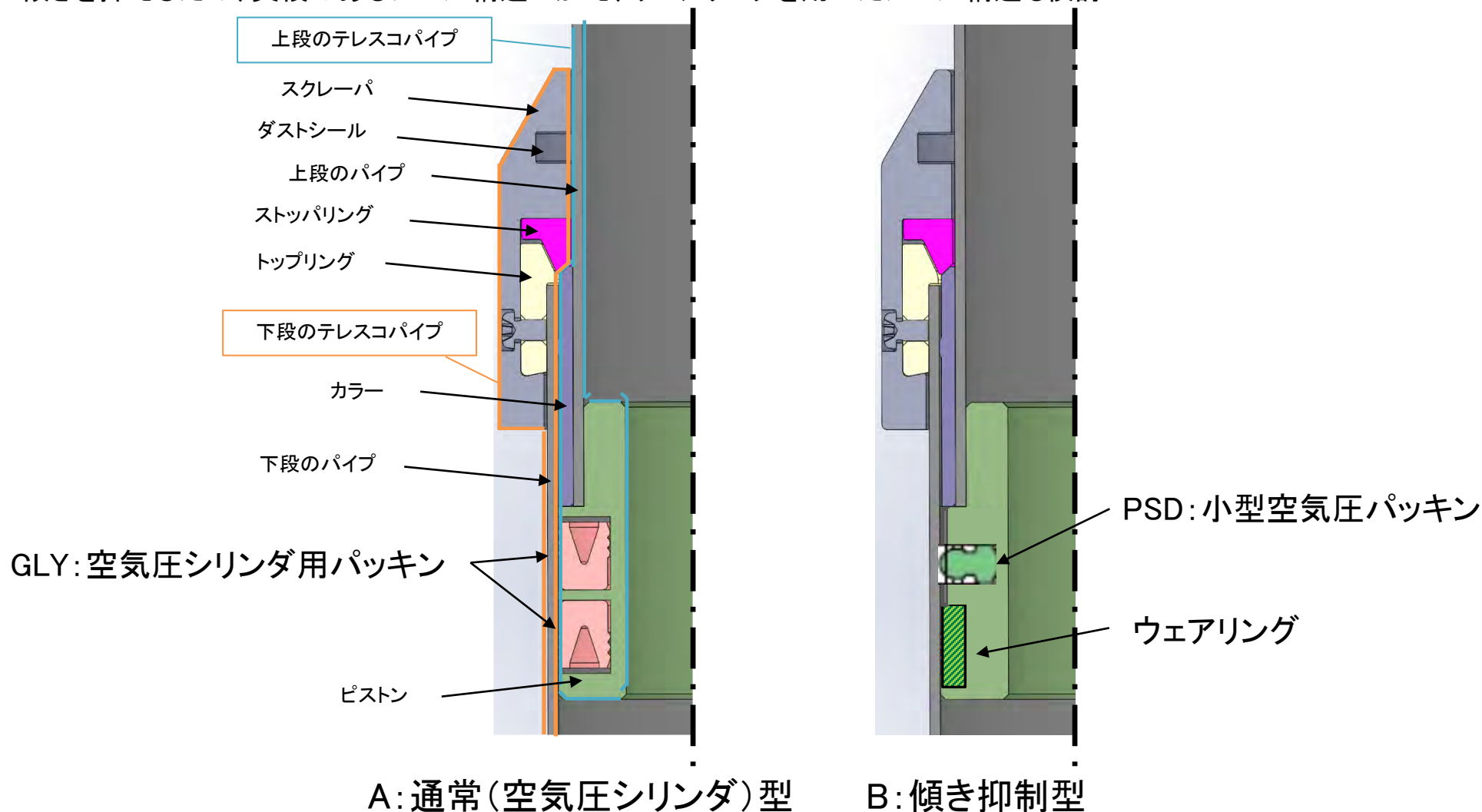
2/3号機

No.70

2. 実現性検討 D: 実現性評価項目の検討

テレスコピック式アクセス装置: シール構造

- 傾きを抑えるため、実績のあるシール構造に加え、ウェアリングを用いたシール構造も検討



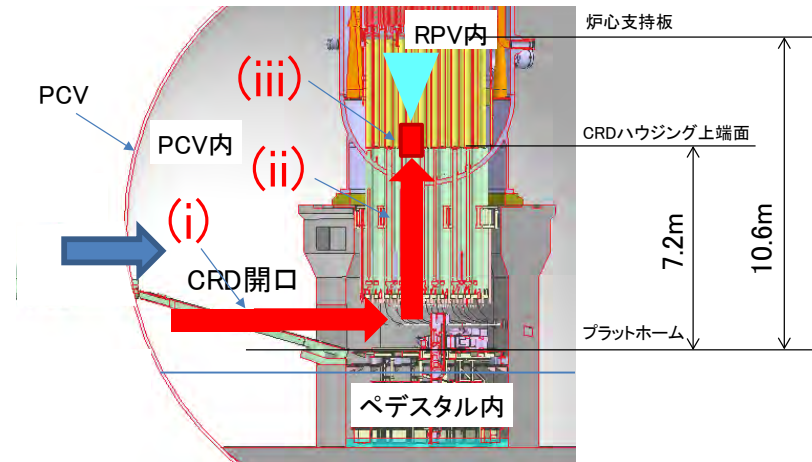
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施

➤実現性評価(試験)

「(ii)ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置」として検討しているテレスコピック式アクセス装置について、3種類の試験を実施。

- (1)テレスコピック式アクセス装置のCFRP接着部強度確認試験
- (2)テレスコピック式アクセス装置のシール性能確認試験
- (3)テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験



- (i) ペDESTAL内へのアクセス装置
⇒燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置を流用
- (ii) ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置
⇒新規開発(テレスコピック式アクセス装置)
- (iii) 調査装置
⇒過年度の「原子炉圧力容器内部調査技術の開発」にて検討した装置を流用

試験で確認する項目 (No.66、67の小項目)	対応する実現性評価試験
3.基本構造検討	(1)テレスコピック式アクセス装置のCFRP接着部強度確認試験
4.伸縮時の挙動把握	(3)テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験
5.伸縮時の動作特性把握	(2)テレスコピック式アクセス装置のシール性能確認試験 (3)テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験
6.ワイヤ巻取り機構設計	(3)テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (1)CFRP接着部強度確認試験

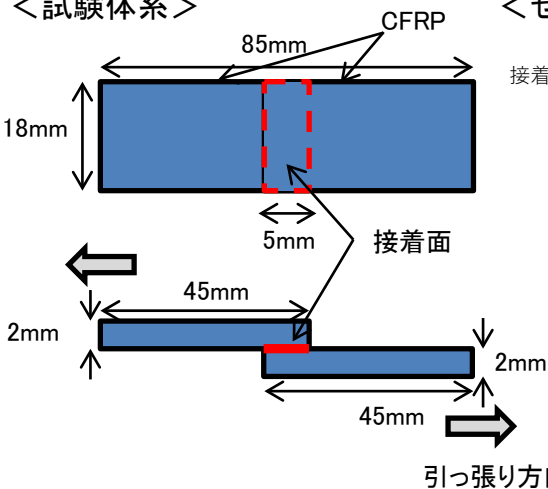
<目的>
想定される環境条件下における、CFRP同士の接着部の強度確認を確認する。

<試験概要>
小型のCFRPのサンプル片を用いて、接着部にせん断荷重をかけ、破壊応力を確認する。放射線環境はCFRP同士を接着した試験片に予め照射したもので模擬する。尚、照射線量条件0 Gy(未照射)・1000Gy(100Gy/hで10時間を想定)にて実施して環境条件の影響を確認する。
尚、試験方法はISO19095(樹脂—金属接合特性評価試験方法)を参考に実施する(過去に評価したCFRPとアルミの接着部の強度確認試験と同一)。

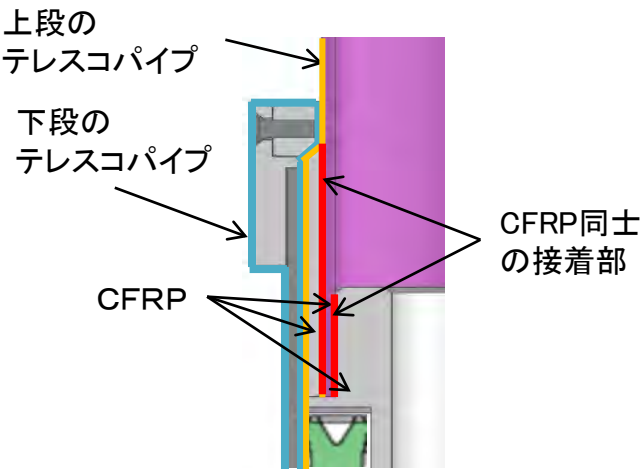
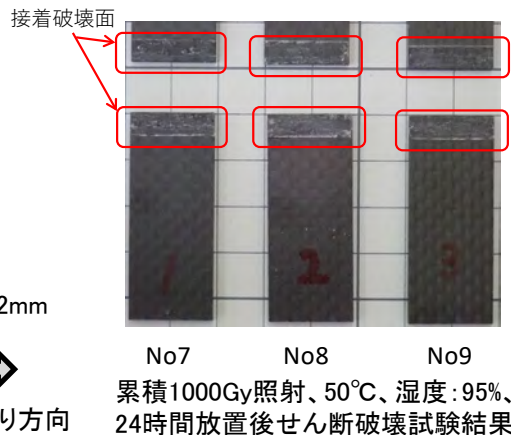
<評価項目等>

No.	試験名称	評価項目	目標(判断基準)	確認方法
1	CFRP同士の接着部強度確認	・CFRP同士の接着部にせん断荷重をかけた際の破壊応力	・せん断荷重をかけた際の破壊応力が4.7MPa以上(※1)であること。	・照射したサンプルと照射していないサンプルそれぞれにせん断荷重を加え、荷重を徐々に大きくしていき、破壊した時の応力を測定する。

<試験体系>



<せん断破壊状態>



(※1)接着部の最大応力は、ピストン最大推力は約709N(空気圧:0.1MPa×最大受圧面積(2段目スライダ部))と接着部面積:2743mm²から、0.26MPaとなる。接着長さによる接着強度低下影響:3と安全率:6を乗じて:4.7MPa以上を目標とする

<試験体系の模擬範囲>

模擬対象	模擬する点	模擬しない点	模擬しない理由
CFRP同士の接着部	・材質 ・接着剤	・接着部の面積	測定は面積あたりの破壊応力で可能であるため。
		・試験片の板厚	破壊応力に影響しないため
周囲環境	・照射線量	・暗闇	破壊応力に影響しないため

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.73

2.実現性検討 E:試験等の実施 (1)CFRP接着部強度確認試験

<試験結果>

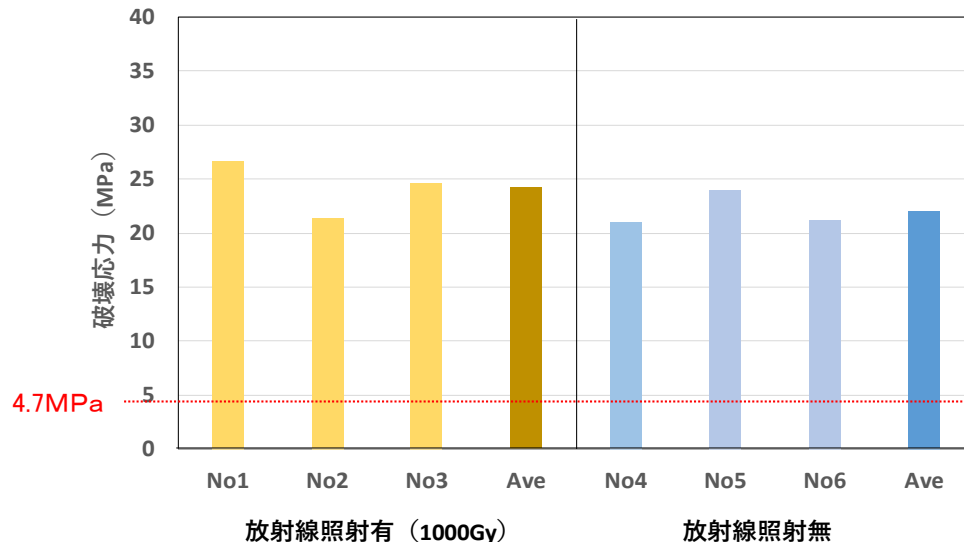
○室内環境

放射線照射後のせん断破壊応力は、21.4～26.7[MPa]で平均:24.2[MPa]に対し、未照射サンプルは、21.0～24.0[MPa]で平均:22.1[MPa]となり、接合強度に大きな差異はなかった。また、照射試験片・非照射試験片、ともに接着剤層内部で破壊が生じる凝集破壊となり、放射線照射による接着剤の劣化は無いと考えられる。

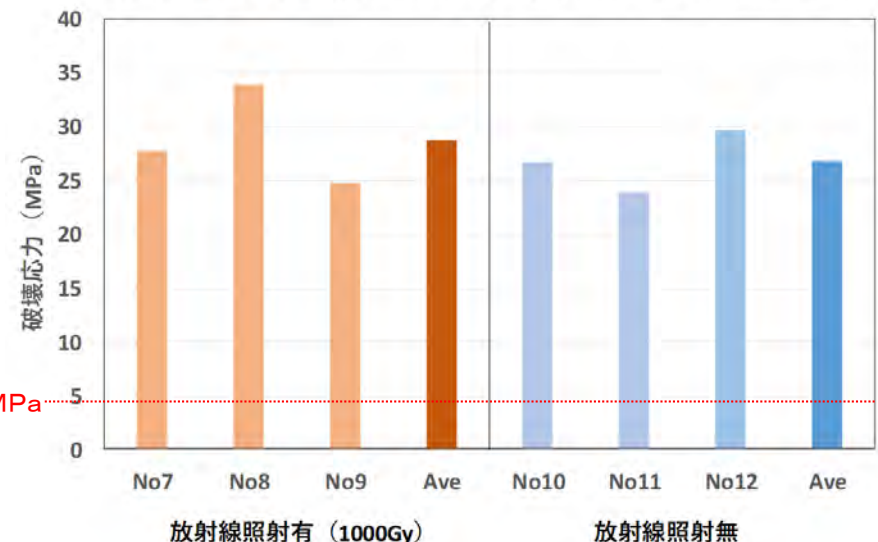
○50℃、湿度:95%の恒温恒湿環境

放射線照射後のせん断破壊応力は、24.7～33.9[MPa]で平均:28.8[MPa]に対し、未照射サンプルは、23.9～29.7[MPa]で平均:26.8[MPa]となり、接合強度に大きな差異はなかった。また、照射試験片・非照射試験片、ともに接着剤層内部で破壊が生じる凝集破壊となり、放射線照射による接着剤の劣化は無いと考えられる。

CFRP接着部の破壊応力 (室内環境放置後)



CFRP接着部の破壊応力 (温度: 50℃、湿度: 90%、24h放置後)



以上の結果から、RPV内部調査で想定した、温度:50[℃]、湿度:90%、線量率:100[Gy/h]の環境下で24時間以内(※1)であれば、CFRP接着部のせん断破壊応力劣化がないと評価した。

(※1)凝集破壊したという結果より、2019年度実施した同様な接着強度試験結果と同等の24時間程度の照射環境においても強度を確保できると評価

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.74

2.実現性検討 E:試験等の実施 (2)シール性能確認試験

<試験概要>

現場で想定される環境条件下における、テレスコピック式アクセス装置の摺動抵抗およびシール性確認を目的として実施する。シール部構造は右図の2種類で実施する。

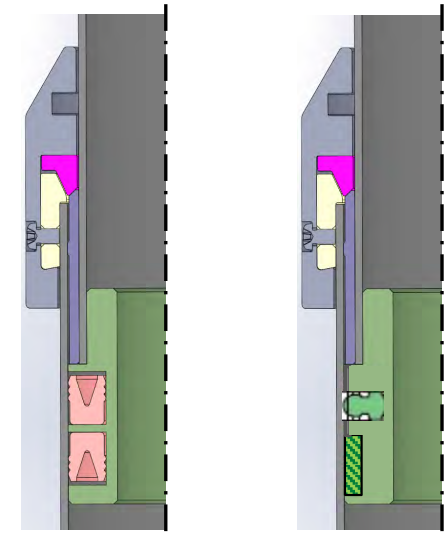
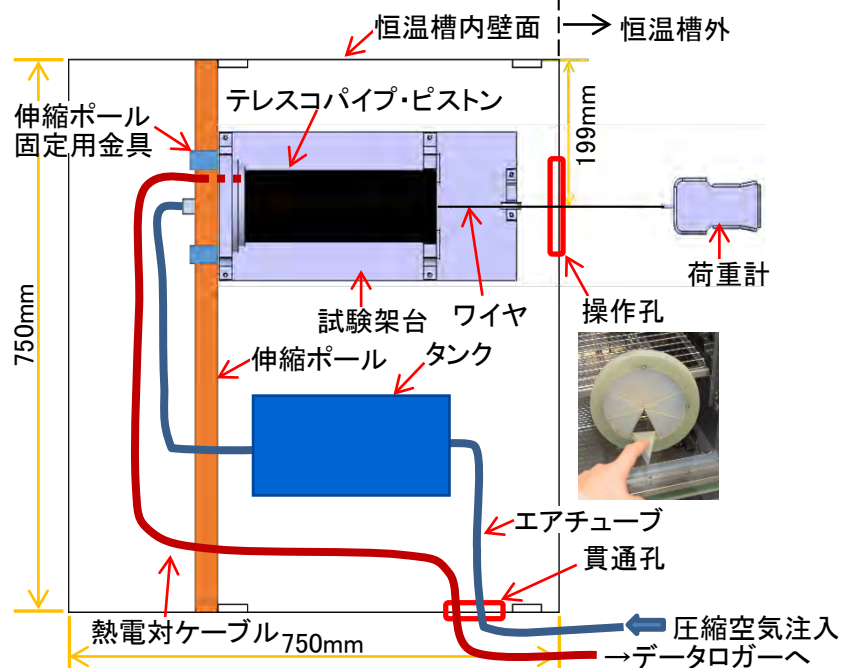
線量条件は0Gy(未照射)、1000Gy(100Gy/hで10時間の調査を想定)。また、温度条件は25℃(室温)・50℃でそれぞれ試験を実施し、環境条件の違いによる影響を確認する。

<試験体系>

温度条件の模擬は、恒温槽を利用する。恒温槽内とテレスコパイプ内に温度差がないことを確認するため、テレスコパイプ内に熱電対を設置して温度をモニタリングする。また、線量環境の模擬は、シール材を予め照射して実施する。

シール性は、テレスコパイプに0.1MPaのエアをかけ、ピストン部周囲に石鹼水を塗布し、リーク有無を調べることで確認する。

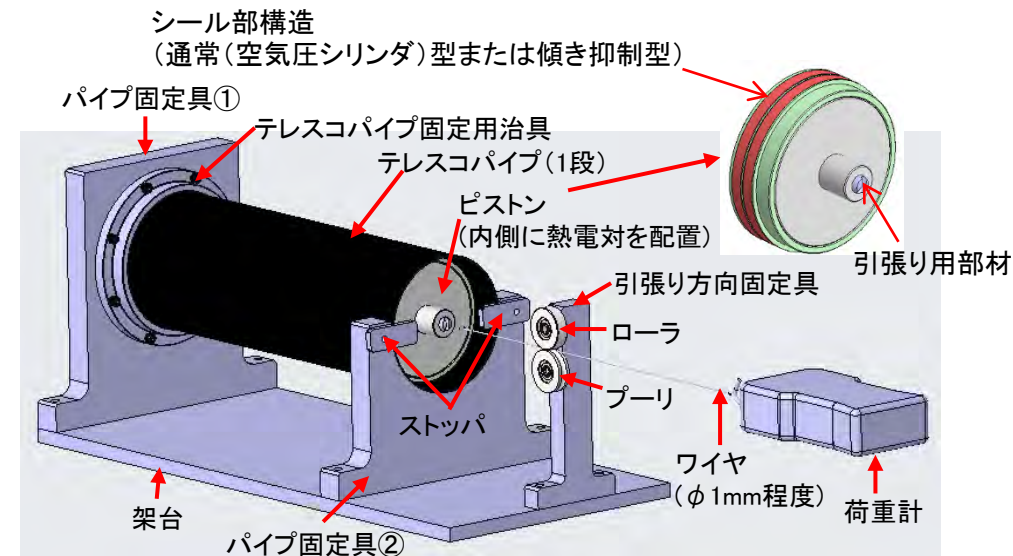
摺動抵抗は、各試験条件において、ピストンを荷重計を用いて引っ張ることで測定する。



A: 通常(空気圧シリンダ)型

B: 傾き抑制型

シール部構造



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.75

2.実現性検討 E:試験等の実施 (2)シール性能確認試験

<試験項目>

「テレスコピック式アクセス装置のシール性能確認試験」は、以下2種類の試験を実施。

- ①リークチェック
- ②シールの摺動抵抗比較試験

<目的>

- ①リークチェック
⇒調査エリアの線量・温度条件において、シールが空気の漏洩を防止できるか確認する
- ②シールの摺動抵抗比較試験
⇒調査エリアの線量・温度条件において、シールの摺動抵抗の変化を確認する

<評価項目等>

No.	試験名称	評価項目	目標(判断基準)	確認方法
①	リークチェック	空気漏洩の有無	空気が明らかに漏洩していないこと	テレスコパイプの端面に付けたせっけん水の発泡有無を目視確認(各条件1回実施)
②	シールの摺動抵抗比較試験	摺動抵抗	ケーブル巻取り装置の最大引張力以下(目安)50N以下	テレスコパイプ内にあるシールを取り付けたピストンを、荷重計で引くことにより摺動抵抗を測定(各条件5回実施)

<試験体系の模擬範囲>

模擬対象	模擬する点	模擬しない点	模擬しない理由
テレスコパイプ	・外径・内径(1段目部分) ・シール形状(1段目部分)	・長さ	摺動抵抗を確認するために必要な長さのみ確保できればよいため
		・シール取付部位の形状	テレスコパイプとシールの接触状態を模擬できれば良く、シールを取り付ける部位の形状は模擬する必要がないため(実機は、ピストンから引張り用部材を取り除いたものが2段目のテレスコ下端に取り付く)
周囲環境	・照射線量 ・温度	・湿度	シールの特性を大きく変化させる環境条件ではないと想定
		・暗闇	シールの特性を変化させる環境条件ではないため

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.76

2.実現性検討 E:試験等の実施 (2)シール性能確認試験

①リークチェック

<試験結果>

- テレスコパイプ内に想定される最大供給圧力である0.1MPaを供給したところ、全ての条件においてリークが確認され、空気の封止機能において線量・温度条件の違いによる影響は無いことが分かった。
- 通常型はどの条件においても全周においてリークが確認された。傾き抑制型はどの条件においても一部からリークが確認され、シールの密着性の強い傾き抑制型の方がリーク量が少なかった。
- リーク量低減のためには、テレスコ内面の表面粗さの低減(平滑化)などの改良が必要。
- 各シール部構造におけるリークが、テレスコピック式アクセス装置の伸縮動作に及ぼす影響については、テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験において確認した。

リークチェック結果

No.	シール部構造	照射線量	温度	確認結果
1	通常型	0Gy (未照射)	25℃(室温)	リーク有
2			50℃以上	リーク有
3		1000Gy	25℃(室温)	リーク有
4			50℃以上	リーク有
5	傾き抑制型	0Gy (未照射)	25℃(室温)	リーク有
6			50℃以上	リーク有
7		1000Gy	25℃(室温)	リーク有
8			50℃以上	リーク有

空気圧シリンダ用パッキン



通常型

ウェアリング 小型空気圧パッキン



傾き抑制型

ピストン(周囲に
せっけん水を塗布)



テレスコパイプ

下面から空気
(0.1MPa)を供給

テレスコパイプを試験架台に
固定した状態



0Gy(未照射)、50℃条件の通常
型のリーク確認の様子



0Gy(未照射)、50℃条件の傾き抑制
型のリーク確認の様子

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (2)シール性能確認試験

②シールの摺動抵抗比較試験

<試験結果>

- 通常型においては、照射されかつ温められると摺動抵抗が増加する傾向があることを確認した
- 傾き抑制型においては、照射されると摺動抵抗が下がる傾向があったが、通常型同様に照射されかつ温められると摺動抵抗が増加する傾向があることを確認した
- ケーブル巻取り装置の定格引張力は83Nのため、通常型のパイプは収縮できるが、傾き抑制型のパイプは収縮できない可能性がある。
- 摺動抵抗の低減に向け、テレスコ内面の表面粗さの低減などの改良が必要

摺動抵抗測定結果

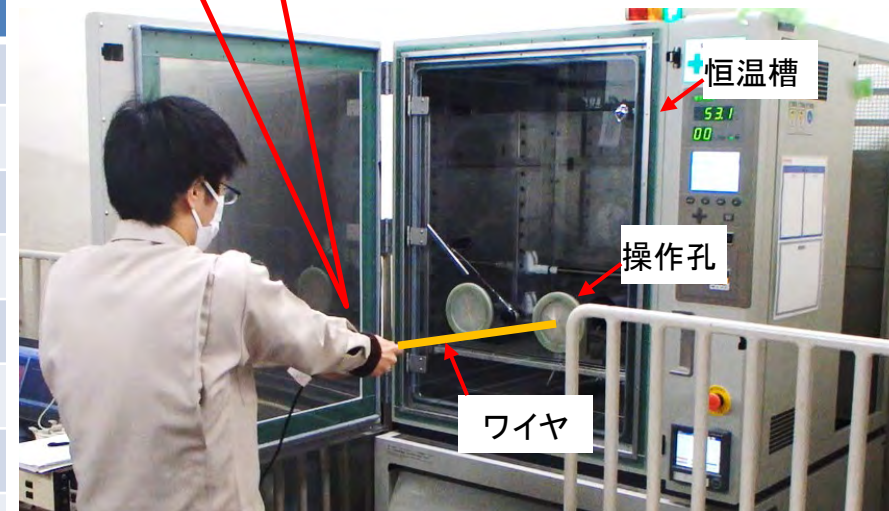
No.	シール部構造	照射線量	温度(平均) [°C]	各条件の最大摺動抵抗の範囲[N]	各条件の 平均値[N]
1	通常型	0[Gy] (照射無し)	23	30.0～37.7	34.9
2			52	35.6～43.7	39.1
3		1000[Gy]	23	33.0～42.9	38.3
4			51	45.8～54.3	51.0
5	傾き抑制型	0[Gy] (照射無し)	23	95.5～114.4	102.8
6			51	89.8～119.7	104.4
7		1000[Gy]	23	80.4～95.2	85.7
8			51	104.5～122.0	115.0



測定時の手元の様子



試験架台を恒温槽内に固定した様子



50℃環境における摺動抵抗測定の様子

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.78

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

<試験概要>

2021年度実施予定の全14段構成のテレスコパイプの要素試験に向け、2020年度は根本(ケーブル巻取り装置との取合い)、中間部、先端部(調査装置との取合い)の構造が模擬できる最少の3段構成で部分試作して動作確認を行う。試験で得られた挙動を評価することで、装置設計に資する情報を取得する。

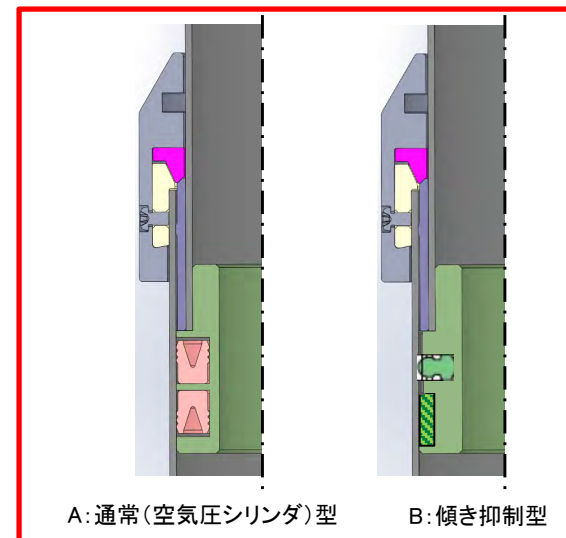
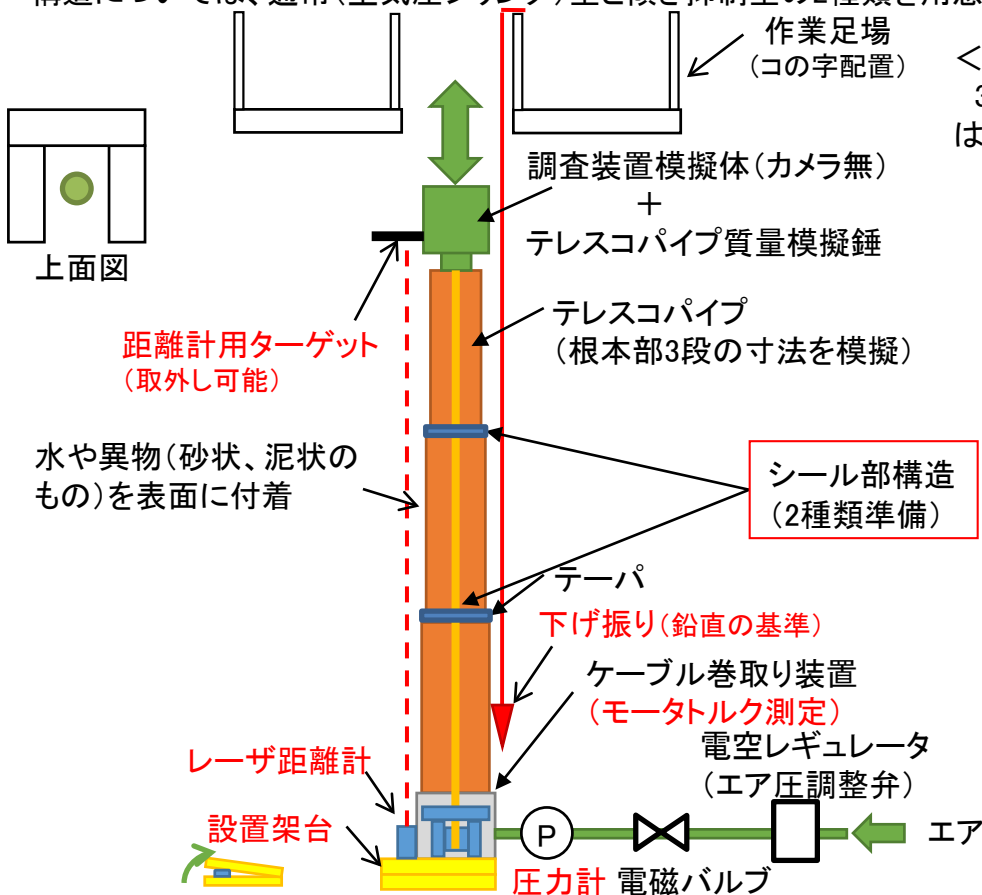
<試験体系>

本試験では伸縮動作を確認する事が目的であり、3段の構成において14段構成時の全荷重をかけるために根本の3段を模擬する。また、シール部構造については、通常(空気圧シリンダ)型と傾き抑制型の2種類を用意してそれぞれ確認する。

<試験項目>

3段テレスコパイプを用いた「テレスコピック式アクセス装置の挙動確認試験」は、以下4種類の試験を実施する。次葉以降に各試験の概要を示す。

- ① テレスコパイプの伸縮動作確認試験
- ② テレスコパイプが傾斜した時の伸縮動作試験
- ③ 構造物とテレスコパイプ/調査装置の引っかかり時の挙動確認試験
- ④ テレスコパイプに異物が付着した際の伸縮動作確認試験

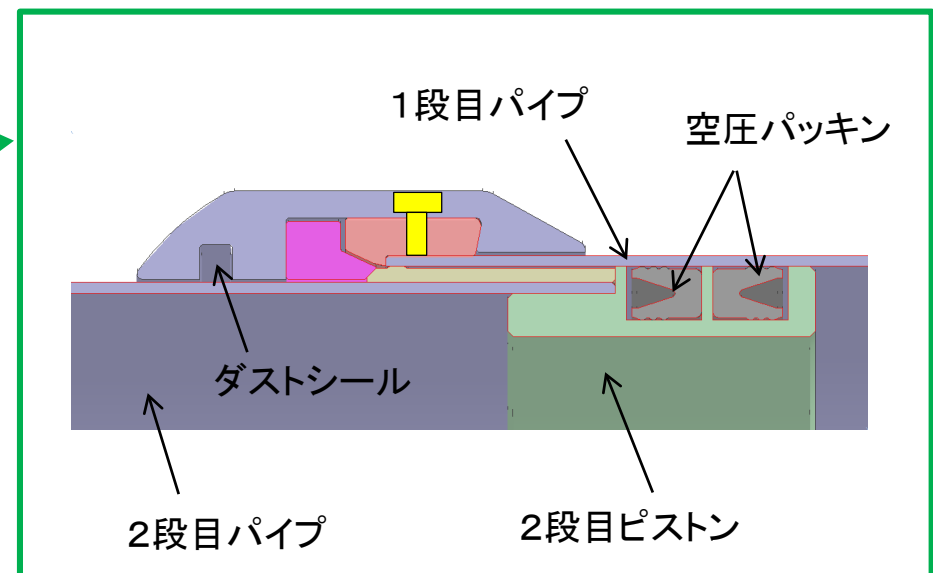
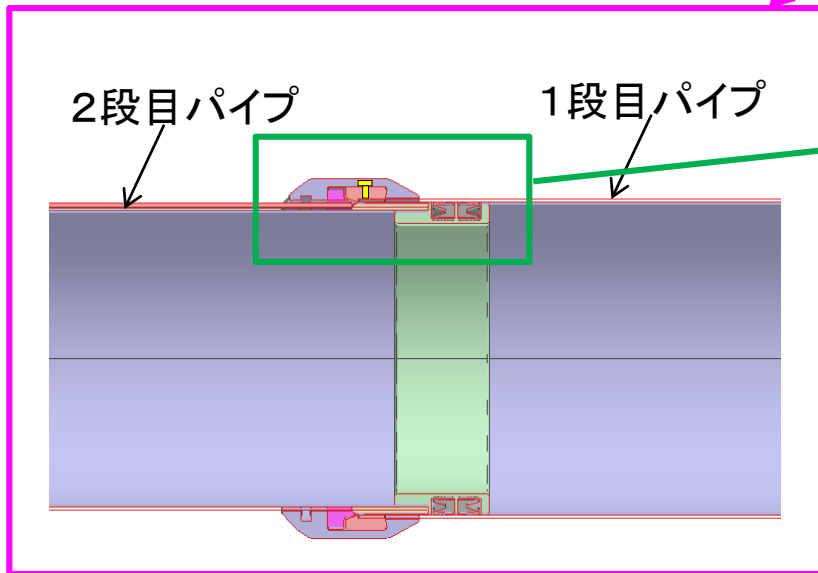
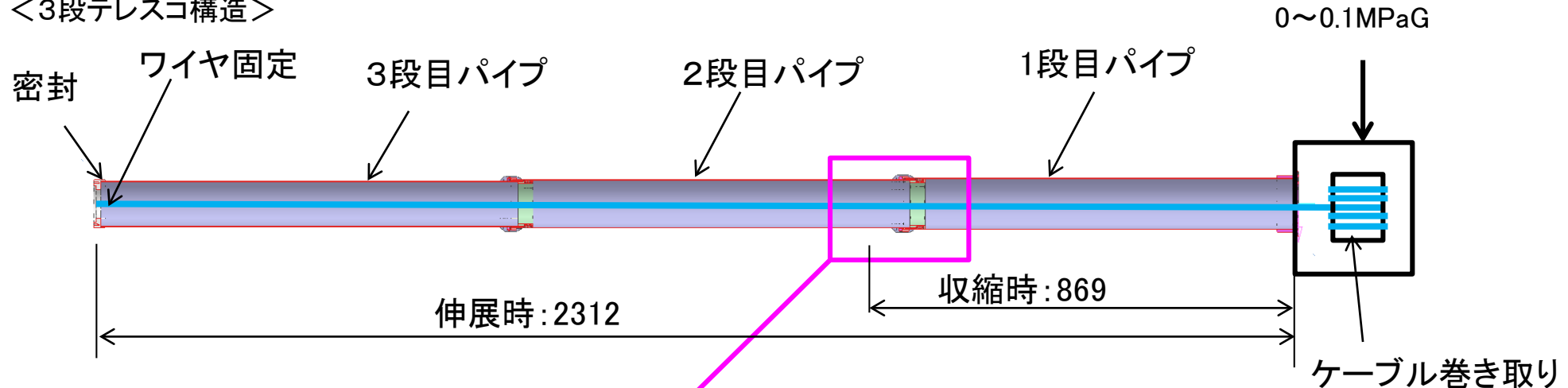


6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機 No.79

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

＜3段テレスコ構造＞



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.80

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

<試験体系の模擬範囲>

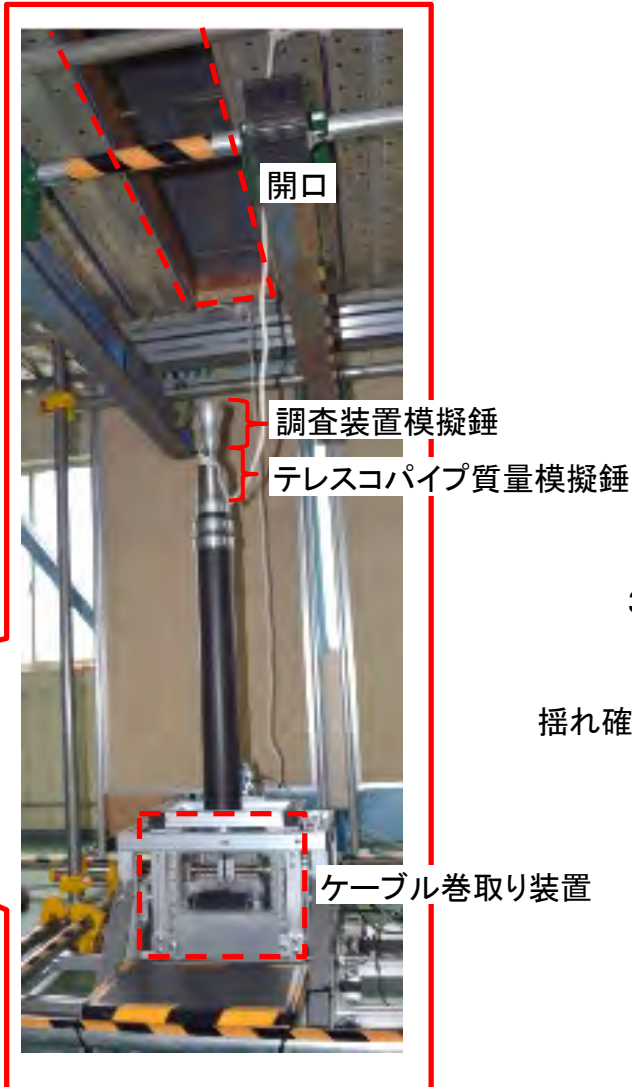
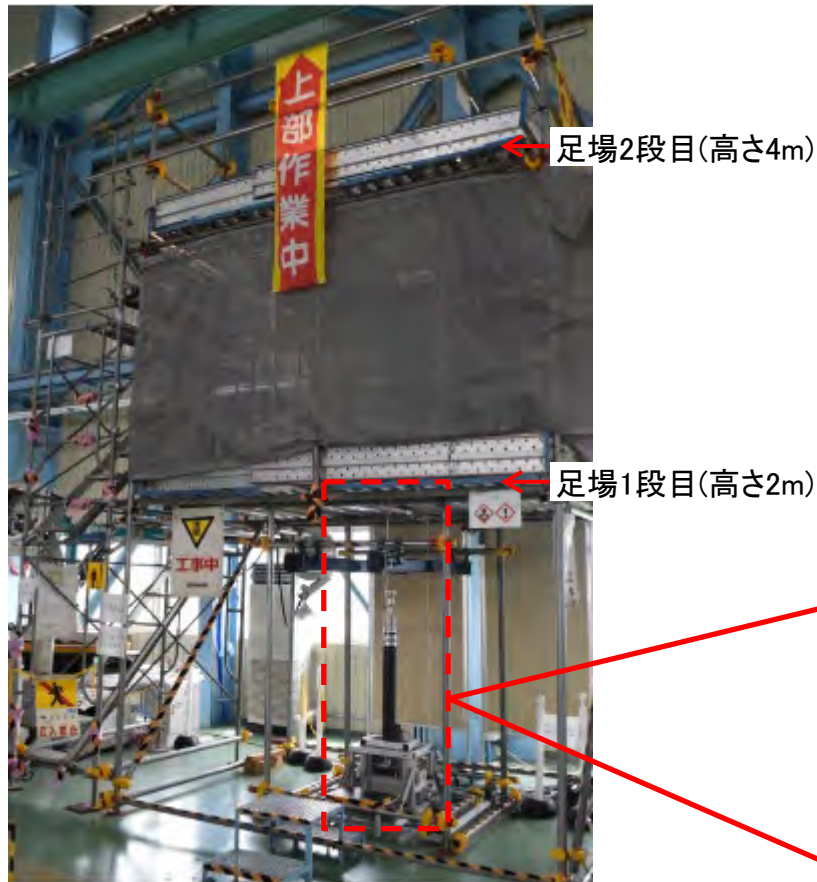
模擬対象	模擬する点	模擬しない点	模擬しない理由
環境条件	・RPV開口径	湿度、霧	濡らした状態で試験を実施するため(環境としては模擬しない)
		線量率	CFRPの強度、接着強度に関しては過去に試験済みであり、シール部のみ模擬した試験を実施
		温度	シール部のみ模擬した試験を実施
		暗闇	テレスコパイプの動作挙動に影響しないため
		RPV下部開口部より下の構造物	テレスコパイプの動作挙動の確認であり、構造物を模擬した動作確認は現地調査前に実施するモックアップで確認予定
調査装置	・質量 ・テーパの形状	カメラ非搭載	カメラ映像の有無は伸縮動作に影響しないため
		テーパ以外の形状	調査装置の形状は伸縮動作に影響しないため
		機構 (チルト動作・照明伸展しない)	機構を動かした際の調査装置の重心位置変化が伸縮動作へ与える影響は、テレスコパイプを14段試作した際に確認するため
テレスコパイプ	・形状(3段分、テーパ) ・質量(14段分(一部錘による模擬)) ・機構(シールなど)	全長(14段)	テレスコパイプの動作挙動の確認であり、テレスコを順次伸ばした際の傾き、ゆれ、たわみ等の長さによる影響は、来年度14段試作した際に確認するため
ケーブル巻取り装置	・巻取り部の機構 ・耐圧ケース ・トルク測定機能 ・調査装置用ケーブルの太さ	調査装置用ケーブルの曲げ硬さ	ケーブルの曲げ硬さが伸縮動作へ与える影響はないと考えており、来年度14段試作した際に確認するため
		調査装置用ケーブルの引っ張り強さ	調査装置用ケーブルの必要引張力を本試験で確認するため

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機 No.81

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

<試験装置>

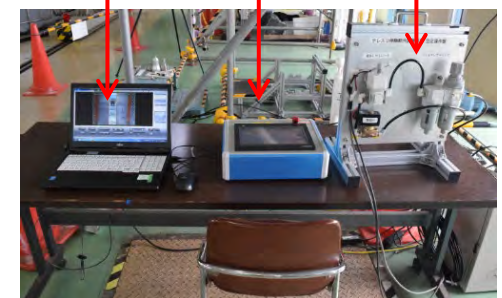


3段テレスコパイプ (全収縮状態)



3段テレスコパイプ (全伸展状態)

揺れ確認カメラ用PC 操作パネル 空圧操作盤



操作卓

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

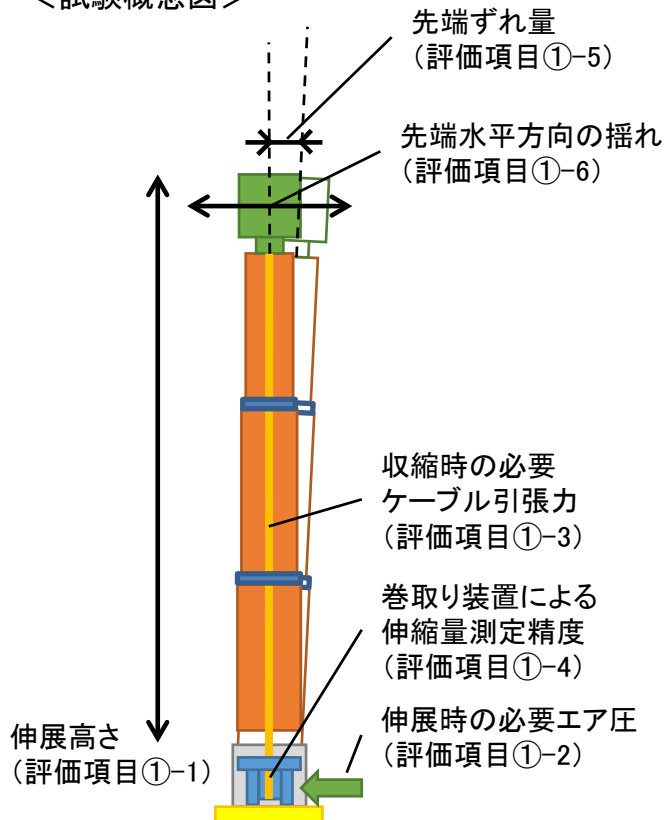
2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

①テレスコパイプの伸縮動作確認試験

<目的>

3 段のテレスコパイプとケーブル巻取り装置を組合わせて、テレスコパイプ先端に調査装置同等の重量物を載せ、垂直方向に伸縮動作ができるか、またその時の動作特性を確認する

<試験概念図>



<評価項目等>

(※1)3 段のテレスコパイプで試験を行う際の数値を記載。

No.	評価項目	目標(判断基準)	目標値設定方針	確認方法	その他確認事項
①-1	伸展高さ	3段分	試作するテレスコパイプの最大伸展量	レーザ距離計による測定	
①-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	設計最大圧力以下	各段にて圧力計により注入エア圧を測定	
①-3	収縮時の必要ケーブル引張力	50N以下	ケーブル巻取り装置の最大引張力以下	ケーブル巻取り装置のドラム駆動モータトルクから評価	・収縮時の巻取り必要張力とエア減圧との連携制御方法
①-4	巻取り装置による伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	円筒展開画像作成時に画像の1/3が重複するように昇降した際に、最低でも画像の1/4が重複するための最大誤差	0.5mごとにケーブル巻取り装置による測定値とレーザ距離計による実測値とを比較	・ケーブル巻取り装置で乱巻きが発生しないか ・テレスコパイプの伸展限界をケーブル引張力で判断できるか(できない場合は伸縮量測定量に基づきソフトリミット処理)
①-5	先端ずれ量(ガタ)	約16mm以下(※1) (全長時:65mm以下)	テレスコパイプ9段目(φ57mm)が炉底部の開口(φ187mm)に接触しない量をもとに、3段伸展時の許容量を設定	テレスコパイプの各段の先端にガタを潰す程度の水平荷重をかけて下げ振りにより変位を確認	・測定回数は3回
①-6	先端水平方向の揺れ	収束時間と揺れの周期	テレスコパイプが揺れる場合、揺れが収まってから伸縮動作させる手順とするため	俯瞰カメラの映像から、揺れの有無、収束時間と揺れの周期を確認	

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

①テレスコパイプの伸縮動作確認試験

<通常型の結果>

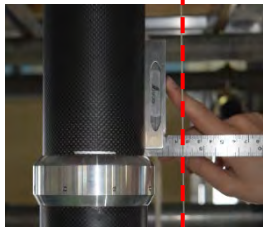
- 設計最大圧力以下、ケーブル巻取り装置の引張力にて、伸縮動作できることを確認
- 伸縮動作時に揺れることなく、ガタによる先端ずれ量も許容値に収まっていることを確認
- 伸縮量測定精度は、テレスコパイプが伸びるに従い誤差が増加する傾向があったが、計画している補強材入りケーブルにより伸びが抑制されて改善される見込み
- 引張力は目標50Nに対し最大220N(瞬間的な力/パイプ2本目の収縮開始タイミングで再現性あり)であったが収縮させることができた。収縮中の力は50N～130N程度だった

<傾き抑制型の結果>

- 摺動抵抗が想定以上に大きく、モータトルクが足りず、収縮させられないため、伸展の確認を1回のみ実施。
- 通常型に対し先端ずれ量は半分であり、ウェアリングが有用であることを確認。

<試験の様子>

下げ振りの紐



ガタ計測の様子



伸展中のテレスコパイプ

<結果一覧>

No.	評価項目	目標(判断基準)	結果		
①-1	伸展高さ	3段分	通常型	1回目～3回目:3段分(最大2300mm)	○
			傾き抑制型	1回目:3段分(最大2300mm)	○
①-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	通常型	1回目～3回目:0.04MPa	○
			傾き抑制型	1回目:0.05MPa	○
①-3	収縮時の必要ケーブル引張力(モータトルクモニタ値から判断)	50N以下	通常型	1回目:最大120N 2回目:最大220N 3回目:最大220N	△ (収縮は可能だが、収縮中の引張力が定格値の83Nを超えることがある)
			傾き抑制型	—	×
①-4	巻取り装置による伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	通常型	1回目:29mm 2回目:22mm 3回目:20mm	○
			傾き抑制型	1回目:23mm(伸展時のみの誤差)	○
①-5	先端ずれ量(ガタ)	16mm以下(全長時:65mm以下)	通常型	1回目:5.5mm 2回目:7mm 3回目:6mm	○
			傾き抑制型	1回目:3.5mm	○
①-6	先端水平方向の揺れ	収束時間と揺れの周期	通常型	揺れ無し(故意に荷重をかけて撓ませても揺れ無し)	○
			傾き抑制型	揺れ無し(伸展時のみの挙動)	○

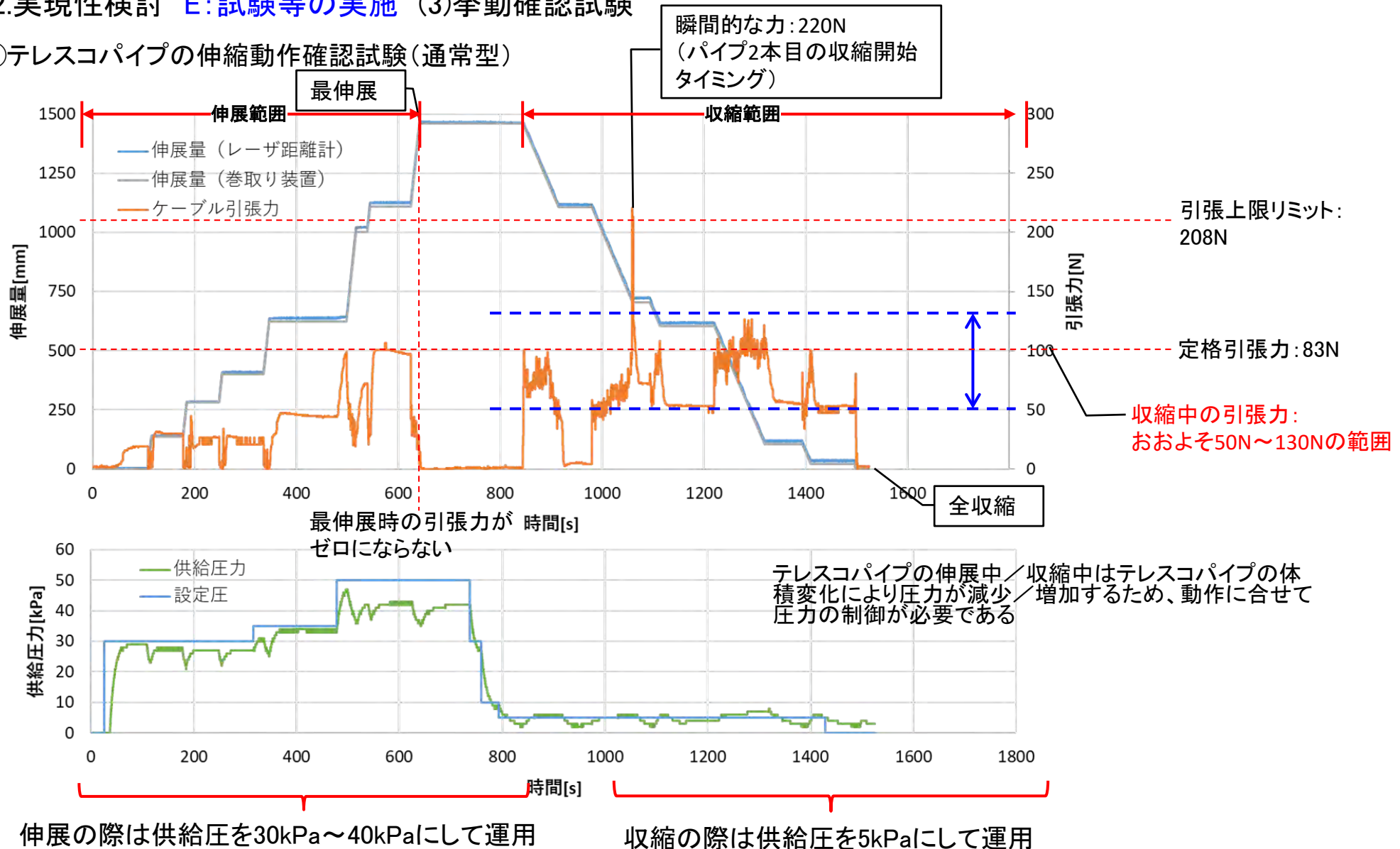
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.84

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

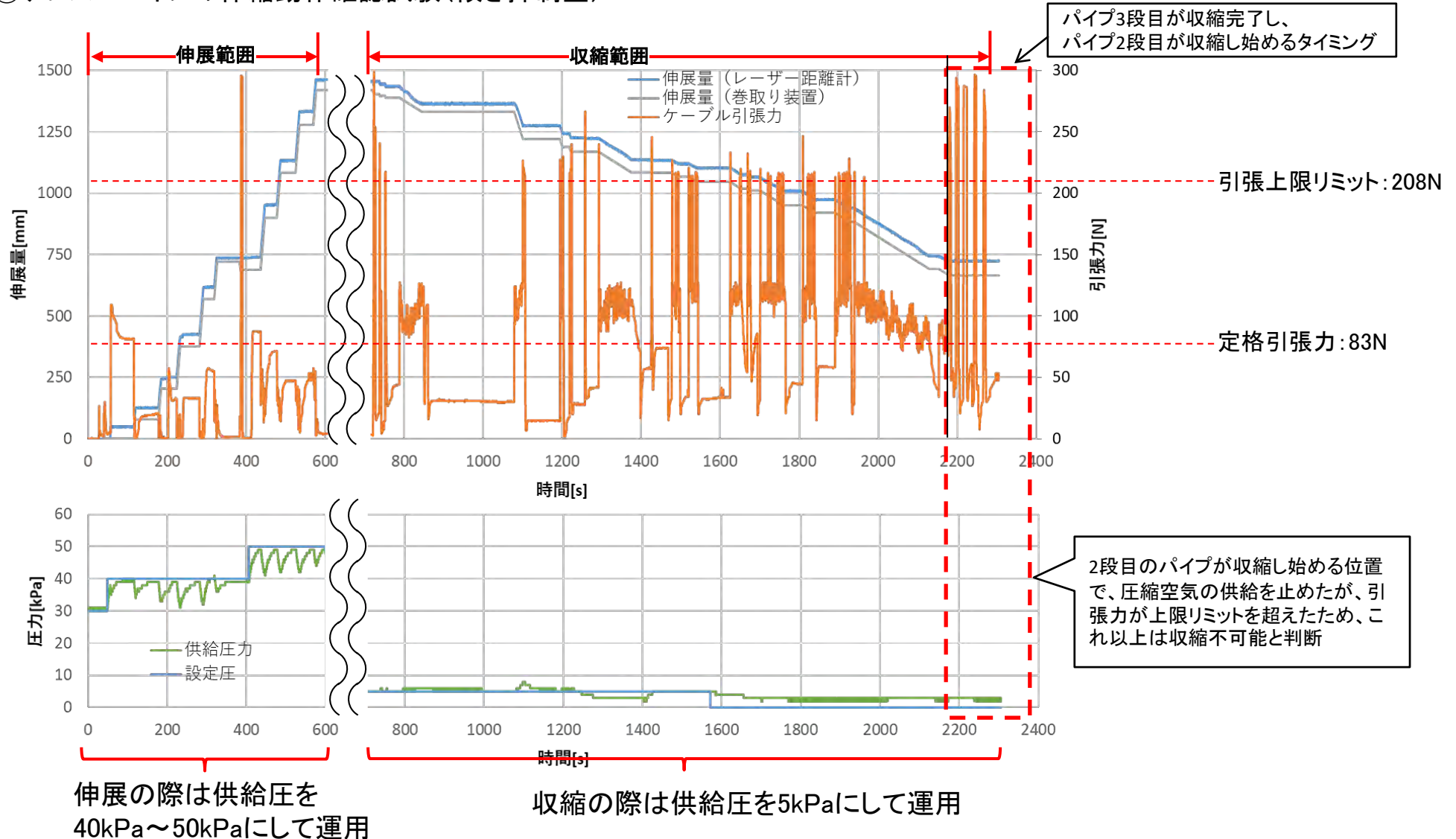
①テレスコパイプの伸縮動作確認試験(通常型)



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

①テレスコパイプの伸縮動作確認試験(傾き抑制型)



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.86

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

①テレスコパイプの伸縮動作確認試験

<伸縮動作確認試験のまとめ>

- 通常型シール構造のテレスコパイプについて3回試験を行い、必要エア圧、ケーブル引張力、伸縮測定精度に再現性があることを確認した。
- テレスコパイプ収縮時、通常型において定格引張力を超えながら収縮させる必要があった。定格引張力以下でテレスコパイプを収縮できるように、テレスコパイプ内面とパッキンとの摺動抵抗低減対策が必要。
- テレスコパイプ伸展時、通常型においては、テレスコパイプを伸ばすほど、エアを供給するラインに設置した電空レギュレータの設定圧と供給圧が乖離する傾向があることを確認した。一方、傾き抑制型においては、テレスコパイプを伸ばしても設定圧と供給圧に乖離は見られなかった。これは、テレスコパイプ内に供給した圧縮空気のパッキンからのリーク量の違いが起因していると想定される。
- テレスコパイプが伸び切ったことの検知を、引張力がゼロになることを基に判断する計画だったが、伸びきると同時にゼロにならないことを確認した。テレスコパイプ伸び切り時の検知については、テレスコパイプを最伸展までさせないといった運用方法など含めて検討する必要がある。
- テレスコパイプ収縮時、引張力が上限リミットを超えた場合でも、テレスコパイプ内の圧力(供給圧力)が下がってから収縮を再開することで、必要引張力を減少して収縮を継続できることを確認した。(テレスコパイプ収縮時は、収縮中はテレスコパイプ内の圧力が上がっていくが、収縮を止めると電空レギュレータ(エア圧調整弁)によって圧力が下がる)

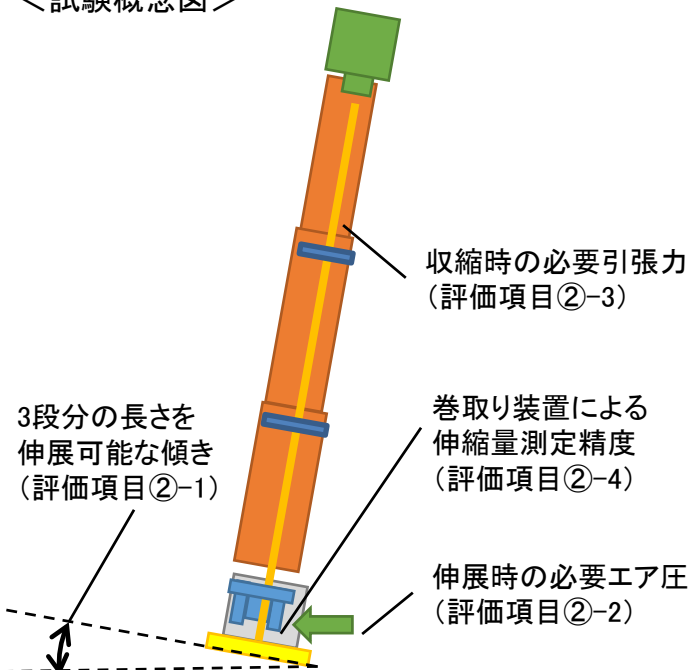
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

②テレスコパイプが傾斜した時の伸縮動作確認

＜目的＞
「①テレスコパイプの伸縮動作確認試験」と同じ構成で、テレスコパイプが伸縮できる最大の傾き量を把握する

＜試験概念図＞



＜評価項目等＞

No.	評価項目	目標(判断基準)	目標値設定方針	確認方法	その他確認事項
②-1	3段分の長さを伸縮可能な傾き	伸縮できること	テレスコパイプは、調査条件から垂直で伸縮させる前提で設計しているため、目標値は定めず伸縮可能な傾きを確認する(最大5°)	テレスコパイプの設置架台の傾きを傾斜計で確認	
②-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	設計最大圧力以下	各段にて圧力計により注入エア圧を測定	・ケーブル巻取り装置で乱巻きが発生しないか
②-3	収縮時の必要引張力	50N以下	ケーブル巻取り装置の最大引張力以下	ケーブル巻取り装置のドラム駆動モータトルクから評価	・テレスコパイプの最長伸展時検知：伸縮量測定精度に依存
②-4	巻取り装置による伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	円筒展開画像作成時に画像の1/3が重複するように昇降した際に、最低でも画像の1/4が重複するための最大誤差	ケーブル巻取り装置による測定値とレーザ距離計による実測値とを比較	

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

②テレスコパイプが傾斜した時の伸縮動作確認

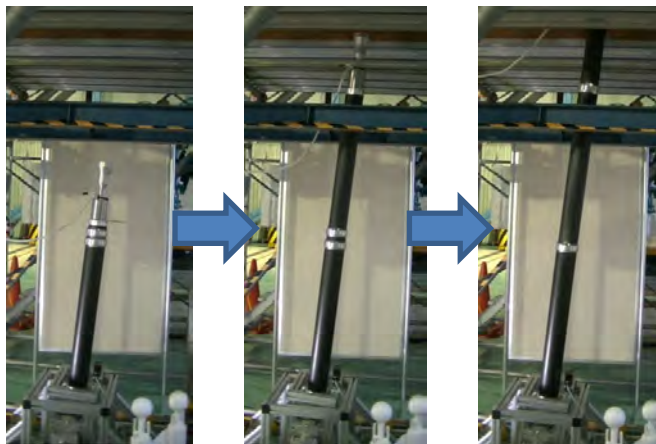
<通常型の結果>

➤ 5°（試験上限）の傾斜でも伸展できることを確認。自重によるモーメントでパイプ下端が引っ掛かりと考えられ、収縮する際は垂直時よりも必要な引張力が増加するが、3°の傾斜であれば収縮できることを確認。シール構造を変更しガタを抑制することで改善される見込み。またシールの摺動抵抗低減の改良により傾斜の許容角度は増える見込み。

<傾き抑制型の結果>

➤ 垂直状態での伸縮動作確認において、摺動抵抗が想定以上に高く、モータトルクが足りず、収縮させられないため、本試験は実施せず。

<試験の様子>



5° 傾けたテレスコパイプの伸展の様子

<結果一覧>

各条件について1回のみ実施(通常型)

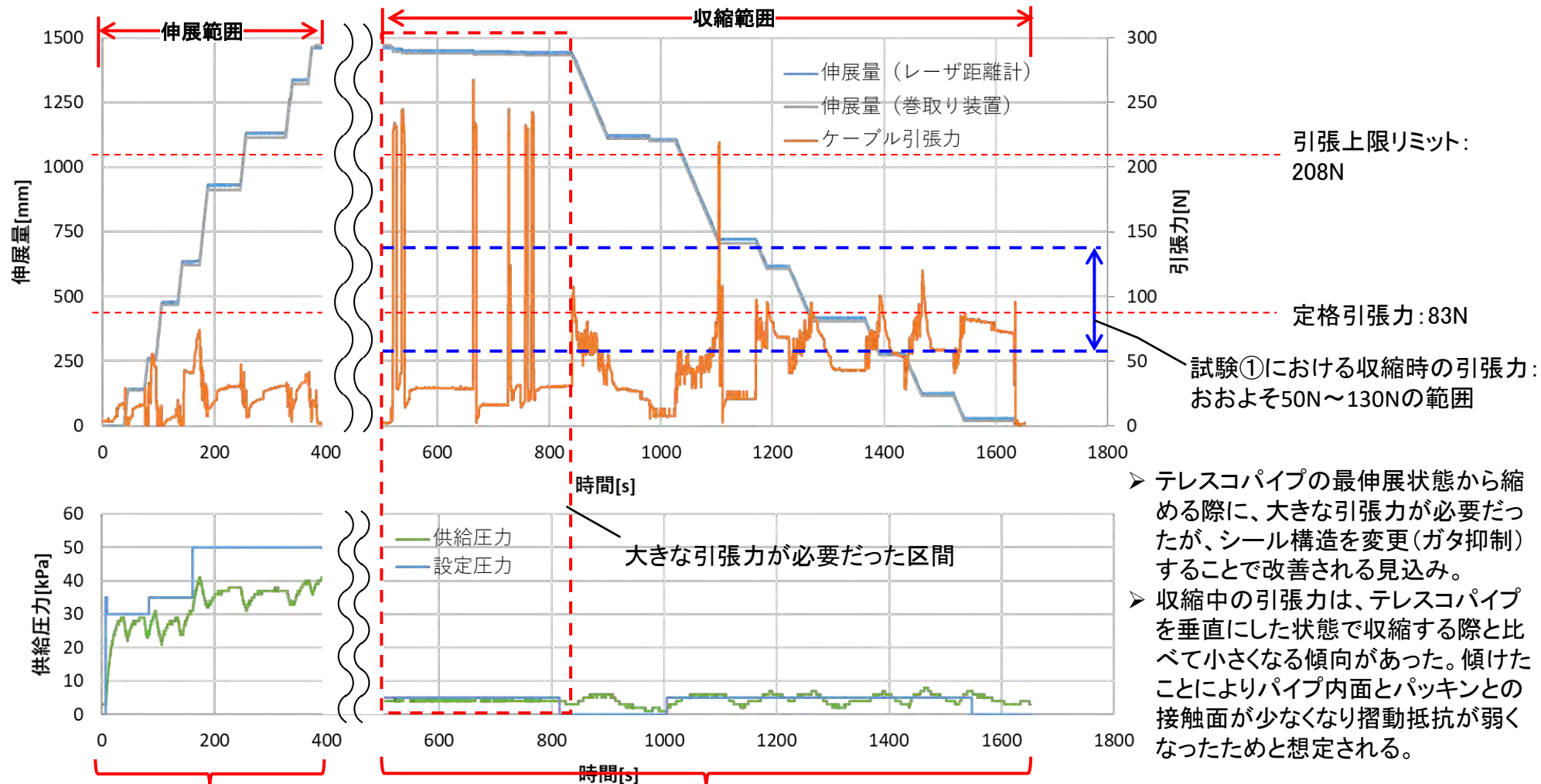
No.	評価項目	目標(判断基準)	結果		
②-1	3段分の長さを伸縮可能な傾き	伸縮できること	通常型	傾斜3° : 伸縮可能 傾斜4° : 伸展のみ可能 傾斜5° : 伸展のみ可能	○ (テレスコパイプは垂直状態で運用する前提)
			傾き抑制型	—	—
②-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	通常型	傾斜3° : 0.04MPa 傾斜4° : 0.04MPa 傾斜5° : 0.04MPa	○
			傾き抑制型	—	—
②-3	収縮時の必要引張力	50N以下	通常型	傾斜3° : 最大270N 傾斜4° : 収縮不可 傾斜5° : 収縮不可	△ (収縮は可能だが、収縮中の引張力が定格値の83Nを超えることがある)
			傾き抑制型	—	—
②-4	巻取り装置による伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	通常型	傾斜3° : 26mm 傾斜4° : 未評価(※1) 傾斜5° : 15mm	○
			傾き抑制型	—	—

(※1)試験条件の上限／下限で評価すれば特性を把握できるため実施せず

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

②テレスコパイプが傾斜した時の伸縮動作確認(通常型、傾斜角3°)



- テレスコパイプの最伸張状態から縮める際に、大きな引張力が必要だったが、シール構造を変更(ガタ抑制)することで改善される見込み。
- 収縮中の引張力は、テレスコパイプを垂直にした状態で収縮する際と比べて小さくなる傾向があった。傾けたことによりパイプ内面とパッキンとの接触面が少なくなり摺動抵抗が弱くなったためと想定される。

伸張の際は供給圧を30kPa~40kPaにして運用

収縮の際は供給圧を5kPaにして運用

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.90

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

③構造物とテレスコパイプ／調査装置の引っ掛かり時の挙動確認試験

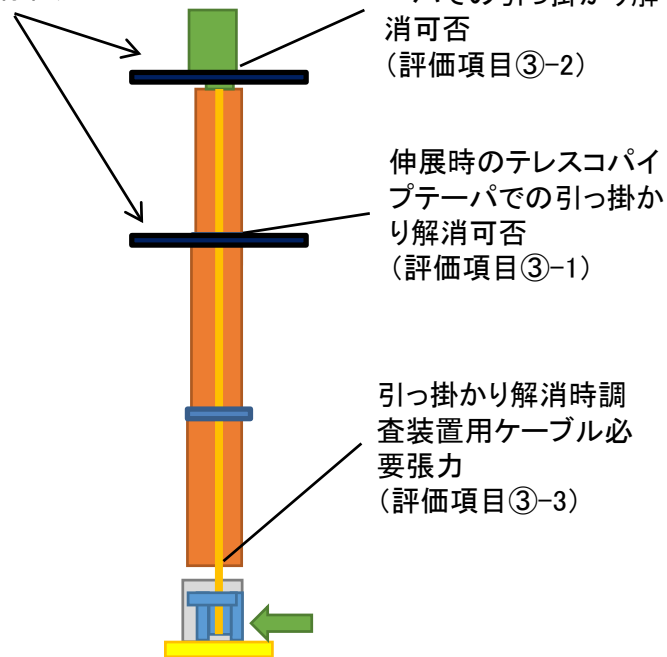
<目的>

「①テレスコパイプの伸縮動作確認試験」と同じ構成で、伸展時に構造物に引っ掛かった際に、テレスコパイプや調査装置に取り付けたテーパに倣い、引っ掛かりが解消されるかを確認する

<試験概念図>

RPV開口部模擬体

(開口径の条件が厳しい2号機を参考に中心にφ187mmの開口部が存在)



<評価項目等>

No.	評価項目	目標(判断基準)	目標値設定方針	確認方法	その他確認事項
③-1	伸展時のテレスコパイプテーパでの引っ掛かり解消可否	解消されること	設計したテーパ角で問題ないことを確認	目視確認	・テーパを配置した箇所以外に引っ掛かりが発生しないか
③-2	収縮時の調査装置テーパでの引っ掛かり解消可否	解消されること	設計したテーパ角で問題ないことを確認	目視確認	
③-3	引っ掛かり解消時の調査装置用ケーブル必要張力	50N以下	ケーブル巻取り装置の最大引張力以下	ケーブル巻取り装置のドラム駆動モータトルクから評価	

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

③構造物とテレスコパイプ／調査装置の引っ掛かり時の挙動確認試験

<通常型の結果>

- 開口の設置位置は、開口がパイプに擦れる位置(テレスコパイプテーパ8.5mm、調査装置テーパ11mmの干渉)と、開口とテーパの干渉量を少なくした位置(テレスコパイプテーパ3mm、調査装置テーパ7mmの干渉)の2条件で評価した。
- テレスコパイプのガタ・たわみ量が少ないため、開口がパイプに擦れる配置では伸縮できず、干渉量を少なくした条件では伸展したものの収縮はできなかった。
- 14段テレスコパイプは長尺構造となり剛性が低下するため、14段テレスコパイプ試験でも評価する。また、実運用においては取り出し用アーム型アクセス装置の撓みで通過できる可能性があるため、今後、アクセス装置の剛性特性を確認して、検証方法を検討する。

<傾き抑制型の結果>

- 垂直状態での伸縮動作確認において、摺動抵抗が想定以上に高く、モータトルクが足りず、収縮させられなかったため、本試験は実施せず。

<試験の様子>

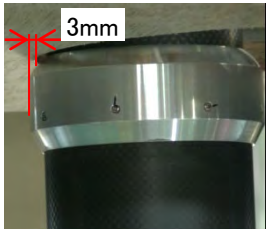
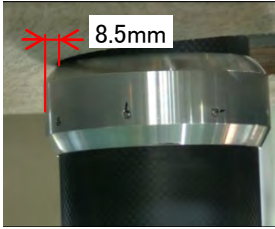
模擬開口



模擬開口を設置した様子

<結果一覧> 各条件について1回のみ実施(通常型)

No.	評価項目	目標(判断基準)	結果		
③-1	伸展時のテレスコパイプテーパでの引っ掛かり解消可否	解消されること	通常型	干渉量8.5mm: 伸展不可 干渉量3mm: 伸展可能 (必要圧力0.04MPa)	× (アーム型アクセス装置が撓むことで通過できる可能性がある)
			傾き抑制型	—	—
③-2	収縮時の調査装置テーパでの引っ掛かり解消可否	解消されること	通常型	干渉量11mm: 収縮不可 干渉量7mm: 収縮不可	× (アーム型アクセス装置が撓むことで通過できる可能性がある)
			傾き抑制型	—	—
③-3	引っ掛かり解消時の調査装置用ケーブル必要張力	50N以下	通常型	— (全条件で、引っ掛かり解消できなかった)	× (モータトルクの向上が必要)
			傾き抑制型	—	—



開口がパイプに擦れる位置 干渉量を少なくした位置

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.92

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

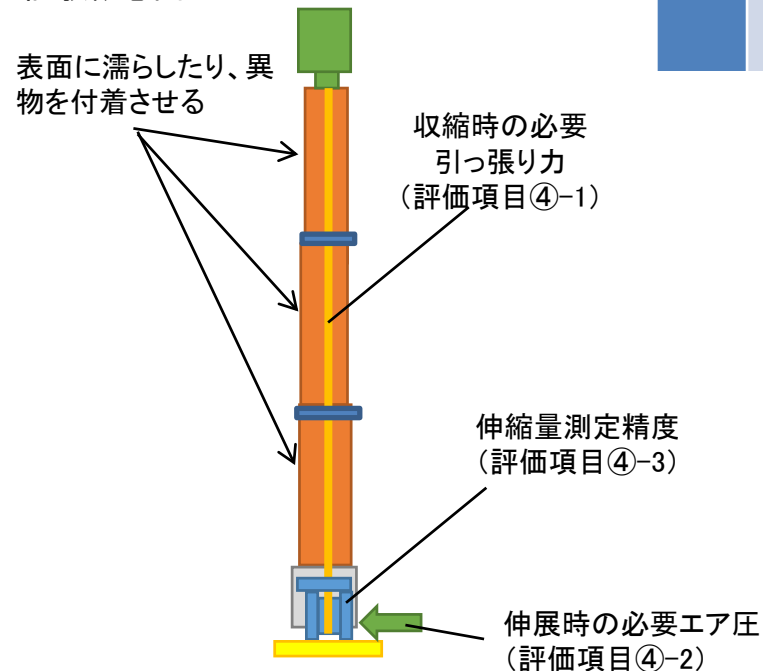
④テレスコパイプに異物が付着した際の伸縮動作確認試験

<目的>

「①テレスコパイプの伸縮動作確認試験」と同じ構成で、テレスコパイプ外面が濡れたり付着物が付いた状態で、収縮動作できるか確認する。
パイプ間の隙間(200 μ m)に入る粒径として下記の2種類を選定。

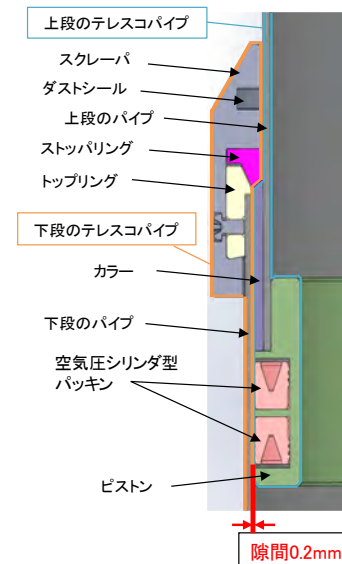
- (a)粒径15 μ m(土)
- (b)粒径100 μ m(アルミナ)

<試験概念図>



<評価項目等>

No.	評価項目	目標(判断基準)	目標値設定方針	確認方法	その他確認事項
④-1	収縮時の必要引っ張り力	50N以下	ケーブル巻取り装置の最大引張力以下	ケーブル巻取り装置のドラム駆動モータトルクから評価	・ケーブル巻取り装置で乱巻きが発生しないか
④-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	設計最大圧力以下	各段にて圧力計により注入エア圧を測定	
④-3	伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	円筒展開画像作成時に画像の1/3が重複するように昇降した際に、最低でも画像の1/4が重複するための最大誤差	0.5mごとにケーブル巻取り装置による測定値とレーザ距離計による実測値とを比較	



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

④テレスコパイプに異物が付着した際の伸縮動作確認試験

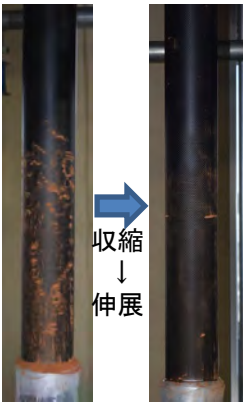
<通常型の結果>

- (a)粒径15 μ m(土)、(b)粒径100 μ m(アルミナ)を2段目パイプに付着させて、収縮・伸展動作を実施。(パイプ間の隙間150 μ m)
- 粉体a、粉体bが付着した状態で伸縮しても挙動変化はなかった。収縮中の引張力についても、おおよそ50N～130Nの範囲であり、粉体を付着させていない場合と比べて差が無いことを確認した。
- テレスコパイプを分解確認した結果、シール部やパイプ内部への粉体進入は確認されず、ダストシールが有効であることを確認した。

<傾き抑制型の結果>

- 垂直状態での伸縮動作確認において、摺動抵抗が想定以上に高く、モータトルクが足りず、収縮させられなかったため、本試験は実施せず。

<試験の様子>



試験前後の粉体(土)の様子



試験後の1段目パイプの内部

<結果一覧> 各粉体について1回のみ実施(通常型)

No.	評価項目	目標(判断基準)	結果		
④-1	収縮時の必要引張り力	50N以下	通常型	粉体a: 最大230N 粉体b: 最大130N どちらも収縮可能	△ (収縮は可能だが、定格引張力の83Nを超えることがあるため)
			傾き抑制型	—	—
④-2	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	通常型	粉体a: 0.04MPa 粉体b: 0.04MPa (付着物無しの条件と同じで伸展可能)	○
			傾き抑制型	—	—
④-3	伸縮量測定精度	誤差±30mm以下	通常型	粉体a: 22mm 粉体b: 14mm	○
			傾き抑制型	—	—

2段目のパイプ外周面(約半周)に粉体を付着。粉体(b)は粒径が大きいので湿らせて付着。

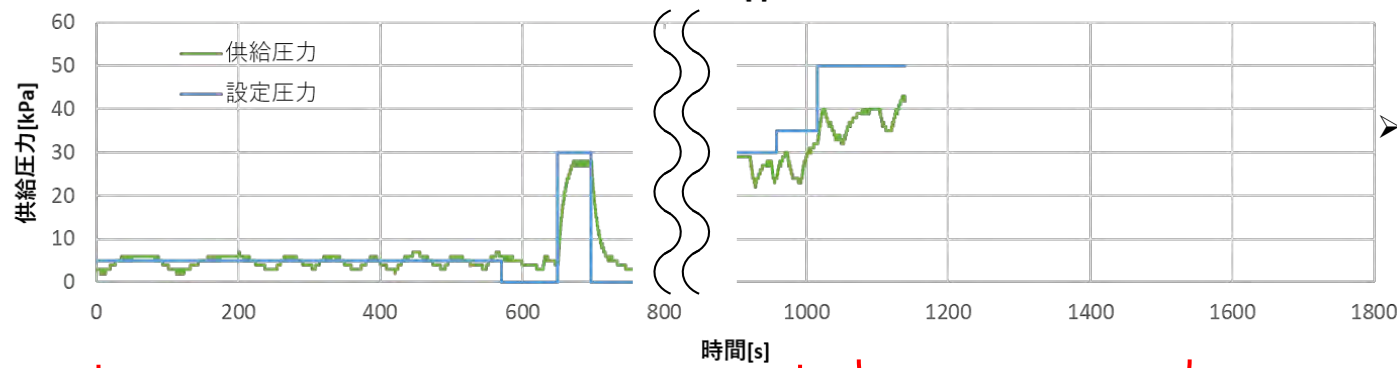
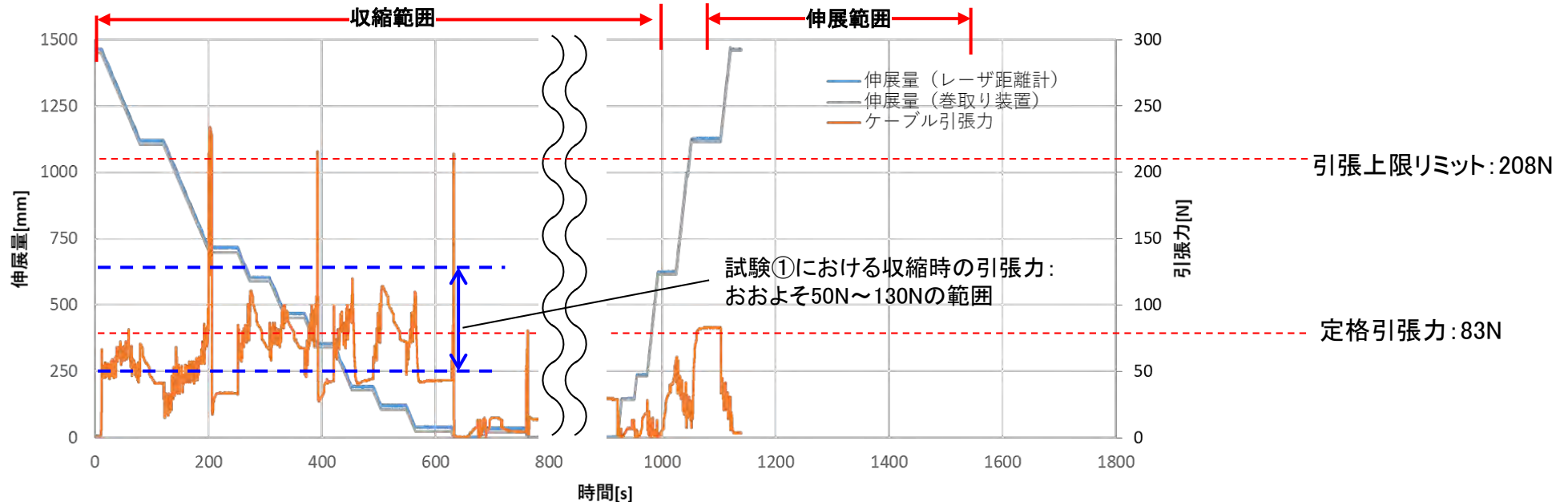
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.94

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

④テレスコパイプに異物が付着した際の伸縮動作確認試験(通常型、土)



➤ 粉体を付着させていない場合と比べて、伸展時の供給圧力、収縮時の引張力に大きな差はなかった。

収縮の際は供給圧を5kPaにして運用

伸展の際は供給圧を30kPa~40kPaにして運用

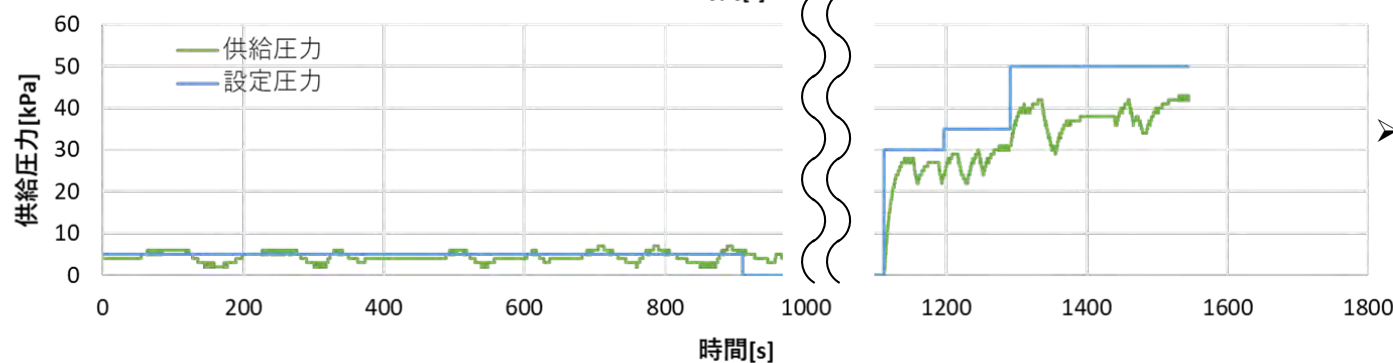
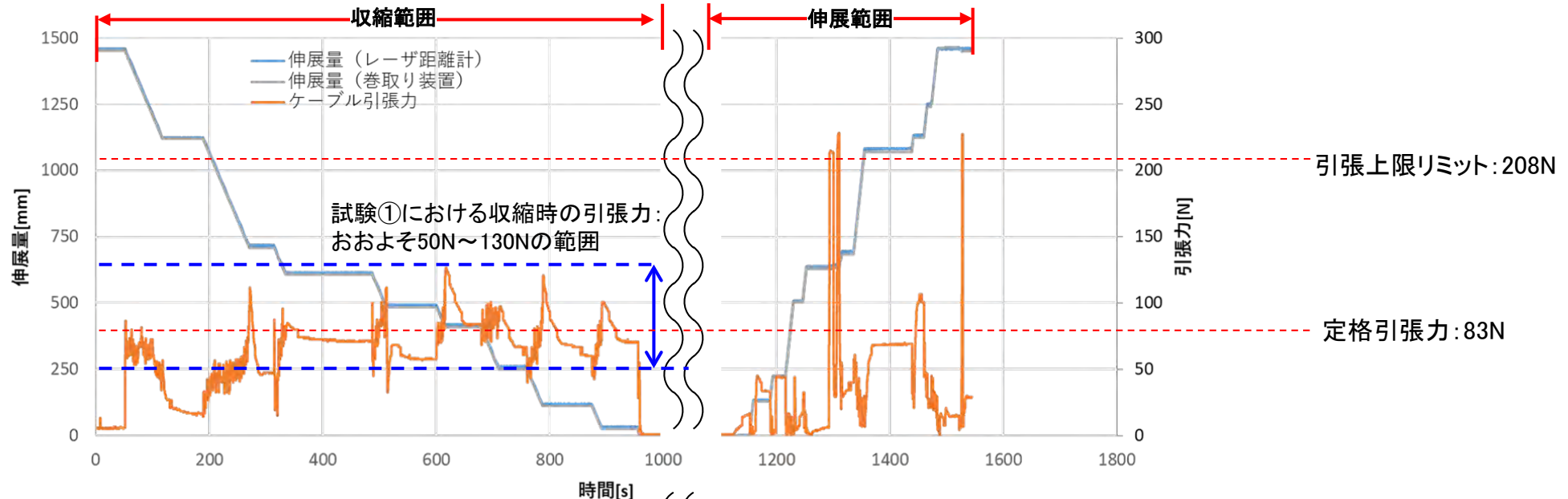
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.95

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

④テレスコパイプに異物が付着した際の伸縮動作確認試験(通常型、アルミナ)



➤ 粉体を付着させていない場合と比べて、伸展時の供給圧力、収縮時の引張力に大きな差はなかった。

収縮の際は供給圧を5kPaにして運用

伸展の際は供給圧を30kPa～40kPaにして運用

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.96

2.実現性検討 E:試験等の実施 (3)挙動確認試験

まとめ(通常型)

- 検討しているテレスコパイプとケーブル巻取り装置の構成で伸縮させられることを確認した(リークの影響は無かった)。ただし、ケーブル巻取り装置のモータの定格トルクによる引張力83Nに対し、テレスコパイプを垂直にした条件では最大必要引張力が230Nであったため、テレスコパイプのシール摺動抵抗の低減が必要であることが分かった。
- テレスコパイプは傾き3°であれば伸縮できることを確認できたため、今後は取り出し用アーム型アクセス装置による設置誤差を確認し、必要であれば対策を検討する必要がある。
- 異物(粉体)が付着してもテレスコパイプ内で粉体が噛みこむことは無く、必要引張力が大差なかったため、ダストシールの有用性を確認することができた。

まとめ(傾き抑制型)

- 摺動抵抗が想定以上に高く、モータトルクが足りず、収縮させられないため、伸展のみさせられることを確認した。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.97

2. 実現性検討 E: 試験等の実施 14段テレスコパイプの成立性について

No.	項目	評価	理由
1	伸展動作	△	3段のテレスコパイプにおいて、通常型のパッキンであれば0.04MPa以内で伸展可能なことを確認した。ただし、テレスコパイプの伸展量が長くなるに従い、供給圧力と調整圧力が乖離していたため、14段のテレスコパイプで伸展し続けると、設定圧力を上げても供給圧力が昇圧しなくなる恐れがある。この乖離は通常型に比べてリーク量が少ない傾き抑制型では見られず、パッキンからのリークが原因であると考えられる。⇒課題①: リーク量の低減
2	収縮動作	△	3段のテレスコパイプにおいて、通常型のパッキンであれば収縮できた。ただし、収縮中の引張力がモータの定格引張力を上回ることが確認された。必要引張力低減のために摺動抵抗の低減が必要。⇒課題②: 摺動抵抗の低減
3	φ187mm開口の通過性	○	3段のテレスコパイプを最伸展させた状態で水平方向の荷重を与えた際に、通常型では7mm、傾き抑制型では3mmのガタによるずれが発生。RPV底部にあると想定したφ187mmの開口が通過するパイプは9段目(φ57mm)であり、9段目まで伸展した(長さ6.9m)際のガタによるずれ量は、通常型で21mm、傾き抑制型で10mmのため、3段のテレスコパイプにおいて伸縮させることができた通常型においても、テレスコパイプのガタがφ187mmの開口の通過に影響しないことを確認した。尚、14段目まで伸展した(長さ10.4m)際のガタによるずれは通常型で31mm、傾き抑制型では10mmとなる。
4	引っ掛かり解消性能	△	3段のテレスコパイプにおいて、通常型のパッキンでも引っ掛かりを解消することができなかった。収縮時の引っ掛かりを解消しやすくするために、パッキン構造の低摺動化を行う必要がある。また、実機ではアーム型アクセス装置が撓むため、引っ掛かりも解消しやすくなる見込み。⇒課題②: 摺動抵抗の低減

➡ シール部の摺動抵抗が高い、リークが発生する等の課題が挙げたが、機構そのものについては実現性があると評価

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.98

2.実現性検討 F:試験結果等を踏まえた評価

＜2021年度の実施計画＞

・課題①:リーク量の低減、課題②:摺動抵抗の低減に対しては以下の案を検討。

○CFRP内面の折り目を単一方向へ変更

現状のパイプ内面は炭素繊維を平織にしていることにより滑らかではないため、平滑化によりテレスコパイプ収縮時に必要な引張力の低減、パッキン接触からのリーク量を低減する必要がある。そこでパッキンが触れるパイプ内面を平滑化するために折り目を単一方向にすることで低減を図ることを検討。

○シール構造の変更

摺動抵抗の少ない通常型の空気圧シリンダ用パッキン(GLY)と先端の位置ずれ量の少ないウェアリングを組み合わせた構造にて検討。

・上記課題に加えて設計検討としてケーブル巻き取り装置の寸法制約の中で可能な限りのトルク(ケーブル巻き取り力)向上についても検討する。

・課題①、②が解決できなかった場合の代替案として、表面粗さが少なく実績のあるアルミパイプの採用も検討し、シール機能確認試験にて基礎データを取得する。ただし、アルミ材を採用する場合は、装置の高重量化、強度の観点でデメリットがあるため、採用する場合は考慮が必要。

 リーク量、摺動抵抗低減対策を踏まえたシール性能確認試験にて効果を確認し、14段のテレスコパイプによる要素試験にて工法の成立性を確認予定

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

2/3号機

No.99

2.実現性検討 F:試験結果等を踏まえた評価

<調査計画>

テレスコピック式アクセス装置を用いた調査は、下記ステップにて実施する計画である。2021年度により具体化を行う予定。

燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置へのRPV内部調査用装置の取り付け



ペDESTAL内へのアクセス



RPV内部へのアクセス・調査



ペDESTAL内への回収



取り出し用エンクロージャへ回収

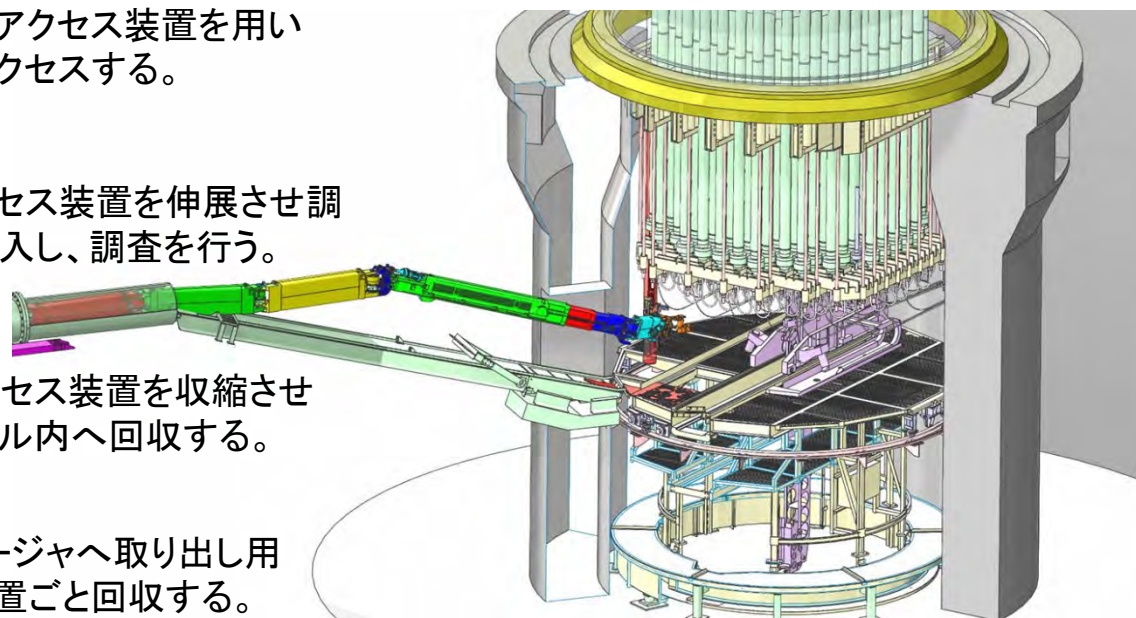
当該調査は燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置のワンド部を取り外し、RPV内部調査向けの装置を取り付けて行うものとする。

取り出し用アーム型アクセス装置を用いてペDESTAL内へアクセスする。

テレスコピック式アクセス装置を伸展させ調査装置をRPV内へ挿入し、調査を行う。

テレスコピック式アクセス装置を収縮させ調査装置をペDESTAL内へ回収する。

取り出し用エンクロージャへ取り出し用アーム型アクセス装置ごと回収する。



2/3号機下部アクセス調査イメージ

7. まとめ

(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

No.100

・代替可能な加工技術の調査・評価を行い、二次廃棄物を少なくする加工技術としてホールソー切断、ディスクソー切断、レーザ切断をアブレイシブウォータージェット(AWJ)に加えて適用加工技術の候補として抽出した。

・AWJではノズルを小型化し、噴射角度や切断位置等の加工パラメータの最適化検討を行った。加えてホールソー切断、ディスクソー切断、レーザ切断については適用した場合の装置・ツールを検討した。

・各加工技術について、切断性能を確認する簡易試験を実施し、AWJ切断、レーザ切断の適用見通しがあると判断した(切断方向に対する工法の組合せは右表参照)。

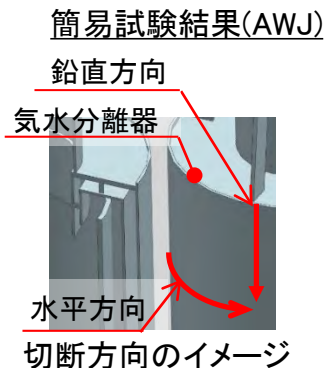
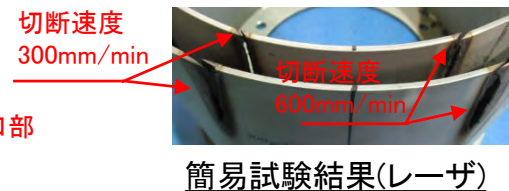
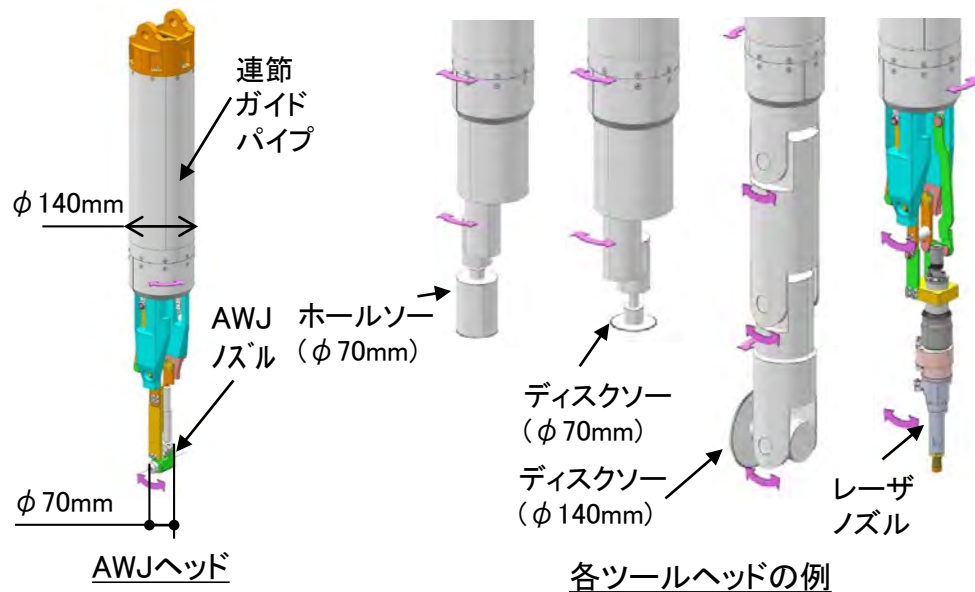


表 選定した工法とその組み合わせ

加工技術の組合せ	No.1		No.2	
	鉛直	水平	鉛直	水平
	AWJ	AWJ	レーザ	AWJ

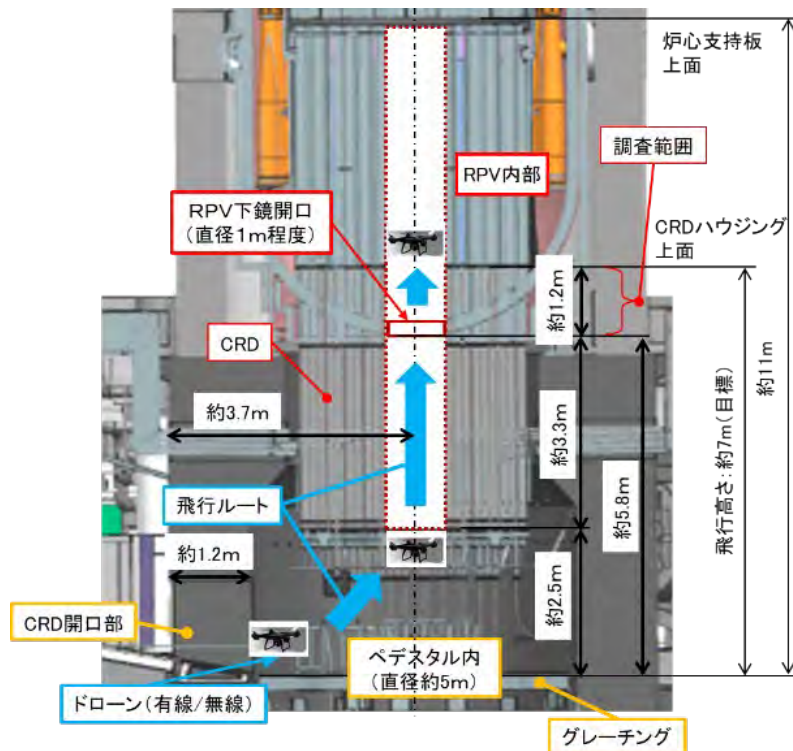
7. まとめ

(2) 下部アクセス調査工法の開発

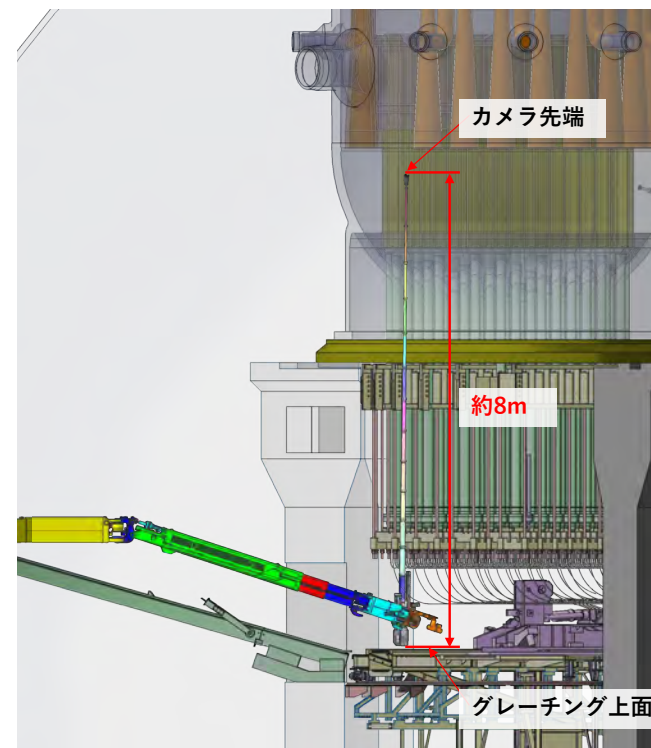
No.101

・1号機は、RPV下部の開口径が大きいと想定されるため、PCV内部詳細調査PJで開発中のクローラ型アクセス装置を活用し、ドローン(有線、無線)によりRPV内部へアクセスする工法を開発する事とした。ドローンによるRPV内部へのアクセス実現性評価のため、簡易的な飛行試験を実施し、有線ドローンはドローンとケーブルドラムの構成、無線ドローンはドローンと伸縮ロッドの構成を選定した。

・2/3号機は、RPV下部の開口径が小さいと想定されるため、段階的に規模を拡大した燃料デブリ取り出しで使用するアーム型アクセス装置にテレスコパイプを搭載し、RPV内部へアクセス工法を開発する方針とした。実現性評価のため簡易的な試験を実施し、テレスコピック式アクセス装置の成立性を評価した。



1号機: ドローンによるアクセスイメージ



2/3号機: テレスコパイプによるアクセスイメージ

(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

簡易試験結果から絞り込んだ加工技術(AWJ/レーザ)について2021年度は、気水分離器以外への適用検討および、実機適用のための課題や更なる改善項目の抽出とその対策検討を実施予定。

(2)下部アクセス調査工法の開発

・1号機向けドローン(有線、無線)については、簡易試験結果を踏まえ、2021年度に概念設計および要素試験を実施予定。

・2/3号機向けテレスコピック式アクセス装置については、簡易試験にて伸縮は可能だが、摺動抵抗が想定より高い結果となっており、改良を実施する。2021年度に摺動抵抗・リーク量低減対策を踏まえた概念設計を行い、14段のテレスコパイプによる要素試験を実施する予定。

また、燃料デブリ取り出し用アーム型アクセス装置との取り合い情報、設計情報の確認・反映を実施予定。