

廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金
原子炉圧力容器内部調査技術の開発
(上部アクセス調査工法における加工技術の高度化、
下部アクセス調査工法の開発)

2022年度最終報告

2023年6月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

- 1.研究の背景と目的
- 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.39
 - ・2/3号機:テレスコピック式アクセス装置によるRPV内へのアクセス装置の開発.....No.114

1. 研究の背景と目的

【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。

【2021年度までの実施内容】

2019年度までに、上部/側面アクセス調査工法の実機適用性を検討した。

2020年度からは、上部アクセス調査工法で残された課題として、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に対する開口加工方法について、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のより少ない加工技術の開発を実施。

また、上部/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る。そのため2020年度からは、原子炉格納容器(PCV)内部調査のために既に構築されたPCV内部へのアクセスルート等を利用してPCV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内部を調査する工法(下部アクセス調査工法)の調査計画の策定、及び下部アクセス・調査装置の概念検討を実施した。

【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

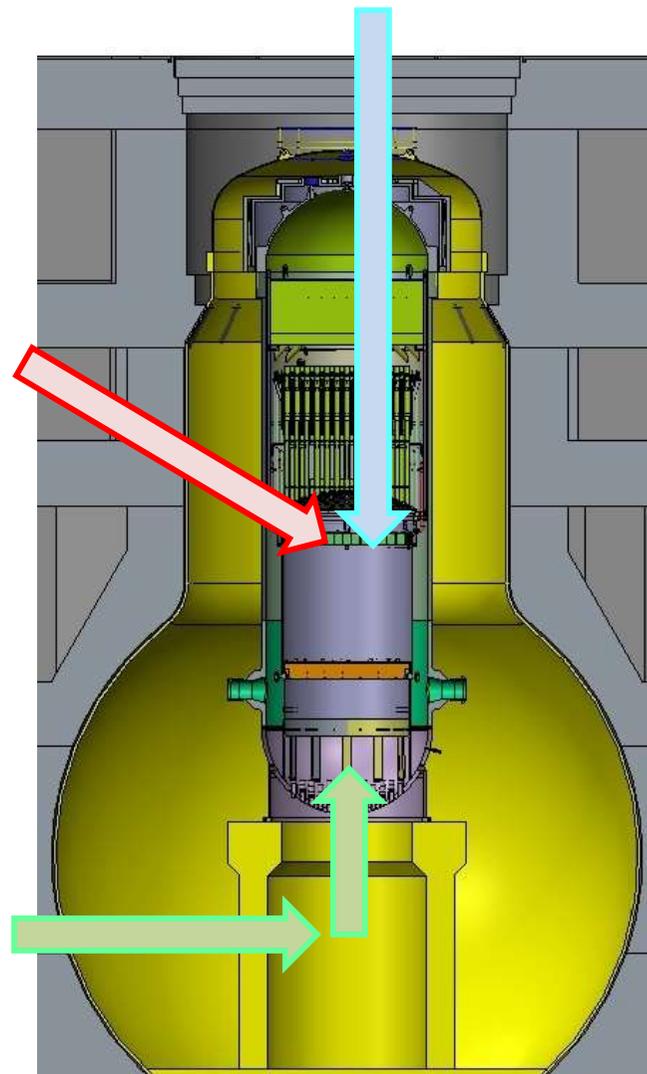


RPV内部の情報
(視覚情報・線量率 等)

燃料デブリ取り出し
工法検討・装置設計

側面アクセス
調査工法

下部アクセス
調査工法



1. 研究の背景と目的

【本事業の実施内容】

上部アクセス調査工法における加工技術として、2021年度までに開発された加工技術の現場適用に必要な機能を試験にて確認する。

また、RPV内部を調査する下部アクセス・調査装置に関して、2021年度までに得られた概念検討結果に基づき装置を試作し、現場適用に必要な機能を試験にて確認する。
具体的には以下の項目について検討・技術開発を実施する。

(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

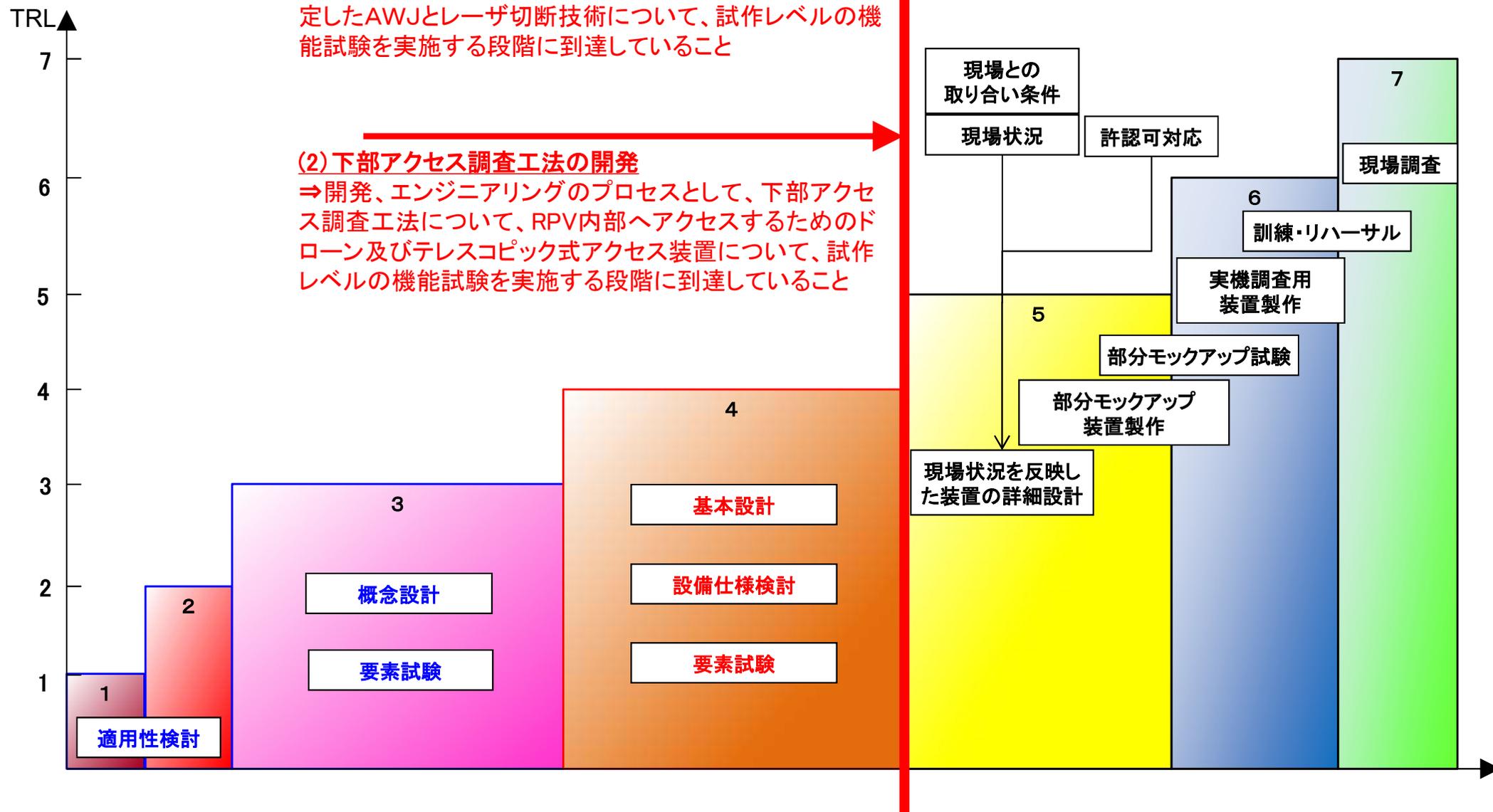
- ①加工技術の現場適用に必要な機能検討
- ②要素試作の単体性能確認

(2)下部アクセス調査工法の開発

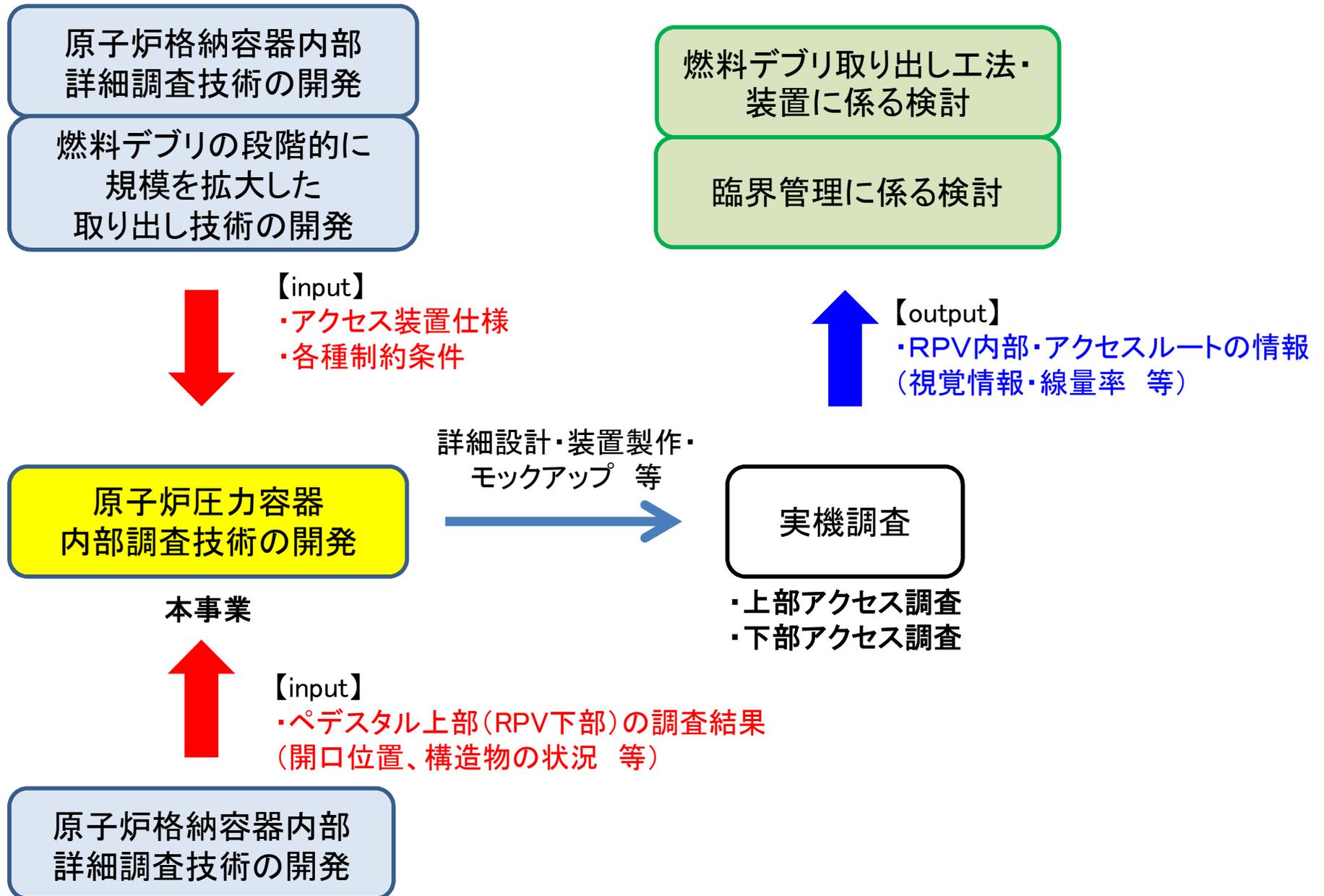
- ①下部アクセス調査計画及び調査装置の開発計画の策定
- ②下部アクセス・調査装置の試作、機能確認試験

(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、2021年度までに選定したAWJとレーザ切断技術について、試作レベルの機能試験を実施する段階に到達していること

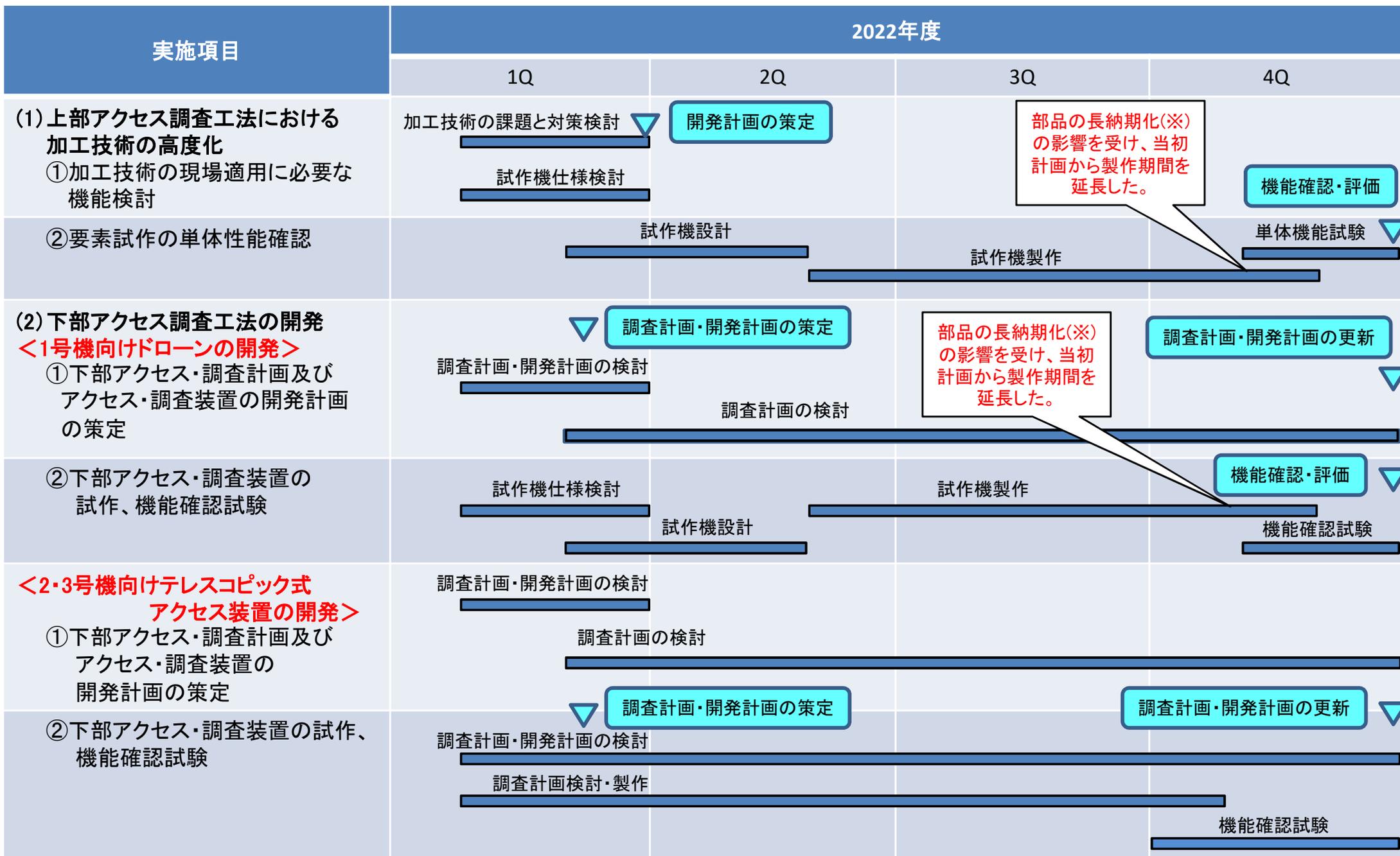
(2) 下部アクセス調査工法の開発
 ⇒ 開発、エンジニアリングのプロセスとして、下部アクセス調査工法について、RPV内部へアクセスするためのドローン及びテレスコピック式アクセス装置について、試作レベルの機能試験を実施する段階に到達していること



3. 実施項目とその関連、他研究との関係

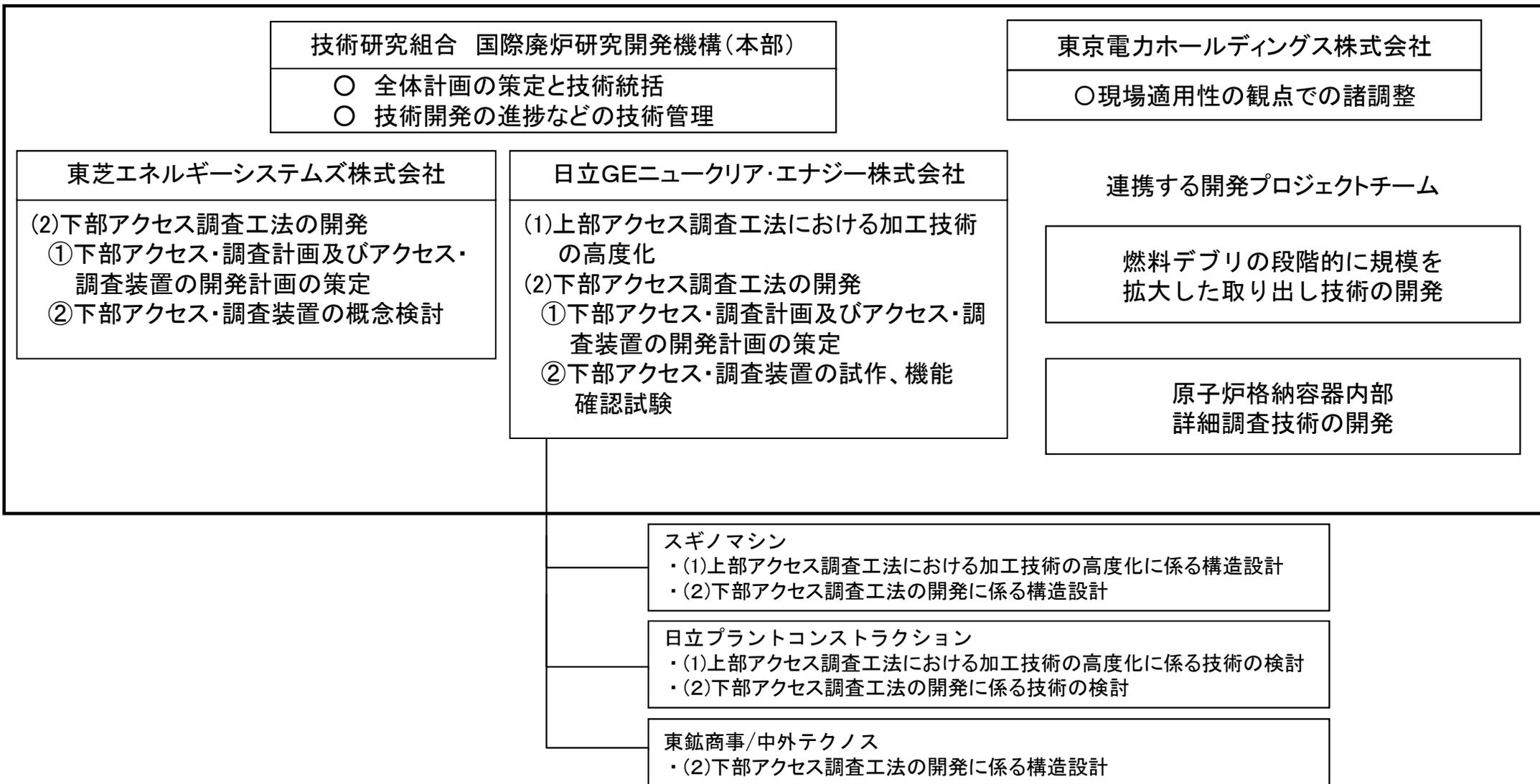


4. 実施スケジュール



5. 実施体制図

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、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。



<2021年度までの実施状況>

従来のアブレイシブウォータージェット(AWJ)切断よりも二次廃棄物(アブレイシブ等)を少なくする工法として、改良型のAWJ切断およびレーザー切断に絞込みを実施し、絞り込んだ工法について更なる高度化を図った。

<2022年度の実施概要>

①加工技術の現場適用に必要な機能検討

AWJ切断とレーザー切断の実機適用を考慮し、遠隔で施工するための課題や装置に必要な機能を検討し、それを検証するための要素試作内容の検討を実施した。

②要素試作の単体性能確認

試作機の設計・製作を実施し、単体の機能が満足していることを確認した。

<2022年度の実施内容>

加工技術	実施内容	
レーザー	①	加工技術の課題と対策検討
	②	開発計画の検討
	③	実機を考慮した遠隔装置の仕様検討/設計/試作
	④	レーザー切断装置(試作機)の単体機能試験および組合せ動作確認試験

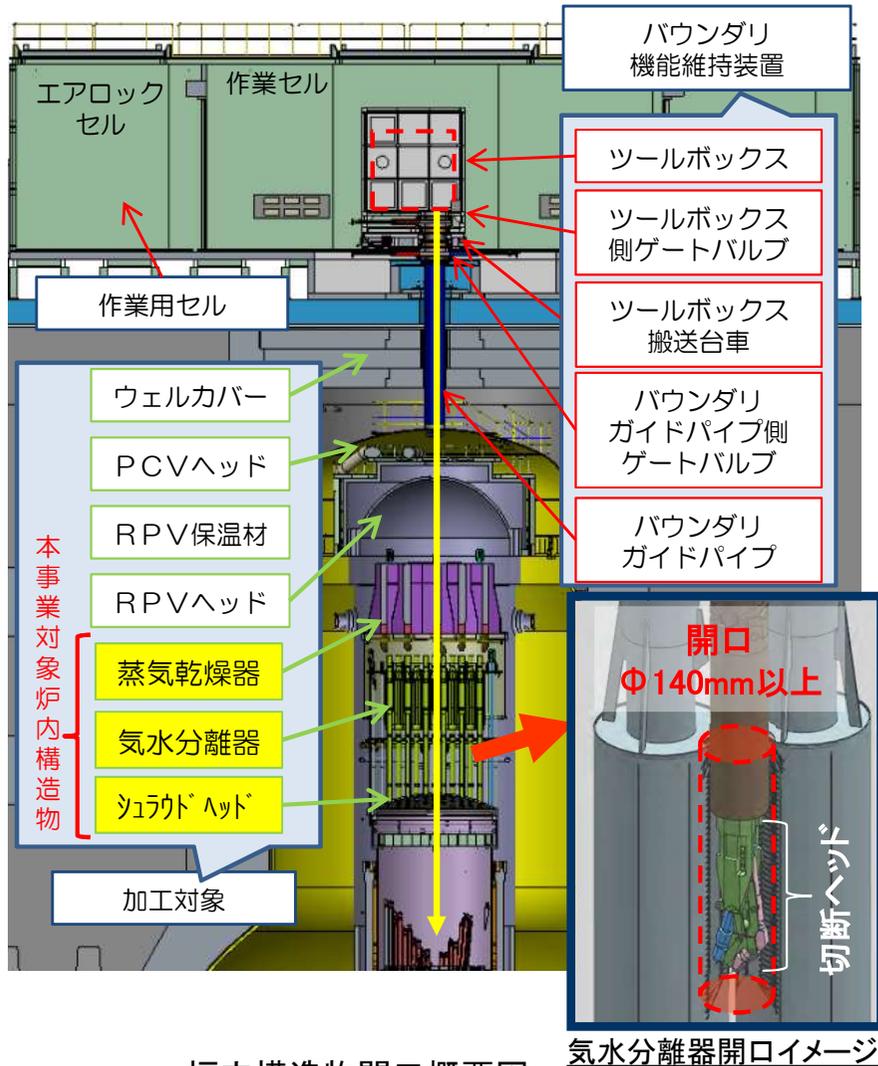
加工技術	実施内容	
AWJ	①	加工技術の課題と対策検討
	②	開発計画の検討
	③	アブレイシブ供給量安定化機構の仕様検討/設計/部分要素試作
	④	ノズルメンテナンス方法の検討/設計/部分要素試作
	⑤	各部分要素試作機の単体機能試験
共通	①	連節ガイドパイプ回収不能パターンの検討

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

1) 2021年度までの成果(全体概要)

RPV内部調査上部アクセス調査工法において、アクセスルート構築のため、炉内構造部にΦ140mm以上の開口を設けるための加工技術の開発を実施。



炉内構造物開口概要図

2021年度までの主な成果と2022年度実施内容

2019年度まで

- AWJ切断で炉内構造物が切断可能なことを確認
- 遠隔装置で施工可能なことを試作機にて確認
- **二次廃棄物量(アブレイシブ使用量) 約8.8tが課題**

2020年度

- 二次廃棄物量低減のためAWJ切断の改善と他の加工技術の適用性を検討 (**二次廃棄物量500kg以下目標**)
- AWJ切断はノズル小型化により狭隘部への挿入、加工対象物への接近が可能となり切断能力向上 (**二次廃棄物量約1.3tまで低減**)
- 他の加工技術についてはレーザー切断が鉛直方向の切断に適用可能なことを試験で確認(WJ、ホールソー、ディスクソー適用不可)
狭隘部へのノズル挿入が困難で水平方向切断に適用不可

2021年度

- AWJ切断は二次廃棄物量低減を、レーザー切断は炉内構造物切断全箇所への適用を検討
- AWJ切断はアブレイシブ低供給条件の試験を行い **二次廃棄物量約0.3tまで低減(目標500kgを達成)**
- レーザ切断はノズル小型化により炉内構造全箇所への適用可能な見通し
- AWJ切断はアブレイシブ低供給により **供給不安定事象発生**
- レーザ切断は **遠隔装置の成立性確認要**

2022年度

- AWJ切断: アブレイシブ供給安定化検討及び要素試験実施
ノズル・カメラの遠隔交換方法検討
- レーザ切断: 遠隔装置検討及び試作・単体瀬能試験実施

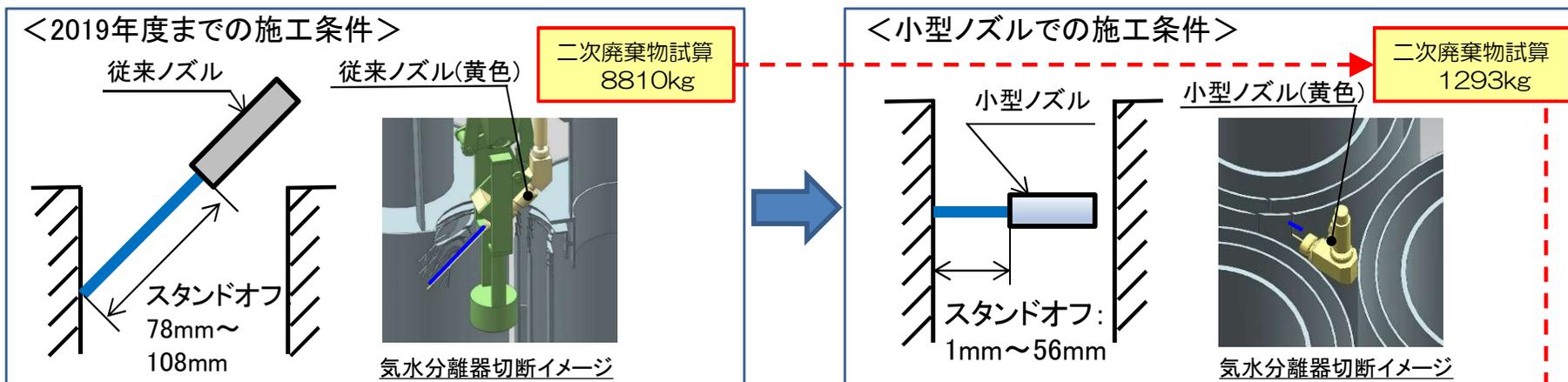
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

1) 2021年度までの成果(2020、2021年度成果概要)

2019年度までの検討結果からAWJ切断で炉内構造物の切断可能であることを確認できたが、二次廃棄物量が多いことが課題であった。そのため2020、2021年度は二次廃棄物量の少ない加工技術の検討を実施した。(目標：二次廃棄物量500kg以下)

2020年度

- 机上検討にて適用可能な加工技術の絞り込みを行い、**下記5工法**を選定。
①AWJ切断(小型ノズル採用) ②ウォータージェット切断 ③レーザー切断 ④ホールソー ⑤ディスクソー
- 絞り込んだ5工法において試験を行い適用性を評価し**①AWJ切断と③レーザー切断が適用可能と評価**した。
①AWJ切断はノズルを小型化設計し気水分離器3筒間に挿入することで施工条件の改善が可能になり従来より**二次廃棄物量を低減**。



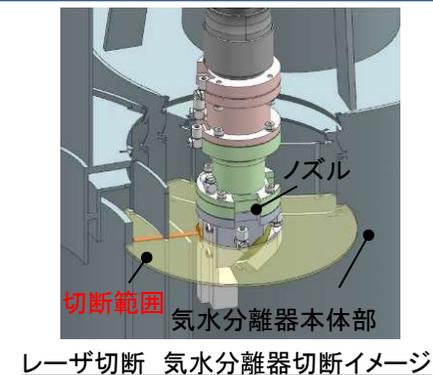
②レーザー切断においても鉛直方向の切断可を確認。2021年度に、水平方向切断に適用可能な**ノズルの設計・製作が必要**。

2021年度

- AWJ切断の更なる二次廃棄物量低減とレーザー切断の炉内構造物の切断線全てへの適用を検討し試験で確認。
①AWJ切断は切断効率の良いアブレイシブ供給量を確認し、その施工条件で切断可能なことを確認し、**二次廃棄物量目標500kgを達成可能な見通し**を得た。



- ②レーザー切断は水平方向も適用可能なノズルを設計・製作し**炉内構造物の切断線全てが切断可能な見通し**を得た。(左図に水平切断のイメージ図を示す。)



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) 加工技術の高度化の課題と開発計画の見直し(1/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目
1	レーザー切断	加工装置	<u>実機を考慮した遠隔装置の成立性</u> ・切断ノズルの狭隘部への遠隔挿入性 ・切断前後の加工対象物の状況確認方法 (カメラ視認性、レンズ損傷を懸念) ・実機長さのファイバ伝送 (レーザー出力の減衰を懸念) ・ファイバのドラムへの組み込み性 (ファイバの曲げ耐性を懸念) ・高出力レーザー(8kW)へのスリップリングの適用	左記課題の対策を反映した遠隔装置の設計/試作を行い、実機想定高さ(最大18m)を模擬し、遠隔装置の成立性を確認する。	○	・実機を考慮した遠隔装置の設計/試作 ・遠隔装置の単体機能試験・組合せ試験 (遠隔挿入性/カメラ視野範囲/レーザー出力等の確認)
2			<u>ノズルのメンテナンス</u> (ノズル耐久性は問題無いことを2021年度に確認済みであるが、ノズルに不具合発生した場合の対応)	ノズルメンテナンス方法を検討する。	— (無し)	— (AWJ切断のノズルメンテナンス方法を検討するため、レーザー切断はその結果を受けて、2024年度以降に実施する想定)
3		加工技術	<u>切断時のドロスの影響</u> (ドロスを飛ばしやすい切断パラメータを模索し、再溶着リスクを低減)	アシストガス流量、方向とレーザー出力やノズル速度などのパラメータを最適化し、ドロスを飛ばしやすい条件を確認する。	— (無し)	— (再溶着なく施工可能な条件は、2021年度の試験で確認済みのため、遠隔装置の成立性を確認した後、2024年度以降に更なるリスク低減を要否含めて検討する想定)
4		環境模擬	<u>実機環境の影響</u> (温度・湿度・雰囲気条件)	実機環境の影響を検討し、必要に応じて試験で影響を確認する。	— (無し)	— (遠隔装置の成立性を確認した後での確認とし、2024年度以降に実施する想定)
5		他システムへの影響確認	<u>アシストガス制約</u> (種類・流量)	実機の制約を確認し、必要に応じて試験を行う。	○	・実機制約の確認(机上検討)

⇒スライドNo.16～27参照

⇒スライドNo.17参照

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

2) 加工技術の高度化の課題と開発計画の見直し(2/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目
6	AWJ 切断	加工装置	<u>実機を考慮した遠隔装置の成立性</u>	実機を考慮した遠隔装置の成立性は2019年度までに確認済みのため、2019年度からの変更点の影響を確認する。	— (無し)	— (2019年度からの主な変更点はノズル形状であり、軽微な変更のため、必要に応じてNo.1のレーザー切断用試作機の結果を2024年度以降にAWJ切断へ展開する想定)
7			<u>アブレイシブ供給量安定化</u> (2021年度にアブレイシブ供給量を100g/minとしたが、実機を考慮した遠隔装置で安定供給可能であるか確認要。)	実機を考慮した遠隔装置でアブレイシブの安定供給可能かを確認する。またアブレイシブ供給量の可変化についても検討する。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・アブレイシブ供給量安定化検討 ・部分要素試作機的设计/製作 ・部分要素試作機の単体機能試験 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">⇒スライドNo.28～32参照</div>
8			<u>ノズルのメンテナンス</u> (2021年度試験結果より、ノズル寿命が約8時間に対し、想定される実機施工時間は約42時間(アングルノズルの場合)のため、メンテナンスが必要)	ノズルメンテナンス方法を検討する。 (損傷の大きかったミキサー部分の材質変更(SUS630→超硬)も考えられるが、実機施工時間には到達不可と推定するため)	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ノズルメンテナンス方法の検討 ・部分要素試作機的设计/試作 ・部分要素試作機の単体機能試験 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">⇒スライドNo.33～36参照</div>
9		アブレイシブ低減	<u>更なるアブレイシブ使用量低減</u> <ul style="list-style-type: none"> ・アブレイシブ供給量適正值の更なる深掘り ・最適ノズルの形状選定 ・切断回数が多い箇所の回数低減等 	目標のアブレイシブ使用量: 500kg以下は達成しているため、対応はHOLDとし、他課題の対応結果を受け、再度対応可否を確認する。	— (無し)	— (HOLD)

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) 加工技術の高度化の課題と開発計画の見直し(3/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目
10	共通	加工装置	切断片の処理(移動) (2021年度試験にて切断片が別箇所での切断の障害物となる事象有り)	切断片の移動方法を検討する。	— (無し)	— (装置本体の開発課題を優先し、付帯装置の対策は、2024年度以降に実施する想定)
11			構成部品の耐放射線性	破損リスクのある構成部品に照射試験を行い、適切な部品を選定する。	— (無し)	— (遠隔装置の装置構成を決定した後での確認が合理的と判断し、2024年度以降に実施する想定)
12			構成部品の耐久性	ホースおよびその他の構成部品について劣化リスクのあるものを抽出し、耐久性を確認する。 (各ノズルの耐久性は2021年度確認済み)	— (無し)	— (劣化リスクの高いノズルについては、2021年度に確認済みのため、その他の構成部品については、実機相当品での確認が合理的と判断し、2024年度以降に実施する想定)
13		リスク 対応	炉内構造物が損傷して変形していた場合のインストール方法	変形によるインストール不可リスクが高いのは、気水分離器の3筒間へノズルを挿入する工程と考えるため、3筒間の開口を拡大する方法を検討する。	— (無し)	— (現場状況を反映した装置の詳細設計は次フェーズでの実施内容とし、2024年度以降に実施する想定)
14			連節ガイドパイプ回収不能時の対応	回収不能となるパターンを検討し、必要に応じて対応策を検討する。	○	・回収不能パターンの検討 (机上検討) ⇒スライドNo.37参照

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

3) 加工技術の高度化 開発の流れ(案)

区分	2021年度まで	2022年度			2023年度(※)		2024年度以降(※)			
TRL到達度	TRL:3~4 ・レーザは'20、'21年度にTRL3達成済み。 ・AWJ遠隔装置の成立性は'19年度までにTRL4達成済み。	TRL:4 試作レベルの機能試験を実施可能な段階へ到達することを目標とする。			TRL:4 レーザ、AWJ共に試作機にて試験を実施し遠隔装置の成立性を確認する。		TRL:5	TRL:6	TRL:7	実機適用
—	主要な成果	机上検討	設計/試作	単体機能試験	要素試験	評価	実機装置製作・設計/モックアップ試験/訓練のフェーズ			
レーザ	加工技術の検証を実施 ・加工対象全てが切断可能な見通し。	実機を考慮した遠隔装置の試作機製作・単体機能確認(課題No.1) ・機能検討および要素試作内容を検討する。 アシストガス制約(課題No.5) ・実機制約を確認する。			試作機での実機模擬体切断試験(課題No.1) ・加工対象の実機模擬体を用いた切断試験を行う。	評価 ・試験結果より実機適用性を評価する。	実機設計・製作 モックアップ試験 訓練 切断時のドロスの影響低減(課題No.3)(レーザーのみ)			
AWJ	遠隔装置の成立性を確認 ・2019年度までの試作機で遠隔装置の成立性を確認した。 アブレイシブ使用量を低減(目標達成) ・アブレイシブ使用量目標の500kg以下を達成可能な見通しを得た。	アブレイシブ供給量安定化機構の試作・単体機能確認(課題No.7) ノズルのメンテナンス機構の要素試作・メンテナンス性確認(課題No.8) ・アブレイシブ供給量安定化方法および調整方法を検討する。 ・ノズルメンテナンス方法を検討する。			試作機での切断試験(課題No.7) ・2022年度の結果を基に必要に応じて要素試験を実施する。	評価 ・試験結果より実機適用性を評価する。	遠隔メンテナンス装置の設計・製作・モックアップ試験(課題No.8) 切断片処理ツールの設計・製作・モックアップ試験(課題No.10) 炉内構造物が変形していた場合のインストール方法検証(課題No.13)			
共通	—	連節ガイドパイプ回収不能パターン検討(課題No.14) 必要に応じて、'24年度以降に対応策を検討し設計へ反映する			構成部品の耐放射線性(課題No.11)	—	装置耐久性(課題No.12)			

6. 実施内容

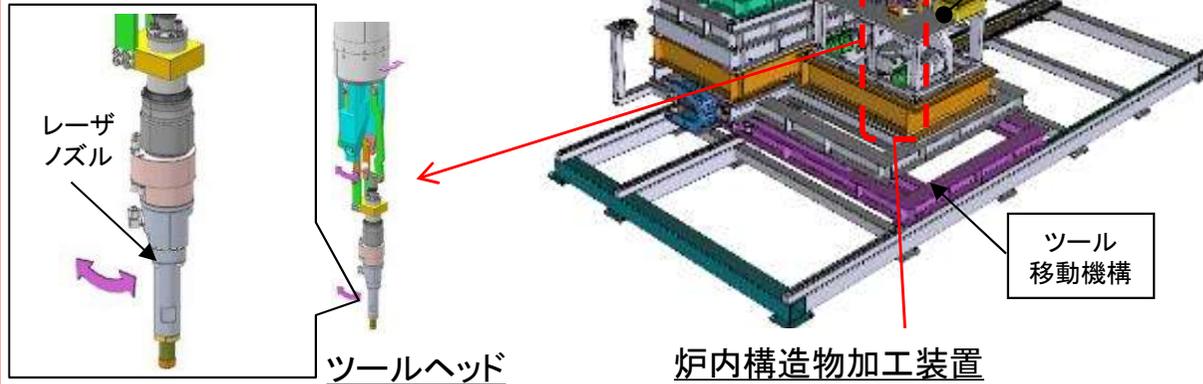
(1) 上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

4) 加工技術の高度化 実施内容

レーザ切断

【2022年度実施内容】

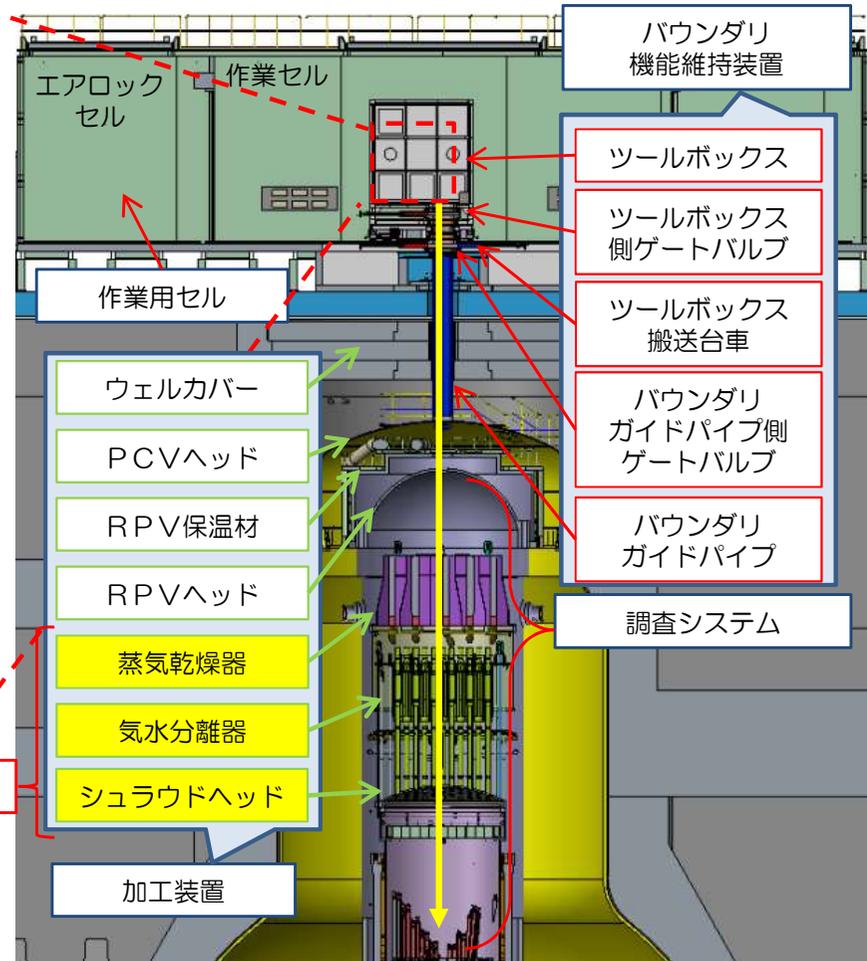
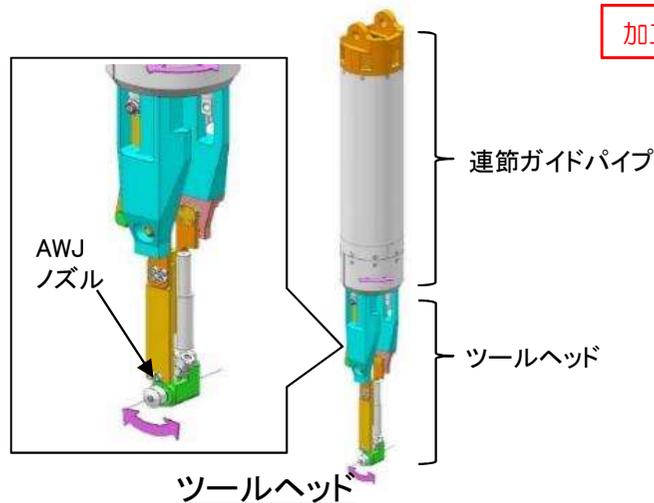
- ・試作機の仕様検討
- ・実機を考慮した遠隔装置の設計・試作
- ・遠隔装置の単体機能試験および組合せ動作試験



AWJ切断

【2022年度実施内容】

- ・アブレイシブ供給量安定化検討
- ・ノズルメンテナンス方法の検討
- ・各要素試作機の仕様検討
- ・要素試作機の設計/製作
- ・要素試作機の単体機能試験



上部アクセス調査工法概念図

共通

【2022年度実施内容】

- ・連節ガイドパイプ回収不能パターンへの検討

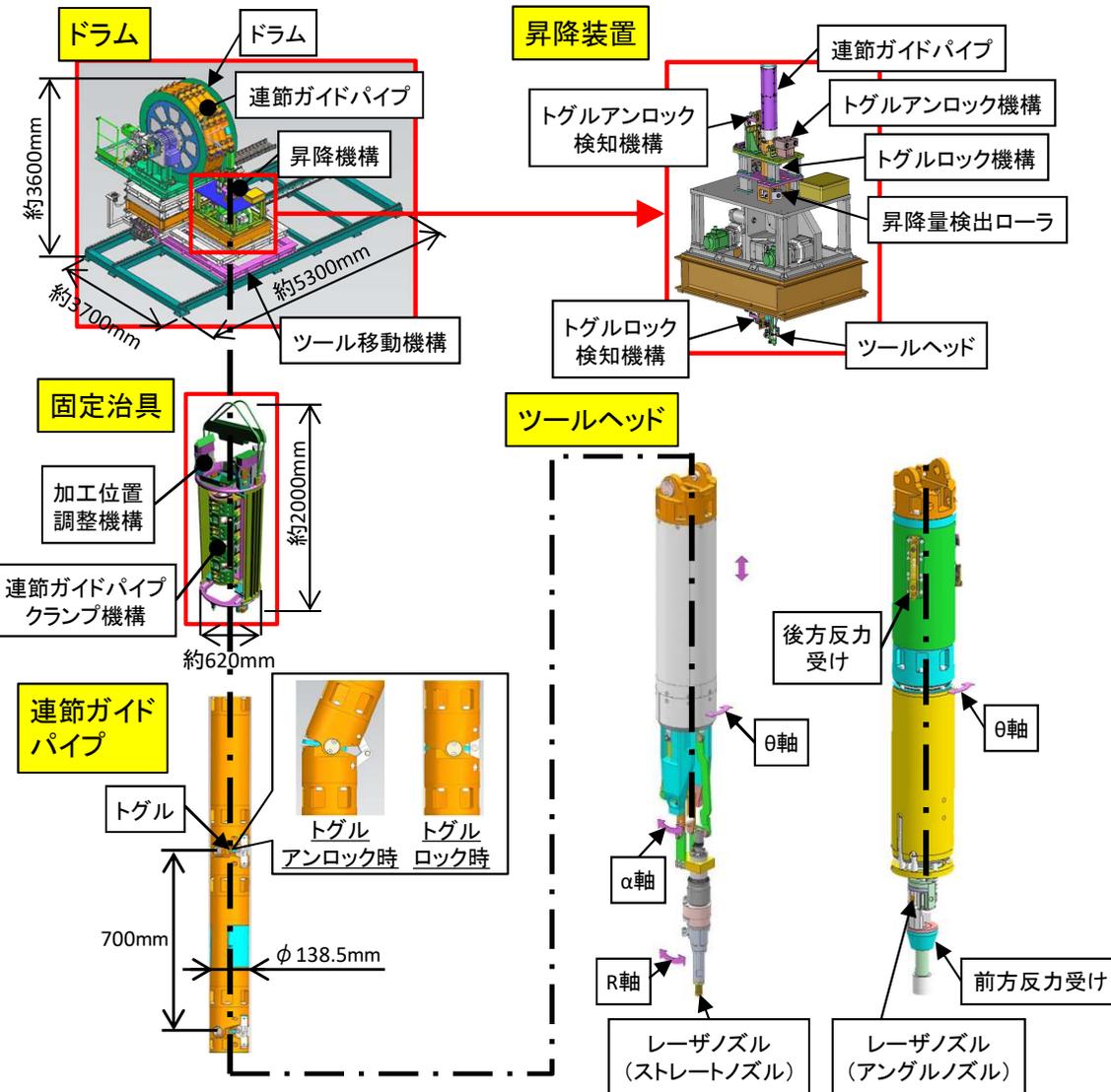
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

5) レーザ切断技術の成果

① レーザ切断装置(試作機)の仕様検討・設計

<装置概要>

作業セル上の開口計画位置(RPV予備ノズル直上位置)において、蒸気乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッドの開口を行う装置



<試作機の仕様検討・設計>

①仕様

【構成】

- ・レーザ切断装置は、レーザノズルを有するツールヘッド、連節ガイドパイプ、昇降装置、ドラム、ツール移動機構にて構成される。
- ・レーザ発振器は別途設置。

【ツールヘッド】

- ・ツールヘッド(アングルノズル用)はレーザノズル、前方/後方の反力受け、ツールヘッドを回転させる θ 軸モータから構成される。
- ・ツールヘッド(ストレートノズル用)はレーザノズル、レーザノズルの位置・角度を調整する α 軸/R軸モータ、ツールヘッドを回転させる θ 軸モータから構成される。

【連節ガイドパイプ】

- ・長さ700mmのパイプが連なって構成され、先端にはツールヘッドが接続されている。他方の先端はドラムに取り付けられている。
- ・先端にツールヘッドが接続されている連節ガイドパイプをドラムの回転により送り出し/巻き取りを行う。
- ・各関節は昇降機構通過時に、上下のパイプの軸が一致するようトグルがロックされ、ツールヘッドを支持する。

【昇降装置】

- ・昇降ローラ、トグルロック機構から構成され、連節ガイドパイプの昇降をアシストする。

【ドラム】

- ・連節ガイドパイプの送り出し、巻き取りの機能を有する。
- ・ドラムの水平位置を調整する機能(ドラム横行軸・ドラム前後軸)を有する。

【ツール移動機構】

- ・炉内構造物加工装置の水平位置を調整する機能(ツール移動軸X・Y)を有する。

②レーザ切断のための主な設計ポイント

【昇降設備(ドラム+昇降装置)】

- ①装置へのファイバ組み込み
- ②高出力のレーザ伝送設計 (スリップリング・回転カプラ採用検討等)
- ③レーザノズルの冷却水および各種ガス系統の設計

⇒スライドNo.18参照

【ツールヘッド】

- ・レーザ用に新規設計。

⇒スライドNo.17参照

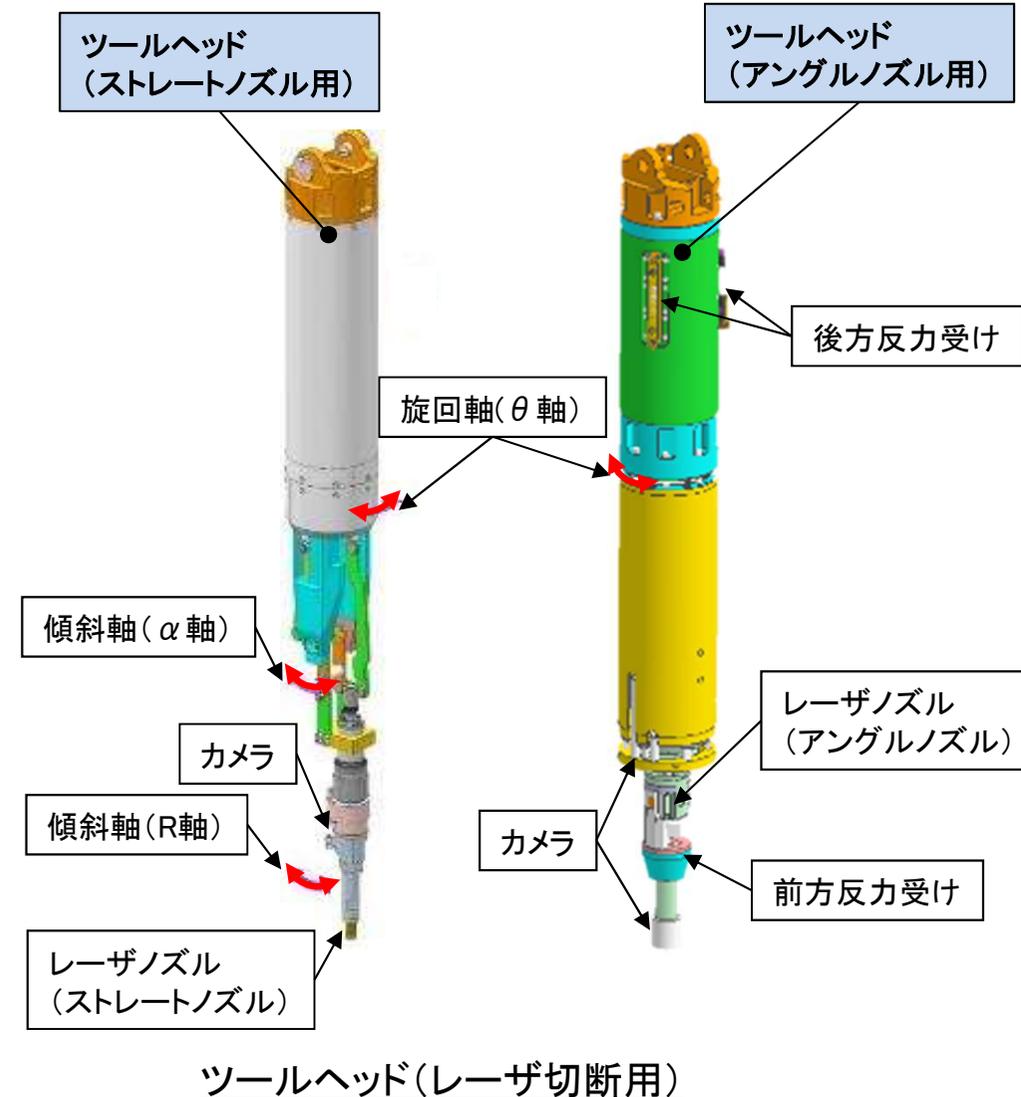
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

5) レーザ切断技術の成果

② ツールヘッドの設計

【主な設計内容】

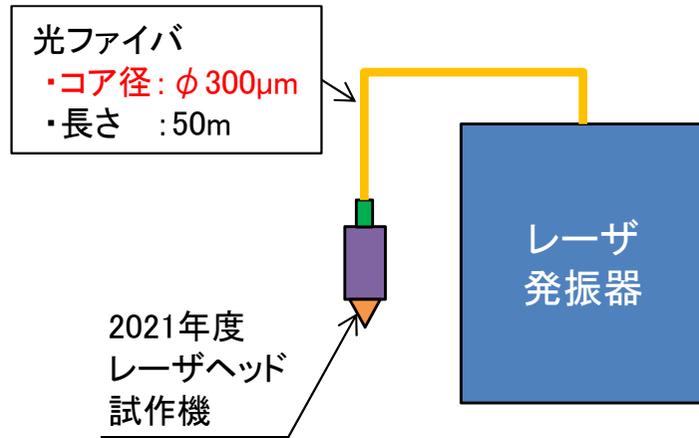
- ・各駆動軸の設計(可動範囲/速度)
:2021年度の試験結果から設定した施工条件で施工可能な駆動軸の設計。
- ・反力受けの設計
:アシストガス噴射の反力に対し、ツールヘッド(アングルノズル用)の振れを低減するための機構を設計。
ストレートノズル用のツールヘッドは反力による振れが小さいため、反力受けは不要と判断した。
- ・レーザ伝送システムの設計
:ツールヘッド内に内包したファイバケーブルを先端のレーザノズルへ接続するための設計を実施。
- ・カメラの設置
:ツールヘッドをアクセスさせるための位置確認および、加工対象の確認を行うためのカメラを設置。
- ・アシストガスの制約
:アシストガス種類は、現状RPV内に封入している「窒素」を適用することとし、窒素ポンペを接続可能な設計を実施。
アシストガス流量については、現行のRPV内窒素封入流量より多くなる見込みだが、断続的に切断を行う等、運用面で対策可能と考えられ、装置設計への反映は不要と判断。
なお運用面での対策は、実機情報がインプットされるTRL5のフェーズで具体的に検討することを想定。



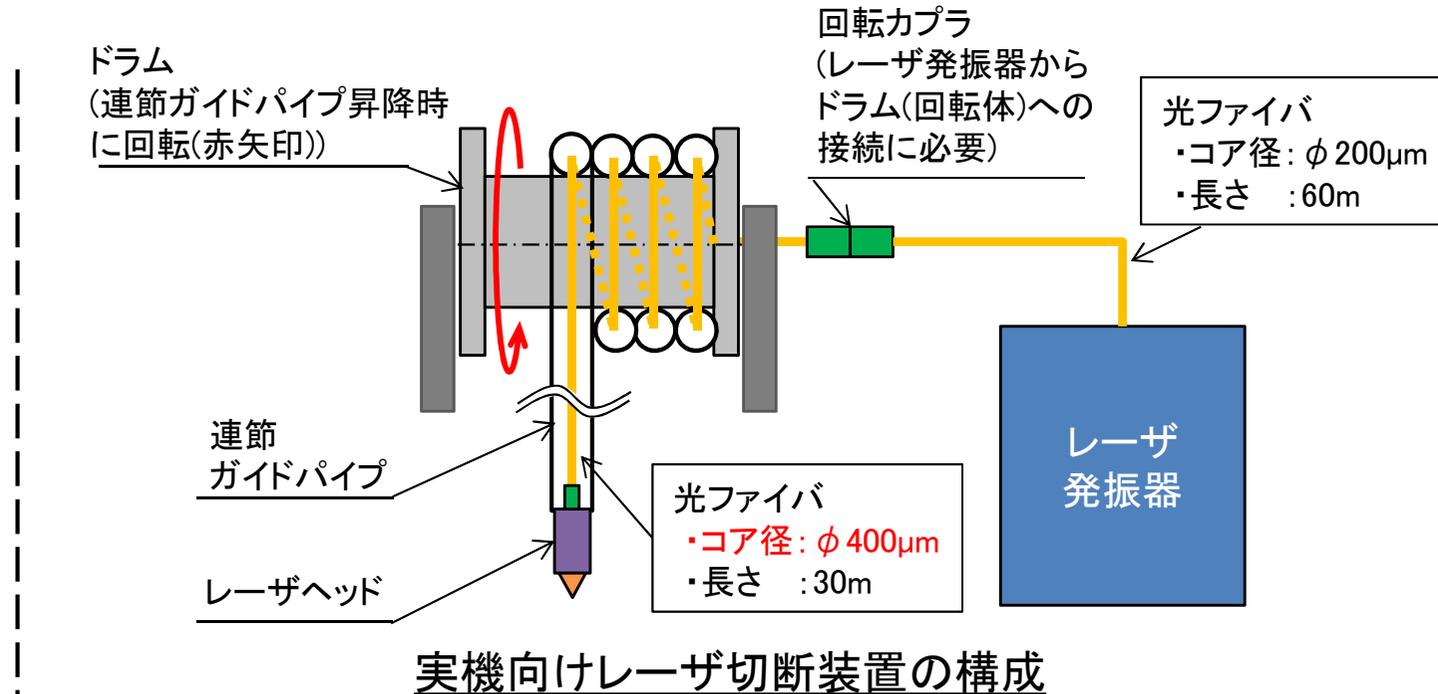
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

5) レーザ切断技術の成果

③ 高出力レーザー伝送の設計



2021年度要素試験時の構成



- 2021年度のレーザーヘッド試作機にはレーザー発振器付属の光ファイバ(コア径φ300μm、長さ50m)を使用し、切断試験にて適用見通しがあることを確認。
- 実機を考慮した設計にあたり、以下を考慮。
 - 発振器からドラムを接続する光ファイバは、伝送距離を50m程度と想定しコア径φ200μmを選定。
 - レーザー発振機から回転体であるドラムへ光ファイバを接続するため、回転カップラを採用。
回転カップラ部でファイバ芯ずれを許容するため、ドラム側のコア径を、発振器側より200μm大きくする必要有り。
- 2021年度試作機と比較し、レーザーヘッドに繋がる光ファイバコア径が増加(レーザービーム径が拡大しパワー密度が低下)、切断性能の低下の懸念有り。
- パワー密度低下は施工時のノズル速度(切断速度)低下など、運用面での対策が可能と考えられ、切断性能試験にて切断可否や切断可能な条件の確認が必要。

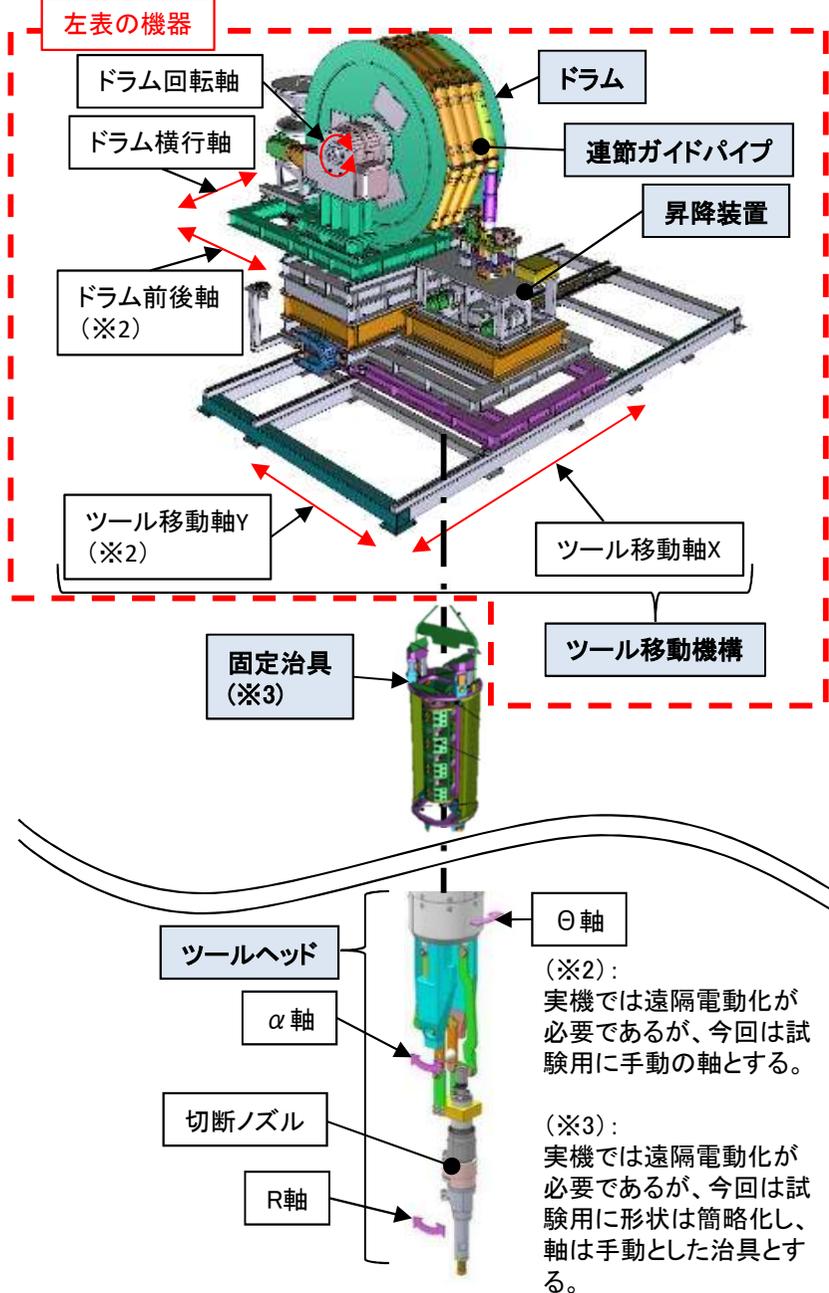
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

5) レーザ切断技術の成果

④ レーザ切断装置の単体機能試験計画(1/2)

切断性能に影響するパラメータを中心に、対象部位ごとに試験項目を抽出。

No.	対象部位	関連要素	試験項目	備考
1	ドラム、昇降装置 (※1)	<ul style="list-style-type: none"> ドラム回転軸 ドラム横行軸 昇降装置 	連節ガイドパイプ昇降速度の精度確認	気水分離器切断(鉛直切断)時のノズル速度に影響し、切断性能に関わるパラメータ。
			連節ガイドパイプ昇降範囲の確認	加工対象切断位置まで連節ガイドパイプを昇降できる必要有り。
			連節ガイドパイプ昇降位置の精度確認	スタンドオフに影響するため、切断性能に関わるパラメータ。
			1インチング動作距離の確認	鉛直方向の位置調整の精度に影響し、スタンドオフの設定など切断性能に関わるパラメータであり、実力値を測定。(判定基準は無し)
2	連節ガイドパイプ	トグル	無反力時の連節ガイドパイプ振れ量確認【参考測定】	切断性能に影響する項目ではないが、開口部通過性に関わるため、実力値を参考測定する。
			アシストガス反力による連節ガイドパイプのたわみ量確認	反力受けが無いツールヘッド(ストレートノズル)ではたわみがスタンドオフ等に影響する可能性があり、切断性能に関わるパラメータ。但し、ツールヘッドのα/R軸で補正も可能なため、本単体試験では、実力値を測定することとする。
3	ツール移動機構	<ul style="list-style-type: none"> ツール移動軸X ツール移動軸Y 	動作範囲/精度【参考測定】	2019年度に成立性を検証した設計から変更は無く、検証は不要と判断。ツール移動軸Yについては手動軸を採用、簡略模擬としたため動作範囲のみ参考測定。ツール移動軸Xについては、作業性の観点から電動軸としており、動作範囲/精度を参考測定する。



(※2): 実機では遠隔電動化が必要であるが、今回は試験用に手動の軸とする。

(※3): 実機では遠隔電動化が必要であるが、今回は試験用に形状は簡略化し、軸は手動とした治具とする。

炉内構造物加工装置

(※1) 連節ガイドパイプを降下させる場合、ドラムと昇降機構を連動させるため、同時に確認を行うこととする。

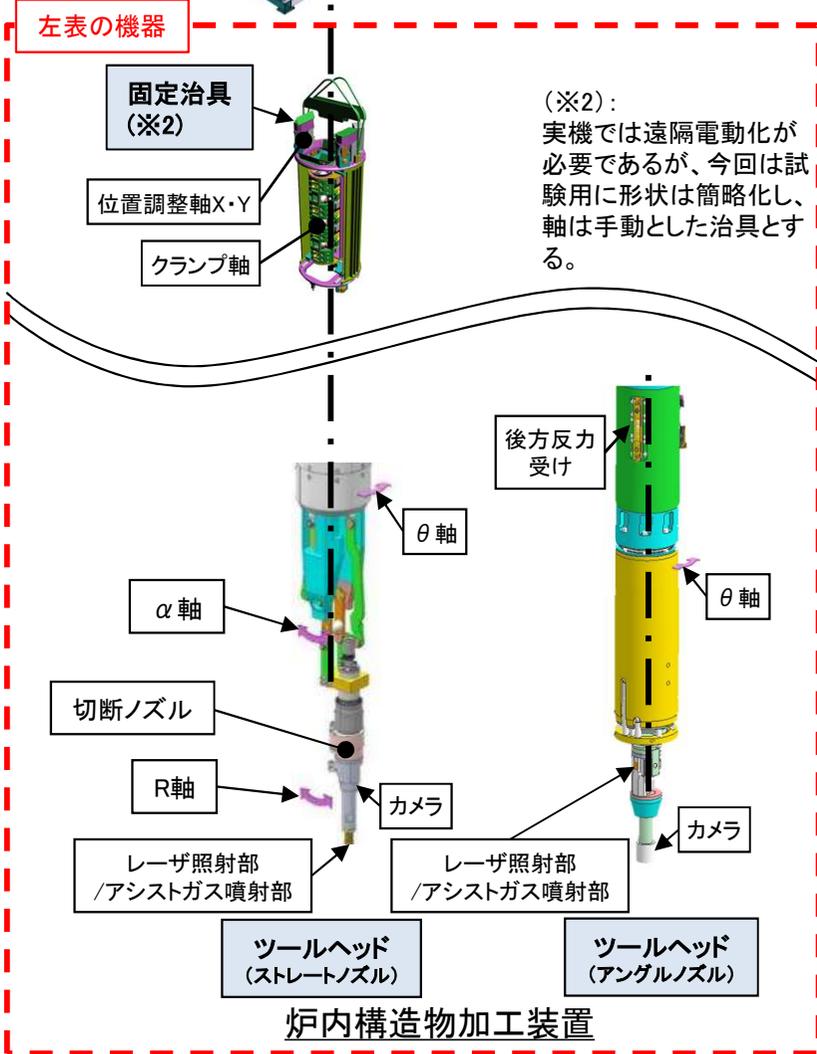
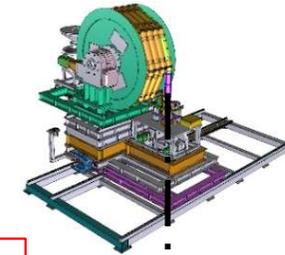
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

5) レーザ切断技術の成果

④ レーザ切断装置の単体機能試験計画(2/2)

切断性能に影響するパラメータを中心に、対象部位ごとに試験項目を抽出。

No.	対象部位	関連要素	試験項目	備考
4	固定治具	・位置調整軸 X・Y ・クランプ軸	動作範囲測定 【参考測定】	2019年度に成立性を検証した設計から変更は無く、検証は不要と判断。 各軸について手動軸を採用、簡略模擬としたため、動作範囲のみ参考測定。
5	ツールヘッド (共通※1)	・レーザ照射部	レーザ出力測定	切断性能に関わるパラメータであり、実力値を測定。(判定基準は無し)
		・アシストガス噴射部	アシストガスの圧力・流量測定	切断性能に関わるパラメータであり、実力値を測定。(判定基準は無し)
		・カメラ	カメラ映像確認	切断性能に直接影響は無いが、映像に問題無いことを確認。
		・θ軸	駆動速度の精度	気水分離器切断(鉛直切断)を除く全ての切断におけるノズル速度に影響し、切断性能に関わるパラメータ。
			位置設定精度測定	気水分離器切断(鉛直切断)時のスタンドオフやレーザ入射角等、切断性能に関わるパラメータ。
6	ツールヘッド (ストレートノズルのみ)	・α/R軸	位置設定精度測定	切断対象ごとに検討した、所定のノズル姿勢(角度、位置)に対する位置設定精度はスタンドオフやレーザ入射角等、切断性能に影響するパラメータ。
7	ツールヘッド (アングルノズルのみ)	・後方反力受け	動作範囲測定	動作範囲が設計値より少ない場合、周辺構造物に突っ張れず、たわみが増加するため、切断性能に関わるパラメータ。



(※1) ストレートノズルおよびアングルノズルのいずれのツールヘッドに対しても確認が必要な試験項目。

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

5) レーザ切断技術の成果

⑤ レーザ切断装置の単体機能試験結果(1/4)

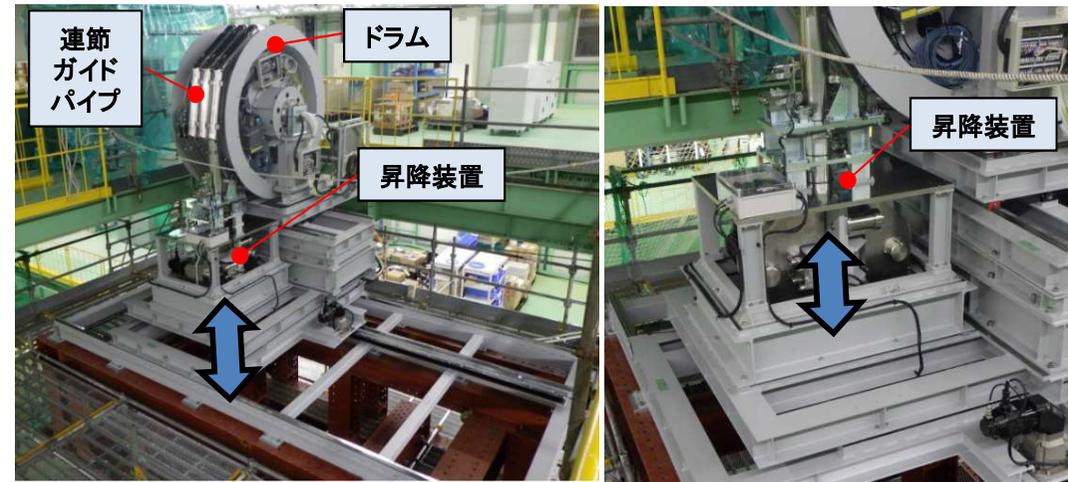
【ドラムおよび昇降装置】

<試験概要>

ドラムおよび昇降装置の動作により連節ガイドパイプを昇降させ、以下の項目を確認。

- ① 連節ガイドパイプ昇降速度の精度
- ② 連節ガイドパイプ昇降範囲
- ③ 連節ガイドパイプの昇降位置の精度
- ④ 1インチング動作距離

<試験結果>



ドラムおよび昇降装置

昇降装置

試験項目	判定基準	試験方法	結果 (判定基準を満足するものは○)
①連節ガイドパイプの昇降速度の精度	設定値(60・120・300mm/min)に対して、実測値が±10%以内であること。	所定の距離動作させ、その際の時間をストップウォッチで計測する。	・上昇時の速度精度: -1.7%~+2.3%、 ・下降時の速度精度: +2.0%~+4.8%
②連節ガイドパイプの昇降範囲	16192mm以上	フルストローク時の動作距離を巻尺で測定する。	ストローク実測値: 16570mm
③連節ガイドパイプの昇降位置の精度	目標位置に対し、実測値が±5mm以内であること。	目標位置に対するズレを巻尺で測定する。	目標値に対する実測値との差 目標置13544.2mm(蒸気乾燥器高さ): -2.2mm 目標置15001mm(気水分離器上部高さ): -2.5mm 目標置16618mm(気水分離器下部高さ): -3.0mm
④1インチング動作距離	参考測定の為、判定基準は無し。	動作距離を巻尺もしくは鋼尺で測定する。	1インチングの動作距離: 0.2mm

<結論>

⇒ドラムおよび昇降装置について、所定の機能を満足していると判断。

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

5) レーザ切断技術の成果

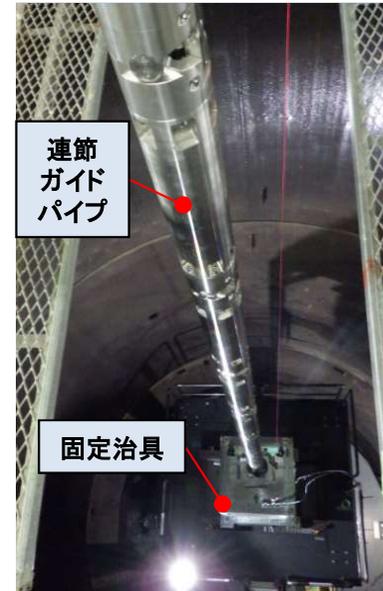
⑤ レーザ切断装置の単体機能試験結果(2/4)

【連節ガイドパイプ】

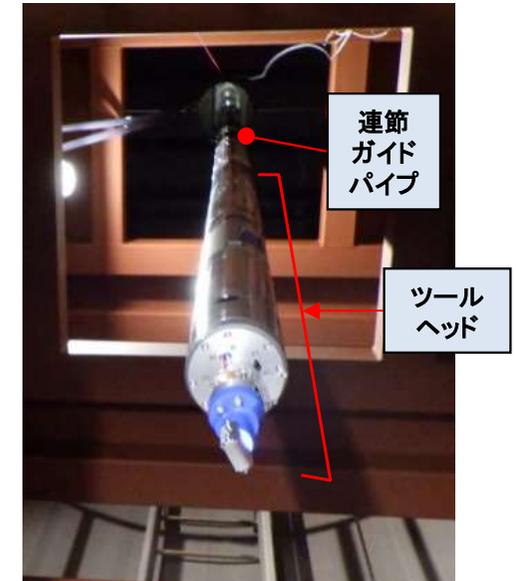
<試験概要>

連節ガイドパイプを所定の高さへ下降させ、以下の項目を確認。

- ① 無反力時の連節ガイドパイプ振れ量確認
- ② アシストガス反力による連節ガイドパイプのたわみ量確認



連節ガイドパイプ



連節ガイドパイプおよびツールヘッド

<試験結果>

(※):たわみ量はアシストガス反力無し状態の連節ガイドパイプの位置を基準に、アシストガス反力を受けた時の連節ガイドパイプの移動量を示します。

試験項目	判定基準	試験方法	結果 (判定基準を満足するものは○)
①無反力時の連節ガイドパイプ振れ量	参考測定の為、判定基準は無し。	ガイドパイプの振れ量をレーザ墨出し器と鋼尺で測定する。	①(蒸気乾燥器底板)位置:18.0mm ②(気水分離器上部)位置:27.3mm ③(気水分離器下部)位置:36.5mm ④下降端位置:40.5mm
②アシストガス反力による連節ガイドパイプのたわみ量(※)	参考測定の為、判定基準は無し。	ガイドパイプのたわみ量をレーザ墨出し器と鋼尺で測定する。	①(蒸気乾燥器底板)位置:1.0mm ②(気水分離器上部)位置:2.1~4.0mm ③(気水分離器下部)位置:3.0~4.5mm ④下降端位置:3.5~4.5mm

<結論>

⇒連節ガイドパイプについて、振れ/たわみの実力値を確認。
今後、実機の装置設計や運用に反映する必要がある。

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

5) レーザ切断技術の成果

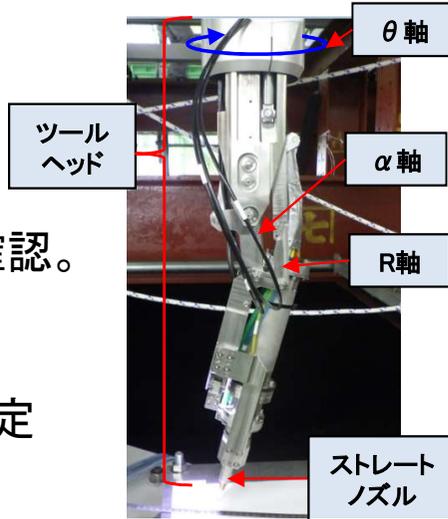
⑤ レーザ切断装置の単体機能試験結果(3/4)

【ストレートノズル用ツールヘッド】

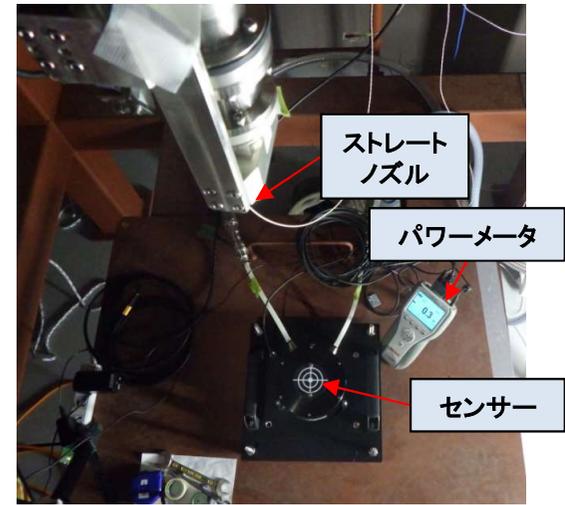
<試験概要>

ツールヘッド(ストレート)を動作させ、以下の項目を確認。

- ① θ 軸回転速度の精度、② α / R軸位置設定精度
- ③ θ 軸の位置設定精度、④ α / R軸の移動範囲
- ⑤ θ 軸の移動範囲、⑥ アシストガスの圧力・流量測定
- ⑦ レーザ出力測定



ストレートノズル用ツールヘッド



レーザ出力測定状態

<試験結果> (※): θ 軸回転速度設定値: 20、40、90、110、190、280、350、510(° /min)

試験項目	判定基準	試験方法	結果 (判定基準を満足するものは○)
① θ 軸回転速度の精度	設定値(※)に対して、実測値が±10%以内であること。	所定の距離動作させ、その際の時間をストップウォッチで計測する。	設定値に対する実測値: -1.1% ~ 1.5% ○
② α / R軸位置設定精度	目標位置に対し、実測値が以下であること。 ノズル先端位置±1mm以内 ノズル先端角度±1° 以内	動作時の位置をノギスと角度計で測定する。	・位置ズレ: ±0.0mm ・角度ズレ: -0.6° ~ +0.6° ○
③ θ 軸の位置設定精度	目標位置に対して、実測値が±1° 以内であること。	目標位置に対するズレを巻尺で測定する。	目標位置に対するズレ量: +180° 位置: ±0°、-180° 位置: ±0° ○
④ α / R軸の移動範囲	ストロークが以下であること。 ・ α 軸: -6mm ~ +13mm ・R軸: -17mm ~ +16mm	ストロークに対して設定したソフトリミットまで動作することを確認する。	設計ストロークに対して設定したソフトリミットまで動作することを確認した。 ○
⑤ θ 軸の移動範囲	370° 以上動作すること。	動作距離を巻尺で測定する。	実測値: 376.37° ○
⑥ アシストガスの圧力・流量測定	参考測定の為、判定基準は無し。	系統上に設置した圧力計、流量計で測定する。	・圧力: 0.63MPa ・流量: 810L/min
⑦ レーザ出力測定	参考測定の為、判定基準は無し。 (2021年度は出力7.2kWで切断試験実施)	パワーメータを用いて出力を測定する。(熱的測定方法)	実測値: 7.75kW

<結論>

⇒ストレートノズル用ツールヘッドについて、所定の機能を満足していると判断。
(レーザ出力は、2021年度に想定していた損失と同程度であり問題無い。)

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

5) レーザ切断技術の成果

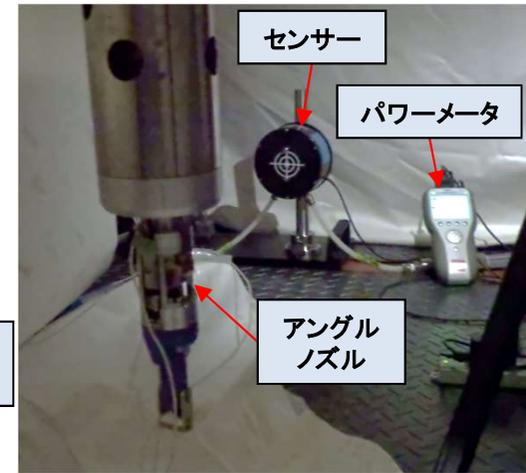
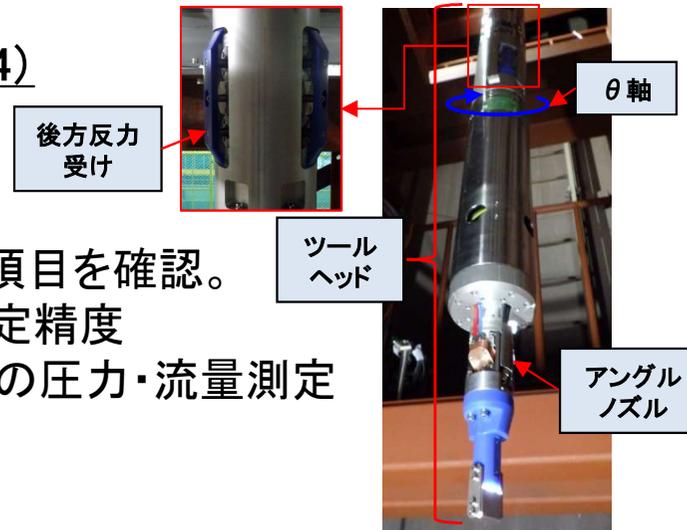
⑤ レーザ切断装置の単体機能試験結果(4/4)

【アングルノズル用ツールヘッド】

<試験概要>

ツールヘッド(アングル)を動作させ、以下の項目を確認。

- ① θ 軸回転速度の精度、② θ 軸の位置設定精度
- ③後方反力受け移動範囲、④アシストガスの圧力・流量測定
- ⑤レーザ出力測定



レーザ出力測定状態

アングルノズル用ツールヘッド

<試験結果>

試験項目	判定基準	試験方法	結果 (判定基準を満足するものは○)
① θ 軸回転速度の精度	設定値(190° /min)に対して、実測値が±10%以内であること。	所定の距離動作させ、その際の時間をストップウォッチで計測する。	設定値に対する実測値精度: -0.1%~-0.2% ○
② θ 軸の位置設定精度	目標位置に対して、実測値が±1° 以内であること。	目標位置に対するズレを巻尺で測定する。	目標位置に対するズレ量: +180° 位置:+0.43°、-180° 位置:+0.02° ○
③後方反力受け移動範囲	実測値が、13±0.4mmであること。	動作距離をノギスで測定する。	実測値: 12.61~12.63mm ○
④アシストガスの圧力・流量測定	参考測定の為、判定基準は無し。	系統上に設置した圧力計、流量計で測定する。	・圧力: 0.68MPa ・流量: 890L/min
⑤レーザ出力測定	参考測定の為、判定基準は無し。 (2021年度は出力7.2kWで切断試験実施)	パワーメータを用いて出力を測定する。(熱的測定方法)	実測値: 7.24kW

<結論>

⇒アングルノズル用ツールヘッドについて、所定の機能を満足していると判断。
(レーザ出力は、2021年度に想定していた損失と同程度であり問題無い。)

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

5) レーザ切断技術の成果

⑥ レーザ切断装置の組合せ動作試験結果(1/3)

⇒各機器を組合せた状態で、実機想定の一連の作業を確認する試験を実施。

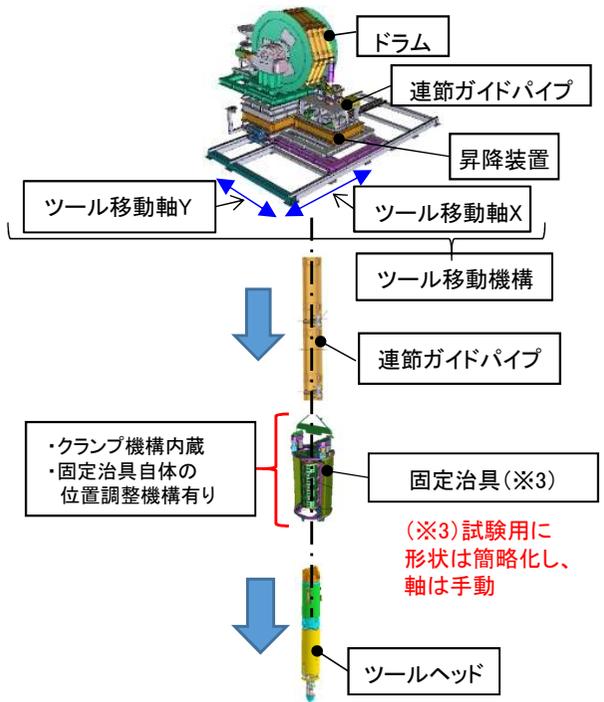
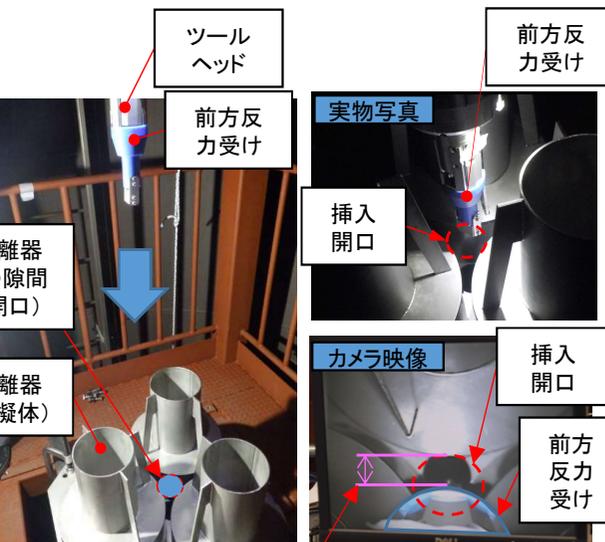
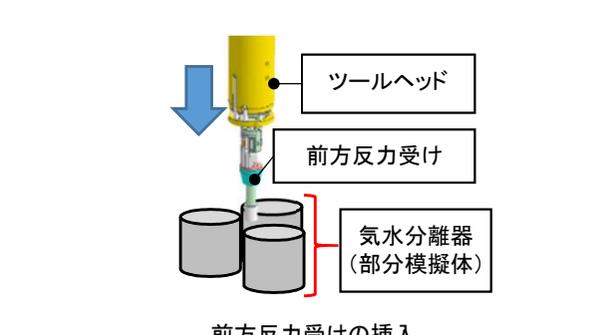
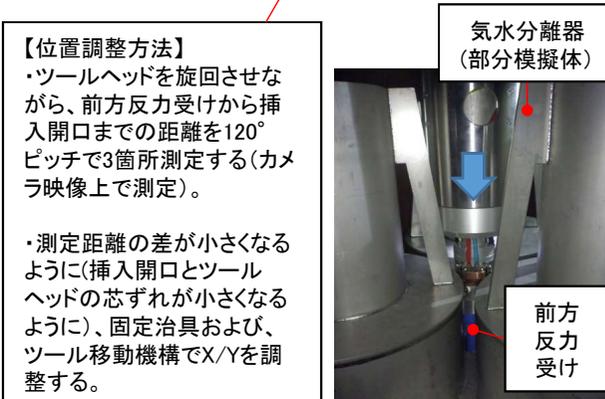
No.	実機作業フロー (試験内容)	動作イメージ	試験結果 (所定の機能を満足するものは○)	試験状況
1	<p>1.1ドラムと昇降装置の位置調整</p> <p>↓</p> <p>1.2(ツールボックス内で)加工装置のX・Y位置設定(※1)</p>	<p>(※1、※2)試験用に手動の軸</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラムと昇降装置の位置を、ドラム前後軸および、ドラム横行軸で合わせられた。 ・加工装置のX・Y位置が設定できることを確認した。 	<p>ドラムと昇降装置の位置調整</p>
2	<p>2. 固定治具までのツールヘッド降下</p>	<p>連節ガイドパイプのトグル機構</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ツールヘッドをドラム横行軸を連動させ固定治具まで降下できることを確認した。 ・昇降装置でトグルロックしながら降下できることを確認した。 	<p>加工装置のX・Y位置設定</p> <p>固定治具へのツールヘッド降下</p>

(※1): 試験はツールボックス無し状態で実施
(ツールボックスは2019年度までに基本設計済みであり、2022年度補助事業の開発対象外)

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

5) レーザ切断技術の成果

⑥ レーザ切断装置の組み合わせ動作試験結果(2/3)

No.	実機作業フロー (試験内容)	動作イメージ	試験結果 (所定の機能を満足するものは○)	試験状況
3	<p>3.1 固定治具とツールヘッド位置調整</p> <p>3.2 固定治具へツールヘッド挿入</p> <p>3.3 施工高さ付近までツールヘッド降下</p>	 <p>ドラム</p> <p>連節ガイドパイプ</p> <p>昇降装置</p> <p>ツール移動軸Y</p> <p>ツール移動軸X</p> <p>ツール移動機構</p> <p>連節ガイドパイプ</p> <p>固定治具(※3)</p> <p>・クランプ機構内蔵 ・固定治具自体の位置調整機構有り</p> <p>(※3)試験用に形状は簡略化し、軸は手動</p> <p>ツールヘッド</p>	<p>・カメラ映像を元に、ツールヘッドを固定治具に挿入可能であった。</p> <p>・施工高さ付近まで降下させて、固定治具のクランプ機構で連節ガイドパイプを固定できることを確認した。</p>	 <p>ツールヘッド</p> <p>前方反力受け</p> <p>前方反力受け</p> <p>実物写真</p> <p>挿入開口</p> <p>カメラ映像</p> <p>挿入開口</p> <p>前方反力受け</p> <p>①ツールヘッドが施工高さ付近に到達</p> <p>②ツールヘッドのX・Y位置調整</p>
4	<p>4.1 ツールヘッドX・Y位置調整</p> <p>4.2 施工高さまで降下</p>	 <p>ツールヘッド</p> <p>前方反力受け</p> <p>前方反力受けの挿入</p> <p>気水分離器(部分模擬体)</p>	<p>・カメラ映像を元に、気水分離器の部分模擬体に対し、位置調整が可能なことを確認した。</p> <p>・ツールヘッドを施工高さまで降下させられることを確認した。</p>	<p>【位置調整方法】</p> <p>・ツールヘッドを旋回させながら、前方反力受けから挿入開口までの距離を120°ピッチで3箇所測定する(カメラ映像上で測定)。</p> <p>・測定距離の差が小さくなるように(挿入開口とツールヘッドの芯ずれが小さくなるように)、固定治具および、ツール移動機構でX/Yを調整する。</p>  <p>気水分離器(部分模擬体)</p> <p>前方反力受け</p> <p>③ツールヘッドの前方反力受け挿入</p>

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

5) レーザ切断技術の成果

⑥ レーザ切断装置の組み合わせ動作試験結果(3/3)

No.	実機作業フロー (試験内容)	動作内容	試験結果 (所定の機能を満足するものは○)	試験状況
5	<p>加工対象の切断</p> <p>↓</p> <p>5.1 ツール ヘッド上昇</p> <p>↓</p> <p>5.2 固定治具 から離脱</p> <p>↓</p> <p>5.3 ツール ヘッド上昇 (回収)</p>	<p>連節ガイドパイプのトグル機構</p>	<p>本試験対象外</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ映像を元に、ツールヘッドを所定の高さまで回収できることを確認した。 ・昇降装置でトグルをアンロックしながらツールヘッドを上昇可能なことを確認した。 	<p>① ツールヘッドが固定治具付近に到達</p> <p>② 固定治具から離脱 (ツールヘッド上昇)</p> <p>③ ドラム巻取り端までツールヘッド到達</p>

<結論>

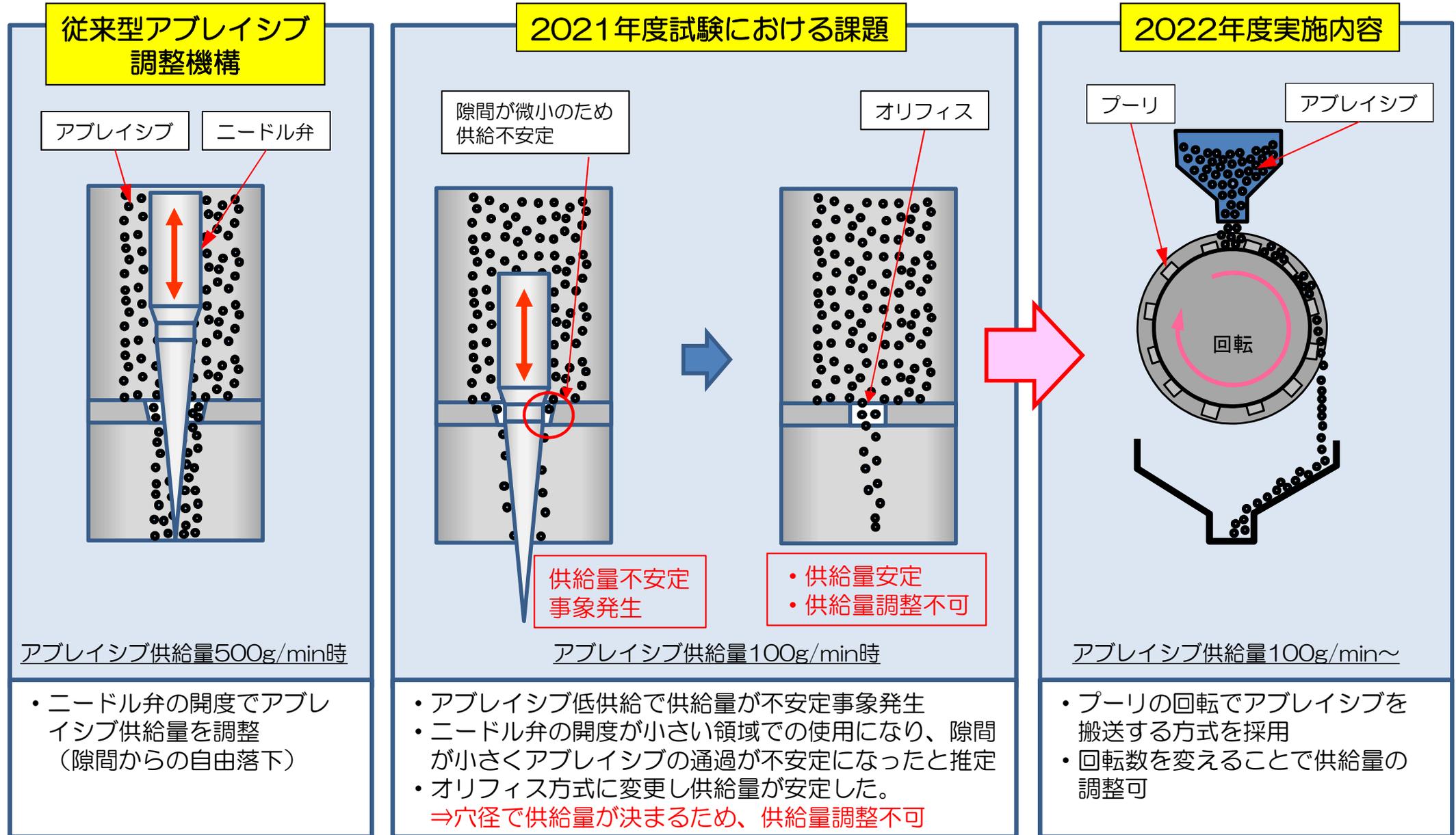
⇒各機器を組み合わせた状態での一連の作業の成立性を確認した。

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

6) AWJ切断技術の成果

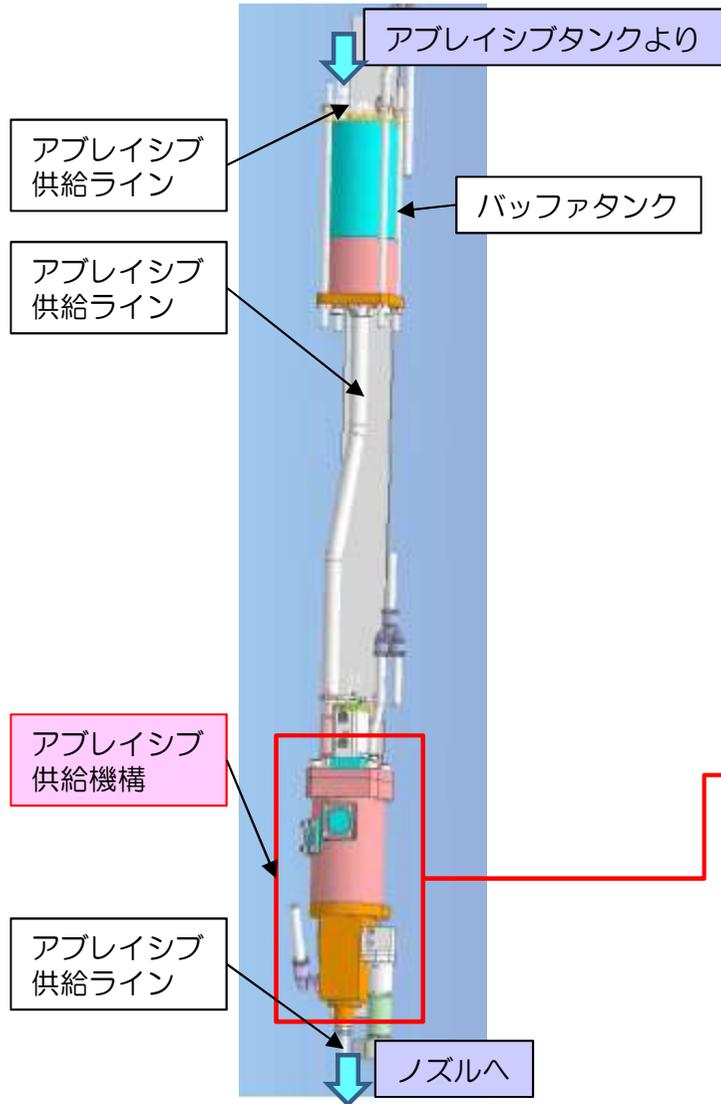
①-1 アブレイシブ供給量安定化検討について(構造見直し検討)



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

6) AWJ切断技術の成果

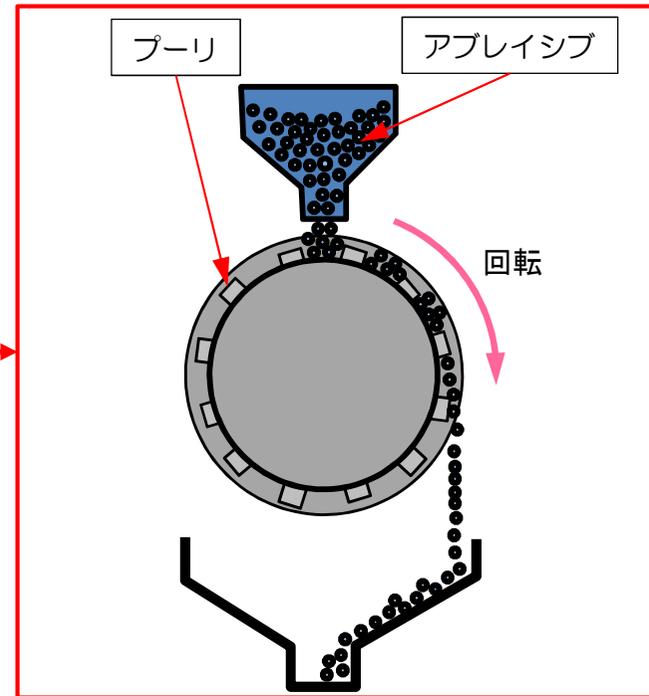
①-2 アブレシブ供給量安定化検討について(供給機構の設計)



アブレシブ供給機構外観図

【主な設計内容】
アブレシブ供給機構の設計

- ・プーリタイプの供給機構の採用
- ・アブレシブ低供給に対応する構造の設計
- ・連節ガイドパイプ内に供給機構及びバッファタンクが収まるサイズや配置設計



プーリタイプ供給機構イメージ

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

6) AWJ切断技術の成果

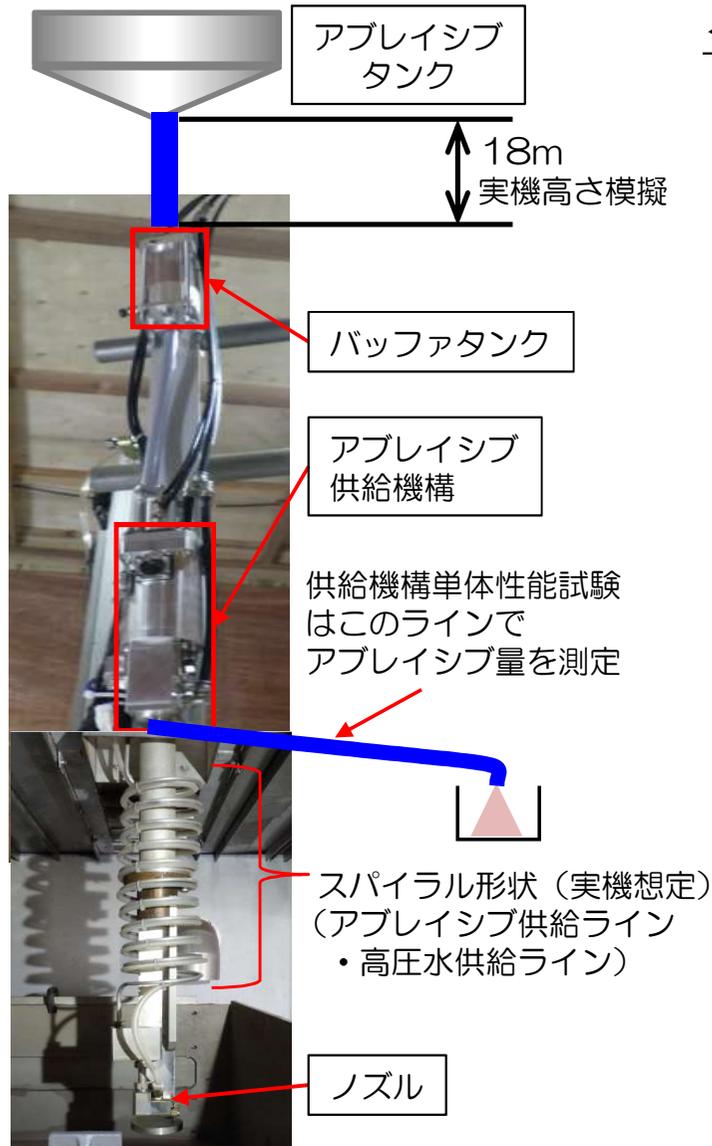
①-3 アブレイシブ供給量安定化検討について(要素試作試験計画)

試験項目	確認内容・条件	測定項目・確認項目
1. アブレイシブ供給機構性能確認	<p>1.1 供給機構単体性能確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プーリ回転数調整によりアブレイシブ供給量の調整と安定した供給が可能なことを供給機構のみ（ウォータジェット噴射無し）で確認する。 <p>[試験条件]</p> <p>設定供給量：100g/min 110g/min 120g/min 200g/min・500g/min（参考）</p> <p>1.2 ウォータジェット噴射時の性能確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記1.1の試験結果を基にウォータジェット有りて供給量確認試験を行い、設定供給量の調整と安定した供給が可能であることを確認する。 <p>[試験条件]</p> <p>設定供給量：100g/min 110g/min 120g/min 200g/min・500g/min（参考）</p>	<p>①設定供給量に対するプーリ回転数を確認する。</p> <p>②安定的に供給できること。</p> <p>③ウォータジェット有無の差異</p>
2. 切断性能の簡易評価	<p>2.1 平板切断試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平板を板厚長手方向に切断し、2021年度の切断性能と同等の性能があることを切断深さで評価する。 <p>[試験条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・流量：約3L/min ・圧力：343MPa ・切断速度：60mm/min ・供給量：100g/min ・スタンドオフ：20/50mm 	<p>①2021年度に実施した平板切断性能と同等であること。</p>

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

6) AWJ切断技術の成果

①-4 アブレイシブ供給量安定化検討について(アブレイシブ供給機構性能試験)



<試験結果>

※1：供給量は3回試験を実施した平均値を記載

供給機構単体性能試験結果 (ウォータージェット無)

No.	設定供給量 (g/min)	プーリ回転数 (min ⁻¹)	供給量※1 (g/min)	備考
1	100	16	98.0	実機使用設定値
2	110	18.6	110.5	実機使用設定値×1.1
3	120	20.6	120.2	実機使用設定値×1.2
4	200	36.4	203.2	<参考>実機使用設定値×2
5	500	115.5	494.0	<参考>従来使用設定値

⇒①プーリの回転数制御で100~120g/minの間で10g/minピッチで供給量をコントロール可能なことを確認

ウォータージェット噴射時の性能試験結果

No.	設定供給量 (g/min)	プーリ回転数 (min ⁻¹)	供給量※1 (g/min)	備考
1	100	16.4	100.0	実機使用設定値
2	110	18.9	112.8	実機使用設定値×1.1
3	120	20.7	122.6	実機使用設定値×1.2
4	200	36.6	211.1	<参考>実機使用設定値×2
5	500	115.5	499.4	<参考>従来使用設定値

⇒①ウォータージェット噴射有りでもプーリの回転数制御で100~120g/minの間で10g/minピッチで供給量をコントロール可能なことを確認

アブレイシブ供給機構単体性能試験系統

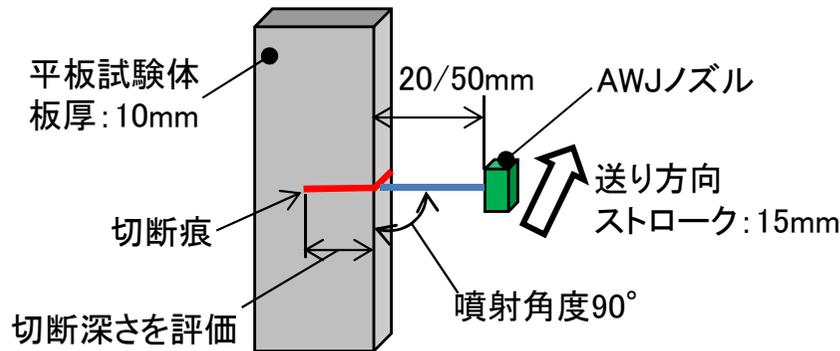
6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

6) AWJ切断技術の成果

①-5 アブレイシブ供給量安定化検討について(切断性能簡易評価)

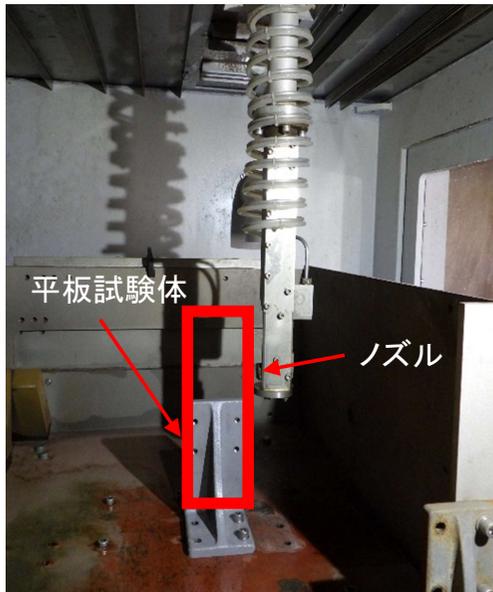
<試験条件>

<試験結果>



アブレイシブ供給量100g/min

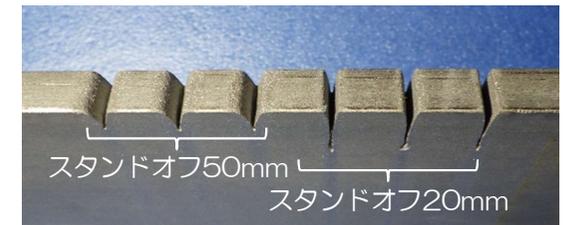
No.	スタンドオフ (mm)	切断深さ (mm)	
		2022年度結果	2021年度結果
1	20	6	7
2	20	6	
3	20	6	
4	50	4	4
5	50	4	
6	50	5	



切断性能簡易評価試験状況



切断試験後切断板
(スタンドオフ:20、50mm)(前面)



切断試験後切断板
(スタンドオフ:20、50mm)(上面)

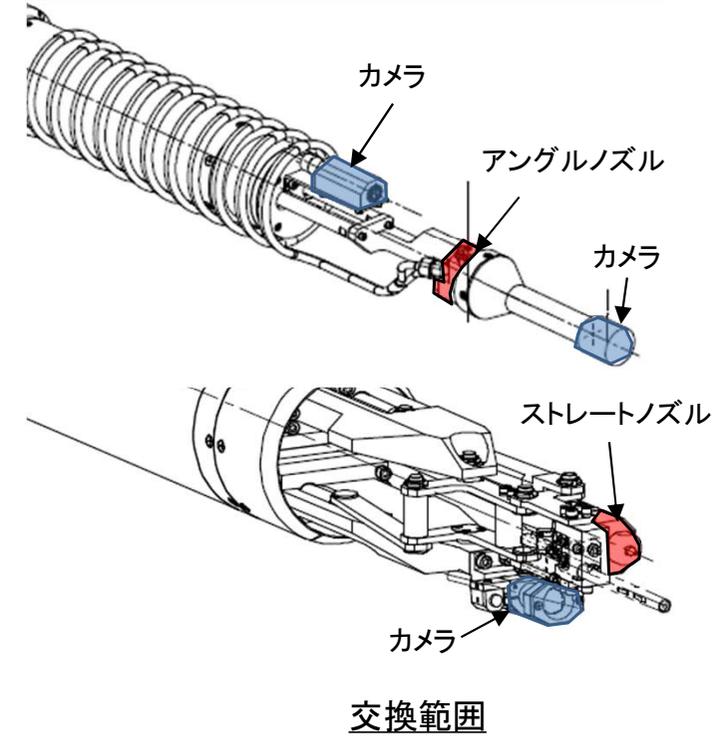
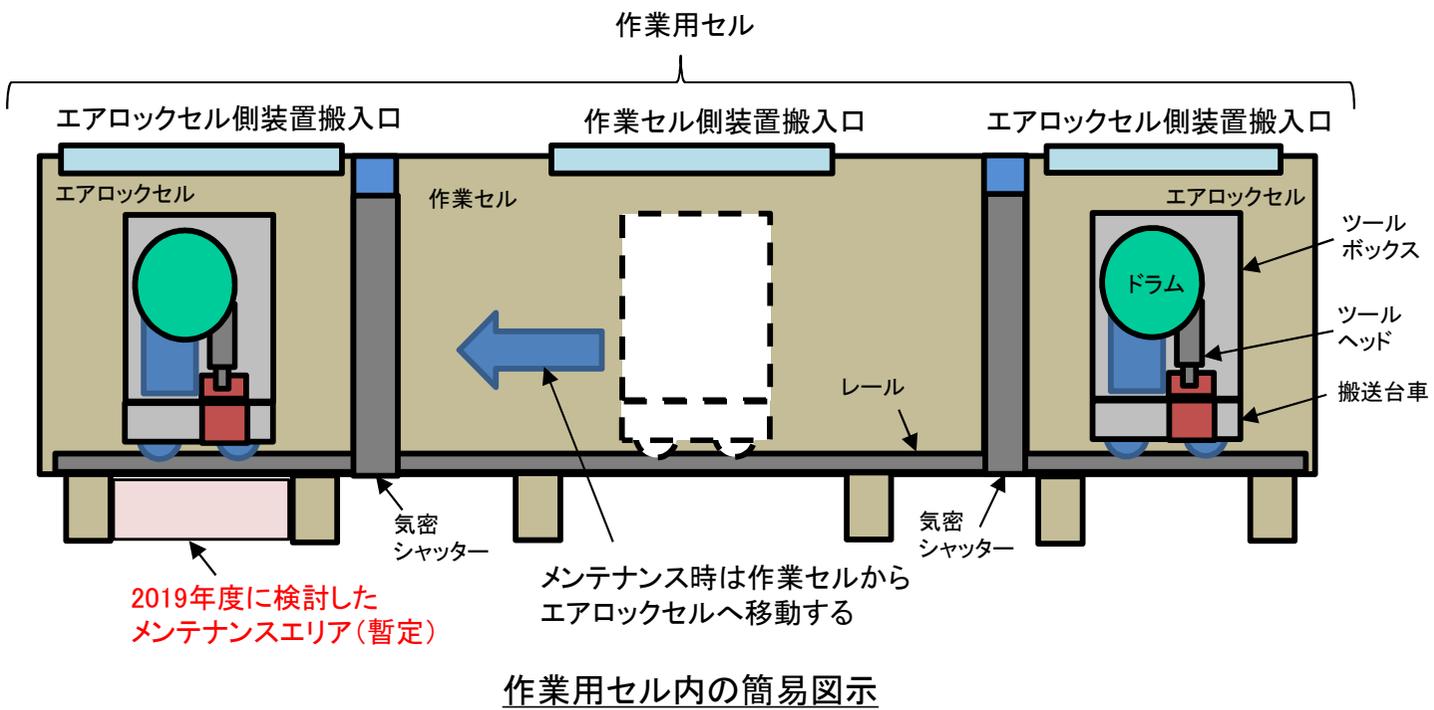
⇒①アブレイシブ供給機構変更後の簡易評価試験では、切断性能は従来(2021年度試験結果)と同等の性能が得られていることを確認。
②今回の簡易評価試験は試験パラメータが少ないため、今後、平板及び形状模擬体で試験を行い、従来の供給機構と同等の性能があることを検証する必要有り。

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

6) AWJ切断技術の成果

②-1 AWJノズルメンテナンスについて(前提条件の整理)

No.	項目	2019年度	2022年度
1	メンテナンスエリア	エアロックセル下部のエリア (下図参照)	2019年度に暫定的に想定したエリアについて変更も含め検討。
2	交換方法	未検討	遠隔での交換または、被ばく・汚染対策を行っての人員での交換を検討。
3	交換範囲	・カメラ	・カメラ ・ノズル (2021年度試験結果よりノズル寿命は約8時間であり、施工時間は約42時間のため交換が必要)

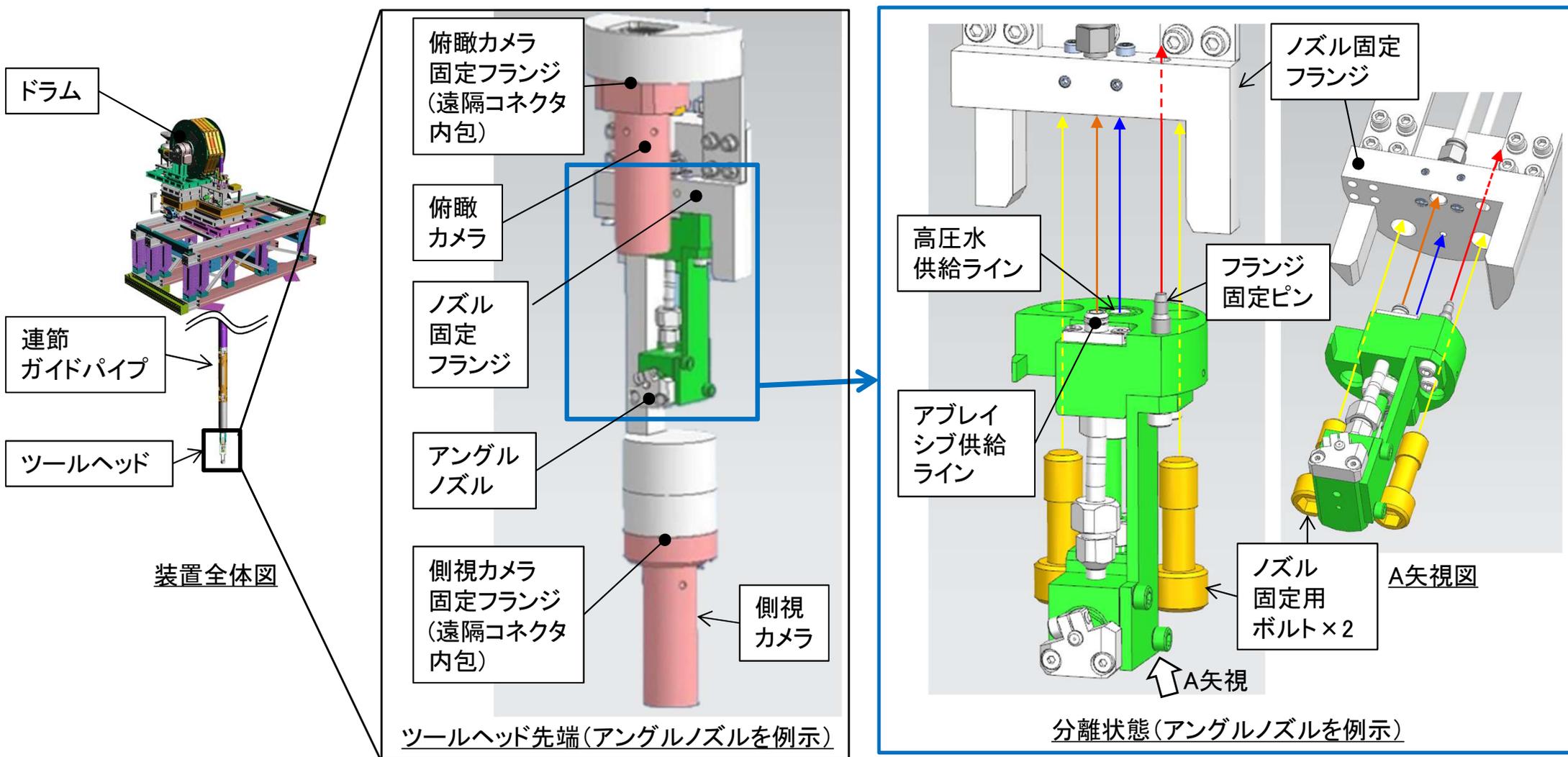


6. 実施内容 (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

6) AWJ切断技術の成果

②-2 AWJノズルメンテナンスについて(ツールヘッド先端構造の見直し)

- AWJ噴射で摩耗するノズル部を分離/交換可能なようにフランジ部を追加し、ボルトでツールヘッドに固定する構造とした。(下図参照)
- 俯瞰/側視カメラ根元に、遠隔で着脱可能なコネクタとフランジ部を適用し、ボルトでツールヘッドに固定する構造とした。



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

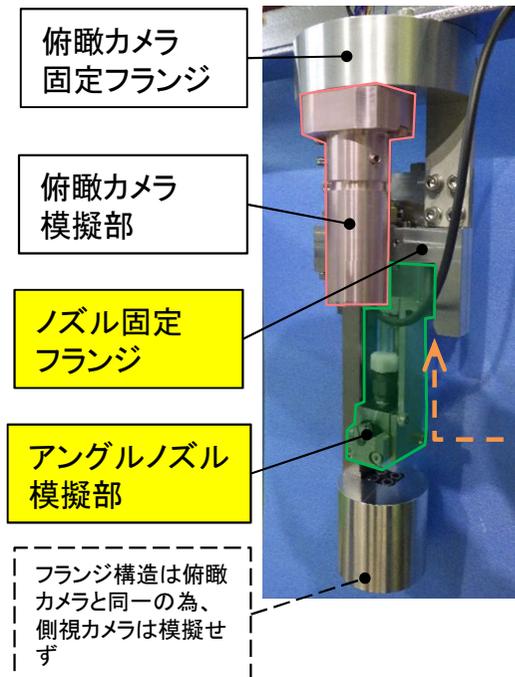
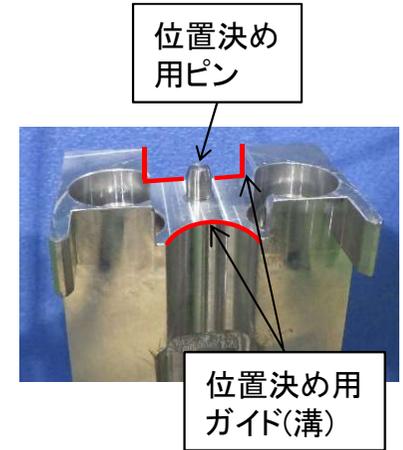
6) AWJ切断技術の成果

②-3 AWJノズルメンテナンスについて(部分要素試作の単体機能試験計画)

ノズル部および俯瞰カメラのフランジ構造を模擬したツールヘッド先端の部分要素試作機と交換治具部分試作機を用い、交換作業の成立性/交換前後の健全性確認を実施する。
試験での確認項目は以下の通り。

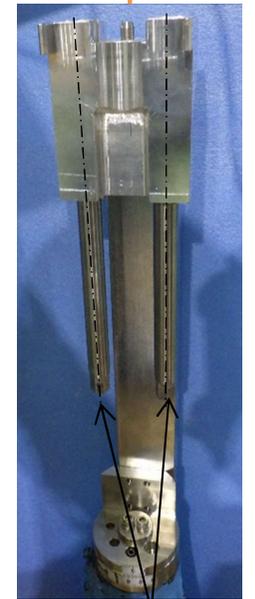
確認項目・条件	判定基準
交換作業確認	ノズル/カメラ取付、取外しが可能なこと。
ノズル/カメラ交換前後の健全性確認	
①高圧水噴射確認 ・高圧水の圧力(ポンプ圧力)確認 設定圧力 :343MPa	①設定圧力に達すること。
②アブレイシブ噴射確認 ・アブレイシブ供給量の確認 設定供給量 :100g/min	②設定供給量の±10%以内で供給可能なこと。
③カメラ映像の確認	③映像に問題無いこと。

ノズル
交換治具
(先端拡大)



ツールヘッド先端
(部分要素試作機)

交換治具を
下方から
位置合わせ
・挿入



固定ボルト操作軸
ノズル交換治具
部分試作

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

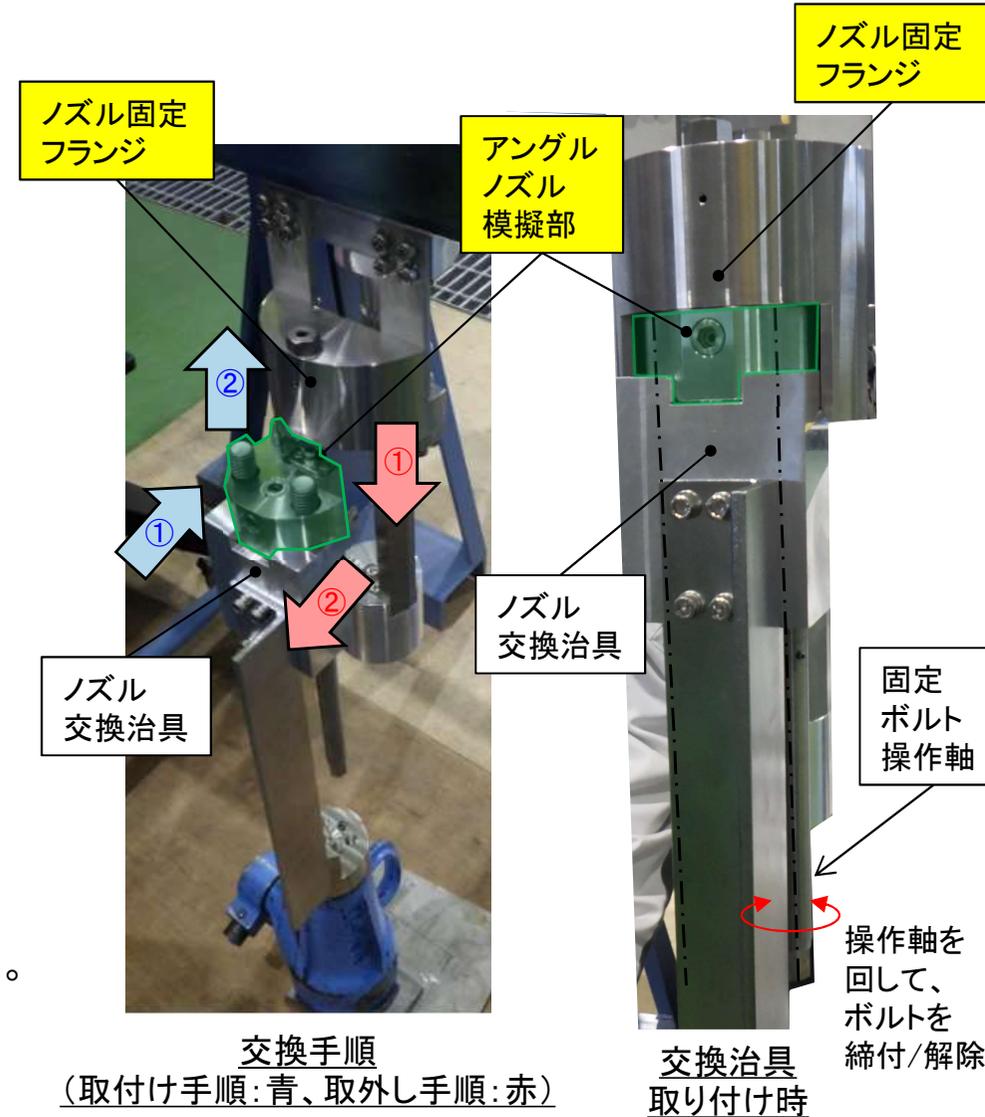
6) AWJ切断技術の成果

②-4 AWJノズルメンテナンスについて(部分要素試作の単体機能試験結果)

<試験結果>

確認項目・条件	判定基準	結果
交換作業確認	ノズル/カメラ取付、 取外しが可能なこと。	○
ノズル/カメラ交換前後の健全性確認		
①高圧水噴射確認 ・高圧水の圧力(ポンプ圧力)確認 設定圧力 :343MPa	①設定圧力に 達すること。	○
②アブレイシブ噴射確認 ・アブレイシブ供給量の確認 設定供給量 :100g/min	②設定供給量の ±10%以内で 供給可能なこと。	○ (+1%)
③カメラ映像の確認	③映像に問題無い こと。	○

⇒フランジ構造を有するノズルおよびカメラについて、
成立性を確認できたことから、今後、実機設計に反映することとする。
交換治具については遠隔での作業を行うことを前提として
設計を行う必要有り。(実機取り合い情報がインプットされ、
メンテナンスエリア制約が具体化されるTRL5以降の
フェーズを想定)



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

7) レーザ/AWJ切断技術の共通課題の成果

① 連節ガイドパイプ回収不能パターンの検討

事象発生要因		リスク低減策	発生時の対応(検討事項含む)
(1)障害物干渉 (引っ掛かり)	①監視カメラ/ライトの蒸気などによる視界不良/故障	・監視カメラは、ツールヘッドに装着したものの他にパウンダリガイドパイプから蒸気乾燥器まで監視できる監視カメラの設置を検討。 ・事前に装着された監視カメラ/ライトでアクセスルートの視界状態を確認。	1)連節ガイドパイプの上下動により干渉解除を試みる。 2)不可の場合は、ドラム等の機器と合わせて外部のクレーンで強制的に連節ガイドパイプを回収。(その際には、汚染防止するため伸縮タイプのシートで覆う方法、高圧水除染等の検討が必要)
(2)ドラム故障	①駆動モータ動作不良 (ドラム回転/前後/横行軸)	・加工前の作動確認。	【駆動モータが重量物の場合】 1)駆動モータを2軸化を検討し、片方が故障してもドラムを動作可能とする。 2)不可の場合は、ドラム等の機器と合わせて外部のクレーンで強制的に連節ガイドパイプを回収。(その際には、汚染防止するため伸縮タイプのシートで覆う方法、高圧水除染等の検討が必要) 【駆動モータが軽量の場合(人が可搬できる質量)】 1)人手で予備駆動モータに交換し、通常操作で連節ガイドパイプを回収。
(3)昇降装置故障	①昇降動作(昇降駆動ローラ)不良	・加工前の作動確認。	1)連節ガイドパイプの回収は、巻取り状態を監視しながら、ドラムの回転だけで、連節ガイドパイプを回収。
	②トグルアンロック機構/検知機構動作不良	・加工前に監視カメラでアンロック動作とアンロック検知ができていることを確認。	1)監視カメラでトグルアンロックの可否および検知可否を確認。 2)アンロック機構の動作不良の場合は、駆動源の再起動により動作復帰確認。 3)アンロック検知機構動作不良の場合は、監視カメラでアンロックの可否を確認しながら、連節ガイドパイプを回収。 4)トグルアンロック機構動作不良の場合は、人がツールボックスに入り、人力でトグルのアンロックを操作しながら、連節ガイドパイプを回収。
(4)固定治具故障	①ガイドパイプクランプ動作不良	・加工前の作動確認。	1)クランプシリンダの水圧を開放しシリンダをフリーにすることで、ガイドパイプの押しつけを開放し、連節ガイドパイプを回収。 2)連節ガイドパイプを回収後、固定治具を回収。
	②固定治具との引っ掛かり (クランプ動作不良以外)		1)治具クランプを開放し、連節ガイドパイプを引き抜く。固定治具は残置。
(5)ツールヘッド動作不良	① α 軸またはR軸最大稼働時での動作不良	・連節ガイドパイプ回収前の軸動作確認。	1)連節ガイドパイプを回収時に、 α ・R軸が固定治具と干渉した場合に関節がフリーとなって回収できるような軸を検討する必要がある。
	②後方反力受け動作不良	・後方反力受けの形状をテーパ状とする。 反力受けの押しつけが動作不良となってもガイドパイプを昇降することで、他の機器へ干渉しても反力受けが滑り、引っ掛かりなく回収可能と考える。	—

注) 共通事項として必要な予備品はあらかじめ準備する。

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

8) まとめ

① 2022年度に得られた成果

【共通(レーザ/AWJ切断)】

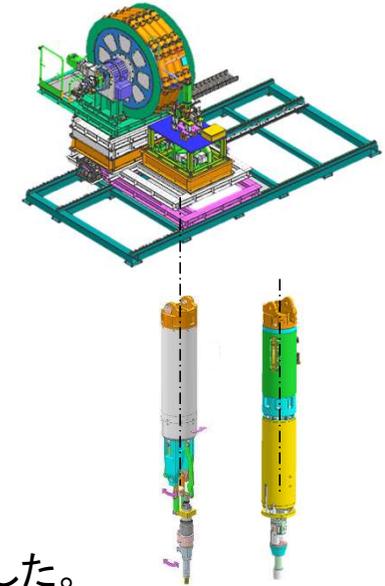
- ・2021年度までの成果を基に、各加工技術の課題と対策を検討し、開発計画を策定した。

【レーザ切断】

- ・レーザ切断装置(試作機)の仕様検討を行い、試作機の設計/製作を実施した。
- ・レーザ切断装置(試作機)の単体機能試験を行い、単体機能を満足することを確認した。

【AWJ切断】

- ・アブレイシブ供給量安定化のための構造を見直し、その部分要素試作品を設計/製作した。
- ・ノズル/カメラを遠隔で交換するためのツールヘッド先端部の部分要素試作品を設計/製作した。
- ・各部分要素試作品の単体機能試験を実施し、単体機能を満足することを確認した。



レーザ切断装置(試作機)

② 今後(2023年度以降)の課題

加工技術	No.(※)	今後の課題	加工技術	No.(※)	今後の課題
レーザ	1	実機を考慮した遠隔装置の成立性(試作機の切断性能)	AWJ	7	アブレイシブ供給量安定化(部分要素試作機の切断性能)
	2	ノズルのメンテナンス		8	ノズルのメンテナンス(実機装置の設計/製作等)
	3	切断時のドロスの影響	共通	10	切断片の処理(移動)
	4	実機環境の影響(温度・湿度・雰囲気条件)		11	構成部品の耐放射線性
	5	アシストガス制約(種類・流量)		12	構成部品の耐久性
			13	炉内構造物が損傷して変形していた場合のインストール方法	
			14	連節ガイドパイプ回収不能時の対応	

(※):課題No. はスライドNo. 11~13の開発課題リストと対応した番号とする。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.39

<2021年度までの実施状況>

原子炉压力容器(RPV)内部調査において、下部アクセスによる調査のニーズ確認、他補助事業で開発済・開発中の既存技術を調査し、各号機毎にアクセス技術の適用性評価を行い、1号機向けにはドローン(有線/無線)へ絞り込んだ。絞り込んだ技術に関して、実現性評価のための簡易試験および要素試験を実施した。

<2022年度の実施概要>

①下部アクセス調査計画及び調査装置の開発計画の策定

他事業で開発中のアクセス装置との組合せによる調査計画を立案するとともに、調査装置の開発計画を策定する。

②下部アクセス・調査装置の試作、機能確認試験

試作機的设计・製作を実施し、単体の機能が満足していることを確認する。

<2022年度の実施内容>

実施内容	
①	調査課題の対策検討
②	調査計画・開発計画の検討・策定
③	実機を考慮した調査装置の仕様検討/設計・製作
④	単体機能確認試験による単体性能の確認

<結果>

- ・2021年度までの成果を基に、課題を抽出し対策を検討した。
- ・他事業で開発中のアクセス装置をカスタマイズし、それとの組み合わせを考慮した調査計画・開発計画を検討した。
- ・各装置の仕様を検討し、設計・製作した。また、それら装置の単体機能確認試験を実施し、装置の単体性能を評価した。

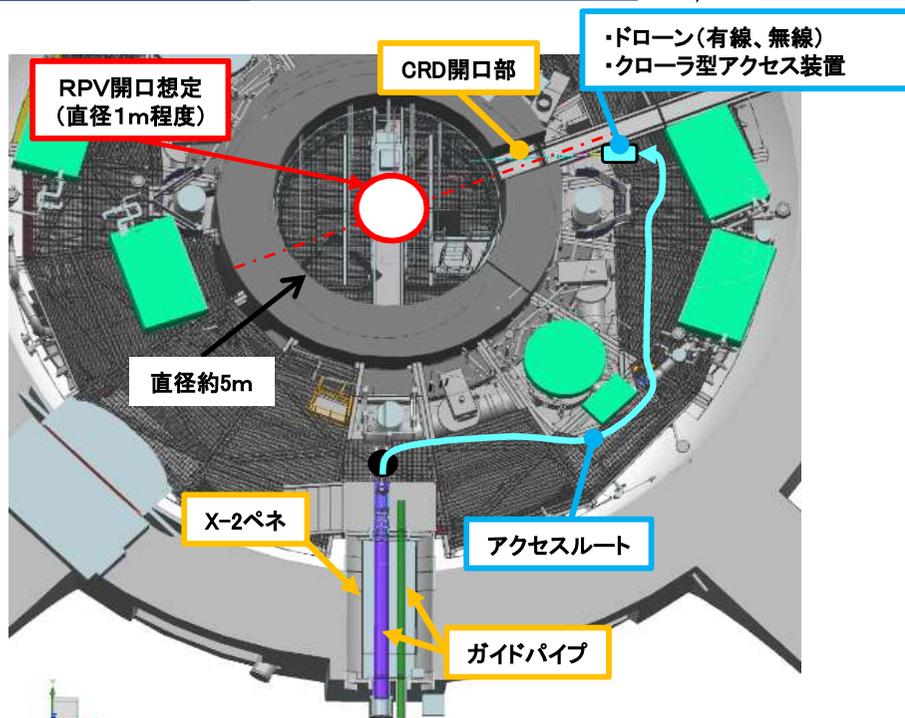
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1). 2021年度までの成果(1/2)

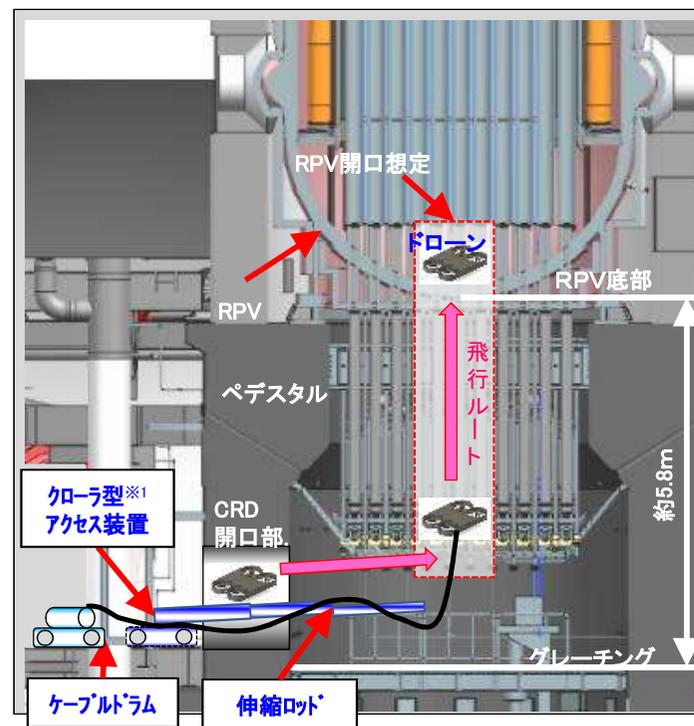
原子炉圧力容器(RPV)内部調査において、下部アクセスによる調査のニーズ確認、他補助事業で開発済・開発中の既存技術を調査し、各号機毎にアクセス技術の適用性評価を行い、1号機向けにはドローン(有線/無線)へ絞り込んだ。絞り込んだ技術に関して、実現性評価のための簡易試験および要素試験を実施した。

実施内容及び成果

1. 調査ニーズからアクセス技術の絞り込み



アクセスルート概要(X-2ペネトレーション(ペネ)～CRD開口部)



アクセスルート概要(CRD開口部～RPV内底部)

※1:有線ドローンのケーブル挿入や無線ドローンの電波中継等に活用を想定

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1). 2021年度までの成果(2/2)

原子炉圧力容器(RPV)内部調査において、下部アクセスによる調査のニーズ確認、他補助事業で開発済・開発中の既存技術を調査し、各号機毎にアクセス技術の適用性評価を行い、1号機向けにはドローン(有線/無線)へ絞り込んだ。絞り込んだ技術に関して、実現性評価のための簡易試験および要素試験を実施した。

実施内容及び成果

2. 簡易試験および要素試験の実施

有線ドローン:

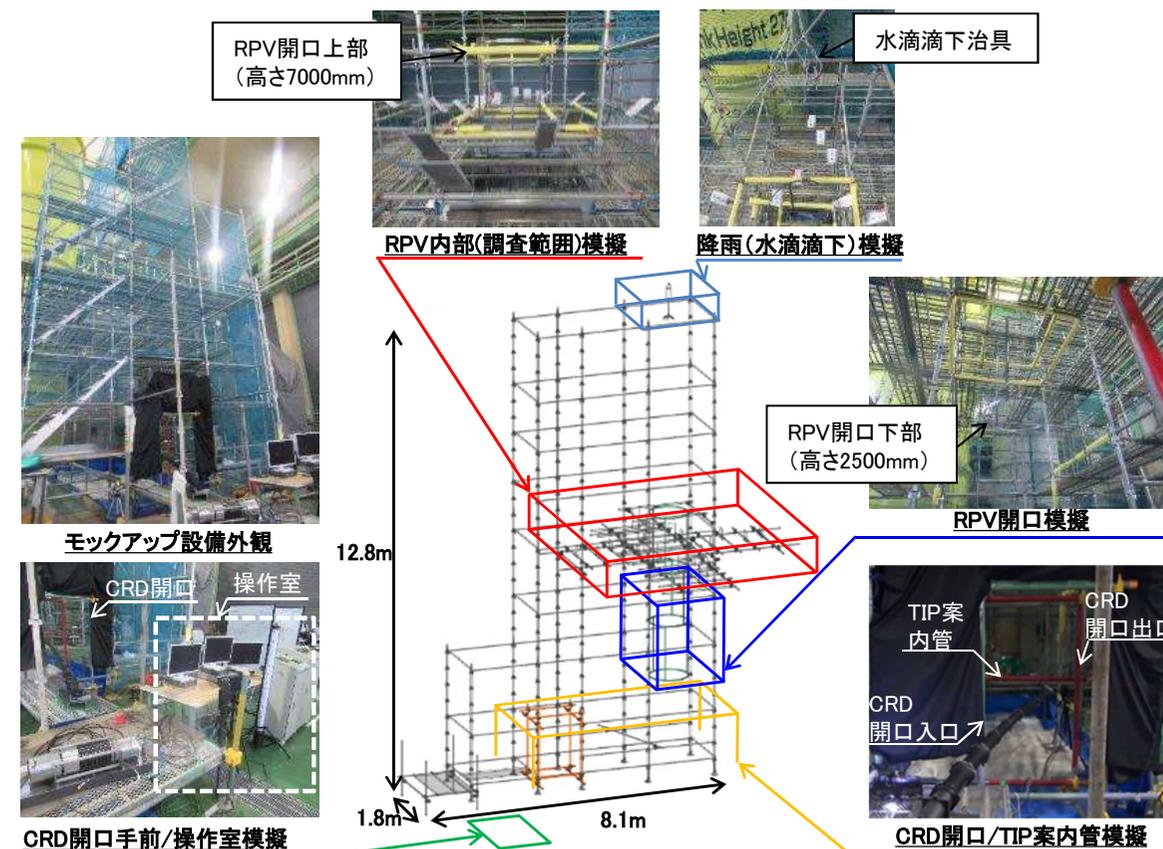
- ・飛行性能向上 → 目標飛行高さ7mの飛行を達成。
- ・調査性能向上 → 暗闇/降雨環境下で、カメラのパン・チルトで調査可能なことを確認。

無線ドローン:

- ・飛行性能向上 → 約6分の連続飛行が可能。
- ・調査性能向上 → 暗闇/降雨環境下で、カメラのパン・チルトで調査可能なことを確認。
- ・通信性確認 → 試験と解析を実施し、実機で通信可能な見通しが得られた。

付帯設備:

- ・ケーブルドラム → 電動化したケーブルドラムの性能を確認。
- ・俯瞰カメラ → 俯瞰カメラにて飛行中のドローンを監視し、操縦性の改善を図った。



2021年度試験設備外観

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

2). 開発の流れ

対象	2021年度成果(課題)	2022年度		2023年度(※)	2024年度以降(※)	
	内容/結果例	机上検討/試作機設計・製作	試験	実機適用性検討/組合せ試験	実機適用準備	
工法全体	要素試験 ①有線ドローン、無線ドローン双方のメリット/デメリット/課題抽出	調査計画の見直し ①有線/無線ドローンの調査手順見直し ②調査計画のケーススタディ ③課題の再確認	開発計画案の策定 ①工法の評価項目/目標ゴールの設定 ②2022年度機能確認試験の概要/試験項目の検討 ③2022年度以降の開発計画案の策定	(2022年度は単体機能確認に重点を置いた試験を予定)	実機開発計画の策定 ①装置設計/試験結果を反映し、必要に応じて開発計画見直し ②墜落時のリカバリ、スタック時の回収方法、汚染時の対策等のリスク対応シナリオ検討 ③実機調査計画の策定	
有線・無線ドローン/アクセス装置	要素試験 ①機体内部品の発熱[有線] ②飛行時間の裕度不足[無線] ③ケーブルドラムからのケーブル送出し不良	既製品・技術の再調査 ①発熱の少ない電子部品の調査 ②搭載カメラの再評価 ③他PJ開発装置(アクセス装置・ケーブル介助装置)の適用性調査	装置設計・試作 ①前提/設計条件/要求仕様の再整理 ②実機用装置の設計(一次設計) ③軽量大容量バッテリーの調査 ④他PJ開発装置の評価・改善検討	機能確認試験 ①要求仕様の達成可否(見込み)の確認 ②2023年度以降の改善点の確認		
個別課題(例)	要素試験 ①一部の搭載電子部品の耐放射線性不足 ②飛行可能な開口サイズについて、□800であれば接触しつつ通過可能[有線/無線] ③ペイロードの裕度が無く、他PJ開発の小型線量計の無線化が困難[無線]	既製品・技術の再調査 ①耐放射線性低下の原因品を含まないフライトコントローラの調査 操作・制御方法の調査 ①飛行時の安定性向上可能な制御方法の調査 ②操作性の改善必要性検討 既製品・技術の再調査 ①無線ドローンに搭載可能な軽量線量計の調査	電子部品の検討 ①既製品が存在しない場合に電子部品の新規設計/試作 制御方法の検討 ①開発中のドローンへの実装可否を検討 ②操作性向上のための改善検討 線量計の開発 ①既製品が存在しない場合に線量計の新規設計/試作	機能確認試験 ①照射試験を実施し、耐放射線性を確認 機能確認試験 ①飛行時の安定性向上程度を確認 機能確認試験 ①要求機能の達成可否を確認		
				装置改善/組合せ試験 ①各機能確認試験結果を反映し、実機用装置を設計 ②組合せ試験を実施 モックアップ準備 ①モックアップ検証計画の作成 ②モックアップ設備の基本設計	実機想定項目の評価・手順反映 ・調査ルート ・調査性能(カメラ視認性) ・飛行時間、飛行性能(操作性含む) ・取得情報の見直し ・伸縮ロッド、ケーブルドラム、ケーブル支援、等の周辺機器の性能評価	

2023年度以降の計画は、事業実施者の案として記載するもので決定事項ではありません。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.43

3). 開発課題と対応方針(1/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目	対応 スライドNo.
1	調査工法 全体	—	一連の調査工法の成立性 (X-2ペネ～CRD開口へのア クセス含む)	2021年度試験結果を踏まえ、有線/無線 ドローンと付帯設備(他事業開発品含 む)を用いた場合の一連の調査工法を 検討する。	○	・他事業へ聞き取り ・机上検討	No.46～48
2	ペDESTAL 内へのアク セス装置	伸縮ロッド	ロッド収縮時のケーブル挟み 込み	伸縮ロッド内部に、ケーブルを内包する 構造とする。(他事業の水平展開)	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.54
3			電子部品の耐放射線性	適用条件(空間線量率や調査時間)を整 理し、照射試験により、電子部品の耐放 射線性を確認する。	— (無し)	— (ペDESTAL内調査の開発実績を参照可能かつ、 装置のペイロード制約が小さいため遮蔽対策等 もし易いことから2023年度以降に実施)	—
4			機器の耐久性	実機模擬環境下での連続稼働試験を実 施し、耐久性を確認する。	— (無し)	— (実機装置設計が決まり、実機相当品で確認す ることが合理的と判断し、2023年度以降に実施)	—
5		ケーブルドラ ム(有線ド ローン用)	ケーブル送り出しの改善 ・ドラム背面への ケーブル送り出し事象 ・ケーブル送りローラの 空転 ・送り出し量の確認不可	・ケーブルドラム構造・機能見直し ・送り出し量の確認方法検討 (カメラの追設等)	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.55
6		ケーブルドラム駆動用ケーブ ルの処理	駆動用ケーブルを介助可能な装置を検 討する。 (ペDESTAL内調査で開発中のケーブル 介助装置の適用可否検討も含む)	○	・机上検討 ・他事業へ聞き取り ・試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.56	
7		電子部品の耐放射線性	適用条件(空間線量率や調査時間)を整 理し、照射試験により、電子部品の耐放 射線性を確認する。	— (無し)	— (比較的低線量率(約10Sv/h)であるペDESTAL 外を走行する点かつ、装置のペイロード制約が 小さいため遮蔽対策等がし易いことから2023年 度以降に実施)	—	
8		機器の耐久性	実機模擬環境下での連続稼働試験を実 施し、耐久性を確認する。	— (無し)	— (実機装置設計が決まり、実機相当品で確認す ることが合理的と判断し、2023年度以降に実施)	—	

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.44

3). 開発課題と対応方針(2/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目	対応 スライドNo.
9	ペDESTAL 内からRPV 内部へのア クセス装置	有線/無線 ドローン共通	ドローンの小型化	小型化についてケーススタディを実施する。 (搭載機器の削減による小型化も検討)	○	・机上検討 ・試作機設計へ反映し、単体機能試験 を実施	No.49
10			飛行制御	制御方式の見直し	○	机上検討	No.70
11			カメラレンズへの水 滴付着	レンズにコーティングを施す等、対策を検討 する。	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.50, 52
12			着陸位置確認 (2021年度の暗闇環 境でのワンスルー試 験時、着陸位置の視 認性に課題有り)	付帯設備に照明を追加する等、対策を検討 する。	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.54~55
13			電子部品の耐放射 線性	・新たなフライトコントローラの調査(2021年 度照射試験でコンパスセンサが使用不可と 判断したため) ・適用条件(空間線量率や調査時間)を整 理し、通電状態での照射試験により、電子 部品の耐放射線性及び機器動作へ影響を 確認する。(カメラ映像への影響確認含む)	○	・フライトコントローラ調査 ・照射試験実施	No.51, 53 No.80~81 No.86~88
14			機器の耐久性	実機模擬環境下での連続稼働試験を実施 し、耐久性を確認する。	— (無し)	— (実機装置設計が決まり、実機相当品で確認す ることが合理的と判断し、2023年度以降に実施)	—
15			飛行高度上限引き 上げ	試験により、11m(炉心支持板高さ)以上の 飛行が可能かを確認する。 (2021年度試験で、調査に必要な目標飛行高さ7mの 飛行が可能であることを確認しているため、対応は HOLDとし、他事業や他課題の対応結果を受け、再度 対応要否を確認する。)	— (無し)	— (HOLD)	—

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.45

3). 開発課題と対応方針(3/3)

No.	大項目	中項目	開発課題	対応方針	2022年度 対応有無	2022年度の 試験・実施項目	対応 スライドNo.
16	ペDESTAL 内からRPV 内部へのア クセス装置	有線ドローン	電子部品の発熱	機体内構造の見直しや、ヒートシンク/空 冷ファンの追加する等、対策を検討する。	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.50
17			調査映像への機体 の映り込み	構造見直しを検討する。	○	試作機設計へ反映し、単体機能試験を 実施	No.50
18		無線ドローン	搭載可能な軽量放 射線センサの調査又 は検討	小型かつ軽量の放射線センサを検討する。	○	・机上検討 ・要素技術の試作	No.52
19	飛行時間の延長		・バッテリーの見直しを検討する。 ・消費電力の低減策検討 (2021年度試験で、調査に必要な飛行時間を達成 可能な見通しは得たが、付帯設備との組合せや裕 度を考慮し、検討を継続実施。)	○	・机上検討 ・要素技術の試作	No.52	
20	その他	PCV内への インストール 装置	他事業でのインス トール装置によるX-2 ペネ通過の成立性	ペDESTAL内調査用のインストール装置 の流用可否、不可の場合は変更点を整 理する。	○	・机上検討 ・要素技術の試作	No.57~60
21		リスク対応	ドローン墜落時の影 響評価	リスク抽出及び対応策を検討し設計へ反 映する。	○	机上検討	No.69
22			機器の汚染	リスク抽出及び対応策を検討し設計へ反 映する。	— (無し)	— (調査が成立する装置設計を優先的に検討する ことが合理的と判断し、2023年度以降に実施)	—

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

4). 2022年度実施内容 ①調査計画の見直し

・下表のケーススタディの結果、有線・無線ドローンの運用として、以下運用が調査成立性が高いと判断。

1. 飛行時間に裕度のある有線ドローンにより、損傷状態および後続の無線ドローンの飛行ルート確認する。
可能であればRPV内底部(ペデ内プラットフォームから高さ約7m)を調査し帰還する。
2. 無線ドローンで、有線ドローンで調査不可の領域である炉心支持板上面付近(ペデ内プラットフォームから高さ約11m)までを調査する。

・2022年度の試作機は有線・無線ドローンそれぞれの役割に応じた搭載機器や機体形状とする。

No.	調査ケース	調査装置構成		調査手順	ドローン搭載調査機器(※1)		メリット	デメリット	調査成立性	調査成立性(※2) (映像取得のみ)
		有線ドローン	無線ドローン		調査装置	機器				
1	有線ドローン単機	1機	-	有線ドローン単機で、RPV内底部(高度約7m)の調査	有線ドローン	・操縦用/調査用カメラ ・線量計	・長時間の飛行(調査)が可能 ・通信(操縦/映像)が安定	・飛行自由度/高度に制限(2021年度試験結果:最大飛行高さ8m)。 ・RPV内底部まで垂直にアクセスできない場合は、牽引ケーブル長の増加により、調査位置まで到達不可のリスク有り	△	○
2	無線ドローン単機	-	1機	無線ドローン単機で、RPV内底部(高度約7m)の調査	無線ドローン	・操縦用/調査用カメラ ・線量計	飛行自由度/高度に裕度有り	・飛行可能時間が短い(2021年度試験結果:約6分) ・映像ノイズ有り(マルチパスのため) ・無線通信不可のリスク有り	×	×
3	無線ドローン複数機	-	2機(※1)	1. 無線ドローンAで、損傷状態および後続の無線ドローンBの飛行ルートを確認し、帰還 2. 無線ドローンBで、RPV内底部(高度約7m)の調査	無線ドローンA(事前調査用) 無線ドローンB(調査用)	・操縦用カメラ ・操縦用/調査用カメラ ・線量計	・無線ドローンA/Bの共通メリットはNo.2に同じ ・無線ドローンAは飛行時間延長可能(機体軽量化のため) ・無線ドローンAにより、飛行ルートを把握可能なため、無線ドローンBの飛行時間を短縮可能	・無線ドローンA/Bの共通の共通デメリットはNo.2に同じ ・飛行可能時間が短いことで、十分調査ができない可能性有り	△	△
4	有線ドローン/無線ドローン組合せ	1機	1機(※1)	1. 有線ドローンで、損傷状態および後続の無線ドローンの飛行ルート確認。可能であればRPV内底部(高度約7m)を調査し帰還 2. 無線ドローンで、RPV内底部(高度約7m)から上部(炉心支持板上面)(高度約11m)までの調査	有線ドローン(事前調査用) 無線ドローン(調査用)	・操縦用/調査用カメラ ・線量計 ・操縦用/調査用カメラ ・線量計	・有線ドローンはNo.1、無線ドローンはNo.2のメリットに同じ ・有線ドローンにより、無線ドローンの飛行ルートを把握可能なため、無線ドローンの飛行時間を短縮可能 ・RPV内上部の追加情報取得の見通し有り	有線ドローンはNo.1、無線ドローンはNo.2のデメリットに同じ	○	◎

(※1) 検討進捗状況により、機体数、調査手順およびドローン搭載調査機器構成は随時見直し

(※2) 映像取得のみを目的とし、ドローン機体に線量計を搭載しない場合の調査成立性。有線ドローンの場合は線量計のケーブルが不要となるため複合ケーブルの軽量化が可能となり、飛行高度を向上することが可能。無線ドローンの場合は線量計の質量分、機体質量を軽量化可能なため、飛行可能時間を延長可能

調査成立性凡例:
◎: 成立性が高く、追加情報が得られる可能性有り
○: 成立性が高い
△: 一部成立しない可能性有り
×: 成立性が低い

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.47

4). 2022年度実施内容 ②調査システム全体構成(1/2)

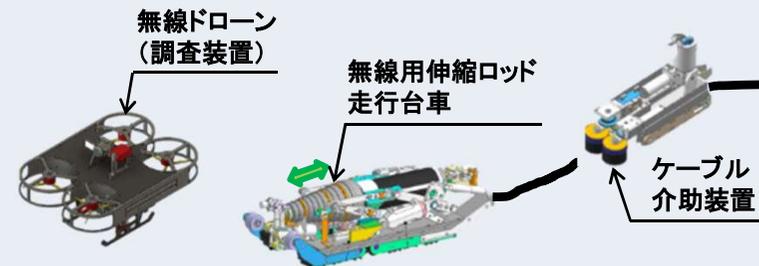
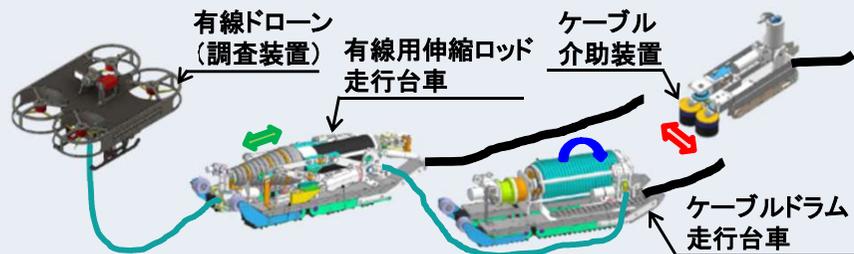
有線ドローンによる調査システム

無線ドローンによる調査システム

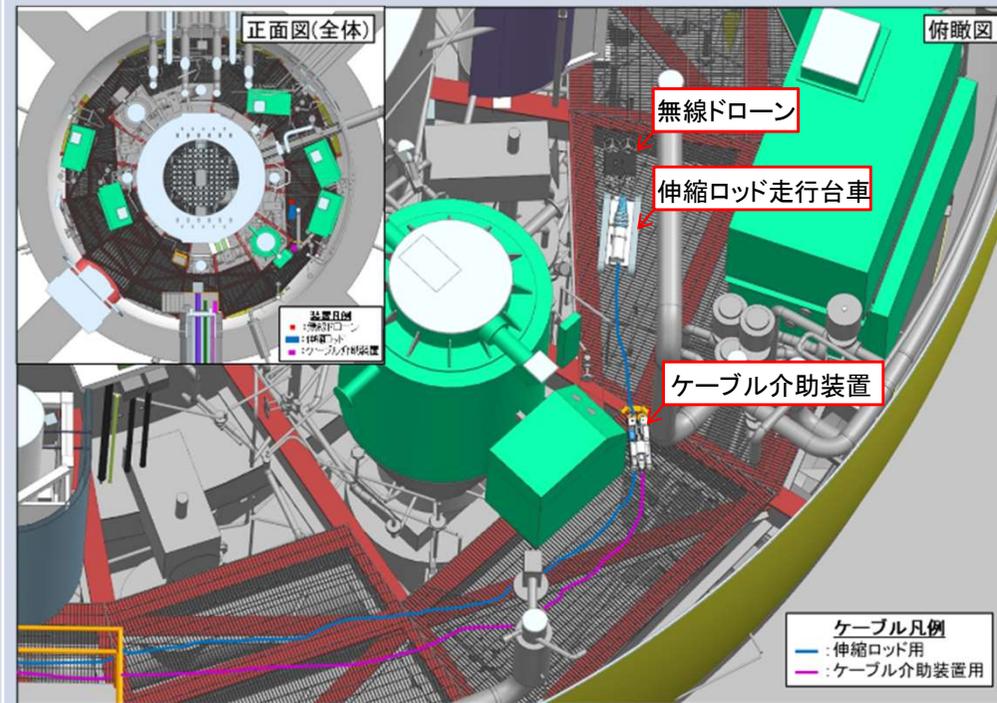
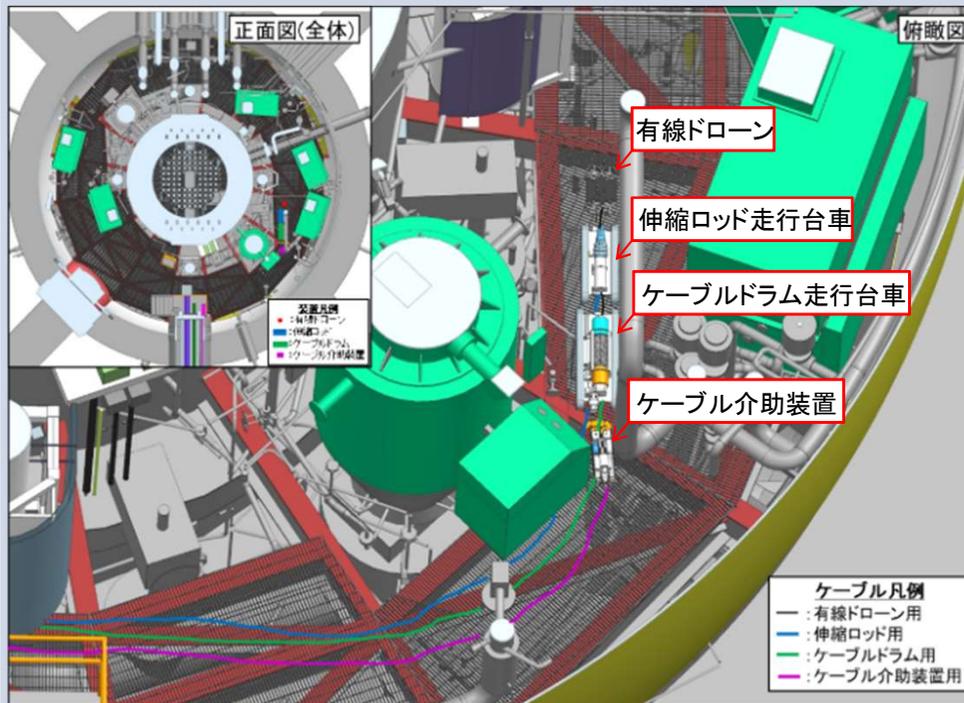
装置構成
有線ドローン/伸縮ロッド走行台車/ケーブルドラム走行台車/ケーブル介助装置/インストール装置/その他の装置(監視カメラ等)

装置構成
無線ドローン/伸縮ロッド走行台車/ケーブル介助装置/インストール装置/その他の装置(監視カメラ等)

概要図
(インストール後)



俯瞰図
(インストール後)



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.48

4). 2022年度実施内容 ②調査システム全体構成(2/2)

区分		装置概要	2022年度試作有無		試作機説明 スライドNo.
有線	有線ドローン	<ul style="list-style-type: none"> X-2ペネの350A開口部からインストールし、ペDESTAL外プラットフォームを飛行し、CRD開口部からペDESTAL内に侵入し、RPV底部の想定開口部よりRPV内部にアクセスする。 伸縮ロッド先端から送り出されている複合ケーブルを牽引しながら、RPV内底部(CRD交換用プラットフォームより約7m)の調査(映像取得/線量率測定)する。 	○	2021年度試作機を改良	No.49~51
	有線用伸縮ロッド走行台車	<ul style="list-style-type: none"> 有線ドローンのインストール後に、X-2ペネの350A開口部からPCV内へインストールされ、B1調査装置の残置機を乗り越えて、CRD開口部の手前まで走行する。 伸縮ロッドをCRD開口部よりペDESTAL内部のRPV底部の想定開口部下部付近まで伸長する。 ロッド先端に、有線ドローンの複合ケーブルを送り出し/巻き戻し可能な機構を有する。 	○	他事業開発装置※を一部改良	No.54
	ケーブルドラム走行台車	<ul style="list-style-type: none"> 伸縮ロッド走行台車のインストール後に、X-2ペネの350A開口部からインストールし、B1調査装置の残置機を乗り越えて、伸縮ロッド走行台車の手前まで走行する。 ケーブルドラムは、有線ドローンの複合ケーブルを巻き付け、ケーブルの送り出し/巻き戻し可能な機構を有する。また、有線ドローン用の複合ケーブルは伸縮ロッド走行台車の伸縮ロッドに沿わせロッド先端のケーブル送出し/巻戻し機構を介して有線ドローンへ接続する。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルドラムは2021年度試作機を改良 走行機能は他事業開発装置※を一部改良 	No.55
無線	無線ドローン	<ul style="list-style-type: none"> X-2ペネの350A開口部からインストールし、ペDESTAL外プラットフォームを飛行し、CRD開口部からペDESTAL内に侵入し、RPV底部の想定開口部よりRPV内部にアクセスする。 伸縮ロッド先端の無線機と無線通信しながら、炉心支持板上面(CRD交換用プラットフォームより約11m)の調査(映像取得/線量率測定)する。 	○	2021年度試作機を改良	No.40, 52~53
	無線用伸縮ロッド走行台車	<ul style="list-style-type: none"> 無線ドローンのインストール後に、X-2ペネの350A開口部からPCV内へインストールされ、B1調査装置の残置機を乗り越えて、CRD開口部の手前まで走行する。 伸縮ロッドをCRD開口部よりペDESTAL内部のRPV底部の想定開口部下部付近まで伸長する。 ロッド先端には、無線通信用の送受信機を有し、無線ドローンと無線通信する。 	○	他事業開発装置※を一部改良	No.54
有線 / 無線共通	ケーブル介助装置	X-2ペネの250A開口部よりインストールし、伸縮ロッド走行台車又はケーブルドラム走行台車の、ペDESTAL外プラットフォーム上に敷設された複合ケーブルをB1調査装置の残置機手前までの領域で、引っ掛かり等の不具合が生じないように、ケーブル介助機構により介助・移動する。	○	他事業開発装置※を一部改良	No.56
	インストール装置	X-2ペネの既設ガイドパイプよりPCV内部に装置をインストールする装置。	○ (一部試作)	他事業開発装置※を一部改良、 し350A用のみ要素試作	No.57~60
	その他補機	X-2ペネの開口部に設置し、インストール/アンインストール時の補助をする。(インストール/アンインストール時の監視カメラ、アンインストール時の装置の線量率測定装置及び洗浄装置、緊急時の複合ケーブルの切断装置を想定(補機は今後の検討結果により適宜見直すこととする)。	—	2022年度は試作無し	—

※PCV内部詳細調査技術の開発

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.49

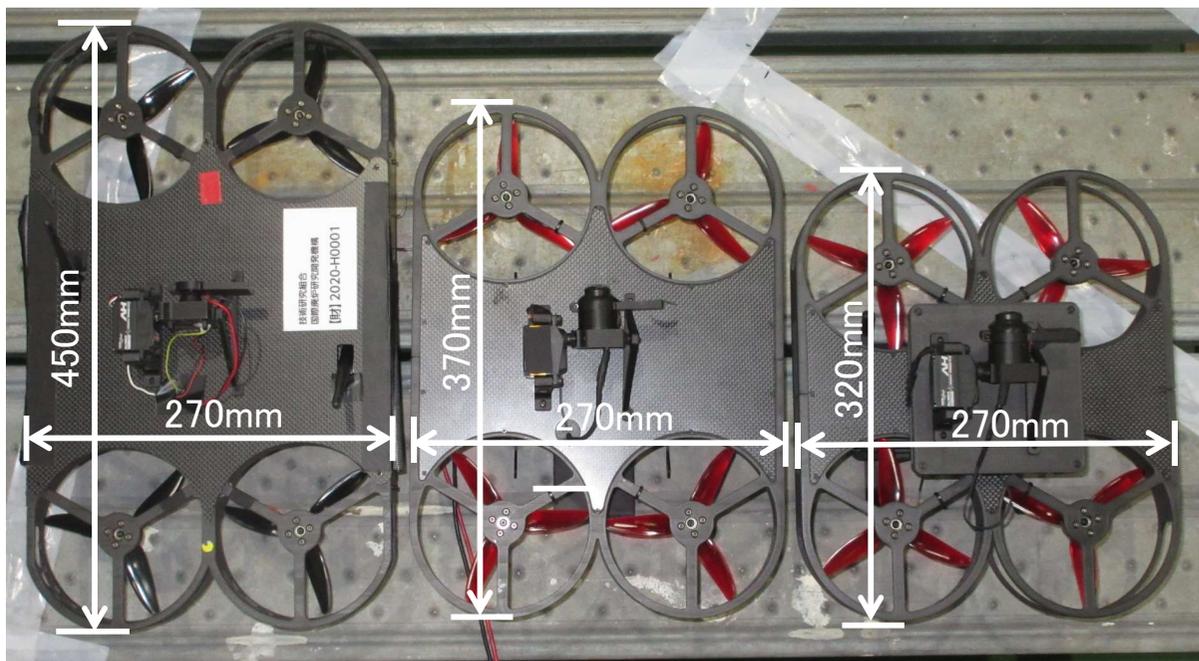
4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(有線/無線ドローン小型化)

- 機体内の部品や部品配置を見直すことで有線/無線ドローン共に2021年度試作機よりも小型化
- 無線ドローンについては、有線ドローンで調査不可の領域(RPV内上部や壁面を想定)を調査する計画のため、機体下部のカメラのパン・チルト機能を無くし、空いたスペースにバッテリー、線量計を配置する設計とし、有線ドローンよりも小型化を達成。

2021年度からの改善項目

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
9	ドローンの小型化	部品配置・構成を見直し、小型化

※1 No.43～45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応

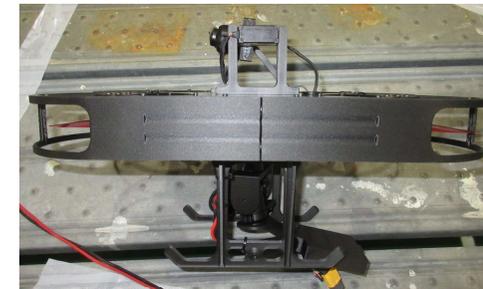


2021年度無線ドローン (有線ドローンも同様形状) 2022年度有線ドローン 2022年度無線ドローン

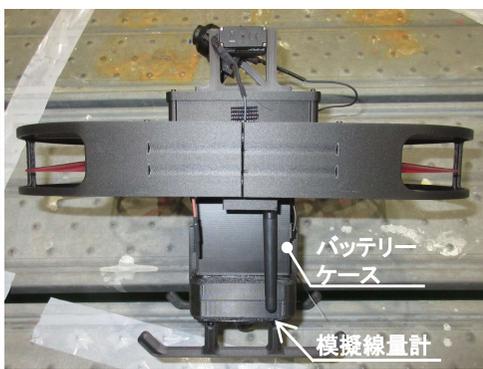
ドローン小型化(2021年度ドローン試作機との比較)



2022年度有線ドローンの機体下部外観



2022年度無線ドローンの機体下部外観



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

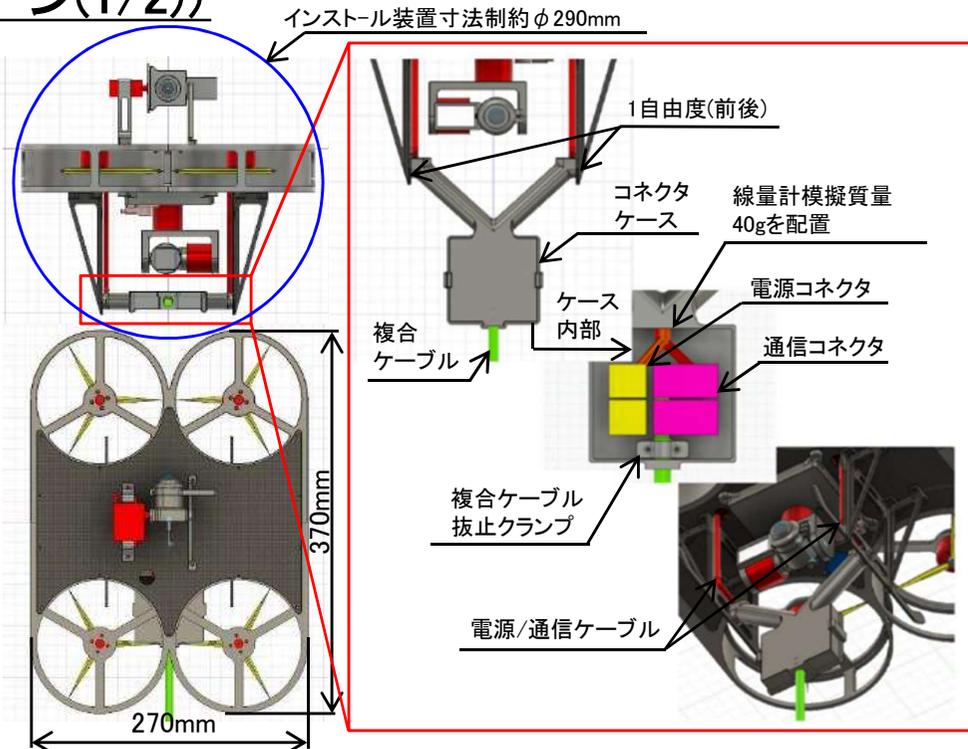
No.50

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(有線ドローン(1/2))

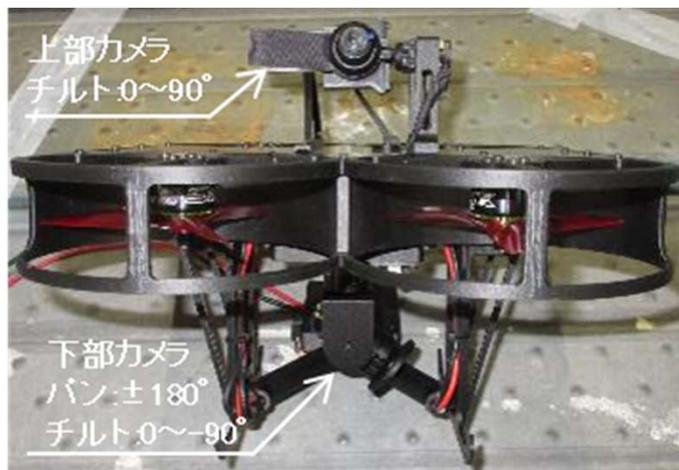
2021年度からの改善項目

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
11	カメラレンズへの水滴付着	カメラレンズに親水コーティング
12	着陸位置確認	伸縮ロッド走行台車とケーブルドラム走行台車に着陸位置の目印となるLEDライト追加(No.54~55参照)
13	電子部品の耐放射線性	<ul style="list-style-type: none"> コンパスセンサを除いたフライトコントローラを搭載 照射試験によりカメラを選定し搭載(スライドNo80~81参照)
16	電子部品の発熱	空冷ファンの追加
17	調査映像への機体の映り込み	ケーブル接続部の見直し設計

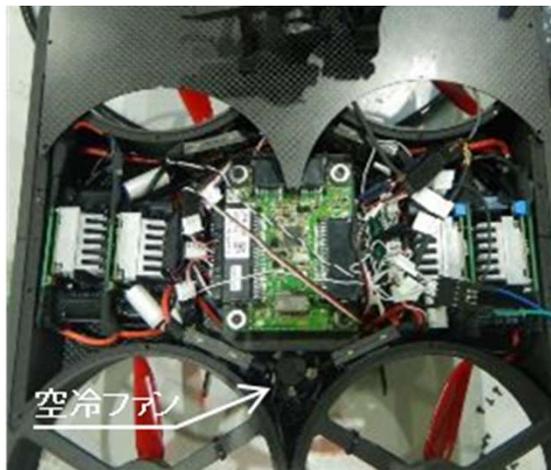
※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応



2022年度試作機イメージ図



2022年度試作機外観



2022年度試作機内部



※2 線量計用光ファイバー(0.04g/m)搭載は無し。保護用のPEEKチューブは搭載有り。

水平方向飛行時の様子

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(有線ドローン(2/2))

ドローン機体内部の構成

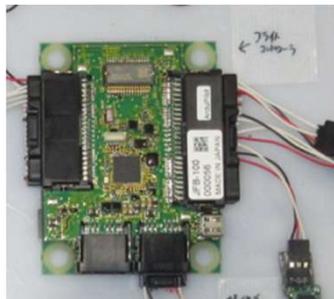
22年度 有線ドローン



DC-DCコンバータ

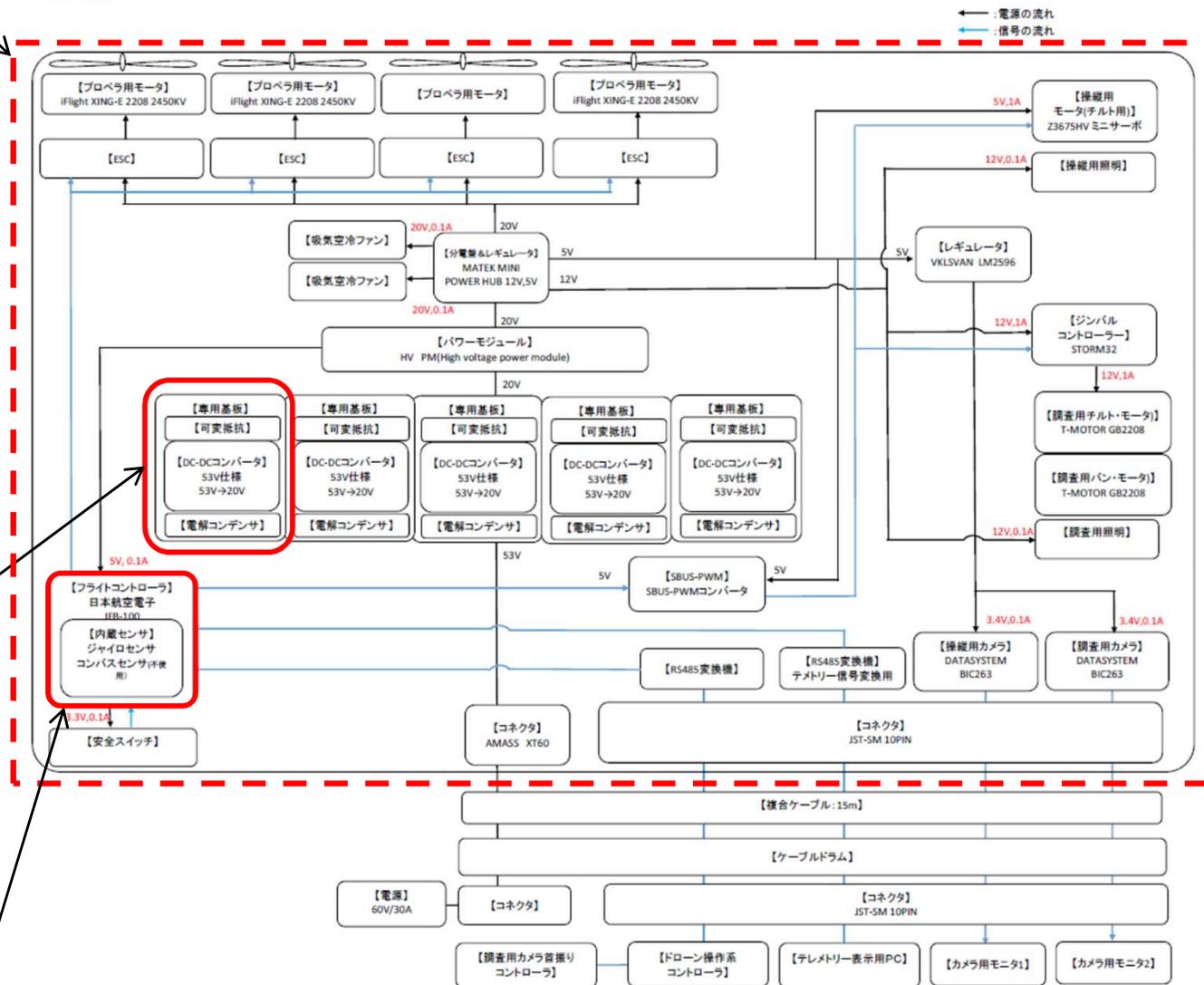
追加したDC-DCコンバータの様子

事前確認試験でドローンの出力不足により、目標高さ(7m)の飛行が出来なかったため、対策としてDC-DCコンバータを1台追加し、ドローンの出力容量を1200Wから1500Wへ増量した。



フライトコントローラ外観

2021年度照射試験で不具合が見られた、フライトコントローラ内のコンパスセンサについて、コンパスセンサを除いたフライトコントローラを搭載



2022年度有線ドローン試作機構成概要

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

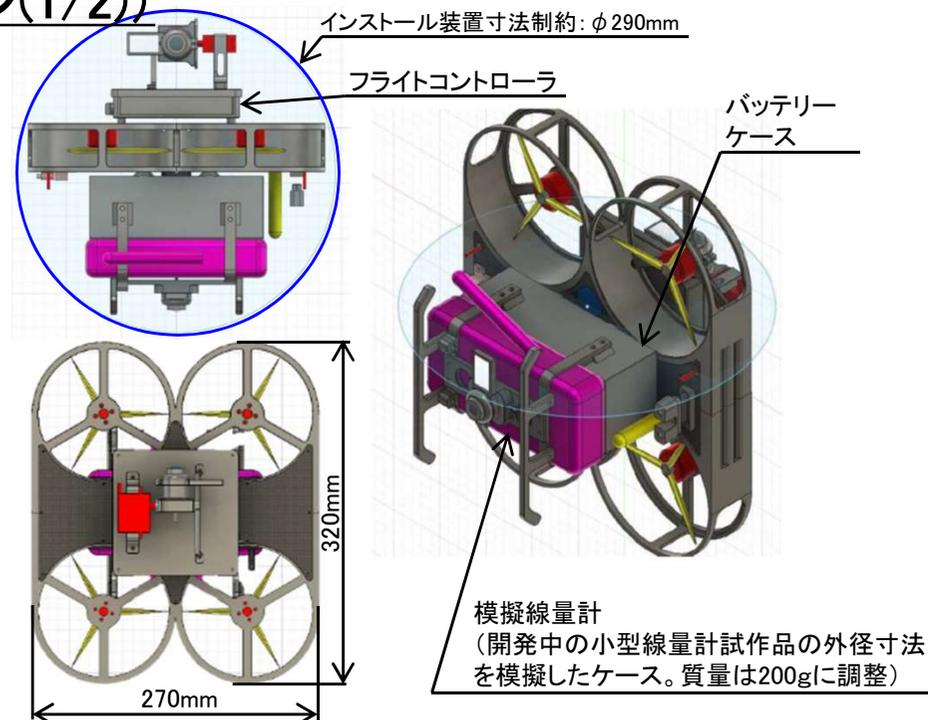
No.52

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(無線ドローン(1/2))

2021年度からの改善項目

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
11	カメラレンズへの水滴付着	カメラレンズに親水コーティング
12	着陸位置確認	伸縮ロッド走行台車とケーブルドラム走行台車に着陸位置の目印となるLEDライト追加(No.54~55参照)
13	電子部品の耐放射線性	<ul style="list-style-type: none"> コンパスセンサを除いたフライトコントローラを搭載 照射試験によりカメラを選定し搭載(スライドNo80~81参照)
18	搭載可能な軽量放射線センサの調査又は検討	小型かつ軽量の放射線センサを開発中
19	飛行時間の延長	<ul style="list-style-type: none"> 開発品バッテリーの要素試作 消費電力少ない映像用無線機の搭載(1W→0.01Wへ見直し)

※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応



2022年度試作機イメージ図



2022年度試作機外観

小型線量計(パルス計測型)外観※2

項目	2022年度試作機
外観	
サイズ	165 × 80 × 35mm (アンテナ除く)
重量	367g(本体280g, 乾電池4本96g)

※2 パルス計測型の開発と並行して、別手法のCOMS型の線量計も成立性を検討中。重量については、次年度以降の開発目標は200g以下

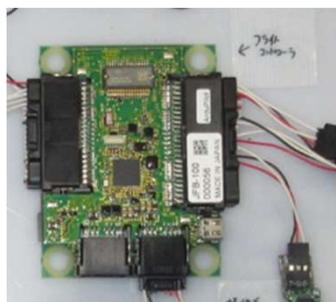
開発品バッテリー要素試作外観

項目	開発品バッテリー (開発中)	通常バッテリー
外観		
サイズ	46 × 60 × 53mm	44 × 135 × 30mm
容量	6000mAh(設計値)	4600mAh
重量	298g(実測値)	385g

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

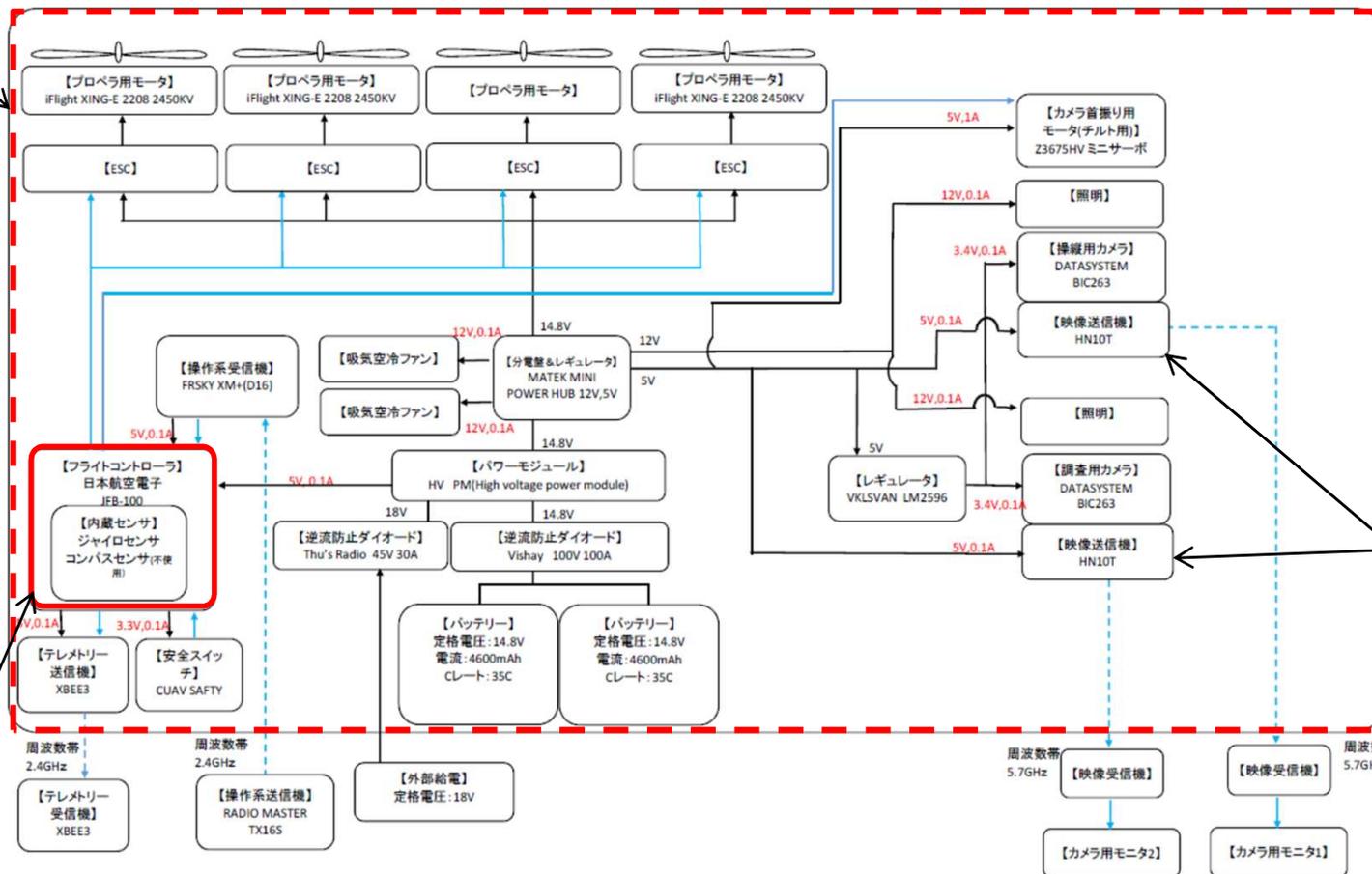
4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(無線ドローン(2/2))

ドローン機体内部の構成



フライトコントローラ外観

2021年度照射試験で不具合が見られた、フライトコントローラ内のコンパスセンサについて、コンパスセンサを除いたフライトコントローラを搭載



映像系送信機の送信出力を1W(2021年度搭載品)から0.01Wへ見直した。(待機消費電力の低減、小型化・軽量化のため。)

2022年度無線ドローン試作機構成概要

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.54

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(有線/無線用伸縮ロッド走行台車)

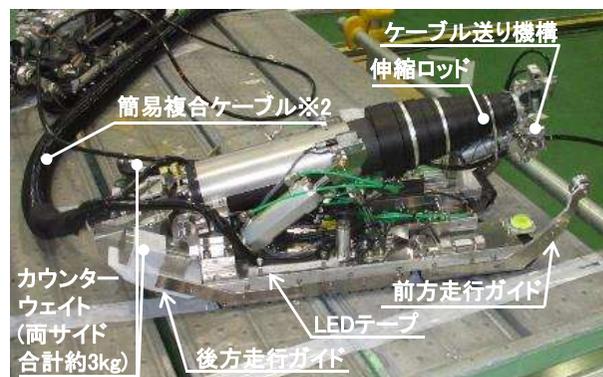
2021年度からの改善項目

他事業開発装置との主な相違点

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
2	ロッド収縮時のケーブル挟み込み	伸縮ロッド内部に、ケーブルを内包する構造とする。 (他事業(PCV内部詳細調査技術の開発)の水平展開)

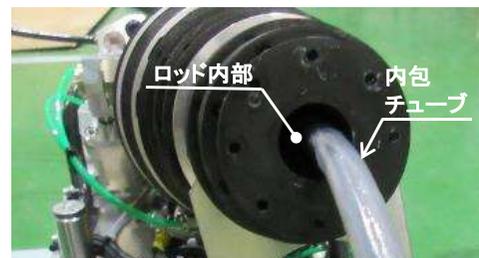
区分	他事業開発装置との主な相違点
有線用	<ul style="list-style-type: none"> ロッド先端のケーブル送り機構の追加 ケーブルガイドリングの追加 ドローン着陸位置の目印となるLEDライト追加 ロッド先端のカメラのパンチルト範囲
無線用	<ul style="list-style-type: none"> ロッド先端の無線機の追加 ドローン着陸位置の目印となるLEDライト追加

※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応

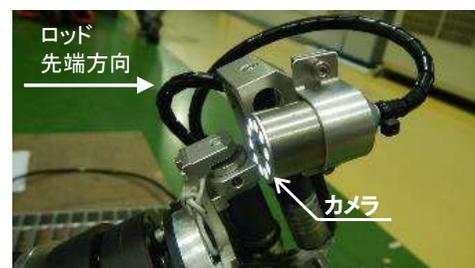


※2 長納期品によるケーブル複合化不可の代替案

2022年度試作機外観(有線用)



電源/信号ケーブル用の内包チューブ (有線用/無線用共通)



有線用ロッド先端部カメラのパンチルト範囲の見直し※3

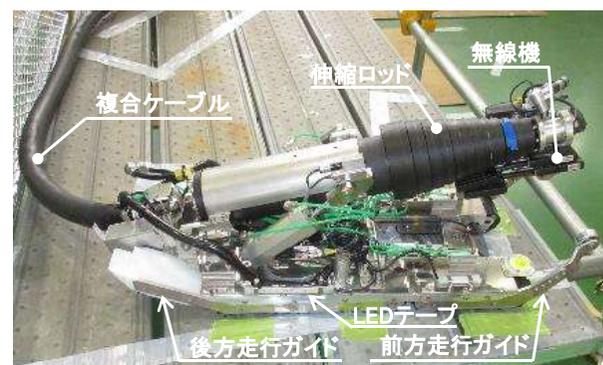
※3 装置後部のドローン用複合ケーブル状態を監視するため。



有線用ロッド先端のケーブル送り機構外観 事前動作確認時のガイドリングの追加

※4 ケーブルガイドリングや有線ドローン用複合ケーブルと装置が接触する箇所には複合ケーブルと接触部の摩擦を軽減するためにフロンテープを巻きつけた。

有線ドローン用の複合ケーブルの取り回し概要



2022年度試作機外観(無線用)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.55

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(有線用ケーブルドラム走行台車)

2021年度からの改善項目

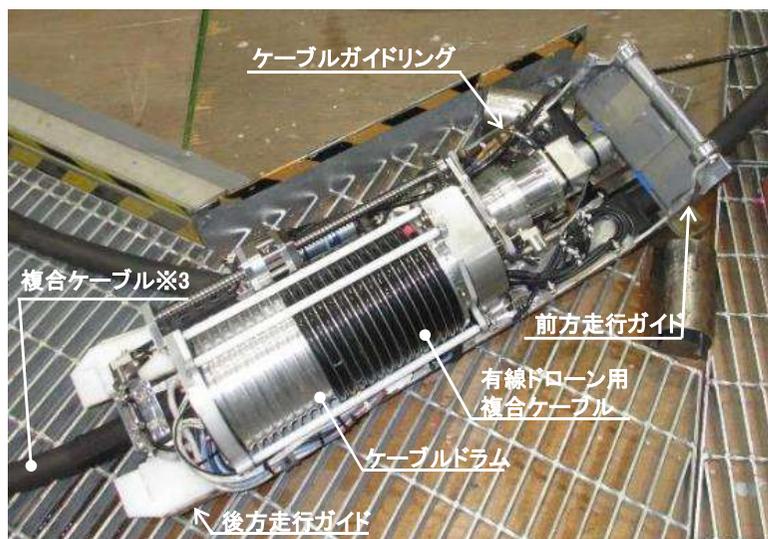
他事業開発装置※2との主な相違点

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
5	ケーブル送り出しの改善 ・ドラム背面へのケーブル送り出し事象 ・ケーブル送りローラの空転 ・送り出し量の確認不可	・ケーブルドラム構造・機能見直し ・ケーブル送り出し方向の見直し ・ローラ挟み込み力の向上 ・カメラ追設による送り出し量確認

他事業開発装置との主な相違点
<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルガイドリングの追加 ・前方走行ガイド構造の見直し ・ドローン着陸位置の目印となるLEDライト追加

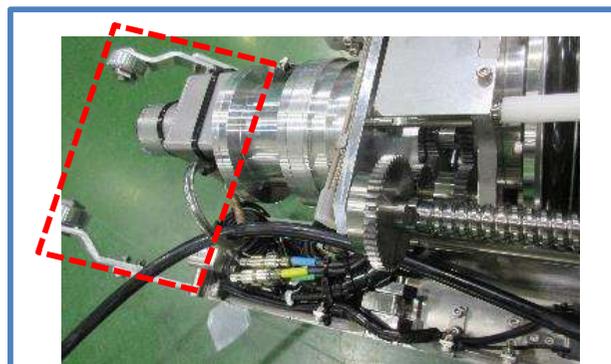
※2 PCV内部詳細調査技術の開発で開発中の調査装置のクローラを搭載

※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応



2022年度試作機外観

※3 事前確認試験時に電圧降下により有線ドローンの出力不足が確認された。ケーブルドラム走行台車の複合ケーブル内の電源用ケーブルが細く電圧降下が大きくなったことが原因であったため、AWG14からAWG6へ見直し、電圧降下対策をした。ケーブルドラム走行台車の複合ケーブルの直径はφ30mmからφ40mm程度になる見直し。



走行ガイド改良前

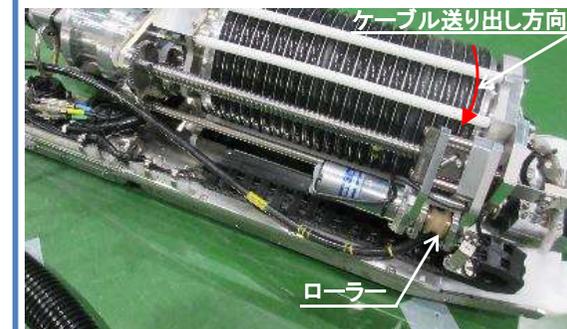


走行ガイド改良後

前方走行ガイド構造の見直し



ドラム背面へのケーブル送り出し事象 (2021年度)



ケーブル送り出し機構の改良 (2022年度)

ケーブル送り出しの改善

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.56

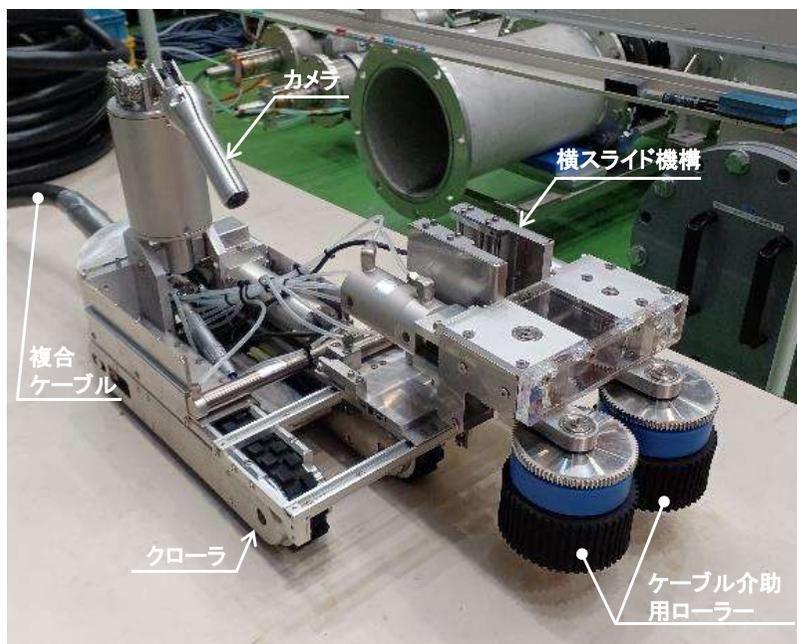
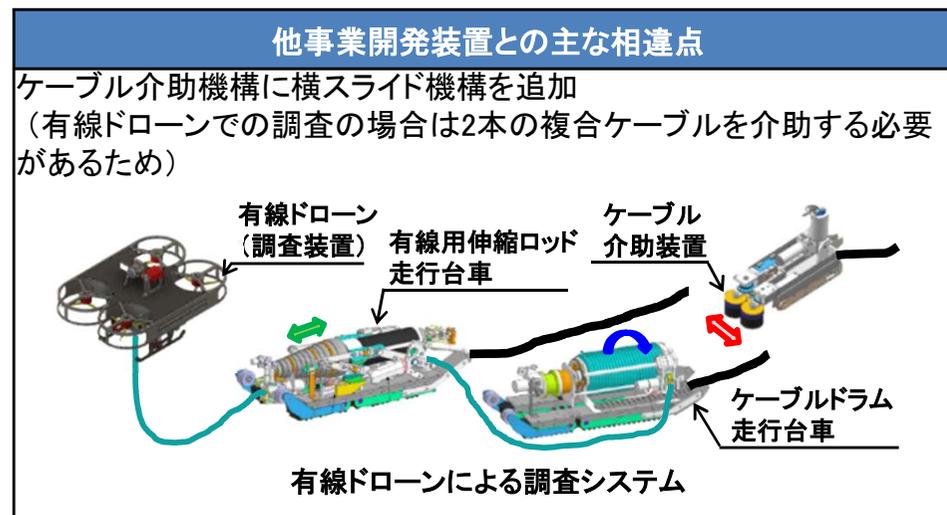
4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(ケーブル介助装置)

他事業開発装置との主な相違点

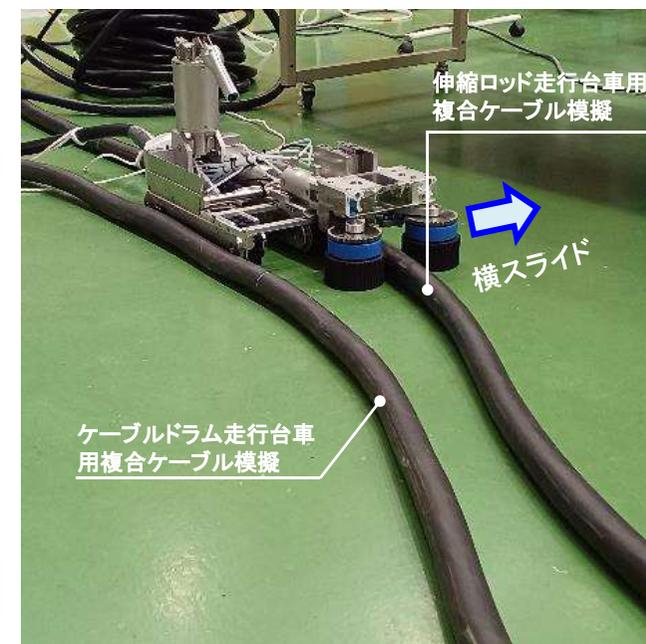
2021年度からの改善項目

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
6	ケーブルドラム駆動用ケーブルの処理	ケーブル介助装置の試作 (他事業(PCV内部詳細調査技術の開発)の水平展開)

※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応



2022年度試作機外観



2本の複合ケーブルを介助する際の様子

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.57

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(350A用インストール装置(1/4))

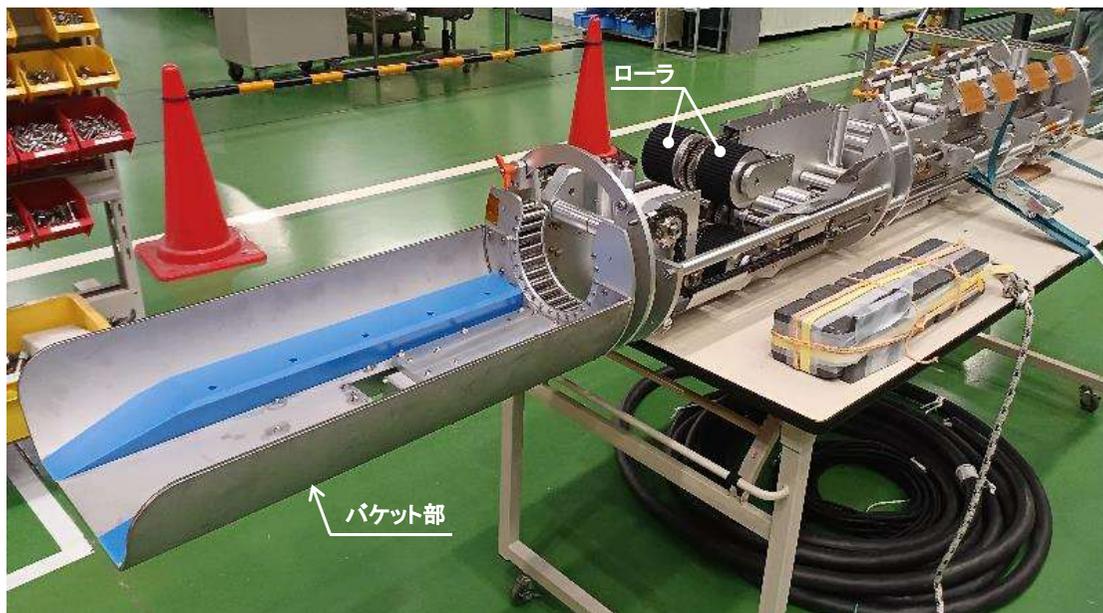
2021年度からの改善項目

他事業開発装置との主な相違点

No.※1	2021年度成果より抽出した開発課題	2022年度対策実施内容
20	他事業でのインストール装置によるX-2ペネ通過の成立性	350A用インストール装置の試作 (他事業(PCV内部詳細調査技術の開発)の水平展開)

他事業開発装置との主な相違点
ケーブル押し出しローラの追加 (有線ドローンでの調査の場合は2本の複合ケーブルを捌く必要があるため)

※1 No.43~45の開発課題と対応方針の開発課題No.に対応



2022年度試作機外観



2本の複合ケーブルを捌く様子

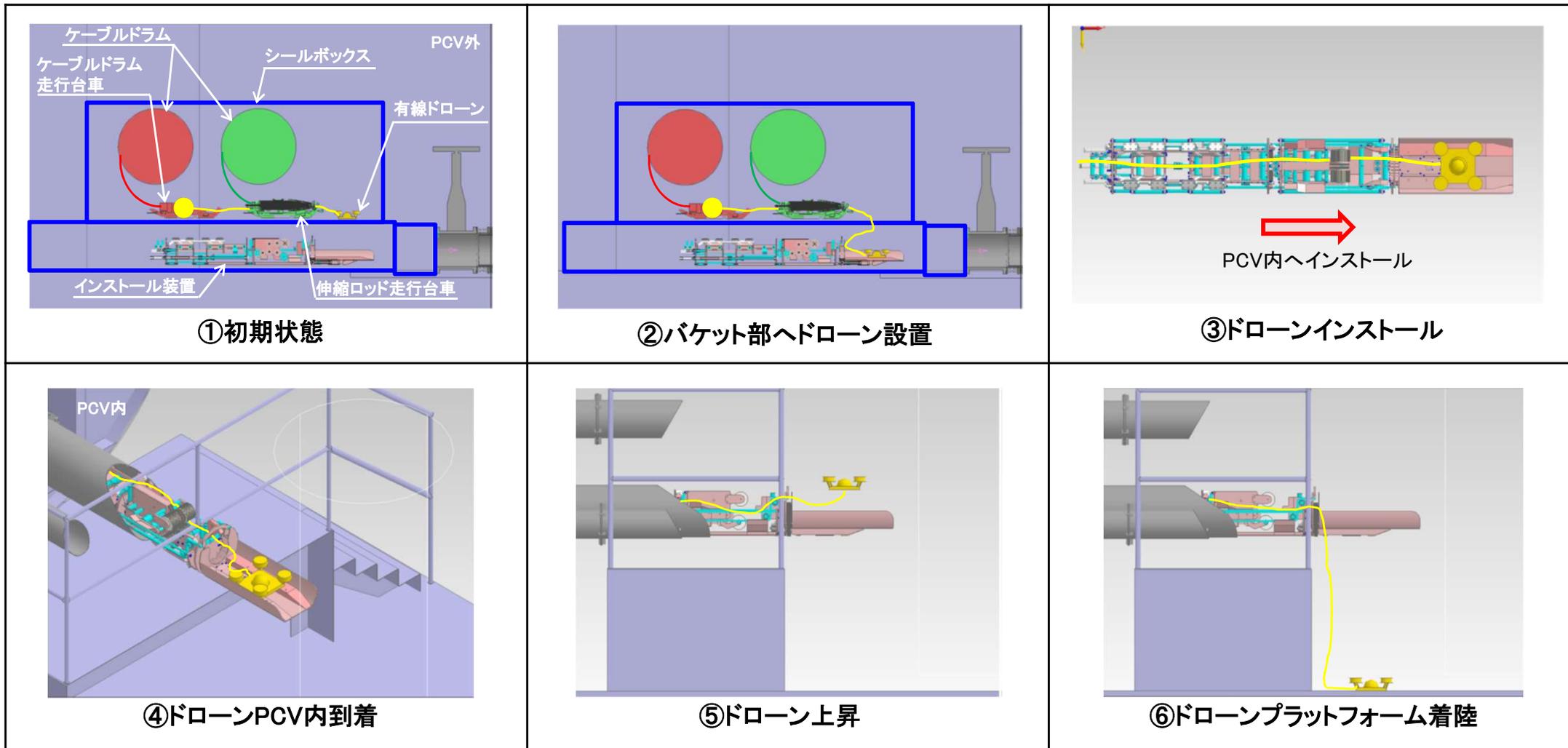
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.58

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(350A用インストール装置(2/4))

以下に有線ドローンによる調査時の350Aペネトレーションを用いた、装置のインストールのイメージを示す。



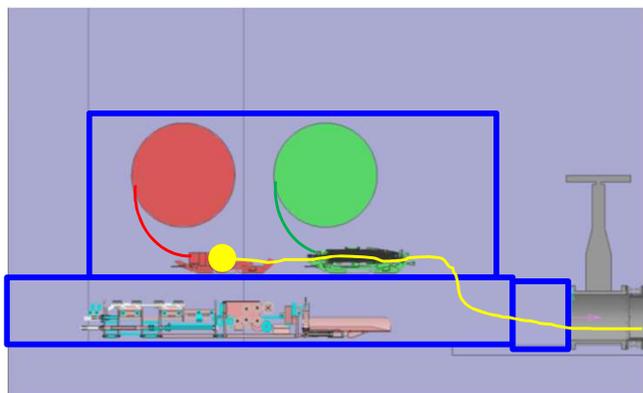
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

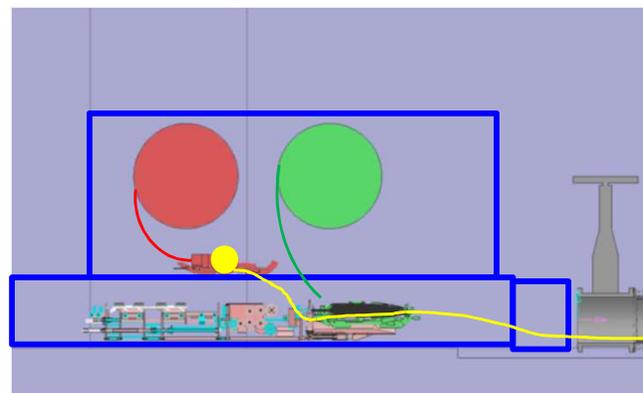
No.59

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(350A用インストール装置(3/4))

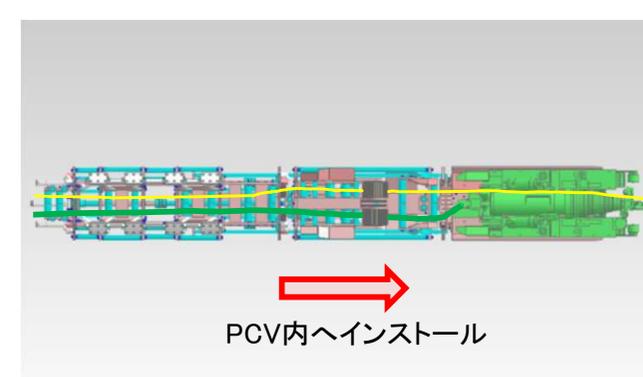
以下に有線ドローンによる調査時の350Aペネトレーションを用いた、装置のインストールのイメージを示す。



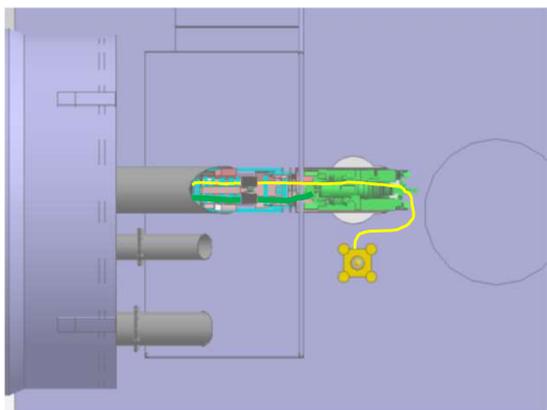
⑦インストール装置回収



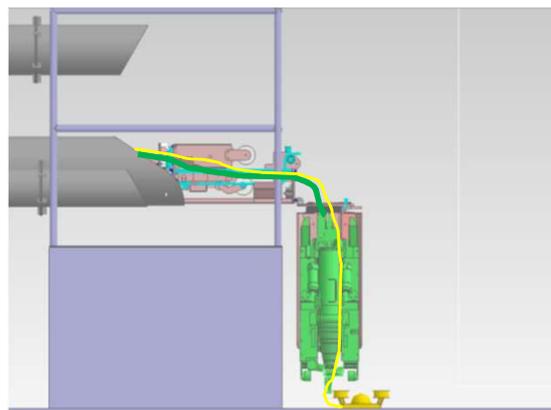
⑧バケット部へ伸縮ロッド走行台車設置



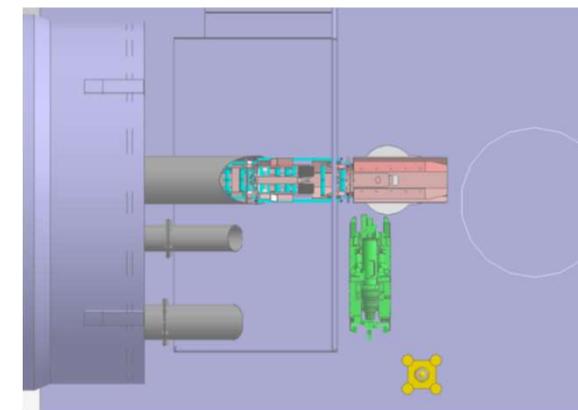
⑨伸縮ロッド走行台車インストール



⑩伸縮ロッド走行台車PCV内到着



⑪バケット部を屈曲し伸縮ロッド走行台車を降下



⑫伸縮ロッド走行台車プラットフォーム接地

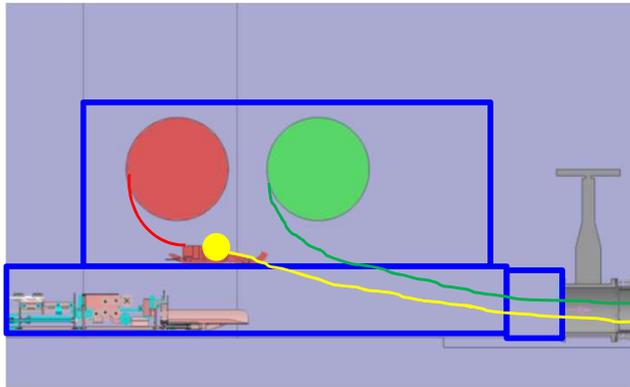
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

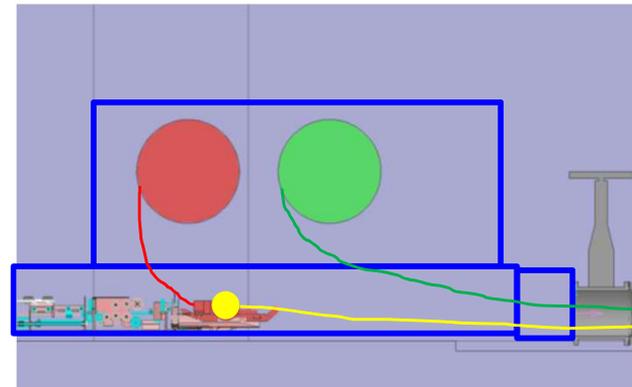
No.60

4). 2022年度実施内容 ③2022年度試作機(350A用インストール装置(4/4))

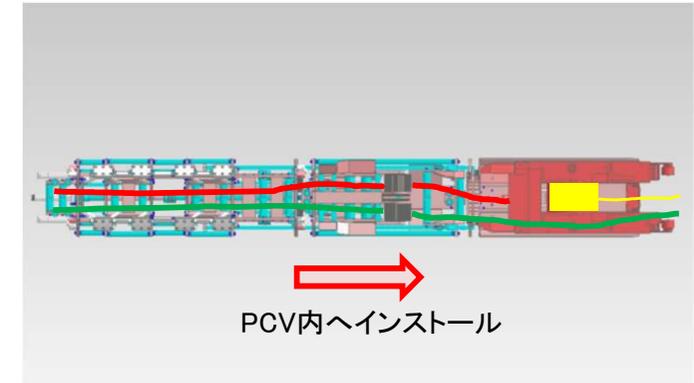
以下に有線ドローンによる調査時の350Aペネトレーションを用いた、装置のインストールのイメージを示す。



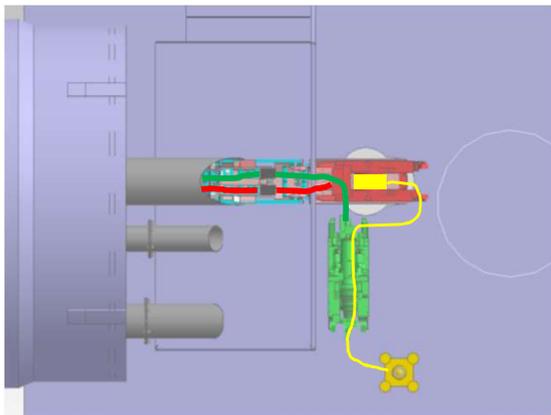
⑬インストール装置回収



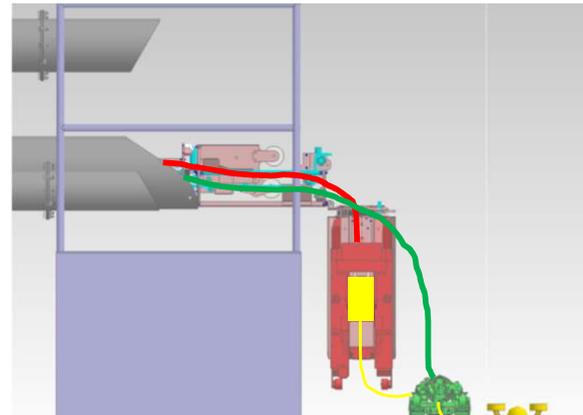
⑭バケット部へケーブルドラム走行台車設置



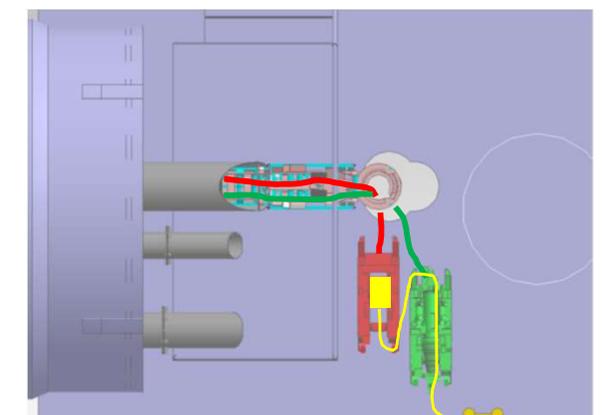
⑮ケーブルドラム走行台車インストール



⑯ケーブルドラム走行台車PCV内到着



⑰バケット部を屈曲しケーブルドラム走行台車を降下



⑱ケーブルドラム走行台車プラットフォーム接地

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.61

4). 2022年度実施内容 ④ 単体機能確認試験項目(1/3)

対象	区分		項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット/判定基準	該当箇所
	有線	無線					
(a) ドローン							
○	○	飛行機能 (揚力)	①	飛行高さ確認試験	目標高さ(有線:7m、無線:11m)到達可否	No.73	
○	○		②	ペイロード確認試験	最大ペイロード	No.74	
○	○	飛行機能 (揺らぎ)	③	狭隘部通過性確認試験	・通過可能な最小空間 ・飛行時の揺らぎ量(垂直方向)	No.75~76	
—	○	飛行機能 (飛行時間)	④	飛行時間確認試験	飛行可能時間	No.77	
○	○	視認/照明機能	⑤	カメラ性能確認試験 (暗闇・水蒸気環境)	暗闇・水蒸気環境での対象物の視認可否	No.78~79	
○	○		⑥	カメラ照射試験	・映像の時間変化 ・耐放射線性(目標100Gy)	No.80~81	
○	○		⑦	飛行時視認性確認試験	飛行時の映像の揺らぎ状態	No.82	
—	○	線量率測定機能 (無線のみ)	⑧	線量計照射試験	測定可能範囲(2022年度開発目標:0~100Sv/h)	No.83~84	
—	○		⑨	線量計ノイズ影響確認試験	線量計のノイズ影響可否	No.85	
○	○	耐放射線性	⑩	ドローン照射試験	ドローンの耐放射線性(目標100Gy)	No.86~88	
○	○	電子部品 性能	⑪	温度/電流値確認試験	出力上昇に伴う、電子部品(ESC)の温度/電流値変化	No.89	
○	○	防水機能	⑫	防水性能確認試験	防水性能(参考測定)	No.90	

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.62

4). 2022年度実施内容 ④ 単体機能確認試験項目(2/3)

対象	区分		項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット/判定基準	該当箇所
	有線	無線					
(b) 伸縮ロッド走行台車							
	○	○	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値 (乾燥or濡れ状態)	No.91~92
	○	○	走行機能	②	走行性能確認試験 走行性能確認試験※有線 用:試験(b)-②, (c)-②を同時に実施	グレーチング上の走行性 (乾燥or濡れ状態)	No.93
	○	○		③	踏破性能確認試験	B1調査装置残置物の踏破可否 (乾燥or濡れ状態)	No.94
	○	○	ロッド伸縮機能	④	ロッド伸縮試験 (有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施 /無線用:試験(b)-④⑤を同時に実施)	・伸縮時間 ・たわみ量	No.95~98
	○	○		⑤	通過性能確認試験 (有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施 /無線用:試験(b)-④⑤を同時に実施)	CRD開口部の構造物の通過性能	
	○	—	複合ケーブル送り出し/巻戻し機能	⑥	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ロッド伸縮との連動性) (有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施)	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のロッド伸縮との連動性	
	○	—		⑦	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ケーブルドラムとの連動性) (※有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施)	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のケーブルドラムとの連動性	

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.63

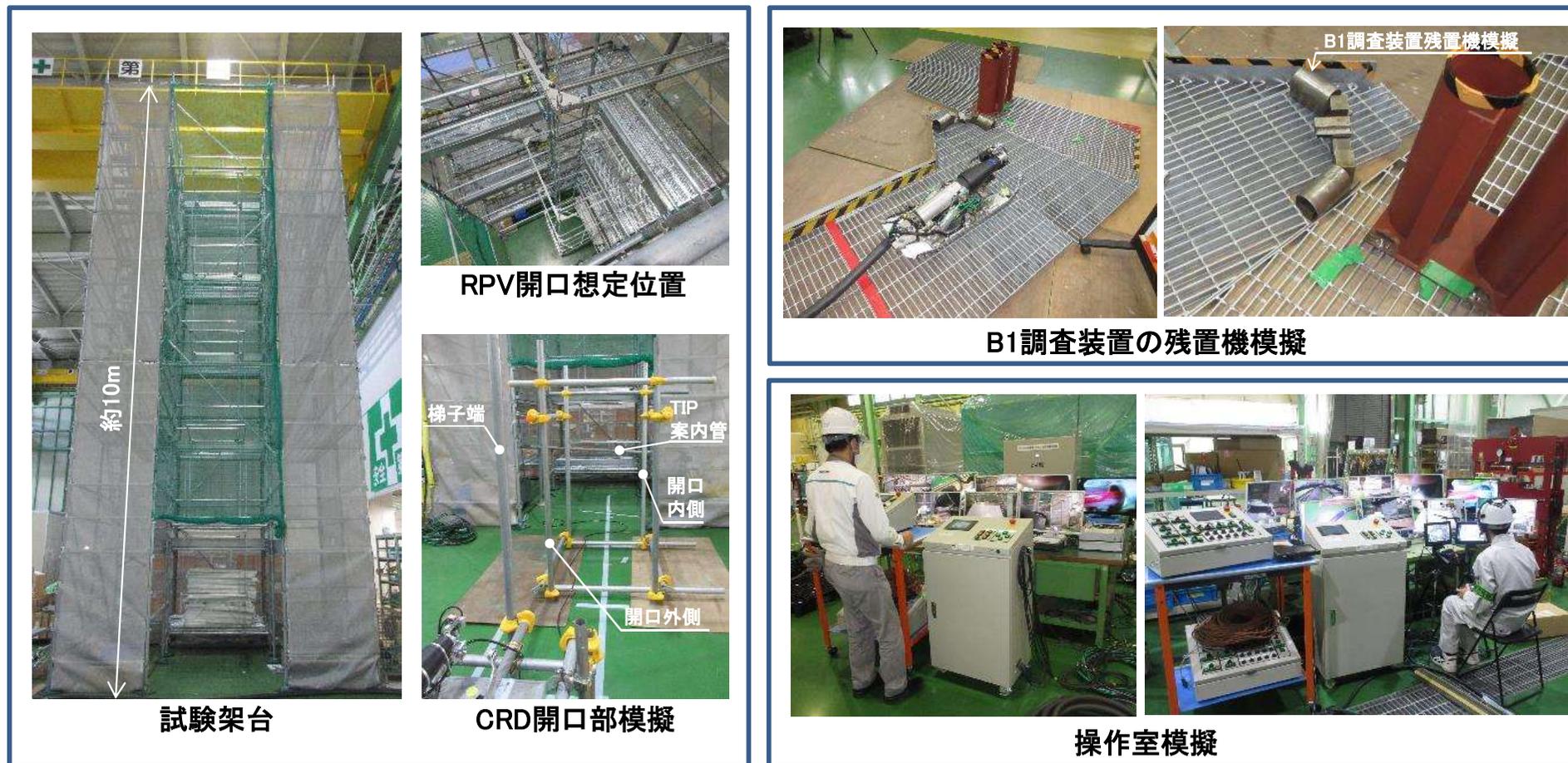
4). 2022年度実施内容 ④ 単体機能確認試験項目(3/3)

対象	区分		項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット/判定基準	該当箇所
	有線	無線					
(c) ケーブルドラム走行台車							
	○	—	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値 (乾燥or濡れ状態)	No.99
	○	—	走行機能	②	走行性能確認試験※有線用:試験(b)-②, (c)-②を同時に実施	グレーチング上の走行性 (乾燥or濡れ状態)	No.100
	○	—		③	踏破性能確認試験	B1調査装置残置物の踏破可否 (乾燥or濡れ状態)	No.101
	○	—	複合ケーブル送り出し/巻戻し機能	④	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(伸縮ロッドとの連動性)※有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のケーブルドラムとの連動性	No.95~98
(d) ケーブル介助装置							
	○	○	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値 (乾燥or濡れ状態)	No.102
	○	○	走行機能	②	走行性能確認試験	グレーチング上の走行性 (乾燥or濡れ状態)	No.103~104
	○	○	ケーブル介助機能	③	ケーブル把持性能確認試験	ケーブル把持性能	No.105
	○	○		④	ケーブル送り力確認試験	ケーブル送り力/速度/クランプ力	No.106~107
	○	○		⑤	転倒確認試験	ケーブル介助時の転倒可否	No.108
(e) インストール装置(350A用)							
	○	○	インストール/アンインストール機能	①	屈曲負荷動作確認試験	バケット部に負荷がある場合の屈曲性能	No.109~110
	○	○		②	ケーブル送り力確認試験	ケーブル送り力/クランプ力	No.111~112
	○	○		③	ケーブル送り時動作確認試験	2本同時のケーブル送り出し可否	No.113

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

4). 2022年度実施内容 ⑤ 単体機能確認試験設備(1/2)

以下に有線/無線ドローン、伸縮ロッド走行台車、ケーブルドラム走行台車用の試験設備の概要を示す。



2022年度試験設備外観

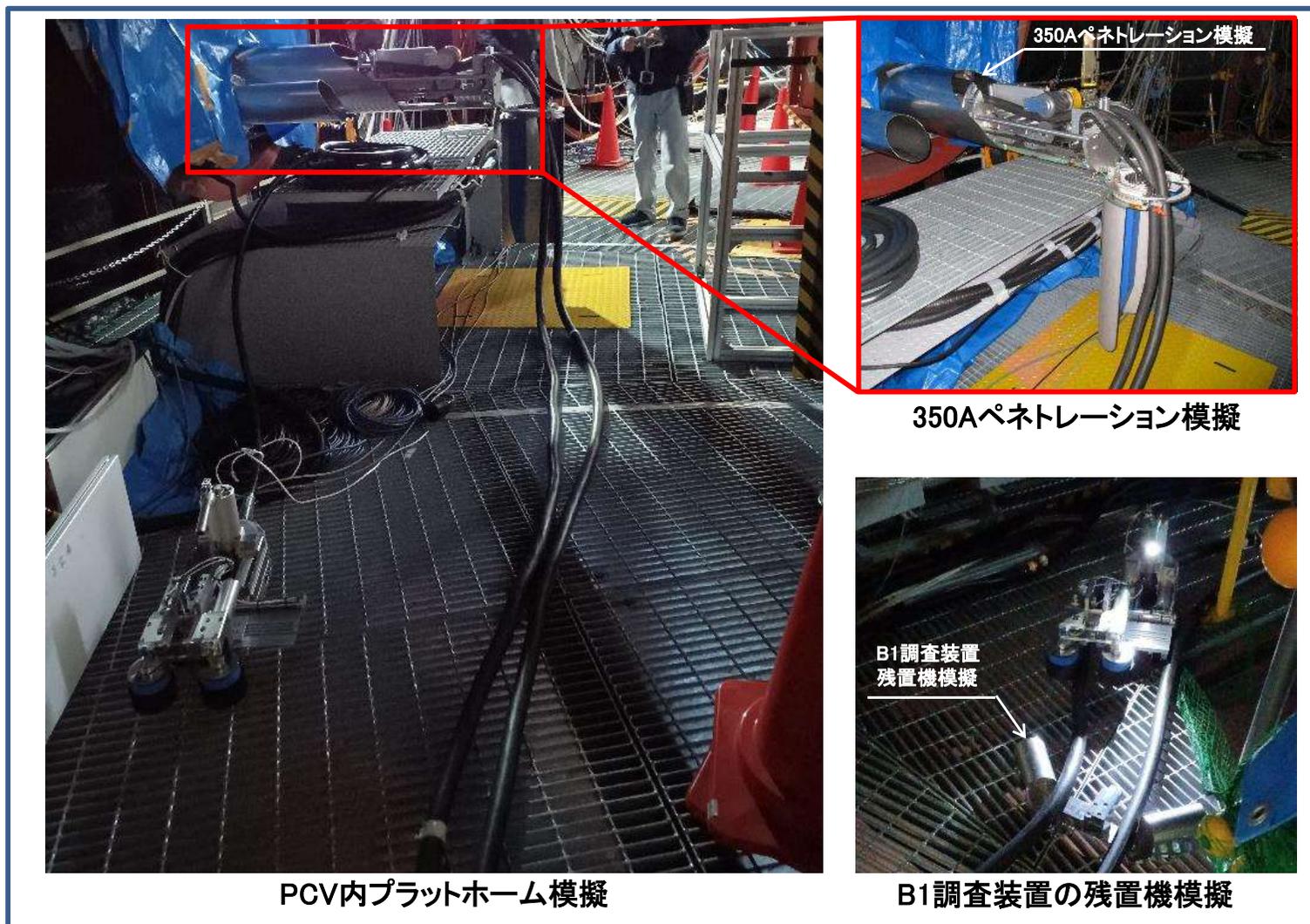
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.65

4). 2022年度実施内容 ⑤ 単体機能確認試験設備(2/2)

以下にケーブル介助装置、350A用インストール装置用の試験設備の概要を示す。



PCV内プラットフォーム模擬

350Aペネトレーション模擬

B1調査装置の残置機模擬

2022年度試験設備外観

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.66

4). 2022年度実施内容 ⑥ 単体機能確認試験結果まとめ(1/3)

対象	項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット/判定基準	試験結果		実機適用性	
					有線仕様	無線仕様	有線仕様	無線仕様
(a) ドローン								
飛行機能 (揚力)	①	飛行高さ確認試験	目標高さ(有線:7m、無線:11m)到達可否	目標高さ(7m)にて10秒間ホバリング可能	目標高さ(11m)にて10秒間ホバリング可能	調査位置であるRPV内底部まで到達可能な見通し。	炉心支持板上面まで到達可能な見通し。	
	②	ペイロード確認試験	最大ペイロード	933g	600g	目標飛行高さ飛行時に、ペイロードの裕度無し。	追加機器搭載可。ただし、飛行時間とのバランスは要検討。	
飛行機能 (揺らぎ)	③	狭隘部通過性確認試験	①通過可能な最小空間 ②飛行時の揺らぎ量(垂直方向)	①: □700mm/□500mm(垂直/水平) ②: 211mm/275mm(長手/短手)	①: □600mm/□500mm(垂直/水平) ②: 253mm/258mm(長手/短手)	想定開口径φ1m通過可能な見通し(ただし、パイロットの技量による)	想定開口径φ1m通過可能な見通し(ただし、パイロットの技量による)	
飛行機能 (飛行時間)	④	飛行時間確認試験	飛行可能時間	—	線量計無: 10分4秒 線量計有: 8分40秒 線量計(有)+錘(300g): 6分47秒	—	追加装置を限定することで飛行時間を延長することが可能。	
視認/照明機能	⑤	カメラ性能確認試験(暗闇・水蒸気環境)	暗闇・水蒸気環境での対象物の視認可否	水蒸気(無): 2.5m先視認可 水蒸気(少): 2.5m先視認可 水蒸気(多): 2.5m先視認不可	水蒸気(無): 2.5m先視認可 水蒸気(少): 2.5m先視認可 水蒸気(多): 2.5m先視認不可	水蒸気量が少ない場合においては、RPV内壁を確認可能な見通し。	水蒸気量が少ない場合においては、RPV内壁を確認可能な見通し。	
	⑥	カメラ照射試験	・映像の時間変化 ・耐放射線性(目標1000Gy)	カメラA~Dのうち、B,Cが目標集積線量(1000Gy)を達成より軽量であるカメラBをドローン用カメラとして選定	—	耐放射線性において、実機適用可能な見通し。ただし1000Gy/hの環境下での映像の放射線ノイズ対策は要検討。	—	
	⑦	飛行時視認性確認試験	飛行時の映像の揺らぎ状態	飛行による目立った視認性の悪化無し	飛行による目立った視認性の悪化無し	調査対象を視認可能な見通し。	調査対象を視認可能な見通し。	
線量率測定機能(無線のみ)	⑧	線量計照射試験	測定可能範囲(2022年度開発目標: 0~100Sv/h)	—	パルス計測型: 0.09 ~ 1077 Sv/h CMOS型: 0.08 ~ 90 Sv/h	—	パルス計測型については最終目標である1000Sh/hを達成。2023年度実装検討。	
	⑨	線量計ノイズ影響確認試験	線量計のノイズ影響可否	—	パルス計測型: ドローン操作時のノイズレベルは、線量率測定精度に影響がないことを確認	—	実機向け製品製作後に再度確認。	
耐放射線性	⑩	ドローン照射試験	ドローンの耐放射線性(目標1000Gy)	集積線量122Gyで電子部品に不具合あり	集積線量175Gy以下で電子部品に不具合あり	運用方法や機体内の電子部品構成を見直す必要あり。	運用方法や機体内の電子部品構成を見直す必要あり。	
電子部品性能	⑪	温度/電流値確認試験	出力上昇に伴う電子部品(ESC)の温度/電流値変化	空冷ファンを追加したが、効果無し	空冷ファンを追加したが、効果無し	機体内の冷却機能を見直す必要あり。	機体内の冷却機能を見直す必要あり。	
防水機能	⑫	防水性能確認試験	防水性能(参考測定)	散水後動作可	散水後動作可	防塵性も合わせて検討要	防塵性も合わせて検討要	

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.67

4). 2022年度実施内容 ⑥ 単体機能確認試験結果まとめ(2/3)

対象	項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット / 判定基準	試験結果		実機適用性	
					有線仕様	無線仕様	有線仕様	無線仕様
(b) 伸縮ロッド走行台車								
	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値 (乾燥or濡れ状態)	乾燥: 274~392N 程度 濡れ: 98~196N 程度	乾燥: 245~343N 程度 濡れ: 98~215N 程度	一定の牽引力があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	一定の牽引力があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。
	走行機能	②	走行性能確認試験	グレーチング上の走行性 (乾燥or濡れ状態)	乾燥または濡れ状態において、グレーチング上を問題なく往復走行可	乾燥または濡れ状態において、グレーチング上を問題なく往復走行可	一定の走行性があることを確認。今後、組合せ試験でケーブルの取り回し等を評価する予定。	一定の走行性があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。
		③	踏破性能確認試験	B1調査装置残置物の踏破可否 (乾燥or濡れ状態)	乾燥: 前進・後退とも踏破可 濡れ: 前進・後退とも踏破可	乾燥: 前進・後退とも踏破可 濡れ: 前進・後退とも踏破可	B1調査装置残置物を踏破可能な見通し。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	B1調査装置残置物を踏破可能な見通し。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。
	ロッド伸縮機能	④	ロッド伸縮試験 (有線用: 試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施/ 無線用: 試験(b)-④⑤を同時に実施)	①伸縮時間 ②たわみ量	ロッド初期角度: 14.3° ①: 5分15秒/7分36秒 (伸長/収縮) ②: 150mm程度	ロッド初期角度: 12.1° ①: 6分6秒/7分37秒 (伸長/収縮) ②: 185mm程度	ロッド通過性やロッドとケーブルドラムの連動性を確認。ただし、今後、組合せ試験で実機想定手順の最適化を図り、適用性を評価する予定。	ロッド通過性を確認。今後、組合せ試験で実機想定手順の最適化を図り、適用性を評価する予定。
		⑤	通過性能確認試験 (有線用: 試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施/ 無線用: 試験(b)-④⑤を同時に実施)	CRD開口部の構造物の通過性能	ロッド初期角度(14.3°)にて通過可	ロッド初期角度(12.1°)にて通過可		
	複合ケーブル送り出し/巻戻し機能	⑥	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ロッド伸縮との連動性) (有線用: 試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施)	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のロッド伸縮との連動性	ケーブルガイドリングにより、複合ケーブルを整線することで連動することが可能な見通し。ただし、実機想定手順は最適化の余地あり。	-	-	-
		⑦	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ケーブルドラムとの連動性) (有線用: 試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施)	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のケーブルドラムとの連動性	ケーブルガイドリングにより、複合ケーブルを整線することで連動することが可能な見通し。ただし、実機想定手順は最適化の余地あり。	-	-	-

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.68

4). 2022年度実施内容 ⑥ 単体機能確認試験結果まとめ(3/3)

対象	項目	試験 No.	単体機能確認試験	アウトプット/判定基準	試験結果		実機適用性		
					有線仕様	無線仕様	有線仕様	無線仕様	
(c) ケーブルドラム走行台車									
	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値(乾燥or濡れ状態)	乾燥:245~392N程度 濡れ:215~294N程度	-	-	一定の牽引力があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
	走行機能	②	走行性能確認試験	グレーチング上の走行性(乾燥or濡れ状態)	乾燥または濡れ状態において、グレーチング上を問題なく往復走行可	-	-	一定の走行性があることを確認。今後、組合せ試験でケーブルの取り回し等を評価する予定。	-
		③	踏破性能確認試験	B1調査装置残置物の踏破可否(乾燥or濡れ状態)	乾燥:前進・後退とも踏破可 濡れ:前進・後退とも踏破可	-	-	B1調査装置残置物を踏破可能な見通し。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
	複合ケーブル送り出し/巻戻し機能	④	複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(伸縮ロッドとの連動性)※有線用:試験(b)-④⑤⑥⑦, (c)-④を同時に実施	複合ケーブル送り出し/巻戻し時のケーブルドラムとの連動性	ケーブルガイドリングにより、複合ケーブルを整線することで連動することが可能な見通し。ただし、実機想定手順は最適化の余地あり。	-	-	ロッドとケーブルドラムの連動性を確認。ただし、今後、組合せ試験で実機想定手順の最適化を図り、適用性を評価する予定。	-
(d) ケーブル介助装置									
	牽引機能	①	牽引力確認試験	ケーブル牽引力の実力値(乾燥or濡れ状態)	全ての条件で目標牽引力(100N)達成。濡れ状態の場合、乾燥状態より1割程度牽引力が弱くなった	-	-	一定の牽引力があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
	走行機能	②	走行性能確認試験	グレーチング上の走行性(乾燥or濡れ状態)	乾燥または濡れ状態において、グレーチング上を問題なく往復走行可	-	-	一定の走行性があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
	ケーブル介助機能	③	ケーブル把持性能確認試験	ケーブル把持性能	装置左右の複合ケーブルを把持可能	-	-	ケーブル把持可能な見通し。	-
		④	ケーブル送り力確認試験	ケーブル送り力/速度/クランプ力	全ての条件で目標送り力(100N)達成	-	-	一定の送り力があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
		⑤	転倒確認試験	ケーブル介助時の転倒可否	各操作による転倒の危険性は低い※転倒角度が90°以下であれば復帰可	-	-	各操作による転倒の可能性は低い見通し。	-
(e) インストール装置(350A用)									
	インストール/アンインストール機能	①	屈曲負荷動作確認試験	バケット部に負荷がある場合の屈曲性能	65kgの錘を載せた状態で屈曲動作が可能	-	-	一定のインストール成立性があることを確認。今後、組合せ試験で適用性を評価する予定。	-
		②	ケーブル送り力確認試験	ケーブル送り力/クランプ力	Φ40mm/10mm両ケーブルにて目標送り力(100N)達成	-	-		-
		③	ケーブル送り時動作確認試験	2本同時のケーブル送り出し可否	ケーブルを無理なく2本同時に送り出し可能	-	-		-

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.69

4). 2022年度実施内容 ⑦その他検討事項(ドローン墜落時の影響)

【無線】:無線ドローン 【有線】:有線ドローン

想定 リスク	事象発生要因		対策・対応		
			リスク低減策	発生時対応	
ドローンの墜落					
	障害物への衝突	カメラの死角・視界不良	<ul style="list-style-type: none"> ・パンチルト機構もしくは広角レンズを有した2台のカメラを搭載する。 ・障害物を検知するセンサの搭載を検討する。 	【有線・無線】 <ul style="list-style-type: none"> ・再度飛行を試みる。 ・最悪の場合は残置する。 	【有線】 <ul style="list-style-type: none"> ・飛行不能な場合は、ケーブルを巻き取ることで回収する。
		飛行安定性の不足	<ul style="list-style-type: none"> ・制御性能を高めて、飛行安定性を改善する。 		
	故障	耐久性・耐放射線性不足	<ul style="list-style-type: none"> ・回路、機械ともに耐久試験を実施する。 ・十分な耐放射線性を有している部品のみを搭載する。 		
		水やダストの浸入	防塵/防水対策をし、試験により性能を確認する。		
	【無線】電波強度不足による通信不良	<ul style="list-style-type: none"> ・伸長ロッドにより電波送受信機をペDESTAL内部に配置する。 ・モックアップ試験により通信安定性を確認する。 			
【無線】バッテリー切れ	<ul style="list-style-type: none"> ・大容量バッテリーを搭載する。 ・バッテリー残量を確認しながら飛行する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリー残量が帰路に必要な量に近づいた場合、調査を中断して帰還する。 ・最悪の場合は残置する。 			
ドローン飛行時・墜落時のプラントへの影響					
(飛行時)X-100B温度計/水位計の破損	鋼管の保護が無い部分にドローンが衝突する	<ul style="list-style-type: none"> ・X-100B温度計/水位計と極端に近接しないようなルートで調査を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・X-100B温度計/水位計のうち、破損していない部分を使用してデータ計測を継続する。 		
(飛行時)PCV内のダスト量増加	ドローン飛行時の風によりダストが舞う	<ul style="list-style-type: none"> ・ダストの影響が懸念される場合は、運用、機器の見直しにより対策を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダスト量が許容値を超過した場合は、一時的に着陸して待機するか、一度回収する。 		
(飛行時)PCV温度計の指示値変動	ドローン飛行時の風の影響を受ける	<ul style="list-style-type: none"> ・温度計の指示値の変動が懸念される場合は、運用、機器の見直しにより対策を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV内温度計を用いた計測が必要な場合は、距離を取るか着陸する。 		
(故障時)火気の発生	【無線】バッテリーの発火	<ul style="list-style-type: none"> ・外力により破損しないように適切に保護する。 ・耐久性に優れたバッテリーを選定し、厳しい条件においても発火しないことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・他の装置で状況を監視する。 		
(墜落時)水素の発生	【無線】バッテリーが滞留水と反応	<ul style="list-style-type: none"> ・防水処理し、内部のセルと水の反応を防止する。 ・バッテリーからの水素発生量について検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV内の水素濃度値を注視する。 		

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.70

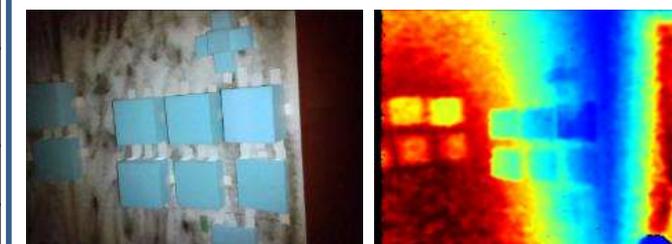
4). 2022年度実施内容 ⑦その他検討事項(センシング技術・飛行制御)

ドローンの飛行に関するリスク

考えられるリスク	リスクによる影響
飛行中のドローン姿勢が不安定	① 障害物との衝突・墜落 ② 狭隘部の飛行が不可 ③ 調査映像がブレる
既存のカメラのみでは、障害物の確認が難しい場合あり	① 障害物との衝突・墜落
操作者の負担が常に大きく、飛行中は休憩できない	④ 操作ミスが生じる可能性
高度な技術を持つ熟練者しか操縦できない	⑤ 現地調査時の人材確保が困難
ドローンの自己位置・姿勢の把握ができない	⑥ 調査対象位置の特定不可

リスク解消のための開発項目(案)

開発項目	目標成果	活用方法(案)
ドローンセンシング技術の開発	自己位置・姿勢の推定	・ 飛行制御へのインプット ・ 調査対象位置の特定 (⑥)
	周囲の障害物状況の把握	・ 衝突・墜落回避 (①)
ドローン飛行制御技術の開発	飛行時の安定性向上	・ 衝突・墜落回避 (①) ・ 狭隘部の調査 (②) ・ 調査映像のブレ低減 (③) ・ 操作者の負担軽減 (④) ・ 非熟練者の操作性向上 (⑤)



RGB像

点群デプス像

(参考)他事業(PCV内部詳細調査)の調査装置に搭載している点群データセンサの映像

(①～⑥はリスク表の番号に対応)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

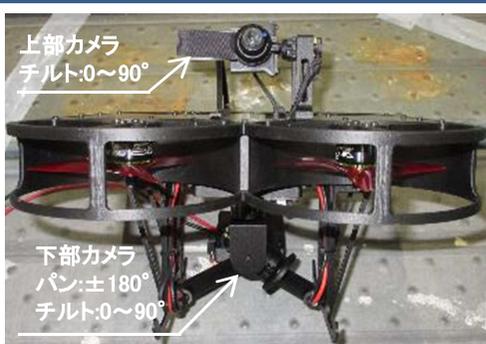
5). まとめ

①2022年度の成果

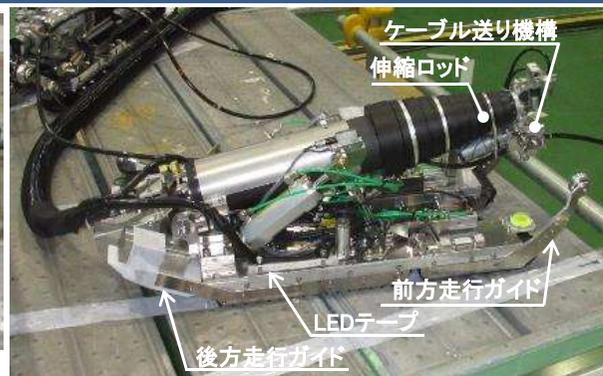
- ・2021年度までの成果を基に、課題を抽出し対策を検討した。
- ・他事業で開発中のアクセス装置をカスタマイズし、それとの組合せを考慮した調査計画・開発計画を検討した。
- ・各装置の仕様を検討し、設計・製作した。また、それら装置の単体機能確認試験を実施し、装置の単体性能を評価した。

②2023年度以降の課題

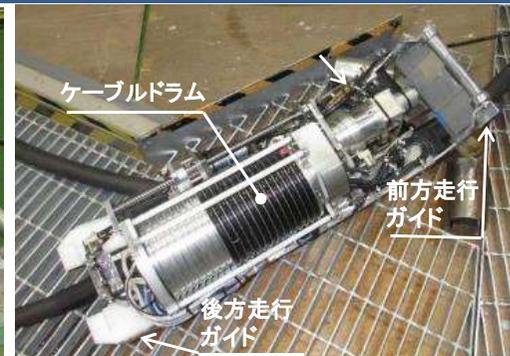
- ・単体機能試験結果を反映し、開発計画見直す。また装置を改善する。
- ・組合せ試験により調査工法成立性を確認し、実機向け装置の開発を進める。
- ・実機向けリスクを抽出し必要に応じて設計に反映するとともに運用シナリオを完成させる。



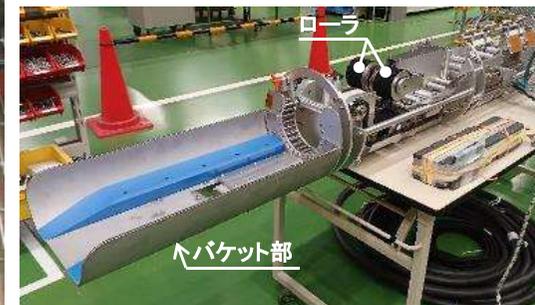
有線ドローン



有線用伸縮ロッド走行台車



ケーブルドラム走行台車



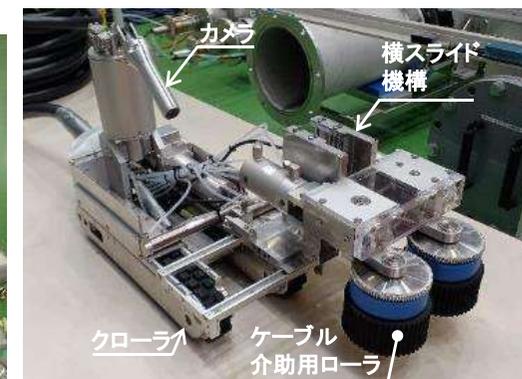
350A用インストール装置



無線ドローン



無線用伸縮ロッド走行台車



ケーブル介助装置

2022年度試作機外観

以下、No.73～No.113まで
ドローン単体機能確認試験結果
補足説明資料

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-①: 【飛行高さ確認試験】

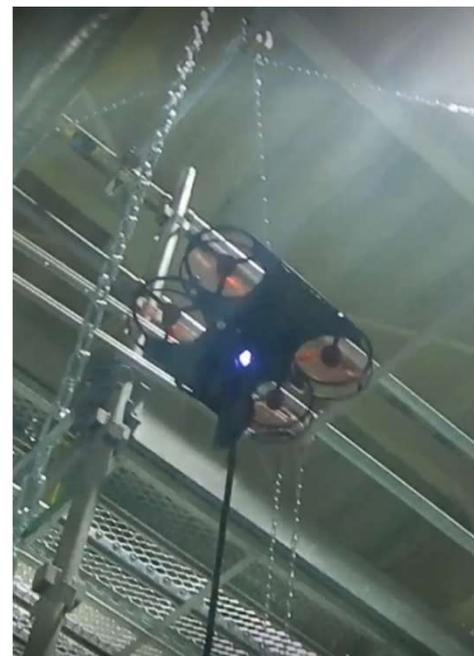
対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① 実機想定位置に装置を配置する。 ② ドローンを試験架台につけた目印の高さ(有線:7m、無線:11m)まで飛行させ10秒間ホバリングさせる。 ③ 有線のみ、最大飛行高さを測定する。(参考測定)
アウトプット /判定基準	目標高さ(有線:7m、無線:11m)で10秒間ホバリング可能であること

試験結果

飛行高さ確認試験

No.	ドローン	目標高さ 到達可否	目標高さでの 10秒間のホバリング可否	【参考測定】 最大飛行高さ
1	有線	7m 到達可能	10秒間ホバリング可能	8m 到達可能
2	無線	11m 到達可能	10秒間ホバリング可能	-

- 有線/無線いずれも、目標高さ(有線:7m、無線:11m)にて10秒間ホバリング可能であることを確認した。



飛行時の様子(有線)



飛行高さ試験の様子(無線)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

1号機

No.74

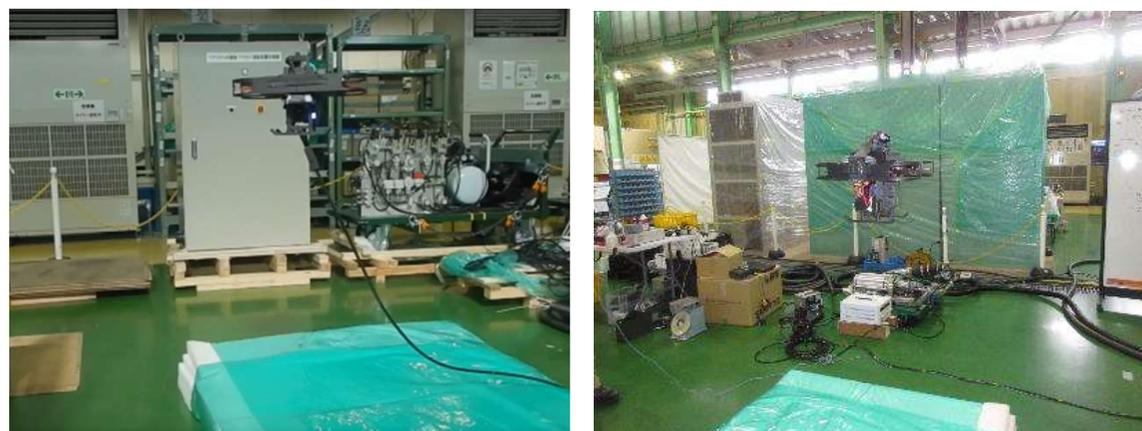
試験(a)-②: 【ペイロード確認試験】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	<ol style="list-style-type: none"> ① 錘を搭載し、ドローンを床から1mの高さでホバリングさせる。 ② 10秒間のホバリングが可能であった場合、錘を追加し、再度ドローンを床から1mの高さでホバリングさせる。 ③ 10秒間ホバリングができなくなるまで②を繰り返し、最大ペイロードを確認する。
アウトプット/ 判定基準	飛行高さ1mを10秒間ホバリングできるペイロードの最大値



ドローンへの錘の搭載状況(左:有線、右:無線)

試験結果	<p align="center">ペイロード確認試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>ドローン</th> <th>最大ペイロード[g]</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>有線</td> <td>933 (※1)</td> <td>機体の質量:1650g ケーブル質量: 133g/m</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>無線</td> <td>600 (※2)</td> <td>機体の質量:1989g 線量計:200g</td> </tr> </tbody> </table> <p>(※1) 錘(800g)+1m分のケーブル質量(133g) (※2) 線量計(200g)+1m分のケーブル質量(133g)</p>			No.	ドローン	最大ペイロード[g]	備考	1	有線	933 (※1)	機体の質量:1650g ケーブル質量: 133g/m	2	無線	600 (※2)	機体の質量:1989g 線量計:200g
No.	ドローン	最大ペイロード[g]	備考												
1	有線	933 (※1)	機体の質量:1650g ケーブル質量: 133g/m												
2	無線	600 (※2)	機体の質量:1989g 線量計:200g												



高さ1m飛行時の様子(左:有線、右:無線)

● 飛行高さ1mで10秒間ホバリングが可能であるペイロードの最大値は、有線:933g、無線:600gであることを確認した。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-③: 【狹隘部通過性確認試験(1/2)】

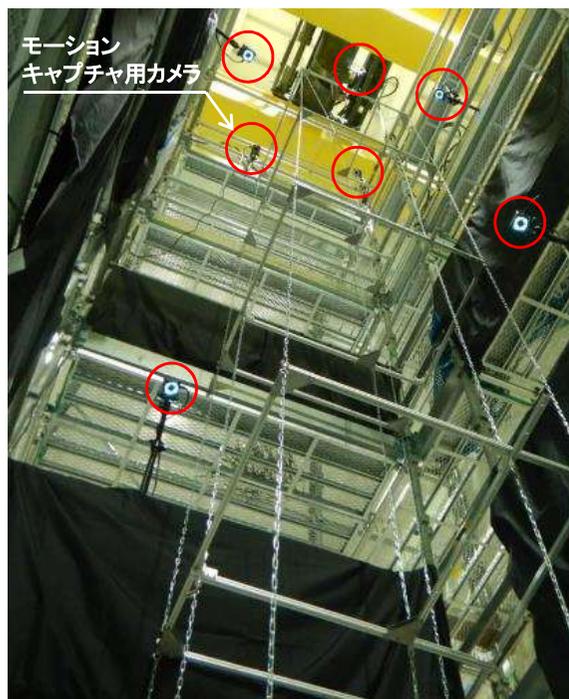
対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① □1000mm×5000mmの四角柱の飛行経路の内部を飛行しながら往復させる。飛行経路は水平と垂直の2パターンで確認する。 ② 通過できることを確認できれば、四角柱の寸法を縮小させ、再度飛行しながら通過させる。 【備考】垂直方向はモーションキャプチャにより、飛行時の揺らぎ量を測定する。
アウトプット/判定基準	・最小飛行可能寸法 ・飛行時の揺らぎ量(垂直方向)



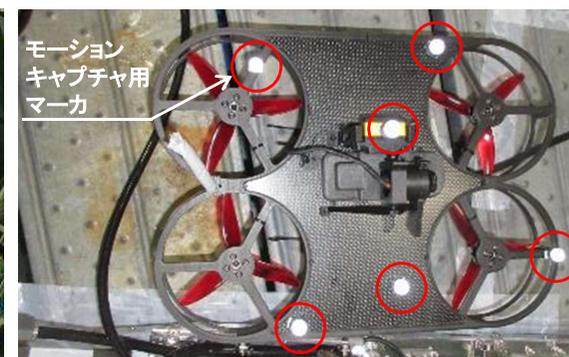
垂直方向の飛行時の枠の外観



水平方向の飛行時の枠の外観



モーションキャプチャ用カメラの設置状況



モーションキャプチャ用マーカの設置状況



測定時のPC画面の様子

モーションキャプチャによる測定概要

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-③:【狹隘部通過性確認試験(2/2)】

狹隘部通過性確認試験結果(垂直方向)

区分	開口寸法 [mm]	通過可否	飛行時の揺らぎ量 [mm]		備考
			長手方向 (機体寸法含む)	短手方向 (機体寸法含む)	
2022年度有線ドローン	□700	往復通過可	211(581)	275(545)	測定誤差は±0.64mm
2022年度無線ドローン	□600	往復通過可(※1)	253(573)	258(528)	測定誤差±0.587mm
2021年度無線ドローン	□700	往復通過可	200(650)	347(617)	測定誤差は±0.64mm

※1 下降中にカメラのノイズで一瞬機体の位置を見失い、枠から機体が飛び出したケース有り。



有線ドローンカメラ映像
(□700mm条件)

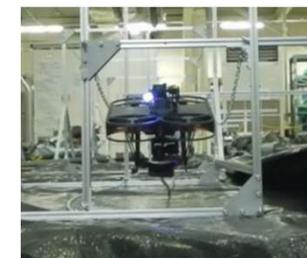


無線ドローンカメラ映像
(□600mm条件)

- 2022年度有線/無線ドローンについては揺らぎ量の測定結果より、□600mmの枠を通過可能な見通し。
- 2021年度無線ドローンについては2021年度要素試験では□800mmが最小飛行可能寸法であったが、2022年度の試験で未実施であった□700mmについて参考として実施したところ通過可能であった。揺らぎ量の測定結果より、□700mmが通過可能な最小寸法である見通し。
- 2021年度と2022年度の無線ドローン試作機の結果を比較すると揺らぎ量については大差は見られなかった。

狹隘部通過性確認試験結果(水平方向)

区分	開口寸法[mm]	通過可否
2022年度有線ドローン	□500	往復通過可
	□400	往復通過不可
2022年度無線ドローン	□500	往復通過可
	□400	往復通過不可



有線ドローンカメラ映像
(□400mm条件)



無線ドローンカメラ映像
(□400mm条件)

- 2022年度有線/無線ドローンについて□500mmの枠を通過可能であった。(2021年度要素試験結果は□600mmが最小飛行可能寸法)

試験結果
(垂直方向)

試験結果
(水平方向)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

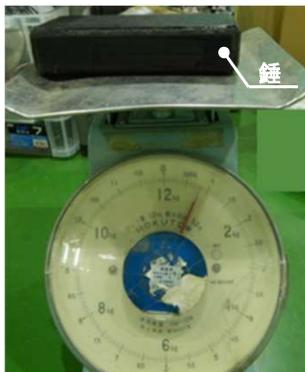
試験(a)-④: 【飛行時間確認試験】

対象	ドローン(無線)
試験方法	<p>① 市販品バッテリー(4600mAh) × 2本をドローンに搭載する。</p> <p>② ドローンを飛行させ、飛行不可となり着陸するまでの時間を計測する。</p> <p>③ 飛行方法は1~7mの上昇下降繰り返しとする。</p> <p>④ 飛行速度は低速とし、急上昇、急降下はしないものとする。</p> <p>⑤ ドローンの質量は以下の3パターンとする。</p> <p>(1) 模擬線量計(200g)無し</p> <p>(2) 模擬線量計(200g)有り</p> <p>(3) 模擬線量計(200g)+錘(300g)を搭載</p> <p>【備考】参考として、模擬線量計(200g) + 無線ドローンの最大ペイロード(600g)を搭載した状態でも試験を実施した。</p>
アウトプット/判定基準	<p>ドローンの飛行可能時間</p> <p>【備考】2021年度要素試験(3500mAh × 2本)での飛行時間は約6分。</p>

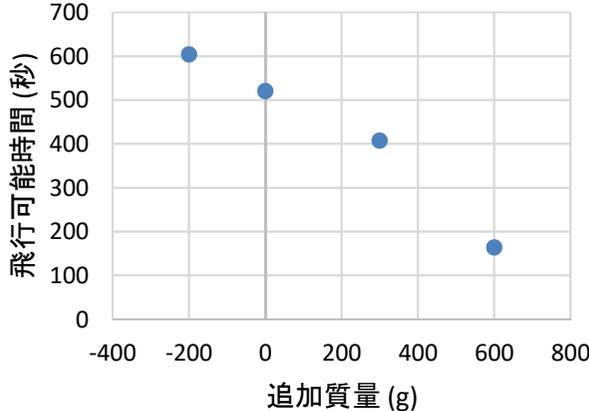
試験結果		飛行時間確認試験結果				
No.	模擬線量計及び錘の組合せ (追加質量)	飛行可能時間	バッテリー1残量 [%]		バッテリー2残量 [%]	
			飛行前	飛行後	飛行前	飛行後
1	模擬線量計(200g)無し	10分4秒	100	0	100	0
2	模擬線量計(200g)有り	8分40秒	100	0	99	0
3	模擬線量計(200g)+錘(300g)	6分47秒	99	0	100	1
(参考)	模擬線量計(200g) + 錘(600g)	2分44秒	99	38	100	41



無線ドローン飛行の様子



追加の錘調整の様子
(模擬線量計(200g) + 錘(600g))



追加質量-飛行時間特性

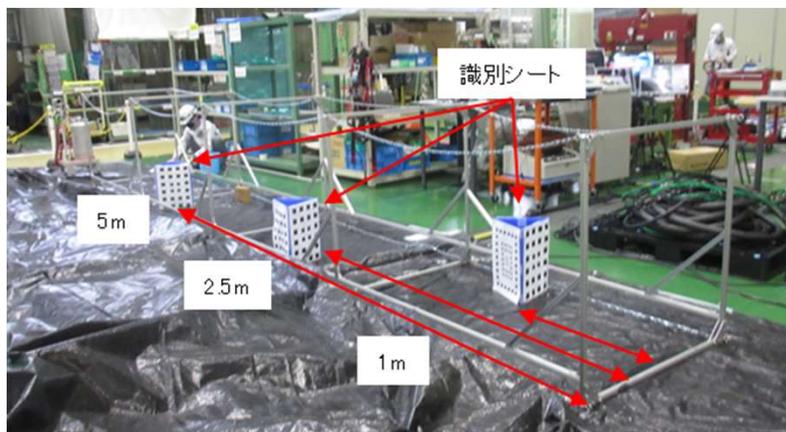
- 模擬線量計(200g)有りの場合の飛行時間は約8分40秒であることを確認した。
- また、追加質量の増加に比例して飛行可能時間が短くなることを確認した。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑤: 【カメラ性能確認試験(暗闇・水蒸気環境下)(1/2)】

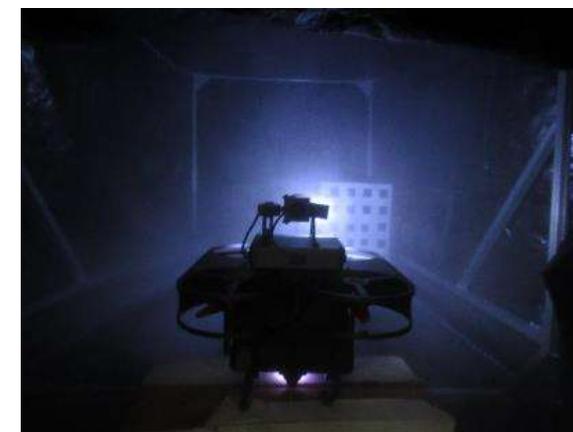
対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	<p>1. 暗闇条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ①□1000mm×7000mmの四角柱(アルミフレーム)を横向きに設置する。 ②アルミフレーム端から1m、2.5m、5mの距離に識別シートを設置する。 ③アルミフレームに暗幕を被せ暗闇状態を再現し、アルミフレーム端にドローンを設置する。 ④ドローン搭載のLED照明を点灯させ、識別シートを撮影し画像を確認する。 <p>2. 暗闇+水蒸気条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ①PCV内部調査時の映像を確認し、実機の状態に近くなるように、暗室に水蒸気を充満させる。(※1) ②ドローン搭載のLED照明を点灯させ、識別シートを撮影し画像を確認する。(※2) <p>(※1) アルミフレーム端から5mの位置に照度計を設置し、水蒸気無しの状態にてLED照明を点灯した場合の照度を測定。当該照度に対し、1/3～1/2程度または1/10程度となるまで水蒸気を充満させた。</p> <p>(※2) 撮影は暗闇条件の場合はドローンのプロペラを回さない状態とし、暗闇+水蒸気条件の場合はドローンのプロペラを回した状態で実施した。</p>
アウトプット/判定基準	暗闇・水蒸気環境下において、2.5m先の対象物の視認が可能であること



識別シートの設置



暗幕設置(暗闇状態)



暗闇+水蒸気状態

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑤: 【カメラ性能確認試験(暗闇・水蒸気環境下)(2/2)】

試験結果

カメラ性能確認試験結果(暗闇・水蒸気環境下)

No.	水蒸気	ドローン仕様	5m先の照度 [lux]	カメラとの距離 [m]	視認性		
					判定	分解能	詳細
1	無し	有線	3.7	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				5	△	300×420mm	A3シート(300×420mm)の存在は認識できるが、ドット(□30mm)は認識不可。
2	無し	無線	1.8	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				5	△	300×420mm	A3シート(300×420mm)の存在は認識できるが、ドット(□30mm)は認識不可。
3	有り(少)	有線	1.9	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				5	×	N/A	A3シート(300×420mm)の存在を認識不可。
4	有り(少)	無線	0.5	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	△	□30mm	A3シートへの水蒸気の掛かり具合によりドット(□30mm)の認識可否が変わる。
				5	×	N/A	A3シート(300×600mm)の存在を認識不可。
5	有り(多)	有線	0.2	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	×	N/A	A3シート(300×420mm)の存在を認識不可。
				5	×	N/A	A3シート(300×420mm)の存在を認識不可。
6	有り(多)	無線	0.1	1	○	□30mm	ドット(□30mm)を認識可能。
				2.5	×	N/A	A3シート(300×420mm)の存在を認識不可。
				5	×	N/A	A3シート(300×420mm)の存在を認識不可。

ドローンカメラ画像

環境条件	有線ドローン	無線ドローン
暗闇 (水蒸気:無し)		
暗闇+水蒸気 (水蒸気:少量)		
暗闇+水蒸気 (水蒸気:多量)		

- 暗闇条件の場合は2.5m先の対象物を認識できることを確認した。
- 暗闇+水蒸気条件については、水蒸気が比較的多いと1m先までしか認識できないが、少ない状態であれば2.5m先も認識可能であることを確認した。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

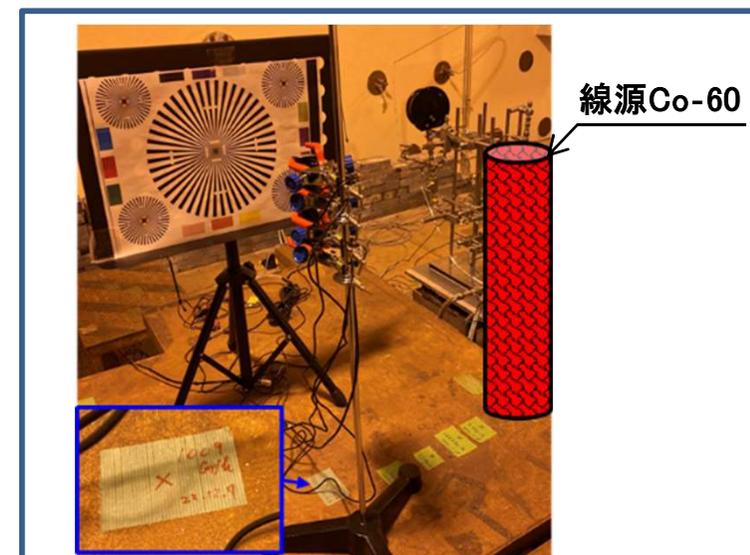
試験(a)-⑥: 【カメラ照射試験(1/2)】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① カメラ設置位置を決めるため、1000Gy/hとなる場所を事前に測定し確認する。 ② 1000Gy/hとなる場所に上から順にA~Dのカメラを1台ずつ設置する。その他の機器についても所定の位置に設置する。 ③ 照射を開始する。照射時は、常時識別シートをカメラで撮影し、撮影映像は録画する。
アウトプット/判定基準	・映像の時間変化 ・耐放射線性(目標1000Gy)

照射したカメラ4台※1

No.	A	B	C	D
外観				
型番	RVC801	BIC263	CMOS-320	MS-183HTTR23
カメラセンサ	CMOS(1/4 インチ)	CMOS(1/4 インチ)	CMOS(1/3.6インチ)	CMOS(1/3インチ)
解像度	約32万画素	約40万画素	約33万画素	約47万画素
寸法	23mm × 21mm × 34mm	露出部: 28φ × 12mm 埋込部: 23φ × 15mm	23.4mm × 23.4mm × 26.1mm	26mm × 23mm × 25mm
質量	25g(カメラ本体)	17g(カメラ本体)	23g(カメラ本体)	80g(カメラ本体)
画角	水平140° / 垂直105°	水平180°	水平195°	水平110°
動作温度	-20 ~ +65°C	-20 ~ +65°C	—	-20 ~ +50°C
防塵/防水性	IP67	IP67	IP67	IP67
映像通信方式	NTSC	NTSC	NTSC	NTSC

※1小型カメラ計20台の中から、要求仕様および在庫・納期等を考慮して4台に絞り込んだ



カメラ配置の様子※2

※2 事前測定を数回繰り返し、その結果より今回は1009Gy/hとなる箇所
にカメラを配置し照射試験を実施することとした(1000Gy/hである箇所を
厳密に探すことは難しいため)。



カメラモニターの様子※3

※3 CAMERA01/02/03/04の映像はそれぞれカメラA/B/C/Dの映像

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑥: 【カメラ照射試験(2/2)】

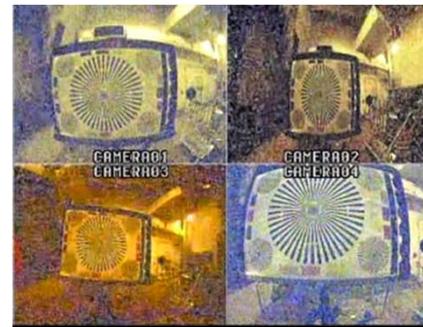
試験結果

カメラ照射試験結果

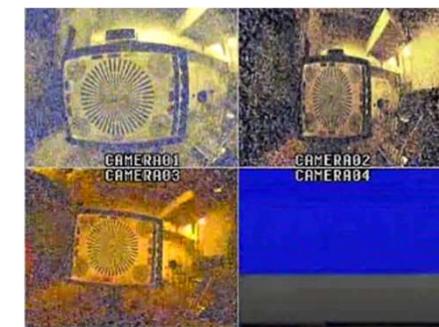
区分	耐放射線性	映像状態
カメラA	420Gy	照射開始時より、放射線ノイズが見られ420Gyで映像が途切れた。
カメラB	1000Gy以上	照射開始時より、放射線ノイズが見られたが、照射試験中に映像が途切れることはなかった。
カメラC	1000Gy以上	照射開始時より、放射線ノイズが見られたが、照射試験中に映像が途切れることはなかった。
カメラD	957Gy	照射開始時より、放射線ノイズが見られ、957Gyで映像が途切れた。



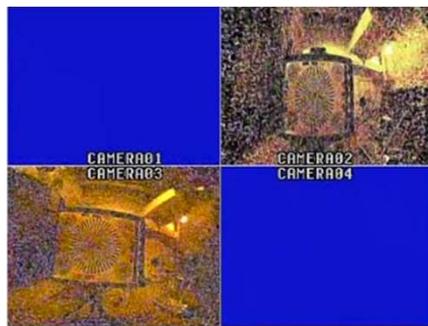
①照射試験前(線源無し)



②線源設置完了(照射開始:0分)



③照射約25分後:集積線量420Gy



④照射約57分後:集積線量957Gy



⑤照射60分後:集積線量1009Gy



⑥照射試験後(線源無し)

カメラ映像の時間変化の様子

- 照射開始後約25分後にカメラDの映像が途切れ(集積線量420Gy)、その後約57分後にカメラAの映像が途切れた(集積線量957Gy)。
- カメラB、Cはともに耐放射線性の目標集積線量1000Gyを超えても映像が途切れることはなかった。
- カメラB、Cを比較するとカメラBの方がより軽量(カメラB:17g、カメラC:23g)であるため、ドローン搭載性を考慮しカメラBをドローン用カメラとして選定した。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑦: 【飛行時視認性確認試験】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① 床から7mの高さに配置した識別シートをカメラで10秒間撮影する。 ② 識別シートはアルミフレームの中心から1m、2.5mの位置に設置する。(下図参照。) ③ 同様に着陸状態においても、1m、2.5m先の識別シートを撮影し、飛行時と比較する。
アウトプット/判定基準	飛行時のカメラ映像の乱れ具合

試験結果

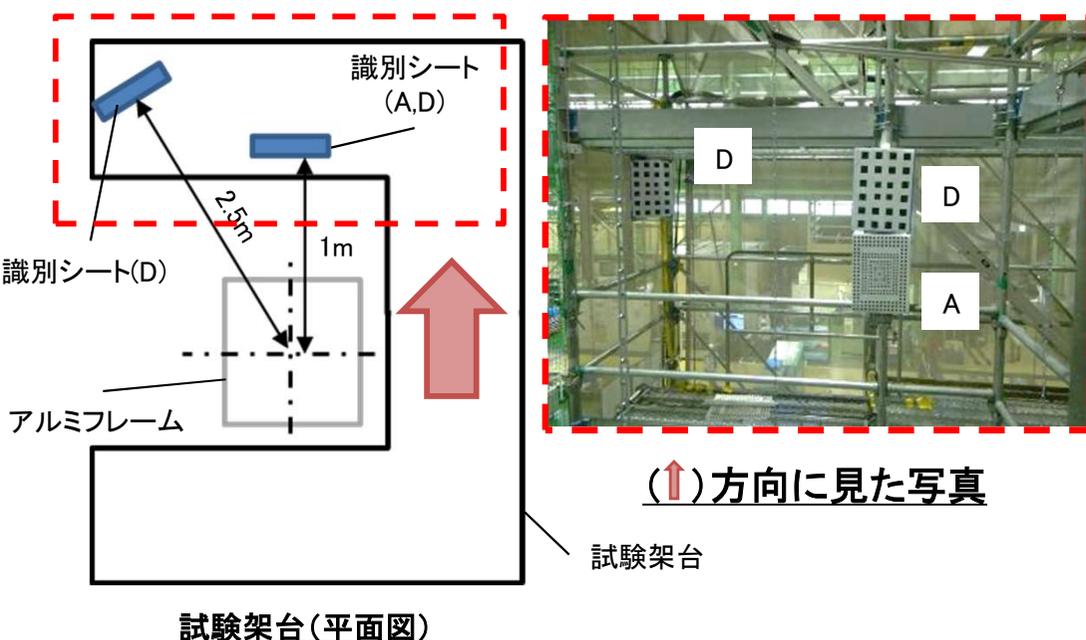


有線ドローン(左:飛行状態、右:着陸状態)



無線ドローン(左:飛行状態、右:着陸状態)

- 有線/無線とも、飛行状態と着陸状態でカメラ映像(視認性)に大きな違いは見られなかった。(※)
- (※) 飛行時の映像においても識別シートのドットパターンが認識できた。
- 揺らぎ量の定量的な評価も含めて、飛行制御技術の検討を、2023年度以降検討予定。

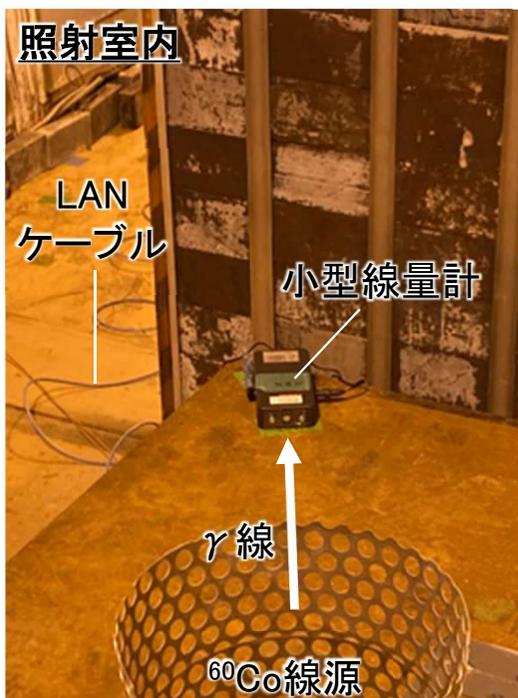


6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

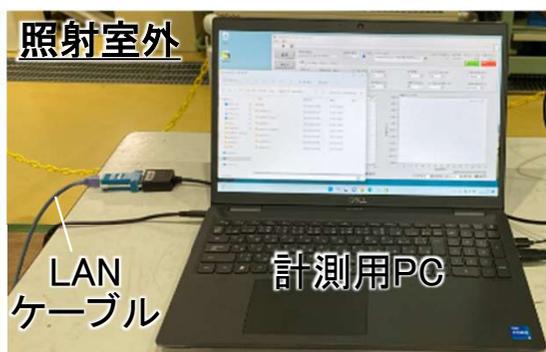
(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑧: 【線量計照射試験(1/2)】

対象	小型線量計(パルス計測型)(無線ドローン用)
試験方法	^{60}Co 照射室にて、試作機に γ 線を照射し、線量率線形性を評価
確認項目/判定基準	線量率計測可能範囲の確認 (2022年度開発目標値(1 ~ 100 Sv/h))



試験体系

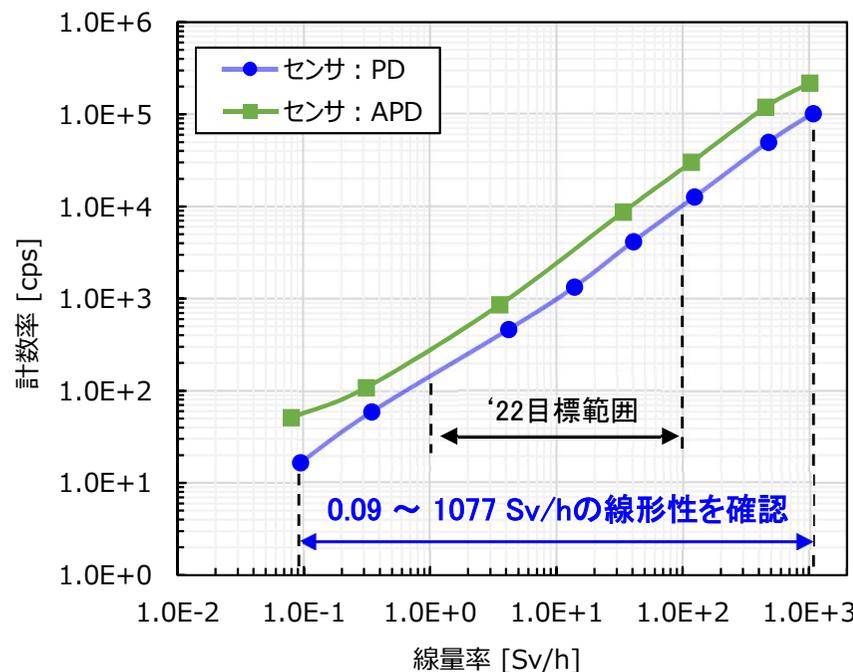


- 照射室内外は無線通信不可のため、小型線量計(照射室内)と計測用PC(照射室外)をLANケーブルで接続
- 各線量率における計数率を測定し、線形性を評価

試験結果

- フォトダイオード(PD)及びアバランシェフォトダイオード(APD)は、0.09 ~ 1077 Sv/hにおいて線量率線形性が得られ、2022年度開発目標値(1 ~ 100 Sv/h)を満たすことを確認

耐放射線性の実力値は2023年度以降に評価予定



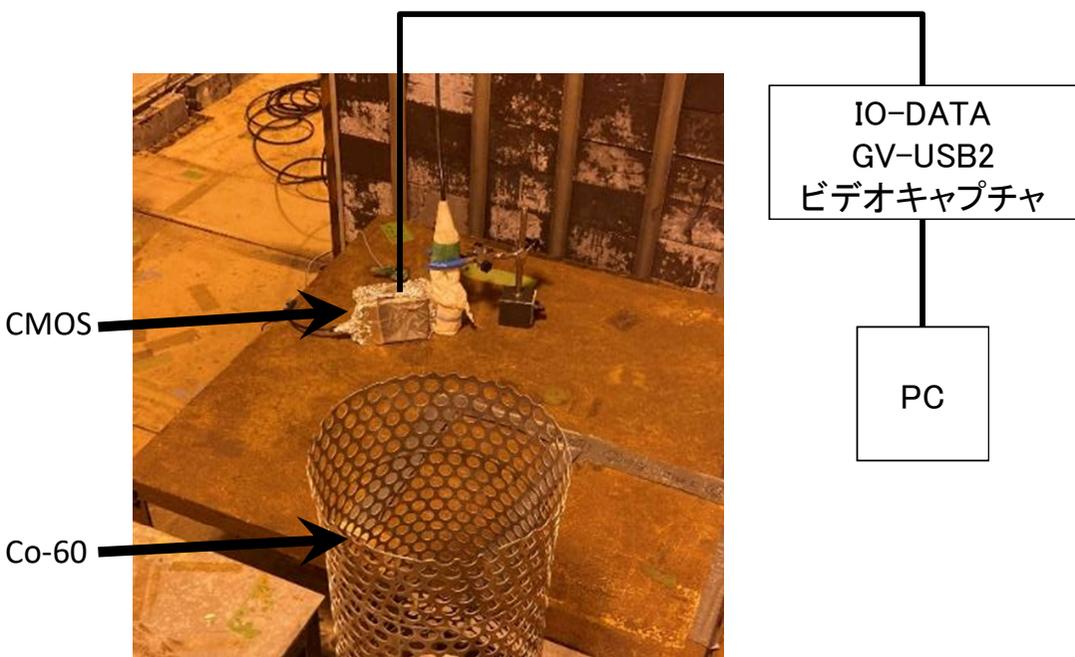
線量率線形性評価結果

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑧: 【線量計照射試験(2/2)】

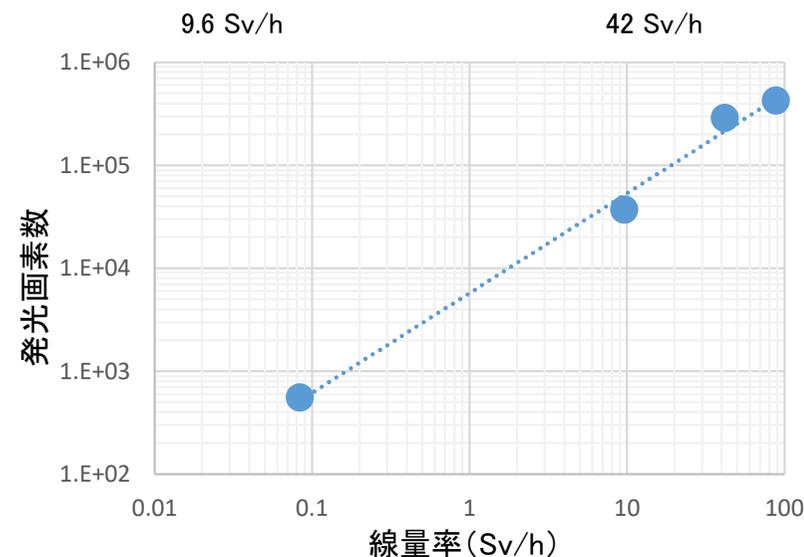
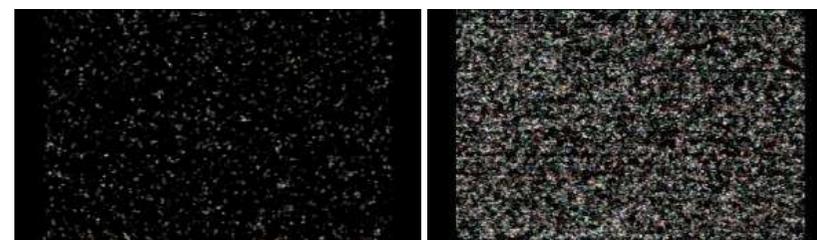
対象	小型線量計(CMOS型) (無線ドローン用)
試験方法	^{60}Co 照射室にて、試作機に γ 線を照射し、線量率線形性を評価
確認項目	線量率計測可能範囲の確認 (2022年度開発目標値(1 ~ 100 Sv/h))



試験体系

試験結果

- 各線量率での画像の発光画素数をカウント



線量率線形性評価結果

- 0.08 ~ 90 Sv/hにおいて、発光画素数と線量率間に相関関係があり、線量率計測可能なことを確認

耐放射線性の実力値は2023年度以降に評価予定

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑨: 【線量計ノイズ影響確認試験】

対象	小型線量計(パルス計測型)(無線用)									
試験方法	<ul style="list-style-type: none"> 小型線量計をドローンに搭載し、ドローン起動時から停止時までの計数率を測定 線量計への電源供給方法は、乾電池/ドローンバッテリーの2種を比較 <table border="1"> <thead> <tr> <th>構成</th> <th>電源供給</th> <th>特徴</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>乾電池</td> <td>ドローンと線量計を電氣的に分離</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>ドローン</td> <td>ドローンバッテリー(15V)より、6V・2Aを線量計へ供給</td> </tr> </tbody> </table>	構成	電源供給	特徴	①	乾電池	ドローンと線量計を電氣的に分離	②	ドローン	ドローンバッテリー(15V)より、6V・2Aを線量計へ供給
構成	電源供給	特徴								
①	乾電池	ドローンと線量計を電氣的に分離								
②	ドローン	ドローンバッテリー(15V)より、6V・2Aを線量計へ供給								
確認項目/判定基準	<ul style="list-style-type: none"> 閾値を線量率測定時の値以下に設定し、計数率が0 cpsであること 線量率測定時の閾値: 100チャンネル(PD)、0.2 V (APD) 									

- 構成①②において、フォトダイオード(PD)及びアバランシェフォトダイオード(APD)の計数率は、0 cpsとなることを確認
- 波高値スペクトル測定結果より、ドローン操作時のノイズレベルは、線量率測定時の閾値以下であり、線量率測定精度に影響がないことを確認

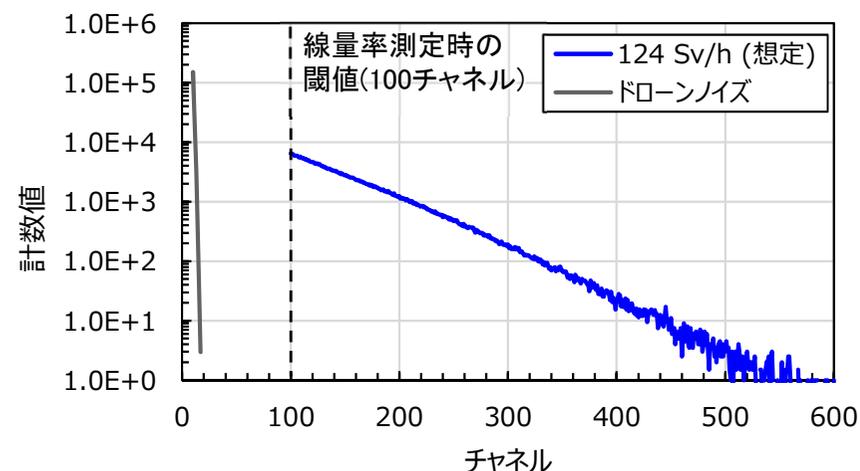
計数率測定結果

単位: cps

構成	PD	APD
① (乾電池)	0 (閾値: 50 ch.)	0 (閾値: 0.2 V)
② (ドローンバッテリー)	0 (閾値: 50 ch.)	0 (閾値: 0.2 V)

試験結果

波高値スペクトル測定結果(構成②、PD)



試験体系

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

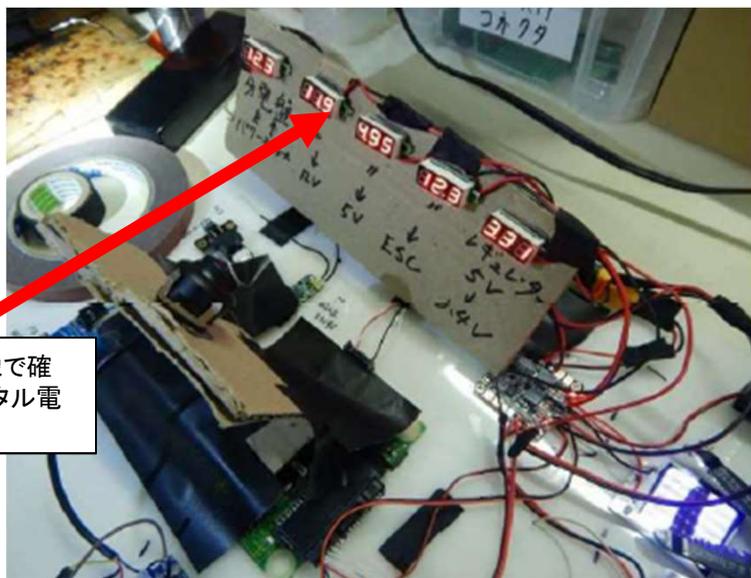
(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

1号機

No.86

試験(a)-⑩: 【ドローン照射試験(1/3)】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	<ul style="list-style-type: none"> ① 機体フレームを除いた有線ドローンと無線ドローンを用い1000Gy/hを照射する。 ② 照射中はドローン起動状態としカメラ画像と電圧値を監視し映像や電圧値に異常が見られた時点で照射を終了する。 ③ 照射後に各搭載機器の動作を確認し、不具合が生じた搭載機器を特定する。 <p>【備考】電圧値をカメラ映像で確認できるよう、デジタル電圧計を追加した。</p>
アウトプット/判定基準	構成部品が1000Gy/h(目標)の耐放射線性を持つこと



電圧値をカメラ映像で確認できるよう、デジタル電圧計を追加。

デジタル電圧計



下に水槽があり、その中にγ線の線源がある。このスリットから線源が上昇してきて、設定していた線量率となる。

パネル中央で線量率を計測。

線量率計測

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑩: 【ドローン照射試験(2/3)】

試験結果(有線ドローン)



ドローンの時間変化

照射時間	集積線量	ドローン状況
0~6分	107Gy	カメラ映像にノイズが生じ、デジタル電圧計の表示しか認識できない。カメラのパンチルト動作は可能。
6分53秒	122Gy	パンチルトが制御不能になる。
7分01秒	125Gy	パンチルトが自重で下を向く。
7分31秒	134Gy	試験終了。

カメラ映像の時間変化

- 集積線量122Gyでカメラのパンチルトカメラが制御不能となった。
- 電圧値は、照射前と照射後で大きな変化は見られなかった。
- 照射後、コントローラからの操作で、プロペラのモータが動作できないことを確認したため、フライトコントローラにPCを接続し、動作を確認したところ、PCでは応答が確認可能であったため、フライトコントローラもしくは電子部品(ESC)から信号がでていないため、モータが動作しないと考えられる。
- 2021年度照射試験では通電状態ではなかったため、2022年度は通電状態で照射試験を実施したが、2021年度同様に集積線量100Gy程度で不具合が見られたため、ドローン運用方法や機体内の電子部品の構成を見直す必要がある。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑩: 【ドローン照射試験(3/3)】

試験結果(無線ドローン)



カメラ映像の時間変化

ドローンの時間変化

照射時間	集積線量	ドローン状況
0~10分	175Gy	カメラ映像にノイズが生じ、デジタル電圧計の表示しか認識できない。

- カメラ映像のノイズでモータ及びサーボモータの動作が確認が不可となり、異常発生を確認できない状態となったため、有線ドローンの結果を踏まえ10分で試験を終了した。
- 電圧値は、照射前と照射後で大きな変化は見られなかった。
- 照射後、コントローラからの操作で、プロペラのモータが動作できないことを確認した。
- 操作系の受信機アンテナのLED表示が消えていることから、受信機が破損したことにより、操作不可となったと考えられる。また、カメラ映像は照射後も確認可能であったため、映像系の送信機は異常がないと考えられる。
- 2021年度照射試験では通電状態ではなかったため、2022年度は通電状態で照射試験を実施したが、目標とする1000Gy未滿で不具合が見られたため、ドローン運用方法や機体内の電子部品の構成を見直す必要がある。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

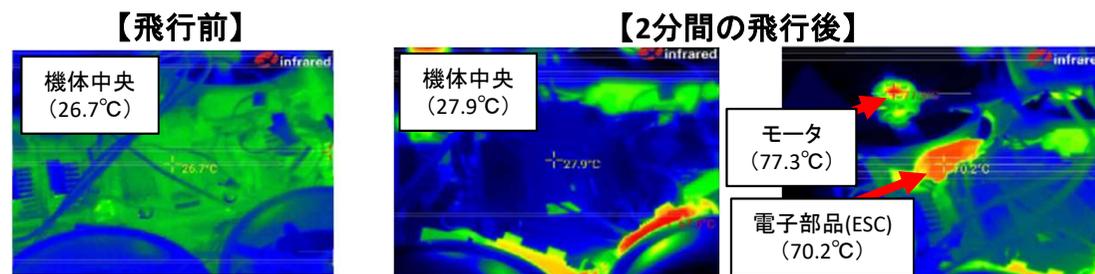
試験(a)-⑪: 【温度/電流値確認試験】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① ドローンを床から1mの高さで1分間または2分間ホバリングさせる。 ② 温度測定箇所は機体中央及び電子部品(ESC)とし、それぞれ飛行前と飛行後に測定する。また、飛行中の最大電流値も計測する。 【備考】参考として、サーマルカメラによる温度測定を実施した。
アウトプット/判定基準	出力上昇に伴う、電子部品の温度/電流値変化

試験結果

温度/電流値確認試験(有線ドローン)

No.	飛行時間 [分]	温度 [°C]				最大 電流値 [A]
		機体中央		電子部品(ESC)		
		飛行前	飛行後	飛行前	飛行後	
1	1	19.8	23.4	21.6	48.0	17
2	2	21.8	28.0	20.2	56.0	17

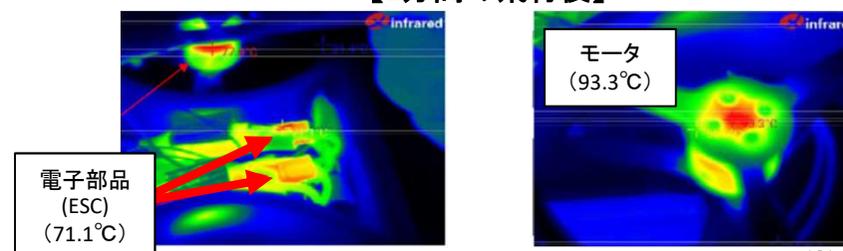


サーマルカメラ※による測定(有線ドローン)

【2分間の飛行後】

温度/電流値確認試験(無線ドローン)

No.	バッテリー容量	飛行時間 [分]	温度 [°C]				最大 電流値 [A]
			機体中央		電子部品(ESC)		
			飛行前	飛行後	飛行前	飛行後	
1	4600mAh×2本	1	20.6	32.0	20.0	40.0	65
2		21.0	36.0	20.0	46.0	70	



サーマルカメラ※による測定(無線ドローン)

※サーマルカメラの測定数値は参考値

- サーマルカメラの測定結果より、出力上昇に伴い温度上昇率が高い部品はモーターと電子部品(ESC)であることが明らかとなった。
- 2022年度は空冷ファンを設け機体内の冷却性能を上げたが、温度上昇率の高い電子部品(ESC)を冷却するためには、より効率的な冷却方法を検討する余地があると考えられる。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ドローン)

試験(a)-⑫: 【防水性能確認試験】

対象	ドローン(有線/無線)
試験方法	① 1mの高さでドローンを飛行させる。 ② 散水ノズルを用いて約5L/minの水をドローン上部より5分間散水する。 ③ 散水後、ドローンの動作確認をし、動作に異常が無いか確認する。
アウトプット/判定基準	上部より5分間散水してもドローンの動作に異常が無いこと【参考測定】

試験結果



防水性能確認試験(有線仕様)



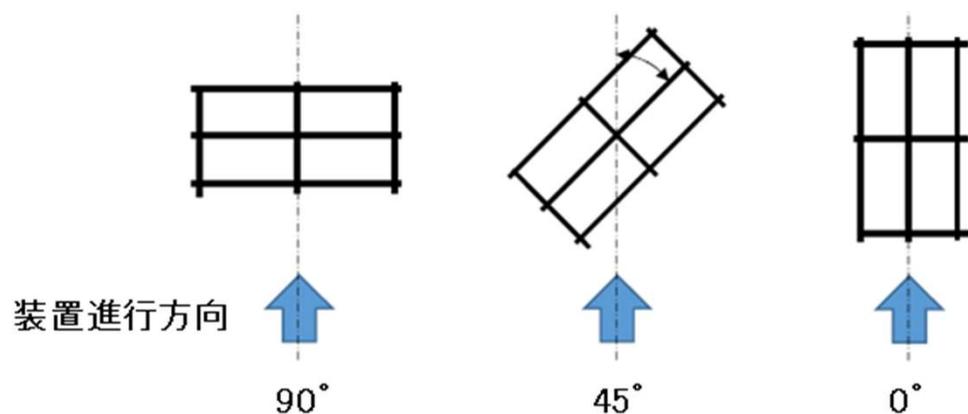
防水性能確認試験(無線仕様)

- 散水後、動作に異常は見られなかった。
- 水圧・ダストの影響も考えられるため、防水・防塵対策については今後も検討が必要。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

試験(b)-①: 【牽引力確認試験(1/2)】

対象	伸縮ロッド走行台車(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① グレーチング上に装置を設置する。 ② クローラを前進動作させ、走行方向とは逆向きに固縛したばねばかりにて牽引力を測定する。 ③ グレーチングは乾燥状態または濡れ状態とし、マス目は縦・斜め・横(進行方向 0° ・ 45° ・ 90°)の3パターンとする。
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態におけるクローラのケーブル牽引力の実力値



グレーチングの向き



クローラ

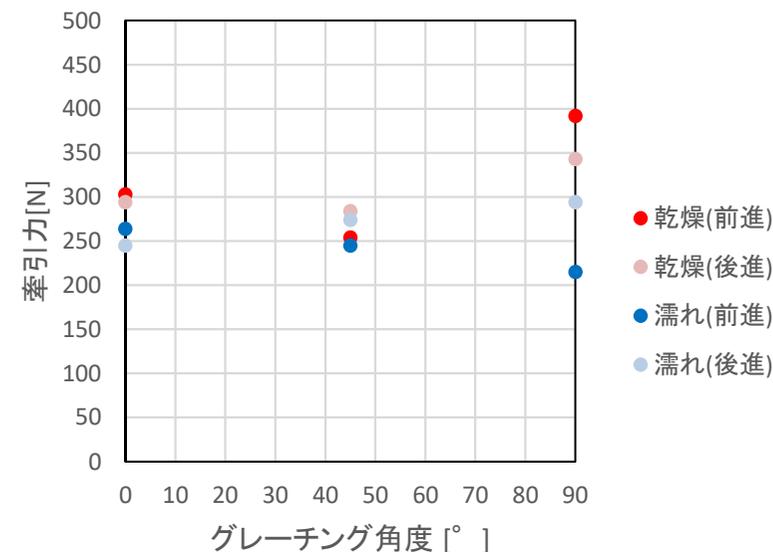
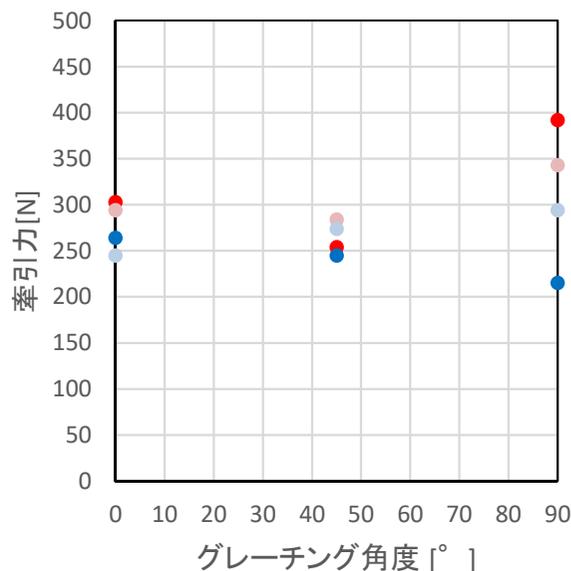
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

試験(b)-①: 【牽引力確認試験(2/2)】

試験結果

牽引力確認試験

No.	グレーチング		進行方向	牽引力 [N]	
	状態	角度 [°]		有線仕様	無線仕様
1	乾燥	0	前進	274	254
2			後退	323	254
3		45	前進	303	225
4			後退	274	196
5		90	前進	303	343
6			後退	392	294
7	濡れ	0	前進	107	147
8			後退	107	147
9		45	前進	176	196
10			後退	147	98
11		90	前進	176	215
12			後退	196	441



牽引力確認試験(左:有線仕様、右:無線仕様)

- 伸縮ロッド走行台車の牽引力は、有線仕様/無線仕様とも、濡れ状態よりも乾燥状態の方が大きくなることを確認した。
- 本測定における最小牽引力は、98N程度(条件:無線仕様/濡れ/45° /後退)であった。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

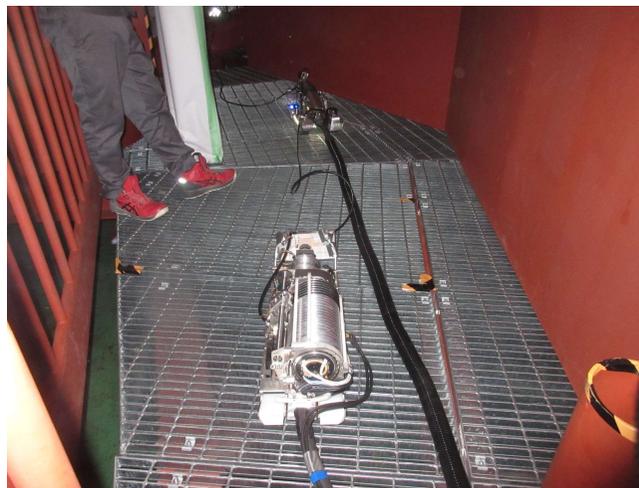
試験(b)-②: 【走行性能確認試験】※

※ 有線仕様: 試験(b)-②及び試験(c)-②を同時に実施。

対象	伸縮ロッド走行台車(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① グレーチング上で装置を往復させる。(往路は前進し、帰路は後退とする。) ② 走行時はカメラ映像のみで操縦する。 ③ 乾燥状態と濡れ状態で走行性を確認する。 【備考】他事業(PCV内部詳細調査のモックアップ設備)で実施
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態において、伸縮ロッド走行台車がグレーチング上を問題なく走行できること
試験結果	

走行性能確認試験

No.	グレーチング状態	進行方向	走行性能	
			有線仕様	無線仕様
1	乾燥	前進	可	可
2		後退	可	可
3	濡れ	前進	可	可
4		後退	可	可



走行性能確認試験(有線仕様)



走行性能確認試験(無線仕様)

- 問題なく往復することができた。
- ただし、有線用の場合、ケーブルが引っ掛かる様子が見られたため有線ドローン用のケーブルの送出し、巻戻し量の最適化が必要。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

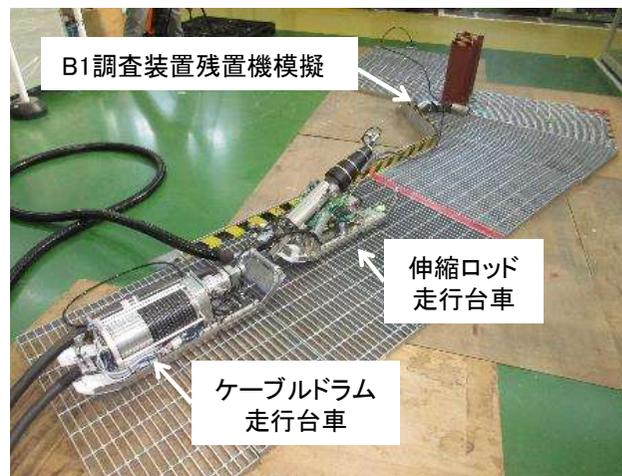
試験(b)-③: 【踏破性確認試験】※

※ 有線仕様: 試験(b)-③及び試験(c)-③を同時に実施。

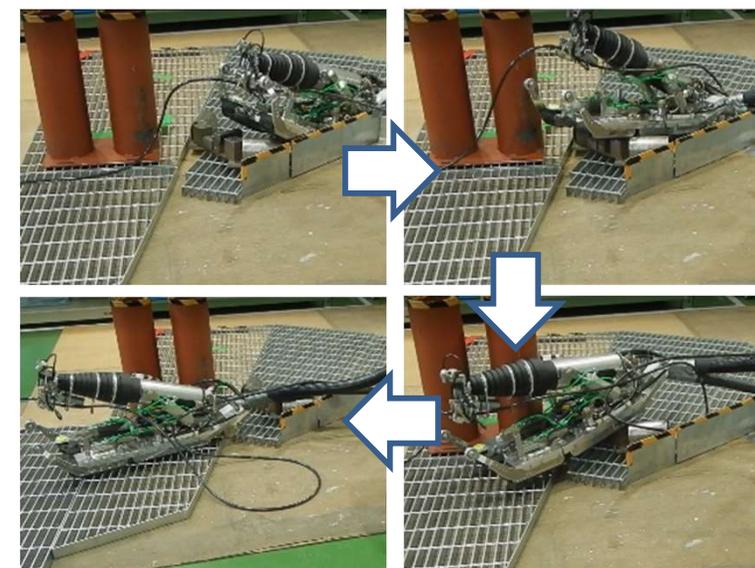
対象	伸縮ロッド走行台車(有線仕様/無線仕様)
試験方法	グレーチング上にB1調査装置残置機模擬を配置し、前進/後退にて乗り越えを確認する。 【備考】有線仕様については、実機を考慮するため、有線ドローン用のケーブルが施設された状態とし、ケーブルドラム走行台車と組合わせて試験を実施した。
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態において、伸縮ロッド走行台車がB1調査装置残置機模擬を踏破可能であること
試験結果	

踏破性確認試験

No.	グレーチング状態	進行方向	踏破可否	
			有線仕様	無線仕様
1	乾燥	前進	可	可
2		後退	可	可
3	濡れ	前進	可	可
4		後退	可	可



踏破性確認試験(有線仕様)



B1調査装置残置機模擬の踏破の様子(有線仕様)

- 乾燥・濡れいずれの状態においても、伸縮ロッド走行台車がB1調査装置残置機模擬を踏破可能であることを確認した。
- 実機を想定し手順を単純にするためロッド先端のみで有線ドローン用のケーブルを送り出し/巻戻しを行いながらB1調査装置残置機模擬を乗り越えた。(装置後方のケーブルは、ケーブル介助装置が存在している想定で手で介助した。)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

- 試験(b)-④: 【ロッド伸縮試験】 試験(b)-⑤: 【通過性能確認試験】
- 試験(b)-⑥: 【複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ロッド伸縮動作との連動性)】
- 試験(b)-⑦: 【複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(ケーブルドラムとの連動性)】
- 試験(c)-④: 【複合ケーブル送り出し/巻戻し試験(伸縮ロッドとの連動性)】

組合せ



- 有線仕様: 試験(b)-④⑤⑥⑦、試験(c)-④
- 無線仕様: 試験(b)-④⑤

- 上記5つの試験については、事前の確認試験より決定した下記実機想定手順にて、有線仕様/無線仕様ごとにそれぞれ上記の組合わせにて試験を実施した。

ロッド伸縮 実機想定手順(有線仕様)

No.	伸長時	収縮時
1	ロッドを1m伸長	ロッドを1m収縮
2	ドラム台車からケーブルを1m分送り出す	ドラム台車にてケーブルを1m分巻き戻す
3	ロッドを1m伸長	ロッドを1m収縮
4	ドラム台車からケーブルを1m分送り出す	ドラム台車にてケーブルを1m分巻き戻す
5	ロッドを1m伸長	ロッドを1m収縮
6	ロッド先端でケーブルを0.5m分戻す	ドラム台車にてケーブルを1m分巻き戻す
7	ロッドを1m伸長	ロッドを1m収縮
8	ロッド先端でケーブルを0.5m分戻す	ドラム台車にてケーブルを1m分巻き戻す
9	ロッドを1m伸長	ロッドを1m収縮
10	先端でケーブルを3m分送り出す	ドラム台車にてケーブルを1m分巻き戻す



実機での装置想定配置

無線の場合は、ケーブルとの取り合いがなく、単純な伸縮動作のみであるため、手順については特記しない。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

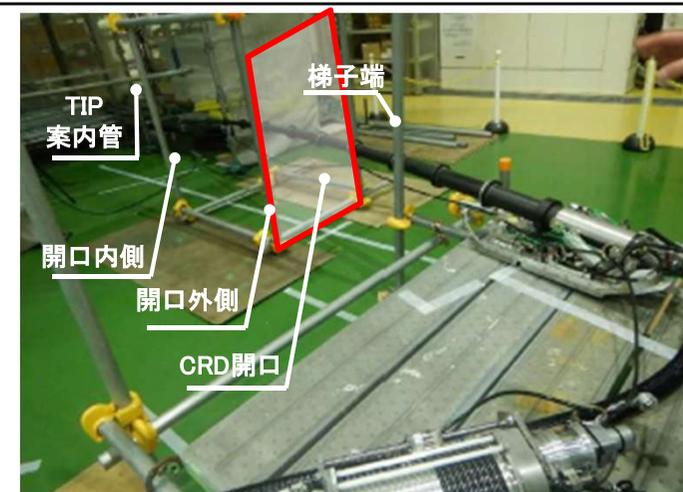
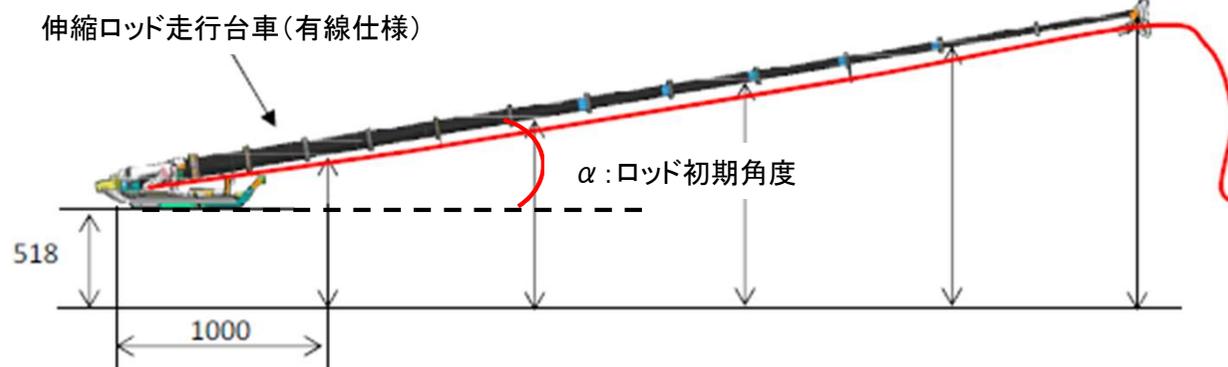
1号機

No.96

※ 有線仕様: 試験(b)-④⑤⑥⑦及び試験(c)-④を同時に実施。
無線仕様: 試験(b)-④⑤を同時に実施。

【ロッド伸縮試験(1/3)】※

対象	伸縮ロッド走行台車(有線仕様/無線仕様)、ケーブルドラム走行台車(有線仕様)
試験方法	<p>① 実機想定手順に従い伸縮ロッドを伸縮させ、伸長及び収縮の動作時間を計測する。 ② 伸長時に装置後端から先端まで1m毎のロッドのたわみ量(床からロッドパイプ中心までの距離)を計測する。 【備考】</p> <ul style="list-style-type: none"> 有線仕様の場合は、実機を考慮し、有線ドローン用のケーブルがロッド先端に接続された状態にて試験を実施した。 初期の送り出し量は5mとした。
アウトプット/ 判定基準	<ul style="list-style-type: none"> 伸長及び収縮の動作時間 装置後端から先端まで1m毎のロッドのたわみ量(床からロッドパイプ中心までの距離) ペデ内構造物であるTIP案内管(模擬体)を通過可能であること ロッド伸長時の最適なロッド初期角度(下図参照) 複合ケーブル送り出し/巻戻し時のロッド伸縮及びケーブルドラムとの連動性



ロッド伸縮組合せ試験の様子(有線仕様)

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

1号機

No.97

※ 有線仕様:試験(b)-④⑤⑥⑦及び試験(c)-④を同時に実施。
無線仕様:試験(b)-④⑤を同時に実施。

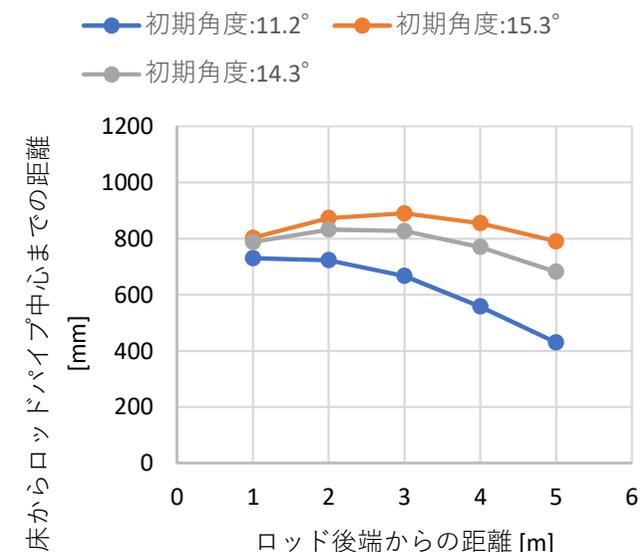
【ロッド伸縮試験(2/3)】※

試験結果(有線仕様)

ロッド伸縮組合せ試験(有線仕様)

No.	ロッドの初期角度 [°]	通過性能 (試験(b)-⑤)		ロッド伸縮 (試験(b)-④)					運動性 (試験(b)-⑥⑦,試験(c)-④)		
		通過可否	伸長時間	収縮時間	床からロッドパイプ中心までの距離 [mm]					ロッド伸縮との運動性	ケーブルドラムとの運動性
					ロッドの後端から1m地点	ロッドの後端から2m地点	ロッドの後端から3m地点	ロッドの後端から4m地点	ロッドの後端から5m地点		
1	11.2	可	4分26秒	7分53秒	730	723	667	558	430	問題なし	問題なし
2	15.3	不可	4分32秒	7分2秒	803	873	890	855	790	問題なし	問題なし
3	14.3	可*	5分15秒	7分36秒	788	832	827	770	682	問題なし	問題なし

* ロッド先端のパンチルトカメラのケーブルがTIP案内管に接触したが、通過可能であった。



ロッド伸長時のたわみ状況

- ペDESTAL内構造物であるTIP案内管(模擬体)を通過可能であるときの最適なロッドの初期角度は、伸長後のロッド先端が最も高くなりペDESTAL内上部の状況が確認しやすくなると考えられる14.3°であることを確認した。
- また、当該初期角度における伸縮時間は、伸長時間:5分15秒/収縮時間:7分36秒であることを確認した。
- たわみ量は、最高点と最下点の差が約150mmとなることを確認した。
- 複合ケーブル送り出し/巻き戻し時のロッド伸縮及びケーブルドラムとの運動性は問題なく、ロッド先端のケーブル送りにより、ケーブルが7m送り出し/巻き戻しが可能であることを確認した。ただし、ロッド伸長時に弛んだ有線ドローン用複合ケーブルが構造物に引っ掛かる様子が確認されたため、実機想定手順の見直しが必要。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(伸縮ロッド走行台車)

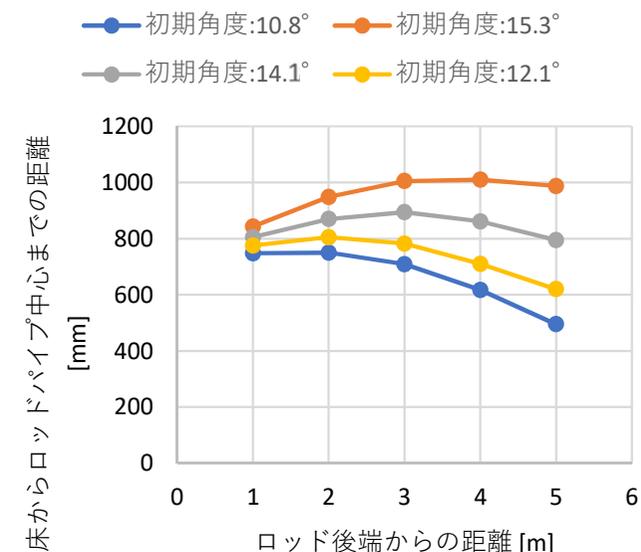
※ 有線仕様:試験(b)-④⑤⑥⑦及び試験(c)-④を同時に実施。
無線仕様:試験(b)-④⑤を同時に実施。

【ロッド伸縮試験(3/3)】※

試験結果(無線仕様)

ロッド伸縮組合せ試験(無線仕様)

No.	ロッドの初期角度 [°]	通過性能 (試験(b)-⑤)	ロッド伸縮 (試験(b)-④)							
			通過可否	伸長時間	収縮時間	床からロッドパイプ中心までの距離 [mm]				
						ロッドの後端から1m地点	ロッドの後端から2m地点	ロッドの後端から3m地点	ロッドの後端から4m地点	ロッドの後端から5m地点
1	10.8	可	3分58秒	6分54秒	748	750	709	617	495	
2	15.3	不可	19分28秒	11分23秒	843	948	1005	1010	987	
3	14.1	不可	7分45秒	8分21秒	805	870	894	861	795	
4	12.1	可	6分6秒	7分37秒	775	805	782	710	620	



ロッド伸長時のたわみ状況

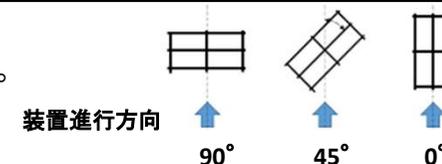
- ペDESTAL内構造物であるTIP案内管(模擬体)を通過可能であるときの最適なロッドの初期角度は、伸長後のロッド先端が最も高くなりペDESTAL内上部の状況が確認しやすくなると考えられる12.1°であることを確認した。
- 有線仕様と比べ、ケーブルがない分初期角度は小さくなる。
- また、当該初期角度における伸縮時間は、伸長時間:6分6秒/収縮時間:7分37秒であることを確認した。
- たわみ量は、最高点と最下点の差が約185mmとなることを確認した。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブルドラム走行台車)

試験(c)-①: 【牽引力確認試験】

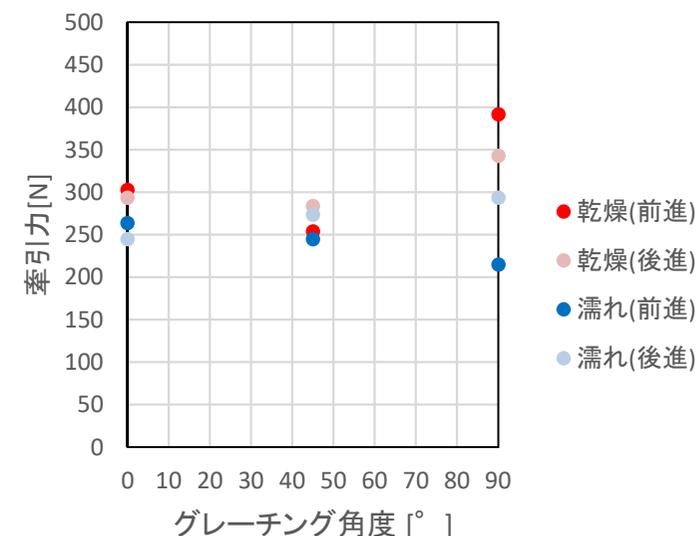
対象	ケーブルドラム走行台車(有線仕様)
試験方法	① グレーチング上に装置を設置する。 ② クローラを前進動作させ、走行方向とは逆向きに固縛したばねばかりにて牽引力を測定する。 ③ グレーチングは乾燥状態または濡れ状態とし、マス目は縦・斜め・横(進行方向0°・45°・90°)の3パターンとする(右図参照)。
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態におけるクローラのケーブル牽引力の実力値
試験結果	



牽引力確認試験

- グレーチング角度が0°、90°の場合、ケーブルドラム走行台車の牽引力は、進行方向によらず、濡れ状態よりも乾燥状態の方が大きくなることを確認した。
- グレーチング角度が45°の場合、濡れと乾燥で、牽引力に大きな違いはないことを確認した。
- 本測定における最小牽引力は、215N程度(条件:濡れ/90°/前進)であった。

No.	グレーチング		進行方向	牽引力 [N]
	状態	角度 [°]		
1	乾燥	0	前進	303
2			後退	294
3		45	前進	254
4			後退	284
5		90	前進	392
6			後退	343
7	濡れ	0	前進	264
8			後退	245
9		45	前進	245
10			後退	274
11		90	前進	215
12			後退	294



牽引力確認試験

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.100

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブルドラム走行台車)

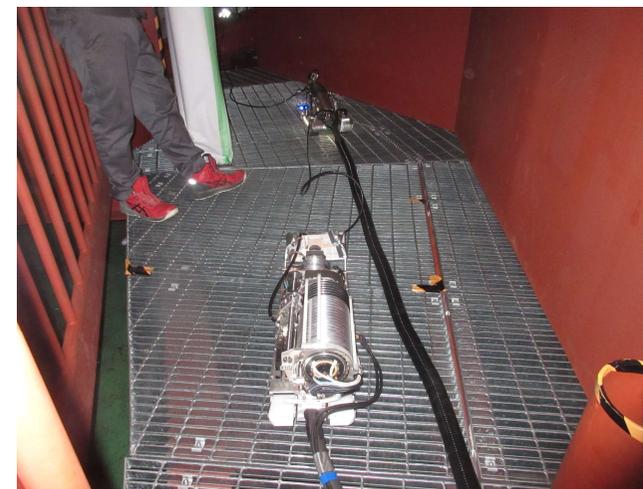
※ 有線仕様: 試験(b)-②及び試験(c)-②を同時に実施。

試験(c)-②: 【走行性能確認試験】※

対象	ケーブルドラム走行台車(有線仕様)
試験方法	① グレーチング上で装置を往復させる。(往路は前進し、帰路は後退とする。) ② 走行時はカメラ映像のみで操縦する。 ③ 乾燥状態と濡れ状態で走行性を確認する。 【備考】他事業(PCV内部詳細調査のモックアップ設備)で実施
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態において、ケーブルドラム走行台車がグレーチング上を問題なく走行できること
試験結果	

走行性能確認試験

No.	グレーチング状態	進行方向	走行性能	
1	乾燥	前進	可	可
2		後退	可	可
3	濡れ	前進	可	可
4		後退	可	可



走行性能確認試験

- 問題なく往復することができた。
- ただし、有線ドローン用のケーブルを踏みつけるケースが見られたため、ケーブルの送出し、巻戻し量の最適化が必要。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

1号機

No.101

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブルドラム走行台車)

試験(c)-③: 【踏破性確認試験】※

※ 試験(b)-③及び試験(c)-③を同時に実施。

対象	ケーブルドラム走行台車(有線仕様)
試験方法	グレーチング上にB1調査装置残置機模擬を配置し、前進/後退にて乗り越えを確認する。
アウトプット/判定基準	乾燥または濡れ状態において、伸縮ロッド走行台車がB1調査装置残置機模擬を踏破可能であること
試験結果	踏破性確認試験

No.	グレーチング状態	進行方向	踏破可否	
			有線仕様	無線仕様
1	乾燥	前進	可	可
2		後退	可	可
3	濡れ	前進	可	可
4		後退	可(*)	可

(*) ケーブルドラム走行台車を後退させてB1調査装置を乗り越える際、装置後端のケーブルをクランプしている部品が、斜めのガイド部品よりも飛び出ているため、B1調査装置残置機模擬に干渉し乗り越えられないことがあった。



踏破性確認試験(有線仕様)

- 乾燥・濡れいずれの状態においても、ケーブルドラム走行台車がB1調査装置残置機模擬を踏破可能であることを確認した。ただし、ケーブル状態及びB1調査装置残置機模擬の状態によって乗り越えやすさは異なっており、実機適用においては、より様々な状況に対応するために今後の組合せ試験でより詳細に確認する必要がある。
- ケーブルドラム走行台車に搭載しているカメラは全て固定カメラであった。走行中のケーブルの様子が確認しにくいいため、実機ではパンチルカメラとし、ケーブルの様子を確認可能な構造に改良する必要がある。
- 実機を想定し手順を単純にするためロッド先端のみで有線ドローン用のケーブルを送り出し/巻戻しを行いながらB1調査装置残置機模擬を乗り越えた。(装置後方のケーブルは、ケーブル介助装置が存在している想定で手で介助した。)

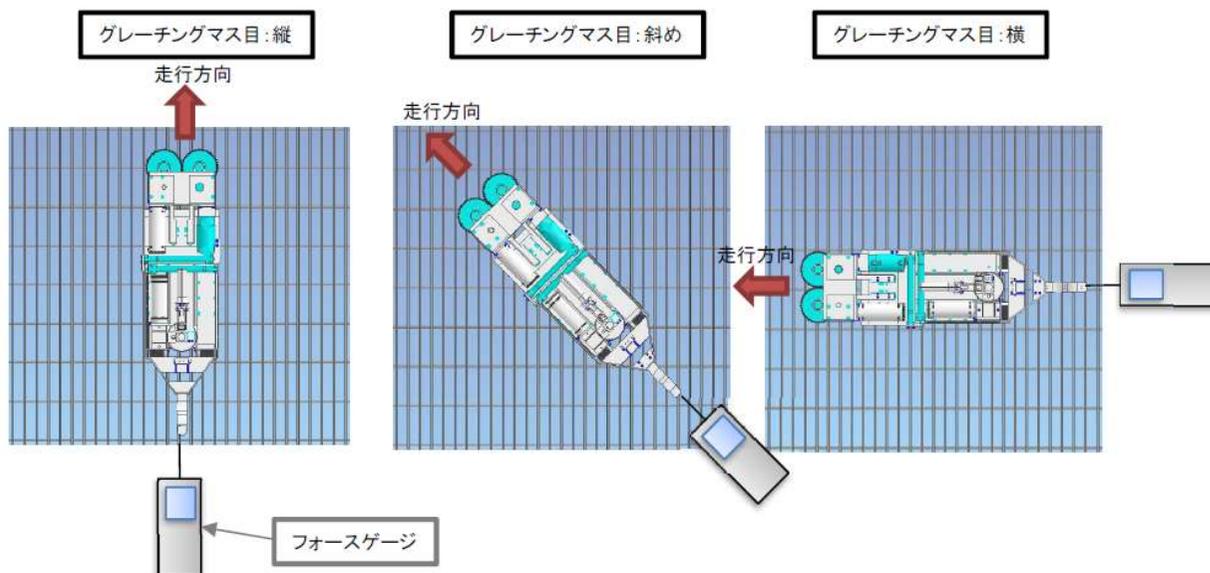
6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-①: 【牽引力確認試験】

対象	ケーブル介助装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	<ol style="list-style-type: none"> ① グレーチング上に装置を設置する。 ② クローラを前進動作させ、走行方向とは逆向きに固縛したフォースゲージにて牽引力を測定する。 ③ グレーチングのマス目が縦、横、斜めの場合とグレーチングの水濡れ有無の条件下で、繰り返し実施する。
アウトプット/ 判定基準	クローラのケーブル牽引力の実力値(目標:100N)

試験結果		牽引力確認試験		
No.	グレーチング		牽引力 [N]	
	マス目	水濡れ有無		
1	縦	無し	210	
2	横		250	
3	斜め		190	
4	縦	有り	190	
5	横		230	
6	斜め		180	

- 全ての条件において、目標牽引力である100Nを超えることを確認した。
- グレーチングマス目が横の時の最も牽引力が強く、縦と斜めの時は2~3割程度弱くなった。
- 水濡れ有りの場合、水濡れ無しより1割程度牽引力が弱くなった。

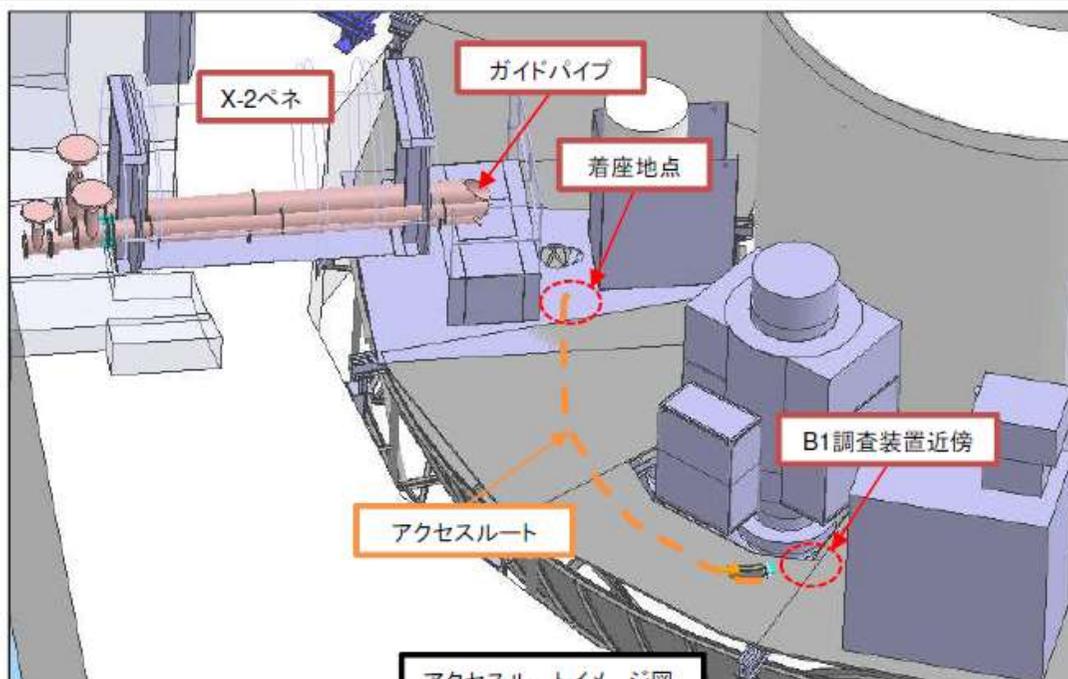


試験イメージ図

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-②:【走行性能確認試験(1/2)】

対象	ケーブル介助装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① アクセスルート上のグレーチングをクローラを操作を実施し、アクセスルートを往復走行する。 ② グレーチングは乾燥or濡れ状態とする。
アウトプット/ 判定基準	乾燥または濡れ状態において、グレーチング着床地点からB1調査装置近傍までのアクセスルートを問題なく往復走行できること



アクセスルートイメージ図

試験イメージ図

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

1号機

No.104

試験(d)-②:【走行性能確認試験(2/2)】

試験結果

- 問題なく往復することができた。
- ケーブル2本の掻き分け走行が可能であることを確認した。
- B1調査装置の片側にケーブルが2本縦に並んだ場合、装置単体では横方向に解除することができなかった。
- しかし、他装置(ドラム走行台車)と連携すれば解除する見込みがあった。



B1残置前まで走行時



ケーブル掻き分け走行時

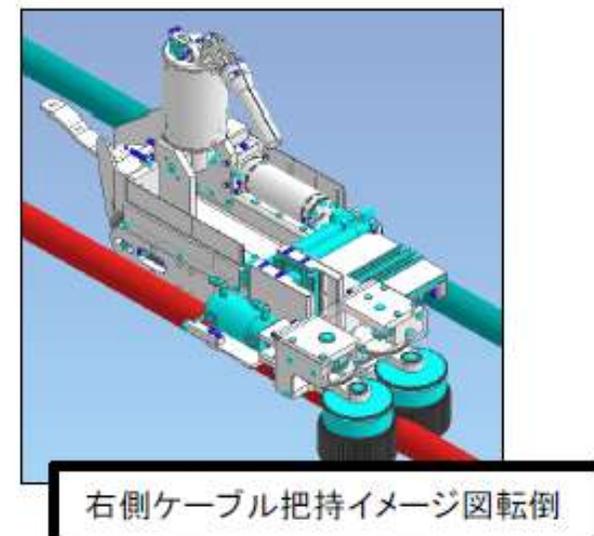
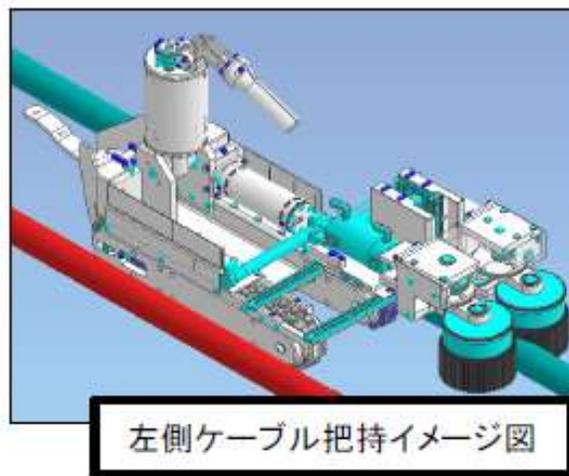
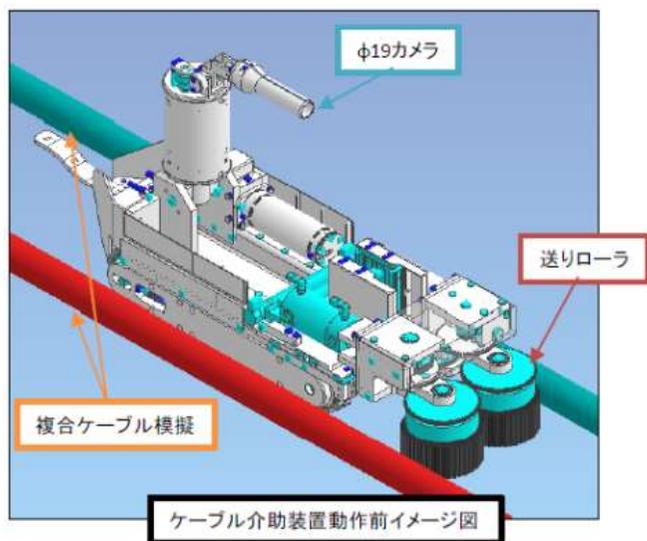


ケーブル重なり解除

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-③:【ケーブル把持性能確認試験】

対象	ケーブル介助装置(有線仕様/無線仕様)	試験結果	ケーブル把持性能確認試験			
試験方法	① ケーブル介助装置の両脇(左右)にφ40mmの複合ケーブル模擬を這わせる。 ② 各軸動作で送りローラにて把持できることを確認する。 ③ カメラ映像で把持したことを判断できるか確認する。		ケーブル這わせ位置	把持可否	映像確認可否	
アウトプット/ 判定基準	グレーチングに這わせた装置左右の複合ケーブルの把持が可能であること、及び把持をカメラ映像で確認可能であること		左側	可	可	
				右側	可	可
		<ul style="list-style-type: none"> ● 装置左右の複合ケーブルの把持が可能であることを確認した。 ● カメラ映像で把持を確認することは困難であったが、昇降動作することで確認可能であることを確認した。 				

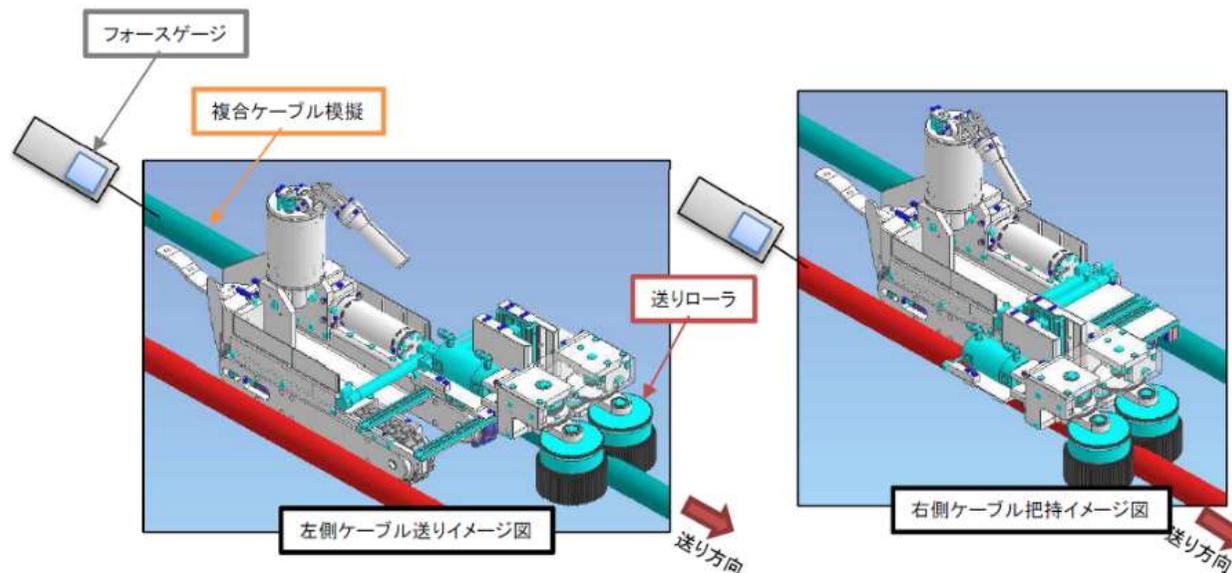


試験イメージ図

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-④: 【ケーブル送り力確認試験(1/2)】

対象	ケーブル介助装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	<ol style="list-style-type: none"> ① ケーブル介助装置の両脇(左右)にφ40mmの複合ケーブル模擬を這わせる。 ② 送りローラにてどちらかのケーブルを把持する。 ③ ケーブル送り動作し、ケーブルの送り方向とは逆向きに固縛したフォースゲージにて送り力を測定する。 ④ ケーブルの把持位置と水濡れ有無の条件の元、②③を繰り返し実施する。 ⑤ それぞれのケーブルクランプ圧力とケーブル送り速度を測定する。
アウトプット/ 判定基準	ケーブル送り性能(ケーブル送り力*/速度/クランプ力) * 目標送り力:100N



試験イメージ図

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン) (補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-④: 【ケーブル送り力確認試験(2/2)】

試験結果

ケーブル送り力確認試験

ケーブル		送り力 [N]	クランプ圧力 [MPa]	送り速度 [mm/s]
把持位置	水濡れ有無			
左側	無し	112	0.4	12.5
右側		118		
左側	有り	123	0.4	
右側		114		
右側		132	0.3	
右側		180	0.2	
右側		150	0.1	

ケーブル送り力確認試験(砂付着状態)

ケーブル		送り力 [N]	クランプ圧力 [MPa]	送り速度 [mm/s]
把持位置	砂付着有無			
右側	有り	168	0.2	12.5



送り力測定時の様子



ゼオライト Z-13



砂塗布後のケーブル

- 全ての条件において、目標送り力である100Nを超えることを確認した。
- 表1より、ケーブルの把持位置と水漏れ有無で送り力に大きな影響がないことが分かった。また、送り力が最大となるクランプ圧力は0.2MPaであった。
- 追加試験として、砂(※)を付着させケーブル送り試験を実施し、問題なくケーブル送りが可能であることを確認した。
(※) 砂の仕様: ゼオライトZ-13を粉末状にしたもの。
- ケーブル送り時に装置が後退する挙動を見せたが、クローラー走行動作での補正(その場把持)は可能であった。

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

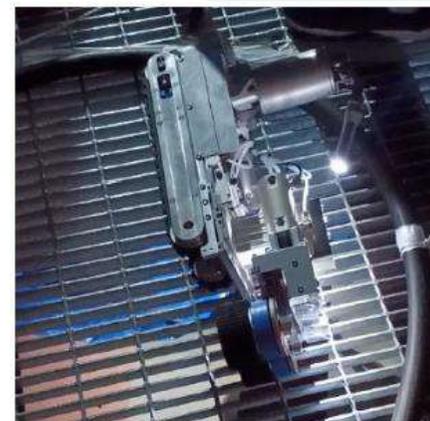
(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(ケーブル介助装置)

試験(d)-⑤: 【転倒確認試験】

対象	ケーブル介助装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① ケーブル介助装置をグレーチング上に設置する。 ② 各軸操作を実施し、転倒する危険性がないことを確認する。 ③ 転倒時に復帰できることを確認する。
アウトプット/ 判定基準	<ul style="list-style-type: none"> ケーブル介助装置が各操作により転倒する危険性がないこと 転倒時に復帰できること

試験結果

- Φ40ケーブルを乗り越える動作を転倒しやすい姿勢(試験イメージ図①)で行ったが転倒することはなかった。
- 仮に転倒してしまった場合においても転倒時の角度が90°以下であれば、スライド機構を利用して復帰することが可能であることを確認した。

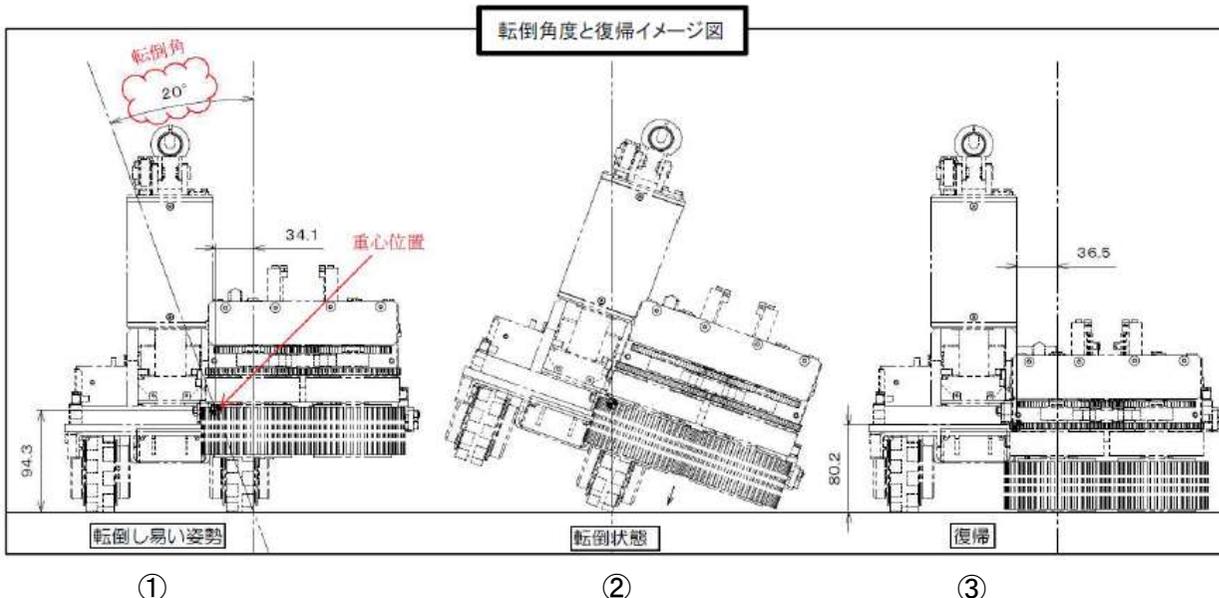


転倒状態(約90°)

スライド機構作動



復帰後



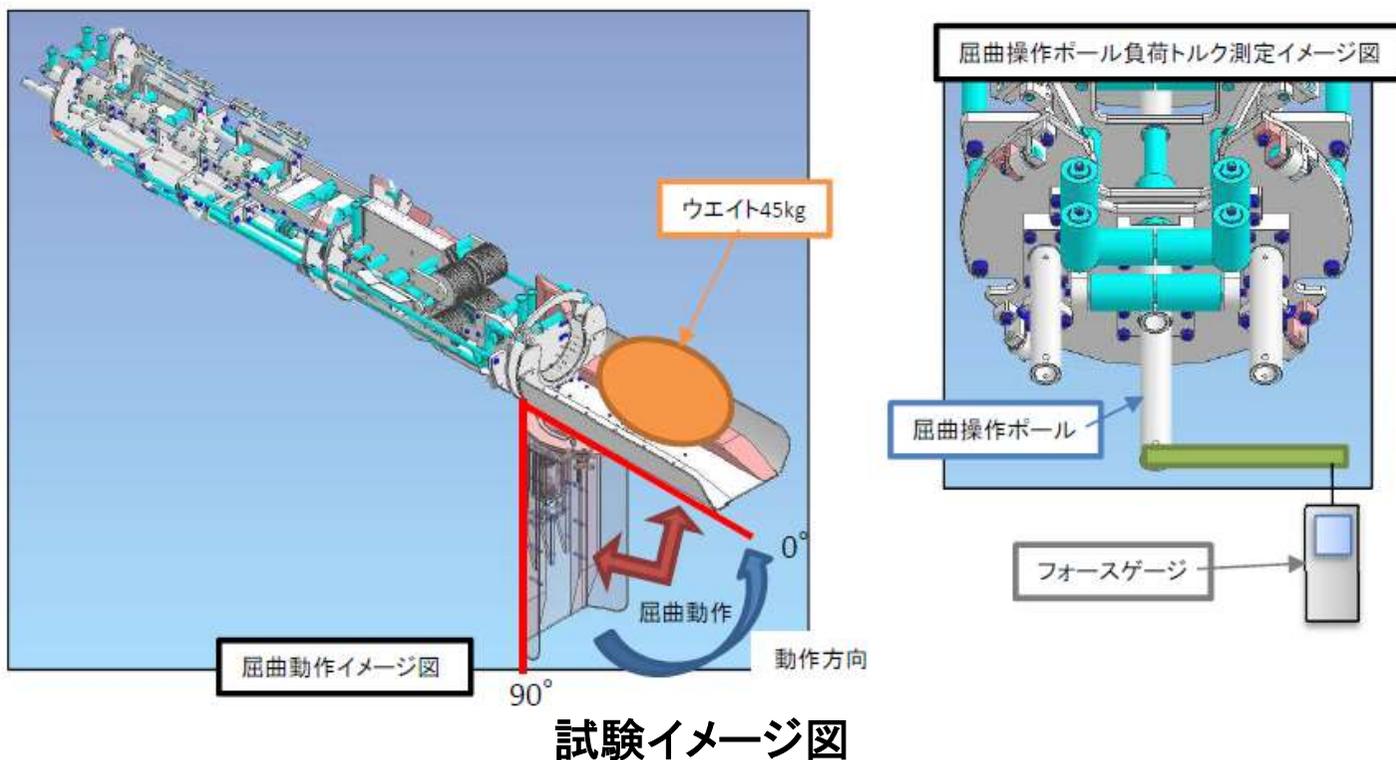
試験イメージ図

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(350A用インストール装置)

試験(e)-①:【屈曲負荷動作確認試験(1/2)】

対象	インストール装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① スコップ部に装置重量(40kg)を載せる。 ② 屈曲操作ポールを回転させ、屈曲動作ができることを確認する。 ③ 屈曲操作ポールの最大負荷トルクを測定する。
アウトプット/ 判定基準	スコップ部に調査装置重量(45kg)を載せた状態で屈曲動作ができること



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(350A用インストール装置)

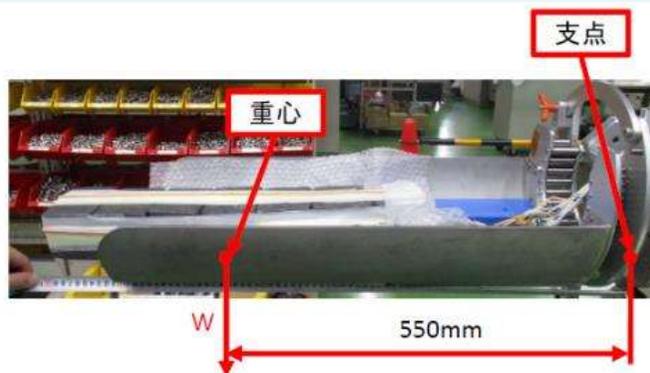
試験(e)-①: 【屈曲負荷動作確認試験(2/2)】

試験結果

- 45kgの錘を載せた状態での屈曲動作が可能であることを確認した。
- 追加試験として、65kgでの試験を実施し、問題なく動作することを確認した。
- 屈曲角度が10° の時にポールに掛る力が最大となった。

屈曲負荷動作確認試験

No.	錘 [kg]	屈曲角度 [°]	最大負荷トルク [N・m]
1	45	0	5.4
2		10	6.6
3		20	5.8
4		30	5.0
5		40	4.6
6		50	4.2
7		60	3.6
8		70	2.6
9		80	2.4
10		90	1.4
11	65	0	7.4
12		10	8.4
13		20	6.8



試験時の様子



重り45kg時



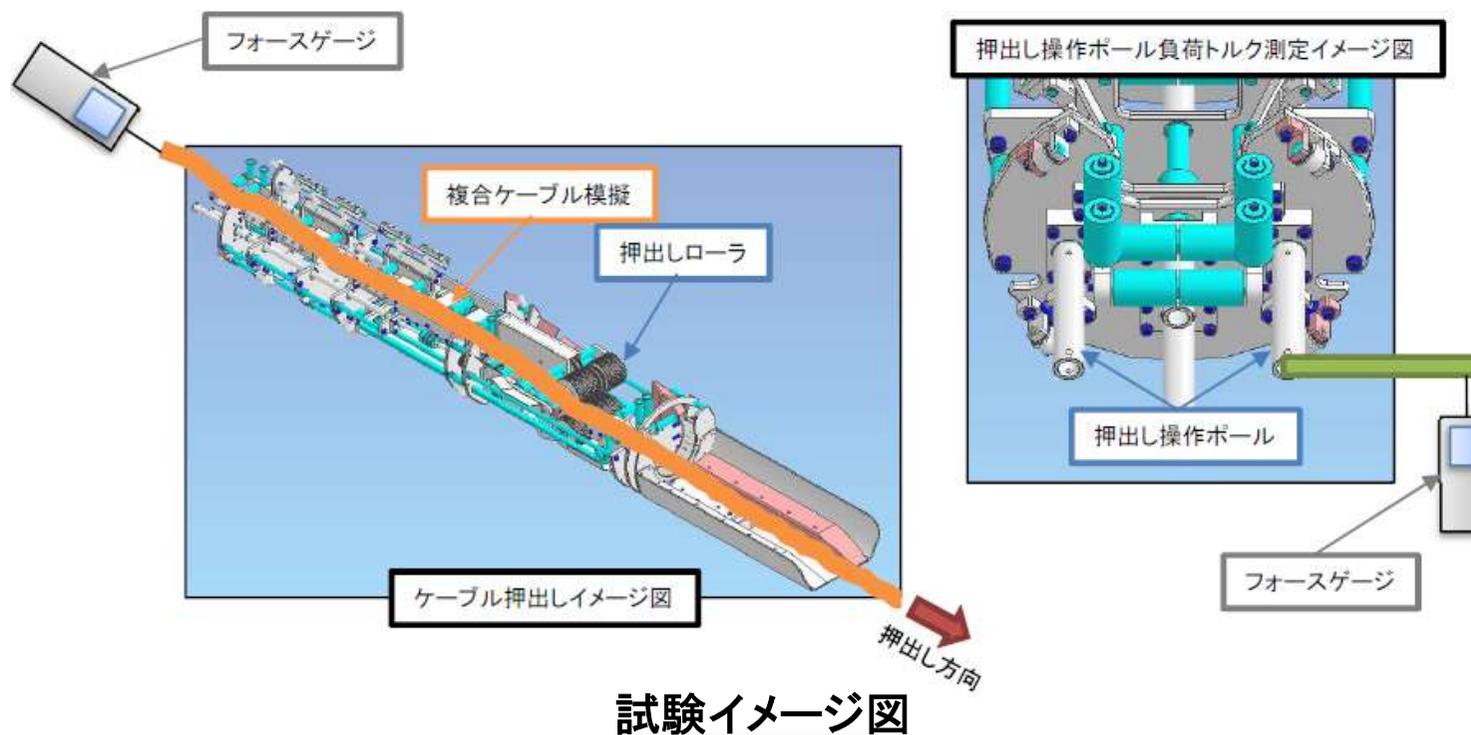
重り65kg時

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(350A用インストール装置)

試験(e)-②: 【ケーブル送り力確認試験(1/2)】

対象	インストール装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	<ul style="list-style-type: none">① インストール装置の押し出しローラに複合ケーブル模擬を把持させる。② 押し出し操作ポールを回転させ、押し出し方向とは逆向きに固縛したフォースゲージにて押し出し力を測定する。③ 押し出し操作ポールの最大負荷トルクを測定する。④ ケーブルクランプ圧力を測定する。⑤ 押し出しローラの左右と複合ケーブル径、水濡れの条件の元、繰り返し実施する。
アウトプット/ 判定基準	ケーブル送り性能(ケーブル送り力/速度/クランプ力)



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(350A用インストール装置)

試験(e)-②: 【ケーブル送り力確認試験(2/2)】

試験結果

- 試験結果より、クランプ圧力の最適値は0.3MPaであることが分かった。
- Φ40mm、Φ10mm両ケーブルにて、目標送り力100Nを超えることを確認した。
- 押し出しローラの送り力の左右差はなく、水濡れ有無による変化もないことを確認した。
- Φ10mmケーブルをしっかりとクランプするために押し出しローラの改造が必要である。
- ケーブルの脱着性が悪いため、改善が必要である。

ケーブル送り力確認試験

No.	使用ケーブル	ケーブル		送り力 [N]	クランプ圧力 [MPa]	最大負荷トルク [N・m]	備考		
		把持位置	水濡れ有無						
1	Φ40mm	右側	無し	75	0.1	7.0	最適なクランプ圧力を調査		
2		右側		73	0.2				
3		右側		84	0.3				
4		右側		50	0.4				
5	Φ9.5mm	左側	無し	8	0.1	0.4	想定よりケーブル径が小さく、しっかりとクランプできなかったため、送り力に変化なし		
6		左側		10	0.2				
7		左側		10	0.3				
8		左側		10	0.4				
9	Φ40mm	左側	無し	87	0.3	7.0			
10		右側		80				7.0	
11		左側		有り				89	7.0
12		右側						100	9.0
13	右側	170	14.0						
14	Φ9.5mm	右側	有り	10	0.6				
15		左側		9	0.8				
16	Φ9.5mm (タイヤテープ巻付)	左側	無し	100	6.8	ローラにテープを巻き付けクランプできるようにして実施			
17		左側		168	8.8				



ローラにテープ巻き付け



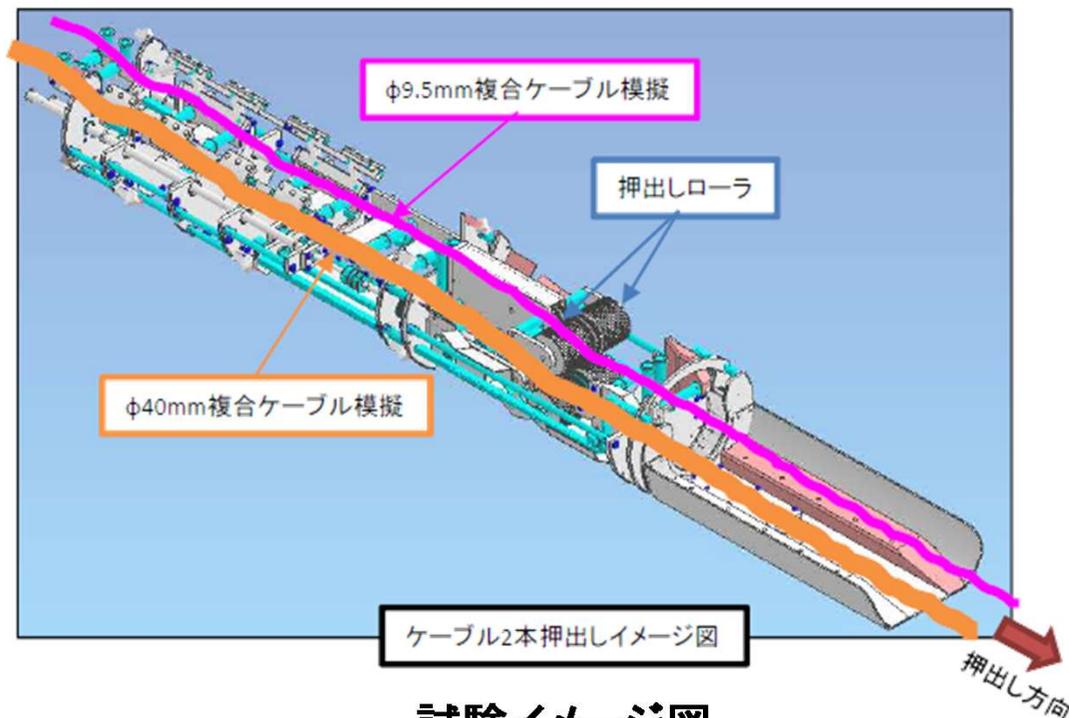
φ40ケーブル設置時

6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発 (ドローン)

(補足説明資料). 2022年度単体機能確認試験結果(350A用インストール装置)

試験(e)-③: 【ケーブル送り時動作確認試験】

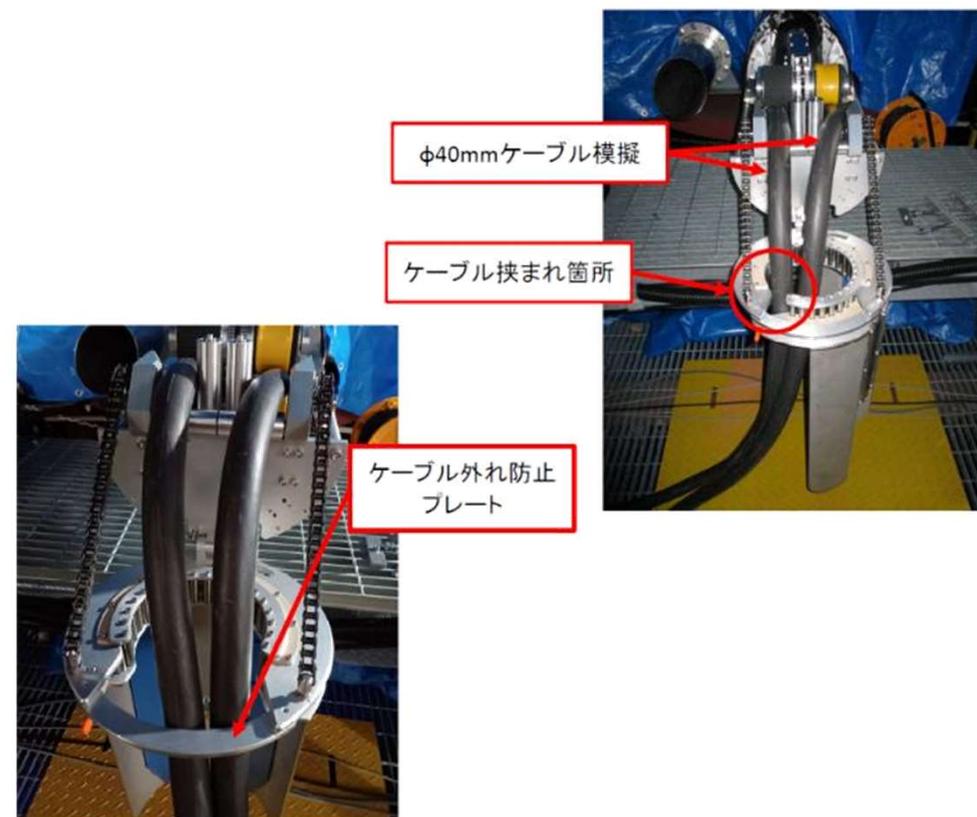
対象	インストール装置(有線仕様/無線仕様)
試験方法	① インストール装置の左右にある押し出しローラに複合ケーブル模擬を左右それぞれに把持させる。 ② 押し出し操作ポールを回転させ、2本のケーブル(φ40mm、φ10mm)が無理なく押し出せることを確認する。
アウトプット/ 判定基準	ケーブルを無理なく2本同時に送り出し可能であること



試験イメージ図

試験結果

- ケーブル2本を押し出すことが可能であることを確認した。
- スコップ旋回をするとケーブルがスコップ根元で挟まれる事象が発生した。
- 挟まれ防止のため「ケーブル外れ防止プレート」の改造が必要である。



<2021年度までの実施状況>

2/3号機向けの下部アクセス調査工法として、全14段のテレスコピック式のアクセス装置を試作し要素試験を実施。テレスコピック式アクセス装置単体の成立性があると評価した。

<2022年度の実施概要>

2021年度の要素試験結果踏まえ開発計画を見直し、抽出した各課題についての検討を進める。

<2022年度の実施内容>

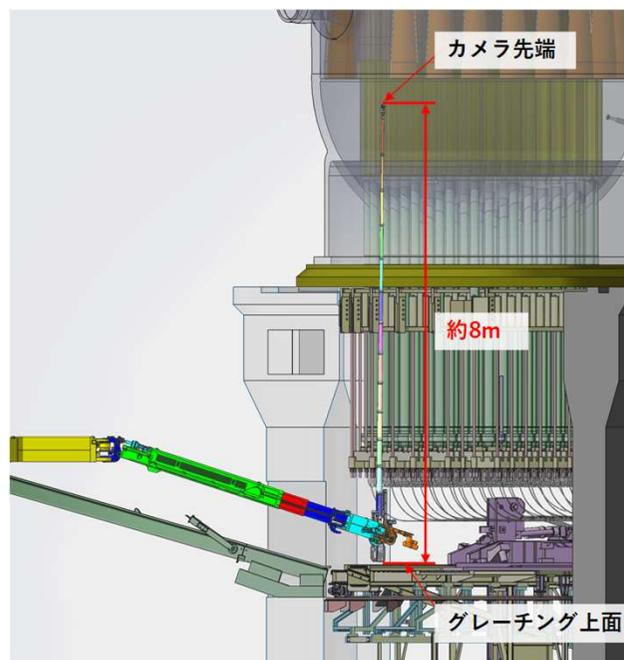
- ・2021年度に実施した要素試験結果を踏まえた開発計画の見直し、課題の抽出
- ・課題に対する対策案の検討
- ・対策案の効果を確認するための試験計画検討
- ・対策案の効果を確認するための試験

注)本資料にて使用する用語は以下のように定義する。

- ・テレスコピック式アクセス装置:テレスコパイプ、巻取り装置、調査装置等を組合わせた装置全体
- ・テレスコパイプ:上記装置の構成部材としてのテレスコパイプ

1) 2021年度の成果概要(1/2)

- ・開発課題に対して取り出し用アーム型アクセス装置との取り合い情報の検討等、概念設計や要素試験を実施した。
- ・2020年度に実施した3段テレスコパイプによる簡易試験において、シール部のリークや摺動抵抗が高いという課題に対する対策案を検討。パイプの内面表面粗さの改善等、装置仕様へ反映した。3段テレスコパイプによる簡易試験を実施し、対策案の効果を確認。



テレスコパイプによるアクセスイメージ



全収縮状態



全伸展状態

3段テレスコパイプによる簡易試験

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.116

1) 2021年度の成果概要(2/2)

- ・全14段のアクセス装置の成立性を評価する要素試験を実施。テレスコピック式アクセス装置単体の成立性があると評価。



収縮時



2段目伸展時



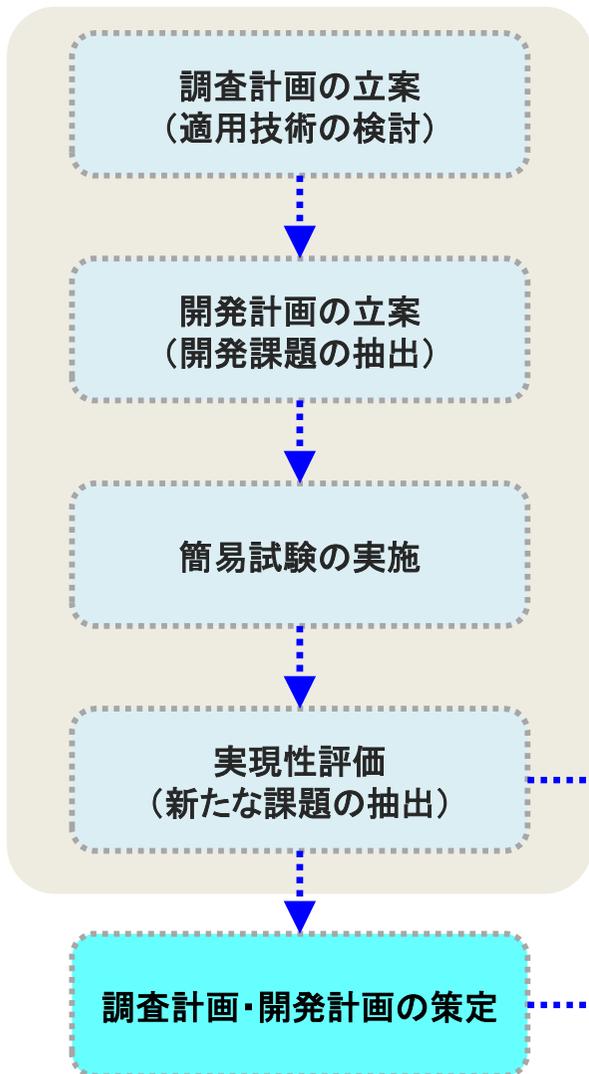
全段伸展時

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2) 「下部アクセス・調査装置の概念検討」の流れ

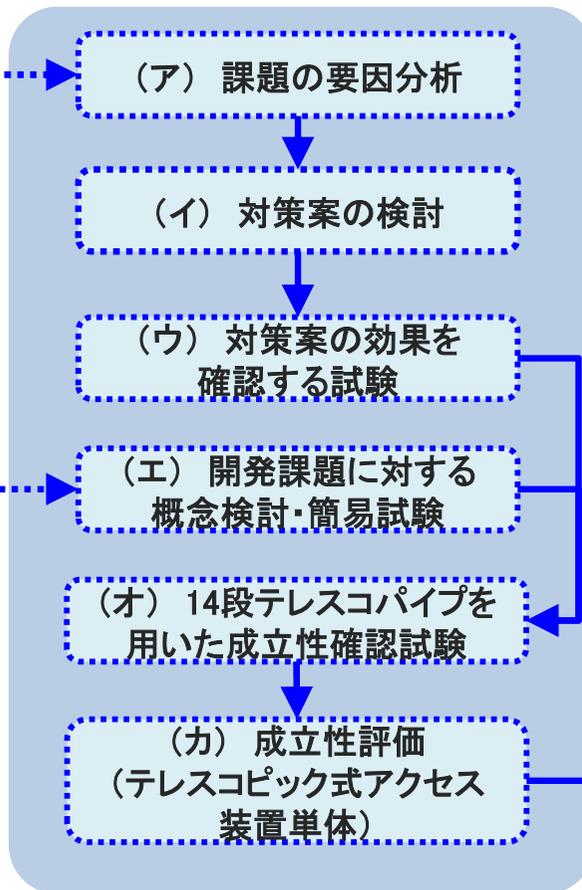
2020年度

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



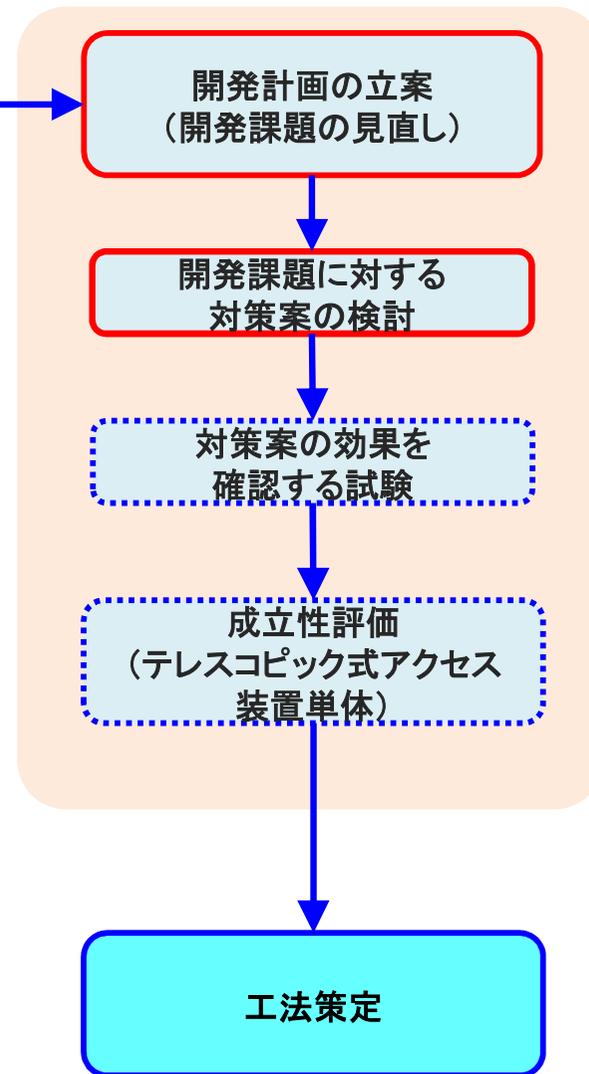
2021年度

② 下部アクセス・調査装置の概念検討
<概念設計/要素試験>



2022年度

③ 下部アクセス・調査装置の概念検討



 本資料で説明する項目

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.118

3) 開発計画の見直し(開発課題と対応方針)

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2022年度の対応方針	2022年度の試験・実施項目
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・非異常時の対応方針 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	他事業へ聞き取り
2			着脱作業方法、仕様の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	他事業へ聞き取り
3	ペDESTAL内からRPV内部へのアクセス装置	テレスコピク式アクセス装置設計	基本構造検討	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認 ・テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認 	接着部強度確認試験 アルミ製パイプの部分製作
4			伸縮時の挙動把握	<ul style="list-style-type: none"> ・節接続精度(パイプ傾き) ・伸展時の揺れ(調査装置部) 	<ul style="list-style-type: none"> ・テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制 ・角パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止 ・取り出し用アーム型アクセス装置が揺動した際のテレスコパイプの挙動評価 	机上検討 14段動作確認試験
				<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直設置伸展時の先端ずれ量(ガタ・たわみ) 		
				<ul style="list-style-type: none"> ・テレスコ傾斜時の伸縮挙動確認 		
				<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・伸展時必要エア圧 ・位置決め制御性 ・空気パッキンとテレスコの摺動抵抗 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計検討 	机上検討 14段動作確認試験		
<ul style="list-style-type: none"> ・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(テレスコ)

2/3号機

No.119

3) 開発計画の見直し(開発課題と対応方針)

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2022年度の対応方針	2022年度の試験・実施項目
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)	・ケーブル巻き取りドラムの駆動トルク均一化(ケーブル引張力のロスの低減)	机上検討
				・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)		
				・耐圧BOX設計(0.1MPa程度)		
7			姿勢調整機構設計	・機構配置(X6ペネ通過、アーム干渉)	・姿勢制御機構の試作と評価	姿勢制御機構動作確認試験 14段動作確認試験
8	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	机上検討
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	机上検討	
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)	・設計検討 ・調査装置の線量計へのノイズ評価	調査装置のノイズ評価	
カメラ、照明への付着物対策			・水滴落下等、付着物によるカメラ、照明への影響	・設計検討	机上検討	
12			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	・CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価	CMOSカメラの照射試験
13	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	・取り出し用アーム型アクセス装置先端の定点カメラによるテレスコパイプの通過クリアランスや伸展量の認識可否の評価 ・調査装置カメラによる開口の通過可否判断やテレスコパイプ姿勢の補正方向の判断可否の評価	シミュレーションを用いた装置運用手順の検討
14		非常時対応	非常時として想定項目の検討	・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 ・地震、停電等のような事象を想定するか	・地震時の挙動評価	14段動作確認試験

4) 2022年度の実施内容(1/3): 要素検証に関する項目

① 円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

- ・2021年度は、平板での接着強度確認試験を実施し、想定環境下で72時間以内であれば、接着部のせん断破壊応力劣化がないと評価した。
- ・2022年度は、円筒形状での接着強度を確認するための試験を実施する(試験方法等は協カメーカと協議の上で決定)。
⇒装置運用に必要な強度を有していると評価。(No.123～128)

② テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認

- ・2021年度は、先端3段(12～14段目)のアルミ製パイプを試作評価した結果、13段目に0.3mm程度の反りが発生し、12段目のパイプ内に収納しきれず、製作性に課題があることを確認した。
- ・2022年度は、上記課題に対し、先端3段／根本3断のアルミ製パイプの再試作を行い、アルミ製パイプの製作性を再評価する。製作性に目途がついた場合、代替案について再検討を行う。
⇒アルミ製パイプの製作が可能と評価。(No.129～132)

③ 調査装置の線量計へのノイズ評価

- ・2021年度は、スリップリングのノイズ評価として、ケーブルドラム駆動用モータ動作による線量計へのノイズ評価を行い、線量計へのノイズはわずかであると評価した。
- ・2022年度は、調査装置と組合せた際の線量計へのノイズ評価を実施する。
⇒ノイズはあるが対策が可能と評価。(No.133～134)

④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

- ・2021年度は、カメラの視認性評価としてCMOSカメラの視認性確認を行い、CCDカメラと視認性に違いが無いことを確認した。一方、照射後、照明強度が低い場合に映像が乱れる事象を確認した。
- ・2022年度は、再度CMOSカメラの照射試験を実施し、映像が乱れる事象が発生する積算線量がどこであるかを確認する。
⇒1440Gyで映像が乱れる事象が発生すること、1584Gy～2060Gyで映像が停止すること確認。(No.135～139)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.121

4) 2022年度の実施内容(2/3): 運用に関する項目

⑤取り出し用アーム型アクセス装置先端の定点カメラによるテレスコパイプの通過クリアランスや伸展量の認識可否の評価

⑥調査装置カメラによる開口の通過可否判断やテレスコパイプ姿勢の補正方向の判断可否の評価

(No.140~149)

- ・2021年度は、シミュレータを用いて、取り出し用アームアクセス装置に搭載されているカメラ(定点カメラ)と調査装置に搭載されているカメラ(移動カメラ)の2つの模擬映像画像(対象物表示、定点からの俯瞰表示)を同時に取得することを可能にした。
- ・2022年度は、シミュレータを用いて、テレスコパイプの収縮時／伸展時や、傾斜時における定点カメラ／調査装置カメラの視野を確認し、装置全体の運用方法の検討を行う。

4) 2022年度の実施内容(3/3): テレスコピック式アクセス装置の組合せ試験に関わる項目

⑦テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制(No.150~156)

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止(No.157~170)

・2021年度は、14段テレスコパイプの要素試験により、テレスコピック式アクセス装置単体の成立性があると評価した。

一方、伸展に伴いテレスコパイプ側面にある回転防止レールの方向に傾斜する傾向があること、各パイプのガタが一方向に偏るとテレスコパイプの先端ずれ量が+144.7~-218.3mm(テレスコパイプの回転防止レールが付いている方向がマイナス)あること、非常時収縮において全伸展状態からパイプ内圧を減圧するとテレスコパイプが徐々に傾き、先端14段目が5.5度以上に傾いた状態となること等の課題を確認した。

・2022年度は、上記課題に対し、対策(例:回転防止レールの位相変更、部材見直し等)を実施の上、再度14段テレスコパイプの要素試験を行い、対策の有効性を評価する。

⑨姿勢制御機構の試作と評価(No.171~173)

・2021年度は、姿勢制御機構の概要設計を行った。

・2022年度は、姿勢制御機構を試作、14段テレスコパイプと組合せて要素試験を行い、その成立性を評価する。

⑩ケーブル巻取りドラムの駆動トルク均一化(ケーブル引張力のロスの低減)

・2021年度は、14段テレスコパイプの要素試験にて、ケーブル引張力(モータ駆動トルク)が短時間で大きく変動しており、ギアや駆動軸の組み立て精度が悪く、駆動負荷が均一では無い恐れがあることを確認した。

・2022年度は、上記課題に対して対策を実施の上、再度14段テレスコパイプの要素試験を行い、対策の有効性を評価する。

⇒改良を行い、対策が有効と評価。(No.174~175)

⑪取り出し用アーム型アクセス装置が揺動した際のテレスコパイプの挙動評価

・2021年度は、テレスコパイプの水平荷重に対する剛性を確認したが、アーム型アクセス装置が揺動した際のテレスコパイプの挙動評価は実施していない。

・2022年度は、アーム型アクセス装置と組合せた際に共振しないかを確認するため、14段テレスコパイプの固有振動数測定を行う。また、試作予定の姿勢制御機構を用いる等により14段テレスコパイプが揺動した際の挙動を確認する。

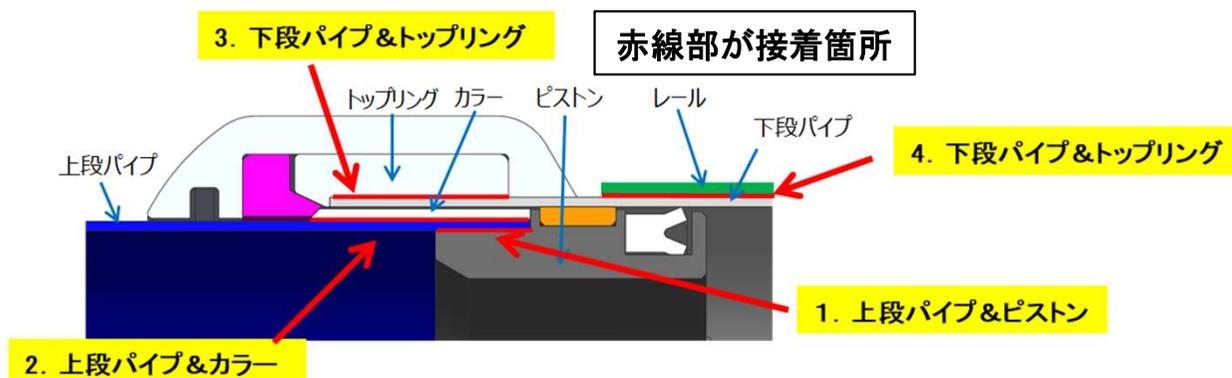
⇒揺れ周期を測定。(No.187~188)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

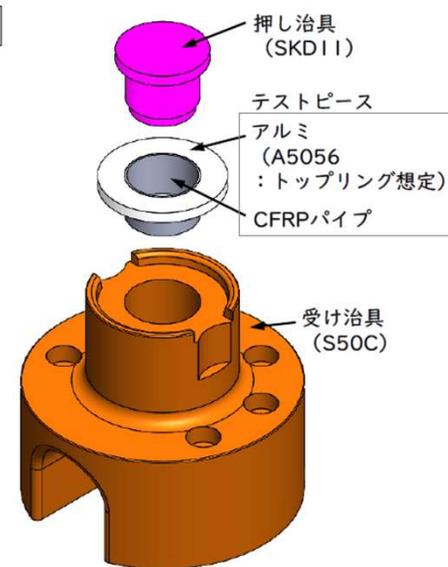
5) 検討内容 ① 円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

○背景

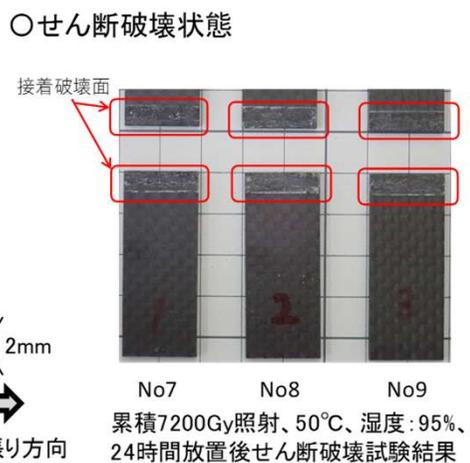
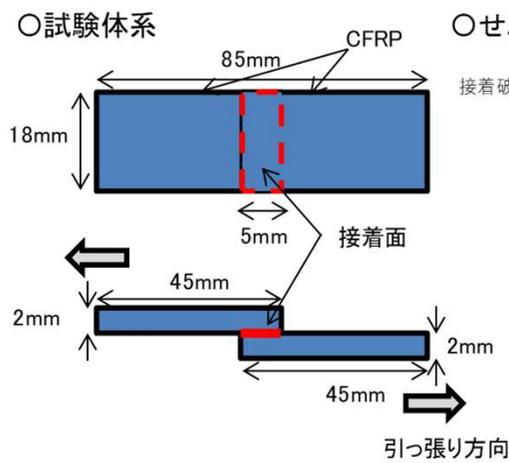
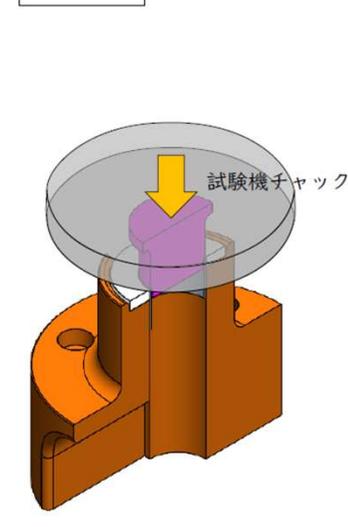
- ・2021年度の接着強度評価は、ISOを参考に平板での接着部破壊試験を行った。
- ・一方、テレスコ部品の接着は円筒形状部であり、円筒部材での接着強度を確認する試験を行う。



構成



試験方法



2021年度の試験体系

2022年度の試験体系

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.124

5) 検討内容 ① 円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

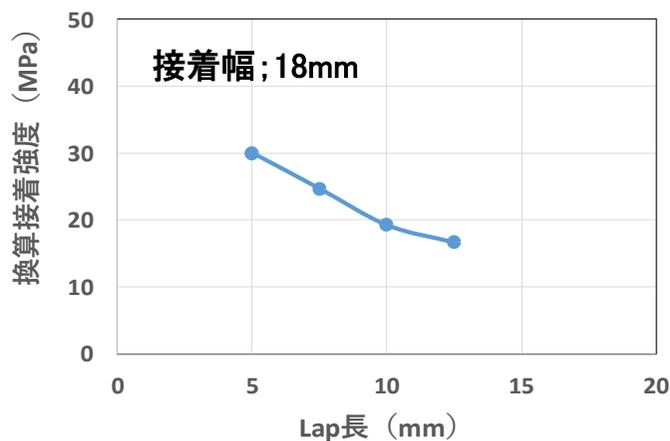
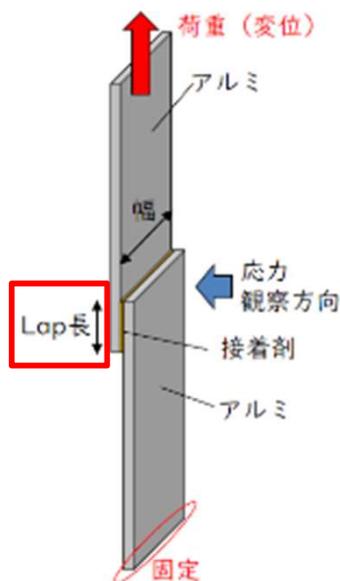
○試験計画検討 パイプ形状の影響(直径:接着幅)

・14段テレスコは、接着を使用している最大内径 $\Phi 90$ (2段目)～最小内径 $\Phi 30$ (14段目)では、各段によって接着面積が異なる。接着強度は、接着面積によって異なることから、接着長さ(Lap長)と、接着幅(パイプ直径)について検討した。

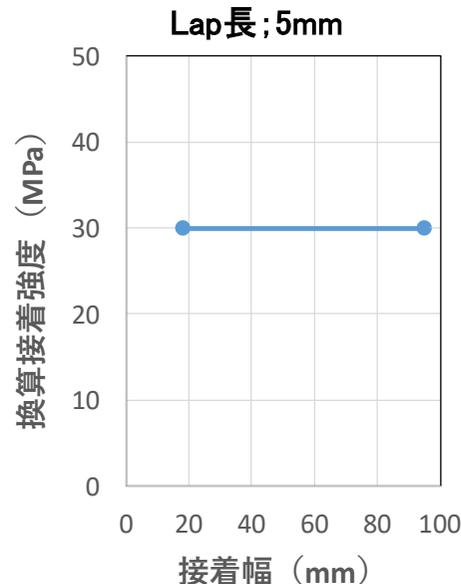
・**平板アルミ試験片の結果では、接着強度は接着長さ(Lap長)に依存し、接着幅(パイプ直径)には影響を受けないことが確認できた(協力会社の参考データより)。**



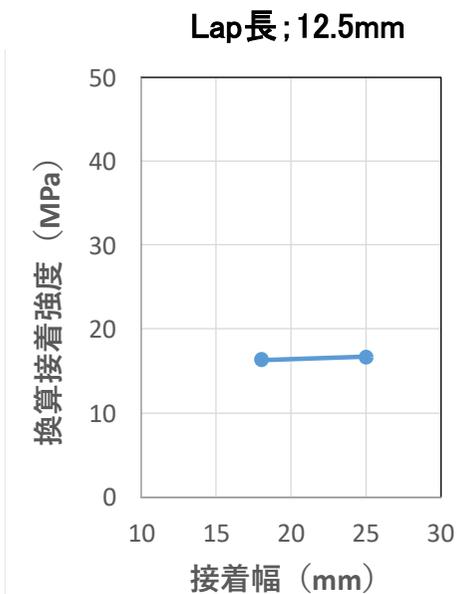
最大内径 $\Phi 90$ (2段目)と、最小内径 $\Phi 30$ (14段目)の2条件で接着強度評価を行う。



接着幅一定、Lap長を変化させた試験



Lap長一定、接着幅を変化させた試験



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

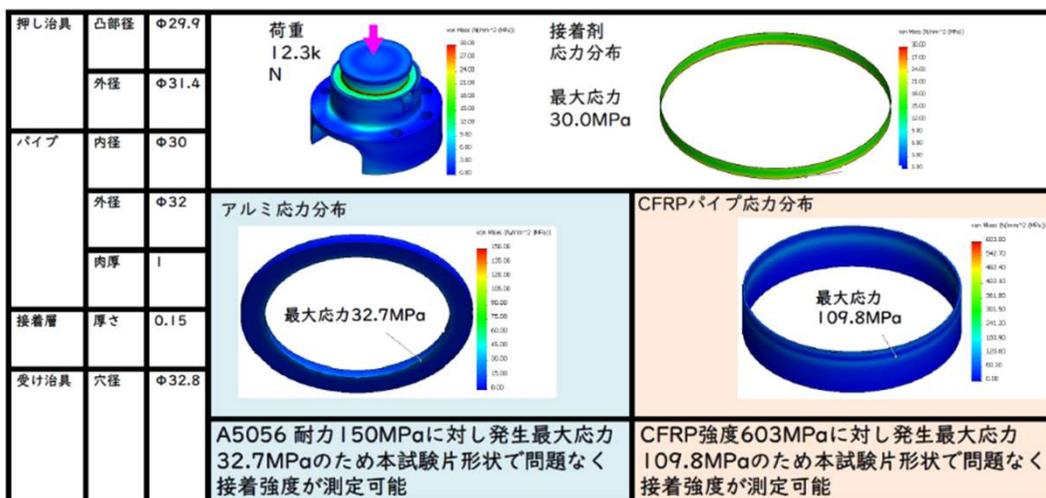
No.126

5) 検討内容 ①円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

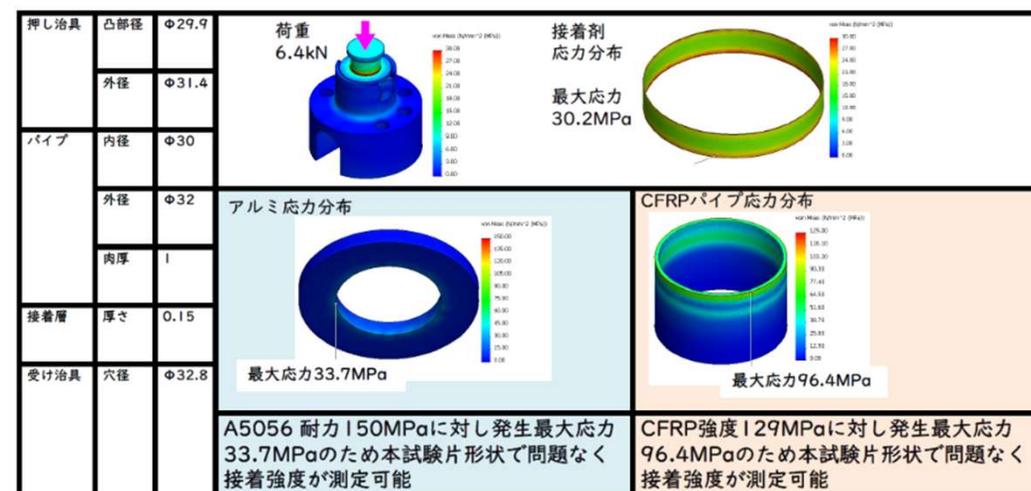
○試験計画検討 接着部品の応力解析

・2段目、14段目の接着部品の応力解析を実施。

・接着材の最大応力30.2MPa(過年度結果)より、CFRPパイプ/アルミ部品の強度の方が強いため、接着強度評価可能と評価。



2段目の応力解析結果



14段目の応力解析結果

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.127

5) 検討内容 ①円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

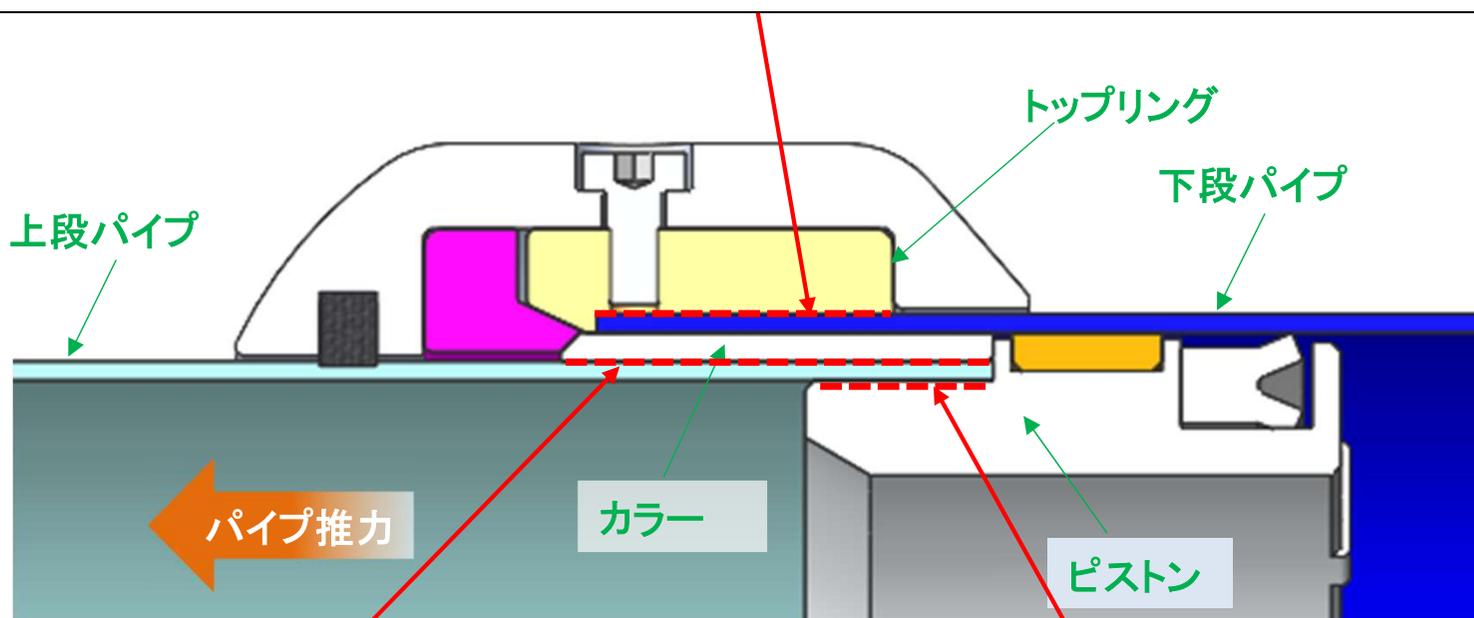
○パイプの必要接着強度

①トップリング／パイプ接着部

最大空圧推力: 636N (0.1MPa)

接着面積: 4318mm^2

必要破壊強度: $2.4\text{MPa} = (636\text{N} / 4318\text{mm}^2) \times 18$ (安全率)



②カラー／パイプ接着部

接着面積がトップリングより大きいので①より低負荷

③ピストン／パイプ接着部

摺動抵抗以上の負荷を受けない

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

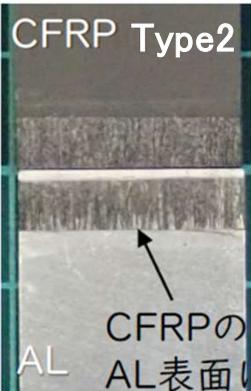
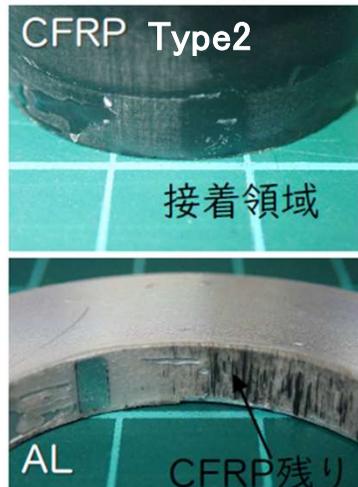
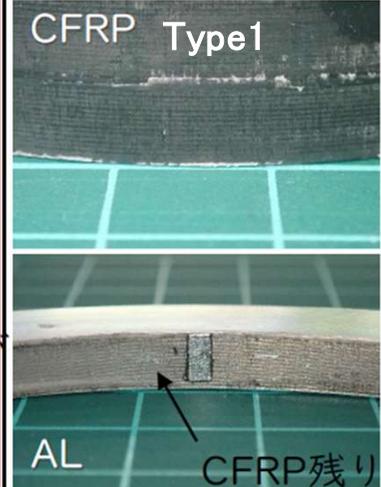
No.128

5) 検討内容 ① 円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認

○パイプ接着部の接着強度確認試験結果

- ・平板での評価より破壊強度が約1/2～1/3に低下した。
- ・φ90の方が低下が大きいですが、接着強度は5.9MPaと、必要接着強度2.4MPaを上回っていることを確認。

➡ 円筒形状でも装置運用に必要な接着強度を有していると評価。

	φ30		φ90	
	平板	パイプ	平板	パイプ
破壊強度[MPa]	24.4	14.0	18.6	5.9
破壊様式	CFRP材料破壊	CFRP材料破壊	CFRP材料破壊	CFRP材料破壊
破断界面	 <p>CFRP Type2</p> <p>AL</p> <p>CFRPの層がAL表面に残っている</p>	 <p>CFRP Type2</p> <p>接着領域</p> <p>AL</p> <p>CFRP残り</p>	 <p>CFRP Type1</p> <p>AL</p> <p>CFRPの層がAL表面に残っている</p>	 <p>CFRP Type1</p> <p>AL</p> <p>CFRP残り</p>

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.129

5) 検討内容 ②テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認

2021年度報告

代替案としてのパイプのアルミ材採用の検討

主な目標仕様		CFRP (内外面UD)	アルミ(A7075)	備考	
製作性	パイプ外径	φ100 (1段目)~ φ35 (14段目)	製作可能	製作可能	CFRP製のパイプについて、製作性に課題があると想定されたため、代替案として先端3段をアルミで試作
	パイプ長さ	431.5mm (1段目)~ 658.2mm (14段目)	製作可能	製作可能	
	パイプ段数	14	製作可能	製作可能	アルミは、肉厚:1mmが製作困難で、1社のみ目標精度条件(試作加工)で受託してくれたので、CFRPでは高剛性化が難しい細いパイプ(12、13、14段目:内径φ40~φ30を試作)を試作評価した。この結果、13段目に0.3mm程度の反りが発生し、12段目のパイプ内に収縮しきれなかった。 製作実績あるアルミテレスコ(1F2_PCV内部調査(A2))は、肉厚:2.5mmであり、この厚みだと、最大外径φ100以下とした場合、7段しか構成できず、伸展時の到達距離未達となる(炉底部へのアクセスができない)
	パイプ肉厚	1mm以下	製作可能	形状公差保証難	
	外径公差	+0.2/0mm	製作可能	製作可能	
	内径公差	H9 1段目:φ95 +0.087~0 13段目:φ35 +0.062~0	精度保証難 +0.4/0mmで製作後、現物合わせで組合せ部品(ピストン等)の寸法を調整	製作可能	
	直線度	0.1mm以下	製作可能	加工難 13段目実績:0.3mm	
	真円度	0.2mm以下	製作可能	製作可能	
	内径側表面粗さ	Ra3.2以下	1.6(実績)	0.3(実績)	
強度	引張強度(軸方向)	100MPa以上	2~9段:796 10~14段:618	570	CFRP:10~14段はパイプ径が細いため、高強度プリプレグが使用できないため、周方向引張強度が低い
	引張強度(周方向)	100MPa以上	2~9段:603 10~14段:129	570	
	安全率(0.3MPa耐圧)	15以上	2~9段:45 10~14段:20	38	CFRP:10~14段はパイプ径が細いため、高強度プリプレグが使用できないため、安全率が低いが問題無いレベルである
	撓み	10mm以下 各段のガタ含まない	2.0	3.4	テレスコ各段のガタをゼロ(接着条件)での構造解析
重量	14段重量	9kg以下	8.0	9.4	調査装置含まない パイプ以外のスクレーパ、ピストン、ストップリング等含む
ロバスト性	耐累積線量	7200Gy以上	7200Gy以上	7200Gy以上	100Gy/hで3日以上
	摩耗・繰返し性	1回以上の調査可能	要評価	要評価	



アルミ材の採用は製作性(加工性)が課題

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.130

5) 検討内容 ② テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認

○背景

- ・2021年度、先端3段(12~14段目)を試作したところ、13段目に0.3mm程度の反りが発生した。12~14段目を組み合わせると、13段目が140mm程度収縮できなかった。
- ・機械加工工程では反りがなかったことから、機械加工後に実施する硬質アルマイト処理工程に課題があると推測。



○対策

硬質アルマイト処理方法を変更し、安定性改善を図る。

13段目の反り発生



	内径目標 (mm)		内径結果 (mm)		外径目標 (mm)		外径結果 (mm)		直線度目標 (mm)		直線度結果 (mm)	
	12段目	13段目	14段目	12段目	13段目	14段目	12段目	13段目	14段目	12段目	13段目	14段目
12段目	Φ40 +0.062/0	○	Φ40.05	Φ42±0.1	○	Φ41.98	0.1以下	○	0.1以下			
13段目	Φ35 +0.062/0	○	Φ35.03	Φ37±0.1	○	Φ37.02	0.1以下	×	0.3程度			
14段目	Φ30 +0.052/0	○	Φ30.03	Φ32±0.1	○	Φ32.04	0.1以下	○	0.1以下			

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.131

5) 検討内容 ② テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認

○背景

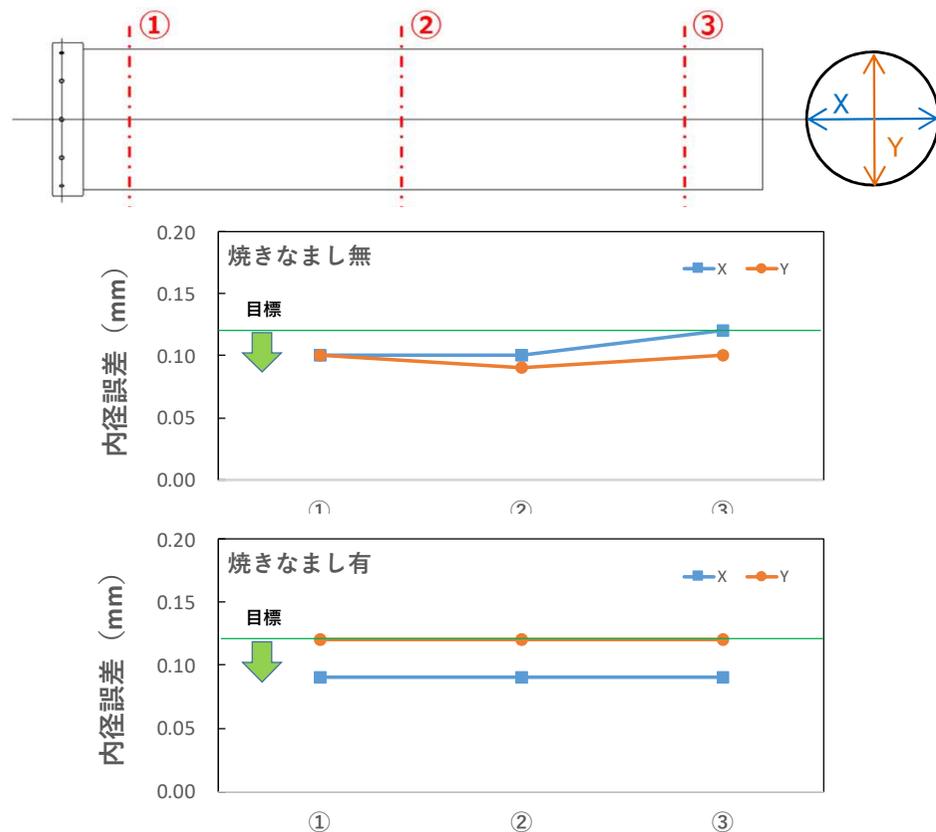
- ・細径の12~14段目は、硬質アルマイト処理方法の変更により対策が期待できる。
- ・一方、2~3段目は薄肉大口径で機械加工が難しい。



○対策

- ・このため2~3段目を優先して試作。
- ・細径と同じ加工方法では、パイプ端部が0.02mm拡大し、両端部と中央部の内径差にばらつきがあった。アルミ材の残留応力を無くすため、**焼きなまし処理後に機械加工を行うこと**で、両端部と中央部の内径誤差を一定にできた。
- ・この後、硬質アルマイト処理を行う。

焼きなまし処理後の機械加工結果
硬質アルマイト処理前(アルマイト厚: 15 μmを想定)



	内径目標 (mm)	内径結果 (mm)		外径目標 (mm)		外径結果 (mm)		直線度目標 (mm)	直線度結果 (mm)	
		○		○		○			○	
2段目	Φ90 +0.12/-0.03	○	Φ90.12	Φ92±0.1	○	Φ91.95	0.1以下	○	0.1以下	
3段目	Φ85 +0.12/-0.03	○	Φ85.07	Φ87±0.1	○	Φ86.95	0.1以下	○	0.1以下	

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

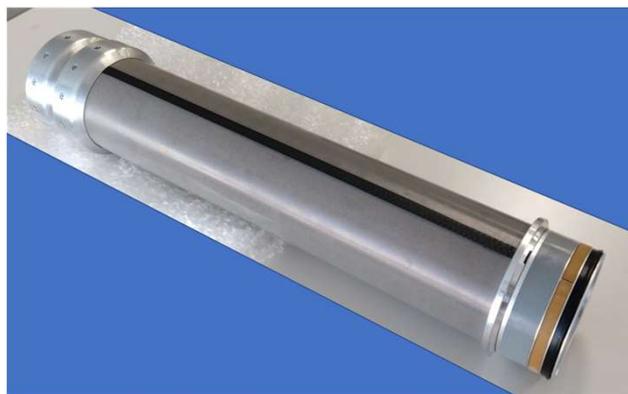
No.132

5) 検討内容 ②テレスコパイプの代替構造案であるアルミ製パイプの製作性確認

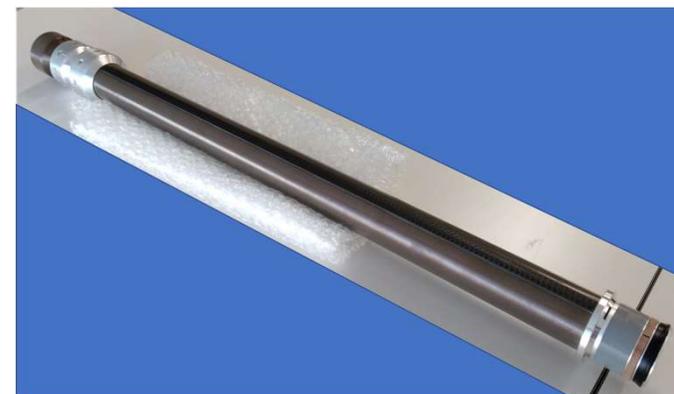
○アルミ製パイプの組み合わせ確認

・製作したアルミ製パイプを組合わせて手動で動作を確認し、引掛り等なく伸縮することを確認。

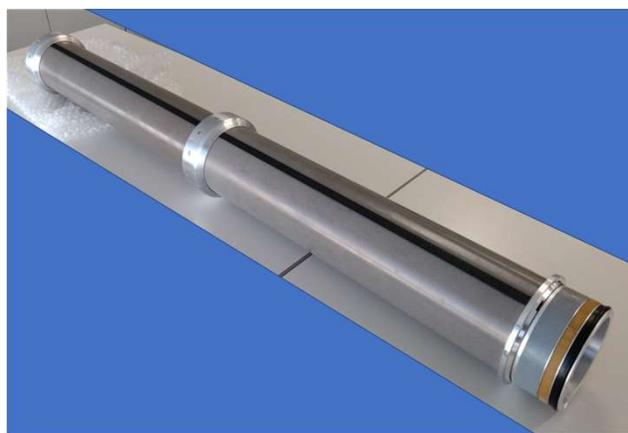
➡ アルミ製パイプでも製作が可能であると評価。



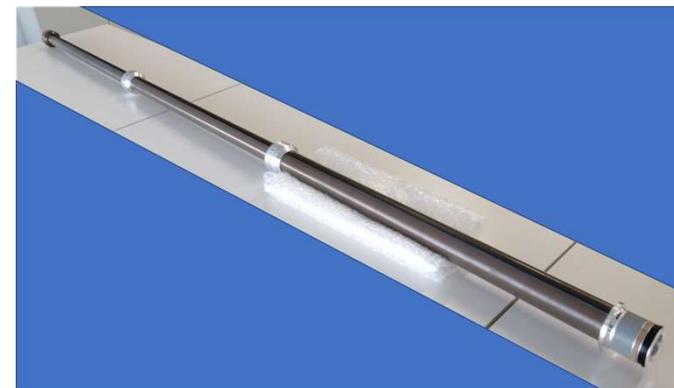
2・3段目(収縮状態)



12~14段目(収縮状態)



2・3段目(伸展状態)



12~14段目(伸展状態)

5) 検討内容 ③ 調査装置の線量計へのノイズ評価

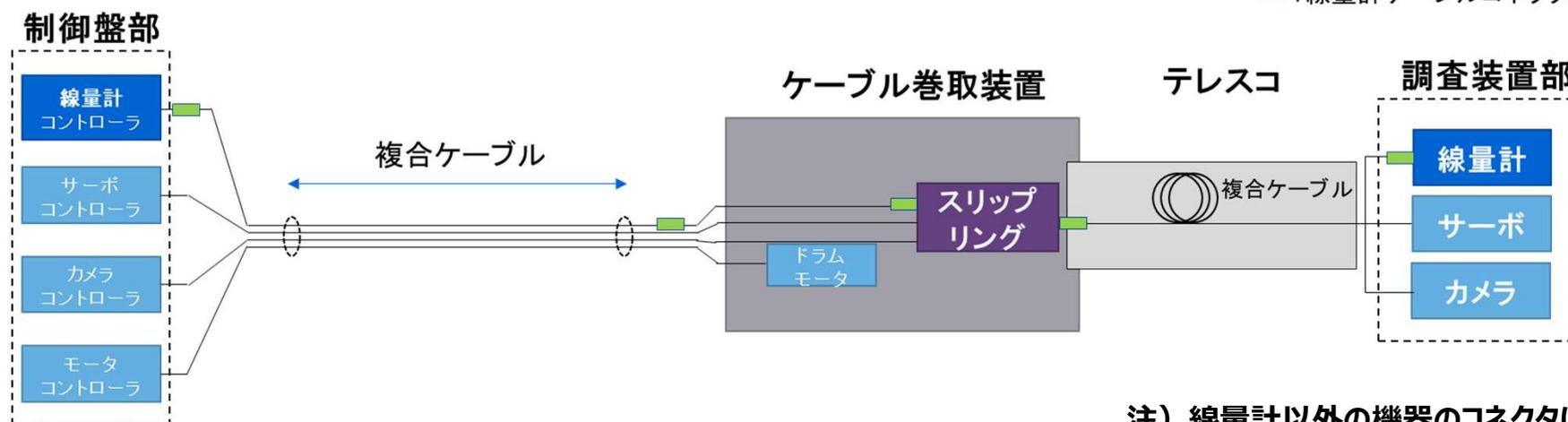
○目的

- ・使用する線量計は数pAの微小電流を伝送する必要があるため、コネクタやスリップリング等の機械的な接点部で生じる漏れ電流、複合ケーブルに含まれるモータ用ケーブルからのクロストークによるノイズ等に対し相対的に脆弱と考えられる。このため、ノイズの影響確認試験を実施し、ノイズ低減手法を検討する。
- ・2022年度は、調査装置と組み合わせた際のノイズを評価する。(2021年度はスリップリングからのモータ動作時のノイズを評価)

○試験計画

- ・使用する線量計素子を、実機相当の複合ケーブル及びコネクタを介して接続する。
- ・複合ケーブルにモータ及びカメラを接続した状態で、線量計へのノイズの影響を確認

■ : 線量計ケーブルコネクタ



注) 線量計以外の機器のコネクタは省略

5) 検討内容 ③ 調査装置の線量計へのノイズ評価

○ 試験結果

① 漏れ電流の影響

線量計コントローラから調査装置部までのケーブル(スリッピング等を含む)を接続した際の漏れ電流値

- 線量計から模擬計測信号(10nA; 20[Gy/h]相当)を出力した状態で、コントローラ側で取得される電流値を評価
 - 漏れ電流による損失は0.44nA(0.9Gy/h相当)であることを確認
 - 5%程度の誤差が生じる結果となったが、漏れ電流値は経時的に大きく変動する値ではないことを確認

➡ 事前に校正表を準備し、損失分を想定することで対策が可能と評価

② ノイズによる影響

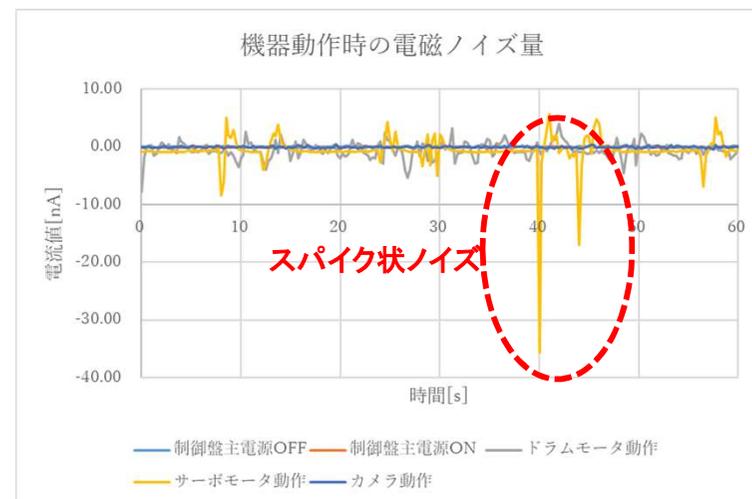
線量計ケーブルが配置されている集合ケーブルに信号線を配置している機器からの影響を評価

- 線量計が計測信号を出力しない条件でのデータ取得時に、ケーブルドラムモータ、サーボモータ、調査装置カメラを駆動
 - ケーブルドラムモータおよびサーボモータ駆動時にピーク値で35.7nA(7.1Gy/h相当)のノイズを確認
 - スパイク状ノイズのため、モータの動作停止後は測定に影響無

➡ 今後平滑化处理等により影響の低減が可能と評価

単位:nA	ノイズ量(標準偏差)		ノイズ量(ピーク値)	
	平滑化なし	移動平均※	平滑化なし	移動平均※
制御盤主電源OFF	0.20	0.05	0.20	0.05
制御盤主電源ON	0.65	0.05	0.65	0.15
ドラムモータ動作	4.09	0.66	7.77	1.69
サーボモータ動作	5.71	0.89	35.66	3.15
カメラ動作	0.44	0.10	0.44	0.44

* 移動平均時間は5秒



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.135

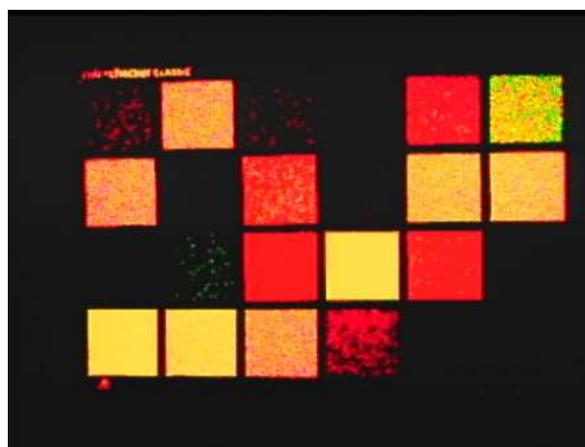
5) 検討内容 ④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

○背景

- ・2021年度実施した耐放射線性評価では1600Gy照射後でも映像が出力されることを確認した。
- しかし、照射後低照度時に照明強度が低い場合に映像が乱れる現象を確認した。
- 遠方の視認対象など撮影条件によってはこの現象が発生し、視認対象が見られない可能性がある。



照明条件: 試験室照明 (36lx)
照射前



照明条件: 試験室照明 (36lx)

照射後(積算1600Gy以上)



照明条件: カメラ照明 (570lx)

○目的

- ・映像が乱れるまでの積算線量を明らかにする。
- ・映像が乱れるまでの積算線量(調査時間)を調査計画へ反映する。

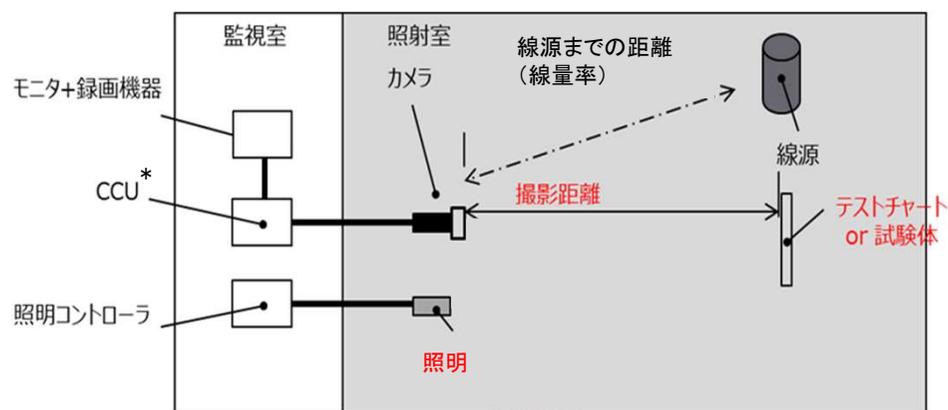
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

5) 検討内容 ④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

○試験概要

・一定線量率で照射を行い、一定時間毎に照射を止め照明強度や対象の距離*など撮影条件を変化させ映像を確認し、映像が乱れた時の積算線量を記録する。

* 映像中の対象の撮影面積を変化させゲイン(明るさの増幅率)を変化させる



*Camera Control Unit

耐放射線試験体系案



試験体系イメージ

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.137

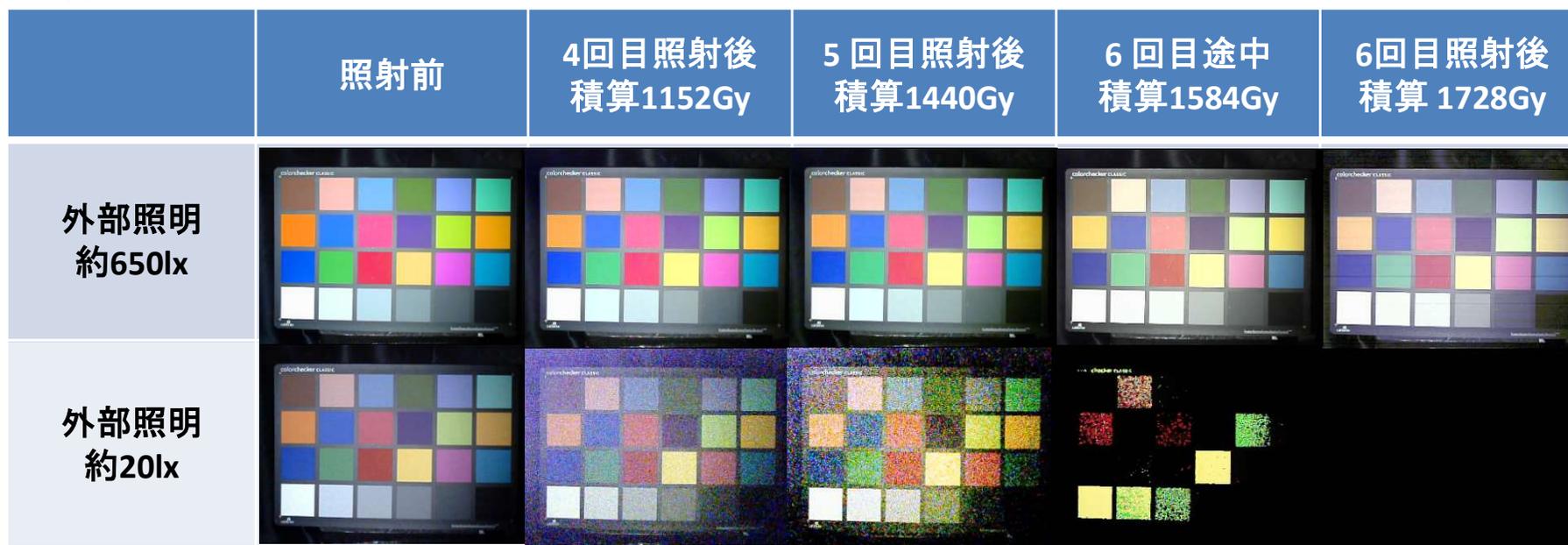
5) 検討内容 ④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

○試験結果: 新品CMOSカメラ

映像の乱れ(色の変化する)が確認された積算線量: 1440Gy

映像が停止した積算線量: 1584Gy

映像



コントラストが変化
ノイズが増加
(576Gyから確認)

4回目の変化の増加に加え
色の変化

6回目照射中に映像が途切れたため、照射停止し映像を確認
その後は映像が安定しない(復活と停止を繰り返す)

注) LEDは正常、カメラの異常発熱はなし

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

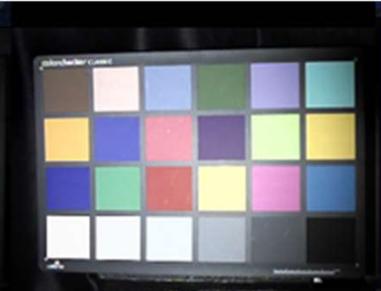
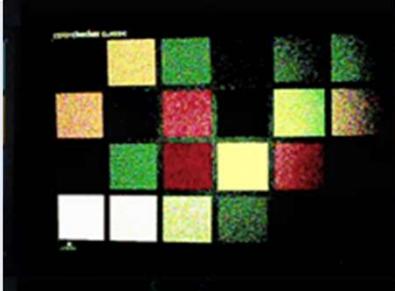
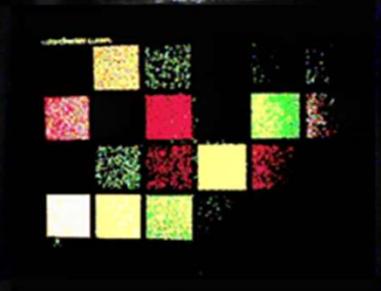
No.138

5) 検討内容 ④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

○試験結果：1600Gy照射済みCMOSカメラ(昨年度試験に使用したもの)

映像が停止した積算線量：2060Gy

2回目照射中(1h40m経過後)に映像が停止
その後は復活と停止を何回か繰り返すが、出力が停止したままになる

	照射前 積算 1600Gy	1回目照射後 積算 1888Gy	2回目照射後 積算 2176Gy
外部照明 約650lx			
外部照明 約20lx			

※映像の切断状況

2回目照射後(積算 2176Gy): 映像が停止

3回目照射後(積算 2464Gy): 電源を入れ直しても復活しない。 ※電源の入り切りを試す。

5回目照射後(積算 3040Gy): 電源を入れ直すと復活。ただし、10秒程度したのち停止

7回目(積算 3616Gy): 電源を入れても復活しない。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.139

5) 検討内容 ④ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価

○まとめ

映像が停止した積算線量は、新品1584Gy、旧品2060Gyで、個体によって差が生じた映像の乱れ(色の変化)は、積算線量1440Gy付近で確認した

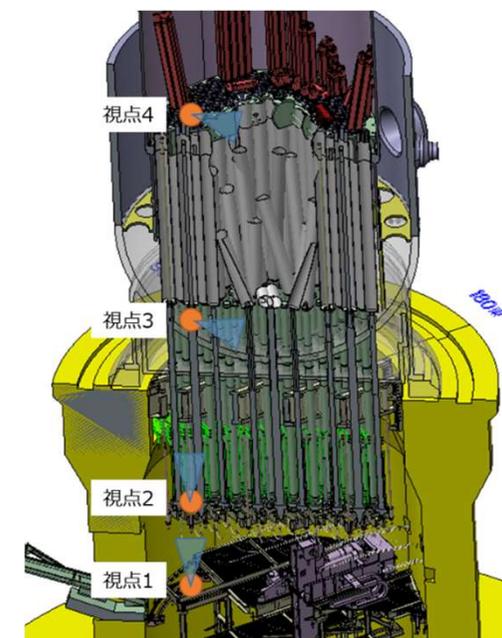
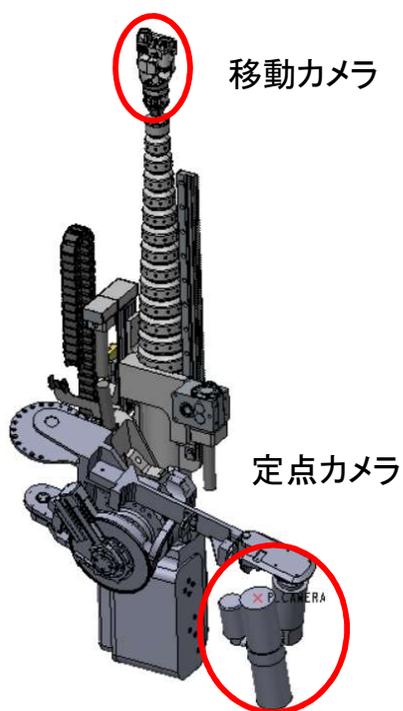
	映像の乱れ (色の変化)	映像の停止
未照射カメラ	1440Gy	1584Gy
昨年度1600Gy照射済 カメラ	- (昨年度の試験終了 後確認)	2060Gy

5) 検討内容

- ⑤アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価

○背景

- 2021年度は、シミュレータを用いて、取り出し用アームアクセス装置に搭載されているカメラ(定点カメラ)と調査装置に搭載されているカメラ(移動カメラ)の2つの模擬映像画像(対象物表示、定点からの俯瞰表示)を同時に取得することを可能にした。
- 2022年度は、シミュレータを用いて、テレスコパイプの収縮時／伸展時や、傾斜時における定点カメラ／調査装置カメラの視野を確認し、装置全体の運用方法の検討を行う。



使用した構造物の3Dモデル

5) 検討内容

- ⑤アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価

○検討方針

- 想定した穴位置へテレスコピック式アクセス装置をアクセスさせる際の装置の運用手順を検討する。
- シミュレータを用いて、穴への位置合わせ時に、アーム定点カメラ／調査装置カメラで得られると想定される模擬映像画像を取得する。また、位置ずれがあった場合に得られる模擬映像画像を取得する。
- 得られた模擬映像画像を基に、装置運用手順の見直しを行う。

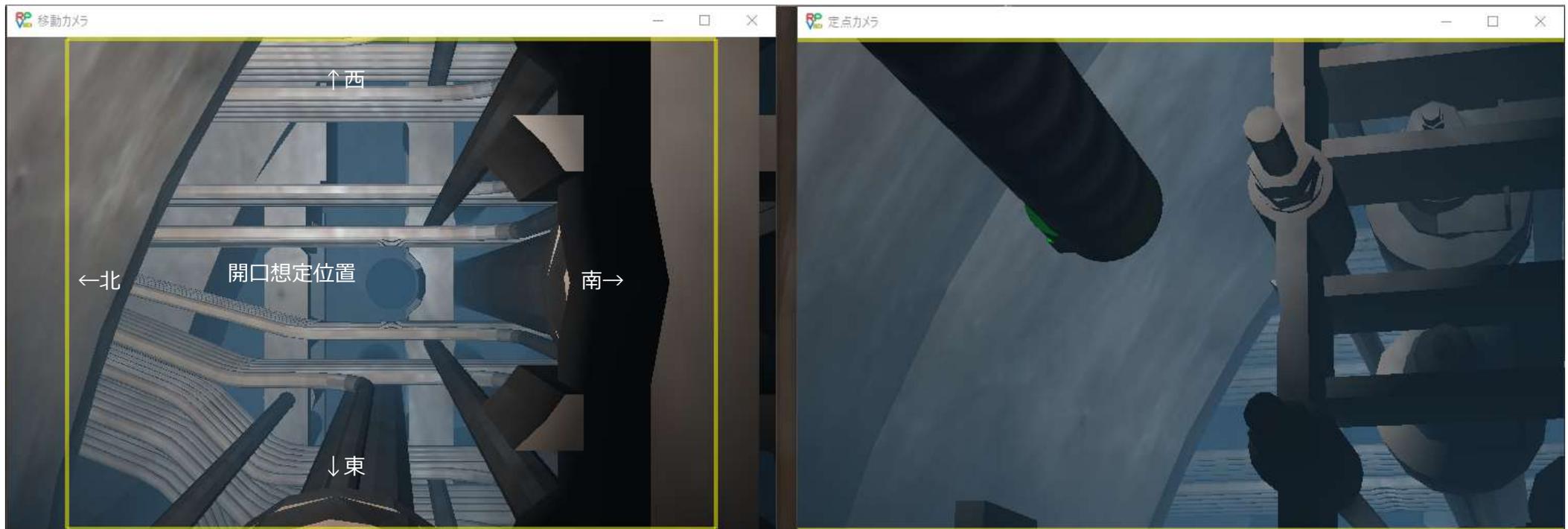
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.142

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態でのカメラ映像

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.143

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態から2000mm伸展時でのカメラ映像

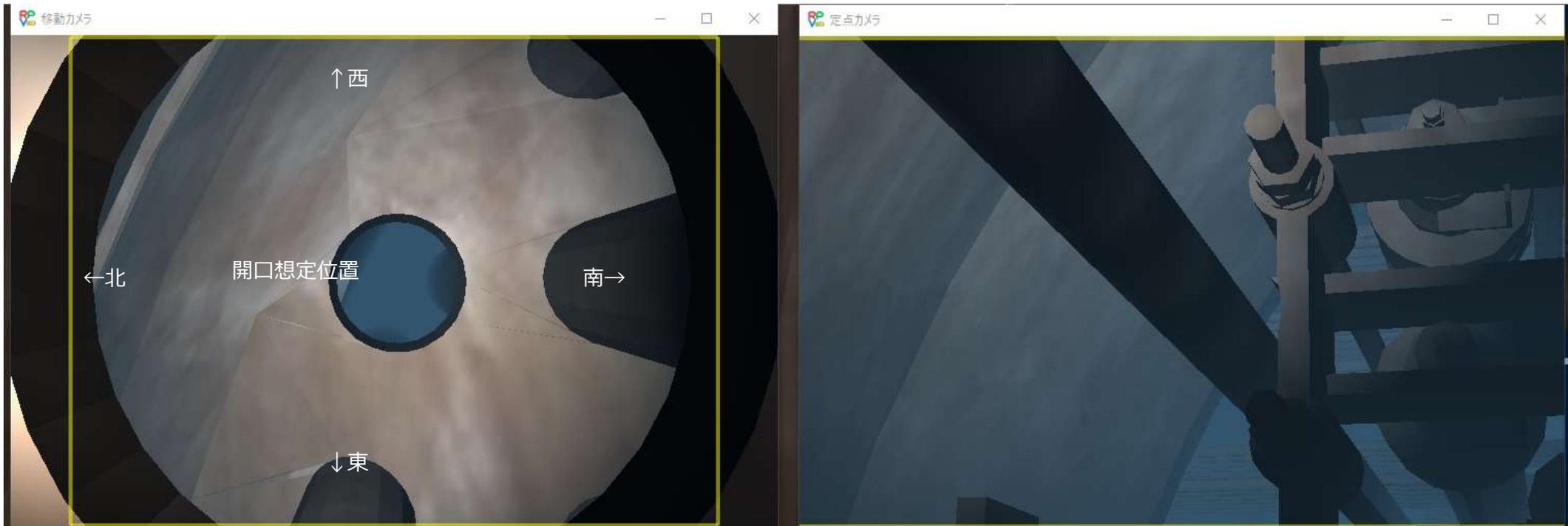
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.144

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態から3500mm伸展時でのカメラ映像

- ⇒アーム定点カメラはおおよそのテレスコパイプの挙動のみ確認が可能
- ⇒開口中心位置に調査装置があるかは、開口部中心がカメラ映像中心位置にいるかで判断
- ⇒実機での開口部の寸法は不明なため、開口部寸法が判断できる機能が必要

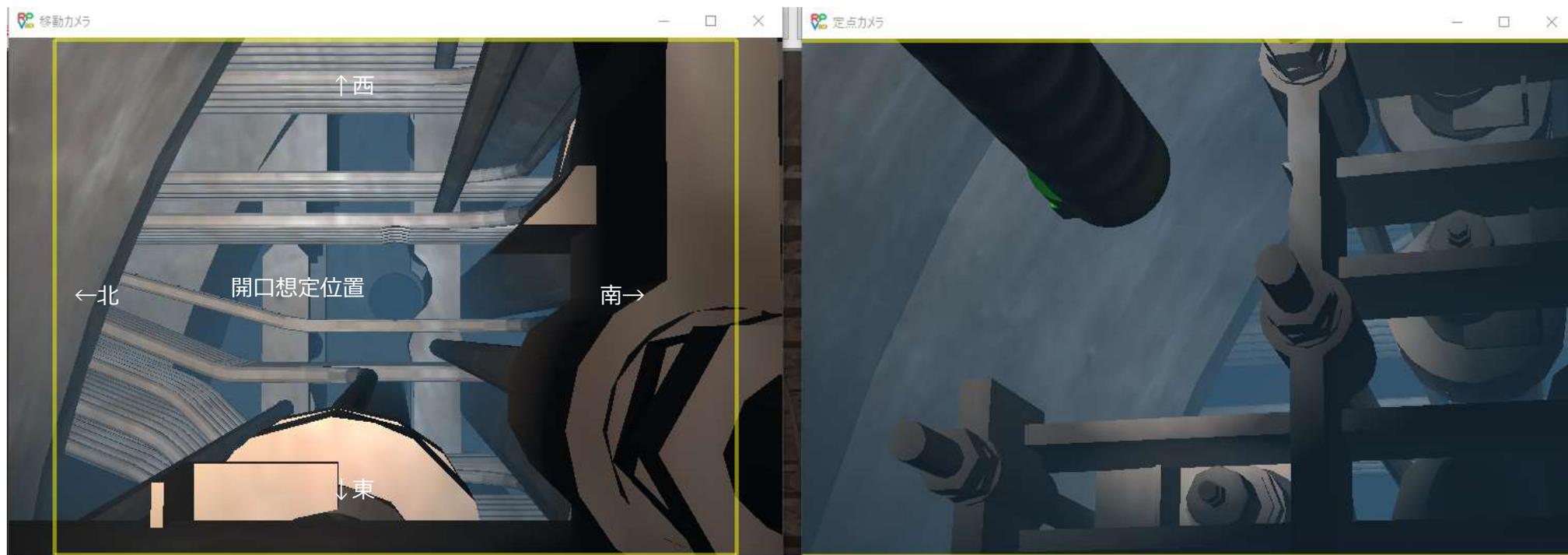
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.145

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態でのカメラ映像(西側に2°傾き)

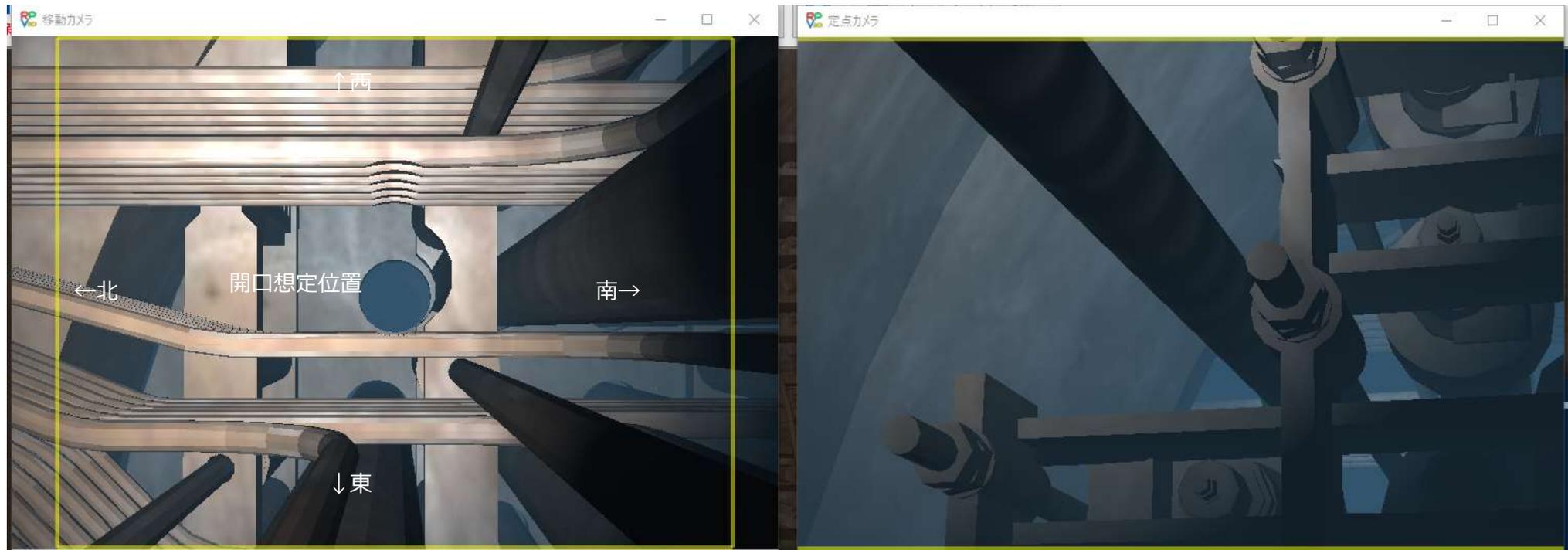
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.146

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態から1000mm伸展時のカメラ映像(西側に2°傾き)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.147

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態から2000mm伸展時のカメラ映像(西側に2°傾き)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.148

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



2号機 テレスコ収縮状態から3000mm伸展時のカメラ映像(西側に2°傾き)

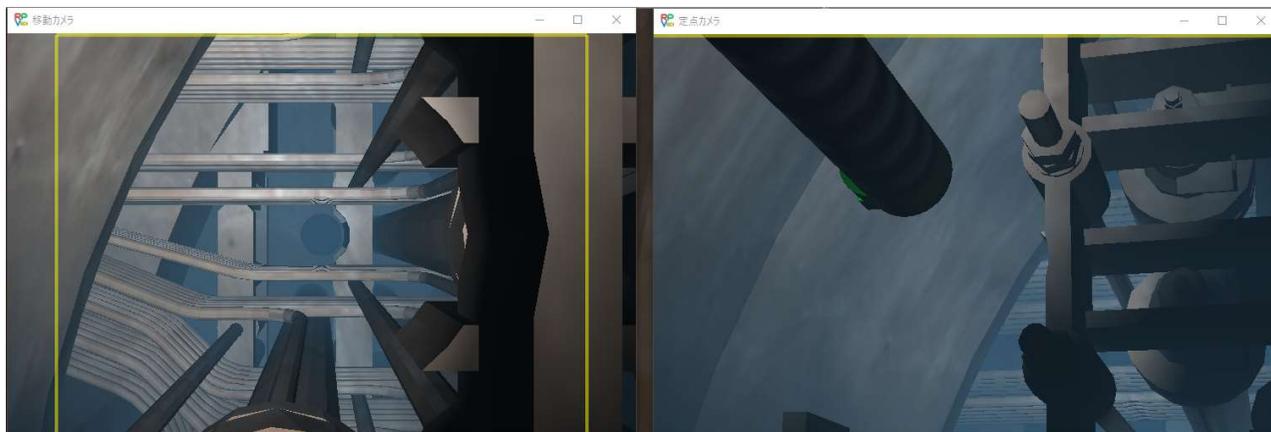
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

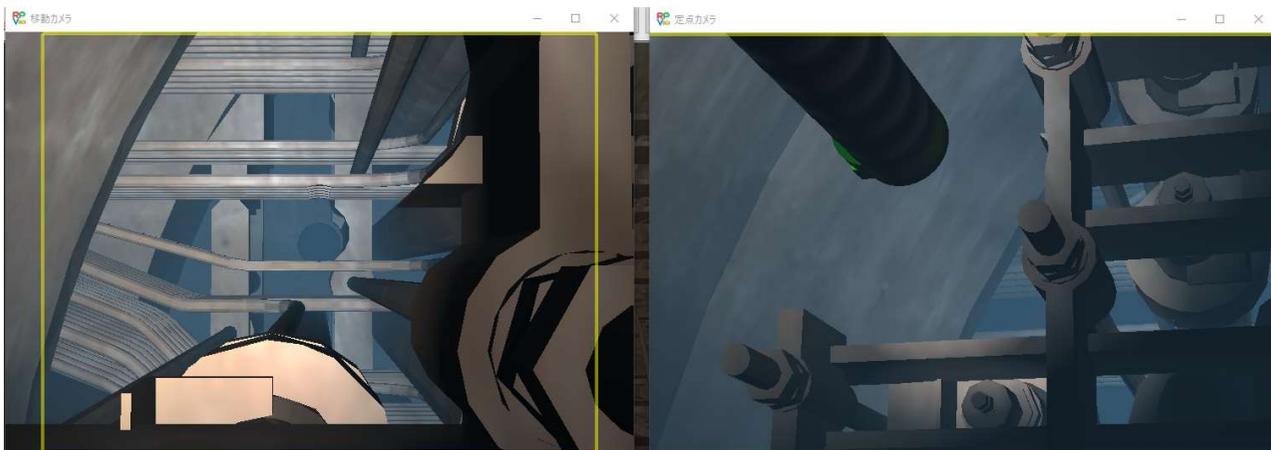
No.149

5) 検討内容

- ⑤ アーム定点カメラによるテレスコの通過クリアランス、伸展量認識可否の評価
- ⑥ 調査装置カメラによる開口通過可否、テレスコ姿勢の補正方向判断可否の評価



テレスコパイプが鉛直の場合



テレスコパイプが2° 傾いている場合

⇒大きく傾いている場合を除き、傾きは映像のみでは判断は困難
⇒テレスコパイプ自身の傾きを判断できる機能が必要

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

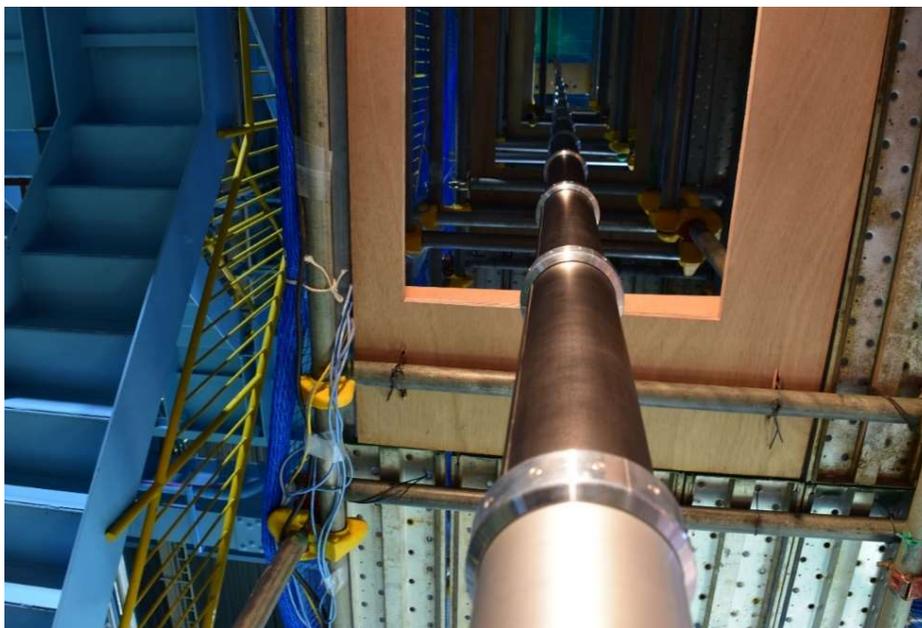
No.150

5) 検討内容

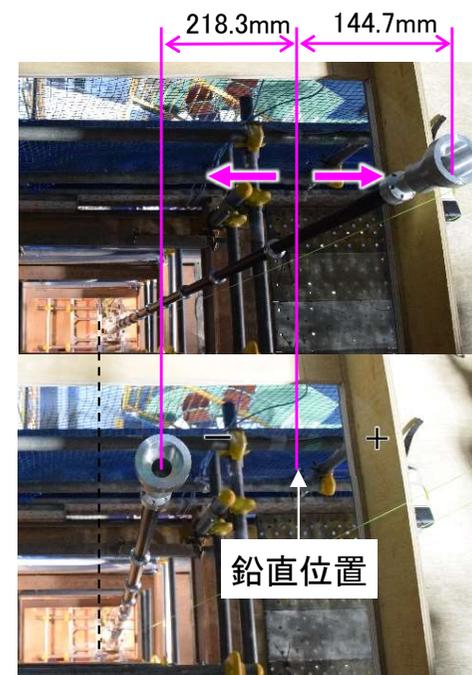
- ⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制
- ⑧ 各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

○背景

・2021年度の試験にて、14段テレスコ伸展時にテレスコパイプ側面にある回転防止レールの方向に傾斜する傾向があること、各パイプのガタが一方向に偏るとテレスコパイプの先端ずれ量が $+144.7\sim-218.3\text{mm}$ (テレスコパイプの回転防止レールが付いている方向がマイナス)あること、非常時収縮において全伸展状態からパイプ内圧を減圧するとテレスコパイプが徐々に傾き、先端14段目が5.5度以上に傾いた状態となること等の課題を確認した。



全段伸展時



ガタによる傾斜で発生する先端ずれ量

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.151

5) 検討内容

⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制

○ 目的

2021年度の14段テレスコパイプの成立性評価試験では、テレスコパイプが回転抑制レールの方向に傾く傾向があることを確認した。試験時にテレスコパイプがレール方向に 0.1° 傾いて据え付けられていることを確認していたが、全伸展した際のテレスコパイプ先端のずれ量に換算すると約10mm程度の傾きとなり、伸展挙動には影響がないものと判断し、その据付け状態で試験を実施した。

テレスコパイプが回転抑制レール方向に傾斜する要因には、テレスコパイプの据付角度と、回転抑制レールの有無があると推定される。そこで、傾斜抑止対策の検討に向けて、まず2021年度の装置および試験体系において、昨年度確認した傾斜挙動の再現性、回転抑止レールの配置、テレスコパイプの据付角度に対する依存性について確認した。



14段テレスコ 全段伸展状態

○ 試験計画

No.	試験名	目的	試験条件
1	2021年度試験の再現性確認	回転抑制レール側に傾斜する事象が再現するか確認する。	・回転抑制レール方向: ①2021年度の試験時と同じ方位 ②①の方位から 180° 反対側の方位 ・据付角度:鉛直
2	テレスコパイプを微小に傾けた際の傾斜方向確認	微小な傾きが傾斜方向を一方向に定める要因であるか確認する	・回転抑制レール方向: 2021年度の試験時と同じ方位 ・据付角度:回転抑制レールの反対側に 0.1° 傾斜
3	回転抑制レールの配置を変更した際の傾斜抑制効果確認	これまで回転抑制レールを一方向に配置していたが、均等に配置することでテレスコパイプの傾斜を抑制できるか評価し、最も傾斜を抑制できる位相パターンを確認する	・回転抑制レール方向: 90° ずつ螺旋状に配置 ・据付角度:鉛直

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

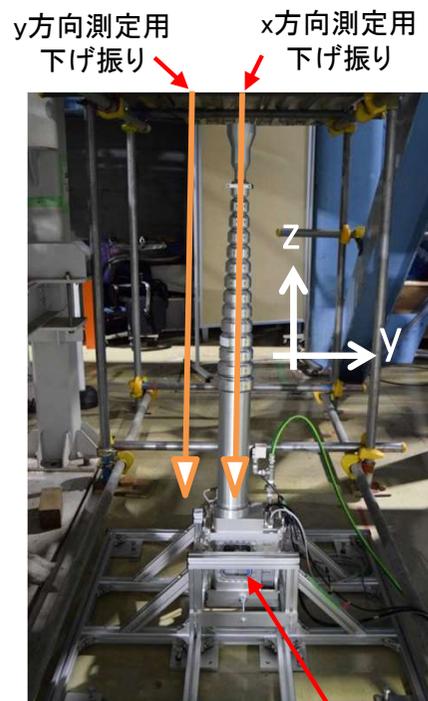
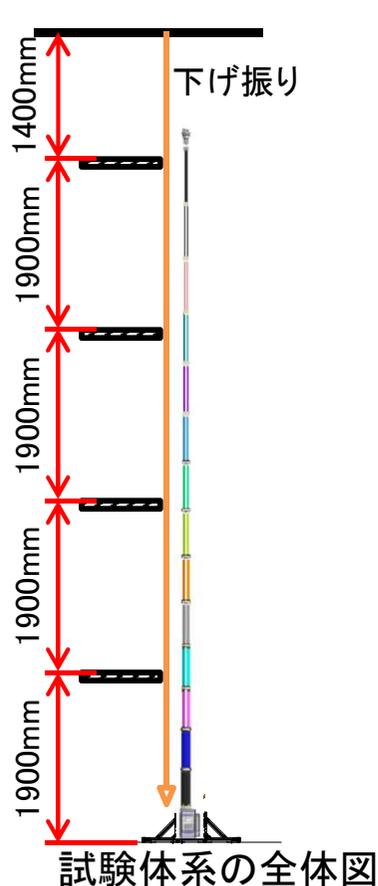
No.152

5) 検討内容

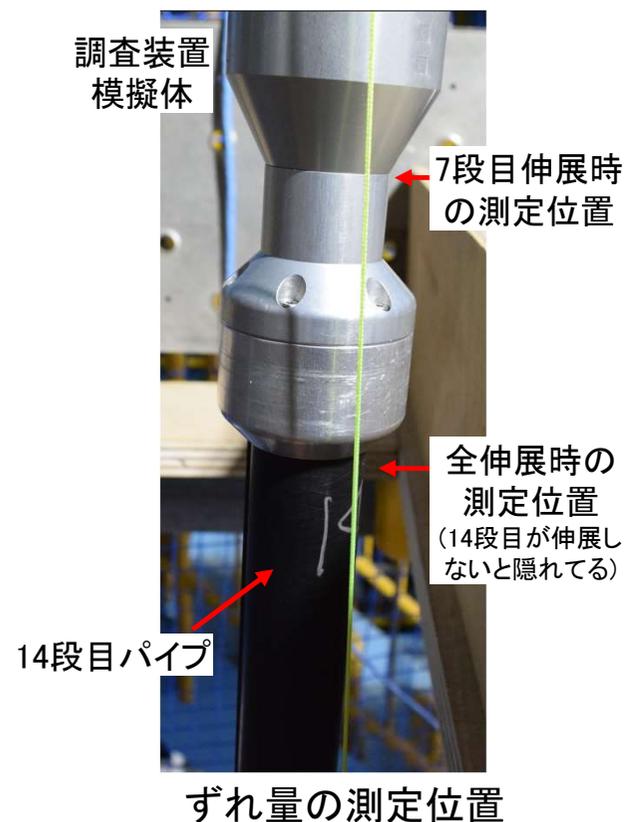
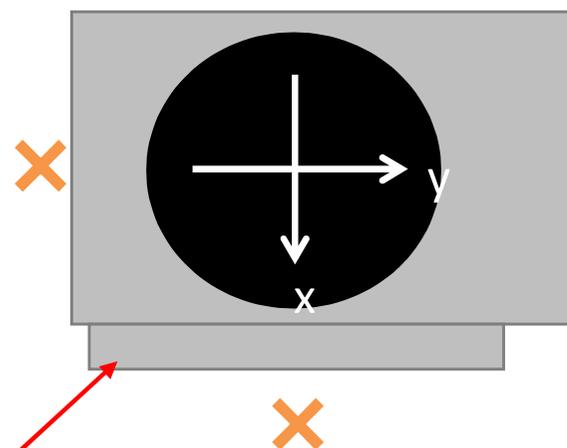
⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制

○ 試験体系

- ・2021年度の試験と同様にテレスコパイプの周りに足場を設置し、テレスコパイプを伸縮動作させた。テレスコパイプの傾き方向と先端ずれ量は、パイプに対して+x方向と-y方向の2ヶ所に設置した下げ振り(糸)との距離を測定することで行った。
- ・テレスコパイプは1段目パイプが鉛直(x、yの2方向について傾斜計測定値 90.0°)となるように据え付けた。
- ・テレスコパイプの傾斜方向を判別できる7段目パイプまでを伸展させた際の先端ずれ量を3回、14段全伸展させた際の先端ずれ量を1回測定した。



黒円: テレスコパイプ
灰色: ケーブル巻取り装置
×: 下げ振り吊り下ろし位置



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

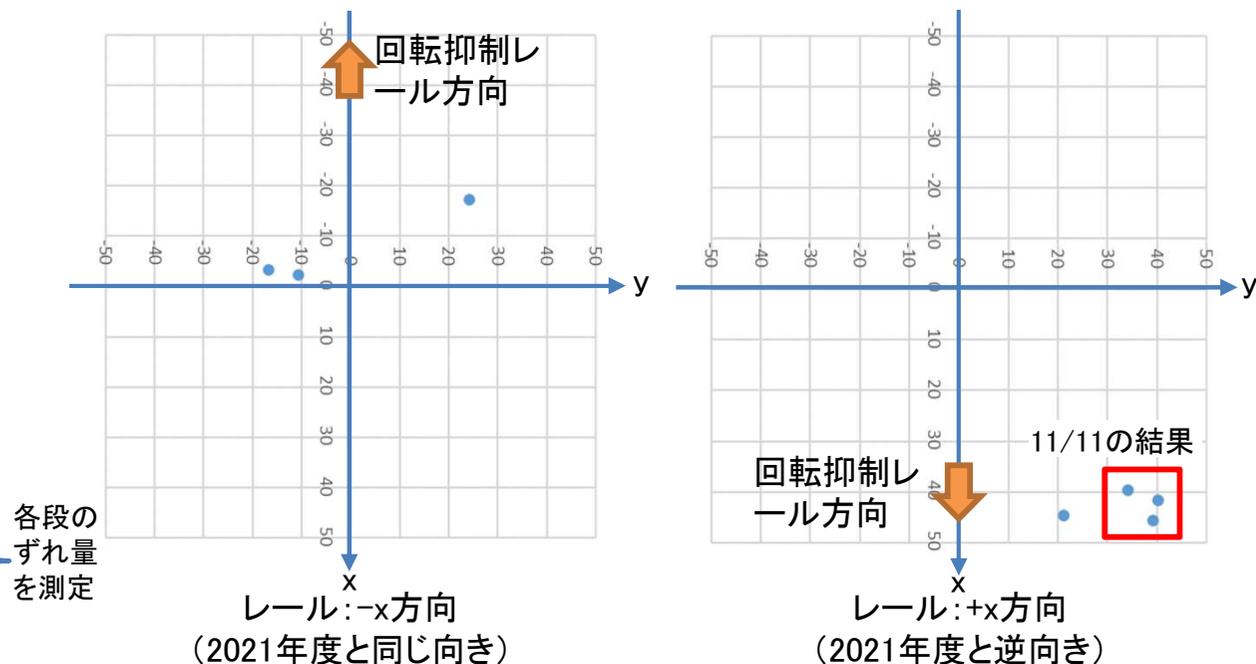
5) 検討内容

⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制

○試験No.1: 2021年度試験の再現性確認

2021年度の試験と同様にテレスコパイプの伸展に伴い常に回転抑制レール方向に傾くか確認するために、テレスコパイプを精度良く鉛直に据え付け、2021年度と同様にレールを-x方向に配置した場合と+x方向に配置した場合の2条件で試験を実施。

回転抑制レール方向	回数 (実施日)	先端ずれ量[mm]				傾斜方向
		7段目伸展時		14段全伸展時		
		δx	δy	δx	δy	
-x方向 (2021年度試験時と同じ向き)	1回目(2022/9/21)	-17	24	-	-	-x、+y
	2回目(2022/10/21)	-2	-11	-	-	-y
	3回目(2022/10/28)	-3	-17	-1	-128	-y
+x方向 (2021年度試験時と逆の向き)	1回目(2022/11/08)	45	21	126	124	+x、+y
	2回目(2022/11/11)	40	34	-	-	+x、+y
	3回目(2022/11/11)	46	39	-	-	+x、+y
	4回目(2022/11/11)	42	40	-	-	+x、+y



7段目伸展時の先端ずれ量

試験結果

- ・伸展とともにx方向は回転抑制レール方向に傾く傾向があり、レールの反対側には一度も傾かなかった。一方で、y方向はプラス/マイナスどちらにも傾き、伸展に伴う傾き方向は不定で、2021年度試験の傾き方向は再現しなかった。
- ・同じ条件でも試験日によって傾き方向や先端ずれ量が変わるが、レールを+x方向に配置した11/11の結果のように同一試験日の中であればほぼ再現することが分かった。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.154

5) 検討内容

⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制

○試験No.2: テレスコパイプを微小に傾けた際の傾斜方向確認

試験No.1の結果、2021年度試験の傾き方向が再現せず不定であることが分かった。

2021年度の試験では1段目パイプがレール方向に 0.1° 傾いていたことからレール方向に傾く傾向であった可能性も考えられる。

試験No.1ではレールの反対側には一度も傾かなかったため、試験No.2ではレールと反対方向に 0.1° 傾けて傾斜方向を評価した。

回転抑制 レール方向	回数(実施日)	先端ずれ量[mm]				傾斜 方向
		7段目伸展時		14段全伸展時		
		δx	δy	δx	δy	
-x方向 (2021年度試 験時の方位)	1回目(2022/12/2)	18	-19	—	—	+x、-y
	2回目(2022/12/5)	18	-17	—	—	+x、-y
	3回目(2022/12/5)	17	-20	—	—	+x、-y

3回とも、レールが配置されている-x方向に対して、 0.1° 傾けた+x方向に傾斜する傾向が得られた。

試験結果

- ・精度よく鉛直に据え付けた際は回転抑制レールの反対方向に傾くことは無かったが、レールの反対方向に 0.1° 傾けて据え付けるとその方向に傾いて伸展したため、テレスコパイプの伸展に伴う傾斜方向は据え付け時の姿勢精度に影響を受けることが分かった。2021年度試験でレール方向にのみ傾きながら伸展した要因も、据え付け時の傾きによるものと考えられる。

5) 検討内容

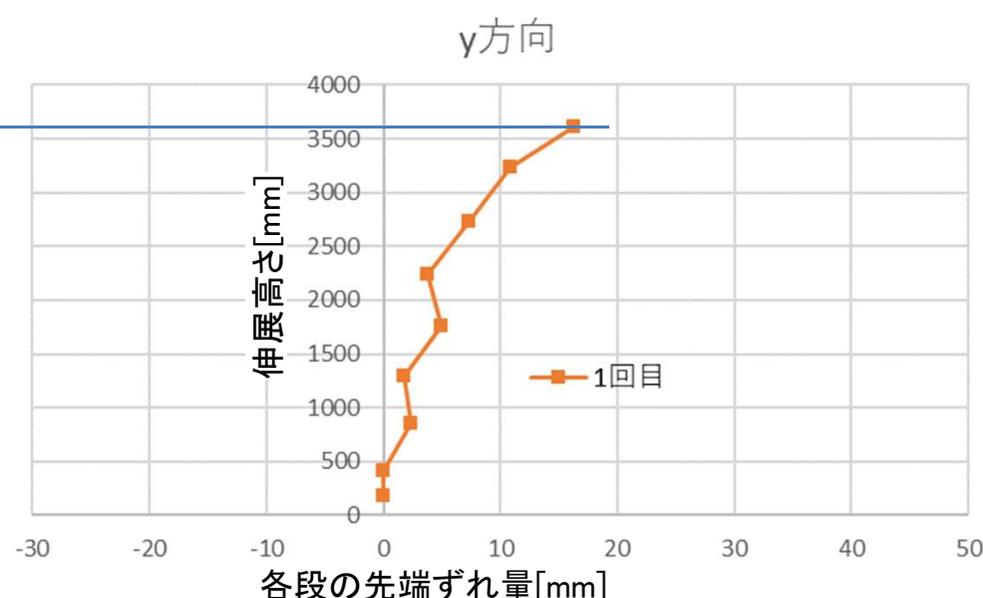
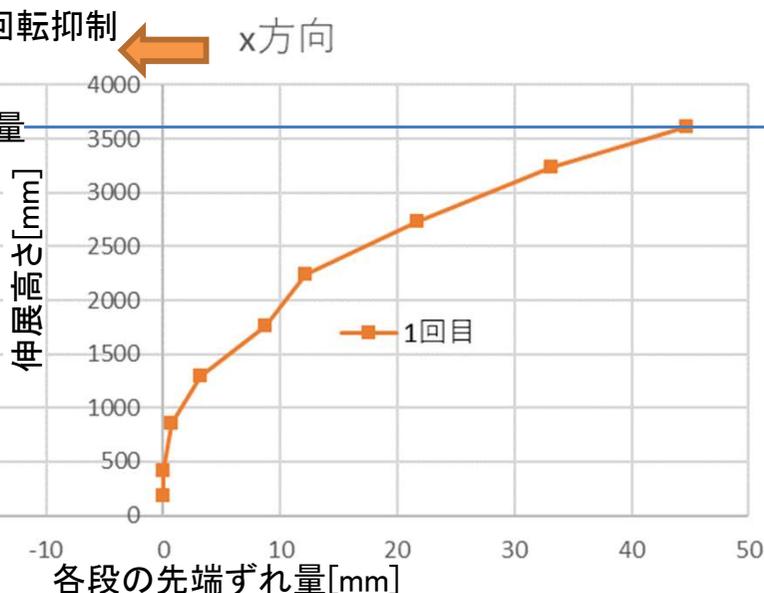
⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制

○ 試験No.3: 回転抑制レールの配置方向を変更した際の傾斜抑制効果確認

・ 試験No.1の結果から、テレスコパイプは伸展に伴いx方向だけでなくy方向にも傾くことが分かっている。x方向/y方向の2方向について傾斜を抑制することを目的とし、回転抑制レールの方位を各段で90° 変化させて螺旋状に配置して評価した。

回転抑制レール方向	回数	先端ずれ量[mm]				傾斜方向
		7段目伸展時		14段全伸展時		
		δx	δy	δx	δy	
90° ごとの螺旋状に配置	1回目	45	16	185	124	+x、+y
-x方向(試験1の結果)	3回目	-3	-17	-1	-128	-y
+x方向(試験1の結果)	1回目	45	21	126	124	+x、+y

2段目パイプの回転抑制レール方向



試験結果

・ 14段目まで伸展させた際の先端ずれ量が、レールを一方向にした時と比較して大きいため、回転抑制レールの配置を変更しても、傾斜抑制の効果が無いことが分かった。根元側のパイプの傾斜の影響が大きいためと考えられる。

5) 検討内容

⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方に傾斜する挙動の抑制

○ テレスコパイプの傾斜要因確認試験のまとめ

・テレスコパイプを精度良く鉛直に据え付けた場合、2021年度の試験と同様に伸展に伴い回転抑制レール方向に傾く傾向が再現されたものの、レールと直交する方向にも傾き、その方向は不定となった。また、傾斜方向・先端ずれ量は同一条件・同一試験日であれば再現性があるものの、試験日が変わると変化した。

➡ 傾き方向にはばらつきがあり、伸展前に予想することは困難と評価。

・テレスコパイプの据付を鉛直に対して 0.1° と微小に傾けた場合、伸展時にその方向に傾いた。

➡ テレスコパイプの伸展方向は伸展前の傾き方向が微小でも影響を受けると評価。
また、2021年度の試験にてテレスコパイプが伸展に伴い回転抑制レール側に傾いた事象は、据付時の傾きによるものであると評価。

・回転抑制レールの方位を各段で変更した場合、レールを1方向にした場合よりもテレスコパイプの先端ずれ量が大きくなった。

➡ 回転抑制レールの方位変更は効果がないと評価。
今年度の試験では昨年度と同様、回転抑制レールは一方位に配置することとした。

5) 検討内容

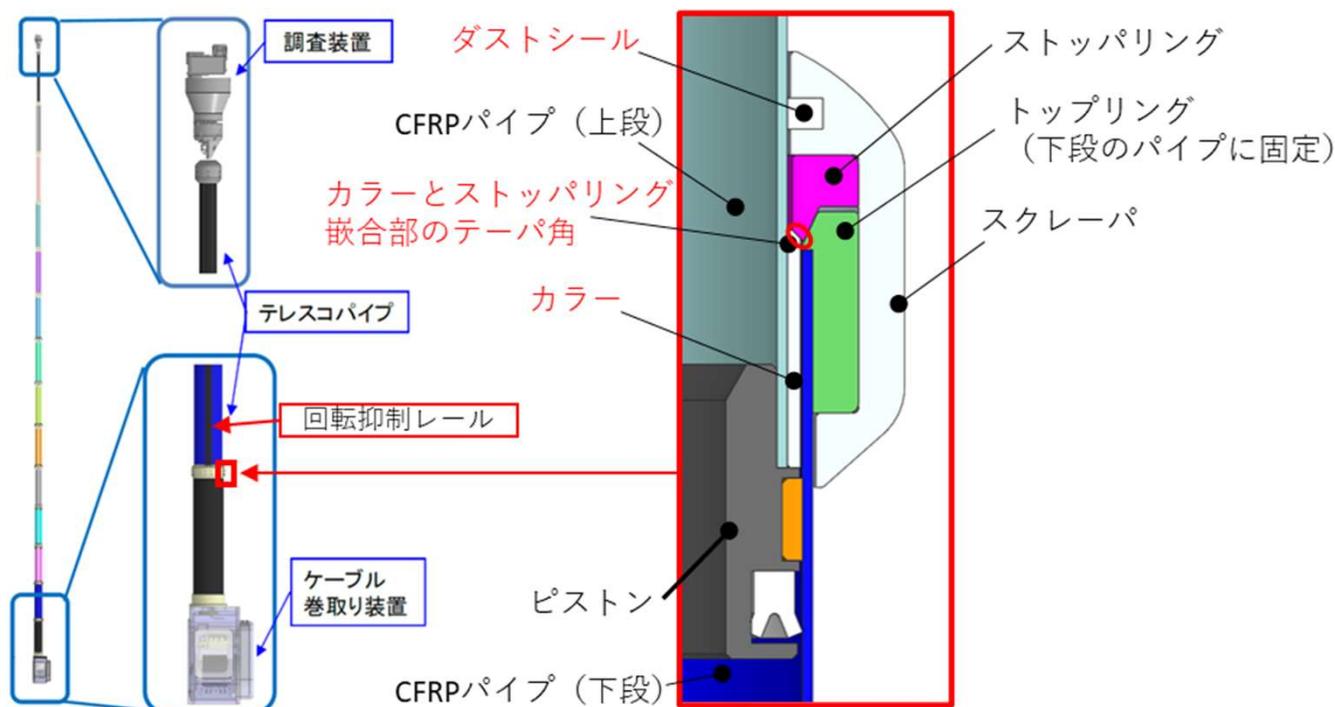
⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

○目的

・テレスコパイプ伸展時の傾きやガタが発生する要因として、パイプ同士の嵌め合い形状とパイプ間隙間が考えられる。
今年度は、テレスコパイプの傾斜防止のために、以下の対策を検討した。

- ①カラー／ストップリングのテーパ角度の変更(嵌め合いやすくする)
- ②カラー径の大径化(パイプの間隙を狭める)
- ③ダストシールを硬いものへ変更(ぐらつきを抑制する)

・本対策での改善効果の有無、テレスコの伸縮動作への影響について評価した。



5) 検討内容

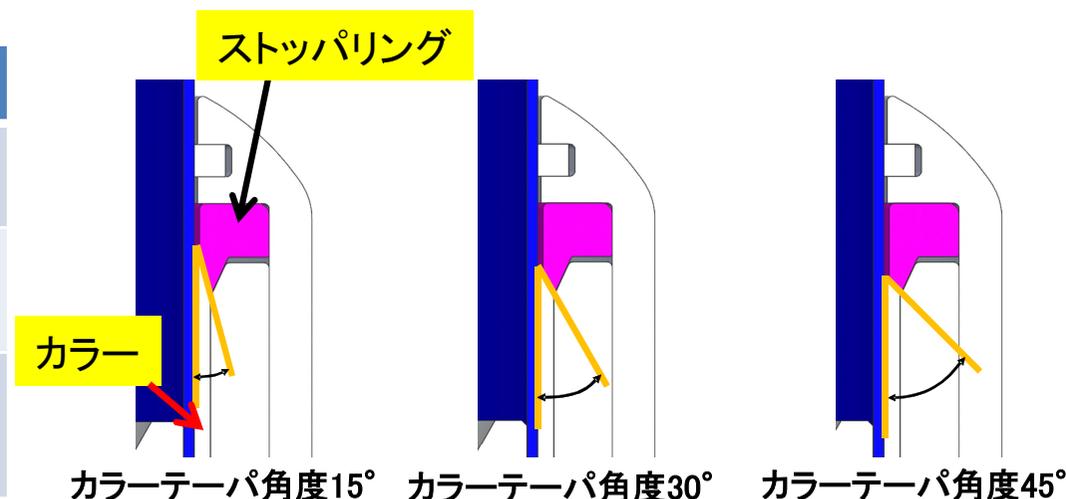
⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

①カラー／ストッパリングのテーパ角度の変更／②カラー径の大径化

- ・カラーのテーパ角度は2021年度は45°であったが、より鋭角にすることで嵌合部が嵌りやすくなり剛性も大きくなると想定される。一方、噛みこみが生じてテレスコパイプの収縮時に抜けにくくなる可能性があることから、テーパ角は15° / 30° / 45° の3パターンを試験で比較評価して選定することとした。
- ・カラーとパイプとの隙間を小さくする(0.2~0.4mm⇒0.1~0.2mm)場合、2021年度よりも摺動抵抗が増加する可能性がある。また、摺動部材質の硬度化を検討しているが、摺動抵抗も異なると可能性がある。

⇒テレスコパイプの伸縮動作に影響するほど摺動抵抗が増加するか、テーパ角によって摺動抵抗に違いがあるかを試験で評価することとした。

項目	2021年度	2022年度対策案
カラーテーパ角	45°	15°、30°、45° から選定
カラーとパイプとの隙間	0.2~0.4mm	0.1~0.2mm
カラーの摺動部材質の硬度化	0.1mm厚 超高分子量 ポリエチレンテープ	0.03mm厚 フッ素樹脂コーティング



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.159

5) 検討内容

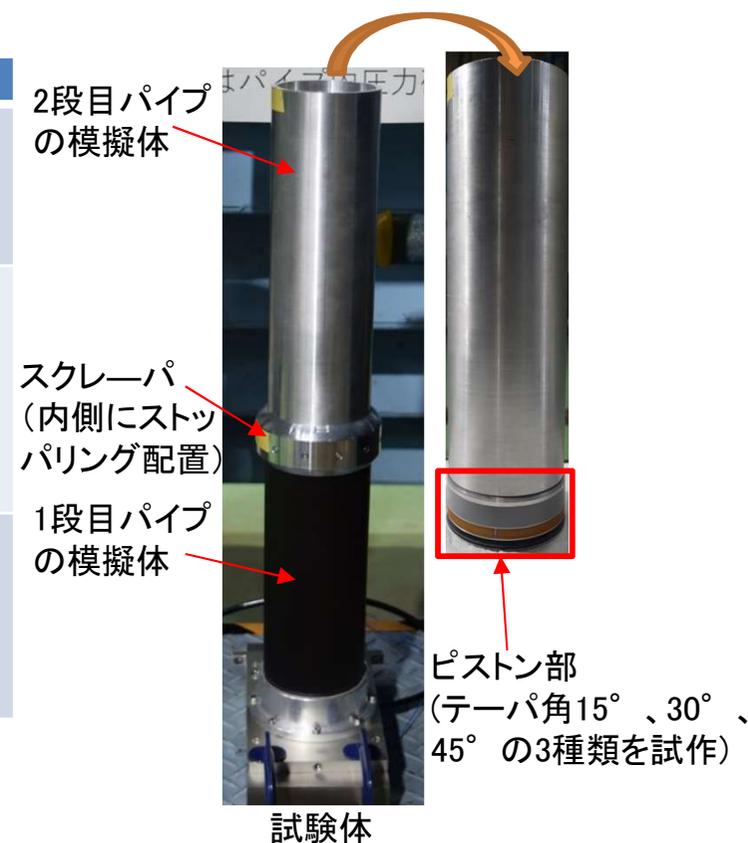
⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

①カラー／ストップリングのテーパ角度の変更／②カラー径の大径化

○試験計画と試験体

- ・カラーテーパ角度を鋭角にすると、ストップリングに嵌りやすくなりテレスコパイプの傾斜抑制効果を得られる可能性があるが、かみこみ等により収縮時に抜けにくくなる可能性がある。そこで、傾斜抑制効果と嵌合部を外すのに必要な力を測定し、テーパ角度を選定する(試験1/2)
- ・カラーの径を太くすることで摺動抵抗が増加する可能性がある、摺動抵抗を測定してテレスコパイプの伸展に影響するか確認する(試験1)

試験項目	目的	試験概要	試験条件
試験1. カラーの径と摺動部材質を変更した際の摺動抵抗測定	カラー径を太くしてカラーとパイプの間隙を狭くすること、摺動部材質を変更することによる摺動抵抗への影響を確認する。	1段目パイプを模擬したパイプに、カラーを付けたピストンを入れる。ピストンに付けたワイヤを荷重計で引くことで摺動抵抗を測定する。	・カラーテーパ角度: 15°、30°、45°
試験2. カラーテーパ角度の違いによる嵌合を外すために必要な力の比較	カラーテーパ角度を鋭角にすると、ストップリングに嵌りやすくなり、テレスコパイプが収縮する際の力が増える恐れがあるため、各テーパ角度において、嵌合を外すために必要な力を確認し、評価する	1段目パイプを模擬したパイプに、カラーを付けたピストンを用い、空圧をかけてピストンのカラーを1段目パイプのストップリングに嵌った状態にする。その後、圧を抜いて荷重計を用い垂直荷重をかけ嵌合を外すために必要な力を測定する。	・カラーテーパ角度: 15°、30°、45° ・供給圧力:0.1MPa、0.2MPa
試験3. カラーテーパ角度の違いによる傾斜抑制効果確認	カラーテーパ角度を鋭角にすると、ストップリングに嵌りやすくなり、傾斜抑制効果が期待できる。カラーテーパ角度に対する傾斜抑制効果を評価する	1段目と2段目の太さを模擬したパイプを用い、空圧をかけて2段目パイプのカラーを1段目パイプのストップリングに嵌った状態にする。2段目パイプの先端にガタを潰すまで水平荷重をかけて、2段目パイプ先端の変位を測定する。	・カラーテーパ角度: 15°、30°、45° ・供給圧力:0.03MPa、0.1MPa ・水平荷重:ガタを潰すまで



注) 試験の供給圧力について、0.03MPaはテレスコパイプの2段目パイプを伸展させる際の供給圧力であり、0.10MPaは昨年度までテレスコパイプに供給してきた圧力の最大値である。本年度は、傾き抑制のために、テレスコパイプへ供給する圧力を増やすことを検討し、0.20MPaはその最大値である。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

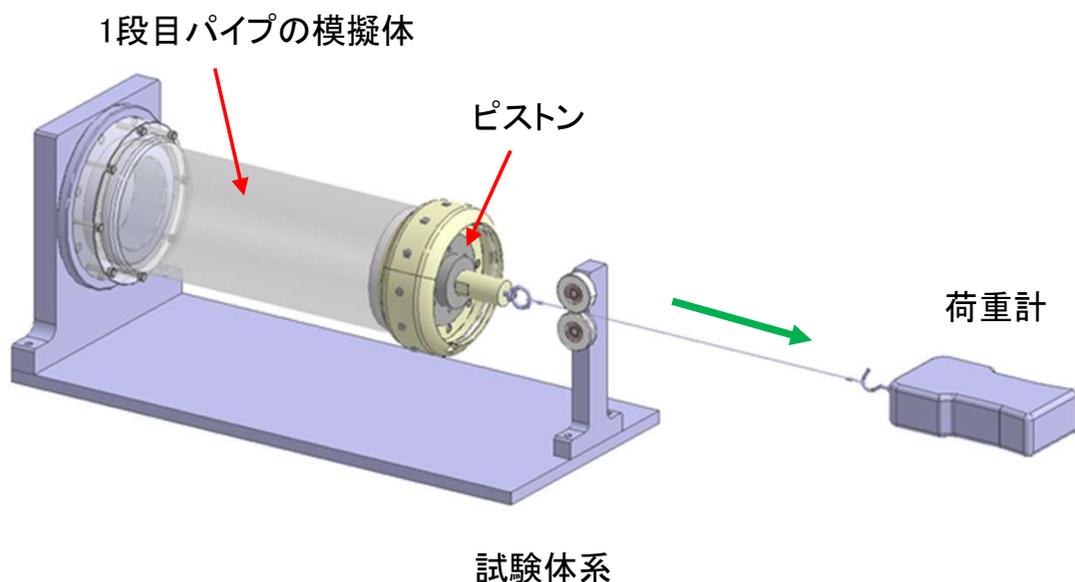
○試験1: カラーの径と摺動部材質を変更する際の摺動抵抗測定

試験目的

カラー径を太くしてカラーとパイプの間隙を狭くすること／摺動部材質を変更することによる摺動抵抗への影響を確認する。

試験概要

2段目のピストンを1段目パイプに入れ、ピストンを動かす際の摺動抵抗を荷重計により測定し、カラーのテーパ角度の影響を比較する。



測定結果

カラーテーパ角度	15°	30°	45°
摺動抵抗	約10N		

試験結果

・摺動抵抗はどの角度でも約10Nであった。

⇒カラーテーパ角度で有意な差はないことを確認。

⇒テレスコパイプ伸展時には2段目パイプには約130Nの推力が発生していること、テレスコパイプ収縮時に用いるケーブル巻取り装置の定格引張力は170Nであることから、摺動抵抗は伸展／収縮時の力と比べ十分小さいため、テレスコパイプの動作に問題ないと評価。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

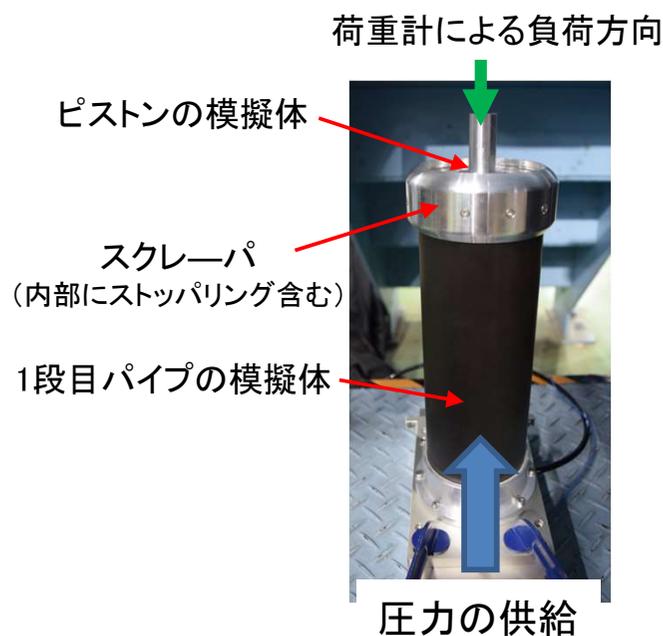
○試験2: カラーテーパ角度の違いによる嵌合を外すために必要な力の比較試験

試験目的

カラーテーパ角度を鋭角にするとストッパリングに噛みこみやすくなり、テレスコパイプを収縮させる際の必要引張力が増える可能性があるため、各テーパ角度においてカラーとストッパリングの嵌合を外すために必要な力を評価する。

試験概要

1段目パイプの短尺模擬体とカラーを付けたピストンの模擬体を用いて試験を実施。カラーがストッパリングに嵌る位置にピストンを配置し、所定の圧力(0.1MPa/0.2MPa)をかけた後にパイプ内を大気開放し、ピストンを上方から荷重計で押して下がり始める際の力を測定する。



嵌合を外すために必要な力※の測定結果 (各5回測定した平均値)

供給圧力	テーパ角度		
	15°	30°	45°
0.1MPa	27N	30N	28N
0.2MPa	47N	27N	27N

※荷重計の測定値にピストンの重量を足した値

・試験結果

30° と45° では、供給圧力を昇圧してもピストンを下げるために必要な力に有意な差は無く、必要引張力に影響ないことが分かった。一方、15° では、供給圧力を0.2MPaにすると、測定値が増加することもあり、昇圧すると必要引張力に影響することが分かった。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

○試験3: カラーテーパ角度の違いによる傾斜抑制効果確認

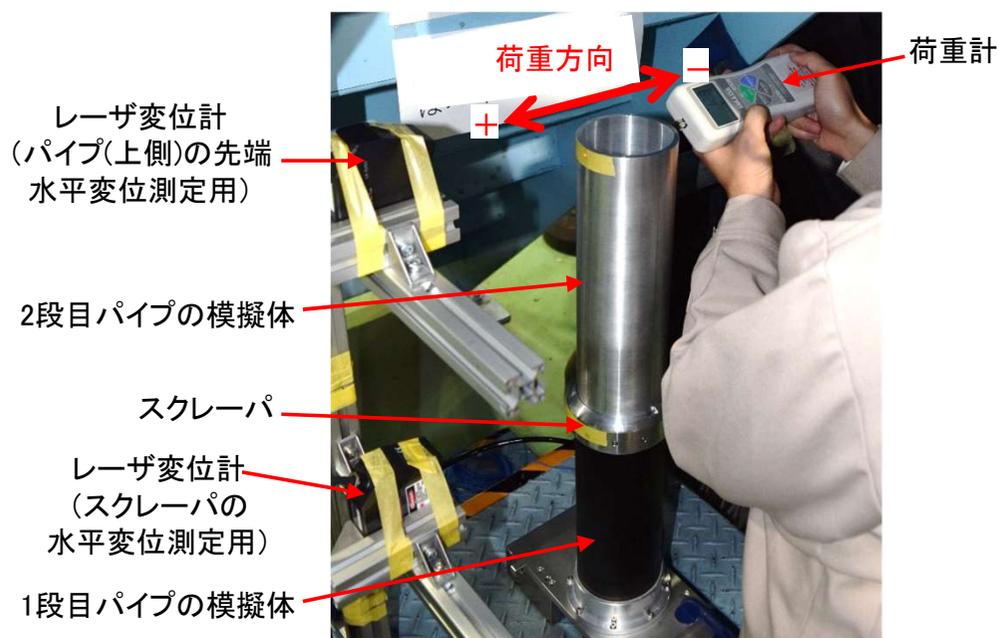
試験目的

カラーテーパ角度を鋭角にすると、ストッパリングに嵌りやすくなり傾斜抑制効果が期待できると考えられる。

カラーテーパ角度によってどの程度傾斜を抑制できるか比較評価する

試験概要

1段目/2段目パイプの短尺模擬体を用いて0.03MPa/0.10MPaの圧力をかけ、2段目パイプの先端に水平荷重を+方向と-方向にかけて、レーザ変位計により先端の変位を測定することでガタ幅を評価する。また、2段目パイプ先端を荷重点としてガタを潰すのに必要な水平荷重を測定する。



試験体系

ガタの幅の比較
(+方向と-方向のガタの合計)

供給圧力	15°	30°	45°
0.03MPa (テレスコ伸展 時の使用圧力)	5.7mm	3.2mm	2.1mm
0.10MPa	4.3mm	3.2mm	1.7mm

・試験結果

ガタ幅については、供給圧力を変えても大小関係は変化せず、 $45^\circ < 30^\circ < 15^\circ$ であった。

ガタを潰すのに必要な水平荷重もテーパ角度 45° が最も大きく剛性が高かった。これは圧力が変わっても同じ傾向であった。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

①カラー／ストッパリングのテーパ角度の変更／②カラー径の大径化 試験結果のまとめ

- カラーのテーパ角度(15° /30° /45°)の選定と、カラー径を太くすることの影響を確認するために、テーパ角度を変更し、摺動抵抗と、パイプの嵌合を外すために必要な力と、傾き抑制効果を確認した。
- 摺動抵抗については、カラー径を太くした場合、テーパ角度を変更しても有意な差は無く約10Nであり、テレスコパイプ伸展・収縮時の力(伸展時:2段目パイプ伸展時に発生する推力約130N、収縮時:テレスコパイプ収縮時のケーブル巻取り装置の定格引張力約170N)に比べ十分小さいことを確認した。

➡ カラー径を太くしてもテレスコパイプの動作に問題ないと評価。

- パイプの嵌合を外す際に必要な力は、テーパ角度30° と45° で有意な差は無く、15° が大きくなることを確認した。
- 傾き抑制効果については、テーパ角度45° が最もガタの幅が小さく、剛性も大きくなることを確認した。

➡ テレスコパイプに用いるカラーのテーパ角度は昨年と同様、45° として進めることとした。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更

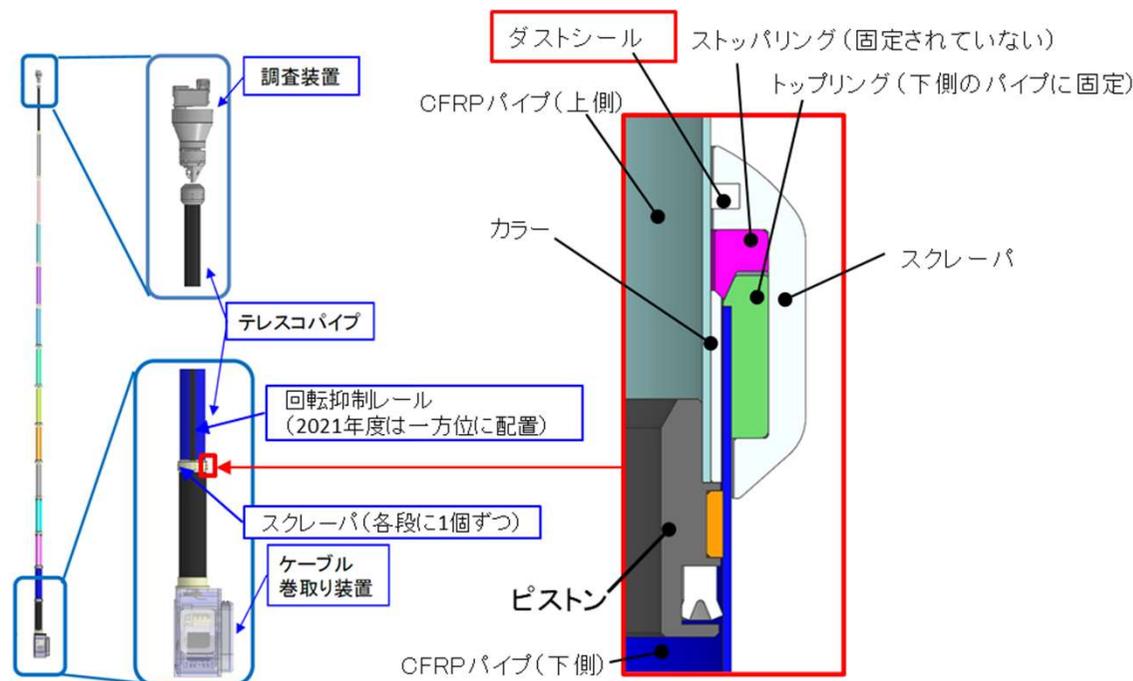
○背景

- テレスコパイプ収縮時にパイプ表面の付着物が装置内部に入り込むのを抑止するため、各パイプにはダストシールを設ける構造としている(下図参照)。
- 2021年度に異物(土、アルミナ)付着時の伸縮動作確認を行った。結果、粉体状の異物が付着してもテレスコ伸展時の内圧や収縮時のケーブル引っ張り力に有意な差はなく、異物付着時でも伸縮動作に問題はないと評価した。
- 一方、使用したダストシールは柔らかく、耐久性(へたりやすさ)に懸念があった。そこで、類似の材質のものを調査し、比較的固めのものを代替候補として選定した。
- ダストシールを変更した際の影響評価として、以下の項目について評価を実施した。

(a) 異物除去性能への影響

(b) テレスコパイプ伸縮動作への影響

(c) 傾斜挙動への影響



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.165

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更

○試験計画

・ダストシール変更する際の影響について、以下の3項目について比較試験を行った。

試験名	目的	試験条件
試験1. 異物除去性能への影響確認	2021年度に試作した14段テレスコパイプの2段目パイプ表面に異物として粉体(土/アルミナ)を付着させて収縮・伸展動作の可否と、除去性能の確認を行う。 (1段目先端のダストシールを変更)	・ダストシール:2022年度ダストシール(2021年度のものは評価済) ・異物:①土、②アルミナ ・付着箇所:2021年度試作の14段テレスコパイプ2段目
試験2. テレスコパイプ伸縮動作への影響確認	変更後のダストシールの方が摺動抵抗が大きくなる可能性があるため、伸縮動作できることを確認する。通常の伸縮動作よりも非常時収縮(パイプ内の減圧のみで収縮)する方がパイプ駆動力が小さく、特に自重の作用と負圧による収縮力が小さい14段目のパイプについて動作確認する。(13段目先端のダストシールを変更)	・ダストシール:2022年度ダストシール
試験3. 傾斜抑制効果への影響確認	テーパ角度の選定に用いた短尺パイプを用い、水平荷重をかけた際の先端変位量2022年度ダストシールと2021年度ダストシールで比較する。	・ダストシール:2021年度ダストシール/2022年度ダストシール ・テーパ角度:45° ・供給圧力:0.03MPa(短尺パイプ:2段目伸展時の圧力)

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更

○試験1: 異物除去性能への影響

試験概要

- テレスコパイプの1段目のダストシールを変更し、2段目パイプ表面に土(粒径 $15\mu\text{m}$) / アルミナ(粒径 $75\text{--}100\mu\text{m}$)を付着させ、収縮後に伸展して異物の除去性能を確認した。

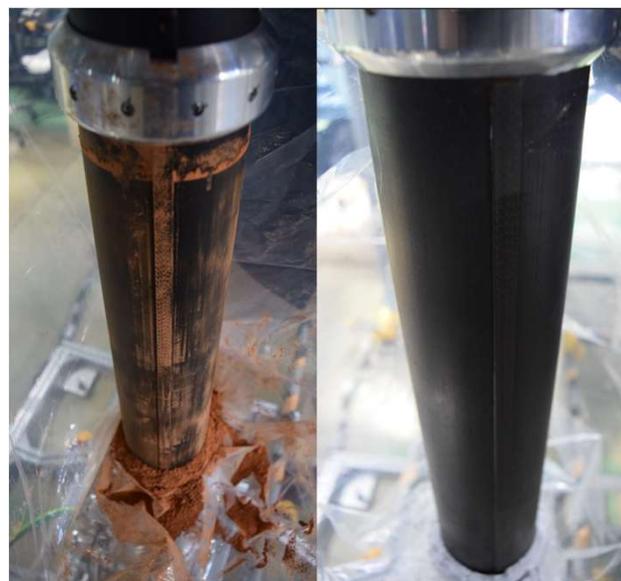
試験結果

- 伸展後のパイプ表面は、土の場合は拭きムラがあったがアルミナは一通り拭かれていた。土、アルミナともにダストシールを通過した様子はあるもののパッキンへの付着は微量であった。
- 2021年度の試験結果では土、アルミナともに拭きムラがあったため、今年度選定したダストシールの方が異物の除去性能が良いと評価した。



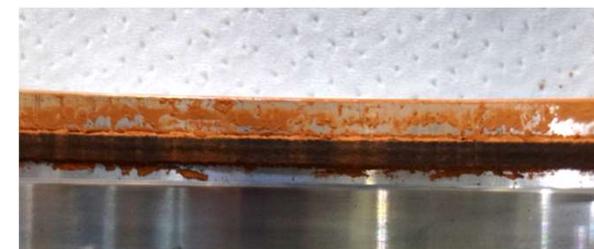
(a)土 (b)アルミナ

粉体を付着させたパイプの状態



(a)土 (b)アルミナ

収縮、再伸展後のパイプの状態



(a)土



(b)アルミナ

異物除去後のダストシールの状態

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更

○試験2: テレスコパイプ伸縮動作への影響

試験概要

- 今年度選定した代替品は2021年度のものより硬く、テレスコパイプ伸縮時の摺動抵抗が大きくなる可能性があるため、伸縮動作に影響がないかを確認する。
- 通常の伸縮動作よりも非常時収縮(テレスコパイプ内の減圧のみで収縮)する方がテレスコパイプを駆動させる力が小さいこと、テレスコパイプ先端側の方がテレスコ自重による収縮力が小さいことから、13段目先端のダストシールを変更し、14段目のパイプの収縮動作が可能かを確認する。

試験結果

- 14段目パイプを手で100mm程度引き出した後、非常時収縮できるか確認した(回数は1回)。自重では縮まらないが、テレスコパイプ内圧を-22kPaまで減圧したところ縮むことを確認した。
- 昨年度のダストシールを用いた非常時収縮の試験では、テレスコパイプ内圧が9kPaの際に14段目パイプが自重で収縮し始めた。摺動抵抗の差に換算すると今年度選定した代替品の方が22N摺動抵抗が増加している結果となった。

⇒摺動抵抗は増加するものの、最も縮みにくい14段目パイプが縮むことを確認できたため、テレスコパイプの運用には問題ないと評価。

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更

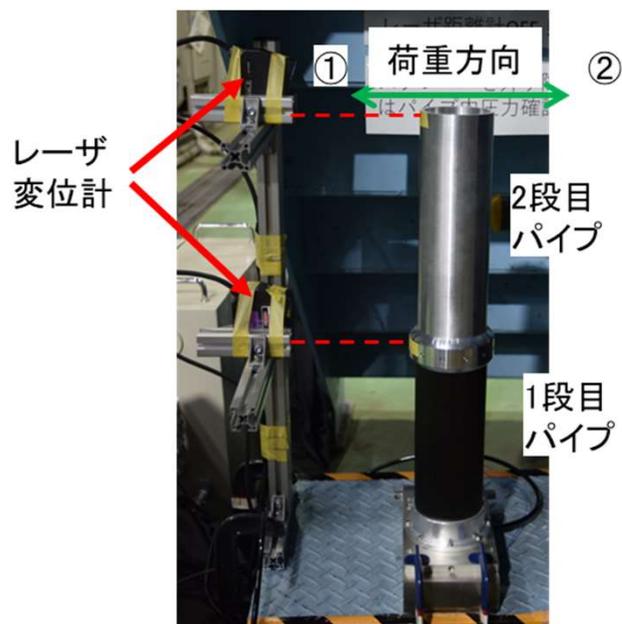
○試験3: 傾斜挙動への影響評価

試験概要

- ダストシールはテレスコパイプを支持する部材であることから、ダストシールを変更した際の傾斜挙動への影響を確認する。
- 試験体系を以下に示す。2段目のパイプ先端に①と②の方向に一旦水平荷重をかけ、その後無負荷にした際の変位をレーザ変位計で測定し、その差分をガタ幅として、2021年度のダストシールと今年度の代替品で比較した。

試験結果

- 結果、今年度の代替品の方が弾力があり、無負荷状態にするとパイプが鉛直方向に押し戻され、ガタ幅が小さくなること分かった。



ガタ幅の比較

供給圧力	ダストシール	
	2021年度選定	2022年度選定
0.03MPa (2段目パイプ伸展時の使用圧力)	2.1mm	1.8mm

5) 検討内容

⑧各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

③ダストシールを硬いものへ変更へのまとめ

○テレスコパイプの傾斜要因確認試験のまとめ

- ダストシールについて2021年度のものから今年度選定した代替品との比較評価を行った。
- 異物除去性能について、今年度の代替品の方が良い結果が得られた。
- テレスコパイプの伸縮動作について、非常時収縮の可否について確認した。結果、摺動抵抗は増加するものの、最も縮みにくい14段目パイプが縮むことを確認できたため、テレスコパイプの運用には問題ないと評価できた。
- 傾斜抑制効果については、今年度の代替品の方がガタ幅が小さく、パイプを鉛直方向に押し戻すように作用する力があることが分かった。

➡ 今年度試作した14段テレスコパイプには、今年度選定したダストシールを組み込み、動作確認等の試験を実施していくこととした。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

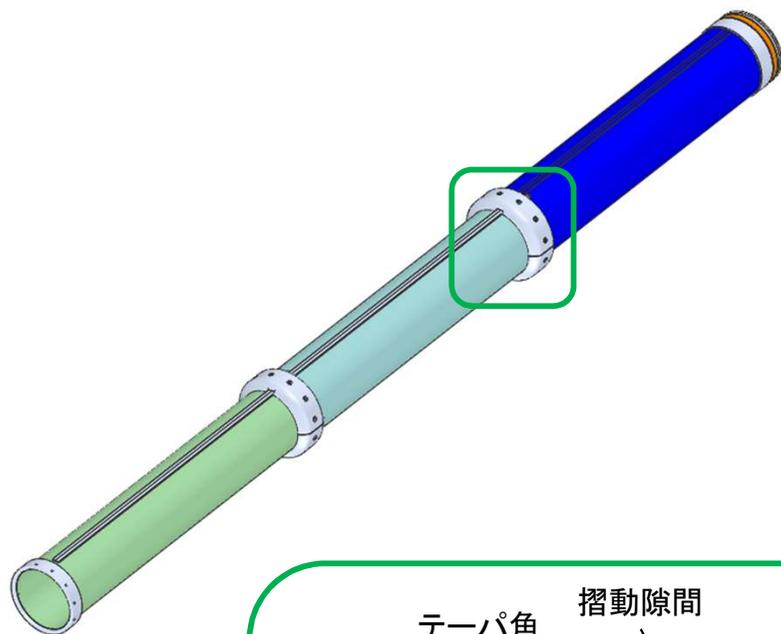
2/3号機

No.170

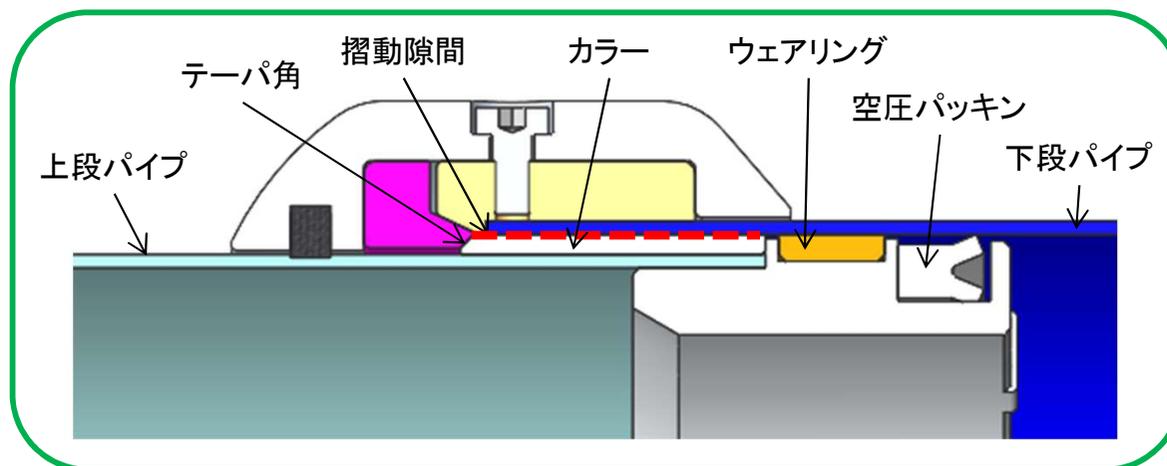
5) 検討内容

- ⑦ テレスコパイプ伸展時に回転防止レールの方向に傾斜する挙動の抑制
- ⑧ 各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮(非常時)の傾斜防止

○これまでの試験結果から、今年度試作するテレスコパイプの改良点は以下のとおりとした。



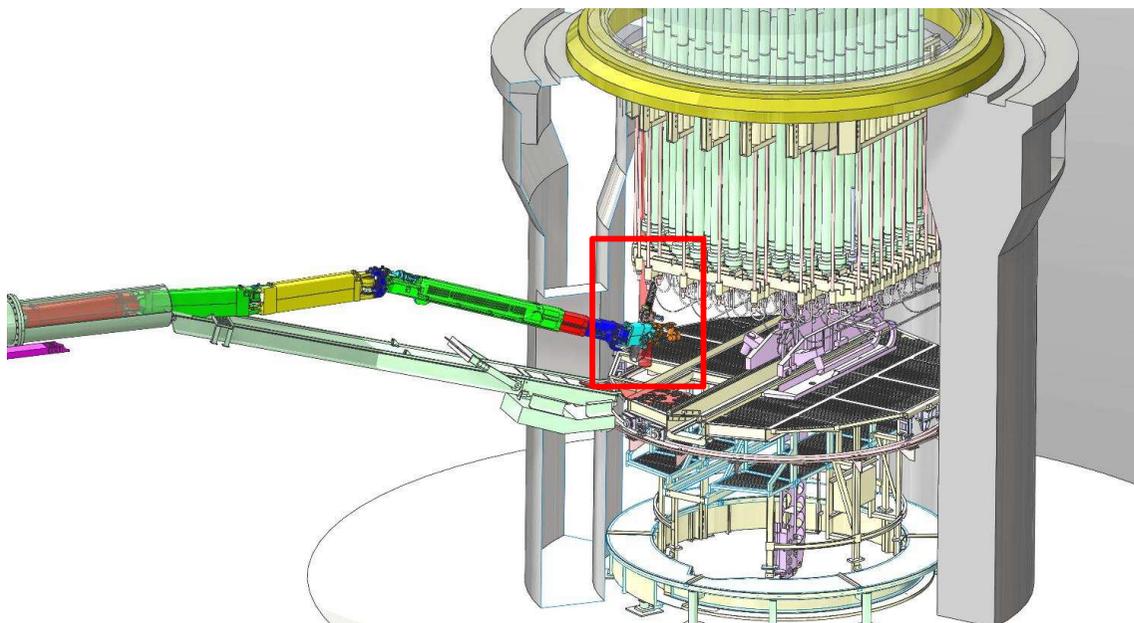
試験で評価した項目	2021年度試作装置	2022年度試作装置
カラーテーパ角	45°	45°
カラー径を太くすることによる摺動部隙間	0.2mm	0.1mm
カラーの摺動材の硬度化	0.1mm厚 超高分子量 ポリエチレンテープ	0.03mm厚 フッ素樹脂 コーティング
ダストシール	2020年度代替品	2022年度選定品



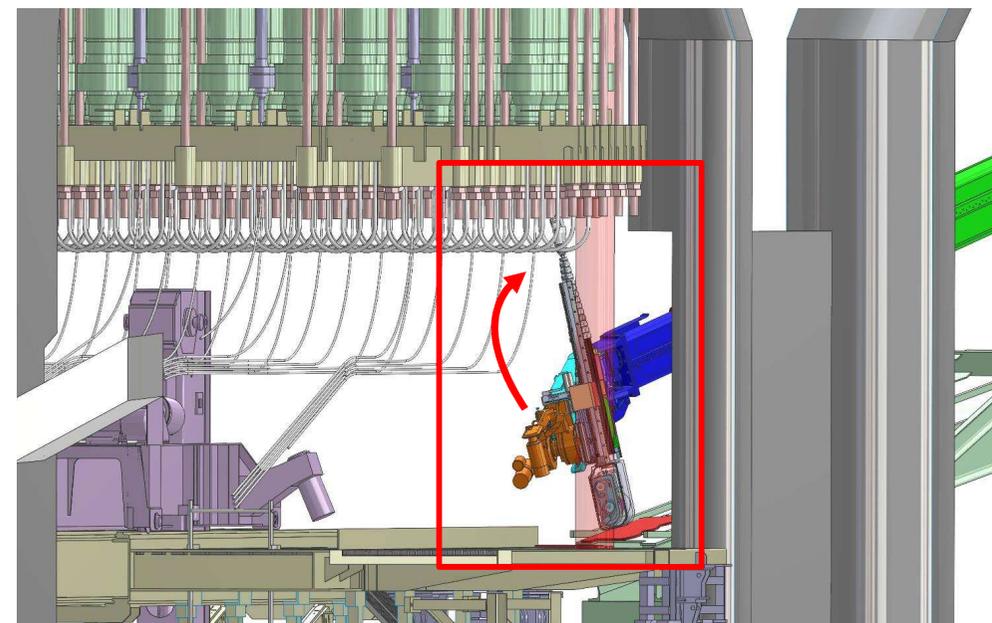
5) 検討内容 ⑨ 姿勢制御機構の試作と評価

○背景

- ・段階的規模拡大取り出し用アームの自由度では、想定した調査位置でテレスコパイプを鉛直姿勢にできない可能性があるため、2軸の姿勢制御機構を検討。



俯瞰図



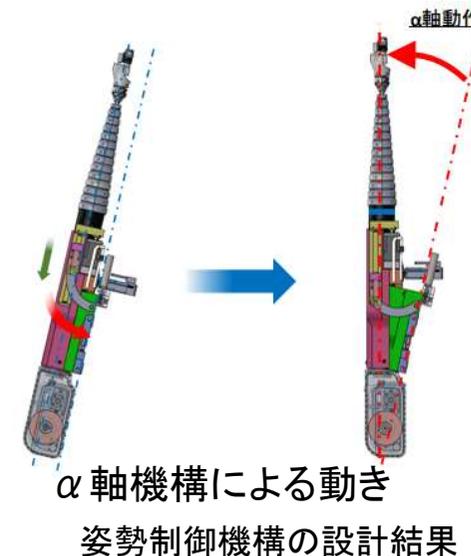
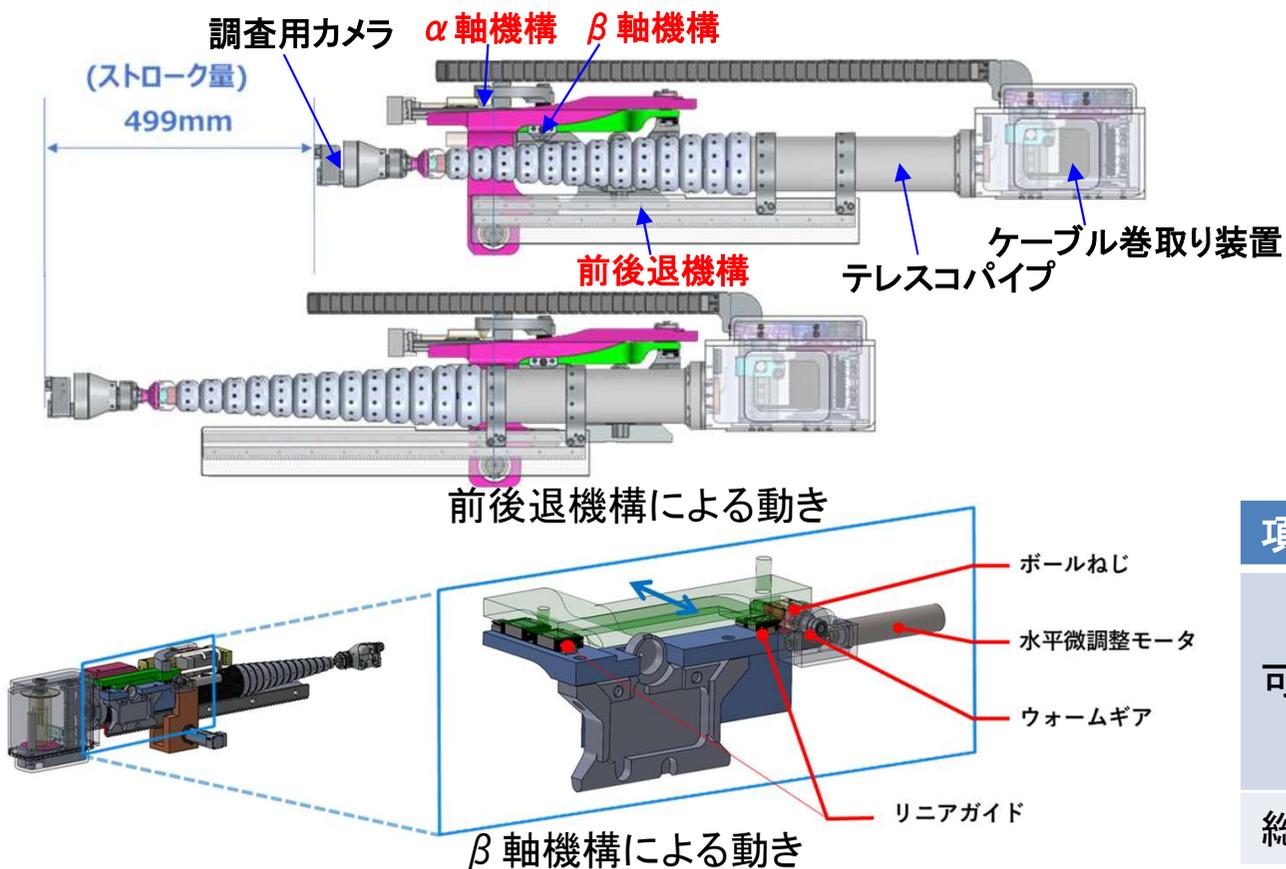
姿勢制御機構部分拡大

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

6) 検討内容 ⑨ 姿勢制御機構の試作と評価

○装置設計

- ・2021年度に要求仕様の検討と構想設計を実施。本年度は詳細設計を行い、可動範囲と総重量の仕様を満たすことを確認した。
- ・姿勢制御機構に選定したモータは長納期化しており試験に間に合わないため、本年度は過去のPJの試験装置に組み込んだモータを流用することとした。出力トルクが異なるが、動作試験時にトルク(モータの電流値)を測定して、選定したモータで問題ないことを確認する方針。

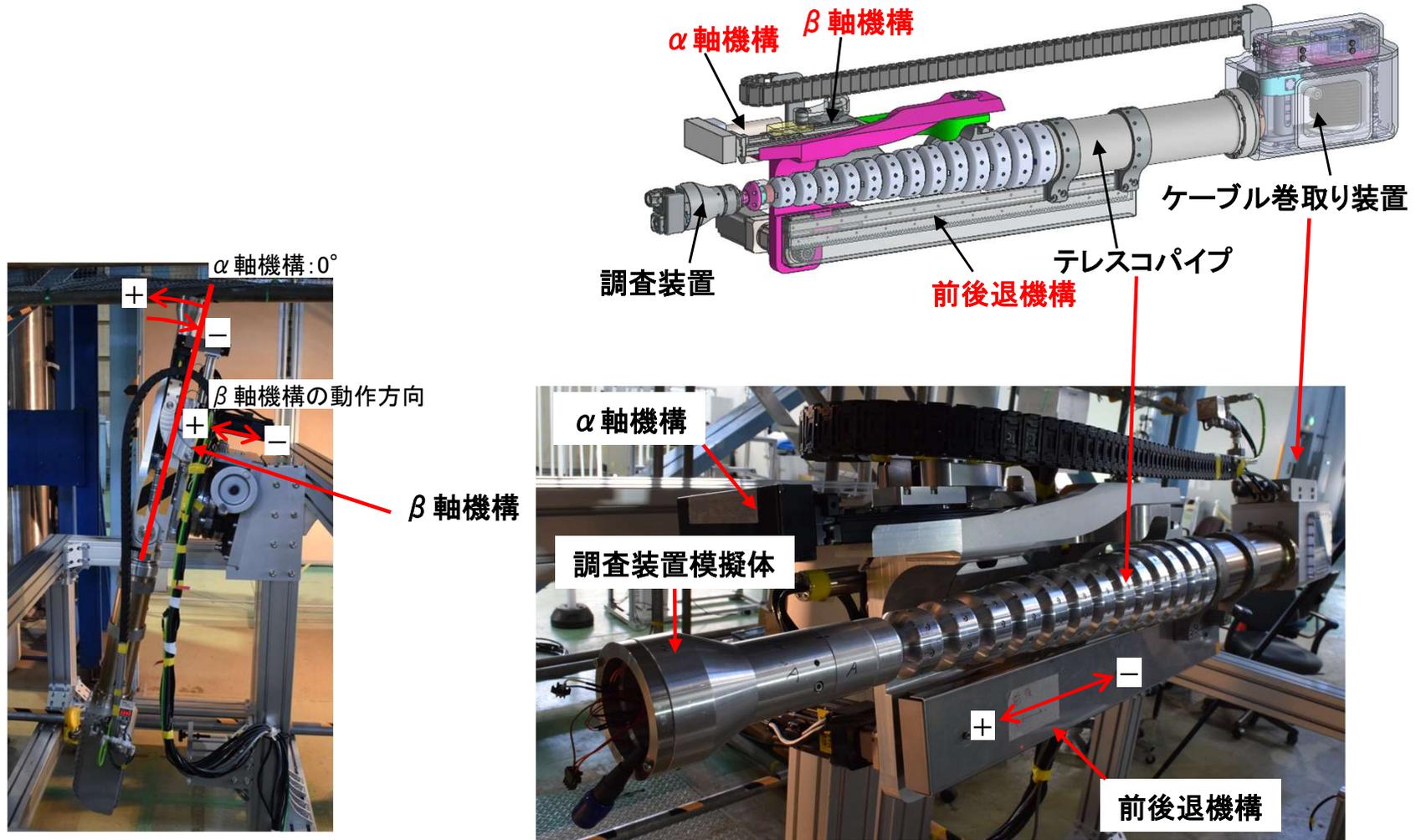


項目		要求仕様	設計結果
可動量	前後退機構	499mm以上	513mm
	α軸機構	13° 以上	15°
	β軸機構	20mm以上	22mm
総重量		22kg以下	21.0kg

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

5) 検討内容 ⑨ 姿勢制御機構の試作と評価

試作した姿勢制御機構を以下に示す。



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

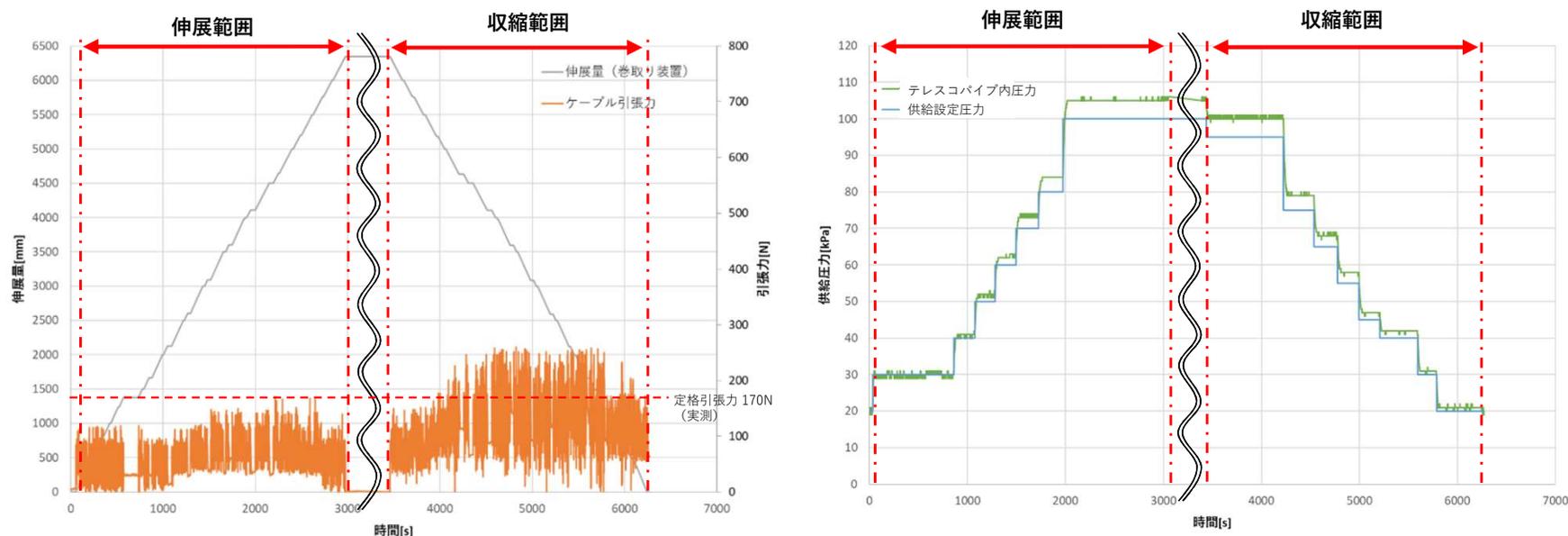
2/3号機

No.174

5) 検討内容 ⑩ケーブル巻取りドラムの駆動トルク均一化(ケーブル引張力のロスの低減)

○背景

- ・2021年度は、14段テレスコパイプの要素試験にて、ケーブル引張力(モータ駆動トルク)が短時間で大きく変動しており、ギアや駆動軸の組み立て精度が悪く、駆動負荷が均一では無い恐れがあることを確認した。
- ・2022年度は、上記課題に対して対策を実施の上、再度14段テレスコパイプの要素試験を行い、対策の有効性を評価する。



テレスコパイプ伸縮動作中の伸展量、ケーブル引張力、テレスコパイプ内圧力の変化

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.175

5) 検討内容 ⑩ケーブル巻取りドラムの駆動トルク均一化(ケーブル引張力のロスの低減)

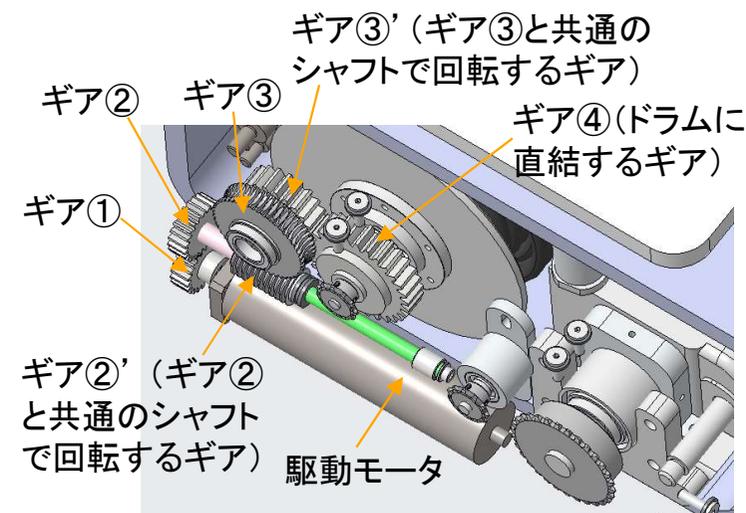
○対策検討

- トルク変動の要因としては以下を原因と判断。それぞれ改良案を考え、ケーブル巻取り装置単体で無負荷状態でトルクを確認することとした。

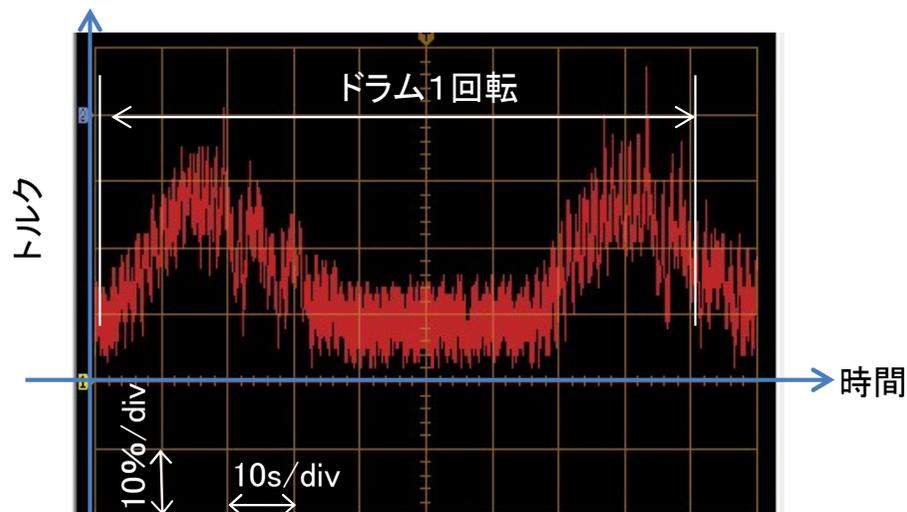
- ①ドラム側面とケーブル巻き取り装置筐体のボルトとが僅かに干渉している箇所があった。このため、今年度は干渉を回避するよう設計変更を行う。
- ②多段のギアを使用していることから、2021年度はギアのバックラッシュによる応答性低下を防ぐ目的でギア間距離を標準値よりも狭めて設計した。今年度は標準ギア間距離に変更する改良を行う

○結果

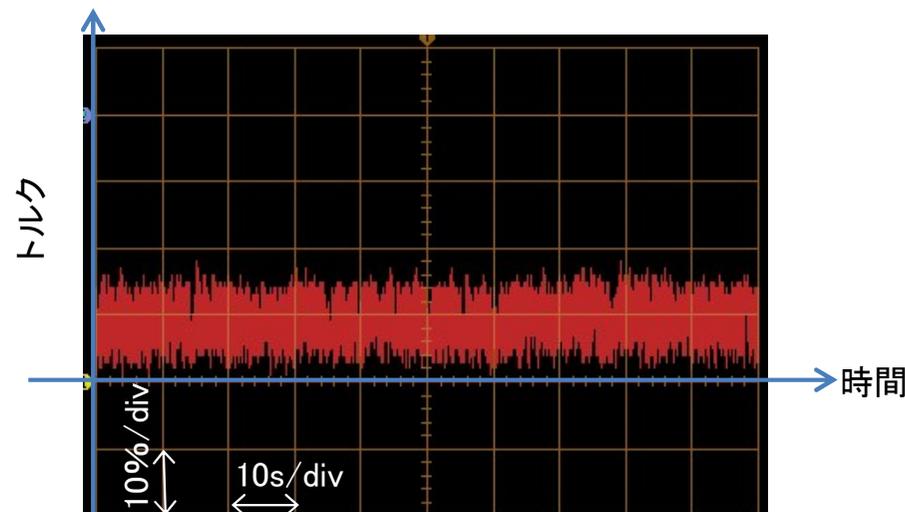
無負荷状態でトルクが変動しないことを確認でき、検討した対策が有効であることを確認した。



モータからケーブル巻取りドラムまでのトルク伝達機構



無負荷状態でのドラム駆動トルクの変動
(改良前)



無負荷状態でのドラム駆動トルクの変動
(改良後)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.176

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○背景

- 今年度新たに試作した姿勢制御機構の機能確認およびテレスコパイプと組み合わせた動作を評価する。
- 伸展時の傾斜を抑制するために改良した14段テレスコパイプの改良効果の評価として、2021年度の評価項目と同様に伸展時の傾き量とガタの評価、減圧による非常時収縮動作の可否を確認する。

○試験計画

No.	試験項目・概要	確認項目	目標 (判断基準)	該当項目
1	【テレスコパイプの鉛直姿勢での伸縮動作確認】 ・テレスコパイプが伸縮可能かを確認する。 (摺動部(カラー、ダストシール)を変更した影響を確認する)	・供給圧力(0.1MPa)での伸展可否	・供給圧力(0.1MPa)での進展可否	⑩
2	【テレスコパイプ伸展時の傾き量確認】 ・テレスコパイプ伸展時の傾き量を確認する。 (2021年度試作したテレスコパイプと比較する)	・テレスコパイプの伸展時の各段での傾き量	・2021年度試作したテレスコパイプと比べて傾き量が改善しているか	⑦
3	【テレスコパイプ伸展時のガタ確認】 ・テレスコパイプ伸展時のガタ量を確認する。 (2021年度試作したテレスコパイプと比較する)	・テレスコパイプの各段でのガタ量	・2021年度試作したテレスコパイプと比べてガタ量が改善しているか	⑧
4	【テレスコパイプ伸展状態での姿勢制御機構の動作確認】 ・テレスコパイプ伸展状態で、姿勢制御機構により位置調整が可能かを確認する。	・姿勢制御機構での傾き調整可否	・各軸モータの定格トルク内での動作可否	⑨
5	【テレスコピック式アクセス装置が揺れる際の挙動特性把握】 ・テレスコパイプ伸展状態で、テレスコピック式アクセス装置の揺れ挙動を把握する	・テレスコパイプ先端の揺れ挙動	－(挙動把握のみ)	⑪
6	【非常時収縮動作の確認】 ・テレスコパイプ伸展状態で、減圧による非常時収縮が可能かを確認する。	・減圧(最大-0.092MPa)での収縮可否	・テレスコ／姿勢制御機構のみでの非常時収縮の可否	⑧

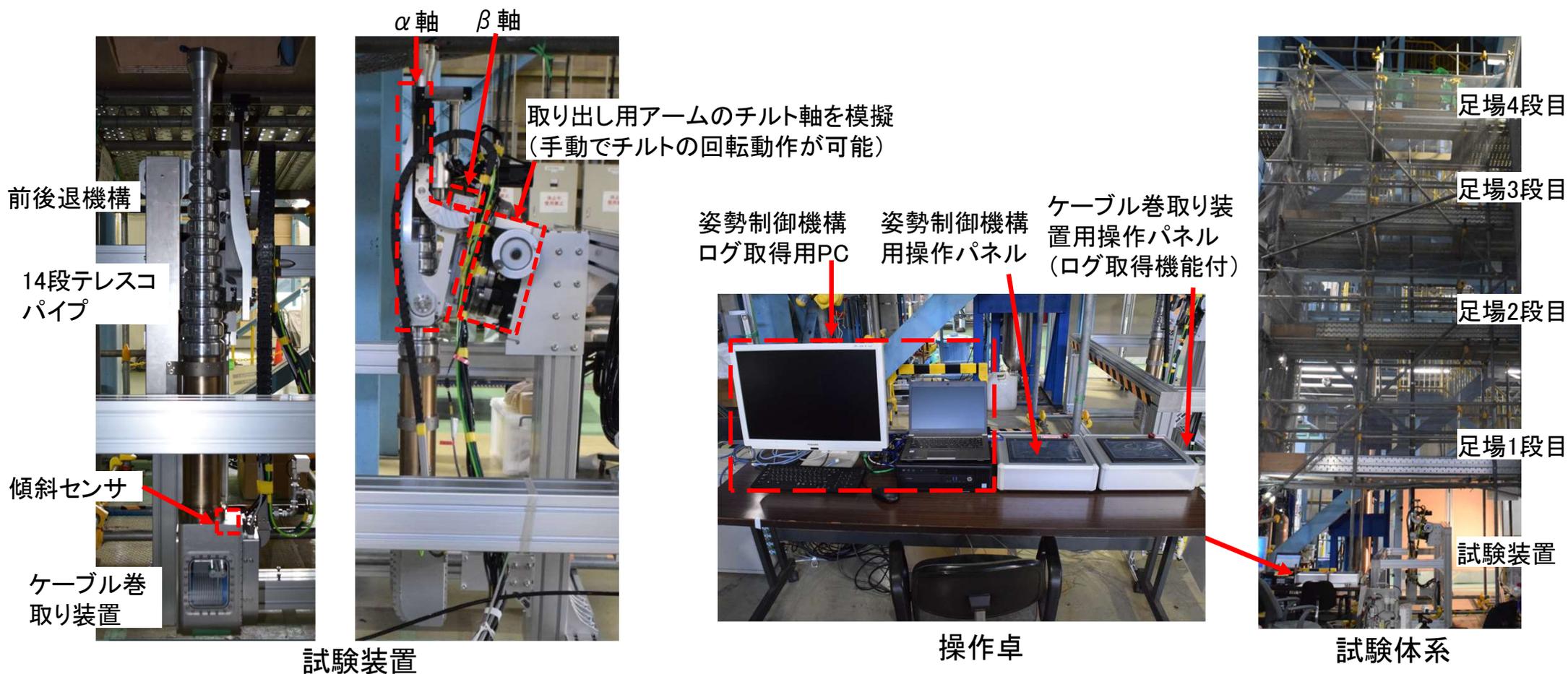
6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験体・試験体系

新規に試作した姿勢制御機構(前後退機構、 α 軸機構、 β 軸機構)と今年度改良した14段テレスコパイプおよびケーブル巻取り装置を組み合わせる試験を実施した。また、昨年度と同様に、伸展したテレスコパイプの挙動を観察できるよう、装置の周囲に足場を設けた。



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.178

5) 検討内容

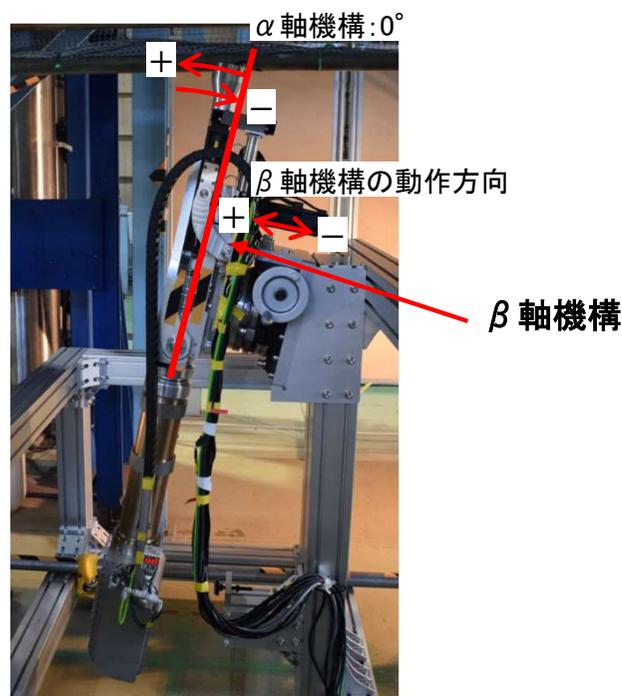
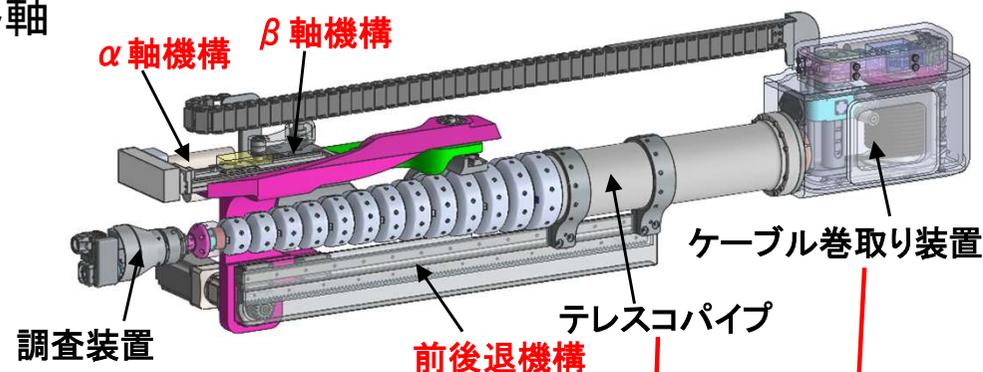
テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験体・試験体系

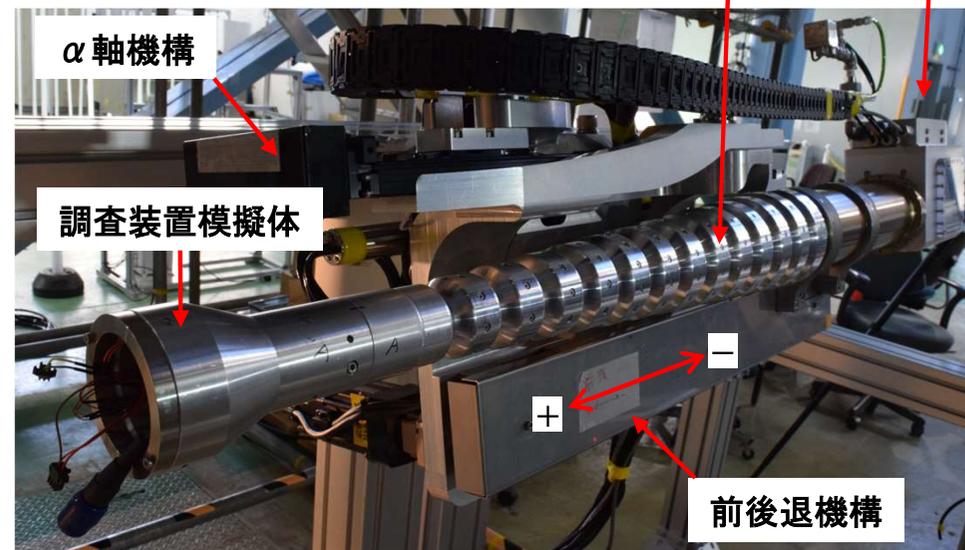
試作した姿勢制御機構について

姿勢制御機構の各軸の+方向と-方向は図のように定義し、各軸の原点(ゼロ点)位置については下記に示す。

- ・前後退機構: マイナス方向の移動限界
- ・ α 軸機構 : テレスコピック式アクセス装置の取り付け面
- ・ β 軸機構 : マイナス方向の移動限界



α 軸、 β 軸の動作方向



水平姿勢

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

5) 検討内容

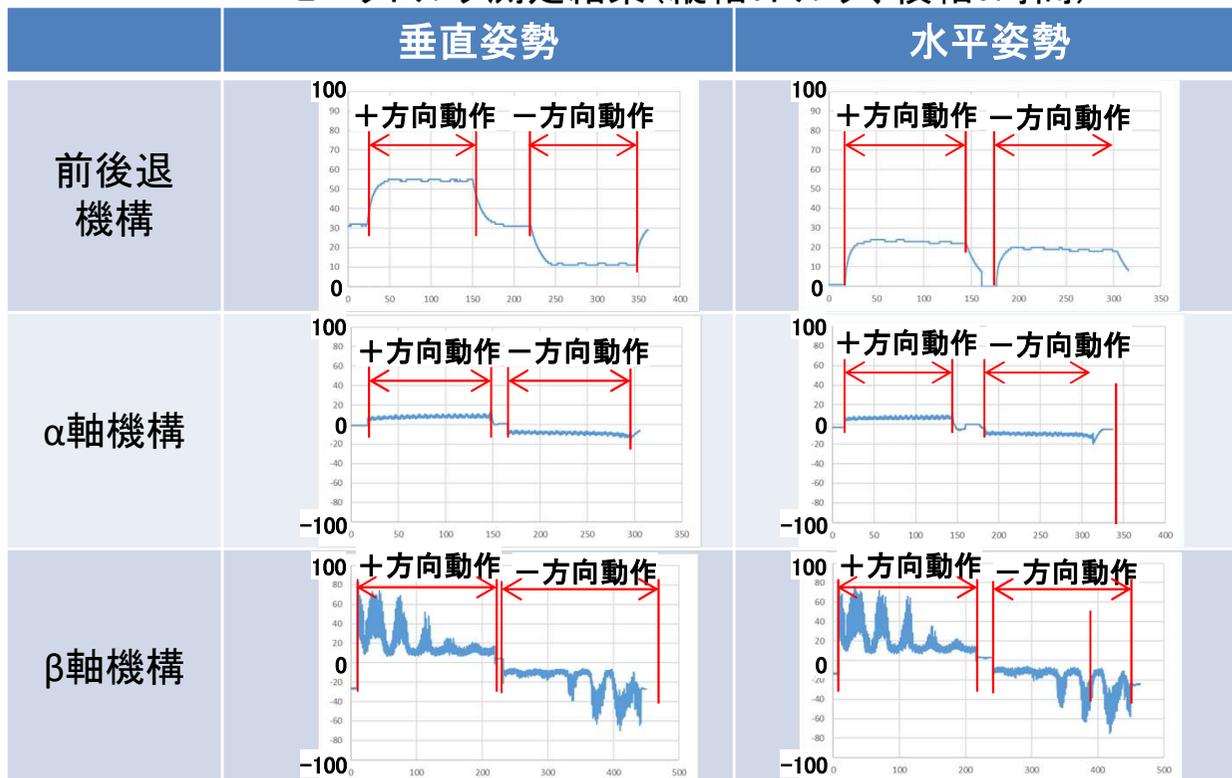
テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験0: 姿勢制御機構の動作確認

試験結果

テレスコパイプを収縮させた状態で、テレスコピック式アクセス装置が垂直・水平のいずれの姿勢となった場合においても、姿勢制御機構の各軸のモータトルクが100%を超えることなく動作させられることを確認した。 α 軸機構の動作範囲が要求仕様を僅かに満たさない結果であったが、来年度以降に部材の形状を見直すことで要求仕様を満たせる見込みである。これらのことから、テレスコパイプ収縮状態での想定運用シーケンスにおいて姿勢調整動作を問題なく行えることが分かった。

モータトルク測定結果(縦軸:トルク、横軸:時間)



動作範囲の測定結果

	要求仕様	測定結果
前後退機構	499mm以上	499mm
α 軸機構※	0° ~13° 以上	0.4° ~13.6°
β 軸機構	20mm以上	22mm

※テレスコピック式アクセス装置の取り付け面を0° と定義

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

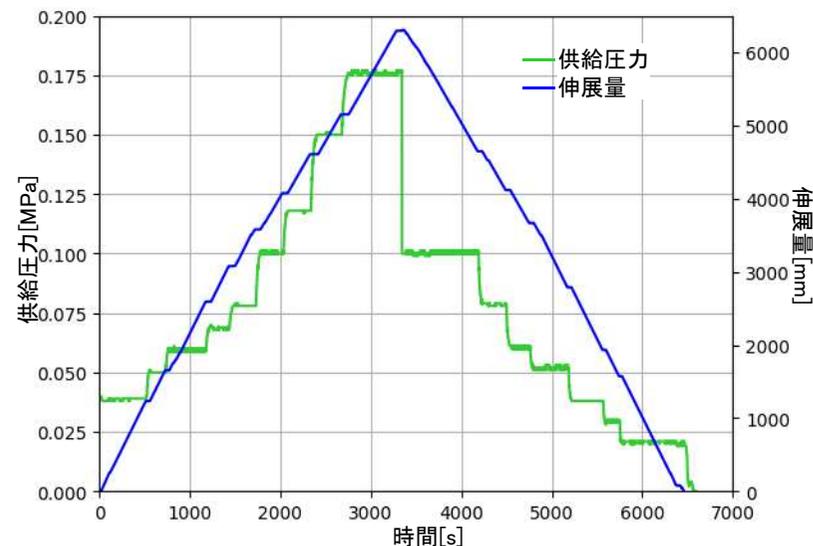
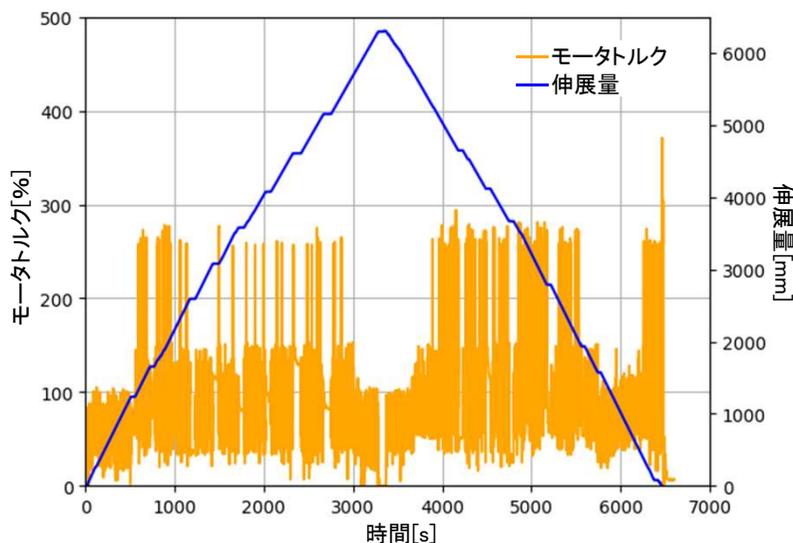
○試験1: テレスコパイプの鉛直姿勢での伸縮動作確認

試験目的

今年度試作したテレスコパイプは伸展時や非常時収縮における傾斜を抑制するために、ダストシールを昨年度に比べて硬いものに変更している。その変更により摺動抵抗が増加しているため、問題なく伸縮動作が出来るか確認する。

試験概要

昨年度は供給圧力の最大値を0.1MPaと設定していたが、今年度は伸展時の傾斜抑制のためにより大きな圧力で伸展させた。収縮時は昨年度と同様の供給圧力にしてケーブル巻取り装置のモータトルクを評価した。



試験結果

今年度改良したテレスコパイプを用い、昨年度から供給圧力を増加させた場合においても問題なく伸縮動作できることを確認した。モータトルクは100%を超えているが、過負荷エラーは出なかったため問題ないと判断した。

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験2: テレスコパイプ伸展時の傾き量確認

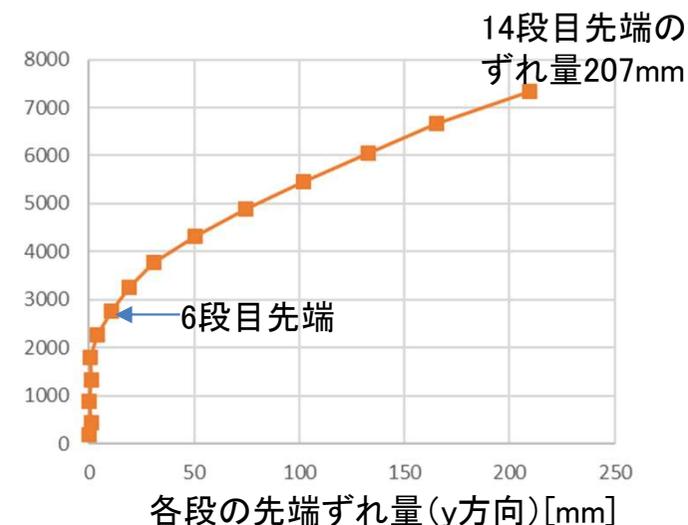
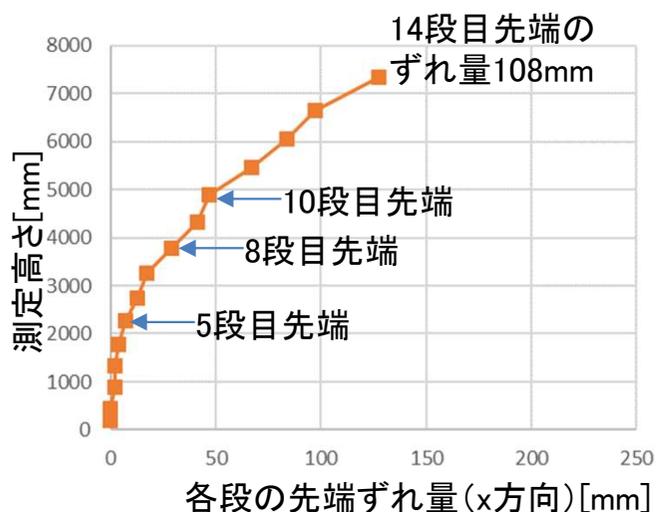
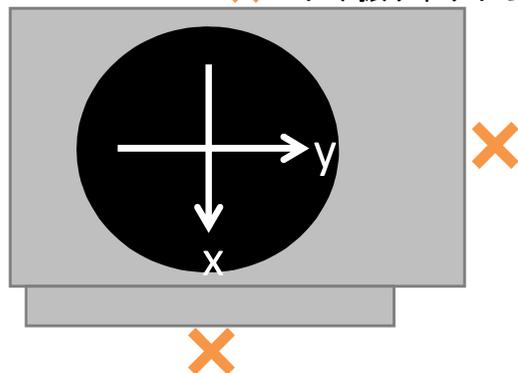
試験目的

今年度、傾斜抑制対策を施したテレスコパイプにおいて、昨年度のテレスコパイプに比べて伸展時の傾き量が改善するか確認する。

試験概要

14段テレスコパイプを全伸展させ、昨年度のテレスコパイプを用いた再現性確認試験と同様に、下げ振りを2ヶ所に降ろし、テレスコパイプの各段先端と下げ振りとの距離を測定し傾き量を評価した。

黒円: テレスコパイプ
灰色: ケーブル巻取り装置
✕: 下げ振り吊り下ろし



試験結果

全伸展状態における、先端ずれ量は(x, y)=(108mm、207mm)であった。昨年度のテレスコパイプを用いた再現性確認では(x, y)=(1mm、128mm)であり、今年度試作したテレスコパイプの方がより傾く結果となった。このことから、非常時収縮における減圧時においても、今年度のテレスコパイプの方が倒れやすく縮みにくいと想定される。

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○試験3: テレスコパイプ伸展時のガタ確認

試験目的

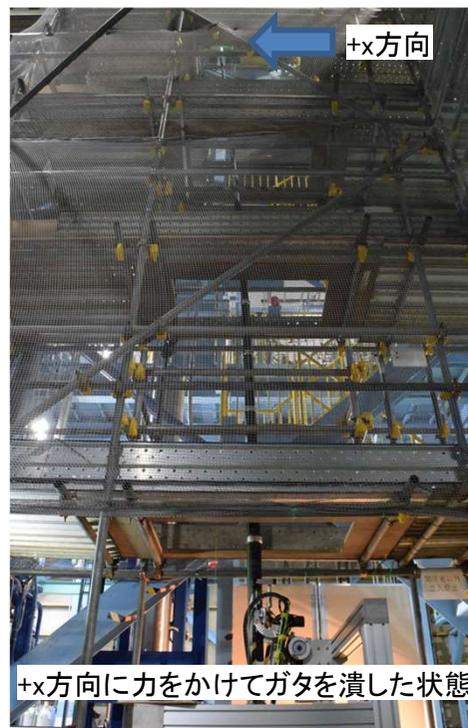
今年度、傾斜抑制対策を施したテレスコパイプにおいて、昨年度のテレスコパイプに比べてガタ付きが改善したか確認する。

試験概要

14段テレスコパイプを全伸展させて、各段に+x方向/-x方向の力をかけてガタを潰す。評価は傾き量確認と同様に、テレスコパイプの各段先端と下げ振りとの距離を測定し評価する



3段目が傾斜するようにパイプに曲げ方向の力をかけている様子



+x方向に力をかけてガタを潰した状態



-x方向に力をかけてガタを潰した状態

曲げ方向の力をかけてガタを潰した後のテレスコパイプ

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.183

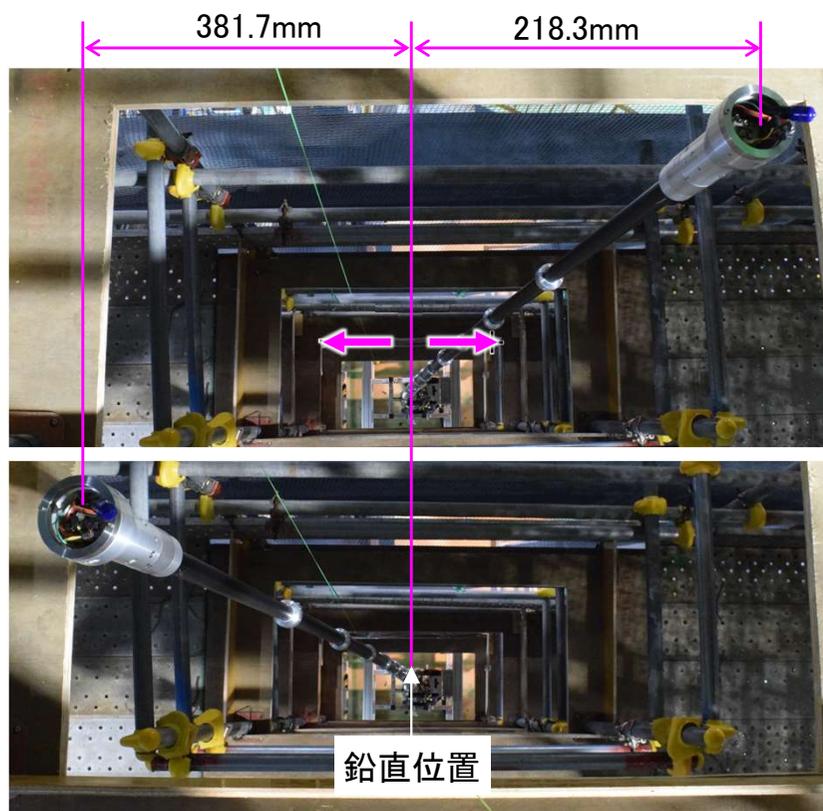
5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

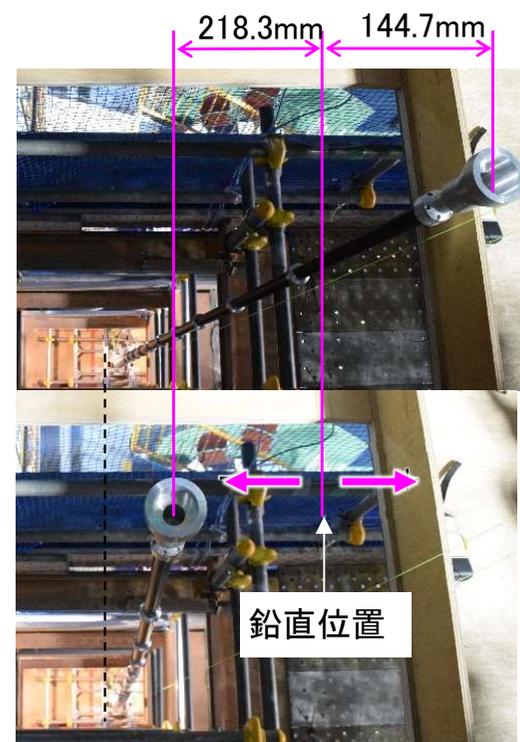
○試験3: テレスコパイプ伸展時のガタ確認

試験結果

今年度のテレスコパイプは、各段の節の間隙を狭めた構造にして試作したが、昨年度のテレスコパイプの結果に比べてガタが大きくなった。



今年度のテレスコパイプのガタ確認の結果



昨年度のガタ確認の結果

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験4: テレスコパイプ伸展状態での姿勢制御機構の動作確認

試験目的

炉底部の開口を通過する際の伸展方向の微調整に、 α 軸機構と β 軸機構の使用を検討しているため、テレスコパイプが伸展した状態でも問題なく動作させることができるか確認する。

試験概要

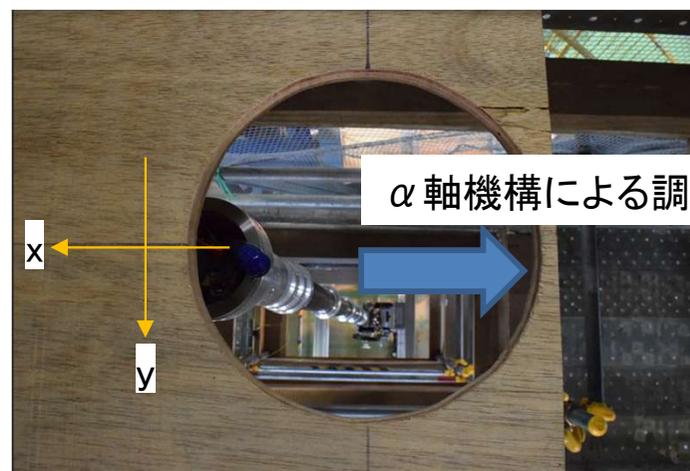
テレスコパイプが全伸展した状態と開口直前まで伸展した状態の2パターンについて動作評価を行った。

- α 軸機構
 - ・全伸展した状態: 伸展しているテレスコパイプにおいて許容される傾斜角(-3.5度)と α 軸の動作限界の範囲で動作させることができるか
 - ・開口直前まで伸展した状態: 伸展して傾いた状態から開口を通過可能な姿勢にできるか (α 軸で調整できないy方向については手で傾きが無い状態にして試験を実施)
- β 軸機構
 - ・全伸展した状態: 稼働範囲を往復動作できるか
 - ・開口直前まで伸展した状態: 稼働範囲を動作できるか(+方向の動作のみ確認)

+1.7度 ← → -3.5度



全伸展した状態での α 軸機構の動作範囲



開口直前まで伸展した状態

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.185

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

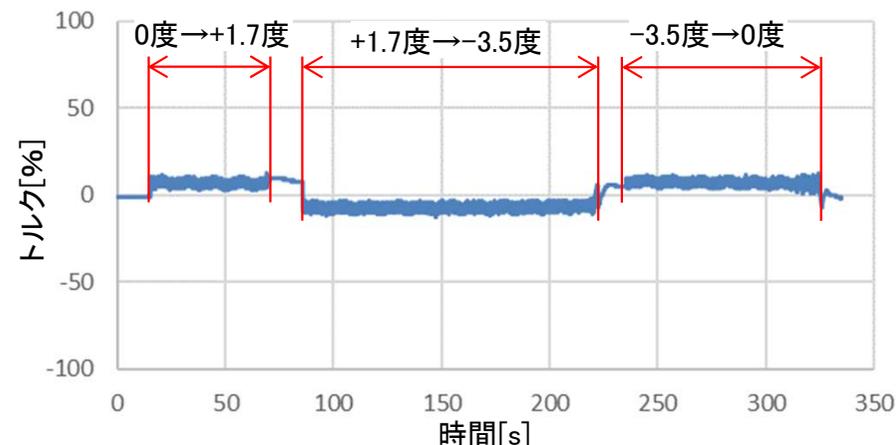
○試験4: テレスコパイプ伸展状態での姿勢制御機構の動作確認

試験結果(α軸機構)

テレスコパイプを伸ばした状態で、α軸機構を動作させてもトルクが100%以内に収まり問題ないことを確認できた。炉底部の開口を通過するための位置の微調整や全伸展後の位置の微調整に、α軸機構を使用できることが分かった。

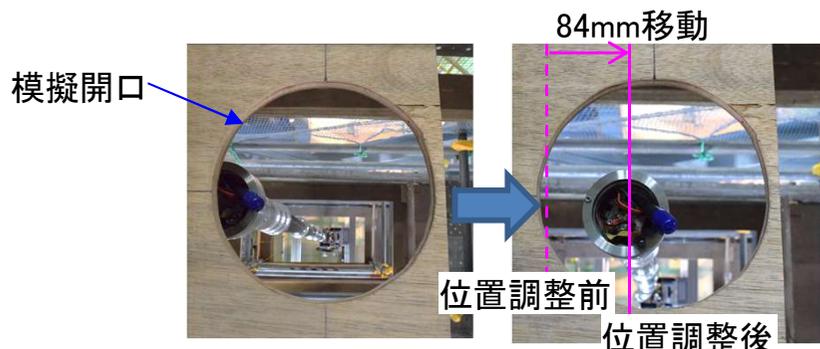
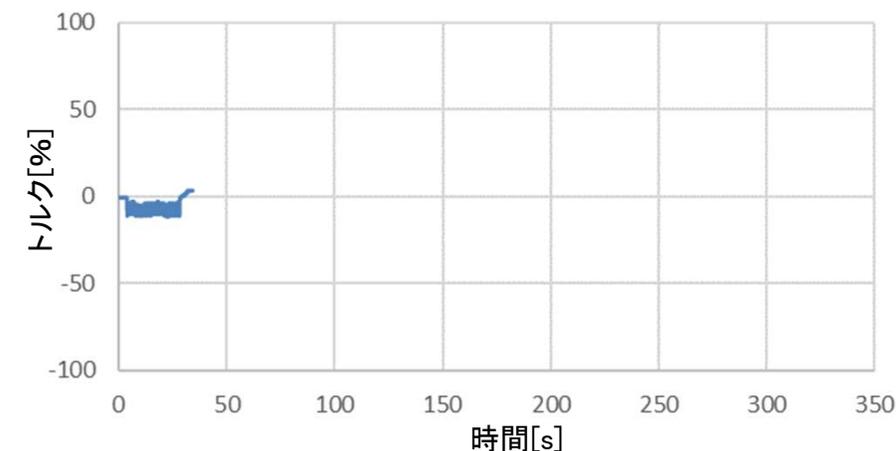
<全伸展高さでの動作確認結果>

ケーブル巻取り装置の角度が「鉛直姿勢(0度)→+側の動作限界(+1.7度)→-3.5度→鉛直姿勢(0度)」となるようにα軸を操作した。



<開口直前高さでの動作確認結果>

模擬調査装置がおおよそ模擬開口の中心にくるまでα軸機構を操作した。(操作完了位置は目視判断)



開口直前位置でのα軸機構による位置調整の様子

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

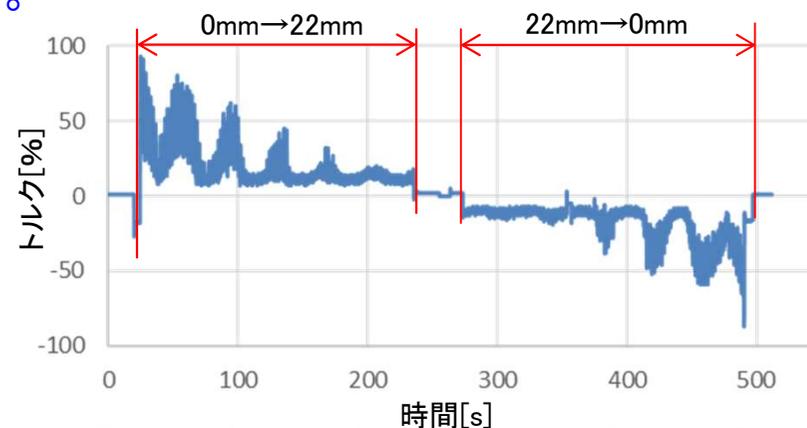
○試験4: テレスコパイプ伸展状態での姿勢制御機構の動作確認

試験結果(β軸機構)

テレスコパイプを伸ばした状態で、β軸機構を動作させると起動トルクが100%を超えることがあったが起動時以外のトルクは100%以内に収まるため問題ないことを確認できた。炉底部の開口を通過するための位置の微調整や全伸展後の位置の微調整に、β軸機構を使用できることが分かった。

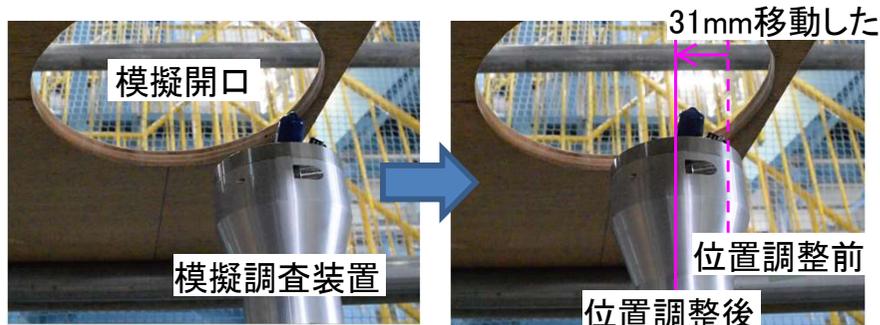
<全伸展高さでの動作確認結果>

β軸機構の原点(0mm)から稼働限界の22mmまで動かし、その後原点へ戻り動作をさせた。

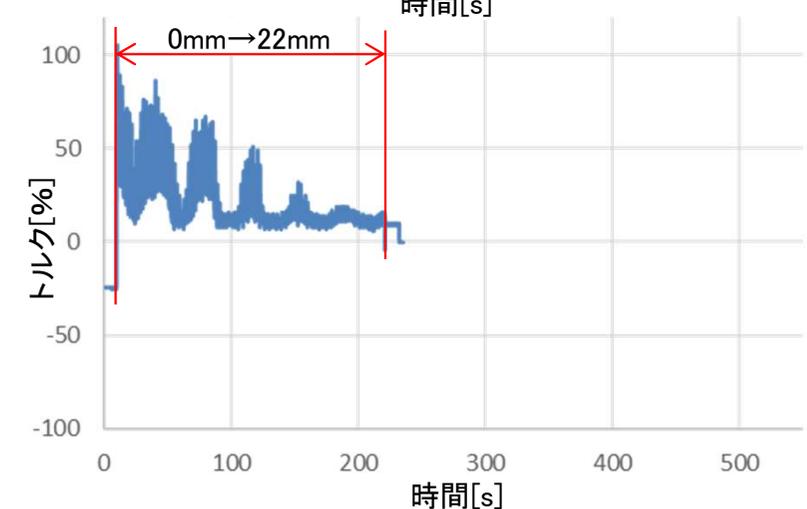


<開口直前高さでの動作確認結果>

β軸機構の動作で模擬開口を通過できる位置へ模擬調査装置を手で動かして動作開始位置とした。β軸機構の稼働範囲は22mmであるが、先端は31mm程度移動しており、β軸を動かすとガタなどにより根元側が傾くと考えられる。



β軸機構による位置調整



5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

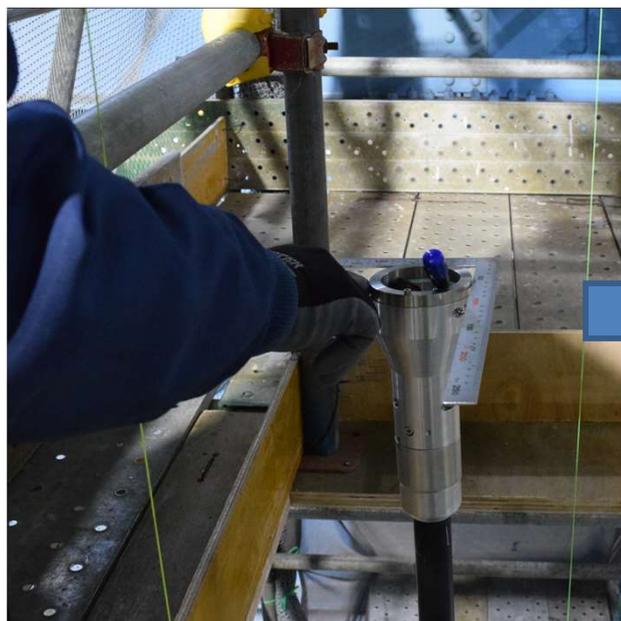
○試験5: テレスコピック式アクセス装置が揺れる際の挙動把握

試験目的

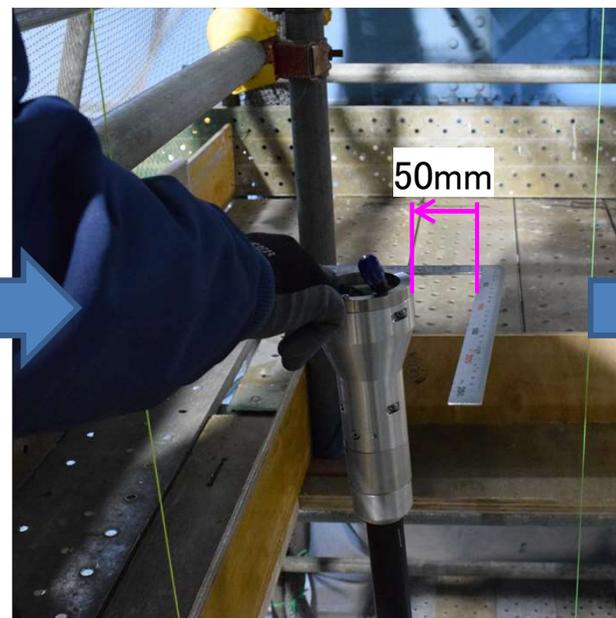
テレスコパイプが伸展中に揺れた際の挙動を把握する。

試験概要

テレスコパイプを7段目まで伸ばした状態と全伸展させた状態において、テレスコパイプ先端を一定距離(50mm)引っ張り離すことで自由振動させ、揺れの挙動をビデオカメラで撮影して評価した。なお、揺らす際は+x方向と+y方向にそれぞれ引いた。



伸展後の先端位置



手で引いた様子

手を離す

テレスコパイプを揺らす際の様子

5) 検討内容

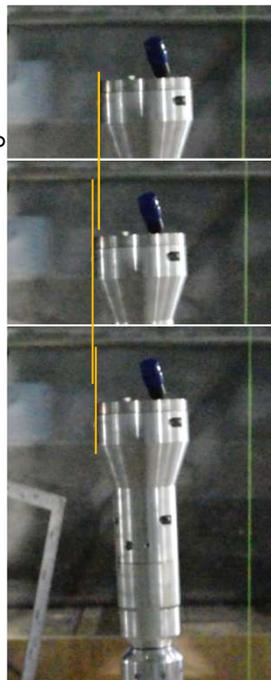
テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○試験5: テレスコピック式アクセス装置が揺れる際の挙動把握

試験結果

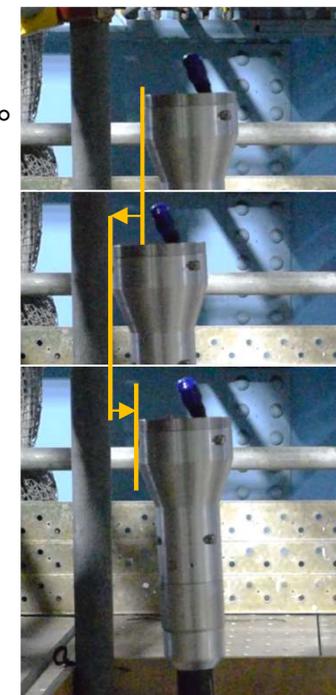
テレスコパイプの揺れ挙動は、7段目まで伸展させた状態(伸展高さ: 約3500mm)では1Hz強で揺れて2秒程度しか揺れなかったのに対して、全伸展させた状態(伸展高さ: 約7300mm)では1Hz弱で揺れて90秒程度揺れが継続した。一方で揺れる方向が変化しても、揺れの挙動は変わらないことが分かった。

<7段目まで伸展させた状態>
揺れの往復時間は1秒弱だった。
揺れは2秒程度しか継続しなかった。



7段目まで伸展した時の揺れの様子

<全伸展させた状態>
揺れの往復時間は1秒強だった。
揺れは90秒程度継続した。



全伸展した時の揺れの様子

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

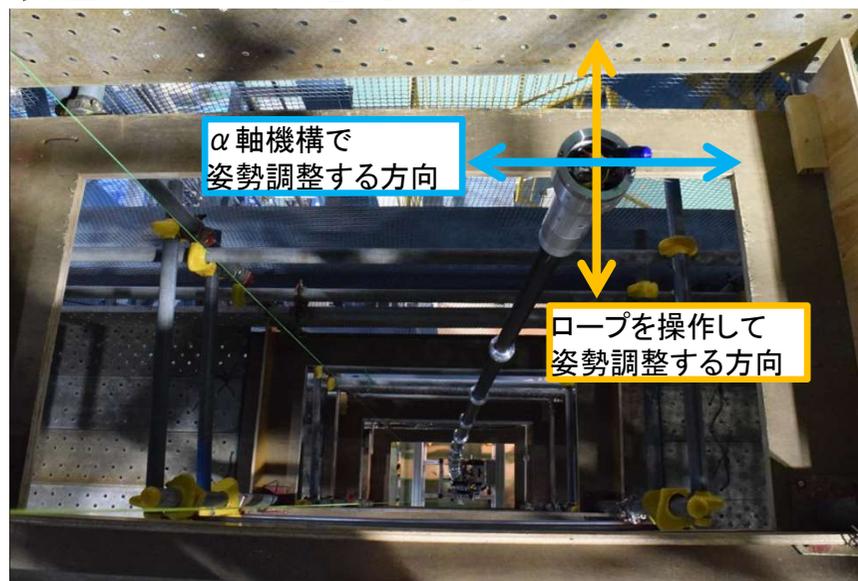
○試験6: 非常時収縮動作の確認

試験目的

ケーブル巻取り装置が動かなくなった際の非常時の収縮として、テレスコパイプ内を真空引きしてケーブルを巻き取らずに収縮することを検討している。昨年度のテレスコパイプは減圧中に傾いてしまい縮められなかったが、今年度の各パイプの節の間隙を狭めたテレスコパイプを用いることで非常時収縮可能であるか確認する。また、姿勢制御機構により姿勢を調整することで、非常時収縮しやすくできるか確認する。

試験概要

姿勢制御機構の姿勢調整を行わない場合と行う場合の2パターンについて評価を行った。姿勢調整を行う場合においては、姿勢制御機構で調整できる方向は α 軸機構によるx方向のみであるため、y方向の姿勢調整については、テレスコパイプ先端に取り付けたロープを上方から試験員が操作して行った(実機におけるy方向の姿勢調整は取り出し用アーム型アクセス装置のチルト軸を用いる方針)。



5) 検討内容

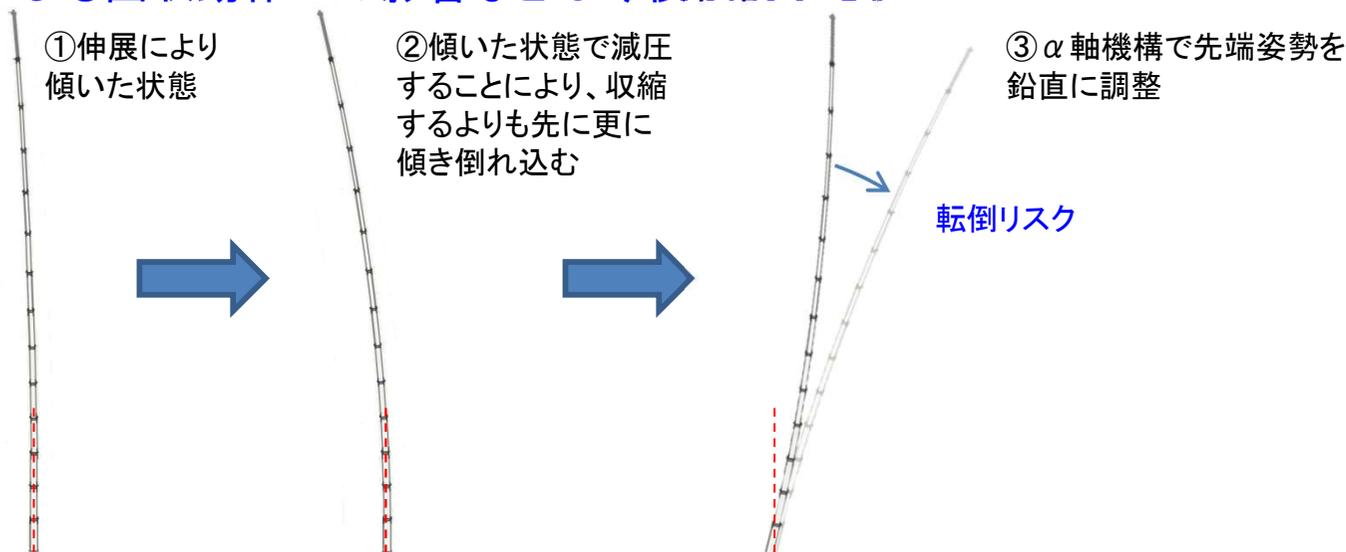
テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○試験6: 非常時収縮動作の確認

試験結果

姿勢調整を行わない場合では、昨年度と同様に減圧すると傾いてしまい、非常時収縮できなかった。
姿勢調整を行う場合では、 α 軸機構でテレスコパイプの姿勢を調整できたが、減圧して姿勢を保持できない状態で調整するため、鉛直姿勢付近になると反対側に急激に倒れるリスクがあることが分かった。実機調査ではテレスコパイプの周囲に炉内構造物があり、本試験のように調整できないことが想定されるため、炉内構造物の影響は、今後検討が必要である。昨年度と同様に非常時収縮で縮めると、完全に収縮せず手で押しても収縮しなかった(完全に収縮した時に比べて170mm程度飛び出した状態)。テレスコパイプ内でケーブルが押し詰まった状態になっていると想定される。

来年度以降も減圧によってテレスコパイプが倒れないよう、傾斜抑制対策の検討を継続する。また、完全に収縮しないことによる回収動作への影響などは今後検討する。



テレスコパイプが減圧により倒れ込むイメージ図



この範囲の長さを測定して飛び出し量が170mmであることを確認

縮み切らなかった様子

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.191

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○試験結果まとめ(1/2)

No.	試験項目・概要	確認項目	目標(判断基準)	結果
0	【姿勢制御機構の動作確認】 ・試験前の事前評価として、テレスコパイプが収縮状態で、姿勢制御機構の各軸が動作可能か確認する。	前後退機構の稼働範囲	499mm以上	○(実測で499mm)
		前後機構の動作可否	稼働範囲を定格トルク内で動作できること	○ (定格トルク内で動作可能)
		α軸の稼働範囲	0度以下から13度以上(閉じた状態を0度とする)	△ (実測で0.4度～13.6度。部材が当たり閉じきれないため、今後部材の形状を見直す)
		α軸の動作可否	稼働範囲を定格トルク内で動作できること	○ (定格トルク内で動作可能)
		β軸の稼働範囲	20mm以上	○ (実測で22mm)
		β軸の動作可否	稼働範囲を定格トルク内で動作できること	○ (定格トルク内で動作可能)
1	【テレスコパイプの鉛直姿勢での伸縮動作確認】 ・テレスコパイプが伸縮可能かを確認する。 (摺動部(カラー、ダストシール)を変更した影響を確認する)	ケーブル巻取り装置のモータ負荷率	モータの過負荷エラーが発生せずに伸縮できること	○ (モータの過負荷エラーは未発生)
2	【テレスコパイプ伸展時の傾き量確認】 ・テレスコパイプ伸展時の傾き量を確認する。 (2021年度試作したテレスコパイプと比較する)	テレスコパイプ全伸展時の先端の傾き量(1段目パイプ中心から14段目パイプ中心までの水平距離)	先端の傾き量が2021年度試作したテレスコパイプの傾き量(128mm)以下であるか	× (昨年度試作したテレスコパイプより傾き量が大きかった)

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

No.192

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)

○試験結果まとめ(2/2)

No.	試験項目・概要	確認項目	目標(判断基準)	結果
3	【テレスコパイプ伸展時のガタ確認】 ・テレスコパイプ伸展時のガタ量を確認する。 (2021年度試作したテレスコパイプと比較する)	テレスコパイプ全伸展時の先端のガタ量	回転抑制レール方向のテレスコパイプ先端のガタが2021年度試作したテレスコパイプのガタ(218mm)以下であるか	× (昨年度試作したテレスコパイプよりガタ量が大きかった)
			回転抑制レール反対方向のテレスコパイプ先端のガタが2021年度試作したテレスコパイプのガタ(144mm)以下であるか	× (昨年度試作したテレスコパイプよりガタ量が大きかった)
4	【テレスコパイプ伸展状態での姿勢制御機構の動作確認】 ・テレスコパイプ伸展状態で、姿勢制御機構により位置調整が可能かを確認する。	テレスコパイプ全伸展状態でのα軸の動作可否	α軸を6.5度~13.0度(テレスコパイプ鉛直姿勢時の角度は12.0度)の範囲で動かして定格トルク内で動作できること	○ (トルク100%以内で動作可能。RPV底部の開口通過する際の先端位置の微調整にα軸が有効であることを確認した)
		テレスコパイプ全伸展状態でのβ軸の動作可否	稼動範囲を定格トルク内で動作できること	○ (駆動トルクは100%超えることがあるが過負荷エラーは出ず、起動時以外はトルク100%以内で動作可能)
5	【非常時収縮動作の確認】 ・テレスコパイプ伸展状態で、減圧による非常時収縮が可能かを確認する。	減圧時の傾きを抑制し、姿勢調整せずに非常時収縮できるか	人による補助や、姿勢調整機構による調整を必要とせずに、減圧のみで縮み切れること	× (減圧すると縮まずに倒れてしまい、昨年と同じ結果となった)
		減圧によりテレスコパイプを収縮させられること	-92kPa~0Paの範囲で縮み切れること	△ (-85kPaまで減圧した結果、全段のパイプが縮んだが、完全には縮み切らなかった。完全に縮み切らないことによる影響は今後検討する。)
		X方向については、人が補助せずにα軸のみで鉛直に姿勢調整できること	人による補助の有無	△ (α軸により先端を鉛直に調整することはできるが、テレスコパイプが姿勢を保持できない状態で調整するため、鉛直姿勢付近になると反対側に倒れ込むリスクがある)
6	【取り出し用アーム型アクセス装置が揺動した際のテレスコパイプの挙動評価】 ・テレスコパイプを全伸展させた状態と7段目まで伸展させた状態で、それぞれ先端を揺らし、挙動を評価する	テレスコパイプを伸展させて揺動した際の挙動	揺れ挙動を把握すること	— (良し悪しを評価する試験ではなく、あくまで挙動を把握することを目的とした試験のため「—」とした。)

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦～⑪の確認)

○まとめ

- 新たに試作した姿勢制御機構の動作確認を行い、動作に問題ないことを確認した。一部動作範囲が設計値よりも狭い箇所があったことが課題として得られた。
- 姿勢制御機構の α 軸、 β 軸機構により、テレスコパイプ伸展状態で先端位置を微調整可能なことを確認した。先端傾きの補正や、炉底部の開口通過時の先端位置の微調整に使用することが考えられるため、今後の運用検討に反映する。
- テレスコパイプ伸展時の傾きを抑制するため、パイプ摺動部の間隙の低減、ダストシールを硬いものへの変更を装置に反映し、改善効果を確認するための試験を実施した。結果、テレスコパイプの伸縮動作に問題ないことを確認した。傾きは昨年度より大きくなり、傾き改善の効果は得られなかった。
- 非常時収縮において、テレスコパイプ内を減圧時した際に傾斜して収縮できなくなる事象が昨年度と同様に発生した。
- 傾き改善、非常時収縮時の傾斜防止については、ハード的な対策としてテレスコパイプの一部アルミ化や構造見直し、運用上の対策として、姿勢制御機構による姿勢調整、周辺構造物を利用しながら収縮するなどが考えられる。来年度以降、対策を検討していく。

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

2/3号機

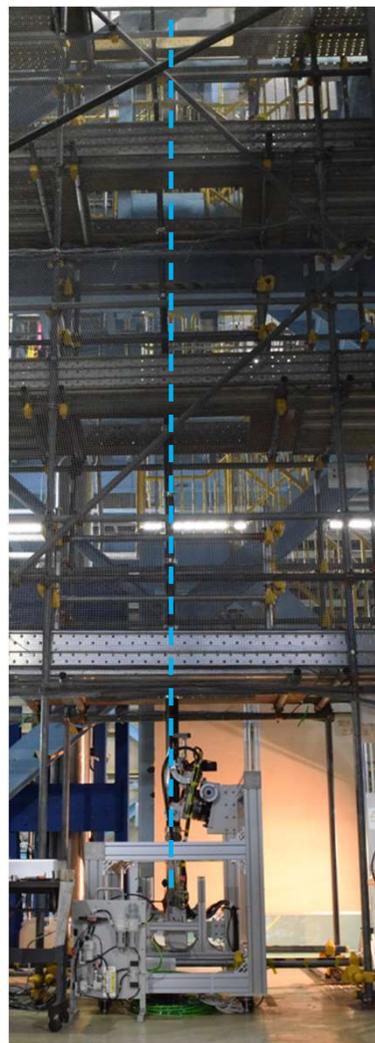
No.194

5) 検討内容

テレスコピック式アクセス装置の動作評価(⑦~⑪の確認)



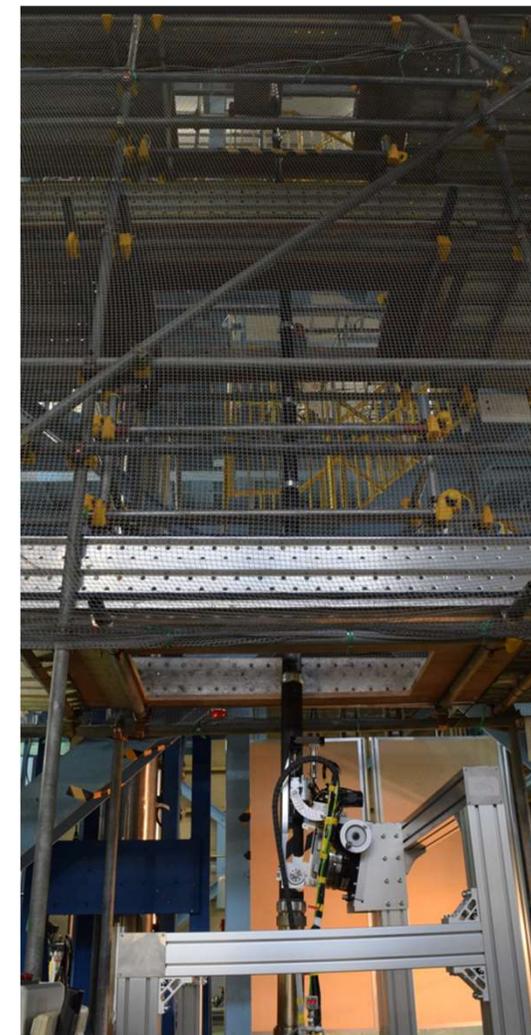
チルト軸により装置を水平姿勢にした様子



テレスコパイプ伸展時に傾いた様子



先端の傾き



α 軸で先端を鉛直姿勢に調整した際の様子

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)

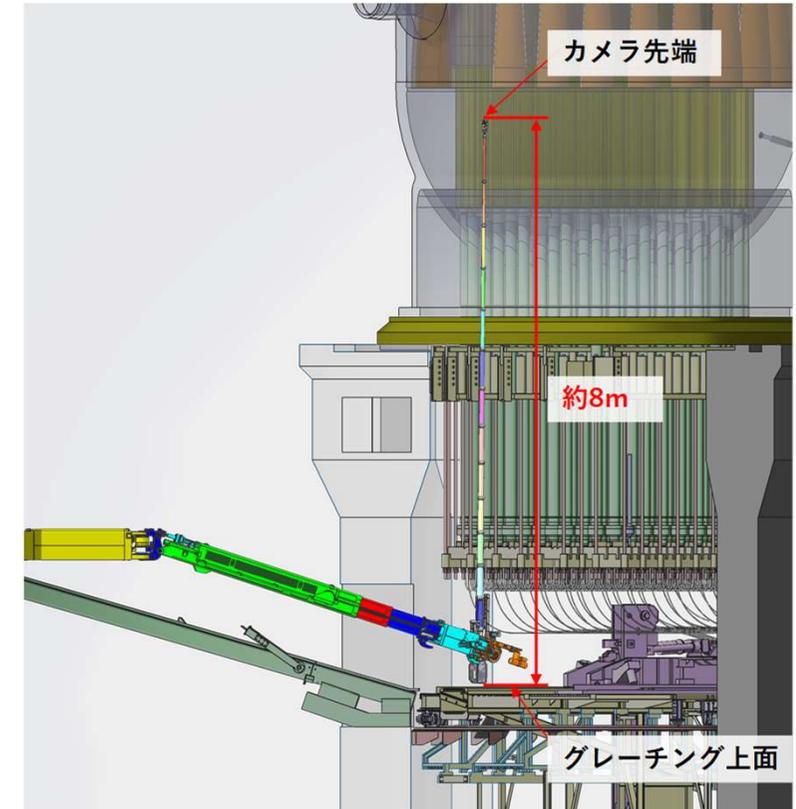
6) 結果まとめ

①2022年度に得られた成果

- 2021年度までの成果を基に、開発計画見直し、課題抽出を行った。
- 抽出した課題に対する対策案とその効果を確認するための要素試験を実施し、対策案を選定した。
- 対策案を反映したテレスコピック式アクセス装置を試作し、機能確認試験を実施した。
- 試験の結果、テレスコピック式アクセス装置の基本動作が可能であり、装置としての成立性があることを確認した。また、非常時収縮対策等については、引き続き課題となることを確認した。
- 装置カメラを用いた運用について検討し、RPV開口部の寸法測定方法、姿勢を検知する方法が必要なことを確認した。

②今後(2023年度以降)の課題

- 2022年度の結果を踏まえ、開発計画の見直し、課題の再抽出を行う。想定される課題を以下に示す。
 - ①非常時収縮の対策検討
 - ②姿勢制御機構の改良
 - ③RPV開口部の寸法判断方法の検討
 - ④装置の姿勢検知方法の検討
 - ⑤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検討



テレスコパイプによるアクセスイメージ