

廃炉・汚染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

最終報告

2022年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

無断複製·転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 ©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



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号機:ドローンによるRPV内へのアクセス装置の開発・・・・・・No.46
- ・2/3号機:テレスコピックによるRPV内へのアクセス装置の開発・・・No.82
 7.まとめ



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。

【2019年度までの実施内容】

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

実機調査



上部アクセス調査工法



【本事業の反映先】

原子炉圧力容器

内部調査技術の開発

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

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

⇒(1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

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

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

⇒(2)下部アクセス調査工法の開発





IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3. 実施項目とその関連、他研究との関係

原子炉格納容器内部 燃料デブリ取り出し工法・ 詳細調査技術の開発 装置に係る検討 燃料デブリの段階的に 規模を拡大した 臨界管理に係る検討 取り出し技術の開発 [input] [output] ・アクセス装置仕様 ・RPV内部・アクセスルートの情報 各種制約条件 (視覚情報・線量率 等) 詳細設計·装置製作· モックアップ 等 原子炉圧力容器 実機調査 内部調査技術の開発 上部アクセス調査 本事業 ・下部アクセス調査 [input] ペデスタル上部(RPV下部)の調査結果 (開口位置、構造物の状況 等) 原子炉格納容器内部 詳細調査技術の開発

IRID

4. 実施スケジュール



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

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。



IRID

<2021年度下期の実施概要>

上期に設計したノズルで、AWJ切断および、レーザ切断の要素試験計画を立案し、試験を実施した。 <2021年度下期の実施内容>

加工技術	実施内容			
AWJ/	1	要素試験計画		
レーサ	2	要素試験の実施		
	3	実機装置設計		

く結果>

- AWJ ・従来の約2倍の流量UPの試験を実施し、その効果は確認されなかったが アブレイシブ使用量低減に着目した切断効率の良いアブレイシブ供給量を試験で確認し、 従来の500g/min→100g/minに見直した。
 - ・アブレイシブ供給量100g/minで各切断部位への施工条件を確認し、
 公募要領にて提示された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。
 - ・20年度は気水分離器の鉛直切断への適用のみであったが、新たに水平切断用ノズルを 設計し、水平切断への適用可能な見通しを得た。
 - ・それにより、上部アクセスに必要な炉内構造物切断全てに、レーザー切断適用可能な 見通しが得られ、各切断対象部位への施工条件を試験で確認した。



<u>1)2021年度上期までの成果概要(1/4)</u>

AWJ切断については、圧力・流量UPの検討を行い、圧力UPは不可と判断した。流量UPは実現可能であり、流量UPに対応可能なAWJノズル 設計および系統設計を行った。レーザ切断は水平切断適用へ向け小型ノズルの設計を実施した。

<u>実施内容及び成果</u>

1.2021年度の実施内容整理

・AWJ切断およびレーザ切断について、実施内容の整理を行い、AWJ切断については、圧力UP・流量UPの検討を行い、検討結果を反映したノズル設計をし、要素試験で切断性能を確認するステップとした。

表1 2021年度実施項目の流れ(AWJ)





1)2021年度上期までの成果概要(2/4)

<u>実施内容及び成果</u>

1. 2021年度の実施内容整理

レーザ切断については、水平切断適用可能なノズル設計を行い、要素試験で切断性能を確認するステップとした。

表2 2021年度実施項目の流れ(レーザ)



IRID

1)2021年度上期までの成果概要(3/4)

<u>実施内容及び成果</u>

2. AWJノズル(アングルノズル)設計

・ノズル設計時の検討内容を抽出し、検討結果をノズル設計へ反映した。

No.	検討内容	検討結果
1	<mark>圧力UP</mark> ・2020年度は、343MPaの圧力で簡易試験を実施したため、 それ以上(目標2倍程度)の圧力とし、切断効率を改善し、 アブレイシブ使用量低減を図る。	適用不可と判断 ・圧力を400MPa以上にする際は、高圧ホースから鋼管等へ変更 が必要であり、鋼管とすると装置組み込み困難のため、圧力UP は不可と判断した。
2	 流量UP •2020年度は、3.7ℓ/minの流量で簡易試験を実施したため、 それ以上(目標2倍程度)の流量とし、切断効率向上による、 アブレイシブ使用量低減を図る。 	<mark>適用可能なため、流路設計実施</mark> ・ホース径変更無く、流量UP可能であったため、2020年度の約2 倍の流量UPに対応可能なノズル設計および系統設計を行った。
3	 ノズル小型化 ・2020年度は気水分離器3筒間の公称寸法に挿入可能な ノズルで試験実施。 ・気水分離器へのアクセス性の考慮が必要。 	<mark>ノズル小型化可</mark> ・気水分離器へのアクセス性を考慮したノズルサイズ(φ64mm) とした。
AWJ/2		
	<u>AWJノズル(アングルノズル)</u>	



1)2021年度上期までの成果概要(4/4)

<u>実施内容及び成果</u>

3. レーザノズル(アングルノズル)設計

・水平切断へ適用する際の課題を抽出し、その課題への対策を反映したノズル設計を実施した。

-			
No.	水平切断適用への課題	対策	
1	ミラー部の破損・気水分離器3筒の間にアクセスして切断を行うため、切断対象との距離が近い。そのため焦点~ミラー間の距離も近くなるため、ミラー部でのレーザ光のエネルギー密度が高く、ミラー破損のリスクがある。	<mark>ミラー冷却追加</mark> ・ミラーの温度上昇を抑える目的で、水で冷却する構造 を追加した。	
2	切断能力の低下 ・水平切断は、スタンドオフの変動範囲が大きいため、焦点~切断対象までの距離が離れすぎると切断できない可能性がある。 (焦点~切断対象までの距離:最大30mm)	事前確認試験の実施 ・ノズル設計にあたり、焦点位置から切断対象までの距離が離れることによる切断可否を事前確認試験を行い、 最大80mm焦点から離れた位置でも切断が可能であったため、スタンドオフの変動にも対応可能であると判断した。	焦点
		保護ガラス 小型ノズル レーザノズル(アングルノズル)	アシストガスノズル アシストガス経路 ドイ?(muu0 ミラー や却系統

IRID

No.13



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

①試験計画(AWJ)

各加工対象に対する試験体は、切断する範囲および、切断時に障害物となる範囲を模擬した。各模擬範囲を下表に示す。



IRID

No.15

2)2021年度下期の実施内容 ②試験計画(レーザ) 下表の平板切断試験および、模擬体切断試験を 実施し、切断性能を確認する。 試験 蒸気乾燥器底板 試験項目 目的 区分 小型ノズルの切断試験 小型ノズルの性能確認 平板 切断 試験 レーザ出力DOWNでの切断試 ・レーザ出力毎の切断性能 験 を確認 蒸気乾燥器底板切断試験 気水分離器連結棒切断試験 模擬体 気水分離器リブ切断試験 施工可能な条件確認 切断 施工上の問題点の抽出 試験 気水分離器上面部切断試験 気水分離器本体部切断試験 シュラウドヘッド切断試験 (\mathbf{X}) ・ストレートノズル:レーザ光を曲げずストレートに照射するノズル ・アングルノズル:レーザ光を直角に曲げて照射するノズル(2021年度に設計)



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

②試験計画(レーザ)

各加工対象に対する試験体は、切断する範囲および、切断時に障害物となる範囲を模擬した。各模擬範囲を下表に示す。



IRID

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[平板切断試験(1/4)]

・流量UP効果確認試験(アブレイシブ供給無)

<u><試験内容></u>

WJ流量を8.42/minに増加させた条件で平板の板 厚方向にノズルを走行させ平板を切断し、切断 深さから、流量UPの効果を確認する。





項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	8.42/min
アブレイシブ 供給量	0(WJ切断)

く試験結果>



※:流量3.72/minの結果は、2020年度の試験結果を記載。





No.17

<u>試験体写真(流量8.42/min)</u>

<u>試験体写真(流量3.7ℓ/min)</u>

- <u> <結論></u>
- ・2020年度に実施した3.70/minの結果と比較し、最大2倍の切断深さとなった。
 したがって、WJ切断は、流量UPIこよる切断効果を確認できた。
 ・切断効果は得られているものの、切断性能が低く、2020年度同様
 WJだけでの切断は、実機適用不可と考える。



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[平板切断試験(2/4)]

•流量UP効果確認試験(AWJ)

<u><試験内容></u>

AWJの流量を8.42/minに増加させた条件で平板の板厚方向にノズルを走行させ平板を切断し、切断深さから、流量UPの効果を確認する。

<u><試験条件></u>



<hr/>									
			アブレイシブ供給量:500g/min						
	切断速度		スタンドオ	フ:20r	nm				
	(mm/min)	ž	充量 : 8.4ℓ/min)	流量:3.7ℓ/min※				
		No.	切断深さ(mm)	No.	切断深さ(mm)				
	100	1	11	5	12				
	80	2	12	6	14				
	60	3	16	7	16				
	40	4	26	8	27				

※:流量3.72/minの結果は、2020年度の試験結果を記載。



<u>試験体写真(流量8.40/min)</u>

、乳酸料田/

<u>試験体写真(流量3.70/min)</u>

No.18

<u> <結論></u>

 ・2020年度に実施した3.72/minの結果と比較しても、アブレイシブ供給量 500g/minでは流量UPによる切断効率改善効果は確認できなかった。
 ・ただし、アブレイシブ供給量によっては、流量UPの効果が確認できる 可能性があるため、アブレイシブ供給量適正値確認試験を実施した。

IRID

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[平板切断試験(3/4)]

・<u>流量とアブレイシブ供給量効果確認試験(1/2)</u>

<u><試験内容></u>

AWJの流量を8.42/minと従来の3.32/minの条件で、アブレイシブ供給量を変化させ、平板の板厚方向に ノズルを走行させ平板を切断し、切断深さから、流量とアブレイシブ供給の関係を確認する。



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[平板切断試験(4/4)]

・<u>流量とアブレイシブ供給量効果確認試験(2/2)</u>

<u><試験結果></u>

			スタンドオ				フ:20mm		スタンドオフ:50mm						
アブレイシフ゛	油座	ブノレ1ンノ 一世 公 弦		流量:8.4	4€/min		流量:3.3ℓ/min		流量:8.4ℓ/min			流量:3.3ℓ/min			
供給量 (g/min)	速度 (mm/min)	供和 <i>平</i> (g/mm) ※1	No.	切断深さ (mm)	切断効率 (mm²/g) ※2	No.	切断深さ (mm)	切断効率 (mm ² /g) ※2	No.	切断深さ (mm)	切断効率 (mm²/g) ※2	No.	切断深さ (mm)	切断効率 (mm²/g) ※2	
900		15.0	1	23	1.53	10	19	1.27	1	19	1.27	10	19	1.27	1
800		13.3	2	27	2.03	11	18	1.35	2	18	1.35	11	18	1.35	1
700		11.7	3	20	1.71	12	17	1.46	3	17	1.46	12	17	1.46	平板試
600		10.0	4	19	1.90	13	16	1.60	4	15	1.50	13	17	1.70	板厚:1
500	60	8.3	5	16	1.92	14	15	1.80	5	14	1.68	14	16	1.92	
400		6.7	6	14	2.10	15	14	2.10	6	10	1.50	15	13	1.95	
300		5.0	7	12	2.40	16	11	2.20	7	8	1.60	16	11	2.20	
200		3.3	8	8	2.40	17	9	2.70	8	5	1.50	17	8	2.40	
100		1.7	9	6	3.60	18	7	4.20	9	4	2.40	18	4	2.40	

No.20 切断速度 B(mm/min) AWJノズル アブレイシゼ 供給量 A(g/min) D(mm) 切断深; <アブレイシブ供給率> ノズル1mm進行時 使用するアブレイシブ量 A+B=C(g/mm) 験体 0mm <切断効率> ・アブレイシブ1gで切断可能 な面積 $D \div C = E(mm^2/g)$

<u>図1 切断効率について</u>

※1:アブレイシブ供給率(g/mm)は、アブレイシブ供給量(g/min)を速度(mm/min)で割った値。

※2:切断効率は、切断深さ(mm)をアブレイシブ供給率(g/mm)で割った値(mm²/g)(送り方向に1mm走行した際に、アブレイシブ1gあたり、切断可能な面積を表す(図1参照))。 <結論>

・流量8.42/min、3.32/minいずれの条件でもアブレイシブ供給量100g/minが切断効率が良いことを確認した(表中赤枠)。

流量8.42/min と3.32/minではスタンドオフ20mm、アブレイシブ供給量が500g/min以上で流量8.42/minの方が
 切断効率が良い結果(表中青枠)であったが、それ以外では双方に差はないか3.32/minの方が良い結果となった。

・一部の条件で流量UPの効果が確認されたが、それ以外では流量UPの効果が少なかった。
 ・アブレイシブ使用量低減に着目した切断効率は3.32/min、100g/minの条件の切断効率が良く、
 模擬体切断試験では、その条件を採用した。



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(1/9)]

・加工対象毎の施工条件まとめ

下表に模擬体切断試験で確認した加工対象毎の施工条件を示す。

	加工対象								
	蒸気乾燥器		シュラウドヘッド						
	底板	連結棒	リブ	上面部	本体部	-			
AWJ切断状態	側板 ノズル 切断範囲 底板	気水分離器 連結棒 しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しん		び断範囲 リズル のある が分離器上面部	切断範囲 する の の の の の の の の の の の の の の の の の の	気水分離器 切断範囲 ・ の が 前 い で ル ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・			
切断速度	・小径加工 :50°/min ・大径加工 :3~10°/min	・連結棒切断 ∶10°⁄min	・リブ上部切断 :5°/min ・リブ下部切断 :10°/min	 ・上部平板切断 :30°/min ・鉛直切断 :10~15mm/min ・水平切断 :12°/min 	•鉛直切断 :10~30mm/min •水平切断 :12°/min	・中心穴あけ :60°/min ・外周切断 :6°/min			
ノ 種 ズ ル	・ストレートノズル	・ストレートノズル	・ストレートノズル	・ストレートノズル + ・アングルノズル	・アングルノズル	・ストレートノズル			

条 共 噴射圧力: 343MPa、アブレイシブ供給量: 100g/min

件通 噴射流量: 3.450/min(ストレートノズル)/3.30/min(アングルノズル)

IRID

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(2/9)]

·<u>気水分離器 本体部切断(1/7)</u>

<試験内容>

アブレイシブ供給量100g/minの条件で気水分離器本体切断のための施工条件を確認する。

<u><切断手順(実機想定)></u>



加工前形状



①鉛直切断(内側)

段分の切断高さ(50mm)

180

加工後形状(1段分)



②鉛直切断(外側)

所定の段数まで 手順①~④を繰り返し

:2020年度までは模擬せず、2021年度

に追加した範囲。



No.22

<u>④水平切断</u>



- <u>2)2021年度下期の実施内容</u>
 - ③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(3/9)]
 - ·<u>気水分離器 本体部切断(2/7)</u>



<u> <試験結果></u>

・鉛直切断(内側)は、20mm/minで外筒および、中間筒の 切断が可能であった。



試験体写真 鉛直切断(内側)

切断条件図

項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	3.3l/min
アブレイシブ供給量	100g/min
スタンドオフ	16.3mm(外筒まで) 47.5mm(中間筒まで)
切断速度	20mm/min



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(4/9)]

·<u>気水分離器 本体部切断(3/7)</u>

<u><試験条件></u>

IRID



<u>切断条件図</u>

項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	3.3l/min
アブレイシブ供給量	100g/min
スタンドオフ	41.9mm
切断速度	10mm/min

<u><試験結果></u>

・鉛直切断(外側)は、10mm/minで外筒の切断が可能であった。



試験体写真 鉛直切断(外側)

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(5/9)]

<u>気水分離器 本体部切断(4/7)</u>



項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	3.3l/min
アブレイシブ供給量	100g/min
スタンドオフ	 ①:31.1mm(スペーサまで) ②③:52.6mm(スペーサまで) ④:49.5mm(スペーサまで)
切断速度	①:30mm/min(往復1回) ②③④:20mm/min

<u> <試験結果></u>

- ・鉛直切断(スペーサ)は、下記切断速度で各スペーサの 切断が可能であった。
 [切断速度]スペーサ1:30mm/min(往復1回)・スペーサ2:20mm/min
 - スペーサ3:20mm/min・スペーサ4:20mm/min





No.25





試験体写真 鉛直切断(スペーサ)



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(6/9)]

・ 気水分離器 本体部切断(5/7)

<u><試験条件></u>



<u>切断条件図</u>

項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	3.3l/min
アブレイシブ供給量	100g/min
スタンドオフ	4mm~58mm
切断速度	12°/min

<u> <試験結果></u>

・水平切断は、12°/minで外筒・中間筒およびスペーサの 切断が可能であった。



IRID

- <u>2)2021年度下期の実施内容</u>
 - ③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(7/9)]
 - ·<u>気水分離器 本体部切断(6/7)</u>

<u><試験条件></u>



<u>切断条件図</u>

項目	条件
AWJノズル	アングルノズル
噴射圧力	343MPa
噴射流量	3.3l/min
アブレイシブ供給量	100g/min
スタンドオフ	53.5mm(リングまで)
切断速度	30mm/min(9 往復)

<u><試験結果></u>

・鉛直切断(リング)は、30mm/min(9往復)でリングの切断が可 能であった。





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(8/9)]

• <u>気水分離器 本体部切断(7/7)</u>

<u><試験結果></u>



試験体写真① 切断前

試験体写真② 4段分切断後

試験体写真③ 4段分切断後

No.28

前頁までの切断手順に沿って、2021年度設計したアングルノズルで切断を行い、 気水分離器本体部について、4段分の切断を実施した。



- <u>2)2021年度下期の実施内容</u>
 - ③試験結果(AWJ)[模擬体切断試験(9/9)]
 - ・<u>他加工対象</u>



<u>蒸気乾燥器底板</u>



<u>気水分離器 連結棒</u>

<u>気水分離器 リブ</u>



No.29



気水分離器本体部以外の加工対象についても各ノズルで切断試験を行い、 炉内構造物加工対象部全てが切断可能であることを確認した。



2)2021年度下期の実施内容

(※1):要素試験はアブレイシブ供給量100g/minで実施したが、供給量のばらつきを考慮し、120g/minで試算した。 (※2):過去試験では、アブレイシブ供給量が不安定であったため、保守的な評価とした。 ③試験結果(AWJ)[アブレイシブ使用量の試算] (※2):過去試験では、アフレイシフ供給量が不安定であった: (※3):2021年度に新たに模擬し、施工条件を確認した箇所。

加工対象		2019年度までの	2020年度の	2021年度			
			アフレイシフ ア、 使用量	アフレイシフ 使用量	アブレイシブ使用量 (※1)	アブレイシブ供給量の 変更(有:〇、無:×)	アブレイシブ供給量以外の 変更内容
蒸気 乾燥器	底板	小径加工	2.74kg	同左	0.88kg	0	変更無し
		大径加工	12.64kg	同左	7.35kg	0	変更無し
気水 分離器	連結棒	-	60.00kg(※2)	同左	1.08kg	0	・噴射範囲を限定(364゜→90゜) ・スタンドオフの短縮
	リブ	-	8.59kg	同左	1.56kg	0	・噴射範囲変更(17°→上部20°、下部25°) ・切断箇所増(2箇所→4箇所)
	上面部	・上部平板切断 ・鉛直切断(内側) ・鉛直切断(外側)	829.06kg	同左	17.16kg	0	・切断の組合せ変更 (円錐状切断の組合せ→ 円錐状切断+鉛直/水平切断の組合せ) ・噴射範囲変更(364°→342°)
		・鉛直切断(スペーサ) (※3)	-	-	0.17kg	0	変更無し (新規に検討)
	本体部	・鉛直切断(内側) ・鉛直切断(外側) ・水平切断	7840.21kg	323.75kg	269.82kg	0	変更無し
		・鉛直切断(スペーサ) ・鉛直切断(リング) (※3)	-	-	20.12kg	0	変更無し (新規に検討)
シュラ	-	中心穴あけ	4.5kg	同左	0.97kg	0	変更無し
ウド ヘッド	-	外周切断	51.57kg	同左	8.28kg	0	変更無し
合計 (小数点以下切り上げ)		8810kg	1293kg	328kg (前年度比 : 約75%減)	▲ 施工時間が増え	るものの、アブレイシブ使用量の	
施工時間合計 (小数点以下切り上げ)		228hr	37hr	46hr (前年度比 : 約25% 増)	- F標500kg以下を	と達成可能な見通し	



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

③試験結果(AWJ)[ノズル耐久性試験結果]

<u><試験内容></u>

噴射時間1時間おきに平板切断を行い、 切断深さを確認する。切断深さの変化から ノズル寿命を評価する。



く試験結果>

・噴射時間2時間までにやや切断深さが低下し、その後8時間までは、 切断深さが安定したが、9時間以降は徐々に切断深さが低下した。



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[平板切断試験(1/2)]

・アングルノズル性能試験

<u> <試験内容></u>

アングルノズルとストレートノズルのそれぞれを用いて、 平板の板厚方向にノズルを走行させ平板を切断し、 切断深さから、アングルノズル性能を確認する。

<u><試験条件></u>



項目	条件
レーザノズル	・アングルノズル (焦点:ノズル先端から35mm) ・ストレートノズル (焦点:ノズル先端から30mm)
レーザ出力	8kW
アシストエア一圧力	0.68MPa
アシストエアー流量	•アングルノズル : 約6800/min •ストレートノズル : 約7500/min

<u><試験結果></u>								
	ノズル速度 (mm/min)	ア	ングルノズル	ストレートノズル				
		スタ: (ノズル先 (人ズにち	ンドオフ:55mm :端~焦点:35mm+ -試験体:20mm)	スタンドオフ:50mm (ノズル先端~焦点:30mm+ 焦点~試験体:20mm)				
		No.	切断深さ	No	切断深さ			
			(mm)	NO.	(mm)			
	300	1	20	1	22			
	180	2	24	2	31.5			
	120	3	28	3	38.5			
試験No. 1 2 3 1 2 3								
	M	AA	AS I					

く結論>

試験体(アングルノズル)

試験体(ストレートノズル)

No.32

 ・ストレートノズルに対しアングルノズルが約20~30%切断性能が劣る結果であった。
 ・アングルノズルは、ストレートノズルより性能は劣るが、 炉内構造物切断には十分 な能力があると判断した。

(ノズル速度が300mm/minの場合でも20mmの切断深さが得られており、気水分離器 本体部板厚3.2mmは切断可)



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[平板切断試験(2/2)]

・実機想定レーザ出力の性能試験

<u><試験内容></u>

実機でのレーザ出力の損失を考慮した7.2kWで平板の 板厚方向にノズルを走行させ平板を切断し、切断深さから、 性能を確認する。





項目	条件
レーザノズル	アングルノズル (焦点:ノズル先端から35mm)
レーザ出力	7.2kW
アシストエア一圧力	0.68MPa
アシストエアー流量	約6801/min

<u><試験結果></u>							
		レー	ザ出力7.2kW	レーザ出力:8kW(※1)			
	ノズル速度	スタンドオフ:55mm (ノズル先端~焦点:35mm+焦点~試験体:20mm)					
かこ	(mm/min)	No.	切断深さ	No	切断深さ		
J.O.			(mm)	INO.	(mm)		
	300	1	19	1	20		
	180	2	23	2	24		
	120	3	28	3	28		

(※1):レーザ出力8kWの結果は、前頁のアングルノズル性能試験結果を比較用に記載。



<u>試験体(レーザ出力7.2kW)</u>



No.33

<u>試験体(レーザ出力8kW)</u>

<u> <結論></u>

<u>・レーザ出力7.2kWと8kWでは、切断深さに大差が無いが、</u>模擬体切断 試験はレーザ出力7.2kWで行い施工条件を確認した。

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(1/10)]

・<u>加工対象毎の施工条件まとめ</u>

下表に模擬体切断試験で確認した加工対象毎の施工条件を示す。

	加工対象									
	蒸気乾燥器		シュラウドヘッド							
	底板	連結棒	リブ	上面部	本体部	-				
レーザ切断状態	 小径加工 	気水分離器 「連結棒 切断範囲 ・連結棒切断	・リブ リブ リブ リブ 「助新範囲 気水分離器	切断範囲 、ズル 気水分離器上面部 ・上部平板切断	小学校研究中学校研究中学校研究中学校研究中学校研究中学校研究中学校研究中学校研究中	気水分離器 切断範囲 ジュラウドヘッド ・中心穴あけ				
切断速度	:516°/min •大径加工 :46°/min	:354°/min	:94°/min ・リブ下部切断 :118°/min	:92°/min •鉛直切断 :60~120mm/min •水平切断 :190°/min	:60~300mm/min •水平切断 :190°/min	:286°/min •外周切断 :20°/min				
ノ 種 類 ル	・ストレートノズル	・ストレートノズル	・ストレートノズル	・ストレートノズル + ・アングルノズル	・アングルノズル	・ストレートノズル				
条共 件通	レーザ出力:7.2kW、アシストエアー圧力:0.68MPa アシストエアー流量:約7501/min(ストレートノズル)/約6801/min(アングルノズル) 実機施工時間合計:約4時間									



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(2/10)]

<u>気水分離器 本体部切断(1/8)</u>

<u><試験内容></u>

気水分離器本体切断のための施工条件を確認する。

<u>
く切断手順(実機想定)></u>
|※:手順①~⑥の組合せで気水分離器本体部を切断する。




<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(3/10)]

- •<u>気水分離器本体部切断(2/8)</u><試験条件>
- ①鉛直切断(外側) 外筒 中間筒 気水分離器1 R31 (ノズル内論の世界主体) 内僧 切断線① 9.9 気水分離器2 6 ノズル走行 30.1 (5) 気水分離器3 外筒 内筒

<u>切断条件図</u>

項目	条件
レーザノズル	アングルノズル
レーザ出力	7.2kW
アシストガス	エアー
アシストガス圧力/流量	0.68MPa/約680ℓ/min
スタンドオフ	47.2mm
切断速度	300mm/min

<u><試験結果></u>

・鉛直切断(外側)は、300mm/minで外筒の切断が可能であった。





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(4/10)]

• <u>気水分離器 本体部切断(3/8)</u>

<u> <試験条件></u>



項目	条件
レーザノズル	アングルノズル
レーザ出力	7.2kW
アシストガス	エアー
アシストガス圧力/流量	0.68MPa/約680ℓ/min
スタンドオフ	①: 32.2mm(スペーサまで) ②: 50.5mm(スペーサまで)
切断速度	①: 300mm/min ②: 300mm/min

<u><試験結果></u>

 ・鉛直切断(スペーサ1、4)は、300mm/minで各スペーサの 切断が可能であった。



IRID

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(5/10)]

<u>気水分離器 本体部切断(4/8)</u>

<u> <試験条件></u>



<u>切断条件</u>図

項目	条件
レーザノズル	アングルノズル
レーザ出力	7.2kW
アシストガス	エアー
アシストガス圧力/流量	0.68MPa/約680ℓ/min
スタンドオフ	5~59mm
切断速度	190° /min

<u><試験結果></u>

・水平切断は、190°/minで外筒・中間筒およびスペーサの 切断が可能であった。





9.9

50.1

- <u>2)2021年度下期の実施内容</u>
 - ④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(6/10)]
 - <u>気水分離器 本体部切断(5/8)</u>

<u><試験条件></u>





条件
アングルノズル
7.2kW
エアー
0.68MPa/約680ℓ/min
8.3 ~ 30mm
300mm/min

<u> <試験結果></u>

・鉛直切断(内側)は、300mm/minで中間筒の
 切断が可能であった。





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(7/10)]

•<u>気水分離器 本体部切断(6/8)</u><試験条件>



<u>切断条件図</u>

項目	条件		
レーザノズル	アングルノズル		
レーザ出力	7.2kW		
アシストガス	エアー		
アシストガス圧力/流量	0.68MPa/約680ℓ/min		
スタンドオフ	①: 44.9mm(スペーサまで) ②: 44.9mm(スペーサまで)		
切断速度	①: 300mm/min ②: 300mm/min		

<試験結果>

 ・鉛直切断(スペーサ手前)は、300mm/minで 切断が可能であった。





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(8/10)]

•<u>気水分離器 本体部切断(7/8)</u><試験条件>



項目	条件
レーザノズル	アングルノズル
レーザ出力	7.2kW
アシストガス	エアー
アシストガス圧力/流量	0.68MPa/約680タ/min
スタンドオフ	①:53.7mm(スペーサまで) ②:53.7mm(スペーサまで)
切断速度	①: 300mm/min ②: 300mm/min

く試験結果>

 ・鉛直切断(スペーサ2、3)は、切断速度300mm/minで 切断が可能であった。



試験体写真 鉛直切断(スペーサ2、3)



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(9/10)]

·<u>気水分離器 本体部切断(8/8)</u>

<u><試験結果></u>



試験体写真① 4段分切断後

試験体写真② 4段分切断後

前頁までの手順を組合せて切断し、アングルノズルで4段分の切断を実施した。
 気水分離器本体の切断において、
 <u>鉛直切断および水平切断へアングルノズルの適用が可能な見通しを得た。</u>



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(レーザ)[模擬体切断試験(10/10)]

<u>他加工対象</u>





<u>シュラウドヘッド</u>

気水分離器本体部以外の加工対象についても各ノズルで切断試験を行い、 炉内構造物加工対象部全てが切断可能であることを確認した。 また、アングルノズル、ストレートノズル共に、実機施工時間に対し、 試験にて1.5倍以上の時間使用しており、耐久性に問題ないと判断した。



- <u>2)2021年度下期の実施内容</u>
 - ⑤実機装置設計
 - ・2021年度に設計したAWJノズル(アングルノズル)および、レーザノズル(アングルノズル)について、 要素試験にて切断性能に問題ないことを確認。



- ·実機装置への組み込み設計を実施。
- ・実機作業を想定して、各ノズルヘカメラの追加を検討し、設計へ反映。

連節ガイドパイプへ接続



<u>3)まとめ・今後の課題</u>

<u>まとめ</u>

- ・AWJ切断は2020年度のノズルの小型化により、気水分離器本体切断時のアブレイシブ使用量の大幅な低減を可能としたが、本年度は更なるアブレイシブ使用量の低減と気水分離器本体以外のアブレイシブ使用量の低減のための検討を 実施。アブレイシブ供給量低減に着目した供給量適正化と気水分離器本体以外の一部に2020年度の小型化したノズル を適用することで、目標であるアブレイシブ使用量500kg以下を達成可能な見通しを要素試験で確認。
- ・レーザ切断は2020年度に適用不可であった気水分離器本体の水平切断に適用可能な切断ノズルの検討を実施し、2020 年度に検討したノズルと組み合わせることで、 **炉内構造物切断対象部全てを切断可能な施工条件を確認**。

<u>今後の課題</u>

No.	大項目	中項目	今後の課題
1	加工装置	AWJ切断	・ノズル寿命
		レーザ切断	・実機を考慮した遠隔装置の成立性
			・ファイバーのドラム(*)への組み込み (*):ドラムは右図参照。
			・高出力のレーザ用スリップリングの 調査又は検討
	共通	・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	
2	付帯作業	共通	・切断片の処理(移動)



No.45

炉内構造物加工装置の全体概略図(2019年度検討)



6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発

開発項目の定義:アクセス装置、調査装置の定義

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



(i) ペデスタル内へのアクセス装置
 ⇒他事業の開発技術を流用
 (ii) ペデスタル内からRPV内部へのアクセス装置
 ⇒新規開発項目
 (iii) 調査装置
 ⇒他事業の開発技術を流用

▶ 2020年度の検討結果より、1号機はドローン、2/3号機はテレスコピックを用いた RPV内部へのアクセス装置を新規開発項目として抽出



No.46

1/2/3号機共通



1号機:ドローンによるRPV内へのアクセス装置の開発

<2021年度下期の実施概要>

昨年度からの課題と上期の検討を踏まえ、有線/無線ドローンの要素試験を実施した。

<2021年度下期の実施内容>

調査技術	実施内容		
	1	試作機の製作	
有線・無線ドローン/付帯設備	2	要素試験の計画	
	3	要素試験の実施	

- 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。

<u>無線ドローン</u>:

- 飛行性能向上 → 目標飛行高さ7m(※)以上を達成。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。

<u>付帯設備</u>:

- 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、操縦性の改善が図られた。

(※)1号機については、プラットホームからCRDハウジング上端面の距離が約6.9mであることから7mと設定







No.48

<u>1)2021年度上期までの成果概要</u>

2020年度に実施した簡易試験にて挙がった給電ケーブルの電圧降下による目標飛行高さ7m未達やその他の課題に対し、対策案の検討を行った。 また、その他今年度新たに検証する項目を検討し、実機ドローン及び付帯設備の構成検討と、そのための試験計画を検討した。

実施内容及び成果(詳細は次頁参照)

- 2020年度に実施した試験結果からの課題まとめと 対策案検討
- 2021年度新たに検証する項目の検討
- 上記2項目を反映した実機ドローン及び付帯設備構成検討
- 対策案、新規検証項目を確認するための試験計画検討





No.49

<u>2)2021年度下期の実施内容(2020年度試験結果からの課題対応)</u>

2020年度試験結 果からの課題	2021年度上期の実施内容	2021年度下期の実施内容	課題達成目標	有線	無線
給電ケーブル電圧 降下による飛行高さ 不足	 電圧降下対策の検討 (高電圧ケーブル採用、 DC-DCコンバータ設置) 	• 試作機を用いた要素試験	飛行高さ7m以上の飛行が できること。	0	_
ドローンが飛行中に 試験設備と接触し 墜落した事象有り	 ・飛行監視方法の見直し (ドローンに搭載した操縦用カメラの 他にドローンと試験設備との位置を 把握するため、伸縮ロッド先端に 俯瞰カメラを設置し、飛行監視を行う) 	• 試作機を用いた要素試験	俯瞰カメラによる監視で、ド ローンが試験設備に接触し ない操縦ができること。	0	0
ドローン旋回動作に よるRPV底部調査 困難	 ・ドローン下面に調査用パン・チルトカメラ 追加検討 (ドローン旋回動作による調査 は実施しない) 	・試作機を用いた要素試験	RPV開口部直径1m内にド ローンが留まり、調査用カメ ラのパン・チルト操作により、 RPV底部内面調査範囲を カバーできること。	0	0
目標飛行時間に 対する飛行時間不足	 ・飛行時間延長検討 (バッテリーの容量増加、 搭載数増加等) 	• 試作機を用いた要素試験	・調査時間の計測による目 標時間10分の見直し ・再設定した目標時間に対 する飛行時間の評価	_	0
電波通信性確認の 試験検討	・通信性確認方法の検討	 通信可否閾値確認試験 ペデスタル内およびRPV内の電波強度解析 	通信可否閾値と電波強度 解析から、送受信機設定位 置が決定できること。	_	0





No.50

2)2021年度下期の実施内容(2021年度に追加した実施項目)

追加実施項目	2021年度の実施内容	有線	無線
有線ドローンケーブル複合化	操作系ケーブル、給電ケーブル、カメラケーブルの複合ケーブル試作	0	_
ケーブルドラム電動化	モータ駆動によるケーブルドラムの試作	0	_
耐放射線性評価	ドローン部品レベルでの照射試験	0	0
暗闇環境に対する影響	暗闇環境での飛行試験	0	0
降雨環境に対する影響	降雨環境での飛行試験	0	0
調査可能範囲の確認	調査用カメラ操作による調査範囲確認試験	0	0
最小飛行空間の確認	最小飛行空間確認試験	0	0

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

①改善対策を実施した試作機製作(1/3) (給電ケーブル電圧降下対策/有線ドローン)



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1号機



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

①改善対策を実施した試作機製作(2/3) (旋回性対策/有線・無線ドローン共通)

<課題>

- ➢ RPV開口想定Φ1m内での旋回飛行不可
- ▶ そのためRPV底部周方向360°調査不可

く対策>

- ▶ ドローン下面に調査用パン・チルトカメラを追設
- ▶ パン・チルト操作により、RPV底部内面調査を実施し、ドローンによる旋回操作はやめる。







1号機 6. 実施内容 (2)下部アクセス調査工法の開発(ドローン) No.53 2)2021年度下期の実施内容 ①改善対策を実施した試作機製作(3/3) (操縦性対策/有線・無線ドローン共通) く課題> Φ1000 有線・無線ドローン共に、組合せ試験で一連の手順で飛行可能なことを確認 \geq 但し、試験中何度かドローンが模擬体に接触し墜落する事象が発生 \triangleright ドローン搭載カメラ1台のみの飛行は墜落リスクあり \triangleright く衆族ン ドローン 俯瞰カメラ1画像イメージ 飛行状態を俯瞰的な視野で確認する俯瞰カメラを追加 ドローンにも調査用カメラを追加することで操縦の補助として 使用 模擬RPV 開口部







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

②ドローン構成 (有線ドローン2021年度試作機外観)





1号機



②ドローン構成 (無線ドローン2021年度試作機外観)







1号機







<u>2)2021年度下期の実施内容</u> ③試験計画 (試験項目)

試験No.	. 試験区分 試験項		試験項目	試験目的	有線	無線
1			飛行高さ確認試験	目標高さ(7m)飛行可否/最大飛行高さの確認	0	0
2			連続飛行時間確認試験	連続飛行時間の確認	-	0
3		飛行性能試験	飛行移動時間確認試験	X-2ペネからCRD開口部までの飛行時間の確認	_	0
4	<u> 224 / 노</u> 사내 스난 =-4 F스		最小飛行空間確認試験 (鉛直方向/水平方向)	通過可能な水平及び鉛直方向の開口部最小寸法 の確認	0	0
5	单1 411111111111111111111111111111111111		調査性確認試験(通常)	通常環境下で調査可能な範囲の確認	0	0
6		視認性能試験	調査性確認試験(暗闇)	暗闇環境下で調査可能な範囲の確認	0	0
7			調査性確認試験(降雨)	降雨環境下で調査可能な範囲の確認	0	0
8			ケーブルドラム性能確認試験	送り出し/巻取り機構と乱巻き防止機能の確認	-	-
9		付帯設備試験	ケーブルドラムと伸縮アーム組 合せ性能確認試験	ケーブルドラムと伸縮アーム先端のケーブル送り 出し/巻取り機構の連動性確認	-	-
10			ワンスルー試験(通常)	通常環境下での一連の調査手順における各装置 の機能確認及び、最終調査手順の策定	0	0
11	組合せ試験	ワンスルー試験	ワンスルー試験(暗闇)	暗闇環境下での一連の調査手順における各装置 の機能確認及び、最終調査手順の策定	0	0
12			ワンスルー試験(暗闇+降雨)	暗闇+降雨環境下での一連の調査手順における 各装置の機能確認及び、最終調査手順の策定	0	0
13		耐放射線性試験	照射試験	各構成部品の耐放射線性の確認	0	0
14	その他	通信性能試験	閾値確認試験	操縦系/映像系の無線機における、送信電力及び 受信電力閾値の確認	-	0
15			電波伝搬解析	実機体系での操縦系/映像系の無線電波の電界 強度分布の確認	-	0





IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

- ③試験計画 (試験環境):実機における原子炉窒素注入及び注水に関する模擬性
 - 1. 窒素注入(風)の影響に関して
 - 1)ドローン調査位置と窒素出口の距離は離れており、ドローン飛行への影響は無いと考えられる。
 - 2)窒素注入全量がRPV底部開口部を通過すると想定した場合、RPV底部開口部での風速換算値は 0.02m/sである。風速0.02m/sは、気象庁の指標であるビューフォート風力階級表において「風力階級0(平穏)」に 相当する。これは、煙が真っすぐに上昇する環境条件であり、ドローン飛行への影響は無いと考えられる。

<u>風速換算について</u>



上記の検討より、本試験では窒素注入による風条件を加味しない。

2. 注水(降雨)の影響に関して

- 1)原子炉注水量の原子炉圧力容器内での降雨量換算値は189.8mm/hであり、気象庁の指標では「猛烈な雨(80mm/h以上)」に相当する。 この降水条件は、傘が全く役に立たない環境条件であり、ドローン飛行は困難である。
- 2)対策として、調査実施時は注水を一時停止することを提案する。2019年に実施した1号機の注水停止試験では、49時間の注水停止は 問題ないことが確認されている。しかし注水停止時においても、濡れた構造物より滴る水滴による水滴滴下環境であると考えられる。
 3)そこで、本試験は水滴滴下環境とし滴下量は100cc/minと設定する。2号機の内部調査時の映像を確認したところ、本試験での
- 100cc/minの滴り方と同様な水滴の滴り方をしており、滴下量が妥当であることを確認した。またドローンは水滴滴下に耐えうる仕様とする。

<u>降雨量換算について</u>

原子炉注水量(※3)	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器内での降雨量換算値
給水系∶2.0m³/h, CS系∶1.4m³/h → 合計∶3.4m³/h	内径:	189.8 mm/h

(※3)東京電力ホームページ プラント運転パラメータから引用。

上記の検討より、本試験では水滴滴下(滴下量:100cc/min,降雨量8mm/h相当)条件とする。



1号機

No.58

RHV系(※2): 約15m³/h





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.1:飛行高さ確認試験)

ᆉᇏᆷᄽ	计段中态		試験結果	
	武歌內谷	武歌 <i>力 </i>	有線ドローン	無線ドローン
目標高さ (7m)飛行可 否/最大飛 行高さの確 認	 1目標飛行高さ7mの 飛行可否を飛行試験 で確認する。 2最大飛行高さを飛 行試験で確認する。 	 1有線ドローンでは、複合ケーブル(15m)に 目印をつけ、ドローンを上昇させる。 2無線ドローンでは、試験設備に飛行高さの目印をつけ、ドローンを上昇させる。 3ドローン上昇後、各到達点において10秒間ホバリング出来れば、飛行可と判断する。 	①目標飛行高さ7mが飛行可。 ②最大飛行高さは9m飛行可で あったが、9m飛行時にESC(※1) 温度上昇によって制御不能とな り墜落した場合があり、実機適用 時は8mが上限であると考えられ る。	 1目標飛行高さが7m飛行可。 ②最大想定飛行高さ11m (※2)まで飛行可。

(※1) Electric Speed Controllerの略。ドローンのモータースピードをコントロールする部品。 (※2) 炉心支持板上面位置:約10.9mを超えられる11mを目標とした。



IRID





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.2:連続飛行時間確認試験)

封除日め	计除口容	计除士注	試験結果	
これ 家日 のり	武歌内谷	武鞅力 法	無線ドローン	
連続飛行時 間の確認	選定したバッ テリーの飛行 時間を飛行試 験で確認する。	 ①バッテリー(3500mAh×2台)切れで着陸するまでの飛行時間を確認する。飛行状態は、ホバリング状態または上昇/下降の繰り返しとする。 ②参考としてバッテリーを4600mAh×2台とした場合でも確認する。(※1) 	 【飛行時間〕(※2): ・ホバリング:5分48秒(8分54秒) ・上昇/下降の繰り返し(1~2m):6分4秒(8分49秒) ・上昇/下降の繰り返し(1~7m):5分57秒(8分51秒) →平均5分56秒。 〔往復回数〕: ・上昇/下降の繰り返し(1~2m):31.5回(49.5回) ・上昇/下降の繰り返し(1~7m):16.5回(26.0回) ()内は、参考用として4600mAh×2台の結果 	

(※1) 4600mAhはバッテリーサイズが大きく、ドローンのカバーが締まりきらなかったため、今回は参考値とする。 (※2) 飛行形態によって連続飛行時間に大きな変化が無かったのは、飛行時に急上昇/降下が無く、



IRID



No.61

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.3:飛行移動時間確認試験)

学时日本	学段市家	学院士法	試験結果
この こ	武 教的谷	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	無線ドローン
X−2ペネから CRD開口部ま での飛行時間 の確認	PCVペネからインストール後、 CRD開口まで移動する際の 時間とバッテリー消費を飛行 試験で確認する。	X-2ペネからCRD開口部までの経路を模擬したマー カー間を等間隔で離着陸しながらドローンで飛行させ、 離陸から着陸までの飛行時間とバッテリーの消費量 を確認する。	 ①飛行時間:(平均)1分08秒(※1) ②バッテリーA消費量7.3%/バッテリーB消費量:6.7%:(平均)7%(※2) (無線ドローンには同型のバッテリーを2つ搭載しており、それぞれを便宜上バッテリーA,バッテリーBと記載する。)

(※1) X-2ペネからCRD開口部までの片道の値である。帰路も考えた往復時の場合、飛行時間は2分16秒となる。 (※2) X-2ペネからCRD開口部までの片道の値である。帰路も考えた往復時の場合、バッテリー消費量は14%となる。





試験概要図







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.4:最小飛行空間確認試験(鉛直方向/水平方向))

学时日的	计段中央	学院士は	試験結果	
こう いうしん いうしん ひょうしん ひょうしん しんしょう しんしょう ひょうしん ひょう	武殿内谷	武 <i>职力 法</i>	有線ドローン	無線ドローン
通過可能な 水平及び鉛 直方向の開 口部最小寸 法の確認	鉛直方向または 水平方向とした 模擬体内の飛行 試験で確認する。	 ①開口、□800mm、長さ4.5mの直方体の模擬体内を、下部から上部まで往復飛行し飛行可否を確認する。 ②開口、□800mmが通過可能な場合、□600mmと変え試験する。 ③模擬体を横にし、同様に水平方向の飛行可能寸法を確認する。 	□800mm •鉛直:通過可(※1) •水平:通過可 □600mm •鉛直:通過可(※1) •水平:通過可	□800mm •鉛直:通過可(※1) •水平:通過可 □600mm •鉛直:通過不可 •水平:通過可

(※1)通過はできたが、模擬体に僅かに接触/飛行中枠から機体がはみ出たケース有り。



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.5/6/7:調査性確認試験(通常/暗闇/降雨))

試験目的	試験内容	試験方法
調査可能な範囲 の確認(通常/暗 闇/降雨環境下)	ドローンのホバリング状態を維持して パンチルトカメラを操作し、RPV底部 を模擬した試験設備において視認可 能範囲を確認する。	①RPV底部の高さを模擬した試験設備の周囲に視認性確認用のパネルを配置し、 ドローンを目標飛行高さ7mで、ホバリングしパンチルトカメラを操作することで、 視認可能な範囲を確認する。 ②(1)通常環境下、(2)暗闇環境下、(3)降雨環境下の3パターン実施する。







<u>試験状況(通常環境下)</u>



<u>試験状況(暗闇環境下)</u>





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.5:調査性確認試験(通常))

試験結果			
有線ドローン(※1)	無線ドローン(※2)		
①パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置1000mmで最小の文字を 明瞭に識別可能。	①パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置1000mmで最小の文字を識別することが可能。		

(※1)複合ケーブルが視界を遮り、パネルの確認が困難になることがあったため、ケーブル処理が課題である。 (※2)無線電波の干渉により、断続的に映像ノイズが発生することがあり画質は有線に劣る。



調査映像(通常環境下)







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.6:調查性確認試験(暗闇))

試験結果				
有線ドローン(※1、2)	無線ドローン(※3)			
①パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置1000mmで最小の文字を 明瞭に識別可能。	①パネル位置2000mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置2500mmのパネルそのものの形状は確認可能。			

(※1) 複合ケーブルが視界を遮り、パネルの確認が困難になることがあったため、ケーブル処理が課題である。

(※2)LED 照明がドローンの足や複合ケーブルに反射し、見えにくくなることがあった。

(※3)無線電波の干渉により、断続的に映像ノイズが発生することがあり画質は有線に劣る。



調査映像(暗闇環境下)







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.7:調查性確認試験(降雨))

調調	贪結果
有線ドローン(※1、3)	無線ドローン(※2、3)
①パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置1000mmで最小の文字を 明瞭に識別可能。	①パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ②パネル位置500mmで最小の文字を識別することが可能。

(※1) 複合ケーブルが視界を遮り、パネルの確認が困難になることがあったため、ケーブル処理が課題である。

(※2)無線電波の干渉により、断続的に映像ノイズが発生することがあり画質は有線に劣る。

(※3)調査用カメラはドローン下部にあるため上部からの水滴滴下の影響はほぼ見られなかった。



調査映像(降雨環境下)



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(試験No.8/9:ケーブルドラム性能確認試験/ケーブルドラムと伸縮アーム組合せ性能確認試験)

試験項目	試験目的	試験内容	試験方法	試験結果
ケーブルド ラム性能確 認試験	送り出し/巻取り機 構と乱巻き防止機 能の確認	 ①送り出し/巻取りが可能 かを確認する。 ②送り出し/巻取り時に乱 巻きにならないかを確認 する。 	①ケーブルの送り出しと巻取りを 行い、送り出し/巻取りの可否とド ラムのケーブル状態、ケーブル の外観を確認する。	 ①乱巻きなく送り出し/巻き取り動作が可能であり、ケーブル性能に影響する外観異常は無し。 ②送り出し時に、ケーブルがドラム裏側へ送り出される場合があり、ケーブルが引っかかる原因となるため対策が必要。
ケーブルド ラムと伸縮 アーム組合 せ性能確 認試験	ケーブルドラムと 伸縮アーム先端 のケーブル送り機 構の連動性を確 認	組合せ動作確認として ケーブルの送り出しと巻取 り動作が問題ないことを確 認する。	①実機想定手順により、ケーブ ルドラム、伸縮アーム先端の送り 出し機構の動作及び有線ドロー ンを飛行させ性能の確認をする。	同上

機構の連動性を確認







ドラム背面にケーブルが 送り出される

試験状況

組合せ試験概要図



1号機



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.10/11/12:ワンスルー試験(通常/暗闇/暗闇+降雨))

試験目的	試験内容		試験方法
ー連の調査手順における各装 置の機能確認及び、最終調査 手順の策定(通常/暗闇/暗闇 +降雨環境下)	 1調査手順と実施要領の妥当性 2飛行性を確認、調査性、飛行時 3課題点を抽出する。 	を確認する。 寺間を確認する。	通常/暗闇/暗闇+降雨環境下において、実機で想定している 調査手順と実施要領により、一連の動作を確認する。
RPV開口模擬 タ1000mm 一 内室内管模握 CRD開口部 (R職カメラ2) ケーブルドラム ケーブルドラム 作職カメラ3 (有線のみ) (R縦空模擬エリア ・ 操縦/調査用モニター ・ (所職カメラモニター35) ・ (一ブル送り操作盤)	水滴滴下治具 ・	俯瞰が (伸縮 複合ケーブル 有線ドローン RPV開口部 操縦用カメラ	<complex-block></complex-block>







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.10:ワンスルー試験(通常))

試験結果				
有線ドローン	無線ドローン			
飛行性:飛行可(※1) 調査性:映像確認可(ケーブル映り込みあり) 調査時間:8分15秒(往復)(※2)	飛行性:飛行可/調査性:映像確認可(断続的な映像ノイズあり) 調査時間:2分9秒(往復)(※2) バッテリーA消費量:36%/バッテリーB消費量:35%::(平均)35.5%			
(※1)ケーブルが床と接触する場合があるため、ケーブル処理が課題である。 (※2)伸縮アームの伸縮時間は除く。飛行時間は操縦者の技量に左右される可能性があ	ある。 			
With a set of the set o	With a set of the set			
(俯瞰カメラ1) (俯瞰カメラ2) (府瞰カメラ2) (府瞰カメラ3)	(俯瞰カメラ1) (府瞰カメラ1) (府瞰カメラ2) (府瞰カメラ2) (府瞰カメラ3)			







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.11:ワンスルー試験(暗闇))

試験結果				
有線ドローン	無線ドローン			
飛行性:飛行可(※1) 調査性:映像確認可(ケーブル映り込みあり) 調査時間:8分49秒(往復)(※2)	飛行性:飛行可/調査性:映像確認可(断続的な映像ノイズあり) 調査時間:2分24秒(往復)(※2) バッテリーA消費量:43%/バッテリーB消費量:42%:(平均)42.5%			
(※1)ケーブルが床と接触する場合があるため、ケーブル処理が課題である。 (※2)伸縮アームの伸縮時間は除く。飛行時間は操縦者の技量に左右される可能性があ	ある。			
<image/> <caption></caption>	<image/> <caption><caption></caption></caption>			







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.12:ワンスルー試験(暗闇+降雨))

試験結果	
有線ドローン	無線ドローン
飛行性:飛行可(※1) 調査性:映像確認可(ケーブル映り込みあり)(※2) 調査時間:9分00秒(往復)(※3)	飛行性:飛行可/調査性:映像確認可(断続的な映像ノイズあり)(※2) 調査時間:2分11秒(往復)(※3) バッテリーA消費量:37%/バッテリーB消費量:39%:(平均)38%

(※1)ケーブルが床と接触する場合があるため、ケーブル処理が課題である。

(※2)ドローン下部の調査用カメラは水滴滴下の影響はほぼ見られなかった。一方でドローン上部の操縦用カメラは水滴滴下により、断続的に視界が遮られる場合があった。 (※3)伸縮アームの伸縮時間は除く。飛行時間は操縦者の技量に左右される可能性がある。



<u>操縦用カメラ(水滴滴下の様子)</u>





<u>操縦カメラ</u>

<u>調査カメラ</u>




<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (実機手順):ワンスルー試験の結果より、実機では以下の手順で操作する。

手順No.	ケーブルドラム操作	伸縮アーム操作	有線ドローン操作		
初期状態	ケーブルは8m巻取り状態	伸縮アームは収縮状態。ケーブルは伸縮アーム先端から3m送り出し状態	CRD開口入口手前で待機		
1	ケーブルを7m送り出し	伸縮アーム先端からケーブルを2m送り出し	—		
2	—	—	離陸し、CRD開口出口でホバリング		
3		伸縮アームを5.3m進展し、俯瞰カメラをRPV開口へ向ける			
4	—	—	TIP案内管下部をくぐり、RPV開口真下へ移動しホバリング		
5	—	伸縮アーム先端からケーブルを2m送り出し	—		
6	—	—	目標高さまで上昇し、RPV内部調査		
\bigcirc	—	—	調査後、RPV開口真下へ降下し、ホバリング		
8	ケーブルを2m巻取る	伸縮アーム先端からケーブルを2m巻取る	—		
9	—	—	TIP案内管下部をくぐり、CRD開口出口へ移動しホバリング		
10	—	伸縮アーム収縮	—		
1	—	—	CRD開口入口へ帰還し、着陸		
(12)	ケーブルを5m巻取る	伸縮アーム先端からケーブルを2m巻取る	_		

<u>有線ドローン実機手順</u>

無線ドローン実機手順

手順No.	伸縮アーム操作	無線ドローン操作
初期状態	伸縮アームは収縮状態	CRD開口入口手前で待機
1	伸縮アーム5.3m進展し、俯瞰カメラをRPV開口へ向ける	_
2	_	離陸し、調査位置まで飛行。調査終了後CRD開口入口へ帰還し、着陸
3	伸縮アーム収縮	_



1号機

No.72





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.13:照射試験)

計陸口的	计段中态		試験結果			
ごうしん ひんしん ひんしん ひんしん ひんしん ひんしん ひんしん ひんしん ひ	武歌内谷 	武殿 <i>力 法</i>	有線ドローン	無線ドローン		
各構成部品の 耐放射線性の 確認	部品レベルで放射線 照射試験を行い、各 部品の耐放射線性を 確認。	以下有線/無線共通 ①試照射試験用のドローンを2 セット製作し、一方のドローンのみに100Gy (※1)照射する。 ②照射後のドローンの各部品をもう一方の健全なドローンの ものと1 つずつ入れ替えながら、各部品の動作確認をする。	フライトコントローラ に動作異常あり。 (※2)	フライトコントローラ に動作異常あり。 (※2)		

(※1)調査時間が10分と仮定した際の試算値。

(※2)動作確認時にフライトコントローラ内のコンパス(機体の方向を確認する機能)に異常があることを確認。一方で、本試験ではコンパスセンサは 使用していない。従ってコンパスセンサを取り除いたフライトコントローラを製作する必要がある。



<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(試験No.14/15 通信性能試験)

無線ドローンにおける通信性に関して

1)無線ドローンの実機適用に向け、実機における無線ドローン操縦可否及び撮影映像の伝送可否を評価する必要がある。
 2)実機では伸縮アーム先端に送受信機を設置し通信するが、無線電波が原子炉内構造物に遮蔽され通信不可となる可能性がある。
 3)一方で、実機無線環境を模擬することは昨年度までの試験で困難であることが確認されている。

以上より、試験No.14(閾値確認試験)と試験No.15(電波伝搬解析)の結果を比較することで通信性能を評価する。





1号機

No.74





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.14 閾値確認試験)

試験目的	試験内容	試験方法
操縦系/映像系の無 線機における、送信 電力及び、受信電力 閾値の確認	解析のインプットとな る送信機の送信電 カと受信電力閾値を 測定する。	 ①操縦系2.4GHz/映像系5.7GHz:送信電力の測定する。 ②2.4GHz帯は無線LAN等の通信機器に用いられているため送受信アンテナは電波暗箱に設置する。 減衰器の減衰量を大きくしていき、モーター挙動が乱れる時の受信電力を測定する。 ③5.7GHz帯は使用に免許と届け出が必要であり、送信機は電波暗箱内に設置し送受信機はケーブ ル接続とする。減衰器の減衰量を大きくしていき、映像が乱れる時の受信電力を測定する。



実機体系と試験体系の比較







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(試験No.14 閾値確認試験)

電波暗箱

電源



試験結果							
周波数[GHz]	送信電力[dBm]	受信電力閾値[dBm]					
2.4	15.8	-95.1					
5.7	28.4	-86.6					











減衰量に伴う映像状態の変化の様子



映像系5.7GHz

電源

減衰器

受信機

雷源



被写体





<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果 (試験No.15 電波伝搬解析)

解析目的	解析内容	解析方法
実機体系での操縦系/映 像系の無線電波の電界強 度分布の確認	解析ソフトウェアにて、実機を模した体系で、操縦系2.4GHz/映像系 5.7GHzの電界強度分布を解析する。	①解析条件は、送信機の送信電力を波源のインプットとする。またCRD形状、波源 位置、アンテナ向きを変え、2.4/5.7GHzともに計8ケースの解析を実施する。 ②実機で想定される送受信機位置において、解析結果と試験で得られた受信電力 閾値を電界強度へと変換した値と比較する。



IRID



No.78

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(試験No.15 電波伝搬解析)

解析/閾値比較結果

①試験及び解析の比較の結果、CRD開口部内側では操縦系/映像系ともに通信可能である可能性が高い。 ②映像系5.7GHzでは、CRD開口部外側において通信不可となる可能性がある。



<u>解析結果(操縱系2.4GHz)</u>

<u>解析結果(映像系5.7GHz)</u>

備考:閾値(赤線)は、「試験No.14 閾値確認試験」で得られた受信電力閾値の単位を[dBm]から[dBV/m]に変換した値。

以上の結果より、伸縮アームで送受信機をCRD開口内部に設置することで、 操縦系/映像系ともに通信可能である見通し。





No.79

<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(有線ドローン試験結果及び実機適用性評価)

試験 No.	試験項目	有線ドローン	実機適用性評価
1	飛行高さ確認試験	・目標飛行高さ7m、最大飛行高さ8m飛行可能。 ・飛行高さ9mにてESCの温度上昇により墜落。	・CRDハウジング上面まで到達可能。 ・機体内の電子部品の発熱対策が課題。(周辺環境温度も考慮 要)
2	連続飛行時間確認試験	-	-
3	飛行移動時間確認試験	-	_
4	最小飛行空間確認試験 (鉛直方向/水平方向)	・鉛直方向:□800mm,600mmを枠に接触しつつ通過 可。 ・水平方向:□600mmを通過可能。	・□800mmでも枠に接触しながらの通過であり、実機では現状の開 ロ想定の1mは必要と考える。(先行するペデスタル内調査結果に より実機適用を判断)
5	調査性確認試験(通常)	・通常:パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。	・RPV底部の構造物の確認が可能な見通し。
6	調査性確認試験(暗闇)	・暗闇:ハネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ・降雨:パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。	・調査画像に機体の部品の映り込みかあり。 →ドローンの脚の構造見直しが必要であるが、有線ケーブルの
7	調査性確認試験(降雨)	水滴の影響は無し。 ・共通してケーブルに視界が遮られるケースあり。	映り込みは対策困難。
8	ケーブルドラム性能確認試験	・乱巻きなく送り出し/巻き取り動作が可能。	 ケーブル送り出し方向の改良設計が必要。
9	ケーブルドラムと伸縮アーム 組合せ性能確認試験	・送り出し時に、ケーノルかトフム表側へ送り出される ケースあり。	
10	ワンスルー試験(通常)	(以下暗闇+降雨の結果) ・飛行性:飛行可(俯瞰カメラによる監視により、墜落	・俯瞰カメラによる監視により、一連の要領で飛行が可能。但し、 パイロットの技量による部分もあり、実機適用時は充分なトレーニ
11	ワンスルー試験(暗闇)	無し) ・調査性:映像確認可(水滴の影響無し) ・調査時間:9分00秒(往復)	ングが必要。
12	ワンスルー試験 (暗闇+降雨)	・ケーブルの床への接触あり。	
13	照射試験	・フライトコントローラ内のコンパスに異常あり。	 ・コンパスセンサを搭載していないフライトコントローラの適用要。 →搭載可能な部品の調査または特注での製作の検討が必要
14/15	閾値確認試験/電波伝搬解析	-	-







<u>2)2021年度下期の実施内容</u>

④試験結果(無線ドローン試験結果及び実機適用性評価)

試験 No.	試験項目	無線ドローン	実機適用性評価			
1	飛行高さ確認試験	•11m飛行可能。	・CRDハウジング上面まで到達可能。また、最大炉心支持板付近 まで到達可能。			
2	連続飛行時間確認試験	・平均5分56秒の連続飛行が可能。	・ワンスルー試験の項目で評価			
3	飛行移動時間確認試験	・X-2ペネCRD開口往復時間:2分16秒 ・往復時のバッテリー消費量:14%	・ワンスルー試験の項目で評価			
4	最小飛行空間確認試験 (鉛直方向/水平方向)	鉛直方向:□800mmを枠に接触しつつも通過可能。 水平方向:□600mmを通過可能。	・□800mmでも枠に接触しながらの通過であり、実機では現状の 開口想定の1mは必要と考える。(先行するペデスタル内調査結 果により実機適用を判断)			
5	調査性確認試験(通常)	 ・通常:パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 ・暗闇:パネル位置2000mmの文字形状を確認可能。 	・RPV底部の調査が可能な見通し。 ・ただし断続的なノイズのため、有線に比べ画質は劣る。			
6	調査性確認試験(暗闇)	・降雨:パネル位置2500mmの文字形状を確認可能。 水滴の影響は無し	・画像のノイズは電波のマルチパスの影響であり、現状では対 困難			
7	調査性確認試験(降雨)	・共通して断続的なノイズが発生。	ビゴ天性。			
8	ケーブルドラム性能確認試験					
9	ケーブルドラムと伸縮アーム組 合せ性能確認試験	-	_			
10	ワンスルー試験(通常)	(以下暗闇+降雨の結果) ・飛行性:飛行可。(俯瞰カメラによる監視により、 嗒菇毎~)	・俯瞰カメラによる監視により、安定した飛行が可能。 ・飛行移動時間との合計より、飛行時間4分27秒となる。連続飛			
11	ワンスルー試験(暗闇)	墜落無し) ・調査性:映像確認可(断続的な映像ノイズ有、水 滴の影響無し)	行可能時間か5分56秒であるので、調査可能な見通し。 ・バッテリー消費での評価では、一連の調査で52%を消費。 ・上記の試算は、X-2ペネ~CRD開口間におけるクローラー待			
12	ワンスルー試験 (暗闇+降雨)	・調査時間:2分11秒(往復) ・バッテリー消費量:38%	機時間や裕度を考慮していないため更に検討が必要。			
13	照射試験	・フライトコントローラ内のコンパスに異常あり。	 ・コンパスセンサを搭載していないフライトコントローラの適用要。 →搭載可能な部品の調査または特注での製作の検討が必要。 			
14/15	閾値確認試験/電波伝搬解析	・CRD開口より入口内側に送受信機を設置すること で通信可能。	・操縦系2.4GHz/映像系5.7GHZともに、CRD開口より内側に送受 信機を設置することで通信可能な見通し。			



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



まとめ

- ・2020年度に実施した簡易試験では、有線ドローンは給電ケーブルの電圧降下による目標飛行高さ未達、無線ドローンは飛行時間の延長、共通として、ドローン監視方法、ドローン旋回飛行によるRPV下部調査困難等の課題があり、それらの対策案検討及びドローン試作を実施。
- ・その他、実環境対応(暗闇、水滴滴下)等の課題に対する対策案も含め、その効果を確認する 要素試験を実施。
- ・要素試験の結果より、有線ドローンは給電方法の見直しにより目標飛行高さを達成、無線ドローンはバッテリー構成の見直しにより目標時間を上回る連続飛行が可能となった。

残る課題

2021年度試験結果から得られた新たな課題及び、その他考えられる課題を以下に示す。

- ・ 一連の調査工法の成立性(X-2ペネ~CRD開口までのアクセス含む)
- 他事業で開発中の伸縮ロッド及び、ケーブルドラムを搭載したクローラーとの組合せ時の成立性
- ・ドローン(有線/無線)に搭載する電子部品の耐放射線性
- 無線ドローンに搭載可能な軽量放射線センサの調査または検討

1号機

No.81





No.82

2/3号機:テレスコピックによるRPV内へのアクセス装置の開発

<2021年度下期の実施概要>

・2020年度に策定した開発課題に対する概念検討および必要な要素 試験を実施。

・2020年度の課題に対する対策案を装置仕様へ反映し、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。

・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し、テレスコピック式アクセス装置単体での成立性を評価。

<2021年度下期の実施内容>

- ・対策案の効果を確認する試験
- ・開発課題に対する概念検討・簡易試験
- ・14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
- ·成立性評価

<結果>

・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。

・昨年度の課題(リーク発生、摺動抵抗が高い)に対する対策案を反映し、14段のテレスコパイプを試作し試験を実施。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。







No.83

<u>1)2021年度上期までの成果概要(1/2)</u>

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要因分析、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、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。

<u>実施内容及び成果</u>

1. テレスコピック式アクセス装置の概要

・テレスコピック式アクセス装置は、燃料デブリ取り出し用のアクセス装置 との取り合いの関係からФ100mm、長さ約1mという寸法制約の中で約 7m伸ばすため薄肉、多段の全14段構成。また、空気圧を用いて伸展し、 パイプ内のケーブルを巻き取ることで収縮する仕様。



<u>テレスコピック式アクセスアクセス装置の概略仕様</u>						
項目	仕様					
段数	14段					
材質	パイプ:CFRP、アルミ その他部品:アルミ部材					
駆動源	伸展:エア 収縮:ケーブル巻取り装置 各種モータ:電源					
パイプの厚さ	1mm					
収縮時の寸法 (テレスコパイプのみ)	1100mm以下					
伸展時の寸法 (テレスコパイプのみ)	7100mm以上					
外径	根元 : Φ97mm 先端 : Φ37mm					
エア圧	最大伸展時:0.1MPa					
最大可搬重量	2kg(エア圧0.1MPa時)					
ケーブル	テレスコパイプに内蔵					
ケーブルハンドリング	根元のケーブル巻取り装置のリー ルの回転にて制御					
パイプ間のクリアランス	0.3mm(パイプとピストン隙間)					
シール材	NBR					
カメラ	CCD or CMOS					





No.84

<u>1)2021年度上期までの成果概要(2/2)</u>



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) 2) 「②下部アクセス・調査装置の概念検討」の流れ



No.85



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



No.86

3)(ウ)対策案の効果を確認する試験

〇試験項目

No	学段有日	2020年度の試験結果に対する対策案							
NU.	武教項ロ	А	В	С	D	E	F		
1	シール機能確認試験	0	0	0	—	—	—		
2	接着部強度確認試験	0	0	—	—	—	—		
3	部分確認試験	0	0	0	0	0	0		

○2020年度の試験結果に対する対策案(No.84より)







○試験体系:シール性(リークチェック、リーク量)確認

No.87

<u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <1 シール機能確認試験> 〇目的

伸縮時の摺動抵抗低減と、エアのリーク量低減のために候補として挙げたパイプ材質とシール構造について、摺動抵抗と シール性(リークチェック、リーク量)を把握することで効果を確認して適した組合せを選定することを目的とする。

なお、今年度より新規に実施するリーク量確認については、テレスコパイプ伸展時の供給流量または、非常時収縮時の排気 流量に対して、パッキンからのリーク流量/外気侵入流量が少なく、問題なく伸展/非常時収縮できるリーク量であることを確 認する。

〇試験概要

摺動抵抗は、ピストンを荷重計を用いて引っ張ることで測定する。シール性(リークチェック、リーク量)は、ON/OFF弁を閉じ て密閉容器に空気を溜め、その後ON/OFF弁を開きテレスコパイプに圧縮空気を送る際に、ピストン部周囲に塗布したせっけ ん水の発泡の有無を調べることで確認する。また、圧縮空気供給中に密閉容器に取り付けた圧力計の測定値の時間変化を 記録する。

〇試験体系:摺動抵抗確認



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <1 シール機能確認試験>

2/3号機

No.88



条件①:パイプ材質 CFRP平織、CFRP軸方向UD、CFRP周方向UD

<u>⇒ 対策案 A「パイプ材質のCFRP内面の織り目を単一方向へ変更」の効果の確認</u>

条件②:ピストン材質 CFRP平織、アルミ <u>→ 対策案 B「ピストン材質のアルミ採用」の効果の確認</u>

条件③:シール構造 通常型(GLY×2)、ハイブリッド型(WR+GLY)
 ⇒ 対策案 C「ハイブリッドのシール構造採用」の効果の確認

条件④(参考):パイプ材質 アルミ <u>⇒ 対策案 A「(代替案)パイプ材質のアルミ採用」の効果の確認</u>

尚、本試験結果から選定したシール部構成にて環境条件を模擬した試験を実施。線量条件は 0Gy、7200Gy(100Gy/hで3日間を想定)、温度条件は25℃(室温)・50℃、湿度条件は常湿・100% (常温の水に3日間浸水させることによる模擬)、炉内の水滴によるパイプ内の濡れの有無でそ れぞれ試験を実施し、環境条件の違いによる影響を確認する。



環境模擬条件時の試験体系





6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) 3)(ウ)対策案の効果を確認する試験 <1 シール機能確認試験>



〇シール機能確認試験結果を基にしたシール部構成の選定指標

指標①:摺動抵抗

・ケーブル巻取り装置の定常引張力である319N以下とし、摺動抵抗が最も低い方シール部構造を 第1候補とする。

指標2:リーク量

- ・進展時:供給元圧力を上げる(上限0.30MPa)ことでテレスコパイプ内の圧力を0.10MPaにすることが できる見込みのリーク量であること
- ・非常時収縮時:排気元圧力を-0.092MPa(最大排気圧力)にした際に、各パイプと調査装置の自重を 考慮したうえで、テレスコパイプ内の圧力を0.10MPaにした際の伸展力(最大伸展力)と 同等の引張力を得られる負圧(-0.090MPa)にできる見込みのリーク量であること

また、上記指標に加え、製作性についても考慮し、シール部構成を選定する。



No.90

<u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <1 シール機能確認試験>

〇シール機能確認試験結果のまとめ

パターン		1 (2020年度検討)		2 3 (条件①) (条件①)		} ‡①)	4 (条件②)		5 (条件③)		6 (条件④、代替案)			
シール 構造		通常型 GLY×2		通常型 GLY×2		通常型 GLY×2		通常型 GLY×2		ハイブリッド型 WR+GLY (対策案C)		ハイブリッド型 WR+GLY (対策案C)		
	パイプ内 材質	面	CFRP 平織		CFRP 軸方向UD (対策案A)		CFRP 周方向UD (対策案A)		CFRP 軸方向UD (対策案A)		CFRP 軸方向UD (対策案A)		アルミ (対策案A)	
	ピストン 材質	,	CFRP 平織		CFRP 平織		CFRP 平織		アルミ (対策案B)		アルミ (対策案B)		アルミ (対策案B)	
		回数	最大値	摺動中	最大値	摺動中	最大値	摺動中	最大値	摺動中	最大値	摺動中	最大値	摺動中
N N S S S S S S S S S S S S S S S S S S	Z	1		E度 +、+、 トス	20.9		21.4	+>+> + Z	22.0	+>+> + Z	15.4	かかトス	12.7	おおトス
	我抗	2	2020年度		22.3	++++ + Z	26.6		20.4		13.4		11.6	
	3	報告済み	わわよて 16~27	21.1	わわみて 6~9	25.7	ののみて 6∼11	20.9	あおよて 5∼8	13.5	5~7	11.7	3~4	
抗	抵督	4	のため省略		20.6	•••	23.0	• • • •	20.3		13.0		11.7	
		5			21.8		20.3		20.7		13.4		12.3	
	平均	値	34.9	—	21.3	—	23.4	—	20.9	—	13.7		12.0	—
	ピストンの	の向き	-	-	-	-	-	-	-	_	表向き	裏向き	表向き	裏向き
IJ I	0.10MPaから0.09MPa になるまでの時間		7種	少	1分12秒		1分:	1分34秒		▶22秒	113分58秒	5分16秒	131分26秒	128分41秒
 ク量	2段目パ リーク	イプの /量	6Q/1	min	0.62	/min	0.52	/min	0.006	l/min	0.006 l/min	0.140 l/min	0.006 &/min	0.006 l/min
	14段テレス= 換算した際の	コパイプに Dリーク量	552/	′min	50/	min	4ℓ/min		0.059	l/min	0.06 l/min	1.22 l/min	0.05 l/min	0.05 l/min





3)(ウ)対策案の効果を確認する試験 <1 シール機能確認試験>

- ○まとめ:シール部構成の策定
- パイプ材質は、CFRP平織パイプに比べて、摺動抵抗とリーク量を低減することができるCFRP軸方向UDパイ プを本案とする。
 - ・CFRP軸方向UD/周方向UDでは、摺動抵抗が最も小さいCFRP軸方向UDを選定
 - ・アルミは摺動抵抗、リーク量ともにCFRPより優れているが、製作性に課題があることから本案とせず 代替案とする。ピストン材質は、CFRP平織ピストンに比べて、リーク量を低減できるアルミ ピストンを本案とする。
- シール構造は、通常型に比べて摺動抵抗が小さく、また、上記のパイプとピストンを用いることで、テレスコパ イプ伸展時のリーク量と非常時収縮時の外気侵入量が、エアチューブで供給/排気できる流量に比べて十 分少ないことを確認した、ハイブリッド型を本案とする(CAD上にて、テレスコパイプを炉底部開口に擦らず進 入できる傾きの抑制効果があることも確認済)。





2/3号機

No.92

<u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <1 シール機能確認試験>

〇シール機能確認試験結果のまとめ(環境模擬試験)

環境条件		通常	環境	炉内模	疑環境1	炉内模擬環境2		
	温度		常	温	50	°C	50°C	
積算線量		0 Gy(未照射)		7200) Gy	720) Gy	
湿度		常湿		100%(常温 間浸	の水に3日 【水)	100%(常温の水に3日 間浸水)		
/	パイプ内の	濡れ	無	L	無	L	有	6
		回数	最大値	摺動中	最大値	摺動中	最大値	摺動中
	Ζ	1	15.4		14.2		22.6	
摺	抵	2	13.4		16.7	+>+> L 7	22.1	
動	摺動抵	3	13.5	おおよそ 5~7	13.4	おおよて 5~7	23.3	おおよそ 5~7
抗		4	13.0		14.3		24.2	5.27
		5	13.4		15.9		23.6	
	平均值		13.7	—	14.9	_	23.2	
	ピストンの向き		表向き	裏向き	表向き	裏向き	表向き	裏向き
IJ	0.10MPaから 0.09MPaになるま での時間		113分58秒	5分16秒	132分47秒	11分26秒	—	-
ー ク 量	2段目パイプの リーク量		0.006 ℓ/min	0.140 &/min	0.005 &/min	0.063 ℓ/min	—	-
	・・・ 14段テレスコパイ プに換算した際の リーク量		0.06 &/min	1.22 &/min	0.05 ೩/min	0.56 ೩/min	—	-

本案としたパターン5の組み合わせで、環境模擬試験を 実施した。環境模擬をしていない条件を通常環境として記 載した。摺動抵抗についてはパイプ内の水滴により摺動抵 抗が下がる可能性を考慮し、パイプ内を濡らさない条件に ついても測定した。リーク量確認については、パイプ内の 水滴によりシール性は高まると想定されるため、濡らさない 条件についてのみ実施。

摺動抵抗はパイプ内を濡らした条件の方が通常環境に 比べて10N程度増加するが、ピストンが摺動中の抵抗につ いては差が無いことが分かった。

リーク量については、炉内模擬環境の方がリークしにくく なり、テレスコパイプの伸縮動作には影響しないことが分 かった。



炉内環境において摺動抵抗が増加する傾向 はあるが、リーク量は低減。「(オ)14段テレス コパイプを用いた成立性確認試験」結果と併 せて成立性を評価する。





No.93

3)(ウ)対策案の効果を確認する試験 <2 接着強度確認試験>

〇目的

想定される環境条件下における、テレスコ部品の接着部強度を確認する。 テレスコ部品は、No.91で本案としたパイプ材(CFRP軸方向UD材:対策案A)、 ピストン材(アルミ材:対策案B)を用いる。

〇試験概要

小型の接着部サンプル片を用いて、接着部にせん断荷重をかけ、破壊応力を確認する。 放射線環境は接着した試験片に予め照射したもので模擬する。尚、照射線量条件0Gy・ 7200Gy(100Gy/hで72時間を想定)サンプルに、温度:50°C、湿度:90%環境で、72h保管 した影響を確認する

○評価項目等



No.	試験名称	評価項目	目標(判断基準)	確認方法
1	接着部強度確認	・接着部にせん断荷重をかけた際の 破壊応力 ・CFRパイプと各部品 ・アルミパイプと各部品	・せん断荷重をかけた際の破壊応力が パイプ/トップリング:4.7MPa以上※1 パイプ/ピストン:4.7MPa以上※1 パイプ/カラー:0.2MPa以上※2 パイプ/レール:0.3MPa以上※2	・放射線未照射, 恒温恒湿保管, 放射線照射&恒温恒 湿保管サンプルそれぞれに, せん断荷重を加え、荷重を 徐々に大きくしていき、破壊した時の応力を測定する。



 ※1:接着部の最大応力は、ピストン最大推力は約709N(空気圧:0.1MPa×最大受圧面積 (2段目スライダ部))と接着部面積:2743mm2から、0.26MPaとなる。接着長さによる 接着強度低下影響:3と安全率:6を乗じて:4.7MPa以上を目標とする
 ※2:カラー、レール部の接着部をはがす最大力は、伸縮時の摺動抵抗と同程度で約73N となり、※1と同様な安全率を乗じて目標値を設定

〇試験体系の模擬範囲

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





テレスコで使用されるa~eの5種の接着強度評価を実施

	CFRPパイプ	アルミパイプ		
①パイプ/トップリング	CFRP 軸方向UD/アルミ(A5052) ポリメタック接着	а	接着無	_
②パイプ/レール	CFRP 軸方向UD/CFRP 平織 エポキシ系接着	b	アルミ(A7075)/CFRP 平織 エポキシ系接着	с
③パイプ/カラー	CFRP 軸方向UD/CFRP 平織 エポキシ系接着	b	アルミ(A7075)/CFRP 平織 ポリメタック接着	d
④パイプ/ピストン	CFRP 軸方向UD/アルミ(A5052) ポリメタック接着	a	アルミ(A7075)/アルミ(A5056) ポリメタック接着	е

(※1)アルマイト後で寸法制約から前処理ができず、ポリメタック接着出来ない(回転抑制なので必要強度は低く、ポリメタック接着は必要ない)





No.95

3)(ウ)対策案の効果を確認する試験 <2 接着強度確認試験>

〇試験結果

・CFRPパイプ

放射線照射&恒温恒湿環境保管後のせん断破壊応力は、27.6~29.5[MPa]で平均:24.6[MPa]に対し、未照射サンプルは、16.6~20.6[MPa]で平均:18.6[MPa]となり、接合強度に大きな差異はなかった。また、照射試験片・非照射試験片、ともに接着剤層内部で破壊が生じる凝集破壊となり、 放射線照射による接着剤の劣化は無いと考えられる。

・アルミパイプ(代替案)

放射線照射後のせん断破壊応力は、21.8~29.4[MPa]で平均:26.5[MPa]に対し、未照射サンプルは、25.1~30.6[MPa]で平均:27.9[MPa]となり、 接合強度に大きな差異はなかった。また、照射試験片・非照射試験片、ともに接着剤層内部で破壊が生じる凝集破壊となり、放射線照射による接 着剤の劣化は無いと考えられる。



CFRPパイプ/トップリング&ピストン

アルミパイプ/ピストン

↓ 以上の結果から、RPV内部調査で想定した、温度:50[°C]、湿度:90%、線量率:100[Gy/h]の 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。

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









6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>3) (ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <3 部分確認試験>

E <試験時にケーブル端部を封止する>



ケーブル巻取り装置内に供給した圧縮空気が、ケーブルを介して 外部へ漏洩しないよう、複合ケーブルの被覆を除いて単線になる 箇所を封止(モールド)する

〇封止箇所
 ①ケーブル巻取り装置駆動系のケーブル
 ②調査装置用のケーブル





2/3号機

2020年度検討したケーブル巻取り装置



No.98



No.99

<u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <3 部分確認試験>

► <ケーブル巻取り装置のトルク向上>

寸法制約の中で可能な限り引張力を向上させるため、駆動機構の減速比を上げることでトルクを向上させた。その結果、定常引張力が2020年度に実施した試験において確認した必要最大引張力約270Nより 大きい319N(2020年度設計した装置は83N)とすることができた。

その他の変更点として、テレスコパイプの推力はケーブルで保持するため、常にモータに負荷がかかる 構造であった。そこでウォームギアを介してケーブルドラムを動かす構造とし、直接モータに負荷がかから ないようにし、電源喪失時にケーブルドラムが回転することがなくなるため、テレスコパイプの突出を防ぐこ とを可能とした。



2021年度検討したケーブル巻取り装置の概念図





No.100

3)(ウ)対策案の効果を確認する試験 <3 部分確認試験>

昨年度と同様に3段のテレスコパイプにて試験を実施

試験項目∙概要		確認項目	評価項目	目標(判断基準)	結果	判 定
3.1	テレスコパイプの伸縮動作確認試験	_	_		_	—
	伸縮動作確認	最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブ ル引っ張り力	319N以下	収縮中の引張力:10N~ 80N 最大引張力:110N	0
3.1.1	テレスコパイプを垂直状態にし、伸縮動作ができるか、またその時の動作特性を確認する	伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	0.03MPa以下	0
		所望の圧力をパイプ内に供給 できるか	供給圧力とテレスコパ イプ内圧力の差分	有意な圧力差がな いこと	供給圧力とテレスコパイプ 内圧力に差はなかった	0
3.1.2	水平荷重がかかった際の剛性確認 テレスコパイプを伸び切った状態にし、各パイプの 継目に水平方向の荷重をかけて、テレスコパイプ 先端のずれ量を確認する	各シール部構造の伸展時の傾 き抑制	先端ずれ量	20mm以下	1.5mm (昨年度結果:7mm)	0
	テレスコパイプが傾斜した際の伸縮動作確認 試験 テレスコパイプを傾けた状態にし、伸縮動作がで きる最大角度を確認する(最大5度)	最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブ ル引っ張り力	319N以下	収縮中の引張力:20N~ 80N 最大引張力:110N	0
3.2		伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	0.03MPa以下	0
		所望の圧力をパイプ内に供給 できるか	供給圧力とテレスコパ イプ内圧力の差分	有意な圧力差がな いこと	供給圧力とテレスコパイプ 内圧力に差はなかった	0
3.3	耐圧確認(0.2MPa供給) テレスコパイプを伸び切った状態にし、0.2MPaの	0.2MPaかけた際に確実に耐え られること	0.2MPa供給し2時間後 の主要部品の変形有 無	0.2MPa供給前後で 変形がないこと	荷重がかかる主要部品に ついて変形は無かった	0
	空圧を2時間かけて破損しないか、ハイノ端部の ストッパリングの部品などに変形が無いか分解し て目視確認する	所望の圧力をパイプ内に供給 できるか	供給圧力とテレスコパ イプ内圧力の差分	有意な圧力差がな いこと	供給圧力を0.2MPaにしても テレスコパイプ内圧力と差 はなかった	0



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <3 部分確認試験>

テレスコパイプ根元側3段(1~3段目)の部分確認試験(伸縮動作挙動確認)結果の比較 (2020年度試作/2021年度改良試作)

- ✓ テレスコパイプの摺動抵抗低減対策を施したことにより、より小さい圧力で伸展でき、より小さいケーブル引張力で収縮できることを確認した
- ✓ 2020年度試作テレスコはテレスコパイプ内圧力が供給元圧力よりも小さくなっていたが、2021年度改良型では同じ圧力であったため、シール部のリーク量低減対策が有効であることを確認できた
- ✓ 伸縮動作可能なテレスコパイプの傾斜角度についても、より大きく傾けても伸縮可能であることを確認した(昨年度:3°⇒今年度:5°)
- ✓ ケーブル巻取り装置が動かなくなった際にはテレスコパイプ内を負圧にして収縮させることを想定しているが、2021年度改良試作テレスコは内圧0.004MPaで自重のみで収縮できることを確認した





No.101

収縮時 2021年度改良試作テレスコ(根元側3段)

2/3号機

比較	項目	2020年度	2021年度
伸展時(テレスコ垂直)	供給圧力 (テレスコパイプ内圧力)	0.040MPa	0.030MPa
	供給元圧力	0.050MPa	0.030MPa
収続時(ニレフコ垂直)	収縮時のエア圧	0.005MPa	0.010MPa
収陥時(テレヘコ亜直)	収縮時の引張力	50N~130N	10N~80N
伸縮可能テレ	スコ傾斜角度	3度	5度 (想定運用上限)

上記結果より、検討した対策案が有効であることを確認した



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



IRID

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>3)(ウ)対策案の効果を確認する試験</u> <3 部分確認試験>

2021年度改良試作テレスコパイプの伸縮動作確認試験の結果



No.103

2/3号機

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) 4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験:昨年度策定した開発計画



No.104

赤字:2021年度に試験にて確認する項目

青字:他事業で開発中のアクセス装置の仕様に関する項目



- 2020/21年度でテレスコピック式アクセス装置単体の実現性を評価





No.105

4) (エ) 開発課題に対する概念検討・簡易試験: 開発課題と対応方針1/2

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2021年度の対応方針	2021年度の試験・実施項目							
1	ペデスタル 内へのアク セス装置	取り出し用 ル アーム型ア ク 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 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用 アーム型ア クセス装置 との取合確	取り出し用アーム型ア クセス装置の詳細仕 様の確認	 ・先端位置決め精度 ・アームの撓み・振動 ・各軸の可動域 ・可搬重量 ・アームの外付けケーブル仕様 ・非常時の対応方針 	・装置仕様検討に資する情報として、「段階的 規模拡大取り出し」PJへ確認	他事業へ聞き取り
2			着脱作業方法、仕様 の確認	・エンクロージャへの搬出入手順・輸送容器の成立 性確認 ・保守用アームでの取り付け、取り外し方法	・装置仕様検討に資する情報として、「段階的 規模拡大取り出し」PJへ確認	他事業へ聞き取り							
3		テレスコピッ ク式アクセ ス装置設計		基本構造検討	・取り出し用アーム型アクセス装置での取り扱いに伴 う寸法制約における構造の成立性	・設計検討 ・材質の変更等に伴う接着部における強度につ いて試作検証により環境条件の影響を把握	接着部強度確認試験						
4	ペデスタル 内からRPV 内部へのア クセス装置		伸縮時の挙動把握 ,	 ・節接続精度(パイプ傾き) ・伸展時の揺れ(調査装置部) ・鉛直設置伸展時の先端ずれ量(ガタ・たわみ) ・テレスコ傾斜時の伸縮挙動確認 ・引っ掛かり時の伸縮動作確認(テレスコが引っ掛かった際に伸縮できるか、調査装置が引っ掛かった際に収縮できるか) ・付着物による伸縮挙動への影響 	・設計検討 ・装置仕様検討に資する情報として、摺動抵抗 の改善案における3段テレスコによる試作検証 により挙動を把握 ・14段テレスコを用いた試作検証	部分確認試験⇒(ウ) 14段成立性確認試験⇒(オ)							
5			伸縮時の動作特性把 握	 ・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 ・テレスコ回転抑制ガイドの摺動抵抗 	 ・設計検討 ・対策案の採用可否を確認するため装置仕様 検討に資する情報として、試作検証により想定した環境条件(線量・温度)におけるシールの摺動抵抗、シール性への影響を把握 ・装置仕様検討に資する情報として、摺動抵抗の改善案における3段テレスコによる試作検証により挙動を把握 ・14段テレスコを用いた試作検証 	シール機能確認試験⇒(ウ) 部分確認試験⇒(ウ) 14段成立性確認試験⇒(オ)							





No.106

4) (エ) 開発課題に対する概念検討・簡易試験: 開発課題と対応方針2/2

No.	大項目	中項目	小項目	開発課題	2021年度の対応方針	2021年度の試験・実施項目						
6	ペデスタル 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	ケーブル巻き取り機 構設計	・ワイヤ張カ測定精度(たるみ検知可否) ・テレスコ伸縮時のケーブル巻取り力とエア圧との連 携制御	・設計検討 ・試作検証によりケーブル巻取り装置のトル ク向上を確認 ・14段テレスコを用いた試作検証	ケーブル巻取り装置のトルク向 上確認試験 14段成立性確認試験⇒(オ)						
				・リミット検出								
		ス装置設計		・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)	・設計検討	机上検討						
8			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						
9		調査装置設 計	調杏装置設	, 調査装置設	調杳装置設	調杳装置設	調杳装置設	調杳装置設	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
10									調杳装置設	調杳装置設	調杳装置設	調杳装置設
11	調査装置 1		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	・設計検討 ・CMOSカメラ採用検討に伴うカメラの視認性 評価	カメラの視認性評価						
13		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	·設計検討	机上検討						
14	その他 4	非常時対応	非常時として想定項 する項目の検討	・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、停電等どのような事象を想定するか	·設計検討	机上検討						








<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <1,2 取り出し用アーム型アクセス装置との取合確認>

他事業へのヒアリングにて, RPV内部調査装置をワンドと取り換 えて取り付けるための仕様を調整中。今後, 取り出し用アームの 各種設計・評価情報を参考に詳細仕様にフィードバックが必要。

〇今後の主な確認事項

- ・想定した調査装置(開口直下)でのアームリスト姿勢
- アーム微動調整精度と振動
- ・内側配線用コネクタと14軸アクチュエータの干渉
- 外側配線の自動脱着方法

•	1	也
---	---	---

項目		仕様
先端位置決め精	度	±50mm以下
アームの撓み		140mm以下 ブームリンク先端 :約 80mm以下 テレスコアーム単独:約 60mm以下
アームの振動		±10mm(5分以内:目標値) *詳細調査用アームの結果
各軸の可動範囲		右図参照
リスト軸	可搬重量	40~45kg(ワンド: 25~30kg、ツール: 15kg)
可搬能力	許容トルク	1263Nm
	ワンド用(内側)	ッイストペア: 18ペア(36芯) パラレル: 24芯
ケーブル仕様	ツール用(外側)	制御用ケーブル:3本(20芯、8芯、2芯) モータ用ケーブル:1本(16芯) 同軸ケーブル:8本 N2用ホース:2本(0.D.6mm×I.D.4mm) 水用ホース:1本(0.D.6mm×I.D.4mm)
非常時の対応方	 針	ワンドをペデスタル内に切って捨てる



2/3号機

No.108



ケーブル仕様(外側,内側配線)





No.109

<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <3 基本構造検討>

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	
	パイプ外径	<i>ϕ</i> 100(1段目) <i>~</i> <i>ϕ</i> 35(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
	パイプ長さ	431.5mm(1段目)~ 658.2mm(14段目)	製作可能	製作可能	たため、代替案として先端3段をアルミで試作
	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
	パイプ肉厚	1mm以下	製作可能	形状公差保証難	(試作加工)で受託してくれたので、CFRPでは高剛性化が難
	外径公差	+0.2/0mm	製作可能	製作可能	しい細いパイプ(12、13,14段目:内径Ф40~Ф30を試作)を
製作性	内径公差	H9 1段目 : Ф95 +0.087~0 13段目 : Ф35 +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	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、
	直線度	0.1mm以下	製作可能	加工難 13段目実績:0.3mm	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
	真円度	0.2mm以下	製作可能	製作可能	る(炉底部へのアクセスができない)
	内径側表面粗さ	Ra3.2以下	1.6(実績)	0.3(実績)	
	引張強度(軸方向)	100MPa以上	2~9段∶796MPa 10~14段∶618MPa	570MPa	
	引張強度(周方向)	100MPa以上	2~9段∶603MPa 10~14段∶129MPa	570MPa	CFRP:10~14段はパイプ径が細いため、高強度プリプレグ (※1)が使用できないため、周方向引張強度が低い
強度	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 (※1)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	2.0mm	3.4mm	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	8.0kg	9.4kg	調査装置含まない パイプ以外のスクレーパ、ピストン、ストッパリング等含む
ロバフト州	耐累積線量	7200Gy以上	7200Gy以上	7200Gy以上	100Gy/hで3日以上
	摩耗・繰り返し性	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

※1:プリプレグ:カーボン繊維等に、前もって樹脂を含浸させたシート状の中間材料のこと。 プリプレグを積層させて製品となる。



6. 実施内容(2)下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <7 姿勢調整機構設計>

RPV内部調査を

垂直に伸展させる

グレーチング上面

〇姿勢調整機構

取り出しアームの自由度では、想定した調査位置でRPV内部調査装置を 鉛直姿勢にすることが難しい可能性がある。そこで, RPV内部調査装置側 に2軸の姿勢調整機構を設けることを検討。

〇姿勢調整機構仕様

		前後駆動	α軸	β軸
可動範囲		581mm以上	13 [°] 以上	20mm以上
位置決め精度		±1mm以下	±0.01 [°] 以下	±1mm以下
重量 (kg)		8kg以下	7kg以下	5.5kg以下
サイズ (mm)		W:1100mm以内 H:400mm以内 D:150mm以内	W:600mm以内 H:250mm以内 D:200mm以内	W:430mm以内 H:150mm以内 D:200mm以内
西井 七ヶ 白十 公白 小十	線量率 (Gy/h)	100	100	100
	累計線量 (Gy)	7200	7200	7200





2/3号機

No.110

6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) <u>4)(エ)開発課題に対する概念検討·簡易試験</u> <7 姿勢調整機構設計>



β軸機構:水平オフセット調整





2/3号機

No.111



<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <8 調査装置外形設計>

調査装置は、PCV内部調査用に開発したパン・チルト駆動軸付きのカメラを活用する方針としている。PCV内部調査では調査 装置用ケーブルにより吊り下ろして運用をしていたが、本調査では上向きにして用いるため、向きの違いにより生じる課題に対し て必要な対策を検討した。

傘部材は、PCV内部調査においては調査装置が構造物に引っ掛かることを防止する役割と炉内から滴下する冷却水がカメラ や駆動部にかかることを防止する役割を備えていた。本調査においては、引っ掛かり防止の観点では同様の機能を期待できる が、滴下する水に対しては傘部材の中に水が溜まる恐れがある。カメラレンズ部や照明のフードにも水が溜まることが想定され、 ドレン用の穴やスリットを設けることとした。また、上向きで利用した際に内部へ水が侵入する恐れのある、パン・チルト駆動軸や 組み合わせ部材の接合部には、それぞれシールの強化やモールド処理などの対策を図る方針とした。

		調査装置の仕様
	項目	仕様
	外形	φ84[mm] × L210[mm]
	質量	0.7[kg]
	搭載カメラ	カラーCCDカメラ、またはカラーCMOSカメラ
ドレン穴 ドレン用スリット	照明	LED照明(10[W]×1, たいことの火井間に離け一本で見たなら(いい)
		カメラとの光軸間距離は可変で最大105[mm])
① チルト部	視認範囲	238[°](垂直画角17.8[°]+チルト110[°], バン ±180[°])
		線量計(1[Gy/h]~2000[Gy/h]測定可能),
	搭載センサ	温度計(0~50[°C], 精度±0.5[°C](参考情報として取得))
照明フード	耐放射線性	1000[Gy](CCDカメラの耐放射線性より)
傘部材		



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.113

<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <9 ケーブル設計>

テレスコパイプを最大長まで伸展させるためには、小型ケーブル巻取り装置で6.1m+巻き代(約700mm)分のケーブルを巻き取る 必要がある。小型ケーブル巻取り装置のφ70mmのケーブルドラムで巻き取れるように許容曲げ半径がR35mm以下になるように ケーブルの細径化の設計を2020年度に行った。一方で、3段テレスコパイプの伸縮動作試験により、ケーブルを引っ張ってテレスコ パイプを収縮させる際に想定よりも大きな270N程度の力で引っ張る必要があることが分かったため、ケーブルの引張強度を高める ための改良設計を本年度実施した。

調査装置に組み込むカメラの選択肢にはCMOSカメラとCCDカメラがあるため両方のケーブルを検討した。小型ケーブル巻取り 装置で必要長さ分巻き取れる直径に収めることができ、引張強度についても750Nに耐え得るものを設計できた。

項目	要求仕様	CMOS用 設計結果	CCD用 設計結果	備考	同軸ケ-	ーブル
直径	目標 6mm以下	5.8mm	6.5mm	8mmまでは必 要長を巻き取 れる可能性が あるためCCD ケーブルを採用 する場合は確 認が必要	青黒茶赤橙 積 炭 炭 茶赤 橙 赤 橙 紫 子 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米 米	赤橙 東 緑 青 紫 茶 本 黄茶 本 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
引張 強度	270N以上	750N	750N	2020年度の設 計は250N	茶自茶茶	黄檀桃黑人禄
++ */	CMOS 単線29本 同軸1本	単線29本	単線29本		青緑黄橙 テンショ	赤茶。白青
心致	CCD 単線29本 同軸4本	同軸1本	同軸4本	_	CMOSカメラ用ケーブルの断面図	CCDカメラ用ケーブルの断面図

ケーブル仕様





4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験 <10 ノイズ対策:スリップリング使用による線量計のノイズ評価>

〇目的

使用する線量計は微小電流を伝送する必要があるため、コネクタ部等の機械的な接点を持ち電磁シールド が局所的に不連続となる部位でノイズや漏れ電流が発生しやすい傾向がある。特にスリップリングは回転電 極を含みノイズに対し相対的に脆弱と考えられるため、ノイズ影響の確認試験を実施する。

〇試験概要

①スリップリングの近傍で、ケーブルドラム駆動用モータが動作した際の電磁ノイズへの影響を確認
 ②使用する線量計素子をスリップリングを介して接続し、ノイズ及び漏れ電流の影響を確認





4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験 <10 ノイズ対策:スリップリング使用による線量計のノイズ評価> 〇試験結果

- ①スリップリングの近傍で、ケーブルドラム駆動用モータが動作した際の電磁ノイズへの影響
 - ◆ 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、モータを負荷100%で駆動。
 - ▶ 線量計コントローラ出力が不安定となり、異常電流値(計測器オーバーレンジ)を記録。
 - ▶ 線量計信号の伝送ラインにノイズフィルタを使用することで異常値発生が抑制されることを確認。

➡ 電磁ノイズへの影響は、ノイズフィルタを使用することで抑制可能なことを確認

②使用する線量計素子をスリップリングを介して接続し、ノイズ及び漏れ電流の影響を確認

- ▶ 線量計伝送ラインに模擬計測信号(10nA;20[Gy/h]相当※)を流した状態で、伝送ラインに線量計ケ ーブル、スリップリングを挿入し影響を確認。
- ▶ ケーブル、スリップリングにより発生する漏れ電流は0.03nA (0.06Gy/h相当※)程度であると確認。

➡ 想定環境線量100Gy/hに対してわずかであるため、問題にならない程度であることを確認



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2/3号機

No.115

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 <u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <11 カメラ、照明への付着物対策>

これまでのPCV内部調査の結果から、PCV内の構造物の表面には泥・砂状の異物が付着していることが確認されている。調査装置は上向きにしてテレスコピック式アクセス装置に搭載してRPV内部へアクセスするため、その移動中に調査装置のカメラや照明に構造物表面の異物が付着して視認性が損なわれる恐れがある。

ワイパなどの機構を新たに組み込む案が考えられるが、アクチュエータの駆動のために調査装置用ケーブルの芯 数を増やす必要があり直径が太くなることから、ケーブル巻取り装置でテレスコパイプの伸展長さ分のケーブルを巻 き取れなくなる。

そのため、付着物を取り除くための対策としては、炉内から滴下する冷却水で洗い流し、必要であれば調査装置の チルト動作によってカメラと照明を水平よりも下向きにして落とす運用方針とする。







<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <12 CMOSカメラ採用検討に伴うカメラの視認性評価> 〇目的

ケーブル細径化に伴うCMOSカメラ採用に関し、霧環境および放射線環境下における視認性を評価する。

〇試験概要

霧環境においては、霧の濃度変化により光の透過率を変化させた際の視認性を評価する。また、耐放射線試験では線量に対する放射線ノイズの影響および1000Gy以上の積算線量に対する影響を評価する。



霧環境試験体系案



耐放射線試験体系案











CMOSカメラ、CCDカメラともに、ランドルト環(開口 20mm)は 4000mmまで、模擬燃料棒(Φ10mm)は 2000mmまで視認可能なことを確認

⇒CMOSカメラとCCDカメラでは霧環境下の視認性に違いがないことを確認



2/3号機

No.118

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 <u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <12 CMOSカメラ採用検討に伴うカメラの視認性評価> 〇耐放射線試験結果(線量率の影響)



CMOSカメラ、CCDカメラともに放射線によるノイズは生じているが、1850Gy/hまで映像出力が可能なことを確認

⇒CMOSカメラとCCDカメラでは放射線環境下の視認性(線量率の影響)に違いがないことを確認



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.120 <u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <12 CMOSカメラ採用検討に伴うカメラの視認性評価> 〇耐放射線試験結果(積算線量の影響、CMOSカメラのみ実施)



- ✓ 積算線量1600 Gy以上照射を実施し、試験後映像が出力されていることを確認 CCDカメラは過去PCV内部調査時に同様の試験を実施しており、1100Gy照射後にコントラストが低下していた
- ✓ 照射終了後、照明強度が低い場合に映像が乱れる事象を確認 カメラのゲインコントロール部分に照射によるダメージが発生したと推定
 - ⇒照明強度が低い場合に映像が乱れる事象が発生する積算線量、また積算線量による映像の 変化について、調査への影響評価が必要









<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <12 カメラを用いた操作性>

〇目的

RPV内部調査に向けて、炉内の模擬映像を確認できるシミュレータによって視認性を確保可能なカメラ機構とその運用方法を検証する。

〇検討概要

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。





IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



<u>4)(エ)開発課題に対する概念検討・簡易試験</u> <13 非常時として想定する項目の検討>

調査のためにPCVの内部に入れた装置は、調査完了後にエンクロージャ内に回収してエンクロージャとPCVとの間に設置された隔離弁を確実に閉じられるようにする必要がある。調査中に装置が故障するなどのトラブルが発生して正常動作できなくなった場合に、どのように回収・対処するか検討した。

装置回収が困難になる装置トラブルとして想定されるものを以下に示す。なお、取り出し用アーム型アクセス装置は別プロジェクトで検討・開発を進めているため、ここでは取り出し用アーム型アクセス装置単体のトラブルは含めないものとする

No.	想定トラブル	基本対処方針
1	テレスコパイプは内部を通した調査装置のケーブルを巻取ることで収縮させるが, ケーブルの乱巻きや駆動モータの焼損などによってケーブル巻取り装置が駆動で きなくなり, テレスコパイプを収縮できない。	テレスコパイプ内を負圧にすることで空気圧によって収縮 させる。 ⇒(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
2	テレスコパイプ内部の調査装置ケーブルが破断し, テレスコパイプを収縮できない。 なお, このときテレスコイプは全伸展状態となる。	テレスコパイプ内を負圧にすることで空気圧によって収縮 させる。 ⇒(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
3	取り出し用アームの外側に設置したケーブルが構造物に接触することで断線したり、そのケーブルのコネクタが接触不良を起こしたりすることによりケーブル巻取り 装置が動作せず、テレスコパイプを収縮できない。	テレスコパイプ内を負圧にすることで空気圧によって収縮 させる。 ⇒(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
4	ケーブル巻取り装置の制御ソフトの暴走により, 意図したとおりにテレスコパイプ を伸展・収縮できない。	ケーブル巻取り装置の制御を停止し,テレスコパイプ内 を負圧にすることで空気圧によって収縮させる。 ⇒(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
5	テレスコパイプや調査装置が周囲の構造物に引っ掛かり, テレスコパイプを収縮 できない。	実際に問題になるか試験で確認。 ⇒(才)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
6	PCV内部の構造物には粉・泥状の異物が付着しており、これがテレスコパイプ外 表面に付着することによりテレスコパイプを収縮できない。	実際に問題になるか試験で確認。 ⇒(才)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験
7	カメラ故障やカメラに異物が付着することにより, 操作に必要な映像を取得できず 装置の操作ができない。	調査装置カメラと取り出しアーム型アクセス装置の先端 俯瞰カメラの片方の映像だけで回収動作を行えるか, モックアップ試験時に確認する。

IRID



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



No.126

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験体系







5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験環境



試験場外観

操作者は装置を直接目視するほか、観察用カメラの映像で テレスコパイプの伸展状態を確認し、さらに観察者兼指揮者 の指示で操作する。

(本試験では遠隔操作性の評価は行わない)



操作風景



6. 実施内容 (2) 下部アクセス調査工法の開発(テレスコ) 5) (オ) 14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験



No.128

〇試験状況



収縮時

2段目伸展時





No.129

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験項目

No.	試験項目•概要	確認項目	評価項目	目標(判断基準)	目標の根拠
1	試験項目:伸縮動作確認 試験概要:テレスコパイプを垂直状態にし、伸縮動作ができる かまたその時の動作特性を確認する	最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ張 り力	319N以下	ケーブル巻き取り装置の モータ出力トルク100%時に 得られる引張力の319N(設 計値)以下で収縮できる必 要があるため
		伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	テレスコパイプの常用圧力: 0.1MPa以下で伸縮できる必 要があるため
		テレスコパイプの伸展時の揺れ量	テレスコパイプの揺れの有無 (揺れる場合は伸展停止後の 揺れ収束時間)	大きく振幅しないこと(定性 評価)	-
		パイプ内の圧力を目標値に調整でき るか	供給圧力とテレスコパイプ内 圧力の差分	パイプ内圧力を所望の圧 カに調整できること	_
		テレスコパイプ伸展量の測定精度	ケーブル巻取り装置のドラム 回転量からの換算値	実力値を確認	-
2	試験項目:水平荷重がかかった際の剛性確認 試験概要:伸び切ったテレスコパイプにおいて、根元側から順 に各パイプの継目とテレスコパイプ先端に水平方向の荷重をか け、テレスコパイプ先端のずれ量を確認する。(ずれ量の測定 は14段目パイプ先端に荷重をかけた時のみ実施)。	各シール部構造の伸展時の傾き抑 制(荷重印加箇所:15箇所)	炉底部開口高さでのずれ量	50mm以下	
		最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ 張り力	319N以下	ケーブル巻き取り装置の定 格引張力:319N以下で収 縮できる必要があるため
3	試験項目:テレスコパイプが傾斜した際の伸縮動作確認 試験概要:テレスコパイプを傾けて設置し、伸縮動作ができる	伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	テレスコパイプの常用圧 カ: 0.1MPa以下で伸縮で きる必要があるため
	最大傾斜角度を確認する(設計上の限界角度5度に対し、余裕 を見込み最大3.5度に設定)	テレスコパイプの伸展時の揺れ量	テレスコパイプの揺れの有無 (揺れる場合は収束時間)	大きく振幅しないこと(定 性評価)	-
		パイプ内の圧力を目標値に調整でき るか	供給圧力とテレスコパイプ内 圧力の差分	パイプ内圧力が所望の圧 カと同じになること	-
		テレスコパイプ伸展量の測定精度	ケーブル巻取り装置のドラム 回転量からの換算値	実力値を確認	-





No.130

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験項目

No.	試験項目・概要	確認項目	評価項目	目標(判断基準)	目標の根拠
	試験項目:耐圧確認(0.2MPa供給) 試験概要:テレスコパイプを伸び切った状態にし、テレスコパイプの	0.2MPaかけた際に確実に耐え られること	0.2MPa供給し3時間後の主 要部品の変形有無	0.2MPaを供給する前後 で変形がないこと	-
4	設計耐圧値である0.2MPaの空圧を3時間(=テレスコパイプの動 作における往復時間2時間+調査時間1時間)かけて破損しないか、 パイプ端部のストッパリング、スクレーパ、スクレーパ留めボルト、 カラーに変形が無いか分解して目視確認する	パイプ内の圧力を目標値に調 整できるか	供給圧力とテレスコパイプ内 圧力の差分	実力値を確認	_
5	試験項目:模擬構造物とテレスコパイプの引っ掛かり時の挙動確 認 試験概要:ケーブル巻取り装置端面から高さ約5.9mの位置に RPV炉底部の模擬開口を配置し、テレスコパイプのスクレーパを 引っかけた状態にし、テレスコパイプがスクレーパのテーパ形状に 倣って伸展・収縮できることを確認する 対象のスクレーパ:径が大きい方が開口に引っ掛かりやすいため、 テレスコパイプを全伸展させた際に開口を通過するスクレーパのう ち、最も開口に近いもの(12段目パイプのスクレーパ)	開口に引っ掛かっても抜けられ ること	開口の通過可否	スクレーパのテーパ形状 に倣って通過できること	_
6	試験項目:非常時収縮の挙動確認 試験概要:14段テレスコパイプを伸ばし、テレスコパイプ内の圧力 を小さくする、もしくは真空発生器を用いて負圧にすることでケーブ ル巻取り装置を使わずに縮めることができるか確認する。	真空発生器で発生させる負圧 でテレスコパイプを収縮できる か	テレスコパイプ収縮時の負圧 カ	-0.092MPa以下	選定している真空発生器に よる、発生可能最大負圧 カ:-0.092MPa以下で収縮 できる必要があるため
	試験項目:異物付着時の伸縮動作確認 試験概要:伸縮するパイプのうち、摺動抵抗が最も大きく、異物が 付着しやすいため影響を受けやすいと想定される、径が最も大き い2段目パイプの外表面に異物を付着させ、伸縮動作を行うことが できるか確認する。異物として用いるものは、粒径15µmの土、粒 径75~100µmのアルミナである	最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ 張り力	319N以下	ケーブル巻き取り装置の定 格引張力:319N以下で収 縮できる必要があるため
7		伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	テレスコパイプの常用圧 力: 0.1MPa以下で伸縮で きる必要があるため
		所望の圧力をパイプ内に供給 できるか	供給圧力とテレスコパイプ内 圧力の差分	パイプ内圧力を所望の圧 カに調整できること	-
8	試験項目:パイプが傾いた際のリーク量変化確認 試験概要:テレスコパイプを垂直/傾斜にして伸び切った状態にし、 圧縮空気の供給を止め、リークによる内圧の変化に差があるか確 認する。測定時間30分。	テレスコパイプを傾けてもリーク 量が増加しないか	垂直状態と傾けた状態におけ るリーク量の差分	テレスコパイプを傾けた場 合でも、垂直の状態と同 等のリーク量であること	テレスコパイプが傾いてい ても、鉛直姿勢時と同様に 伸縮の操作(圧調整)とした いため





No.131

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <1 伸縮動作確認>

〇試験概要

テレスコパイプを垂直状態にし、伸縮動作ができるか、またその時の動作特性を確認する。

○試験結果(その1)

- 基本的に根元側の段から伸展し、先端側に行くほど径が細く受圧面積が小さくなるためパイプ内圧を高めることで、運用設計上限圧力の0.1MPaで全段伸展することを確認。また、減圧とケーブルの巻取りで先端の段から収縮して全段収縮できることを確認した。収縮動作中、モータ出力トルク100%時のケーブル引張力(実測値)を超えるが、定常的ではなくモータ過負荷エラーも発生しなかったことから問題ないと判断した。
- 伸展に伴いテレスコパイプ側面にある回転防止レール(No.97参照)の方向に傾斜する傾向があり、全伸展後にケーブルを張 力がかからないように送り出すと傾斜量が改善した。パイプが傾斜してケーブルがパイプ内面に接した状態でケーブルに張 力がかかることでパイプを水平方向に押している可能性があり、対策が必要。
- 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いるが、ギアや駆動軸の組み立て精度が悪く、駆動負荷が均 ーでは無い恐れがある。ケーブル引張力のロスとなるため今後検証・改善する必要がある。





No.132

<u>5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験</u> <1 伸縮動作確認>

○試験結果(その2)

- 各段の伸び切り、または縮み始めはテレスコパイプが先端で±10mm程度の振幅で揺れるが、それ以外は揺れることなく伸縮できることを確認。また、揺れた際も2秒程度で揺れが収まるため、伸縮動作に問題無いことを確認した。
- テレスコパイプの伸展長さはケーブル送り量(巻取りドラムの回転量)で判断するが、レーザ距離計を用いた実伸展長と比較 評価した結果、全伸展長(6282mm)で2%の誤差で測定できることを確認した。



レーザ距離計による伸展量測定方法

テレスコパイプ伸展量とその測定誤差

2021年度検討した14段テレスコパイプとケーブル巻取り装置で全伸展・全収縮できることを を確認。伸展時に回転防止レールの方向に傾斜することやケーブル巻取り装置の駆動 軸の組立精度向上については改善が必要。





No.133

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <2 水平荷重がかかった際の剛性確認>

〇試験概要

伸び切ったテレスコパイプにおいて、根元側から順に各パイプの継目とテレスコパイプ先端に水平方向の荷重をかけ、テレスコ パイプ先端のずれ量を確認する。(ずれ量の測定は14段目パイプ先端に荷重をかけた時のみ実施) 〇試験結果

先端のパイプに水平荷重をかけると根元側では大きな曲げモーメントとして働き、先端側はガタを潰すのに十分な力をかけられなかったことから、先端側から各段に曲げの力を手で加えた後に荷重をかけていない状態におけるガタによる14段目パイプ先端のずれ量を確認し、+144.7~-218.3mmのガタがあることを確認した。(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)



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





下げ振りからの距離を計測 している様子

ガタによる傾斜で発生する先端ずれ量

各パイプの間隙によるガタが一方向に偏ると、想定している開口(φ187mm)の直下から 鉛直に進展しても通過できないことを確認。ガタの抑制が必要。







<u>5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験</u> <3 テレスコパイプが傾斜した際の伸縮動作確認>

〇試験概要

テレスコパイプを傾けて設置し、伸縮動作ができる最大傾斜角度を確認する(最大3.5度)

〇試験結果

- 3.5度傾斜時も垂直設置時と同様に全段伸展・収縮できることを確認した。
- ケーブル引張力は垂直設置時と比較して有意な変化は見られなかった。また、テレスコパイプ内圧力も垂直状態での伸縮動 作と同じ供給元圧力で実施することができた。



3.5度傾斜させて設置した様子 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

テレスコパイプを傾斜させても、垂直に設置した際に比べて伸展時の供給圧力や収縮時の必要引張力に有意な変化は見られなかったため、傾斜角3.5度までであれば伸縮動作が可能であることを確認



No.135

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <4 耐圧確認(0.2MPa供給)>

〇試験概要

テレスコパイプを伸び切った状態にし、テレスコパイプの設計耐圧値である0.2MPaの空圧を3時間(=テレスコパイプの動作に おける往復時間2時間+調査時間1時間)かけて破損しないか、パイプ端部のストッパリング、スクレーパ、スクレーパ留めボルト、 カラーに変形が無いか分解して目視確認する。

〇試験結果

- ・ パイプ内圧を0.2MPaにした際に異常な挙動や異変は観察されなかった。
- テレスコパイプを収縮した後、1段目と2段目の節、7段目と8段目の節、13段目と14段目の節について、ストッパリング、スクレーパ、スクレーパ留めボルト、カラーを目視確認し、変形等の異常は確認されなかった。



耐圧試験後の1段目先端のスクレーパ外観(分解状態)



耐圧試験後の2段目ストッパリングとカラー(分解状態)







No.136

<u>5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験</u><5 模擬構造物とテレスコパイプの引っ掛かり時の挙動確認>

〇試験概要

ケーブル巻取り装置端面から高さ約5.9mの位置にRPV炉底部の模擬開口を配置し、テレスコパイプのスクレーパを引っかけた 状態にし、テレスコパイプがスクレーパのテーパ形状に倣って伸展・収縮できることを確認する 対象のスクレーパ:径が大きい方が開口に引っ掛かりやすいため、テレスコパイプを全伸展させた際に開口を通過するスクレー パのうち、最も開口に近いもの(12段目パイプのスクレーパ) 〇試験結果

- 12段目のスクレーパ下側のテーパを模擬開口に接触させてから収縮動作を行ったところ、テレスコパイプ全体が傾斜することで通過し、収縮することができた。
- 12段目のスクレーパ上側テーパは構造的に模擬開口に接触させた状態にできなかったため、調査装置とテレスコパイプ接続部のくびれ部を接触させてから伸展動作を行ったところ、同様にテレスコパイプが傾斜してスクレーパが通過して伸展することができた。
- このとき、伸展時のパイプ内圧は非接触時と同圧で動作し、収縮時のケーブル引張力には有意な変化は見られなかった。
- 調査装置テーパについても模擬開口に接触させてから収縮動作を行ったところ、同様にテレスコパイプが傾斜することで通過し、収縮できた。



テーパに倣って模擬開口を収縮して通過している様子

調査装置のテーパが模擬開口に接触した状態

テレスコパイプが構造物に引っ掛かった場合でも、スクレーパのテーパ面に倣ってテレスコパイプが傾斜することで引っ掛かりを解消し、伸縮動作を継続できることを確認

IRID



No.137

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <6 非常時収縮の挙動確認>

〇試験概要

14段テレスコパイプを伸ばし、テレスコパイプ内の圧力を小さくする、もしくは真空発生器を用いて負圧にすることでケーブル巻取り装置を使わずに縮めることができるか確認する。

〇試験結果

- 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度以上に傾いた時点で試験を中断した。大きく傾斜しないようにテレスコ先端をロープで軽く吊った状態で試験を再開した。
- ・ 減圧に合わせてパイプが不規則に収縮し、内圧0kPaG(大気圧)時は2段目と5段目~9段目は縮み切った。
- パイプ内を真空引きして-74kPaG(負圧最大値)まで減圧した結果、更に10段目~12段目は縮み切り、伸展量250mmまで収縮した。この状態で先端を手で押して収縮しようと試みても動かなかったことから、パイプ内部にケーブルが押し詰まった状態になっているものと推定。
- この収縮長でも取り出し用アーム型アクセス装置の姿勢調整によってエンクロージャ内に回収できる見込みであるが、その後にエンクロージャ内の保守用アームによってテレスコピック式アクセス装置の分離・回収ができるかは評価が必要。



先端側の段が縮み切らない

負圧により収縮させた状態(最も収縮した状態)

→ テレスコパイプ内を負圧にしても全伸展状態からは全収縮できないため、この状態でエン
クロージャ内へ回収できるか、保守用アームで分離・回収できるか今後評価が必要





No.138

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <7 異物付着時の伸縮動作確認>

〇試験概要

伸縮するパイプのうち、摺動抵抗が最も大きく、異物が付着しやすいため影響を受けやすいと想定される、径が最も大きい2段 目パイプの外表面に異物を付着させ、伸縮動作を行うことができるか確認する。異物として用いるものは、粒径15μmの土、粒径 75~100μmのアルミナである。

〇試験結果

- 土、アルミナ共に付着させた2段目のパイプを収縮させたあとに再伸展できることを確認した。
- このときの伸展時のテレスコパイプ内圧は通常時と同じで、巻取り時のケーブル引張力も通常時と有意な差が無かった。
- 試験後、スクレーパを分解してダストシールやパッキンへの回り込みの有無を目視確認し、土はダストシールでキャッチして パッキンに付着した様子は無かったものの、より粒径が大きいアルミナはダストシールを通過した形跡があり、パッキンにも 微量付着していた。



(a) 土 (b) アルミナ パイプ外表面の全周に粉体を付着させた状態



(a) 土拭きムラはあり(b) アルミナ収縮、再伸展後のパイプ外表面の状態



(b) アルミナ ダストシールの状態

粉体が付着していない場合と比べて、伸展時の内圧や収縮時のケーブル引張力に有意な差は無いため、粉体状の異物が付着しても問題なく伸縮動作できると判断

IRID



2/3号機

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験 <8 パイプが傾いた際のリーク量変化確認>

〇試験概要

テレスコパイプを垂直/傾斜にして伸び切った状態にし、圧縮空気の供給を止め、リークによる内圧の変化に差があるか確認 する。測定時間30分。

〇試験結果

垂直時と傾斜時(3.5度)のリークによるテレスコパイプ内圧力の変化には差が無いことを確認。これにより、テレスコパイプの姿 勢が変化しても垂直時と同量のエア供給量でテレスコパイプの内圧を調整することができるため、垂直時の必要供給量で装置 設計を進める。

	テレスコパイプ内圧力 [MPa]			
	試験開始時	試験30分後	リークによる圧力低下	
垂直	0.105	0.082	0.023	
傾斜3.5度	0.106	0.081	0.025	

テレスコパイプ内圧力の変化の結果





No.140

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験結果:まとめ

No.	試験項目	確認項目	評価項目	目標(判断基準)	結果
		最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ張りカ	319N以下	〇 (モータの過負荷エラーは未発生)
1		伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	O (最大0.1MPa)
	伸縮動作確認	テレスコパイプの伸展時の揺れ量	テレスコパイプの揺れの有無(揺れる場 合は伸展停止後の揺れ収束時間)	大きく振幅しないこと(定性評価)	O (大きな振幅は無い)
		パイプ内の圧力を目標値に調整できるか	供給圧カとテレスコパイプ内圧力の差分	供給圧力とテレスコパイプ内圧力に 有意な差がないこと	〇 (有意な差はない)
		テレスコパイプ伸展量の測定精度	ケーブル巻取り装置のドラム回転量から の換算値	実力値を確認	平均誤差2%
2	水平荷重がかかった 際の剛性確認	各シール部構造の伸展時の傾き抑制(荷重 印加箇所:15箇所)	炉底部開口高さでのずれ量	50mm以下	×(220mm程度のずれ量)
		最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ張りカ	319N以下	〇 (モータの過負荷エラーは未発生)
		伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	O (最大0.1MPa)
3	テレスコパイプが傾 斜した際の伸縮動	テレスコパイプの伸展時の揺れ量	テレスコパイプの揺れの有無(揺れる場合は収束時間)	大きく振幅しないこと(定性評価)	0
	作確認	パイプ内の圧力を目標値に調整できるか	供給圧カとテレスコパイプ内圧力の差分	供給圧カとテレスコパイプ内圧カに 有意な差がないこと	〇 (有意な差はない)
		テレスコパイプ伸展量の測定精度	ケーブル巻取り装置のドラム回転量から の換算値	実力値を確認	—(テレスコパイプが設置角度以上 に傾斜したためレーザ距離計で真 値を測定できなかった)
	耐圧確認	0.2MPaかけた際に確実に耐えられること	0.2MPa供給し3時間後の主要部品の変 形有無	0.2MPaを供給する前後で変形がないこと	O (変形無し)
4	(0.2MPa供給)	パイプ内の圧力を目標値に調整できるか	供給圧カとテレスコパイプ内圧力の差分	供給圧カとテレスコパイプ内圧カに 有意な差がないこと	〇 (有意な差はない)
5	模擬構造物とテレス コパイプの引っ掛か り時の挙動確認	開口に引っ掛かっても抜けられること	開口の通過可否	スクレーパのテーパ形状に倣って通過で きること	〇 (通過可能)





No.141

5)(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験

〇試験結果:まとめ

No.	試験項目	確認項目	評価項目	目標(判断基準)	
6	非常時収縮の挙動 確認	真空発生器で発生させる負圧でテレスコパイ プを収縮できるか	テレスコパイプ収縮時の負圧力	-0.092MPa以下	×(-0.074MPaまで減圧できたがテ レスコパイプは縮み切らず手で押し ても縮まなかった)
		最伸展状態からの必要引張力	収縮時の必要ケーブル引っ張りカ	319N以下	〇 (モータの過負荷エラーは未発生)
7	異物付着時の伸縮 動作確認	伸展に必要な供給圧力	伸展時の必要エア圧	0.1MPa以下	O (最大0.1MPa)
		所望の圧力をパイプ内に供給できるか	供給圧カとテレスコパイプ内圧力の差分	パイプ内圧力を所望の圧力に調整でき ること	〇 (有意な差はない)
8	パイプが傾いた際 のリーク量変化確認	テレスコパイプを傾けてもリーク量が増加しな いか	垂直状態と傾けた状態におけるリーク量 の差分	テレスコパイプを傾けた場合でも、垂直の状態と同等のリーク量であること	〇 (有意な差はない)





No.142



〇目的

「(オ)14段テレスコパイプを用いた成立性確認試験」の結果を基に、炉内環境(高温・多湿・放射線)の影響を受けた場合に14 段テレスコピック式アクセス装置を駆動できるかを評価する。

○評価

14段テレスコピック式アクセス装置のうち、駆動に関わる部位で環境影響を受ける部位は、テレスコパイプのシール部であると 考えられる。このため、炉内環境を模擬したシール機能確認試験(No.92シート参照)の結果を踏まえ、装置が駆動可能かを評価 する。

【想定する炉内環境】

温度:50℃

湿度:100%

積算線量:7200Gy(100Gy/hの環境下で3日間調査した 場合を想定)

【シール機能確認試験の結果】 摺動抵抗:通常環境に比べ10N程度増加 リーク量:通常環境に比べリーク量は減少

シール機能確認試験結果のまとめ(環境模擬試験) 環境条件 通常環境 炉内模擬環境1 炉内模擬環境2 温度 常温 50°C 50°C 積算線量 0 Gy(未照射) 7200 Gy 7200 Gy 100%(常温の水に3日)100%(常温の水に3日 湿度 常湿 間浸水) 間浸水) 有り パイプ内の濡れ 無し 無し 回数 最大值 摺動中 最大值 摺動中 最大值 摺動中 褶動抵抗[N] 1 15.4 14.2 22.6 2 13.4 16.7 22.1 摺動抵抗 おおよそ おおよそ おおよそ 13.4 23.3 3 13.5 5~7 5~7 5~7 4 13.0 14.3 24.2 5 13.4 15.9 23.6 平均值 13.7 ____ 14.9 ____ 23.2 ____ ピストンの向き 表向き 裏向き 表向き 裏向き 表向き 裏向き 0.10MPathis 0.09MPaになるま113分58秒 5分16秒 132分47秒 11分26秒 1] での時間 2段目パイプの 0.006 0.140 0.005 0.063 ク 量 リーク量 L/min L/min L/min L/min 14段テレスコパイ 0.06 1.22 0.05 0.56 プに換算した際の L/min L/min L/min L/min リーク量

IRID

2/3号機



(1)リーク変化の影響:

炉内環境においてもリークが増えることは無く,所望の テレスコパイプ内圧力に調整して運用できると判断

(2) 摺動抵抗変化の影響:

- ①伸展時の影響
 - ・摺動抵抗増加によるパイプ伸展のための必要圧力の差分
 を算出した結果、十分小さいため問題ない。

②収縮時の影響

・伸展時に引張力が500N近い場合でもモータのドライバーの 過負荷エラーにより停止せず,問題なく動作しているため収 縮時の引張力の約250Nに対して最大10Nの増加は問題ない。

伸展に必要な推力

の差分 [MPa]

0.002

0.006

差分は微小



鉛直設置の14段テレスコパイプの伸縮動作時の伸縮量とケーブル引張力の変化

炉内環境においても動作に問題が無いと判断し、 テレスコピック式アクセス装置単体での調査につ いては成立性があると評価。

※1:2段目パッキンの結果に対して周長比をかけて算出

伸展に必要な推力の差分

 $\times 1$

炉内環境における

摺動抵抗の増加

[N]

10

3.7



対象

パイプ

2段目

14段目
6. 実施内容(2)下部アクセス調査工法の開発(テレスコ)



<u>7)まとめと残る課題</u>

まとめ

- 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。
- 昨年度の課題(テレスコパイプのシール部のリーク発生と大きな摺動抵抗)に対する対策案を反映し、 14段のテレスコパイプを試作し機能確認試験を実施。テレスコピック式アクセス装置としての成立性が あることを確認した。

残る課題

2021年度の検討や試験結果から得られた新たな課題を以下に示す。

- ① 円筒状パイプ形状を想定した接着強度確認
- 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
- ③ 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
- ④ 各パイプの間隙によるガタ抑制、間隙による非常時収縮時(減圧時)の傾斜防止
- ⑤ 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
- ⑥ 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)
- ⑦ 姿勢制御機構の試作と評価
- ⑧ 調査装置の線量計へのノイズ評価
- ⑨ CMOSカメラの照射による映像の積算線量の影響評価
- 10 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
- ① 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



7. まとめ (1)上部アクセス調査工法における加工技術の高度化

- ・AWJ切断は2020年度のノズルの小型化により、気水分離器本体切断時のアブレイシブ使用量の大幅な低減を可能としたが、本年度は更なるアブレイシブ使用量の低減と気水分離器本体以外のアブレイシブ使用量の低減のための検討を実施。アブレイシブ供給量低減に着目した供給量適正化と気水分離器本体以外の一部に2020年度の小型化したノズルを適用することで、目標であるアブレイシブ使用量500kg以下を達成可能な見通しを要素試験で確認。
- レーザ切断は2020年度に適用不可であった気水分離器本体の水平切断に適用可能な切断 ノズルの検討を実施し、2020年度に検討したノズルと組み合わせることで、
 対象部全てを切断可能な施工条件を確認。



開口範囲

AWJノズル(アングルノズル)



<u>気水分離器本体部の切断イメージ(AWJ切断、レーザ切断)</u>

レーザノズル(アングルノズル)

No.145



7. まとめ (2)下部アクセス調査工法の開発

O1号機向けドローンによるアクセス装置の開発

- 2020年度に実施した簡易試験では、有線ドローンは給電ケーブルの電圧 降下による目標飛行高さ未達、無線ドローンは飛行時間の延長、共通と して、ドローン監視方法、ドローン旋回飛行によるRPV下部調査困難等の 課題があり、それらの対策案検討及びドローン試作を実施。
- その他、実環境対応(暗闇、水滴滴下)等の課題に対する対策案も含め、
 その効果を確認する要素試験を実施。
- 要素試験の結果より、有線ドローンは給電方法の見直しにより目標飛行 高さを達成、無線ドローンはバッテリー構成の見直しにより目標時間を上 回る連続飛行が可能となった。



ドローンによるアクセスイメージ





No.146

7. まとめ (2)下部アクセス調査工法の開発 ○2/3号機向けテレスコピックによるアクセス装置の開発

・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。

・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。



テレスコパイプによるアクセスイメージ





No.147

14段テレスコパイプによる要素試験

