

自主事業

「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発(X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証)」

令和4年度最終報告

令和5年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

1. 本事業の背景・目的
2. 本事業の位置付け
3. 実施体制とスケジュール
4. 実施内容、成果
 - 4.1 アクセス・調査装置
 - 4.2 アクセスルート構築のための関連機器
 - 4.3 その他付帯設備
 - 4.4 燃料デブリ回収装置
 - 4.5 現場実証
5. まとめと今後の予定

1. 本事業の背景・目的

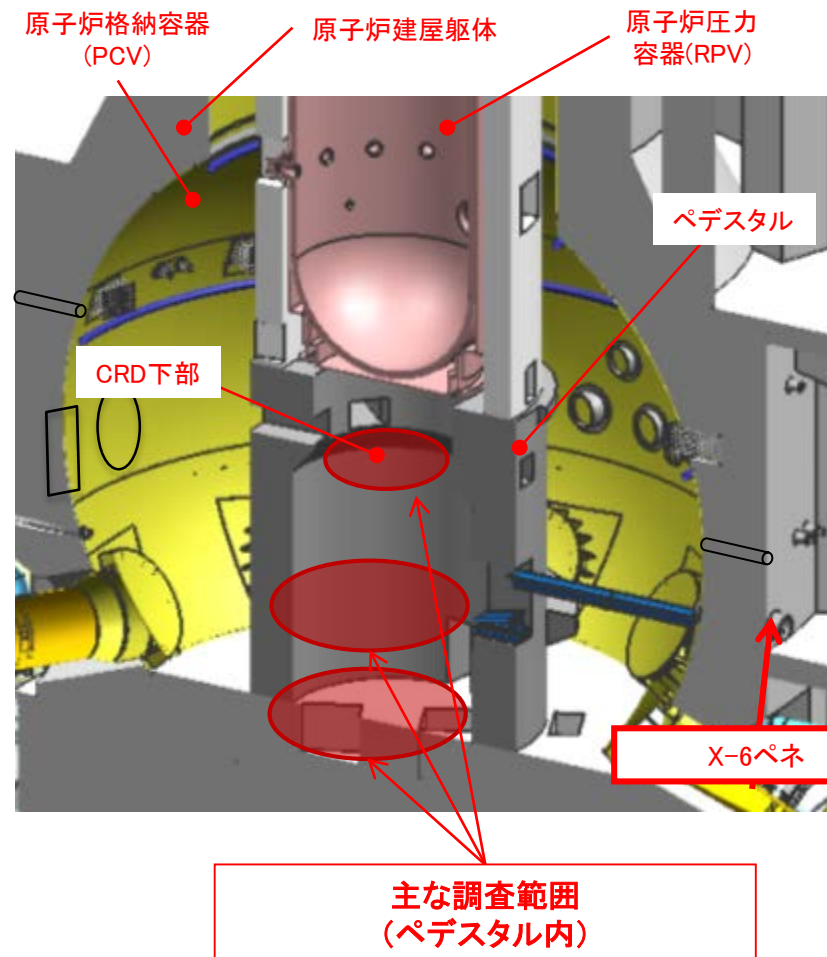
【背景】

平成30年1月に実施された2号機のPCV内部調査の結果、ペDESTAL内の底部全体に、小石状・粘土状に見える堆積物が確認されている。

また、燃料集合体の一部が底部に落下しており、その周辺に確認された堆積物は燃料デブリと推定されている。

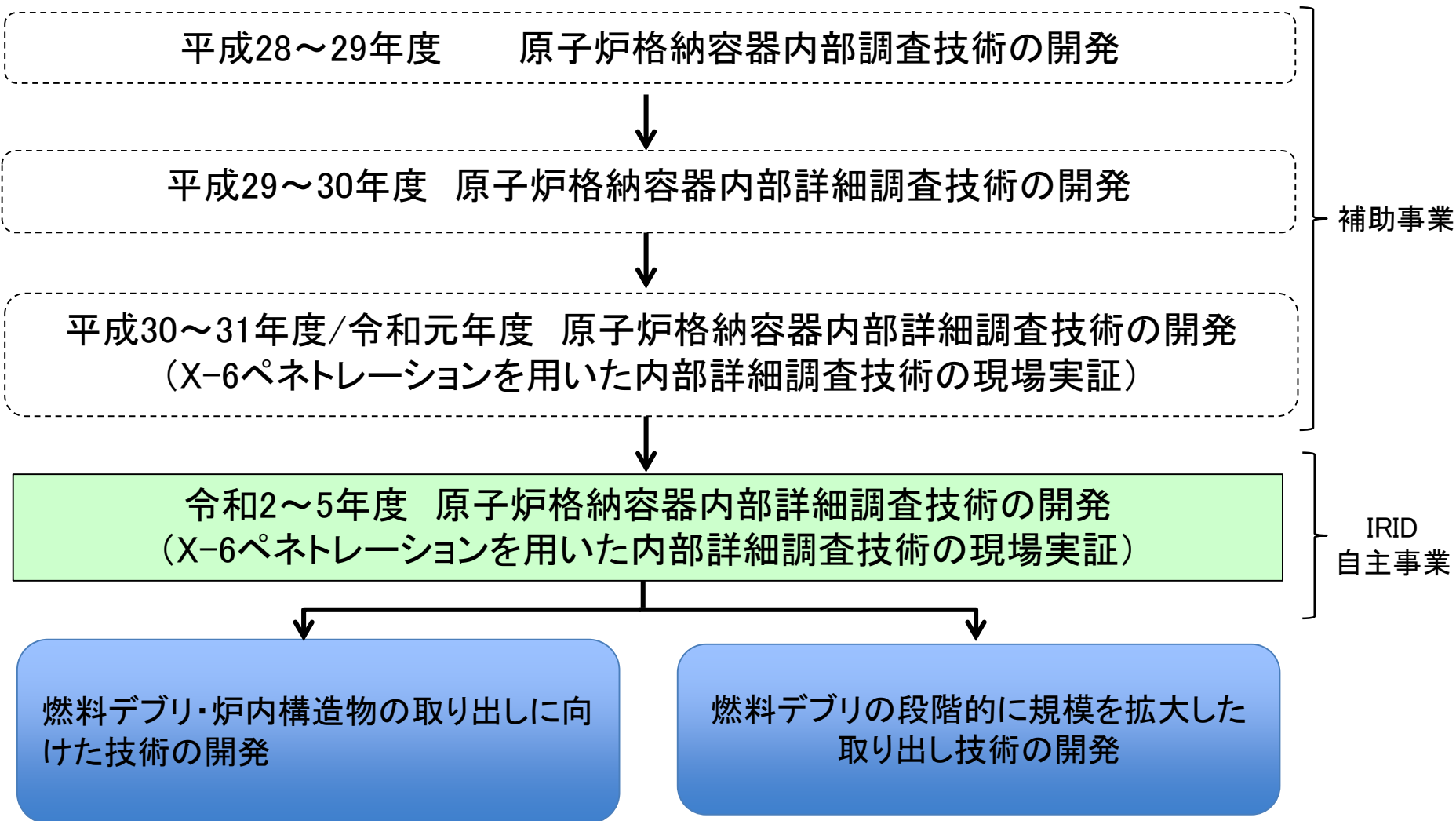
【目的】

アクセス・調査装置及び調査技術を、従来のPCV内部調査と同じX-6ペネトレーションに、より大きな直径の開口部を設けてPCV内部に投入し、詳細調査を実施することで当該開発技術が有効であることを確認する。また、燃料デブリ回収装置を搭載し、PCV内部の堆積物を回収し、当該開発技術の有効性を確認する。

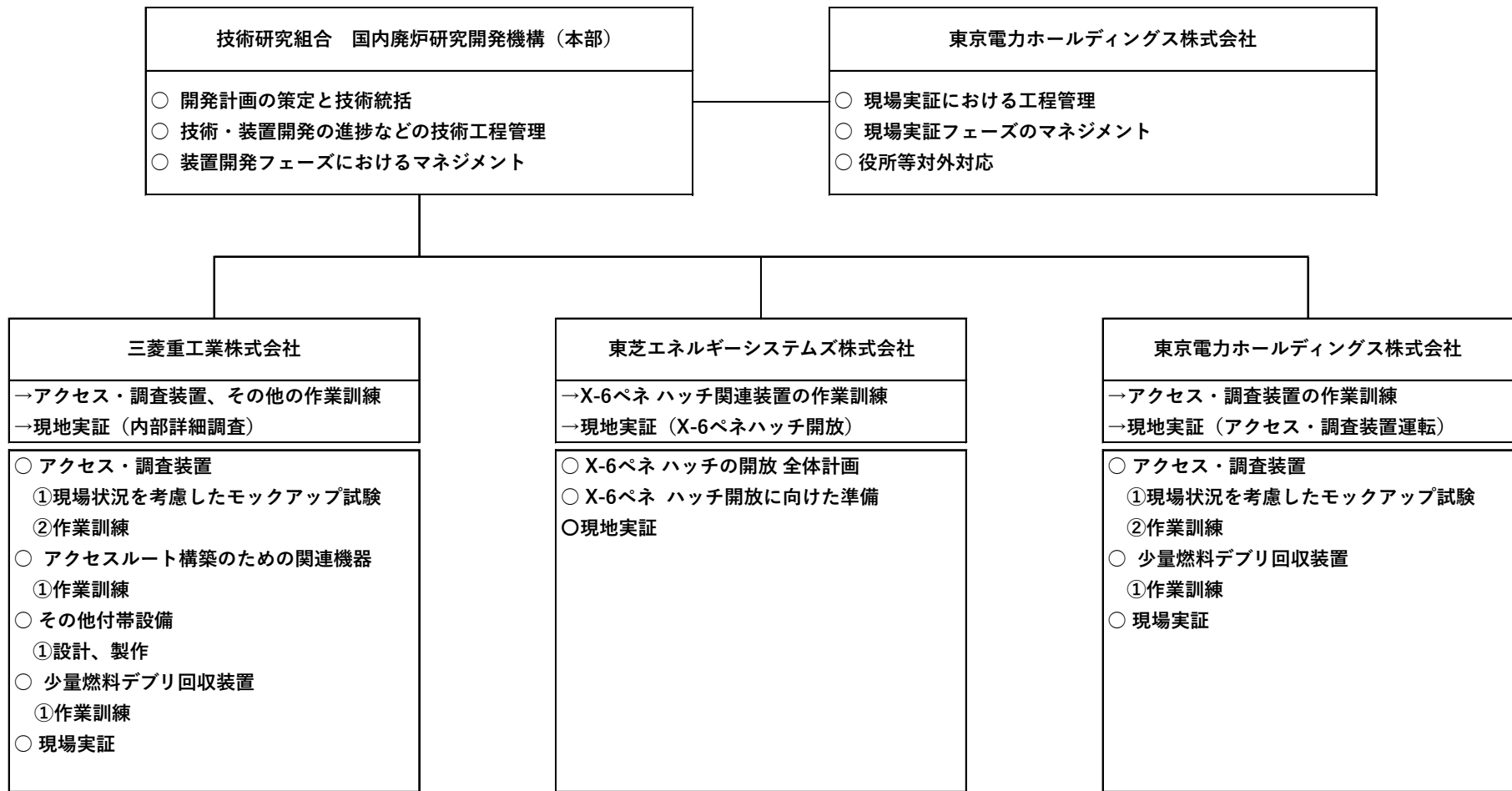


【 PCV断面図と調査対象部位の概要 】

2. 本事業の位置付け



3. 実施体制とスケジュール:実施体制



3. 実施体制とスケジュール: スケジュール

項目		令和2年度(2020年度)												令和3年度(2021年度)												令和4年度(2022年度)												令和5年度(2023年度)~												備考																																																																																			
大分類	小分類	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月																																																																																																
マスタースケジュール																																						ハッチ開放 ▽	内部調査																																																																																														
(1)アクセス・調査装置	①現場状況を考慮したモックアップ試験装置	英国 工場検証												国内 工場検証												モックアップ・トレーニング																																																																																																											
	②作業訓練																																					作業訓練																																																																																															
(2)アクセスルート構築のための関連機器	①作業訓練	事前作業訓練 (隔離部屋・ハッチ開放装置)												作業訓練 (堆積物除去装置)												作業訓練 (アクセス調査装置据付)												作業訓練 (ロボット搬入部屋撤去)												作業訓練 (延長管/X6ベネ接続構造)																																																																																			
														作業訓練 (隔離部屋・ハッチ開放装置)																																				作業訓練 (延長管/X6ベネ接続構造)																																																																																			
(3)その他付帯設備	①設計・製作	付帯設備の設計・製作																																																																																																																																			
(4)燃料デブリ回収装置		改良設計・試作・検証・製作																																				組合せ試験・習熟訓練																																																																																															
(5)現場実証		隔離部屋据付 事前工事												その他関連工事※1												その他関連工事※1												その他関連工事※2																																																																																															
														隔離部屋据付/ハッチ開放																								堆積物除去装置据付・除去・撤去												X6ベネ接続構造据付												ロボット搬入部屋撤去												延長管据付												アクセス・調査装置搬入・据付												内部調査・試験的取り出し												関連機器撤去												調査結果まとめ											

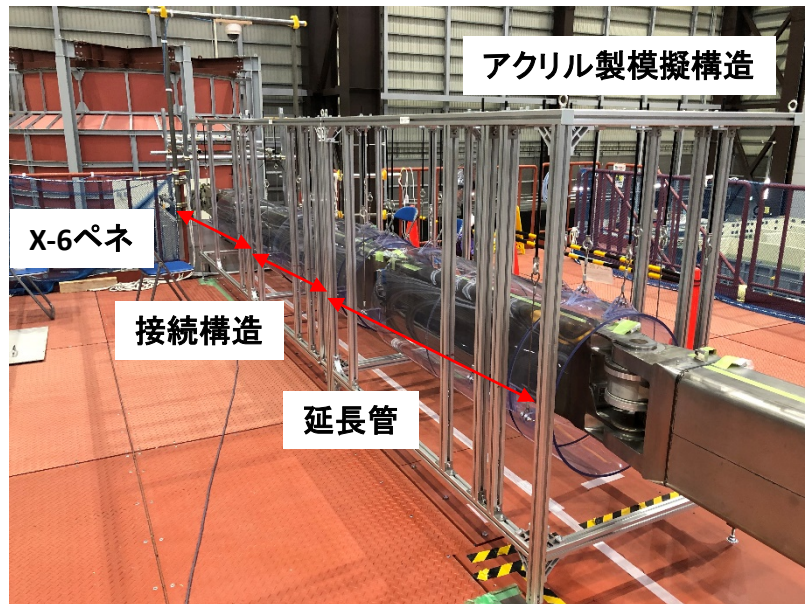
※1
東電HD実施のX53
関連工事
※2
東電HD実施のX53
関連工事及び堆積
物除去関連工事

4.1 アクセス・調査装置

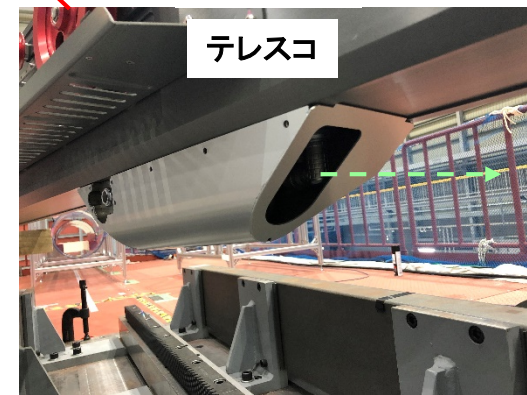
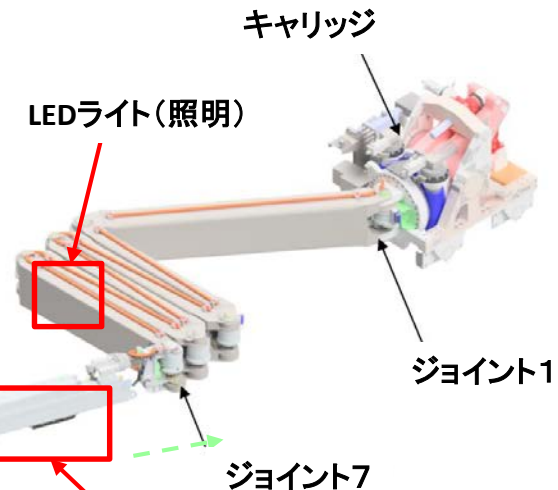
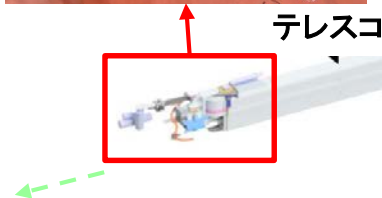
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i) アームの検証試験

(a) X-6ペネ通過試験

目的: X-6ペネ通過時のカメラによるアームの挿入位置とクリアランスの確認方法の確立



テレスコ先端カメラ(前方視野)



テレスコ下部カメラ(後方下面視野)

・X-6ペネの通過性が最も厳しいテレスコ通過の際に、テレスコ前方のカメラと下部のカメラを使用してテレスコの挿入位置(X-6ペネに対するアライメント)とクリアランスを画像で確認。

・試験は実機を模擬して、暗所での試験を実施。

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

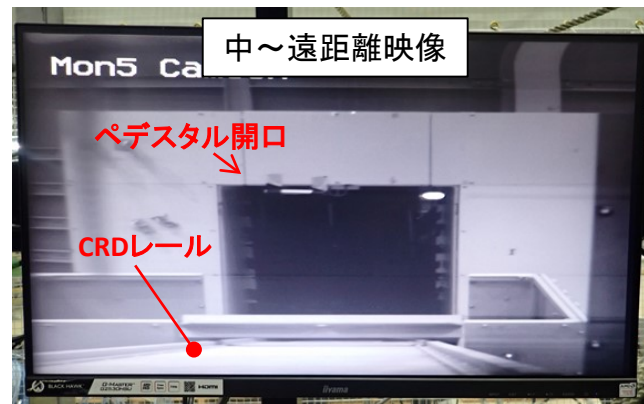
(a) X-6ペネ通過試験



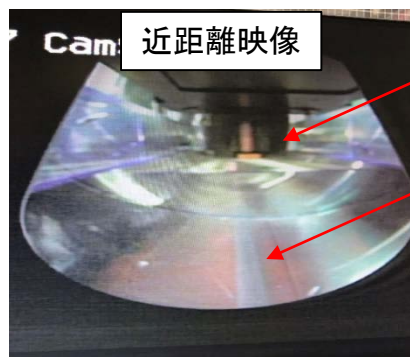
テレスコ先端カメラ(明所)



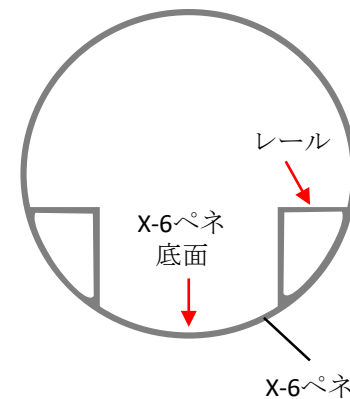
アーム設置LEDライトの状況(暗所)



テレスコ先端カメラ(暗所)



テレスコ下部カメラ(暗所)



- ・カメラ及びアームに搭載している照明でX-6ペネ内の視認は可能なことを確認。
- ・近距離映像に関し、フォーカスの調整による視認性の向上は今後の検討課題。

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

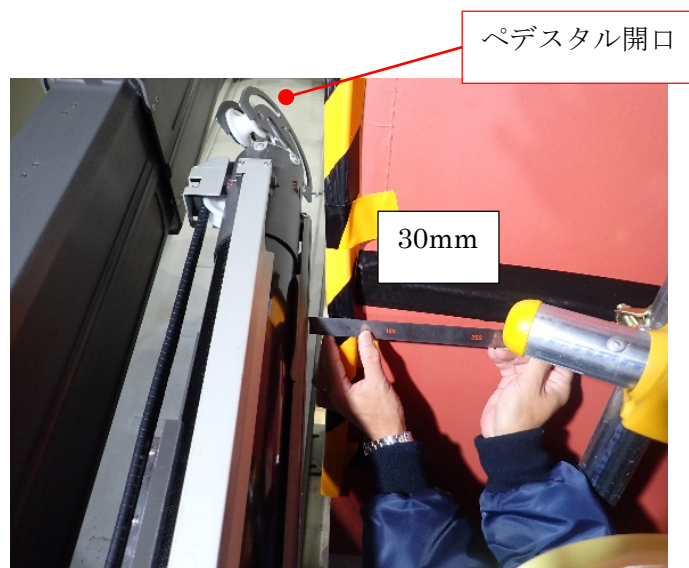
(b) ペDESTALへのアクセス試験

1) 目的

PCV内の調査及び燃料デブリをサンプリングするためには、ペDESTAL内部にアクセスする必要があるため、ペDESTAL内部へのアクセス性を確認する。

2) 実施内容

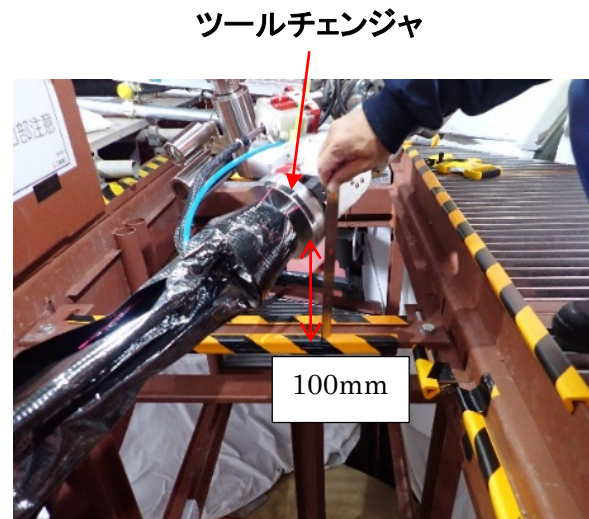
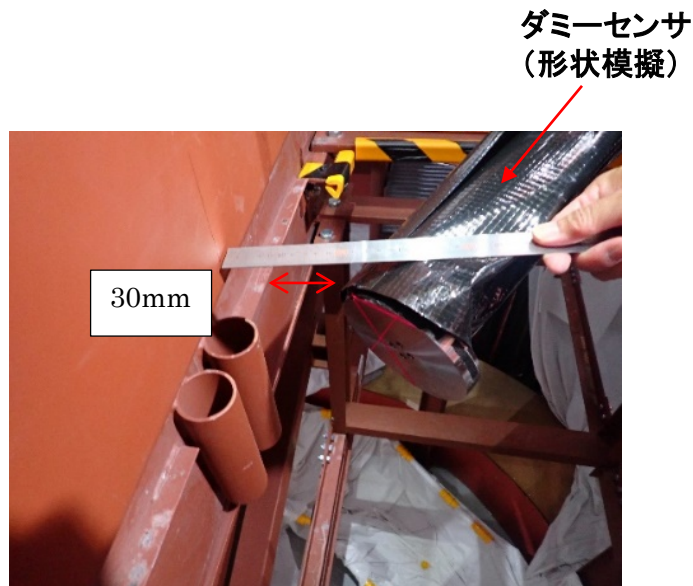
アームを展開してペDESTAL開口にアクセスした結果、ペDESTAL開口部で最小30mmのクリアランスとなることを確認した。また、プラットホーム開口へのアクセス時は最小100mm(ツールチェンジャとプラットホーム)と30mm(センサ先端とプラットホーム)となる結果となった。この結果、センサがペDESTAL底部まで到達するまでに干渉することなく展開が可能であることを確認した。



ペDESTAL開口部通過時の最小クリアランス

4.1 アクセス・調査装置

- (1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i) アームの検証試験
(b) ペDESTALへのアクセス試験



プラットフォーム開口部の最小クリアランス

3) まとめ

アームのペDESTAL内部へのアクセス試験を実施し、干渉することなくペDESTAL底部まで到達することを確認した。

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

(c)アーム位置精度の改善

■ 事象

- 櫛葉のモックアップで、アームの位置再現性試験を実施したところ、リンク角度で最大 0.38° の差が確認された(※)。目標値は 0.02° で、これを満足しない結果となった。その後、演算パラメータ調整、チューニング等実施するも、解決に至っていない。
- 神戸では目視による誘導でアームを動作させていたが、櫛葉では各軸の目標値をティーチ&リピート(TR)ファイルで入力し、アームの位置決め精度を確認する試験を実施したため判明した。

※:アームの動作が完了した時点における、モータ軸レゾルバと出力軸レゾルバの値の差

■ 推定原因(当初の推定)

制御はモータ軸のレゾルバで実施しているため、上記の差はアームが指令どおりの角度まで移動していないことを示唆している。この誤差が発生する要因として以下が考えられる。

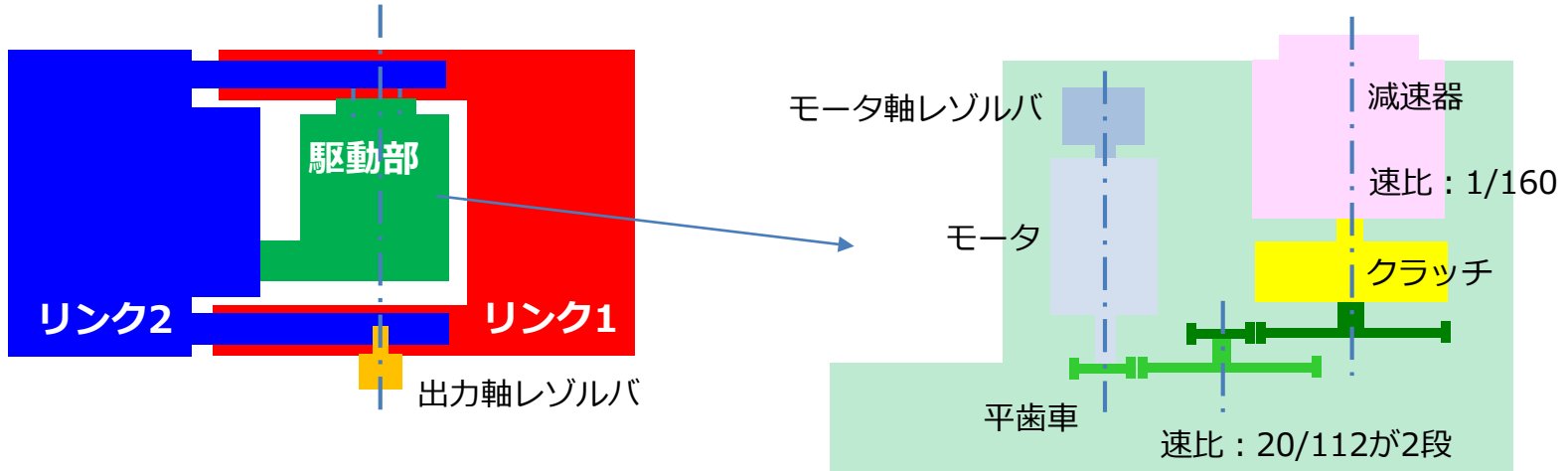
位置決め精度の悪化	信号処理部のソフトが不適	レゾルバの目標値まで動作するプログラムとなっており問題なし 演算方法も問題なし	×
	動作パラメータ不良	ハンチング等なくスムーズに動作しており問題なし	×
	レゾルバ故障	正しく軸値を表示しており問題なし	×
	レゾルバ検出部のすべり	正しく軸値を表示しているが、出力軸の機構は可能性あるが、レゾルバ検出値正しく示されており、要因ではない	×
	ノイズ	ノイズはあるが $\pm 0.005^\circ$ に相当する程度で要因ではない	×
	バックラッシュ、がた	モータ軸に平歯車あり、減速器の軸にはキー溝あり。	○
	リンクのたわみ、ねじれ	たわみは神戸の試験でも確認されたが、再現しており要因ではない	×

4.1 アクセス・調査装置

- (1) 現場状況を考慮したモックアップ試験
 - (i) アームの検証試験
 - (c) アーム位置精度の改善

■ リンクの駆動部構造

アーム先端の位置決め精度はリンクの位置決め精度が大きく影響するが、以下の構造となっている



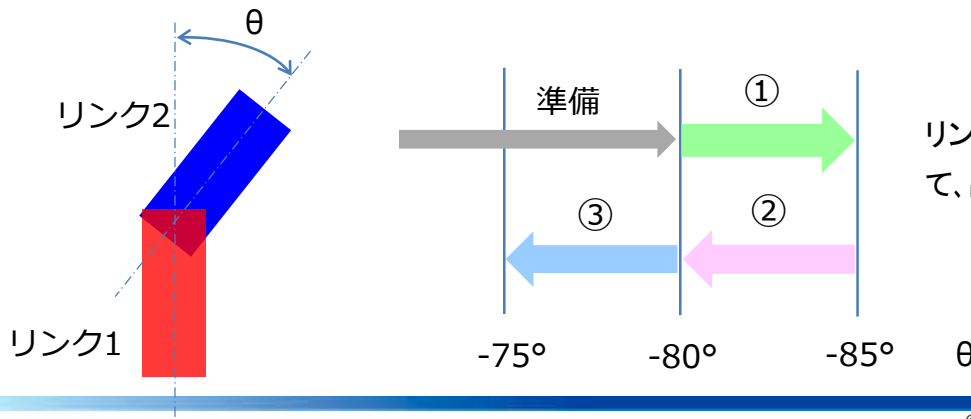
駆動部詳細

速比トータル

$$(112/20) \times (112/20) \times 160 = 5017.6$$

■ 原因究明

バックラッシュ、がたの影響を確認するため、以下の試験を実施した



リンクの角度を $-80^\circ \rightarrow -85^\circ \rightarrow -75^\circ$ と動作させて、出力軸とモータ軸レゾルバの値を計測する

4.1 アクセス・調査装置

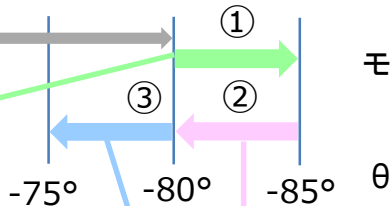
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

(c)アーム位置精度の改善

リンク7(J7)の計測データ

準備

モータ軸レゾルバによる制御



レゾルバ値

①

②

③

リンクが動き始めた点

出力軸

角度

ほぼ同時

約3.2秒

モータ軸と出力軸で約0.2°のずれ

ほぼ同時

モータ軸

ほぼ同時

モータ軸

モータ軸

ほぼ同時

モータが動き始めた点

時間

出力軸0.2°はモータ軸1003.5°に相当

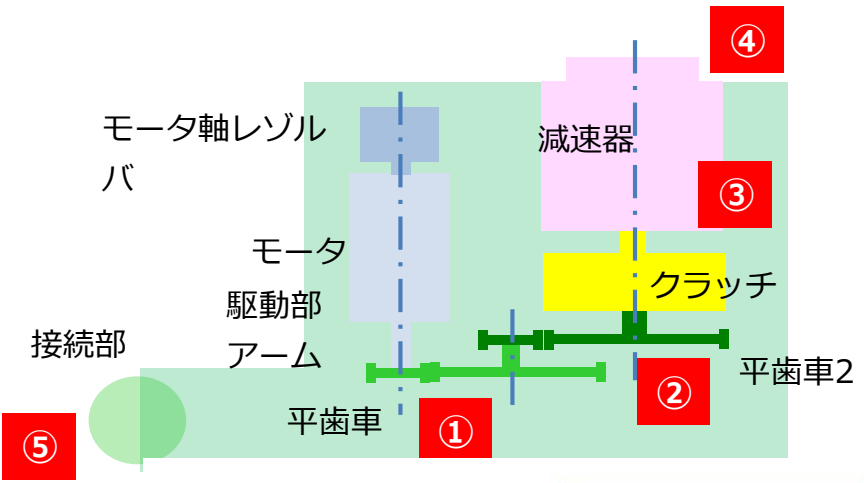
逆方向動作時のみ、モータが動き出しても、しばらくリンクが動作しない現象が確認された。これは、メカ的非線形要素(がた、バックラッシュ等)の影響と考えられる。

4.1 アクセス・調査装置

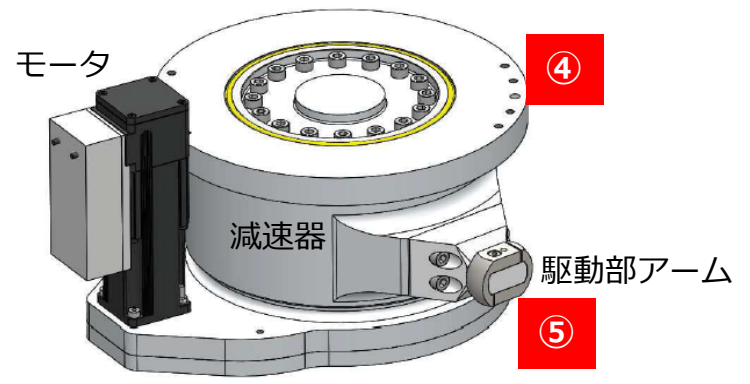
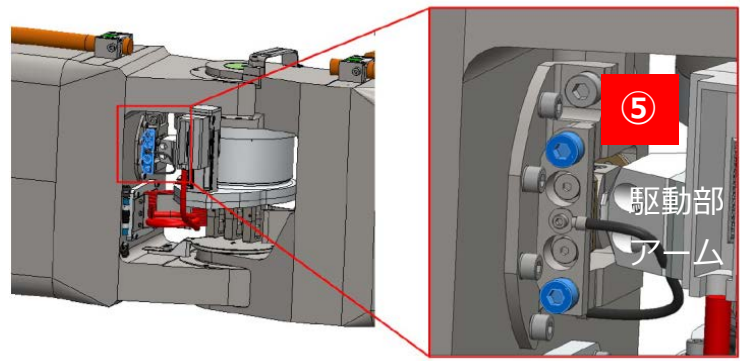
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

(c)アーム位置精度の改善

- がた、バックラッシュが想定される部位
メカの非線形要素が想定される主な部位と、その影響度は以下。



部位	内容	影響度 (⑤を1とする)
①	平歯車1のバックラッシュ	2.0×10^{-4}
②	平歯車2のバックラッシュ	1.1×10^{-3}
③	減速器入力軸のがた	6.3×10^{-3}
④	減速器出力軸のがた	1
⑤	アーム接続部のがた	1



⑤については、アーム接続部のがたの有無を調査。④以降については、平歯車を分解し、がたの有無を調査。また、ボルト穴分ずれた形跡がないか目視で確認する。

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

(c)アーム位置精度の改善

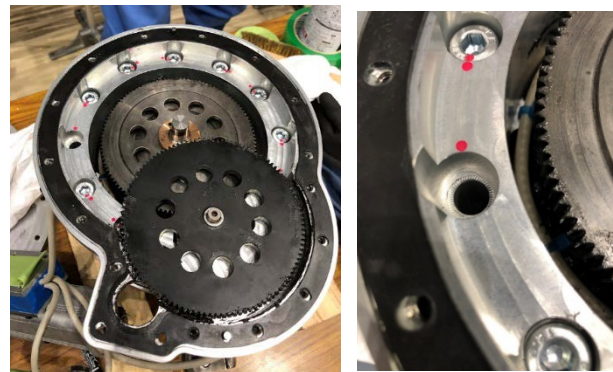
■ アームリンク7駆動部の分解調査結果

リンク7駆動部を分解して、がた、バックラッシュ等を計測した。

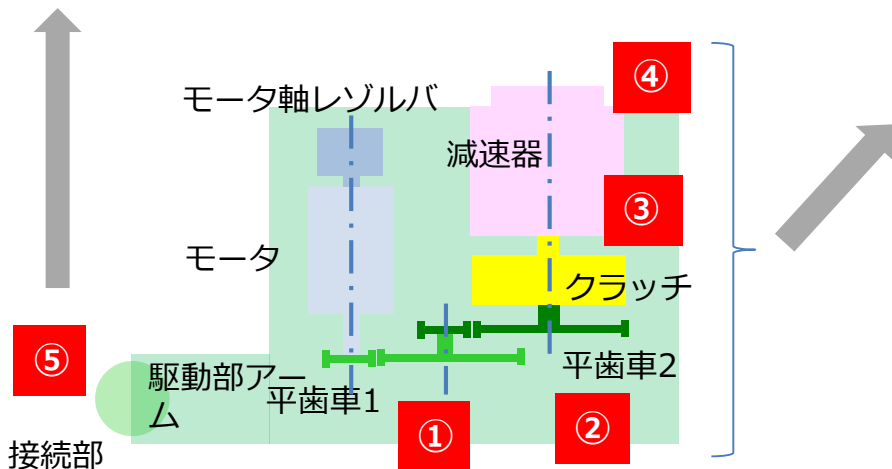


- 減速器については、平歯車1を手動で回転させて、出力軸の挙動をダイヤルゲージで計測(トータルのがたを評価)した。
- 減速器とケースを締結しているボルトには、ずれ等の痕跡は確認されず、締付けトルクも維持されていた(緩み等なし)

部位	内容	計測結果 (°)
①~④	平歯車、減速器トータルのがた (合算値)	0.01
⑤	アーム接続部のがた	0.01



サーキュラー
スプライン取
付部③(ずれ
等なし)



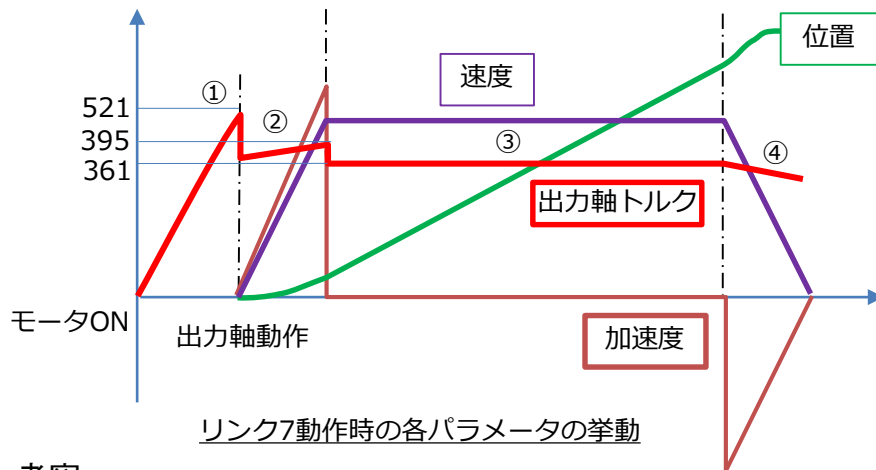
- がた、ずれ、たわみは存在するものの、トータルで0.02° となり、0.38° の主要因ではないと判明した

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験 (c)アーム位置精度の改善

■ 減速器出力軸に加わるトルク(Nm) (J7で計算)

		①	②	③	④
負荷トルク		41	41	41	41
負荷慣性モーメント		-	34	-	-34
摺動抵抗	静摩擦	480	-	-	-
	動摩擦	-	320	320	320
減速器に加わるトルク		521	395	361	327
減速器ねじれ角		0.08	0.07	0.06	0.06



■ 考察

減速器の「ねじれ」は起動時に 0.08° 、停止時に 0.06° が残存しており、動作方向が変わった場合 0.14° 発生する。これに前述の「がた」 0.02° を加えると、 0.16° の誤差となる。これは、再現試験で得られたデータ(0.15°)とほぼ合致しており、メカ的非線形成分が誤差の要因と結論付けることができる。

剛性について

サーボシステムにおいては、駆動系の剛性やバックラッシュは、システムの性能に大きく影響します。装置の設計および型番選定の際、これらの項目について、詳細な検討が必要です。

■剛性

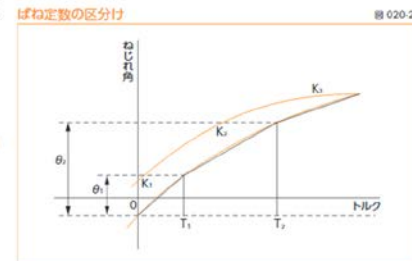
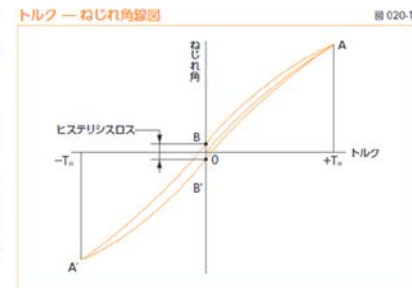
入力側(ウェーブ・ジェネレータ)を固定し、出力側(フレクスブライン)にトルクを加えると、出力側はトルクにほぼ比例したねじれを生じます。

図020-1は、出力側に加えるトルクをゼロからスタートさせ、プラス側およびマイナス側に、それぞれ $+T_0$ から $-T_0$ まで増減させたときの、出力側のねじれ角を図に描いたものです。これを「トルク-ねじれ角線図」と称し、通常O-A-B-A'-B'-Aのループを描きます。ハーモニックドライブ®の剛性は、「トルク-ねじれ角線図」の横さを、ばね定数として表わします。(単位: N·m/rad)

図020-2に示すように、この「トルク-ねじれ角線図」を3つに区分し、それぞれの領域でのばね定数を K_1 ・ K_2 ・ K_3 として表わします。

K_1 ……トルクが「ゼロ」から $[T_1]$ までのばね定数
 K_2 ……トルクが $[T_1]$ から $[T_2]$ までのばね定数
 K_3 ……トルクが $[T_2]$ 以上の領域のばね定数

■各ばね定数(K_1, K_2, K_3)の値およびトルク-ねじれ角($T_1, T_2, \theta_1, \theta_2$)の値は、各シリーズのページを参照ください。



4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

(c) アーム位置精度の改善

■ 制御方法変更後の取得データ一覧

No	動作軸	HMIにおける設定目標位置と表示停止角度(°)								
		目標値	停止位置	偏差	目標値	停止位置	偏差	目標値	停止位置	偏差
1	7	-103	-102.999	0.001						
2	7	-105	-105.001	-0.001						
3	6	176	175.994	-0.006						
4	6	178	178.005	0.005						
5	6+7	176	175.995	-0.005	-92	-91.99	0.01			
6	6+7	178	178.007	0.007	-94	-94.004	-0.004			
7	5	-176	-175.995	0.005						
8	5	-178	-178.003	-0.003						
9	5+6+7	-176	-175.997	0.003	144	143.991	-0.009	-57	-56.998	0.002
10	5+6+7	-178	-178.006	-0.006	148	148.012	0.012	-59	-59.003	-0.003
11	4	176	175.996	-0.004						
12	4	178	178.001	0.001						
13	4+6+7	176	175.993	-0.007	-138	-137.994	0.006	-33.5	-33.495	0.005
14	4+6+7	178	178.009	0.009	-140	-140.008	-0.008	-35.5	-35.509	-0.009
15	4+6+7	151.3	151.287	-0.013	-105	-104.985	0.015	-42	-42.007	-0.007
16	3	-177	-176.995	0.005						
17	3	-179	-179.012	-0.012						
18	3	-177	-176.995	0.005						
19	3+4+5	-175	-174.996	0.004	147.3	147.285	-0.015	-62.8	-62.795	0.005
20	3+4+5	-177	-177.007	-0.007	151.3	151.314	0.014	-64.8	-64.806	-0.006
21	2	126.5	126.498	-0.002						
22	2	127	127.001	0.001						
23	1	-37	-36.996	0.004						
24	1	-37.5	-37.502	-0.002						
25	1+2	-36.5	-36.493	0.007	126	125.996	-0.004			
26	1+2	-37.5	-37.504	-0.004	127	127.003	0.003			

✓ 上述のハードの特性を考慮して制御方法を「出力軸レゾルバによる制御」に変更し、位置精度のデータを取得

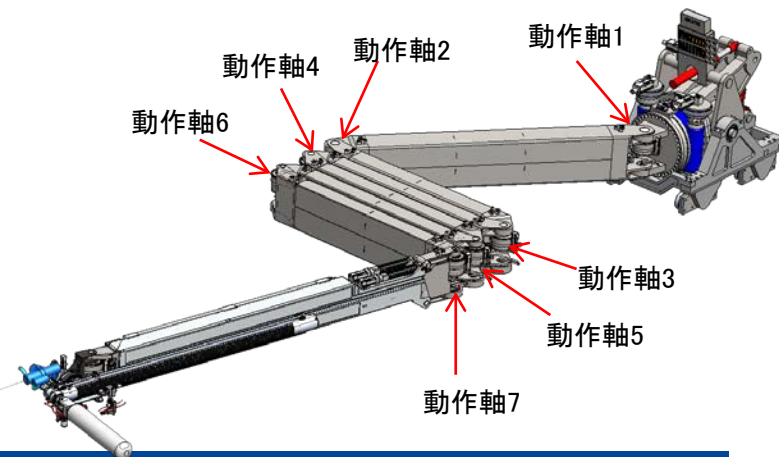
✓ アームの展開手順に従い、単軸→2軸→3軸の順で各軸のアクチュエータ停止精度を確認

✓ また、再現性を確認するために複数軸の作動試験は2回以上の測定を実施

✓ いずれも目標値である 0.02° 以内の精度で停止することを確認(左表参照)

注: 上記の精度にレゾルバ自身の誤差を考慮する必要があるが、当該誤差は無視できる程度であることを確認

✓ 上記 0.02° の精度を考慮すると、アーム先端位置精度は約13mm(RMS値)

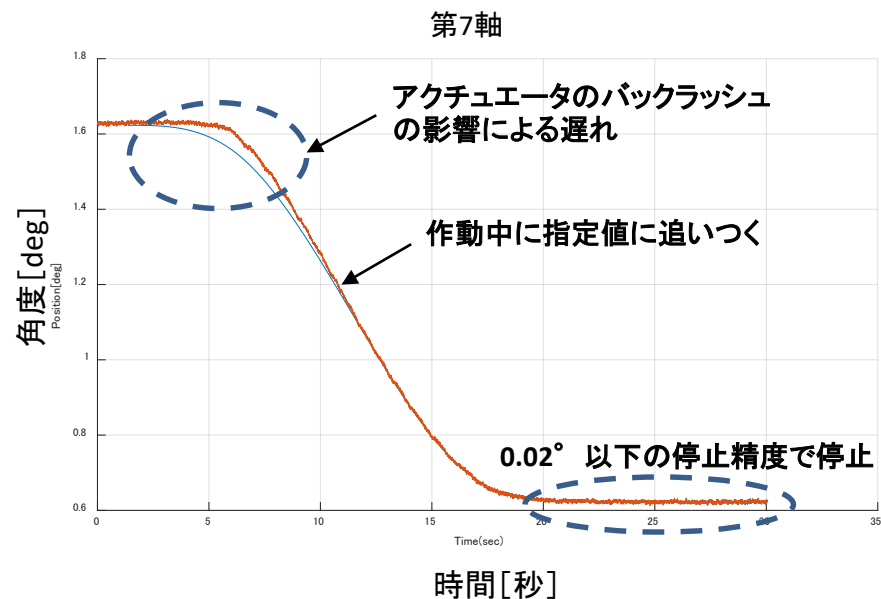
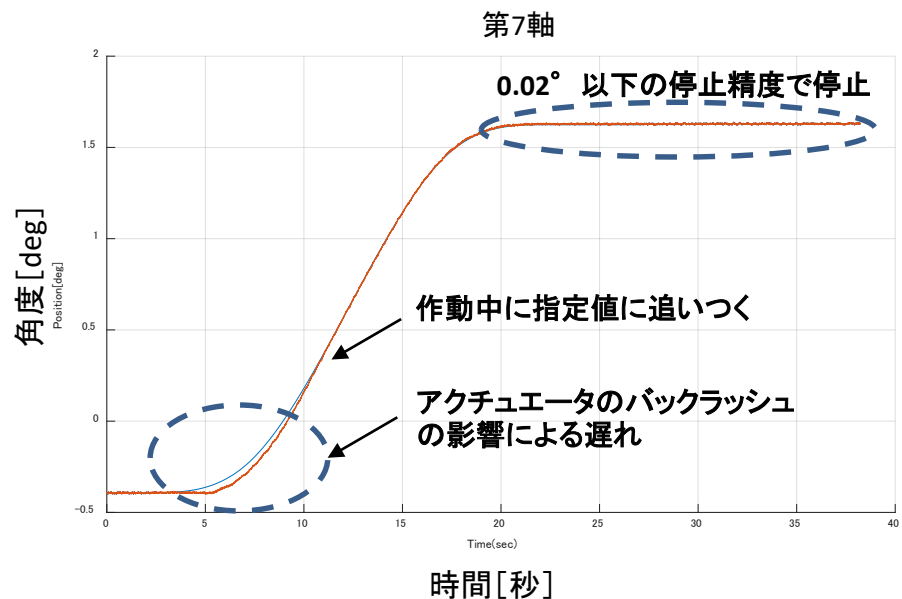


4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験 (c)アーム位置精度の改善

■ 制御方法変更後の取得データ詳細

青線：指令値
赤線：現在値



- ✓ 起動直後はアクチュエータのバックラッシュにより指令値に対して多少遅れるが、運転中に追いつき、目標位置で0.02° 以下の精度以内で停止する
- ✓ なお、アクチュエータのバックラッシュによる遅れは再現性があること、作動初期のみの遅れであり、停止精度やアーム運転に影響無し。

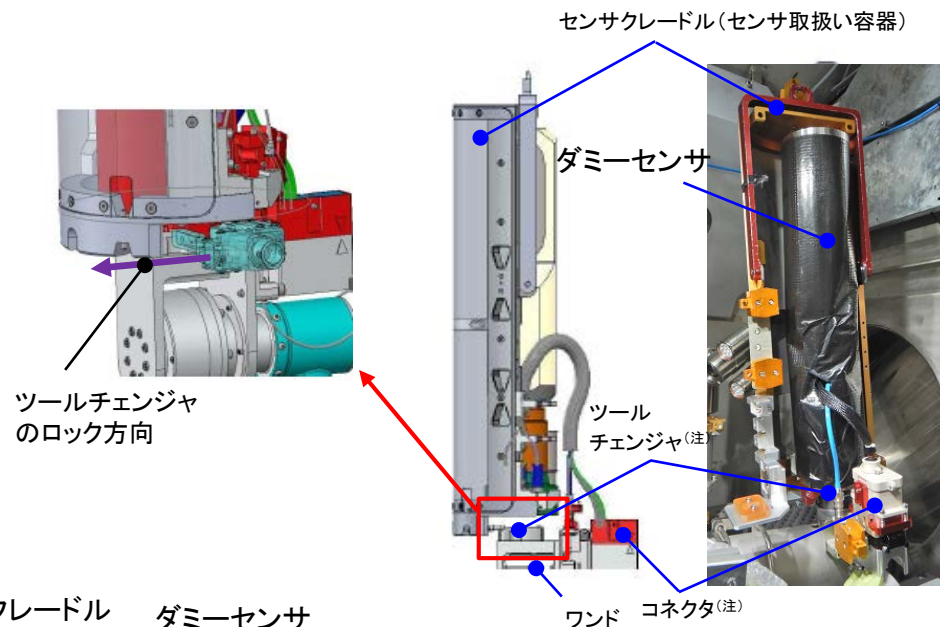
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

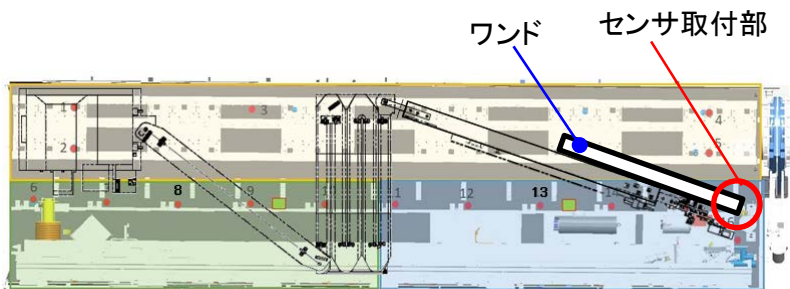
(a) センサ及び外部ケーブル取付／取外し

① センサとアームの接続 : 試験条件

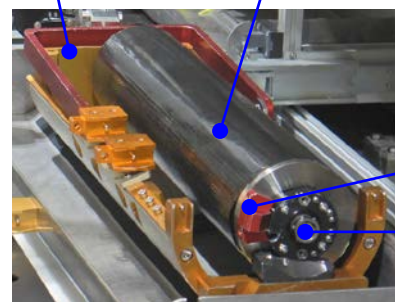
対象物	試験条件
エンクロージャ	実機を使用
アーム	ダミーアームを使用(形状を模擬)
センサ	ダミーセンサを使用 ・アームとの取合部(ツールチェンジャ、コネクタ)は実機と同一 ・重量、重心位置を模擬
センサクレードル(センサ取扱容器)	実機を使用



(注)
 ツールチェンジャ: センサとアームの機械取合部
 コネクタ: センサとアームの電気/光ファイバ/ガスホース取合部



エンクロージャ内配置図

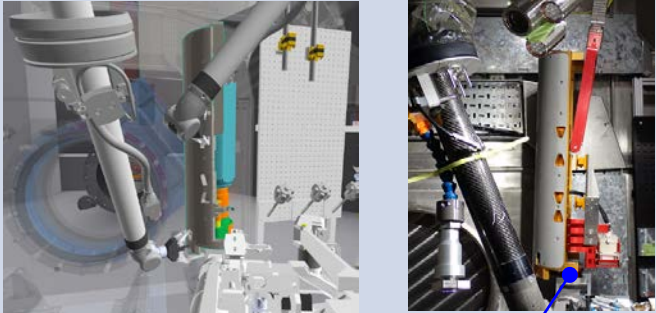
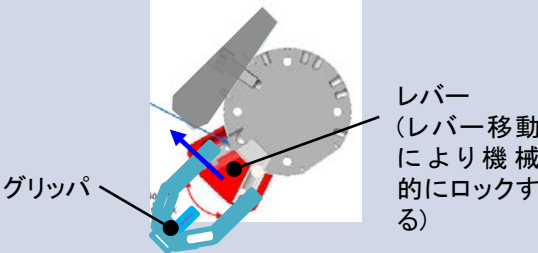
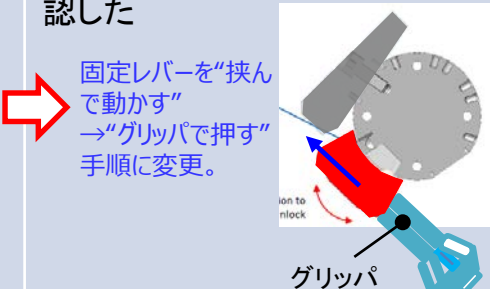
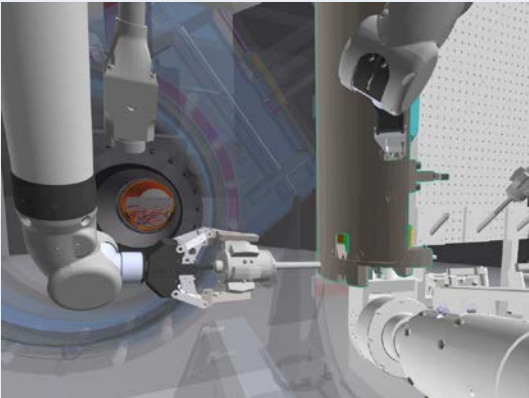
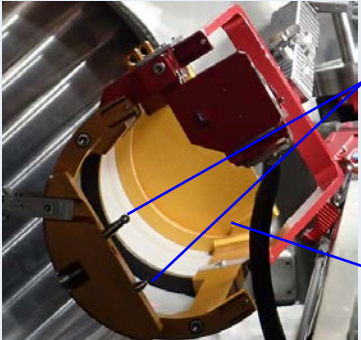


4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(a) センサ及び外部ケーブル取付／取外し

① センサとアームの接続 : 試験結果

検証項目	櫓葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫓葉モックアップ 試験結果
<p>センサをワンド先端に接続</p>  <p>ツールチェンジャを接続</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・センサとワンド先端のツールチェンジャの接続が可能であることを確認 ・ただし、ツールチェンジャを接続するためのレバー操作の作業性が悪い 	<p>レバー操作手順を見直して、作業範囲での干渉、視認性を検証し、作業可能であることを確認した</p> 
<p>センサクレードルの取付／取外し</p> 	<p>クレードルのピンの視認性が悪いため、クレードル取付け作業が不可</p> 	<p>クレードルへの追加工によりピンの視認性を確保し、作業可能であることを確認した (詳細は次頁参照)</p>

4.1 アクセス・調査装置

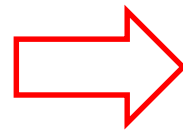
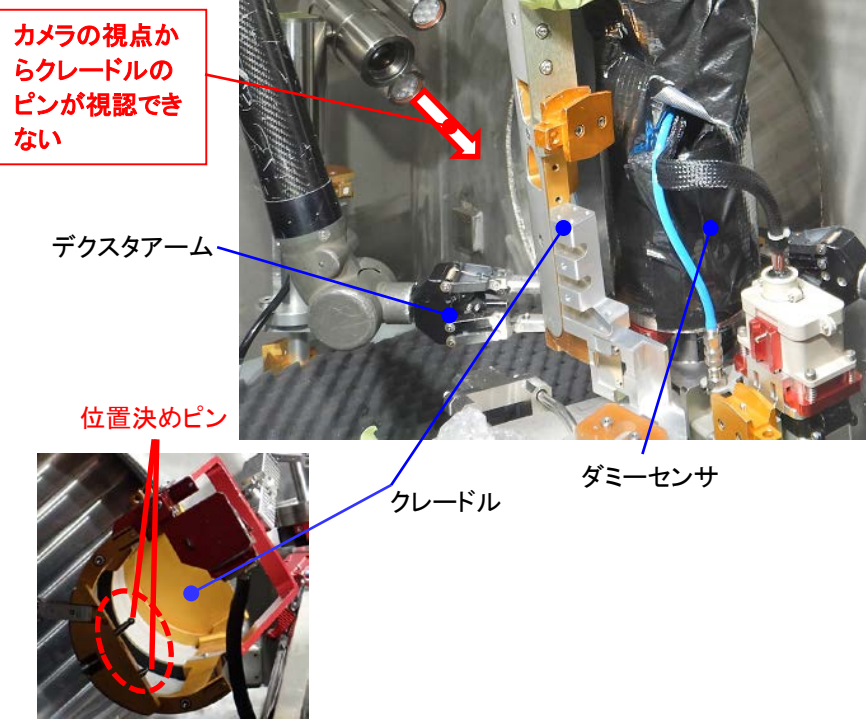
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(a) センサ及び外部ケーブル取付／取外し

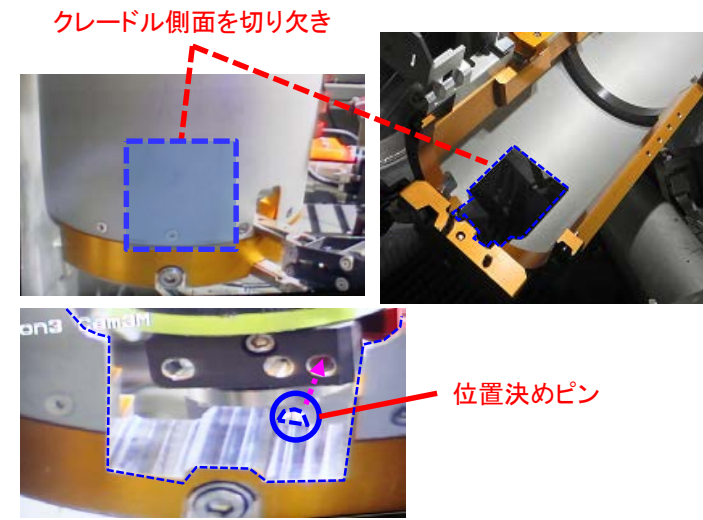
① センサとアームの接続 : 試験結果

改良点
 ・クレードルの位置決めピンの視認性確保のため、クレードル側面への切り欠き追加し、改善効果を検証により確認

試験結果
 ・追加加工したクレードル側面の切り欠きを介して、エンクロージャカメラでピン位置を視認可能となり、クレードルの取付け作業性が改善した



クレードルの切り欠きにより位置決めピンの視認性を改善



クレードル側面の切り欠き部よりピン及び取合部を視認可能となり、クレードルの取付け作業性が改善した

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(a) センサ及び外部ケーブル取付／取外し

② センサ用外部ケーブルのワンドへの取付 : 試験結果

検証項目	檜葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	檜葉モックアップ 試験結果
<p>外部ケーブルのワンドへの引き回し</p>  <p>ワンドのケーブルルート</p>	<p>ケーブル取付用金具の固定作業が、デクスタの両腕での作業となり、狭隘な場所の作業となるため、作業性が悪い</p>  <p>(ワンド先端より見る)</p>  <p>(ワンド側面より見る)</p> <p>デクスタの片手で金具を持ち上げたまま (矢印向きに回転)、もう一方の手でボルトランナーを用いてボルト固定する作業となるが、狭隘のため両手の作業ができない。</p>	<p>固定金具の構造を見直し、作業可能であることを確認した</p>  <p>改良した外部ケーブル取付用金具 (水平に回転とし、デクスタの片手で作業可能。)</p> <p>詳細は次頁参照。</p>

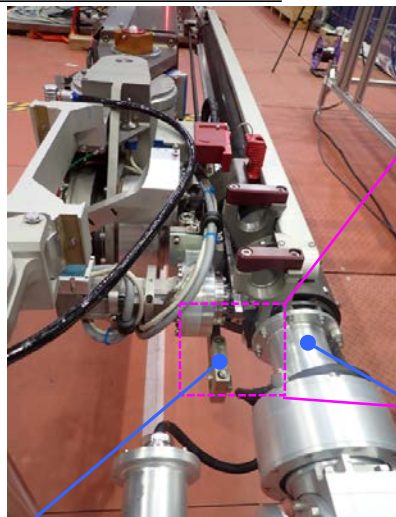
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(a) センサ及び外部ケーブル取付／取外し

② センサ用外部ケーブルのワンドへの取付 : 試験結果

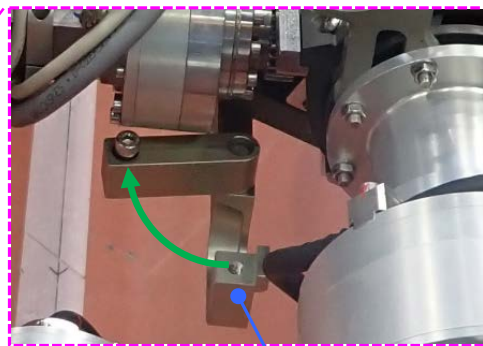
<見直し後の外部ケーブル取付用金具>



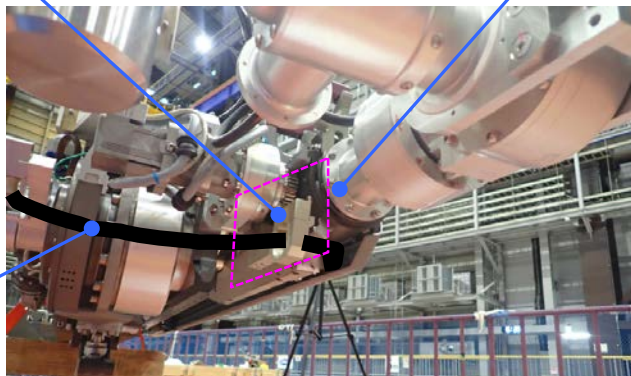
(アーム先端を斜め上方より見る)

外部ケーブル取付用金具

<外部ケーブル取付用金具の上部を開いた状態>



外部ケーブル取付用金具
ワンド

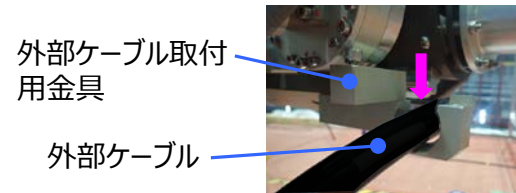


(アーム先端を斜め下方より見る)

外部ケーブルの引き回しルート

<外部ケーブル固定の手順>

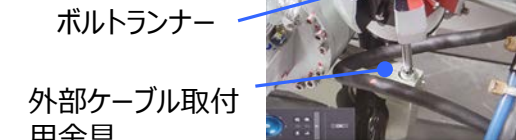
① 外部ケーブルを上方より挿入



② 金具を閉止



③ 金具上部のボルト締め

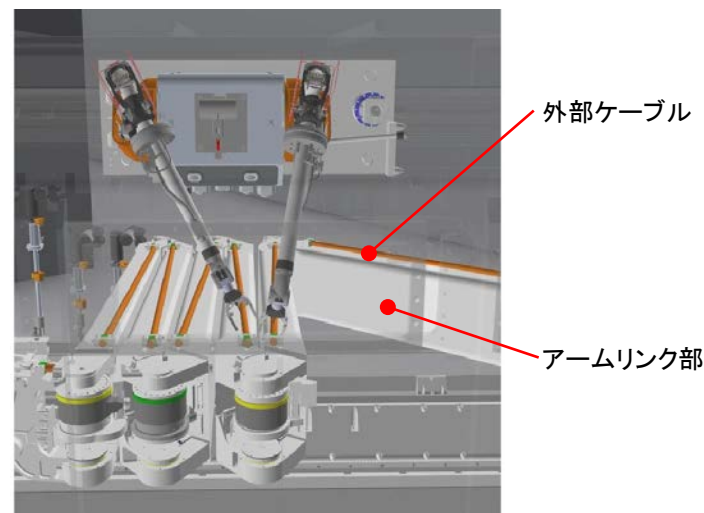
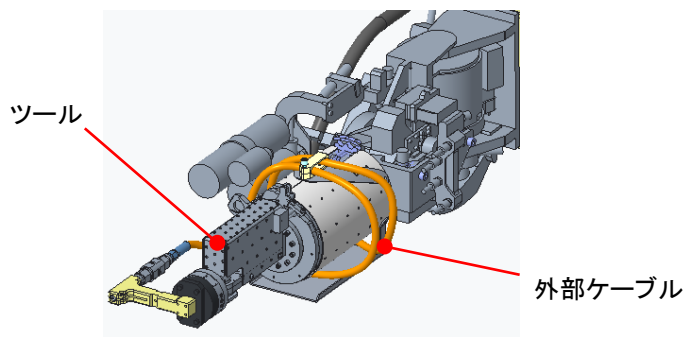
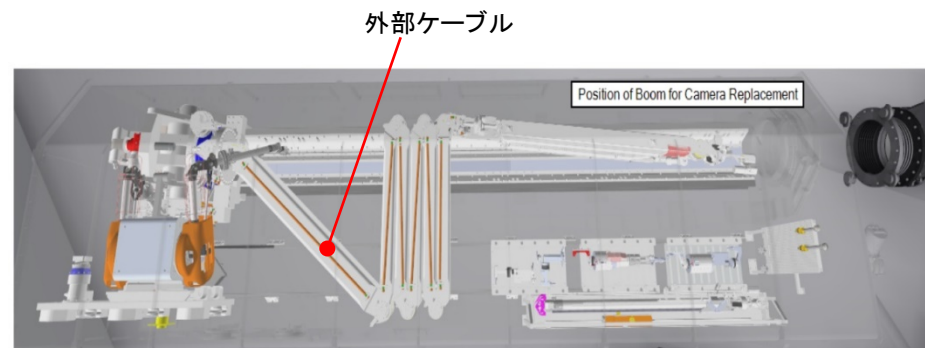


4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(b) ツール及び外部ケーブル取付/取外し

対象物	試験条件
エンクロージャ	実機を使用
アーム	ダミーアームを使用(形状を模擬)
ツール	実機を使用
外部ケーブル	実機を使用
外部ケーブルドラム	実機を使用



本試験では、以下の試験を実施。

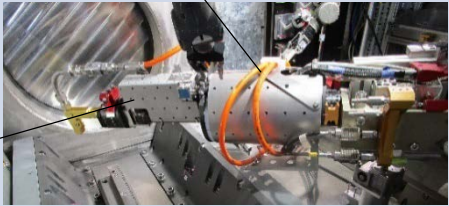
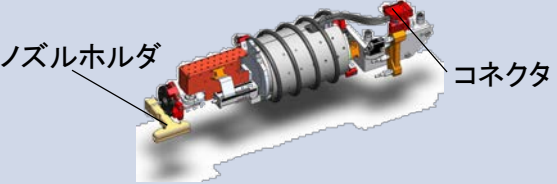
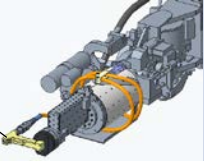
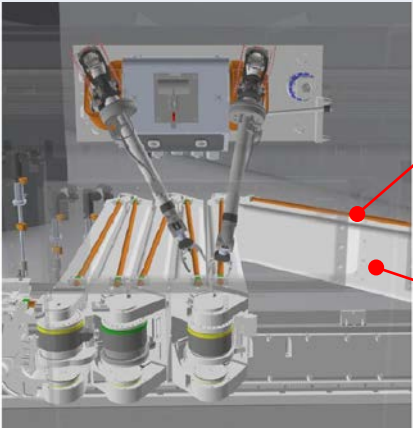
- ・ツール本体への外部ケーブルの取付
- ・アームリンク部への外部ケーブルの取付※

※外部ケーブルは、センサ用とツール用の2種類であるが、ツール用外部ケーブルのほうが剛性が高く、アームリンク部への取付ハードルが高い。

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(b) ツール及び外部ケーブル取付/取外し

検証項目	櫛葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫛葉モックアップ 試験結果
外部ケーブルのツール への取付 	<ul style="list-style-type: none"> ・ツール本体への外部ケーブルの取付試験を実施し、問題なく作業可能なことを確認 ・ただし、ノズルホルダへのノズルの取付とコネクタ接続は未検証 	ノズルホルダへのノズルの取付も可能であることを確認 
外部ケーブルのリンクへの取付 	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルトレイの下側以外は、外部ケーブルの取付が可能であることを確認 ・ケーブルトレイの下側については、狭隘なため、取付不可であった。ケーブル取付金具構造の見直しが必要 	取付金具の構造を見直し、ケーブルトレイの下側も含めて外部ケーブルの取付が可能であることを確認 (詳細は次頁)

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(b) ツール及び外部ケーブル取付/取外し

着眼点

デクスタでの外部ケーブル取付について、これまでの検証試験の結果を踏まえて作業性及び外部ケーブルの拘束の観点から取付金具の改善構造を検討し、以下の改善策を実施。

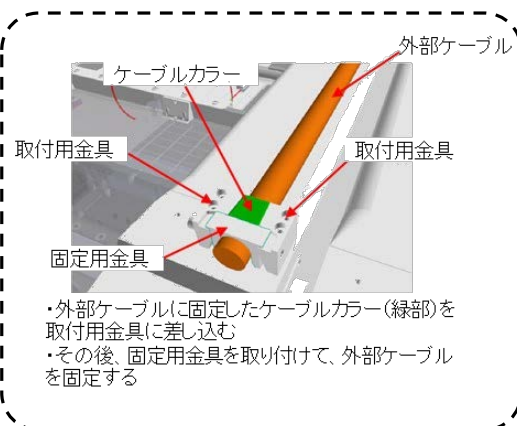
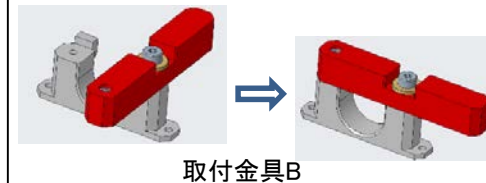
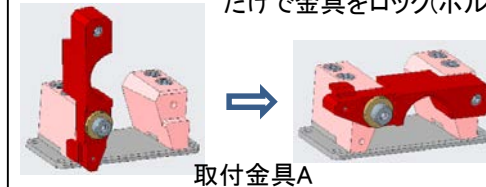
- ・ケーブル拘束と作業性のバランスを考慮し、複数種類の取付金具で対応
 - ・各関節で3箇所固定金具とし、ケーブル拘束を重視した箇所は関節あたり1箇所(取付金具A)とし、残り2箇所(取付金具B,C)は作業性を重視した構造とする
 - ・金具のロックは初期計画のボルト構造からボルトを使用しない構造として作業性を改善
- 上記の改善効果を確認することを主目的として試験を実施。

試験結果

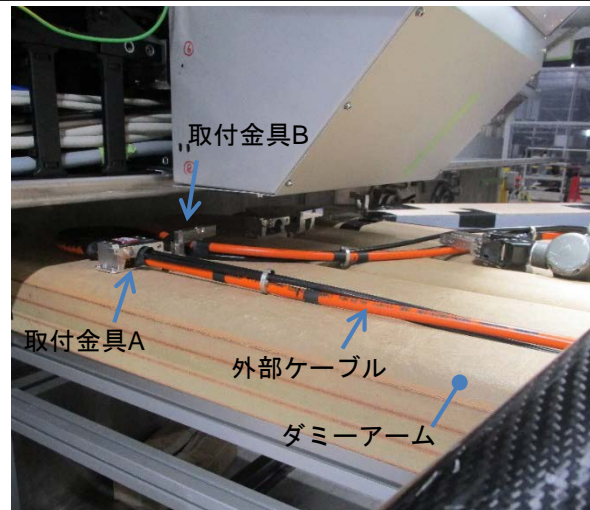
狙い通りの改善効果が確認できた。更なる改善として以下も検討し、対応可能であれば採用する。

- ・取付金具C(引掛け式)の削除

ケーブル設置後、デクスタで回すだけで金具をロック(ボルト不要)



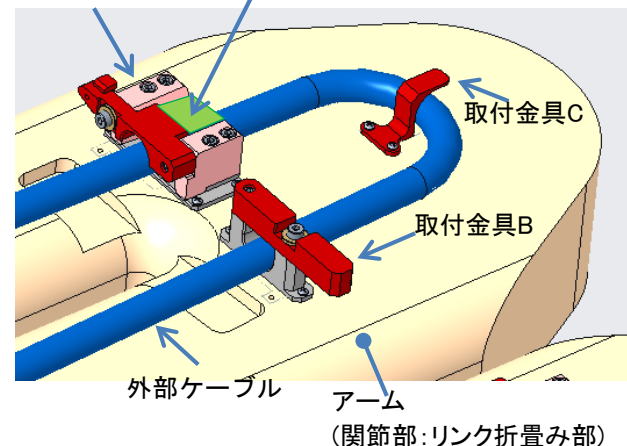
固定金具の初期計画



取付金具A

(6自由度拘束)

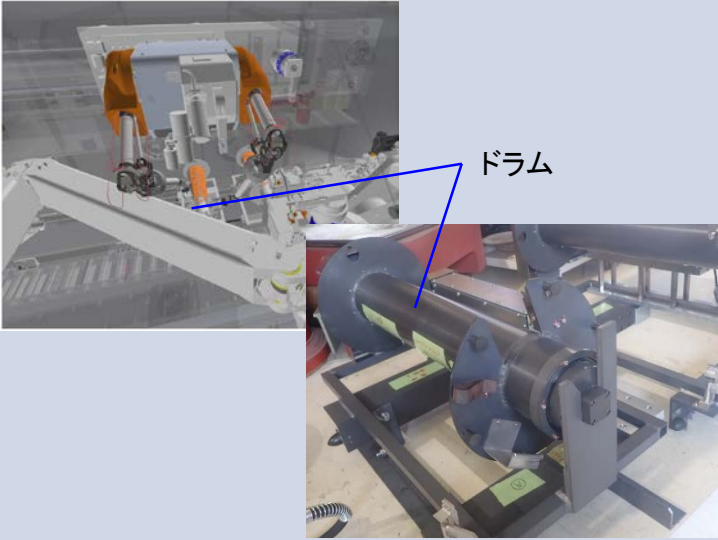
ケーブルカラー



4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(b) ツール及び外部ケーブル取付/取外し

検証項目	櫛葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫛葉モックアップ 試験結果
<p>外部ケーブルのドラムへの巻取り</p>  <p>ドラム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラムへのケーブル巻き取りが可能であることを確認 ・ただし、巻取り作業に時間を要するため、作業時間短縮が必要 ※ケーブルを0.5層巻く作業で約1日要した(巻取り時間を外挿評価すると、トータル約3層巻き=約6日が必要と推定) 	<p>巻取り作業が約4時間まで短縮できた(詳細は次頁)</p> <p>注: 上記4時間は、純粹に巻き取る作業のみであり、アームからのケーブル取外しや、アームからのケーブル取外し後に巻きとれる状態までのケーブル整頓作業は含んでいない。 今後は、作業時間の更なる短縮についても改善を図っていく予定。</p>

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(b) ツール及び外部ケーブル取付/取外し

着眼点

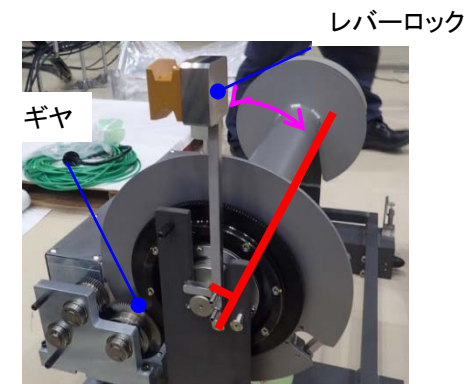
デクスタでの外部ケーブル取外し(巻取り)について、これまでの検証試験の結果を踏まえて作業性の観点から巻取り装置の改善構造を検討し、以下の改善策を実施。

- ・ケーブル反力によるドラムの浮き上がりに伴うギヤ外れを防止するため、レバーロックを追加
- ・ケーブルドラムの径をΦ130 mmからΦ100 mmに小さくすることにより、ケーブルの収容性を向上(巻き付け寸法が大きいとケーブルドラムをDPTEポートから搬出できなくなる。)

上記の改善効果を確認することを主目的として試験を実施。

試験結果

時間を要する(巻取りのみで約4時間)ものの、巻取り装置を安定して連続運転させ、DPTEポートに収まる寸法に巻き付けることが可能であることを確認した。



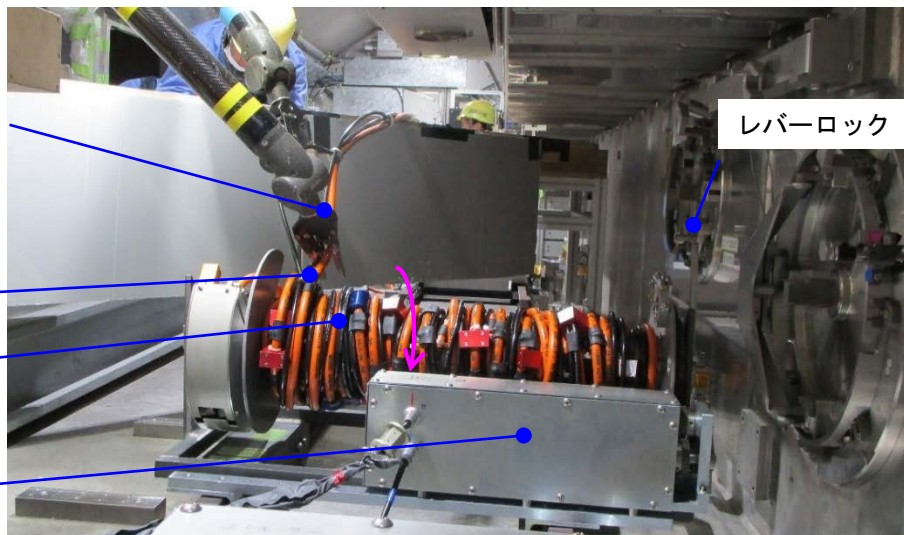
ドラムのレバーロック

デクスタで、ケーブルが緩まないように、ケーブルを支持/ガイドしながらドラムに巻き付け

ケーブル

ケーブルドラムが回転

ケーブルドラム駆動部(モータ)



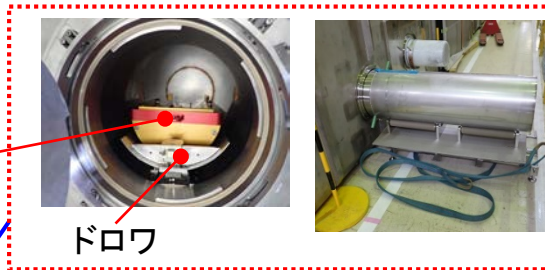
4.1 アクセス・調査装置

(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験条件

対象物	試験条件
エンクロージャ	実機を使用
アーム	ダミーアームを使用(形状を模擬)
センサクレードル	実機を使用(ダミーセンサを含む)
外部ケーブルドラム	実機を使用

センサクレードル

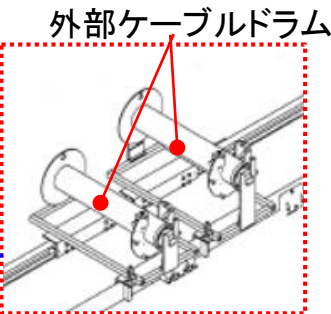


ドロウ

DPTEコンテナ(350)

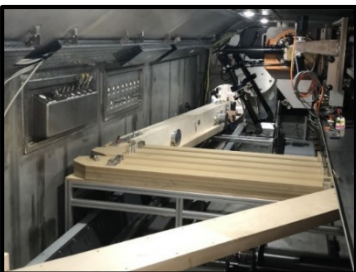


DPTEポート(350)



外部ケーブルドラム

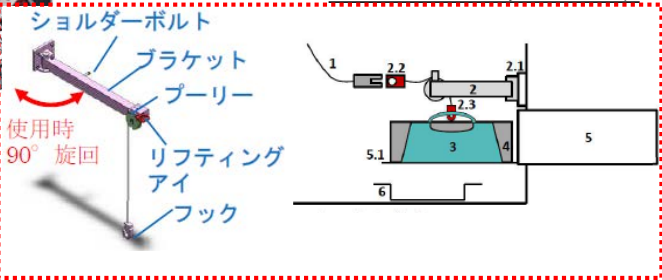
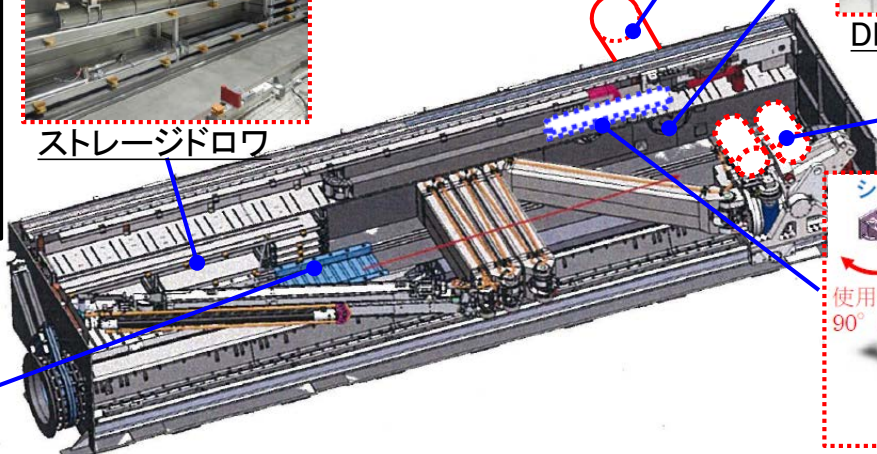
ストレージドラムトオリ



エンクロージャ内



ストレージドラム



ショルダーボルト

ブラケット

プーリー

使用時

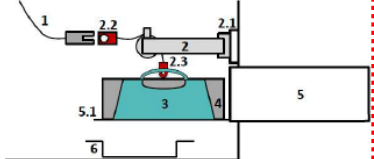
90° 旋回

リフティング

アイ

フック

プーリーアーム(※)



代表機器(下記①、②)の搬入出を検証

- ①センサクレードル: DPTEポート(350) ~ ツールストレージドラム
- ②外部ケーブルドラム: DPTEポート(350) ~ ストレージドラムトオリ

※デクスタのホイストに接続し、プーリーを介して重量物を吊り上げるツール。エンクロージャの側壁際に折りたたんで収納。

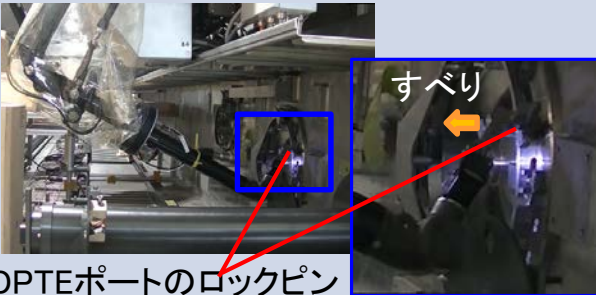


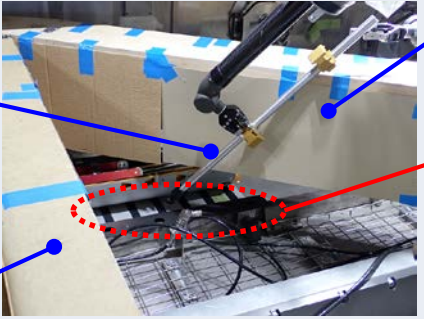


トランスファートリ

4.1 アクセス・調査装置

(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験結果

検証項目	櫛葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫛葉モックアップ 試験結果
<p>DPTEポート(350)の開閉</p>	<p>・DPTEポートのロックピン解除やDPTEコンテナのドロワの引き出し/収納作業時に、デクスタアームがすべり、十分な把持ができない</p>  <p>すべり</p> <p>DPTEポートのロックピン</p>	<p>「把持部の爪先部品に滑り対策」を実施することにより作業性が改善、対策の有効性を確認した</p>  <p>把持部</p> <p>デクスタアーム</p> <p>滑り止め対策品に交換(表面にローレット加工)</p> 
<p>トランスファトロリの移動</p>	<p>・トランスファロッドによる移動は、アームのリンク1とリンク2の間が狭隘であることより、わずかな移動を何度も繰り返すため、時間を要する。</p>  <p>トランスファトロリロッド</p> <p>リンク1</p> <p>リンク2</p> <p>狭隘</p>	<p>・リンクの部分の両側より、直接、トランスファトロリを把持して移動する方式とし、トランスファトロリの移動時間を短縮できることを確認した (詳細は次頁参照)</p>

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験結果

改良点

・トランスファトロリの移動方法の見直し(把持治具を追設し、デクスタで直接把持して移動)

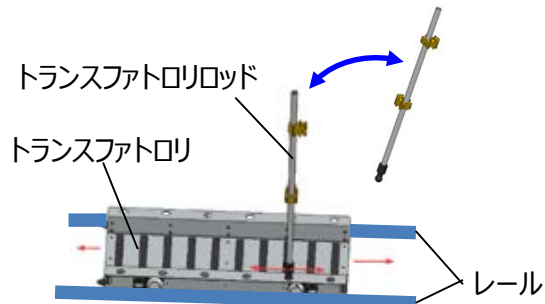
試験結果

・デクスタの移動、トランスファトロリロッドの操作時間(移動、抜き差し)が削減され、トランスファトロリの移動に要する作業時間を短縮(※)できることを確認した

※DPTEポート前からストレージドロウまでの移動時間: **変更前約2時間→変更後10分程度**

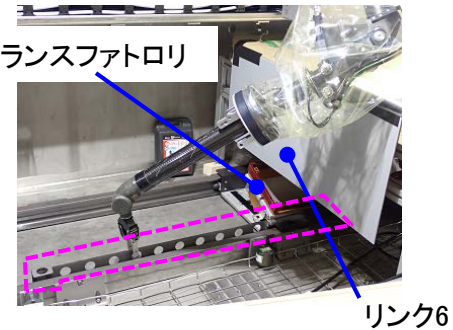
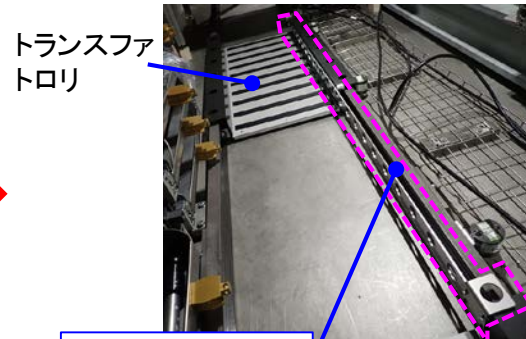
【変更前】トランスファトロリロッドにより移動

→ロッドをトロリの穴に差し込んで、押し出すことで移動

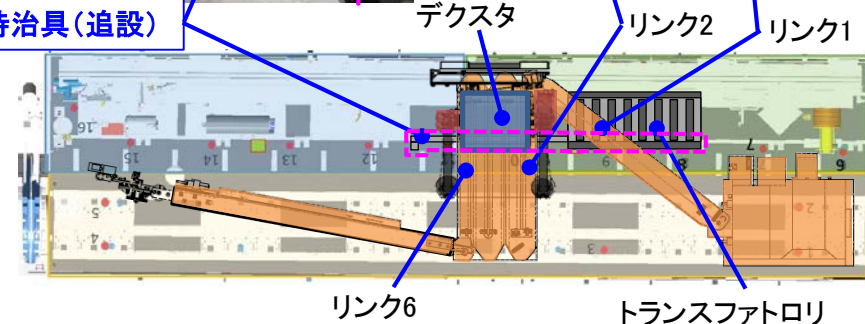
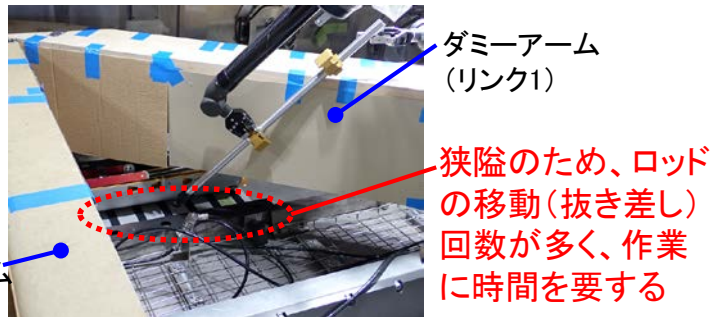
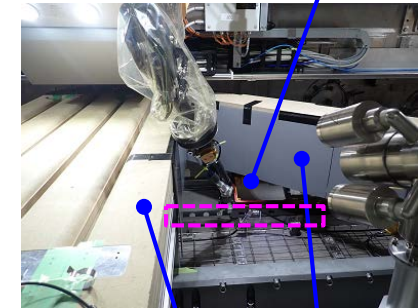


【変更後】把持治具をデクスタで直接把持してトランスファトロリを移動

→把持治具(ピンク破線)を追設し、アームリンク下でもデクスタで直接把持してトロリを移動可能とした



トランスファトロリ



4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験結果

検証項目	櫛葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫛葉モックアップ 試験結果
外部ケーブルドラムの搬入出 (プーリーアームのフックの取付け、ホイスト吊り上げ)	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルトレイの下での作業となり、搬入物の吊り上げ代が不十分 	外部ケーブルドラムの吊り治具の構造改善し、対策の有効性を確認した (詳細は次頁参照)
外部ケーブルドラムの搬入出 (ホイスト吊り下げ/トランスファトリへの積載)	<ul style="list-style-type: none"> ストレージドラムトロリのドラム取合部がカメラの死角となり、ドラム設置完了or未完了の判断が困難。 カメラ視点 ドラムの端部を引っ掛ける際、デクスタ作業用のカメラの死角となる	ケーブルドラムをトロリに設置した後、レバーロックによりドラムを固定することで、ドラムの確実な設置が可能となった (注): 設置状況を視認できない箇所があるものの、レバーロックでドラムを固定することにより、確実に設置できることを試験で検証した (詳細は次々頁を参照)

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

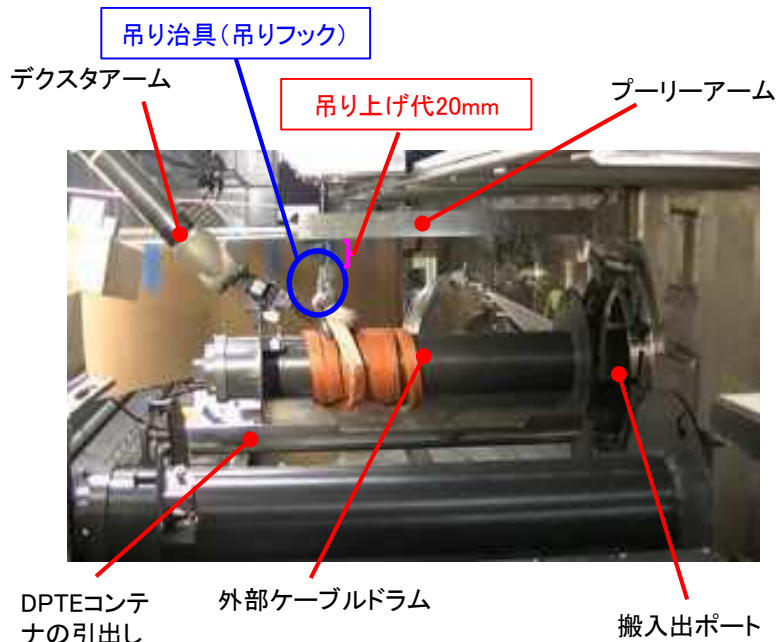
(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験結果

改良点

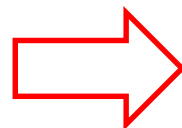
・外部ケーブルドラムの吊り治具の構造・形状の変更

試験結果

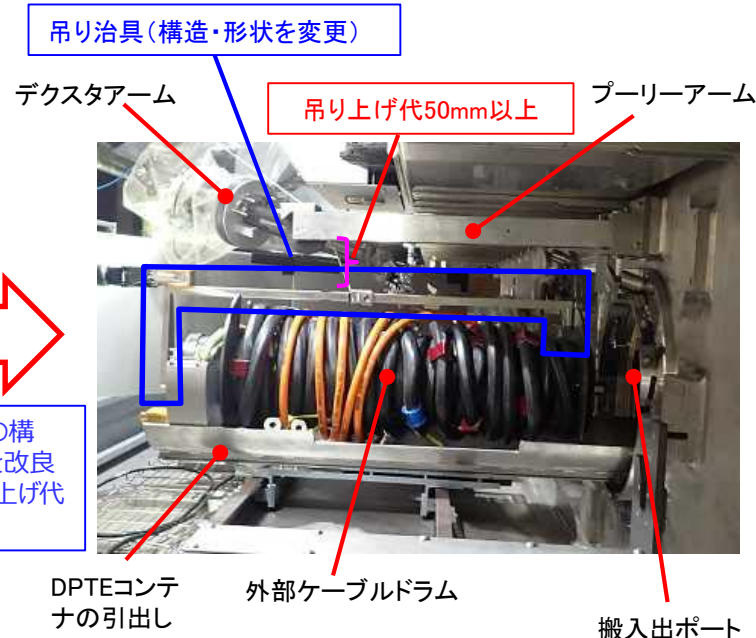
・吊り上げ代が20mmから50mm以上となり、外部ケーブルドラムの搬入出作業が可能であることを確認した



神戸モックアップ試験



吊り治具の構造・形状を改良して、吊り上げ代を確保



檜葉モックアップ試験

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(c) センサ・ツールの搬入出 : 試験結果

改良点

・ケーブルドラム設置用トオリへレバーロックを追加

注: ケーブルドラムの一部切り欠きによる視認性向上を検討したが、切り欠きを設けても十分な視認性が得られないため、上記の方法を採用した

試験結果

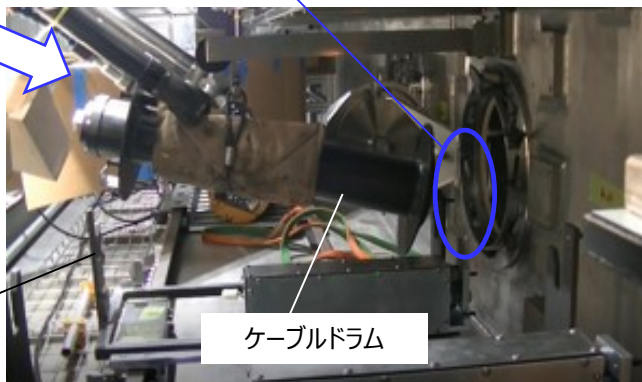
・ケーブルドラムをトオリに設置した後、レバーロックによりドラムを固定することで、ドラムの確実な設置が可能となった
(確認作業及びやり直し作業時間(数分～数10分程度)の削減)

注: 設置状況を視認できない箇所があるものの、レバーロックでドラムを固定することにより、確実に設置できることを試験で検証した

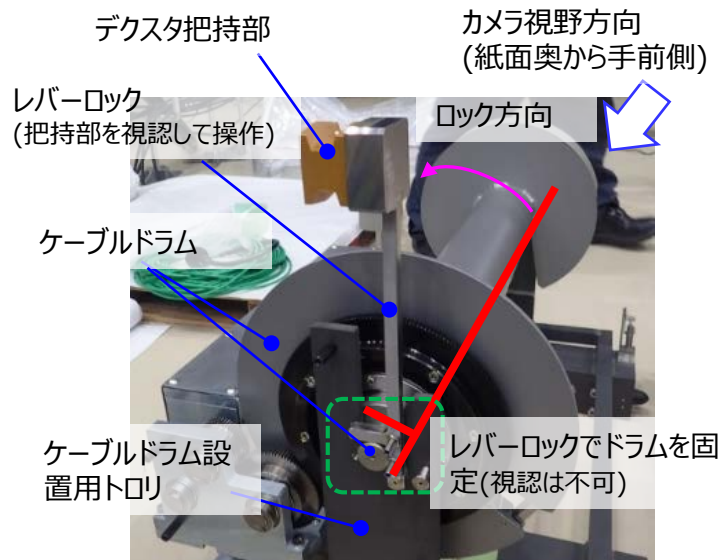
改善前

ケーブルドラムの後ろ側が死角となり、ケーブルドラムのトオリへの設置状況確認に難あり

カメラ視野方向



改善後

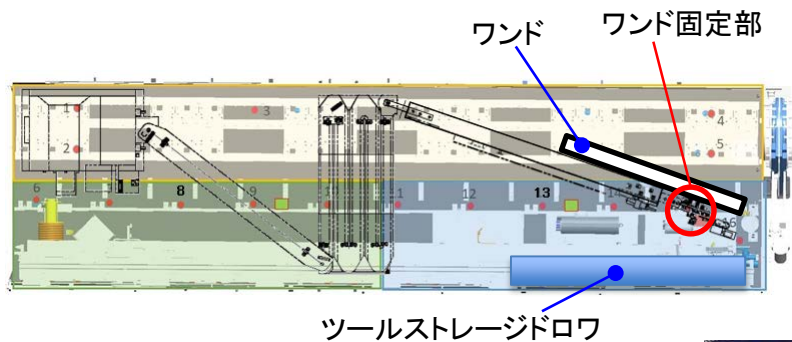


4.1 アクセス・調査装置

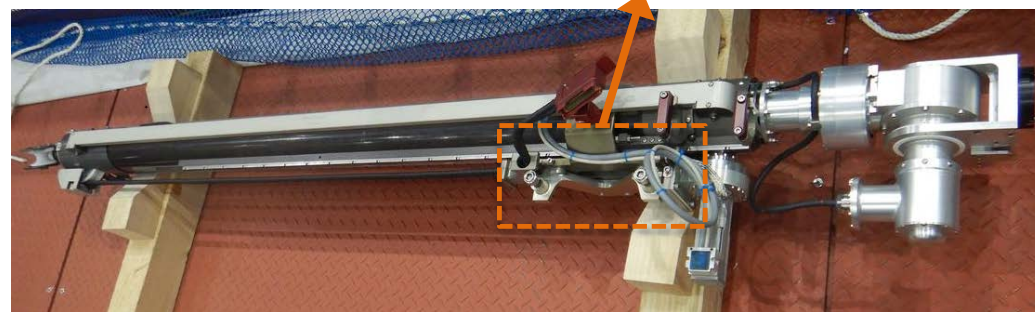
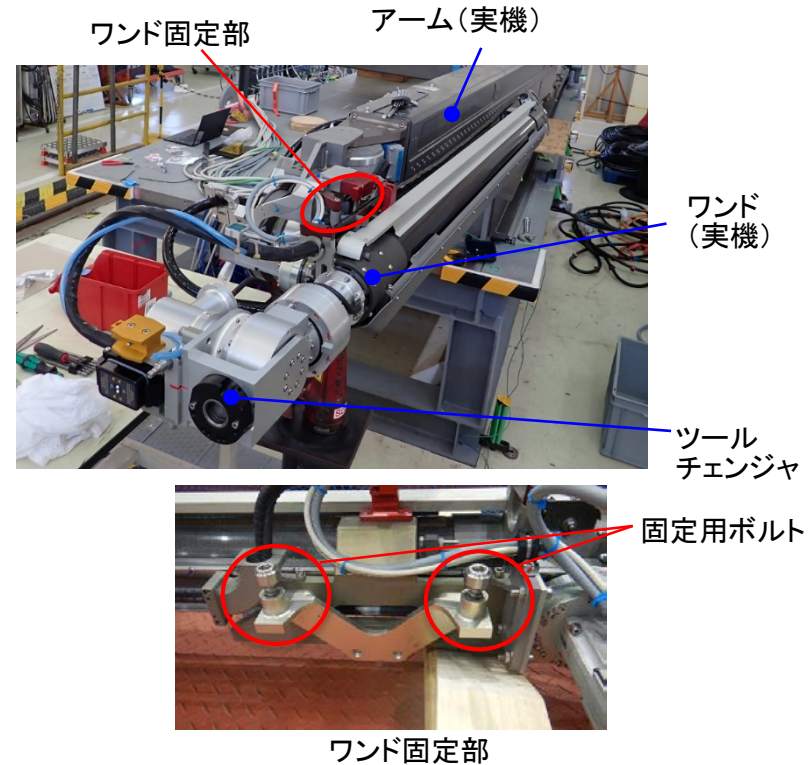
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(d) ワンドの取付／取外し : 試験条件

対象物	試験条件
エンクロージャ	実機を使用
アーム	ダミーアームを使用(形状を模擬)
ワンド	実機を使用



エンクロージャ内配置図



ワンド(実機)

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(d) ワンドの取付／取外し : 試験結果

検証項目	櫛葉モックアップ試験までの 検証結果/要改善事項	櫛葉モックアップ 試験結果
ワンドのアームへの取付 (ストレージドロワからの取り出し、 移送、アームへの取付)	<ul style="list-style-type: none"> ・実機ワンドを用いた作業は未実施。 (ダミーワンドを使用して検証) 	<p>実機ワンドを用いてダミーアームとの接続作業の検証を実施し、一連の作業性の成立見通しを確認できた</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実機ワンドの取扱性向上のため、ワンド用リフティング治具の把持構造を改善し、効果を確認できた (詳細は次頁参照)
ワンドのアームへの固定	<p>・トルクマルチプライヤー(トルク管理用工具)とボルトランナーの2つの工具を使用することとされていた(当初計画)が、作業性改善が必要。</p> <div data-bbox="614 892 1207 1242" style="text-align: center;"> <p>トルクマルチプライヤー ボルトランナー</p> <p>ワンド 固定用ボルト</p> </div> <p>従来のワンド固定作業</p>	<p>1つの工具(※)での作業性(工具のアクセス性)を確認し、作業性の改善効果を確認できた</p> <p>※トルク管理可能なボルトランナーを開発中(今回は外形模擬のダミーを使用)</p> <p>トルク管理可能なボルトランナー (開発中)</p> <div data-bbox="1425 996 1758 1270" style="text-align: center;"> </div> <p>ワンド固定部 (ボルト止め2か所)</p>

4.1 アクセス・調査装置

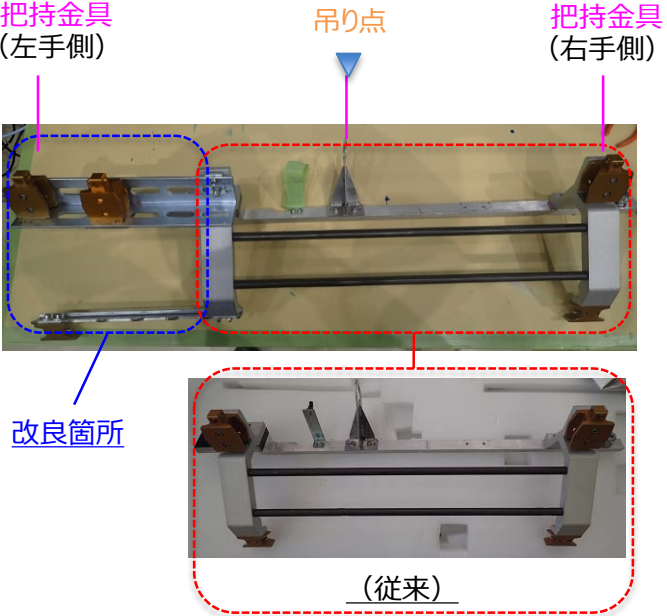
(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(d) ワンドの取付／取外し : 試験結果

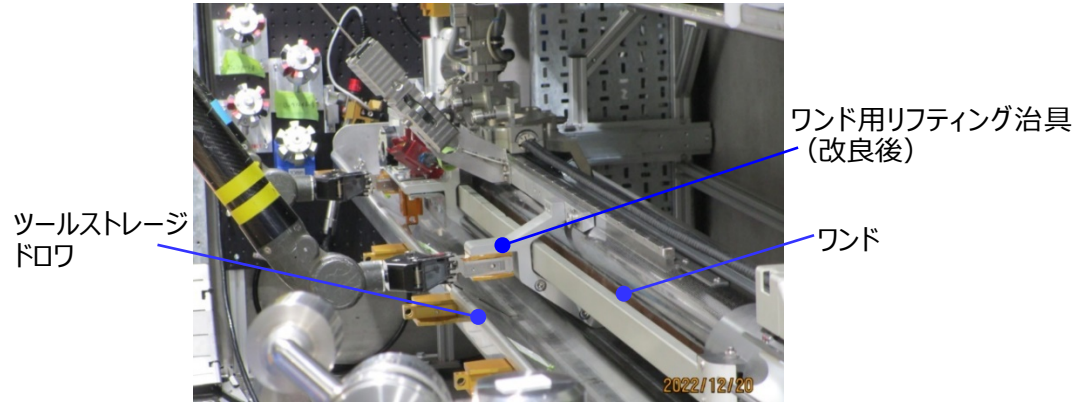
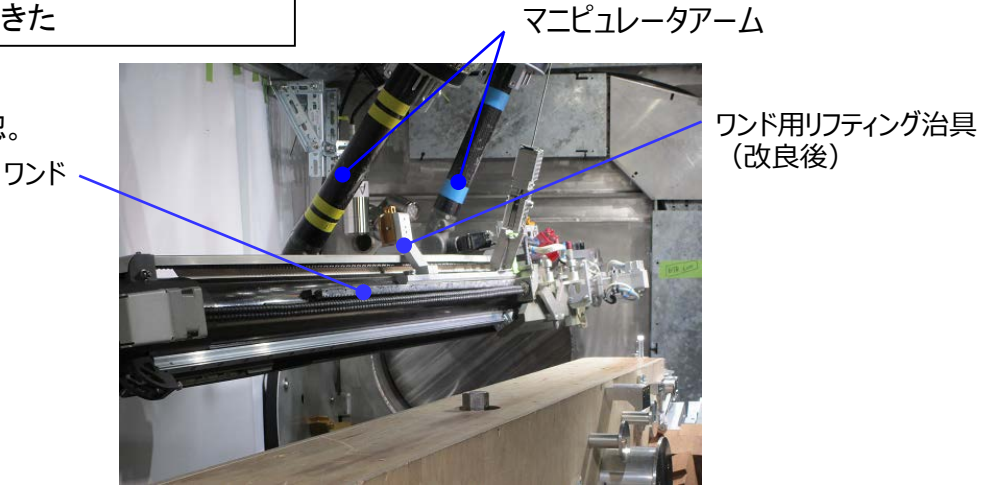
改良点
 ・ワンド用リフティング治具の把持位置を適切な位置に見直して、改善効果を確認

試験結果
 ・把持位置の変更により、作業性が改善していることを確認できた

- ・把持金具の位置を左右均等な位置に見直し(作業性向上を確認)。
- ・一連の作業を通じて、把持金具の位置・向きが適切であることを確認。



ワンド用リフティング治具 (改良後)



ワンド取扱の作業性確認

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) デクスタの作業性検証試験

(e) エンクロージャカメラの運用見直し

問題点	エンクロージャ内のカメラ移設作業に時間を要し、また、作業回数も多い
対応方針	可能な限りエンクロージャ内のカメラ位置を固定し、カメラ移設作業そのものを低減する
具体策	<p>従来：①～⑬の位置にカメラスタンドがあり、4台のカメラを作業毎に移設 改善策：○部にカメラ4台を固定(カメラ本体のパン/チルト/ズームは可能) アームの移動と干渉する2台はエンクロージャ天井に設置 ○部のカメラ1台は作業毎に移設する運用 ※上記は、これまでの検証試験でのカメラ視野をふまえて設定 改善策適用により、約640時間の作業時間が低減できる見込み</p>
検証状況	ダミーアームを用いたデクスタ検証試験にて上記配置を試運用し、固定カメラ位置等に問題ないことを確認中。

検証結果はおって報告予定。

4.1 アクセス・調査装置

(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

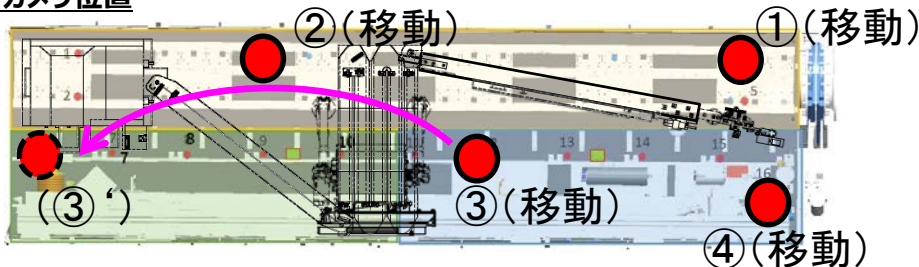
(e)エンクロージャカメラの運用見直し

これまでの検証状況に基づき、カメラ配置・運用見直し、**カメラの移動回数を低減**

☆外部ケーブルの取付けの例

<従来>

√カメラ位置



(移動): 移動運用するカメラ

①②はエンクロージャ床からスタンドを立ててカメラを設置
⇒アーム移動に伴い一部のカメラは移動が必要

√カメラの移動回数

- (1)初期配置 (アーム延伸時のカメラ退避位置から①、②、③への移動) : **3回**
- (2)作業途中の配置変更 (③→③') : **1回**
- (3) ①、②からアーム延伸時のカメラ退避位置への移動 : **2回**

合 計 : **6回**



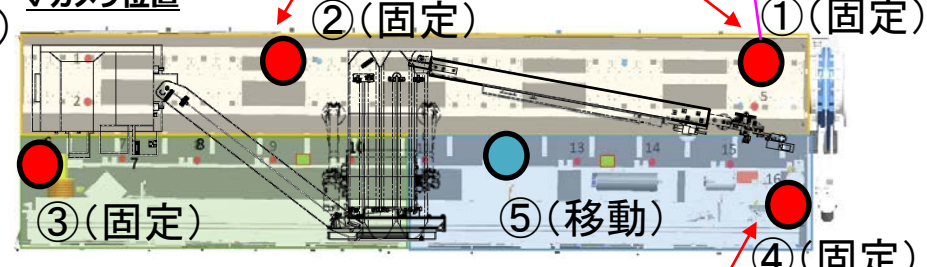
カメラ(スタンド設置)



カメラ(天井設置)

<改善策>

√カメラ位置



(移動): 移動運用するカメラ
(固定): 固定運用するカメラ

④は、エンクロージャ前方ツールラックに設置

①②は、エンクロージャ天井に設置

√カメラの移動回数

- (1)初期配置 (アーム延伸時のカメラ退避位置から⑤への移動) : **1回**
- (2)作業途中の配置変更 : **0回**
- (3) ⑤からアーム延伸時のカメラ退避位置への移動 : **1回**

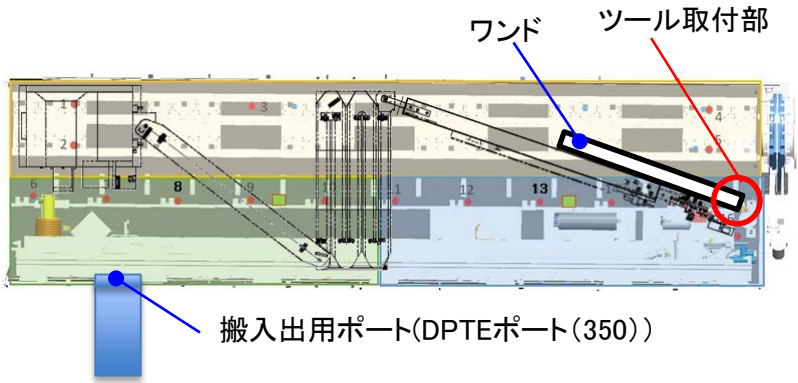
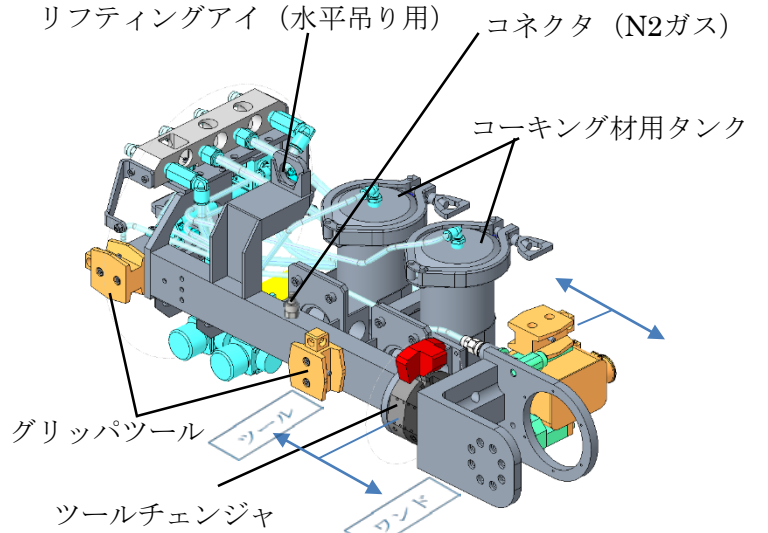
合 計 : **2回**

4.1 アクセス・調査装置

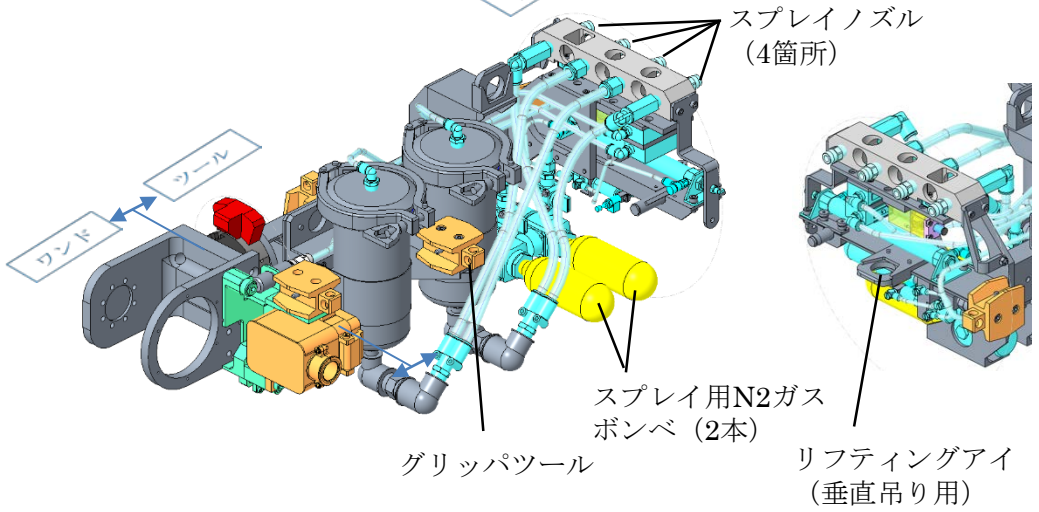
(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(f) コーキング塗布ツールの取付／取外し : 試験条件

対象物	試験条件
エンクロージャ	実機を使用
アーム	ダミーアームを使用(形状を模擬)
コーキング塗布ツール	実機を使用



エンクロージャ内配置図

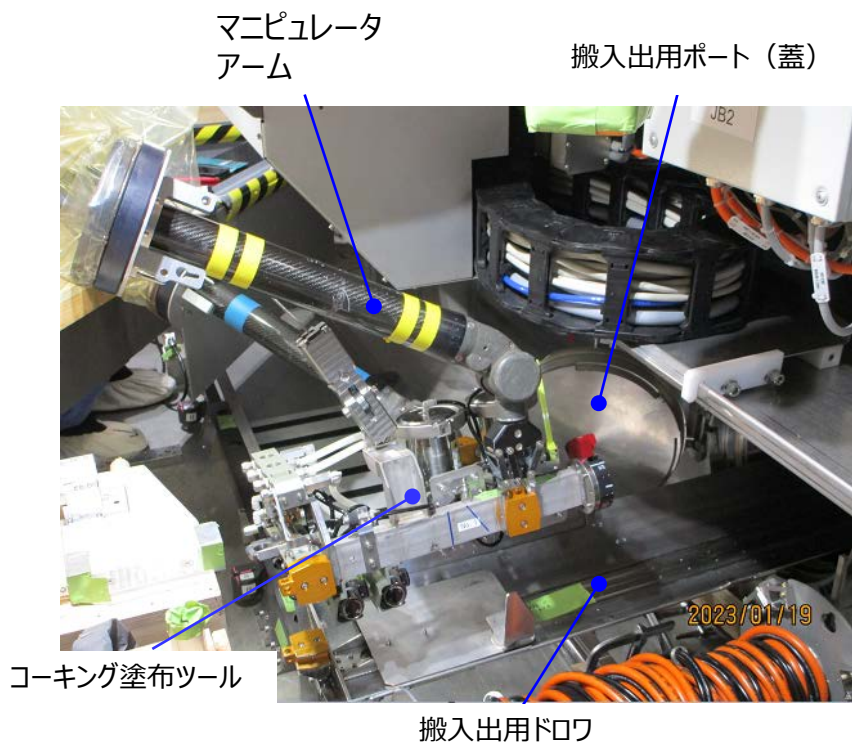


4.1 アクセス・調査装置

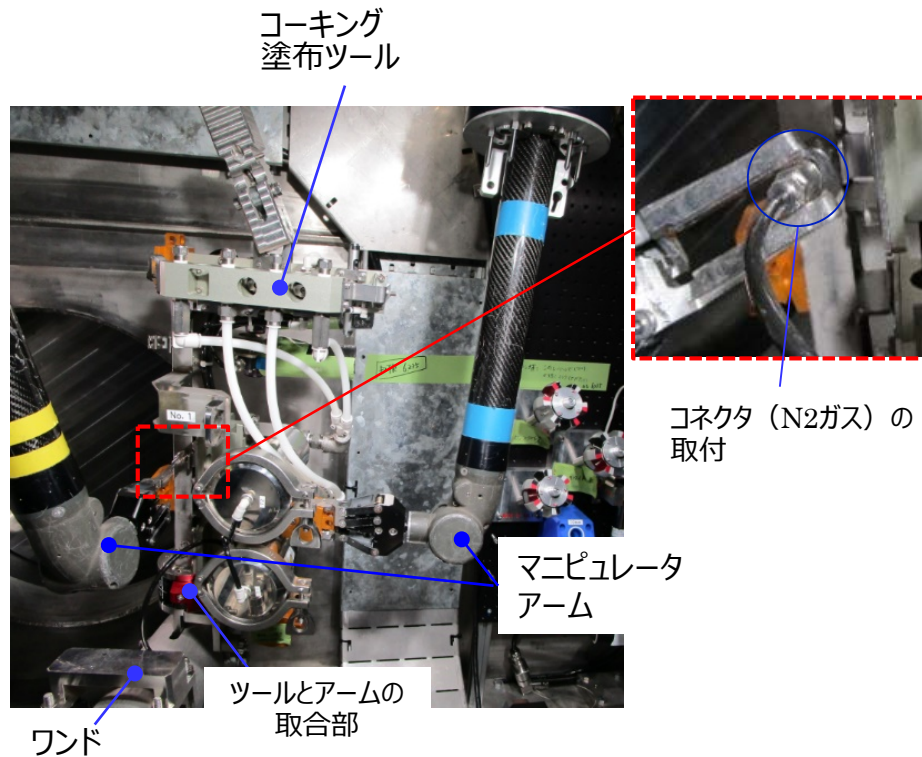
(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(f) コーキング塗布ツールの取付／取外し : 試験結果

- ・実機ワンド、実機ツールを用いて搬入出作業およびダミーアームとの接続作業を実施した。
- ・一連の作業性の成立見通しを確認できた。



コーキング塗布ツールの搬入作業

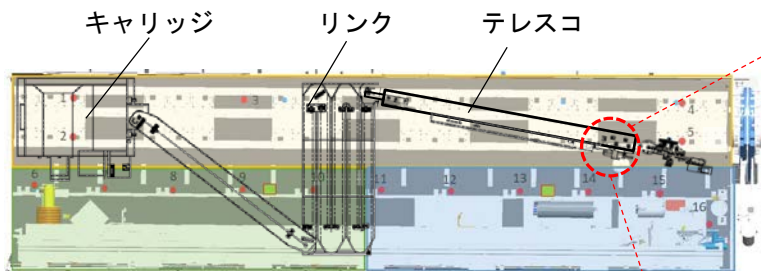


コーキング塗布ツールとアームの接続

4.1 アクセス・調査装置

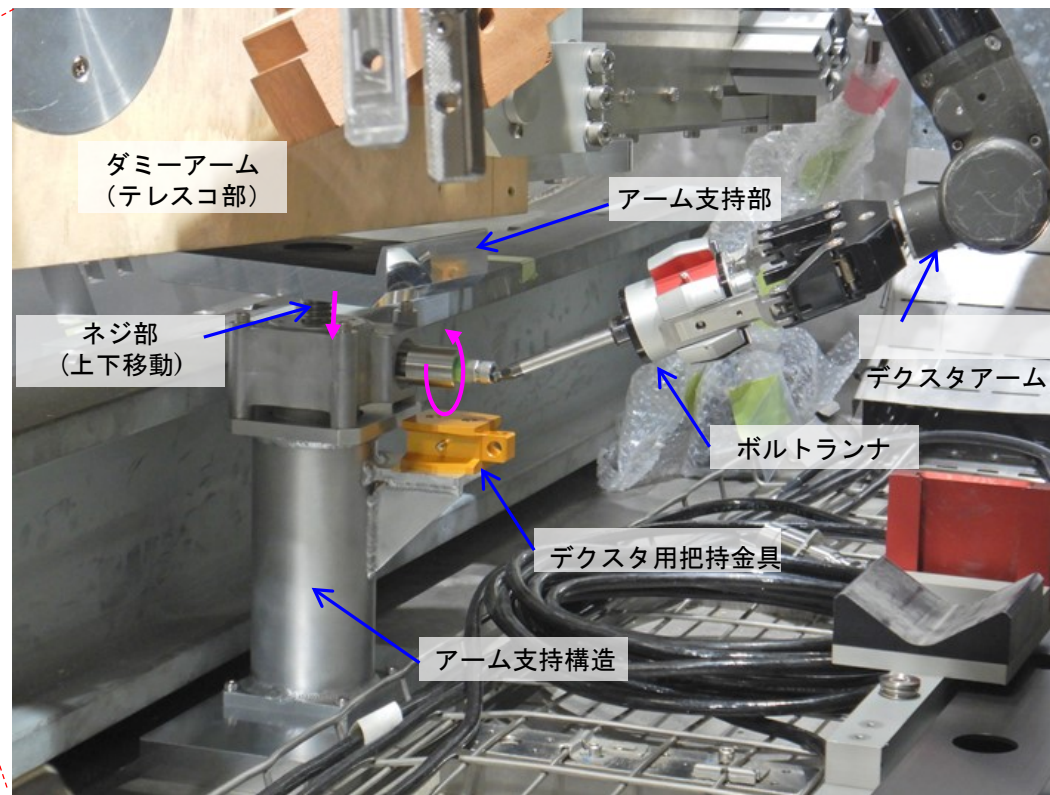
(1)現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)デクスタの作業性検証試験

(g)アーム支持構造の取外し



アーム支持構造(アーム固定治具)の概要

- ・現地のX-6ペネ前への輸送時にアームの揺動を抑えるための支持構造
- ・調査装置をX-6ペネ前に据付後、アーム支持部位の拘束をデクスタで外す必要がある
- ・実機アームを用いたデクスタ検証が必要であるが、先行してダミーアームを用いて成立性や改善点を事前に確認する位置付けで実施



- ・デクスタによるジャッキ操作(アーム支持部の上下移動)が問題なく実施可能であることを確認
- ・今後は、実機アームを用いた検証試験で確認予定

4.1 アクセス・調査装置

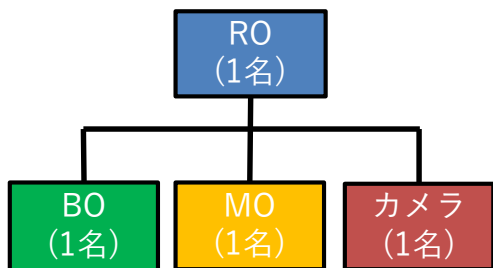
(2) 作業訓練

i. 作業訓練の方針(体制および計画)

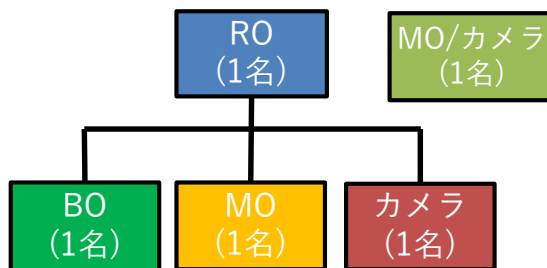
- アーム型アクセス装置は4人/チームで操作する
- 本事業では、実機での作業時間等を踏まえ、**オペレータチームを2チーム構築**することとし、**9名の操作員を選定**。オペレータに必要な知識および技能を段階的かつ体系的に習得するべく、プログラムを策定し、それに沿った実践訓練を展開(本年度はステップ2～3を実施し、ステップ2は来年度も継続実施予定)

【オペレータ体制および役割】

<Aチーム>

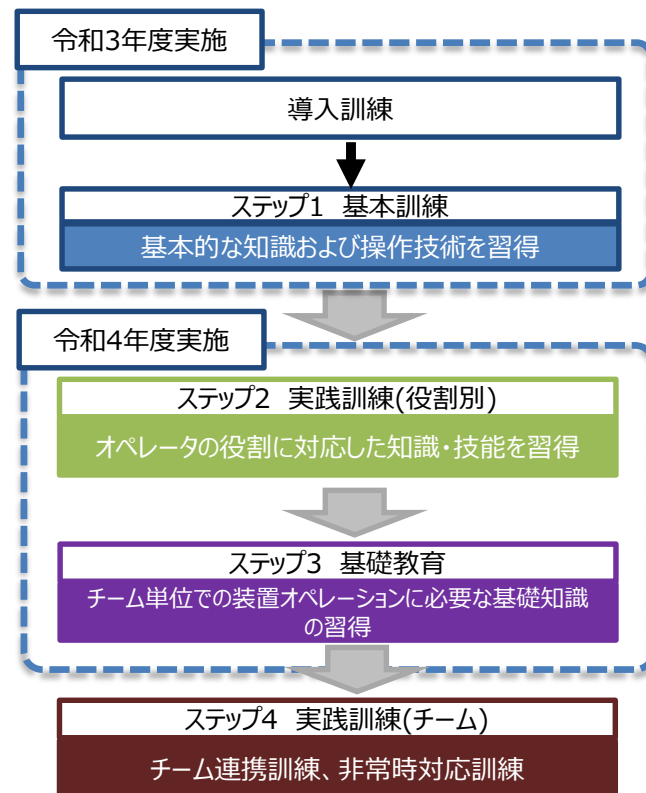


<Bチーム>



	役割	主に必要となる技能
RO	チームの指揮	・チームマネジメント能力 ・作業手順の知識・管理能力
カメラ	カメラ、照明、HMIの操作	・オペレータ視点に立ってのカメラ操作技術、HMI操作技術
BO	ブームの操作	・ブーム操作技術 ・VRシステム操作技術
MO	保守用マニピュレータの操作	・保守用マニピュレータ操作技術

【トレーニングフロー】



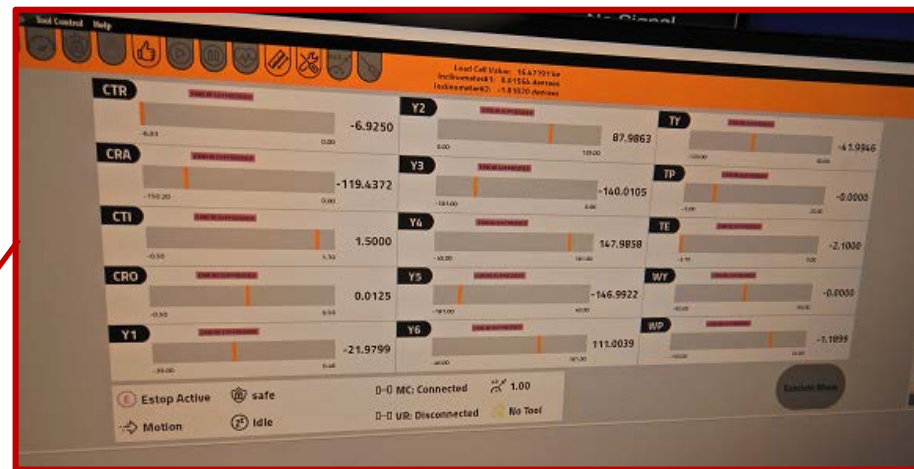
4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

ii. 実践訓練の結果

BOの訓練

- ブーム単体検証を通じた実践訓練のうち、ブームアクセス試験を通じて、ブームオペレーションの基本動作となる、ティーチ&リピートファイルの実行および現場状況に応じた同ファイルの編集作業を習熟した。
- ブーム単体検証を通じた実践訓練は令和5年度も継続実施予定。



ブームアクセス試験を通じた訓練状況（操作画面の例）

ブームアクセス試験を通じた訓練状況（オペレーション）

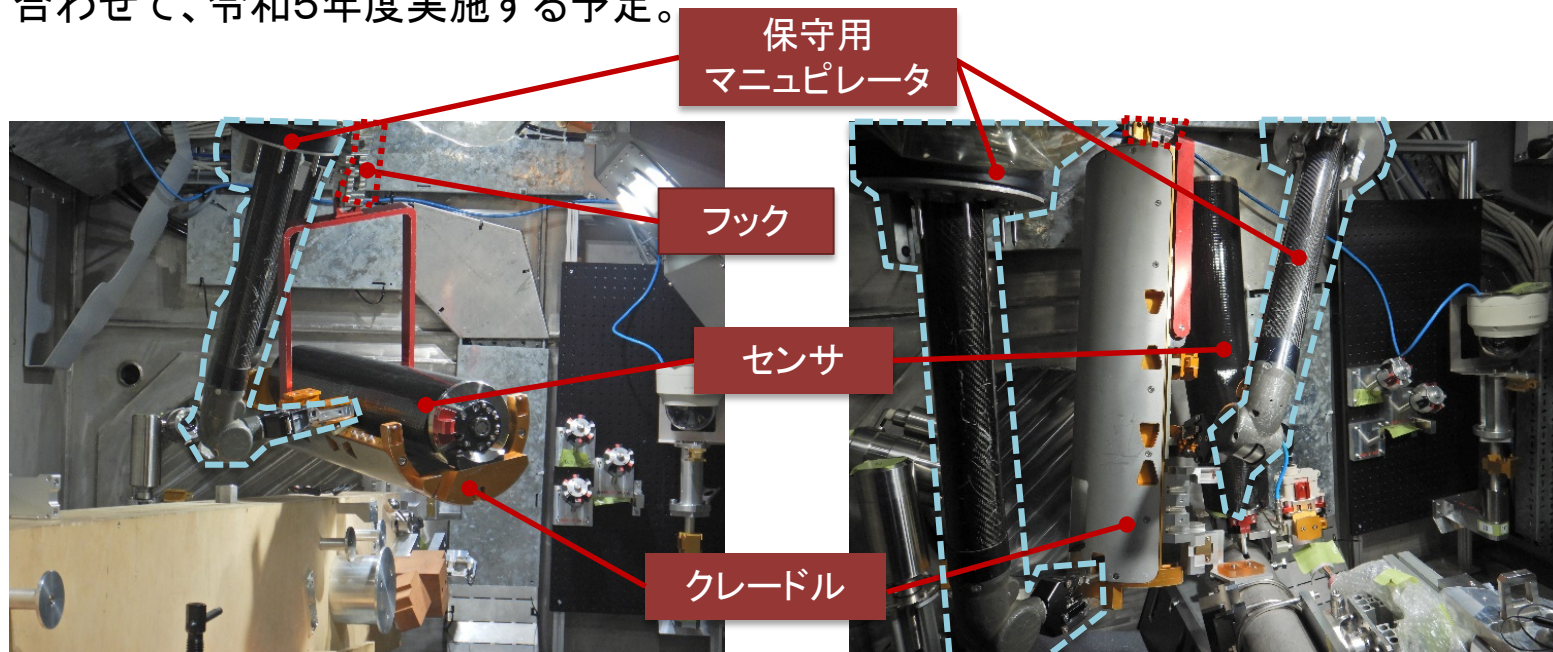
4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

iii. 実践訓練の結果

MO、カメラオペレータの訓練

- デクスタ単体検証を通じた実践訓練により、デクスタによる各種付属設備の取り扱い操作及びこれに伴う視野確保のためのカメラ操作を習熟した。
- 訓練を通して得られた知見・手順等については、オペレーション手順書として纏めており、現場実証に向けて来年度も継続して訓練を実施し、その結果を反映していく予定。
- ブームに付属するカメラの操作訓練は、ブームアクセス試験時のブームの取り扱い操作に合わせて、令和5年度実施する予定。



訓練状況 (専用吊り治具のセンサへの着脱、専用吊り治具を使用したセンサのハンドリング、センサのワンドへの着脱)

4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

iv. 事前技量確認

基礎教育前のオペレータの事前技量確認

- 基礎教育の実施項目を決定するにあたり、VNSTレーナによる、オペレータ技量の事前確認を実施。
- 事前技量確認結果を踏まえたVNSTレーナとの協議により、基礎教育の実施内容については、チーム単位の装置オペレーションに必要となる基礎知識に加え、本技量確認結果で明らかになった課題を踏まえた教育内容にすることとした。



事前技量確認時のオペレータの作業状況

4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

v. 基礎教育

- 実践訓練(その2)に向け、チーム単位での装置オペレーションに必要な基礎知識習得を目的としたVNSトレーナによる基礎教育(座学、VR演習、実技演習)を実施。

Part1 : 習得した技量の確認 (机上教育)

- ・コントロールルームへの入室制限及び員数制限等の具体的な対処・運用
- ・E-Stopシステムの使用
- ・リスクを最小限に抑える装置の制御と操作方法
- ・遠隔操作の効率的な監視と運用方法



Part2 : セキュリティ (机上教育・演習型の教育)

- ・大型・重量物の遠隔操作 (クレードル、エンドエフェクタツール、ワンド)
- ・事象が起きた際の対応
- ・警報およびエラーメッセージ



Part3 : 通常操作 (遠隔操作)

- ・現場実証を意識した、日常作業におけるチェックシートの運用、引継ぎ記録の運用を主とした教育を実施



基礎教育の実施状況

4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

vi. 現場実証に向けた取り組み

- 現場実証に向け、PCV内部詳細調査項目(全体)に対して各オペレータが習熟すべき作業要素を整理した。
- 今後の訓練を通じてオペレータ毎に必要な作業要素の習熟を管理していく。

PCV内部詳細調査作業内容		アーム基本作業要素													デクスタ基本作業要素														
作業項目	作業内容	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	アクセスルート構築	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	ベデスタル外調査 (VTセンサ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	ベデスタル上部調査 (レーザセンサ) (ガンマセンサ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	ベデスタル下部調査 (レーザセンサ) (ガンマセンサ) (中性子センサ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	試験的取出し (ベデスタル上部/下部) (2種類)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	アクセススタング	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

PCV内部調査作業項目 (全体) に対する必要作業要素

4.1 アクセス・調査装置

(3) アームとセンサの組合せ試験 (i)ガンマセンサ

試験要領及び試験結果

JAEA櫛葉遠隔技術開発センターにて、以下の要領に基づきアームとの組合せ試験を実施。ガンマセンサとアームの機械的な接続が問題なく実施できることを確認した上で、アームと接続した状態でガンマセンサが動作する事を確認した。さらに、ガンマセンサの放射線角度分布測定に関し、アームの電源ONの場合でもノイズの影響が小さいとの結果を得た。

試験分類	試験項目	要領	判定
アームとの組み合わせ試験	センサとアームの機械的接続確認	<ul style="list-style-type: none"> ・アーム側のツールチェンジャに接続できることを確認 ・アーム側のコネクタに接続できることを確認 	○
	ガンマセンサの動作確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ガンマセンサをアームに接続した状態で基本動作(モータ駆動、カメラ表示、バックグラウンド測定*等)を実施し、動作することを確認 <p>*放射線源を用いずに環境中の放射線測定を実施</p>	○
	ノイズ影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ガンマセンサをアーム側に接続した状態でアーム側の電源をON/OFFし、その時の差異を確認してアームのモータ等によるノイズの影響有無を確認 	○ (ノイズの影響小)

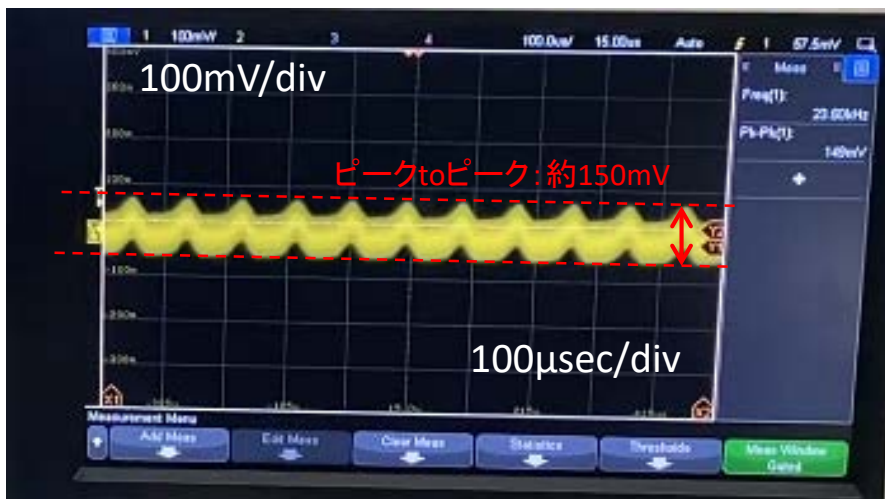
4.1 アクセス・調査装置

(3) アームとセンサの組合せ試験 (i)ガンマセンサ

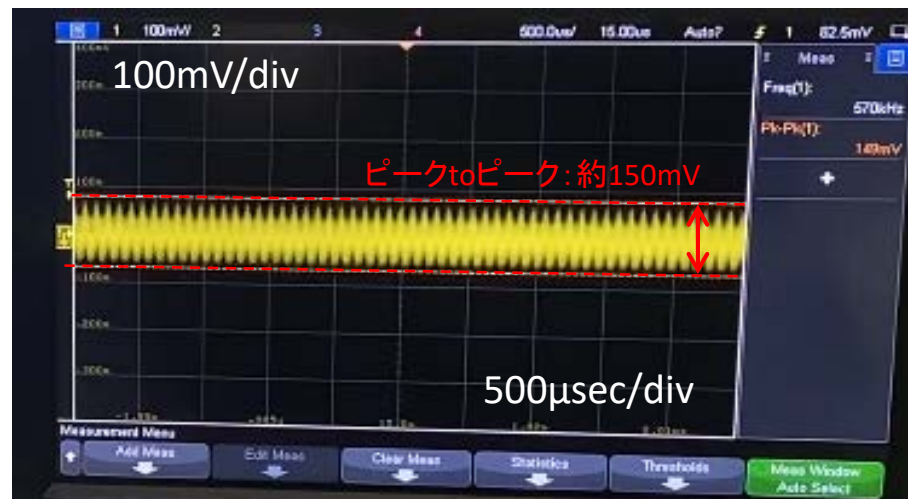
ノイズ影響確認

ガンマセンサをアームに接続し、アームのモータ電源ON/OFF時のバックグラウンド測定(放射線源を使用しない放射線角度分布測定)を実施し、検出器からの信号を確認した。その結果、測定結果に影響のあるノイズは見受けられず、アーム起因のノイズの影響は小さいことを確認した。

放射線測定信号(アームモータ電源OFF)



放射線測定信号(アームモータ電源ON)



モータ電流起因と推測される周期的な信号が見られるが、以下の理由から測定への影響は小さい。

- ・アームモータからのノイズを含めた電圧はピークtoピークで約150mVであり、アームモータ電源をOFFした状態での測定値(約150mV)と同レベル
- ・ガンマセンサでは1測定で1秒間に1000回測定した値の平均値を用いるため、周期的なノイズはキャンセルされる

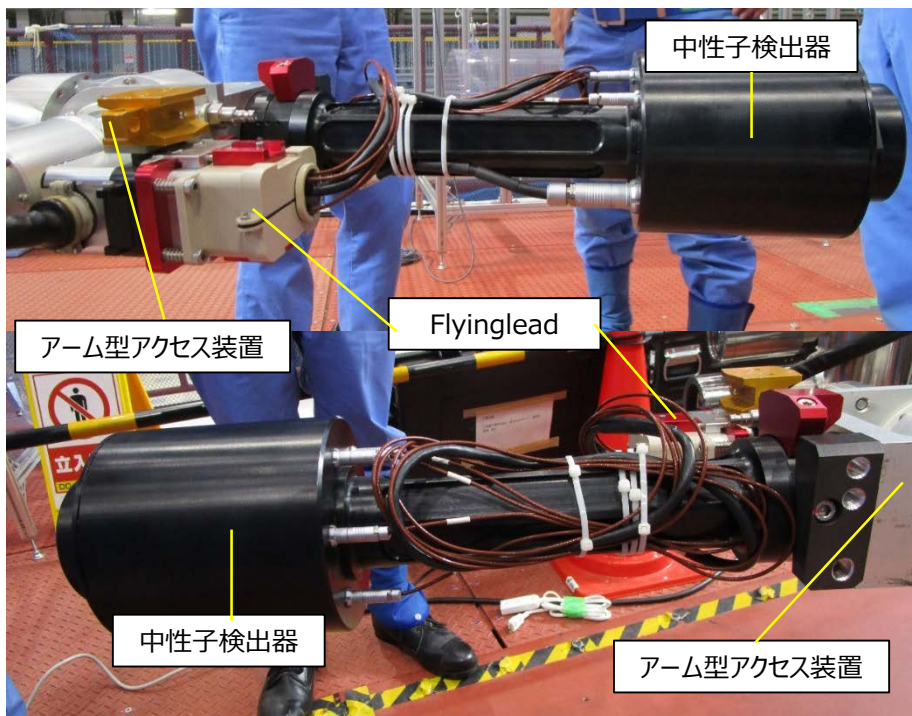
4.1 アクセス・調査装置

(3) アームとセンサの組合せ試験 (ii)中性子検出器

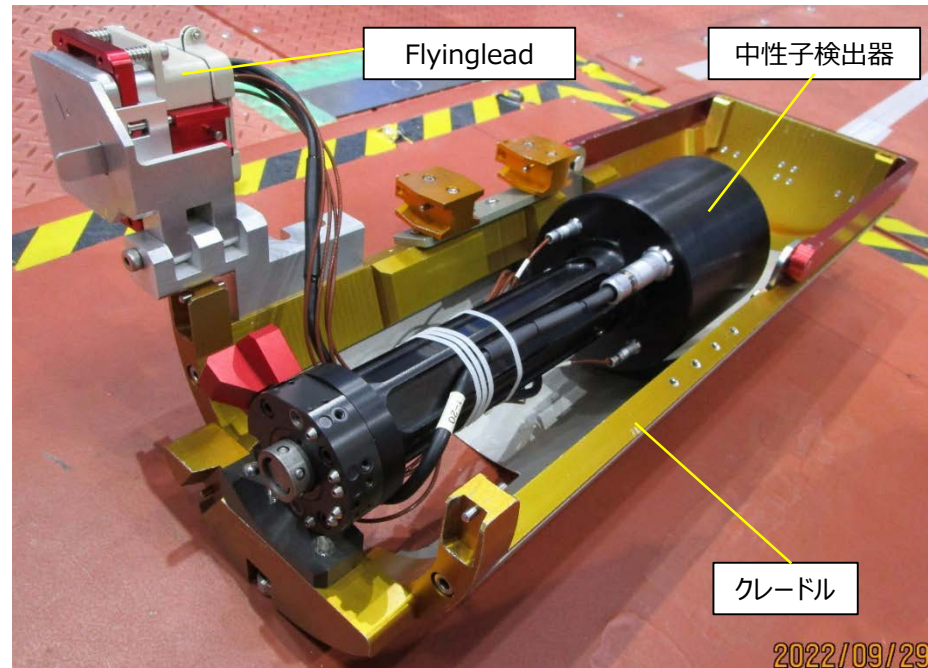
中性子センサとアーム型アクセス装置およびクレードルの機械的取合の確認

【試験概要】

- 中性子センサとアーム型アクセス装置をツールチェンジャーを介して問題なく取り付け可能であることを確認した。
- 中性子センサおよびFlyingleadをクレードルに問題なく取り付け可能であることを確認した。



中性子センサとアーム型アクセス装置の組合せの様子



中性子センサとクレードルの組合せの様子

2022/09/29

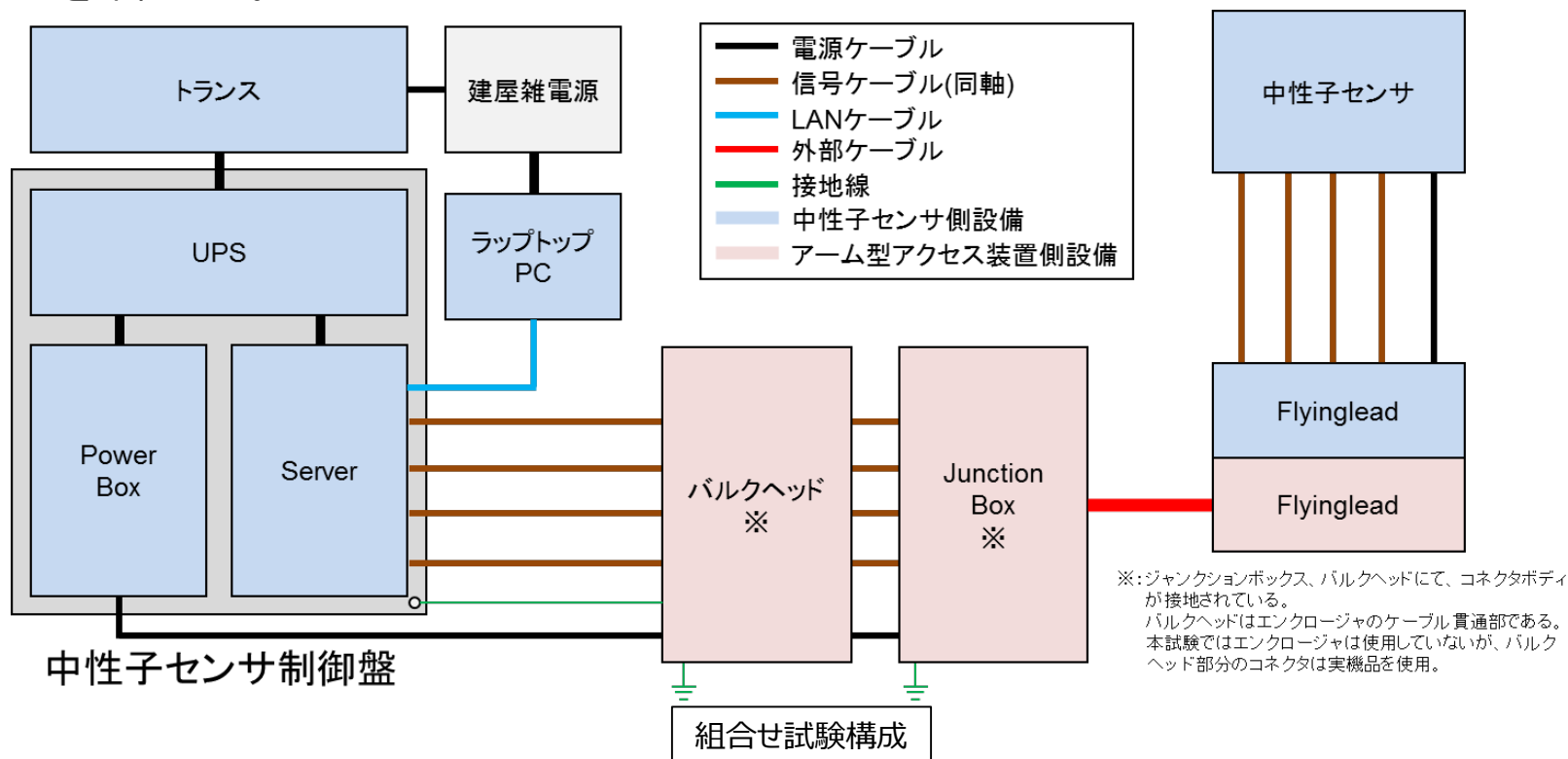
4.1 アクセス・調査装置

(3) アームとセンサの組合せ試験 (ii)中性子検出器

中性子センサおよびアーム型アクセス装置の電氣的取合の確認

【試験概要】

- 簡易なテスターを用いて各信号ケーブル(試験構成のうち信号ケーブル(同軸))について導通があることを確認した。
- 導通確認後, 中性子センサ制御盤およびラップトップPCを起動し試験測定(BG測定)を実施可能であることを確認した。



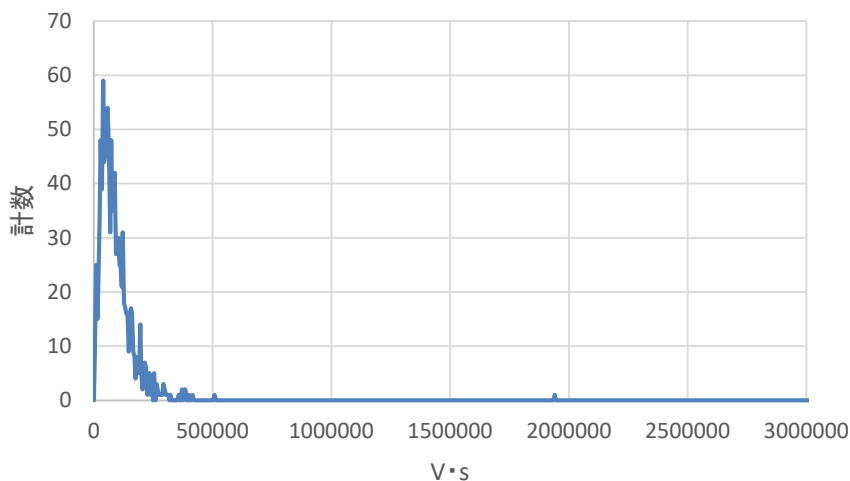
4.1 アクセス・調査装置

(3) アームとセンサの組合せ試験 (ii) 中性子検出器

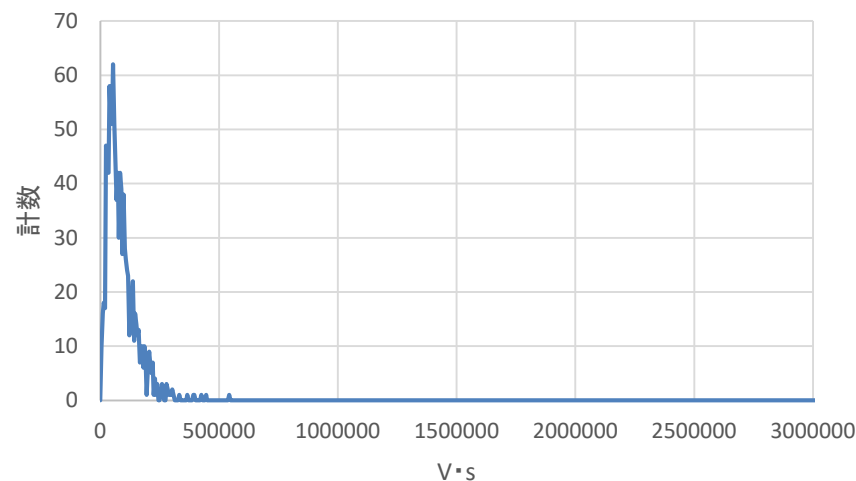
アーム型アクセス装置アクチュエータのサーボドライブのON/OFF状態でのBGの影響確認

【試験概要】

- サーボドライブのON/OFFによってBGの計測結果に有意な影響を与えないことを確認した。
(以下にBGの測定結果を示す)



サーボドライブOFF状態でのBG計測結果



サーボドライブON状態でのBG計測結果

注：上記グラフの補足説明は、後述の「補足資料」を参照

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

i. 訓練計画

アクセスルート構築のための関連機器についてはこれ迄、計画の進捗に合わせ、暫定的に各種検証を実施してきたが、令和4度は、各装置の仕様が確定し、工事規模が明確化した中で、現地での工事成立性評価並びに被ばく低減作業抽出を目的として、JAEA櫛葉遠隔技術開発センターにて現地寸法を模擬したフルスケールモックアップを用いての検証・ワンスルー試験を実施した。

(a) 技術事項の検証

令和元年度に実施したモックアップ検証時からの設計進捗及び工法変更点について、現地での工事成立性確認を実施。

- ・検証項目① 移動式リフト(長ストロークジャッキ)を用いたエンクロージャの載せ替え作業
- ・検証項目② 遠隔化改造した送り台式ジャッキを用いたエンクロージャの据付作業

(b) 高線量環境での工事成立性(最適化)の確認

フルモックアップでのワンスルー検証を通じて、高線量環境での工事成立性及び最適化(被ばく低減項目の抽出)の確認を実施。

- ・検証項目③ RB内及びRB建屋周辺の付帯ケーブル・ホース敷設作業
- ・検証項目④ 接続構造・延長管、追設遮へい板の作業改善

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

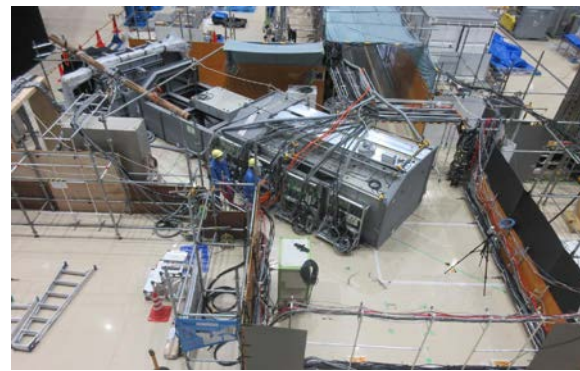
(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

今回のモックアップ検証にて、エンクロージャの搬送・据付作業における前回検証時からの工法変更点(技術事項2点)について、現地工事での成立性を確認。

また、接続構造・延長管、追設遮蔽板、エンクロージャの設置から撤去におけるワンスルー検証を通じて、被ばく低減につながる改善事項を抽出、引き続き改善に取り組んでいく。

エンクロージャ付帯設備のケーブル・ホース類については、設計進捗により、仕様や工事規模が明確化した中で、今回フルモックアップにてRB内及びRB建屋周辺のケーブル敷設検証を実施、抽出した改善事項(ケーブルの敷設アレンジメント、ケーブルラックの配置・形状、フックの設置箇所など)については敷設図面へのフィードバックを完了。一方、ケーブルの敷設順序や敷設するケーブルの束ね方(グルーピング)など施工面の詳細検討については引き続き実施していく必要があり、現地工事前トレーニング迄に検討を進めていく。



訓練作業風景

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目① 移動式リフト(長ストロークジャッキ)を用いたエンクロージャの載せ替え作業

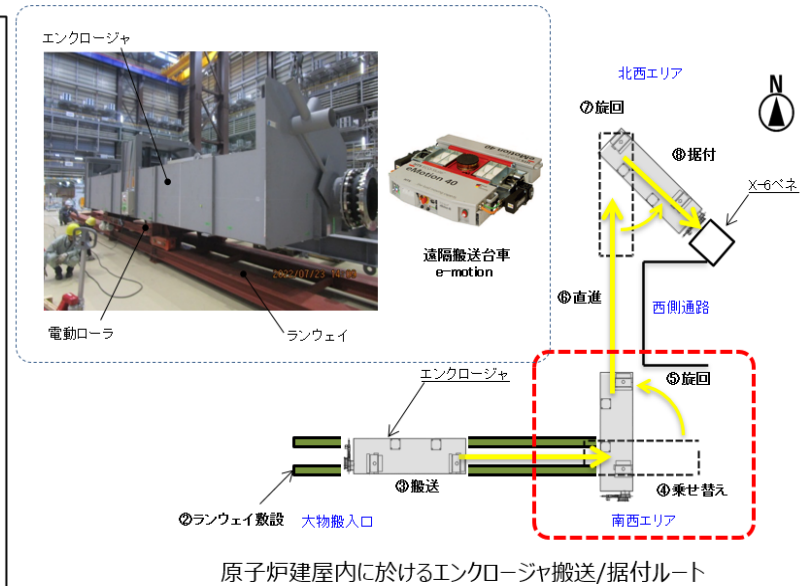
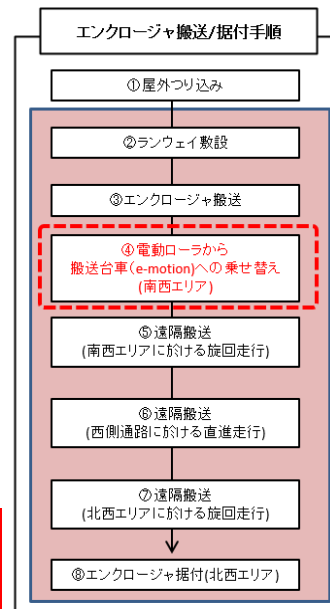
RB内へ搬入したエンクロージャの南西エリアでの遠隔搬送台車(e-motion)への載せ替え作業において、被ばく低減を目的として新規に採用した移動式リフト(長ストロークジャッキ)を用いての作業及び、大物搬入口から南西エリアへの電動ローラを用いた搬送作業(一部未検証事項・改造部)の成立性を確認した。

模擬エンクロージャ



移動式リフト(長ストロークジャッキ)

電動ローラにより大物搬入口から南西エリアへ搬入されてきたエンクロージャを6台の移動式リフト(長ストロークジャッキ)によりジャッキダウンし、遠隔搬送台車(e-motion)へ載せ替える



4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目② 遠隔化改造した送り台式ジャッキを用いたエンクロージャの据付作業

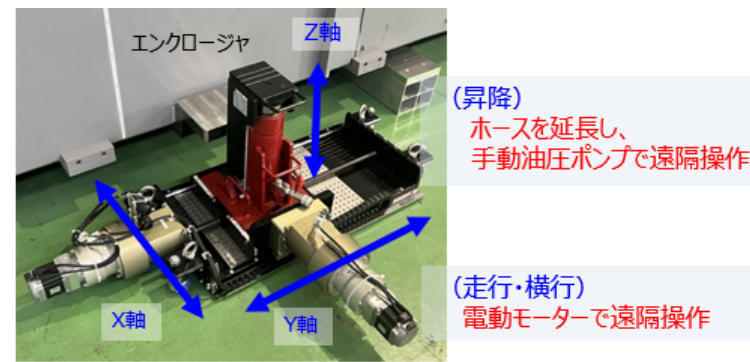
北西エリアでのエンクロージャ据付作業において、被ばく低減を目的として遠隔化改造した送り台式ジャッキを用いた据付及び附随作業の現地での成立性を確認した。

エンクロージャの周りに
作業員を配置

エンクロージャの周りに作業員
を配置せず、遠隔で作業



対策前 送り台式ジャッキ



改造後(今回) 送り台式ジャッキ
(遠隔化改造後)

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目③ RB内及びRB建屋周辺の付帯ケーブル敷設作業

RB内及びRB建屋周辺エリアのケーブル敷設作業(大量のケーブルをケーブルダクトや狭隘部に、動力・制御等ケーブル種別・余長も考慮しながら引き回す必要がある作業)をRB内及びRB建屋周辺を模擬し、ケーブル敷設図面に基づき敷設を行い、現地での成立性を確認した。



RB建屋周辺



北西エリア(エンクロージャ周り)



大物搬入口



南西エリア



西側通路

ケーブル・ホースの敷設検証作業

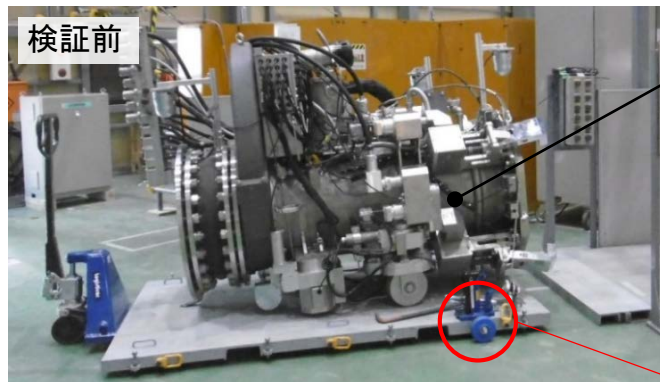
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目④ 接続構造・延長管、追設遮へい板の作業改善

その他、被ばく低減を目的とした作業改善検証を実施し、その有効性を確認した。



(改善内容)
 接続構造搬送用スキッドの固定輪を自在輪へ変更
 設置時の繰り返し作業改善



(改善内容)
 グリーンハウスを蛇腹式に変更
 設置・展開作業時間短縮

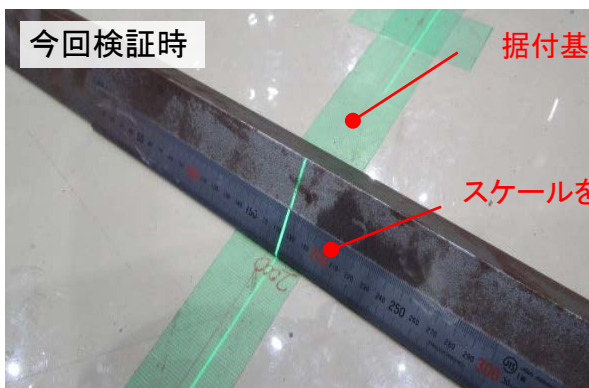
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目④ 接続構造・延長管、追設遮へい板の作業改善

その他、被ばく低減を目的とした作業改善検証を実施し、その有効性を確認した。



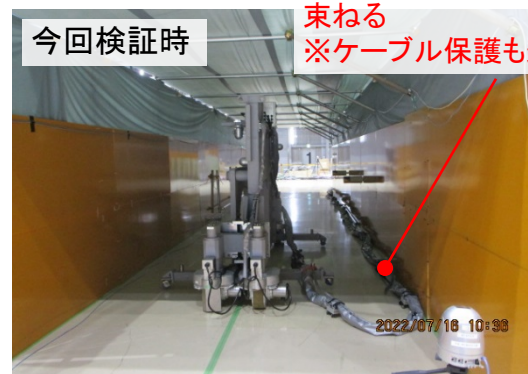
(改善内容)

後方装置据付基準用レーザーの視認性向上

- ・装置後方レーザーを赤⇒緑へ変更
- ・位置確認用スケールとレーザーが直角に交わるようアングル材取り付け



複数本のケーブルをジッパーチューブで束ねる
※ケーブル保護も兼ねる



(改善内容)

追設遮へい板ケーブルカバーの追加

- ・複数本のケーブルをジッパーチューブで束ねる
- ・事によりケーブル敷設・整線作業時間短縮
- ※遠隔搬送性に問題がないことを確認

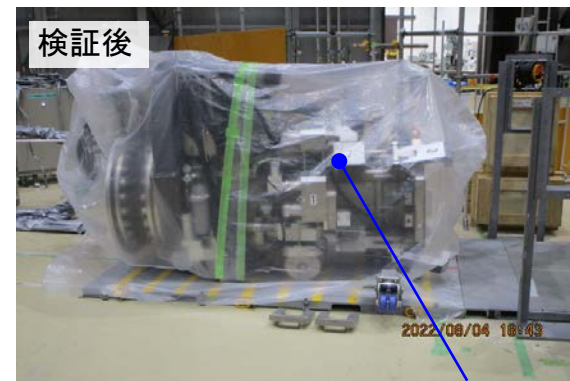
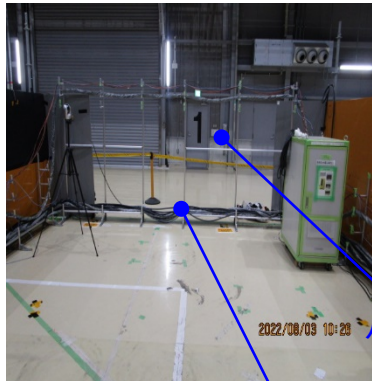
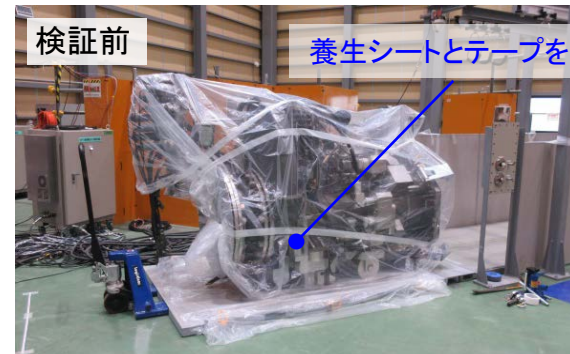
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(現地据付作業性検証)

検証項目④ 接続構造・延長管、追設遮へい板の作業改善

その他、被ばく低減を目的とした作業改善検証を実施し、その有効性を確認した。



(改善内容)

ケーブル長最適化、ケーブル敷設の具体化
により廃棄物削減・作業時間短縮
※ノイズ離隔距離を設けてケーブル敷設

ケーブル長を最適化

(改善内容)

装置形状に合わせたカバータイプの養生シート
採用により作業時間改善
※延長管にも同様のカバータイプを採用

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(1/8)

【令和4年度の進捗状況】

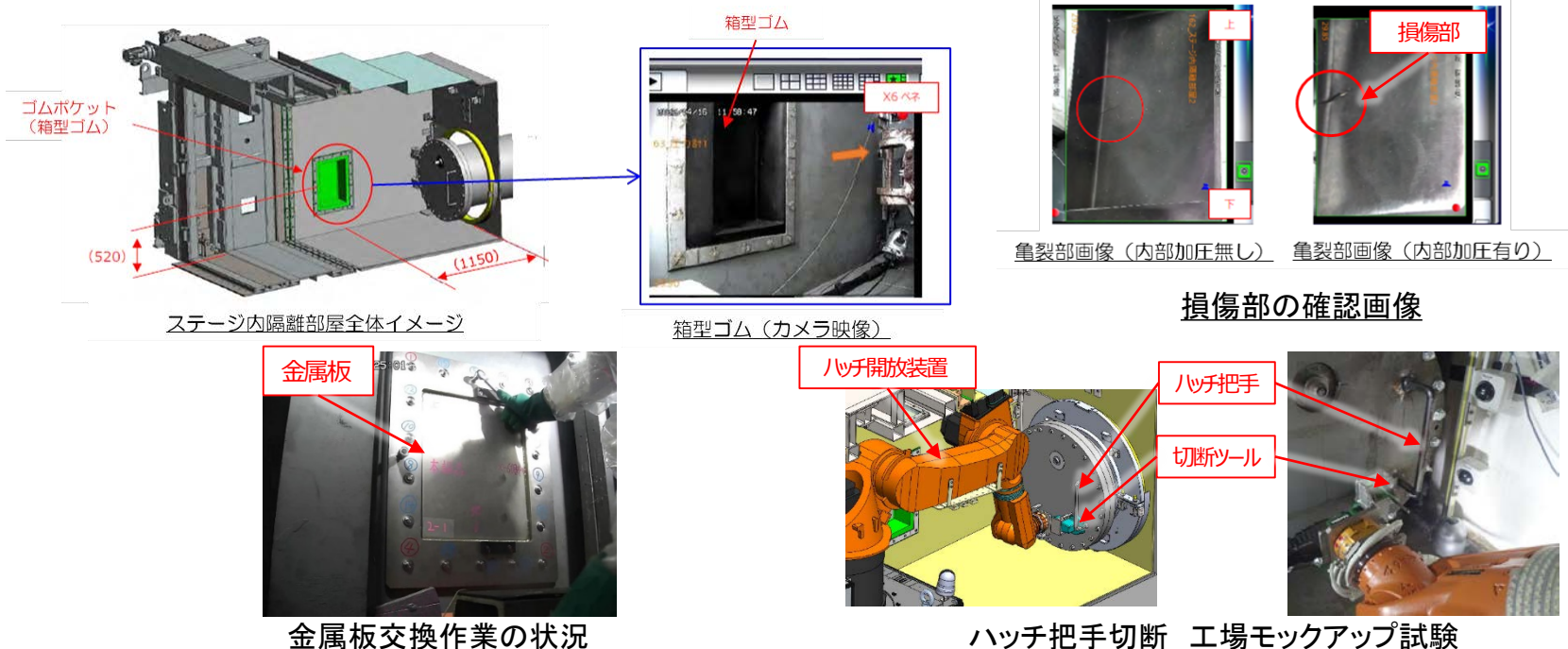
- 現場実証としてステージ内隔離部屋／ハッチ隔離部屋の設置までを実施した。
- ステージ内隔離部屋からの漏えい、ハッチ隔離部屋の地震による部品損傷、現場環境によるリミットスイッチ故障、気密扉漏えい、押付け機構損傷等のトラブル対応を行った。
- リスク評価の見直し再評価を実施し、必要な対策を講じることとした。



ハッチ隔離部屋設置後の写真

【ステージ内隔離部屋箱型ゴム損傷対応】

- 【事象】 隔離部屋の漏えい試験で圧力が上昇せず、ステージ内隔離部屋の箱型ゴムが損傷していたことが判明
- 【対策】 箱型ゴムを金属板に交換すると共に、これと干渉するハッチ把手を切断する設計変更を行い、金属板の交換を完了(把手切断は今後実施予定)



4.2 アクセスルート構築のための関連機器

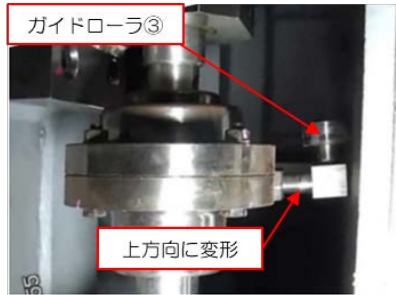
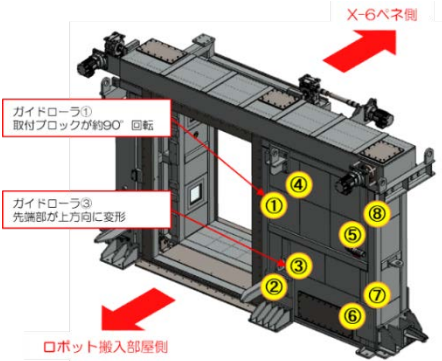
(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(2/8)

【ハッチ隔離部屋のトラブル対応】

■ ハッチ隔離部屋ガイドローラの損傷

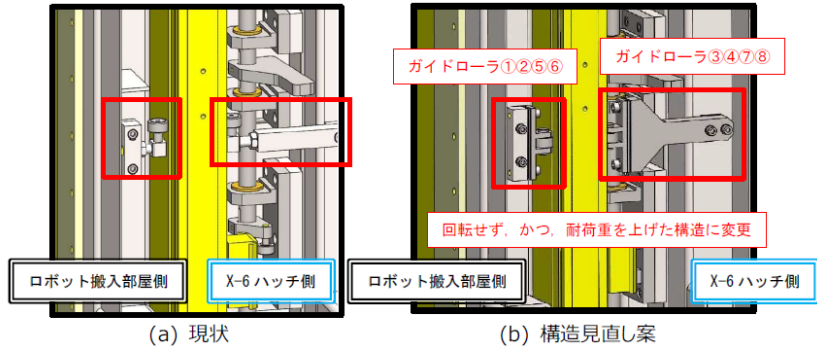
【原因】 令和4年3月地震の揺れによる気密扉との干渉

【対策】 強度を向上させた部品に交換を実施



ガイドローラ取付位置(8か所)

ガイドローラ③の損傷状況

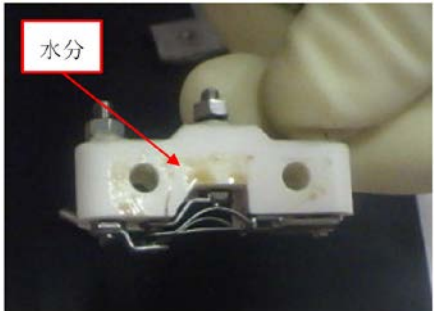


ガイドローラの交換前後の図

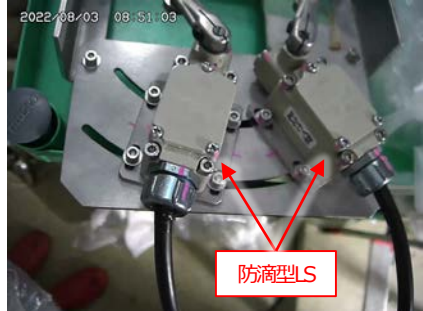
■ 気密扉開閉リミットスイッチ(LS)の故障

【原因】 結露水のLS内への侵入による導通不良

【対策】 防滴型LSIに交換を実施



故障したリミットスイッチ(左:外観、右:分解後の中身)



防滴型LSと現地交換作業状況

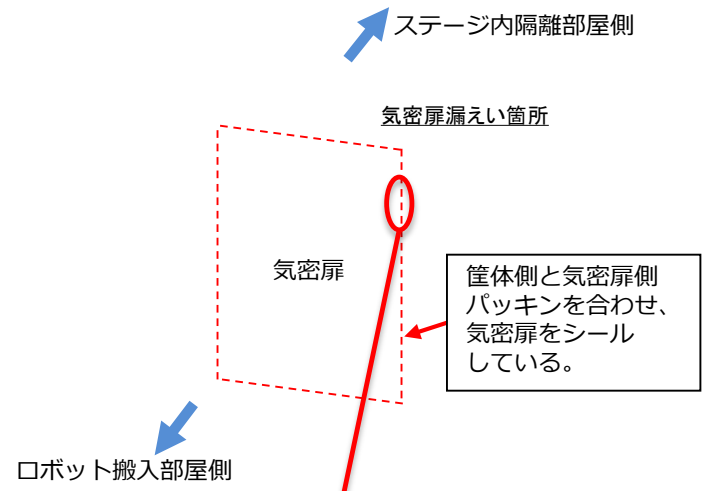
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(3/8)

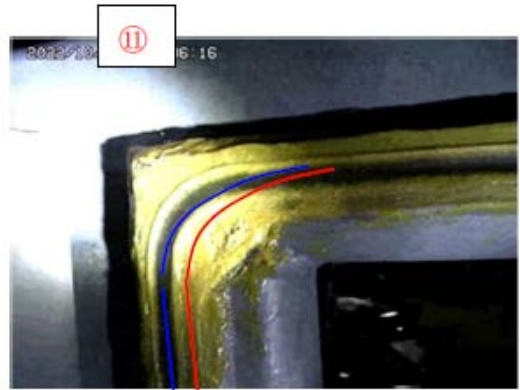
【ハッチ隔離部屋のトラブル対応】

■ ハッチ隔離部屋気密扉からの漏えい(1/2)

【原因】 筐体側パッキンに塗られたシール補助剤と気密扉側パッキンが気密扉の位置ズレにより干渉して隙間が生じたため



ハッチ隔離部屋 漏えい箇所



赤線: 筐体側パッキンがシール補助材の押付跡から外れた状態

青線: 筐体側パッキンがシール補助材の押付跡と合っている状態 (気密扉の位置ずれ無し)



筐体側パッキンの位置ずれイメージ

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(4/8)

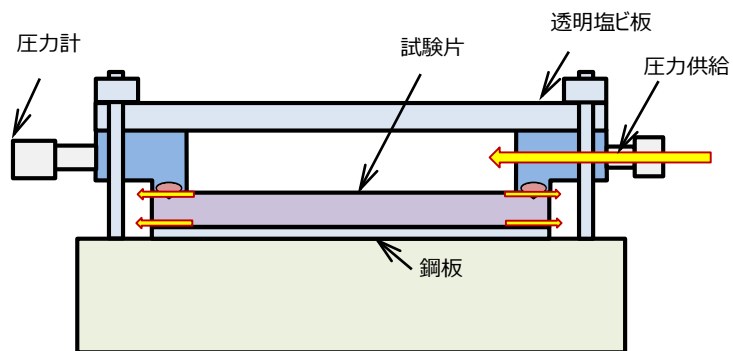
【ハッチ隔離部屋のトラブル対応】

■ ハッチ隔離部屋気密扉からの漏えい(2/2)

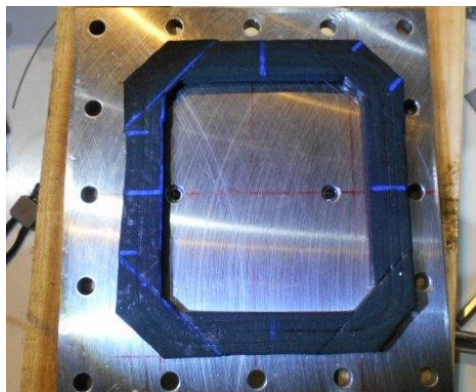
【対策】 筐体側パッキンをシール補助材が不要な材質(柔らかいタイプ)のものを試験で選定し、交換を実施

試験内容

試験治具にセットしたパッキンを所定の厚さに圧縮し、圧力供給口から空気を供給して7.2kPa(g)まで加圧。漏えいがないことを確認する。



要素試験イメージ



試験片パッキン



改良型パッキンの取付状況

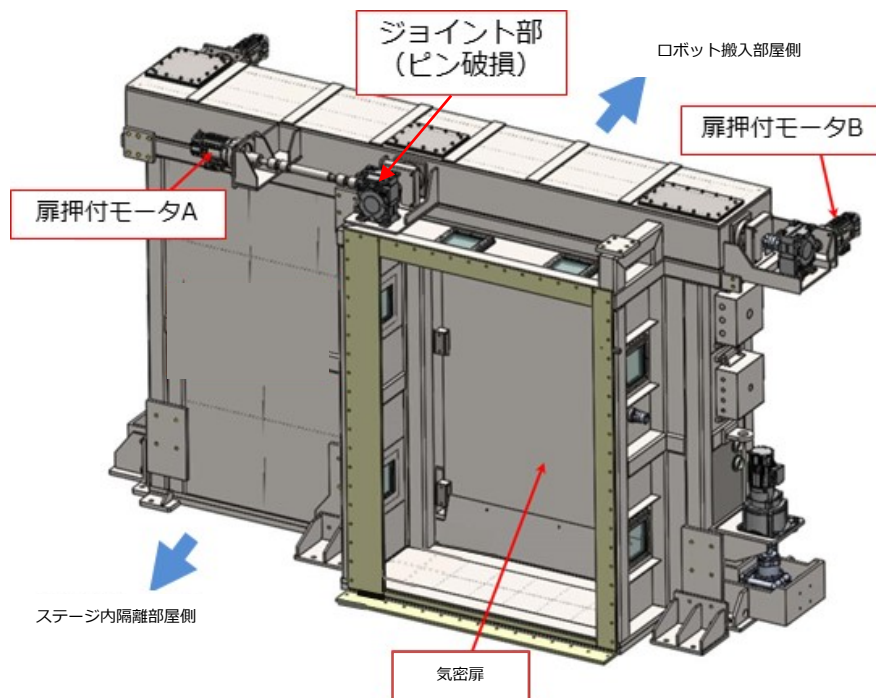
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(5/8)

【ハッチ隔離部屋のトラブル対応】

■ 気密扉押付機構の損傷(1/2)

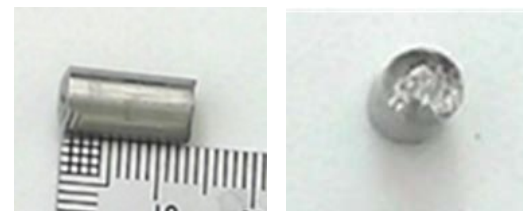
【原因】 パッキン交換後の押付けカム調整作業手順が不十分で、想定を超える力が押付け機構に加わったため



ハッチ隔離部屋 裏面



ジョイント部



ピン破損状況

※取付前寸法約50mm

<ジョイント部のピンの概要>

- ✓ 軸とジョイント部の連結するために使用。
- ✓ 当該ピンの許容荷重が最も小さく、機器全体に高負荷の荷重が掛かった場合、犠牲的に破損することで、その他機器を保護。

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

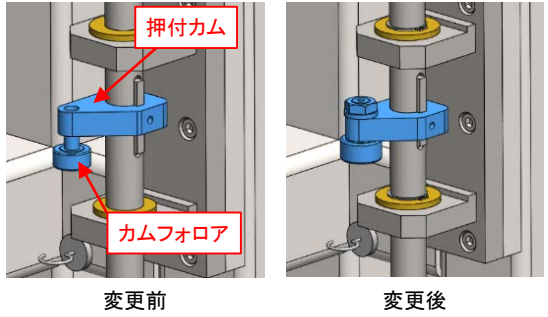
(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(6/8)

【ハッチ隔離部屋のトラブル対応】

■ 気密扉押付機構の損傷(2/2)

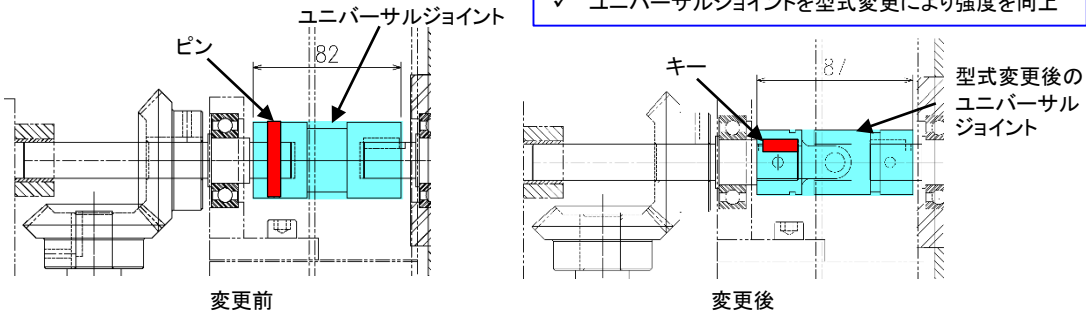
【対策】 強度向上した部品への交換、バウンダリ外への計画破壊点の移設などの対策を実施

形状変更による強度向上



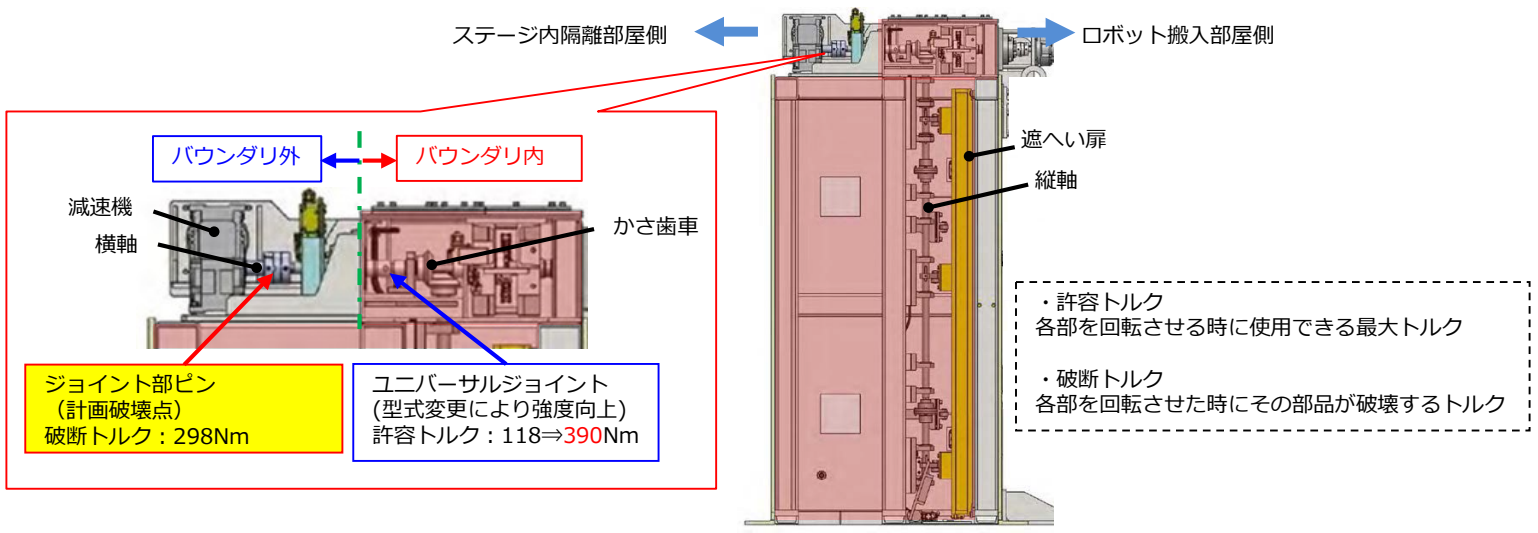
押付カム・カムフォロアの形状比較

型式変更と形状変更による強度向上



- ✓ ピン接続からキー接続に形状変更し強度を向上
- ✓ ユニバーサルジョイントを型式変更により強度を向上

ユニバーサルジョイントの形状比較



押付機構 構造図

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備(8/8)

【リスク再評価結果(一例)】

■ ハッチ把手切断手順の変更

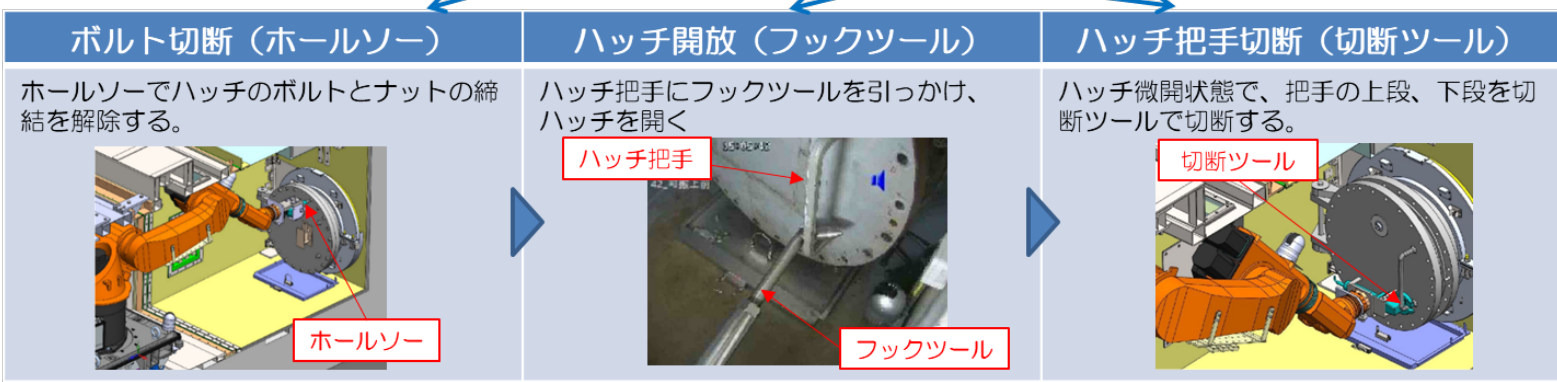
【リスク】 マグネットツールはハッチの表面状態によっては吸着力が弱くなる可能性があり、ハッチを開放できない可能性がある。

【対策】 ハッチ把手の切断をハッチ開放後に行うことで、把手を使ってより確実にハッチを開放する手順に変更する。

手順変更前



手順変更後



把手切断手順変更前後の概略作業ステップ

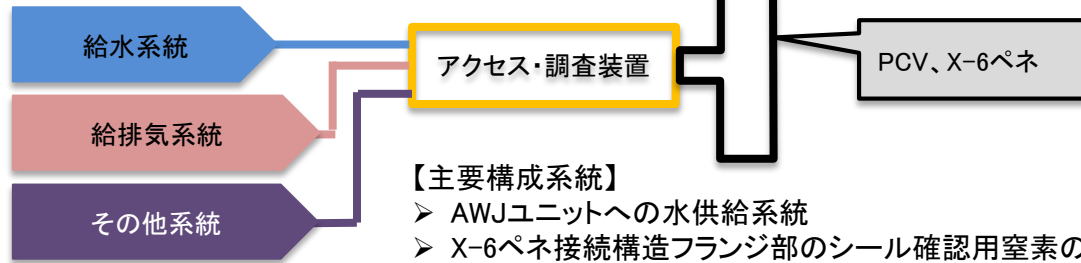
4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

i. 系統計画

現地での配置/敷設計画を鑑みて
系統計画の主に表4.3(1)-1に示す
見直しを実施した。

・系統イメージ



【主要構成系統】

- AWJユニットへの水供給系統
- X-6ペネ接続構造フランジ部のシール確認用窒素の供給系統
- エンクロージャ内の保守用マニピュレータへの窒素パージ系統
- 空気作動弁への窒素供給系統
- 窒素(空気)の排気系統
- エンクロージャ除湿循環系統

・実機の系統計画

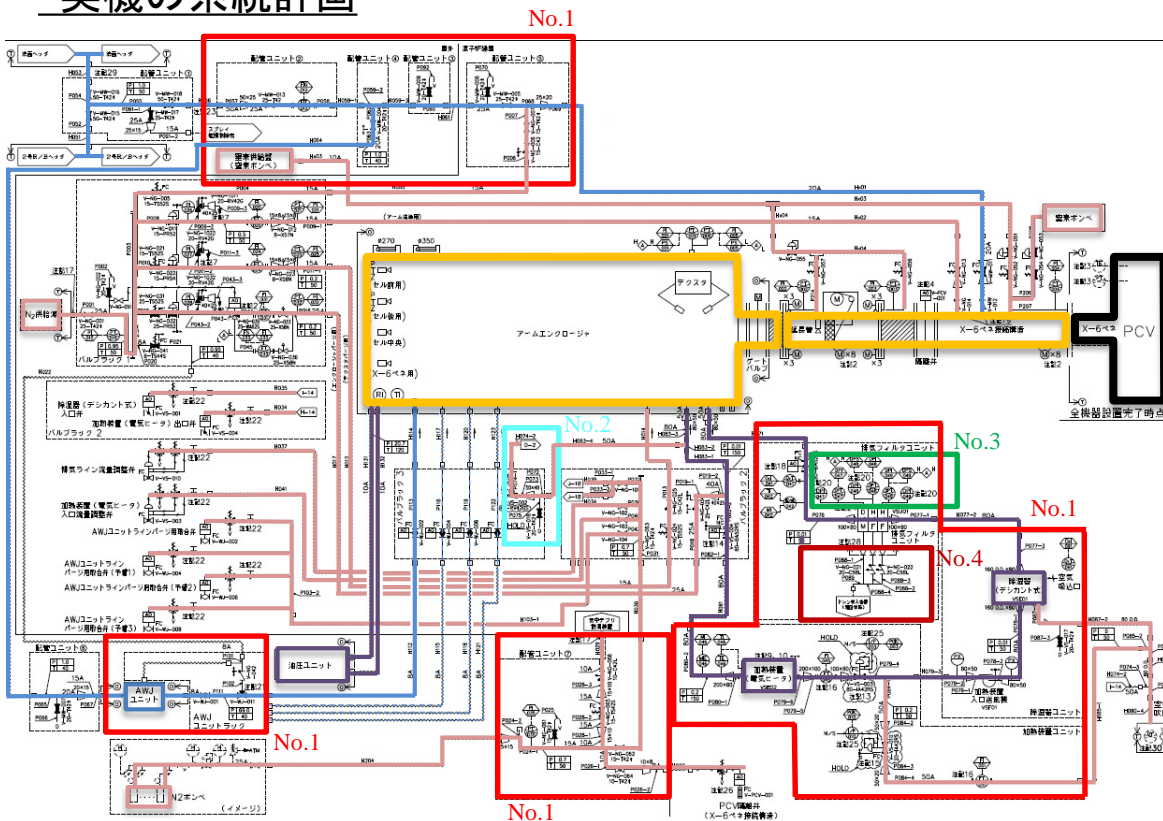


表 4.3(1)-1 系統図の主な見直し内容

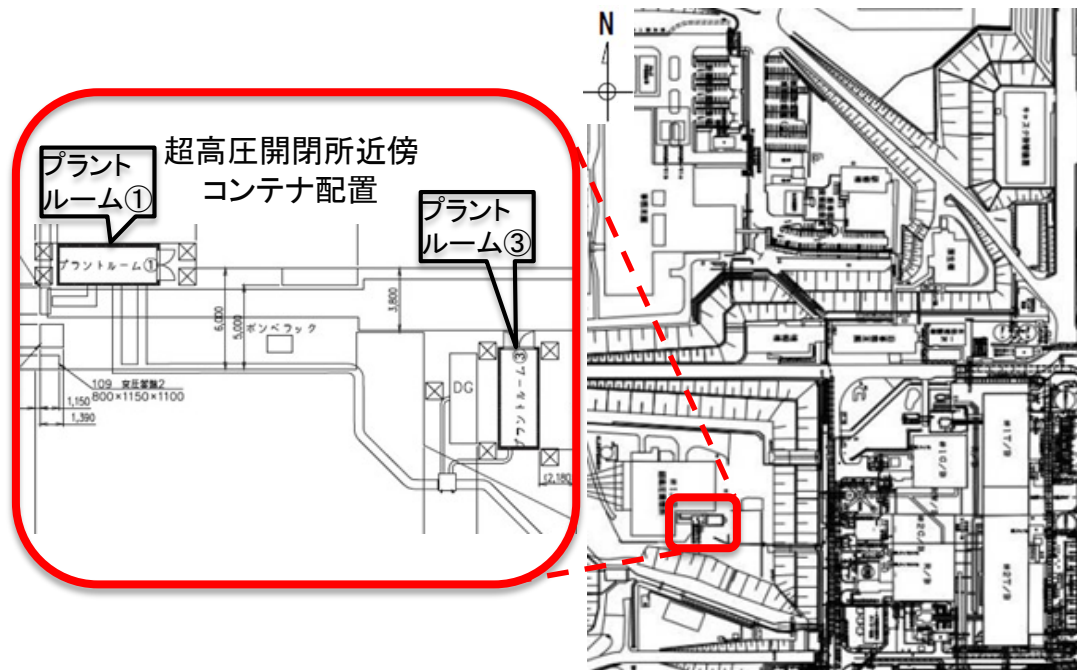
No	令和3年度からの 変更内容	変更理由
1	各機器及び周辺構成要素をユニット化	現場での作業効率化
2	エンクロージャ安全弁の位置を変更	現場配置計画を踏まえ安全弁が適切に作動する場所に変更
3	排気フィルタに差圧伝送機を追加	HEPAフィルタの遠隔監視のため
4	排気フィルタにドレン受け機能を追加	凝縮水の漏洩管理のため

4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

ii. 現地配置計画

- ・現地工事成立性検証結果を踏まえ、一部機器の配置やケーブル/ホースの敷設ルートの見直しを実施した。



4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

iii. 製作状況

・コントロールルーム

コントロールルームは、消防検査など含む現地据付工事を実施した。

・プラントルーム

プラントルームについては、令和4年度に製作を完了した。



[プラントルーム①]

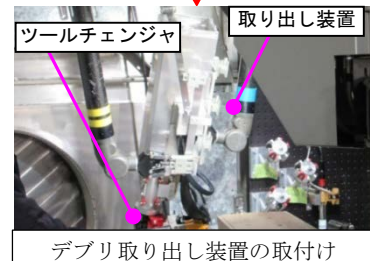
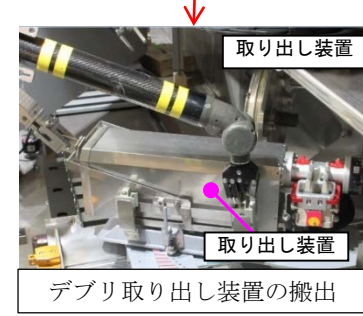
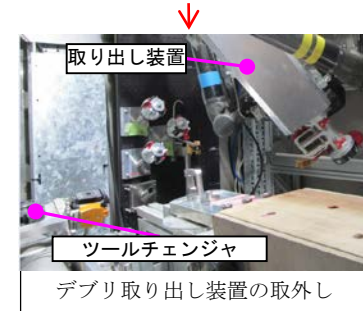
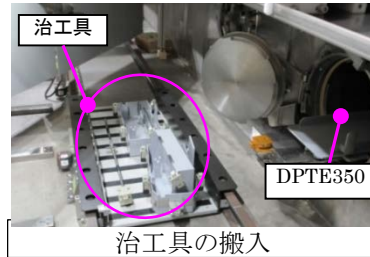
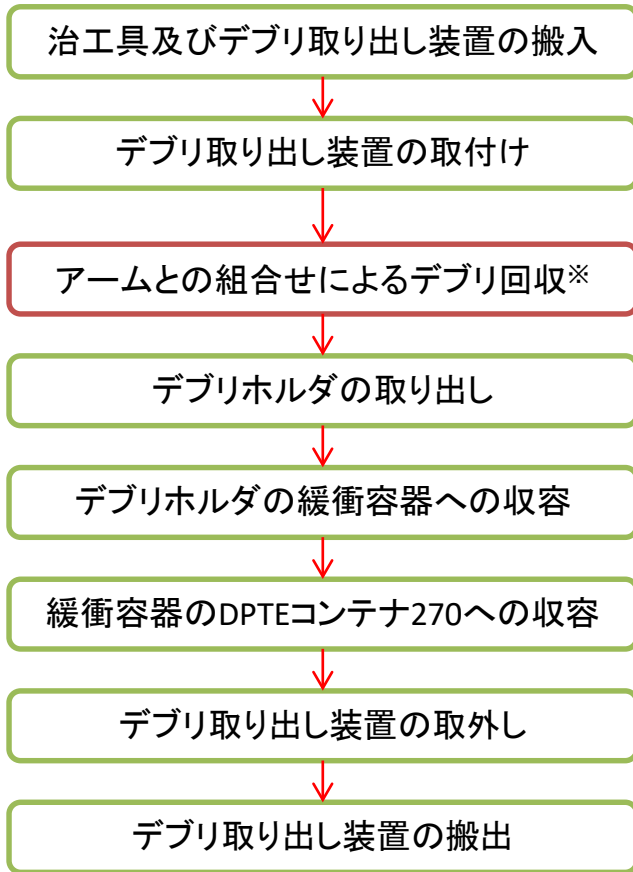


[プラントルーム⑥]

4.4 燃料デブリ回収装置

(i) 試験的デブリ取り出し作業 デクスター作業性検証

- ・ 試験的デブリ取り出し作業手順を検討し、デクスタでの作業性を検証した。
- ・ 検証試験の結果、いずれの作業もデクスタで実施可能であることを確認した。今後は、更なる作業効率化のために、治工具及び装置の改良を実施予定である。



※ アームとの組合せ試験結果については次頁参照のこと

4.4 燃料デブリ回収装置

(ii) 試験的デブリ取り出し作業 アームとの組合せ試験 試験結果

- ・アームにデブリ取り出し装置を搭載し、デブリ取り出し装置が燃料デブリ採取予定位置であるプラットフォーム上面及びペDESTAL底面にアクセス可能であることを検証した。
- ・ペDESTAL底面において、デブリ取り出し装置が燃料デブリを模擬した細粒状鉛(模擬デブリ)を必要量(0.5g程度)採取可能であるか検証した。
- ・下図に示すように、デブリ取り出し装置のアクセス性は問題なく、0.5g程度の模擬デブリが回収可能であることを確認した。今後は、アームをエンクロージャに組み込んだ状態で一連の作業検証及びトレーニング等を実施予定である。

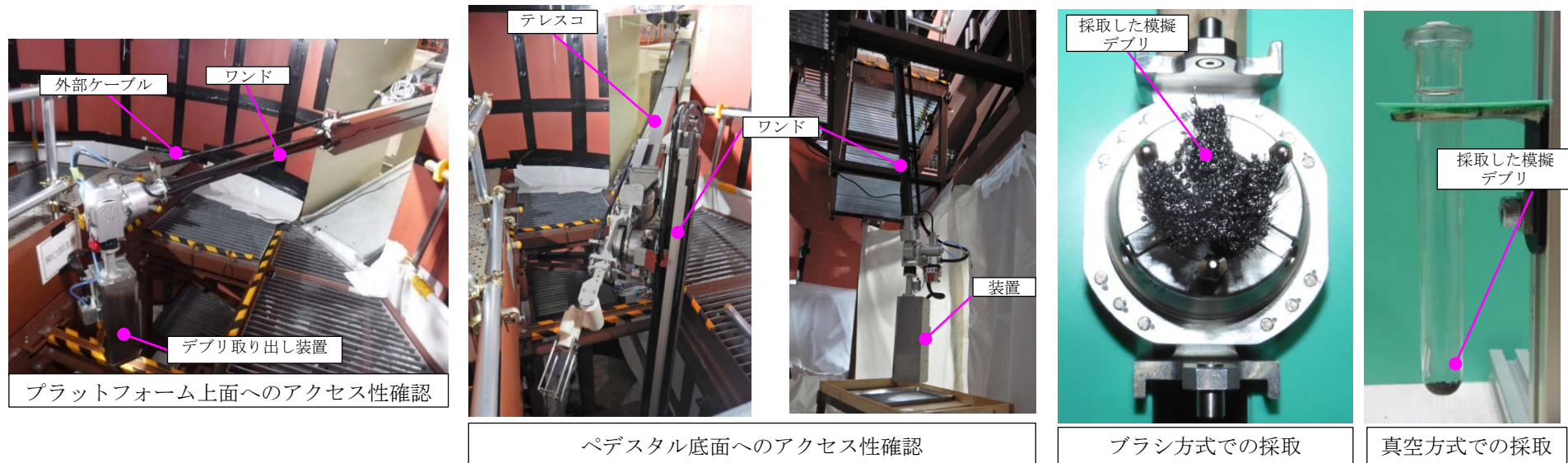


表 ブラシ方式装置及び真空方式装置 ペDESTAL底面にて採取した模擬デブリ量

方式	供給圧力	鉛径	回収質量	回収個数
	[Mpa]	[mm]	[g]	[個]
ブラシ方式	0.50	1.0	0.432	110
	0.15	1.0	0.476	115

方式	供給圧力	鉛径	回収質量	回収個数
	[Mpa]	[mm]	[g]	[個]
真空方式	0.5	1.0	0.392	90
	0.5	0.35	1.018	—

4.5 現場実証

(1) 現地据付・作業計画

本項では、令和4年度にて実施したPCV内部調査にて実施した現場作業に係る作業計画及び実施内容について整理した。

令和4年度内ではPCV内部詳細調査の事前準備として、アクセスルート構築に必要な盤・ケーブル・ディーゼル発電機・新現場本部を設置した。

i. 超高圧開閉所・プラントルーム1・ディーゼル発電機・電路設置

変圧器、分電盤及び接続盤の入ったプラントルーム1を設置し、令和3年度設置済みのケーブルまでの電路を追設し結線した。420Vディーゼル発電機を設置し、プラントルーム1までのケーブルを結線した。電源元の凍土P/C480V系統、420Vディーゼル発電機からの受電確認を実施し、通電可能な状態である。

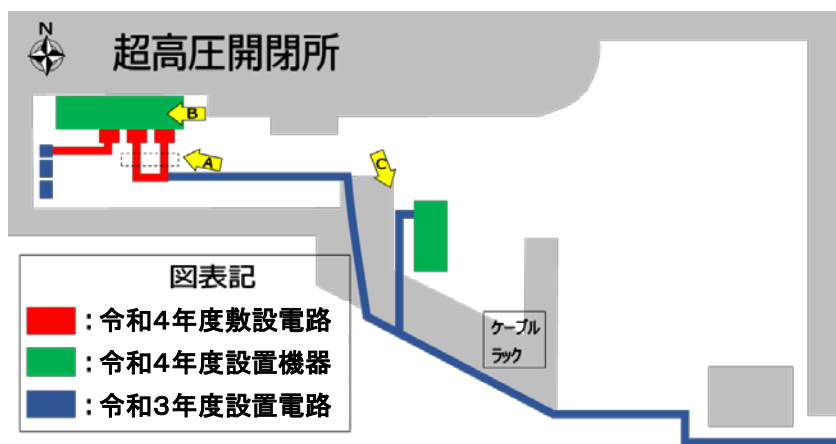


図4.5-1：超高圧開閉所配置

4.5 現場実証

(1) 現地据付・作業計画

i. 超高圧開閉所・プラントルーム1・ディーゼル発電機・電路設置



図4.5-2 : A視 施工前



図4.5-3 : A視 施工後



図4.5-4 : B視 プラントルーム1内部



図4.5-5 : C視 420Vディーゼル発電機

4.5 現場実証

(1) 現地据付・作業計画

ii. コントロールルーム内分電盤・ディーゼル発電機・電路設置

コントロールルーム近傍に200Vディーゼル発電機、コントロールルーム内に変圧器・分電盤・接続盤を設置した。屋外のディーゼル発電機・屋外分電盤からコントロールルームへの電路を敷設しケーブルを結線し、受電確認を実施した。コントロールルーム内は通電可能な状態である。



図4.5-6 200Vディーゼル発電機



図4.5-7 コントロールルーム電路

4.5 現場実証

(1) 現地据付・作業計画

iii. 2号機原子炉建屋周辺・中継端子盤・ヤード電路・新現場本部設置

2号機原子炉建屋周辺に中継端子盤を設置し、令和3年度敷設したケーブルの余長を切断し中継端子盤に結線した。またヤードから原子炉建屋近傍までの電路を敷設した。

大物搬入口近くの現場本部が建築法の観点から使用不可になるため代替の新現場本部を設置した。現場本部内の機材やケーブル、鉛遮蔽の移設は東芝殿作業完了後となるため、次年度実施予定である。



図4.5-8 施工前



図4.5-9 施工後

4.5 現場実証

(1) 現地据付・作業計画

iii. 2号機原子炉建屋周辺・中継端子盤・ヤード電路・新現場本部設置



図4.5-10 施工前



図4.5-11 施工後



図4.5-12 新現場本部（吊り込み）



図4.5-13 新現場本部（シート養生）

5. まとめと今後の予定

(1) 令和4年度の成果まとめ

○アクセス・調査装置:

檜葉モックアップ試験の成果、状況は以下の通り。

アーム: ペDESTAL底部へのアームのアクセスを確認した。ソフトウェア完成に向けた作業を実施中。

デクスタ: ダミーアームを用いた作業性検証試験を実施し、治具や手順の改善を図った。

○X-6ペネハッチの開放:

現場実証としてステージ内隔離部屋／ハッチ隔離部屋の設置までを実施した。

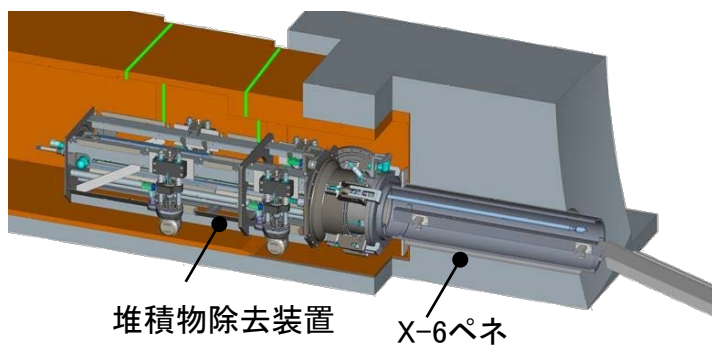
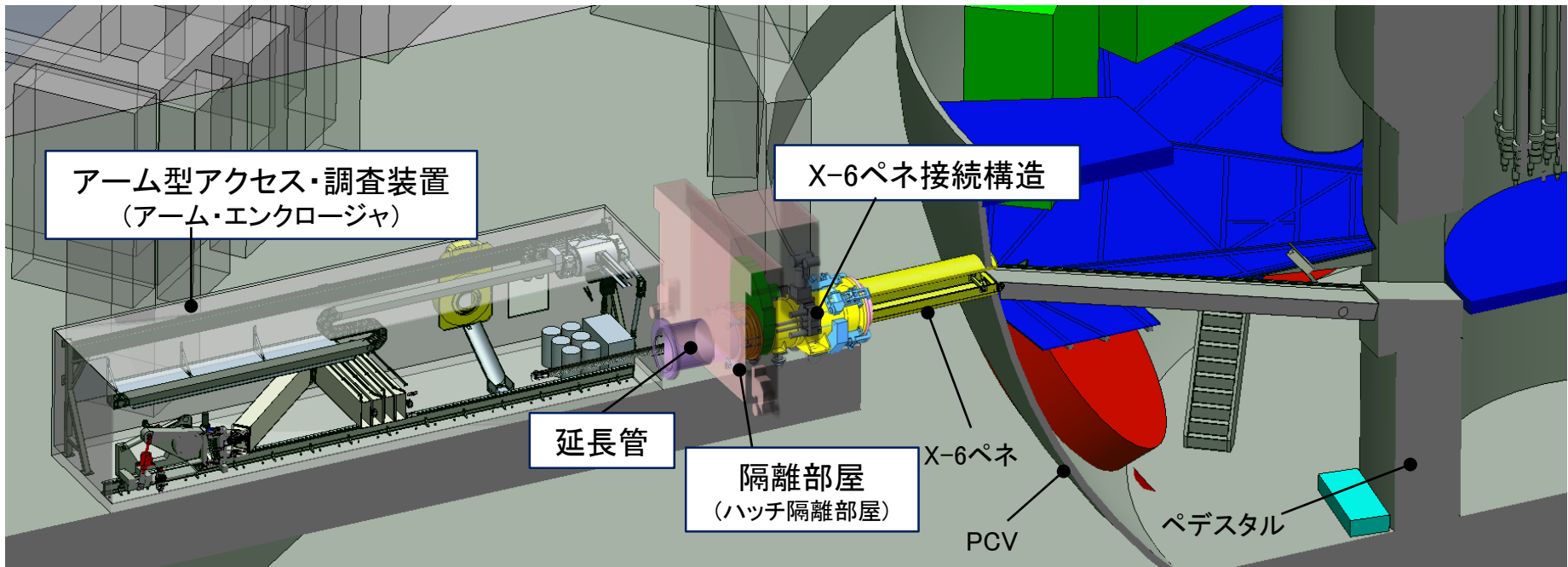
ステージ内隔離部屋からの漏えい、ハッチ隔離部屋の地震による部品損傷、現場環境によるリミットスイッチ故障等のトラブルが発生し、対応を行った。

(2) 令和5年度の予定

- ・アクセス・調査装置については、引き続き檜葉モックアップ試験/トレーニングを実施し、令和5年度後半に現場実証を開始する。
- ・アクセスルート構築のための関連機器については、トレーニングを実施後、順次、現場実証を開始する。

補足資料

開発対象

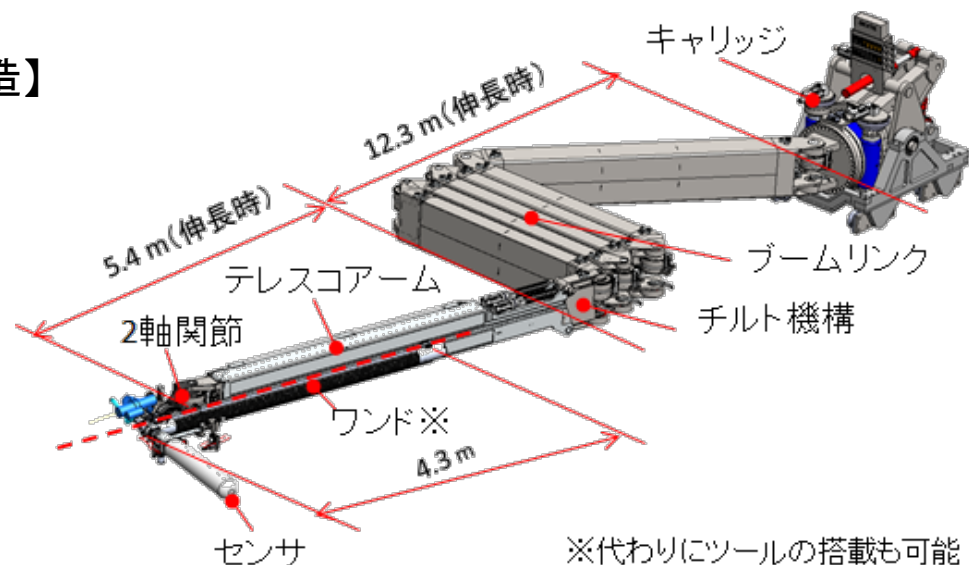


装置	主目的
アーム型アクセス・調査装置	PCV内部のデータ取得(センサ搭載)、障害物撤去(ツール搭載)
X-6ペネ接続構造	PCVバウンダリ構築及びアーム通過性確保(隔離弁搭載)
延長管	遮蔽及びアーム通過性確保
隔離部屋	X-6ペネ蓋開放時(X-6ペネ接続構造設置前)のPCVバウンダリ構築、遮蔽
堆積物除去装置	X-6ペネ内の堆積物等の除去

アクセス・調査装置

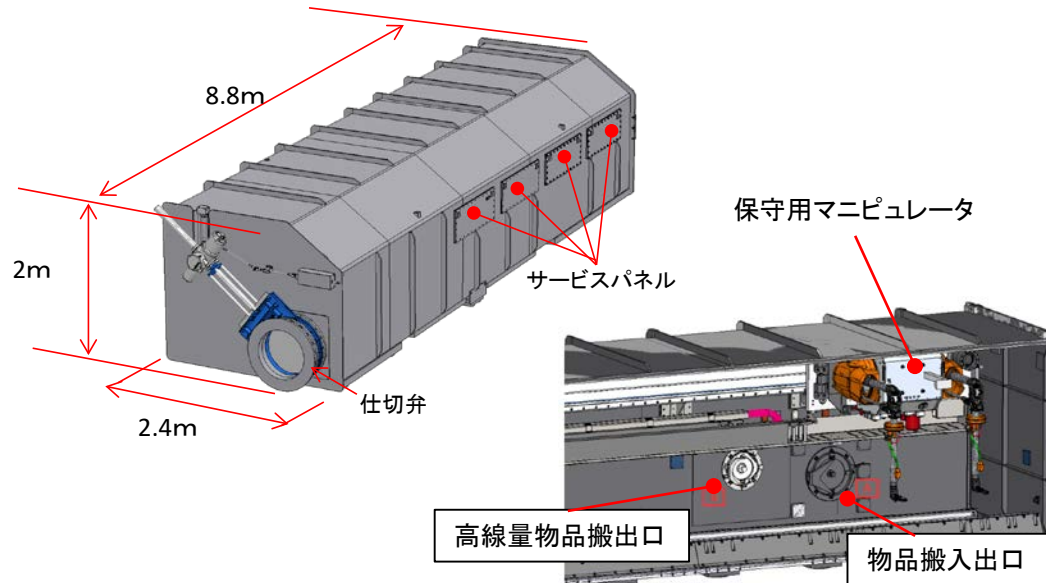
【アーム型装置(以下、アーム)の仕様と構造】

- ✓ 搭載可能センサ 10 kg以下
- ✓ 搭載工具 切断・把持ツール、
ウォータージェット切断ツール
- ✓ アーム長 約18 m(ワンドを除く)
- ✓ 押付け力 400 N
- ✓ 位置決め精度 ±100 mm
- ✓ 累積線量 1 MGy
- ✓ 付属設備
カメラ、照明



【アームエンクロージャの仕様と構造】

- ✓ 外板 天井及び側板 厚さ10 mm
底板 厚さ25 mm
- ✓ 質量 約30トン
- ✓ 主要材質 ステンレス鋼
- ✓ 設計圧力 -5~+10 kPaG
- ✓ 漏えい率 0.05 vol %/h
- ✓ 付属設備
保守用マニピュレータ、仕切弁、
カメラ、照明 等



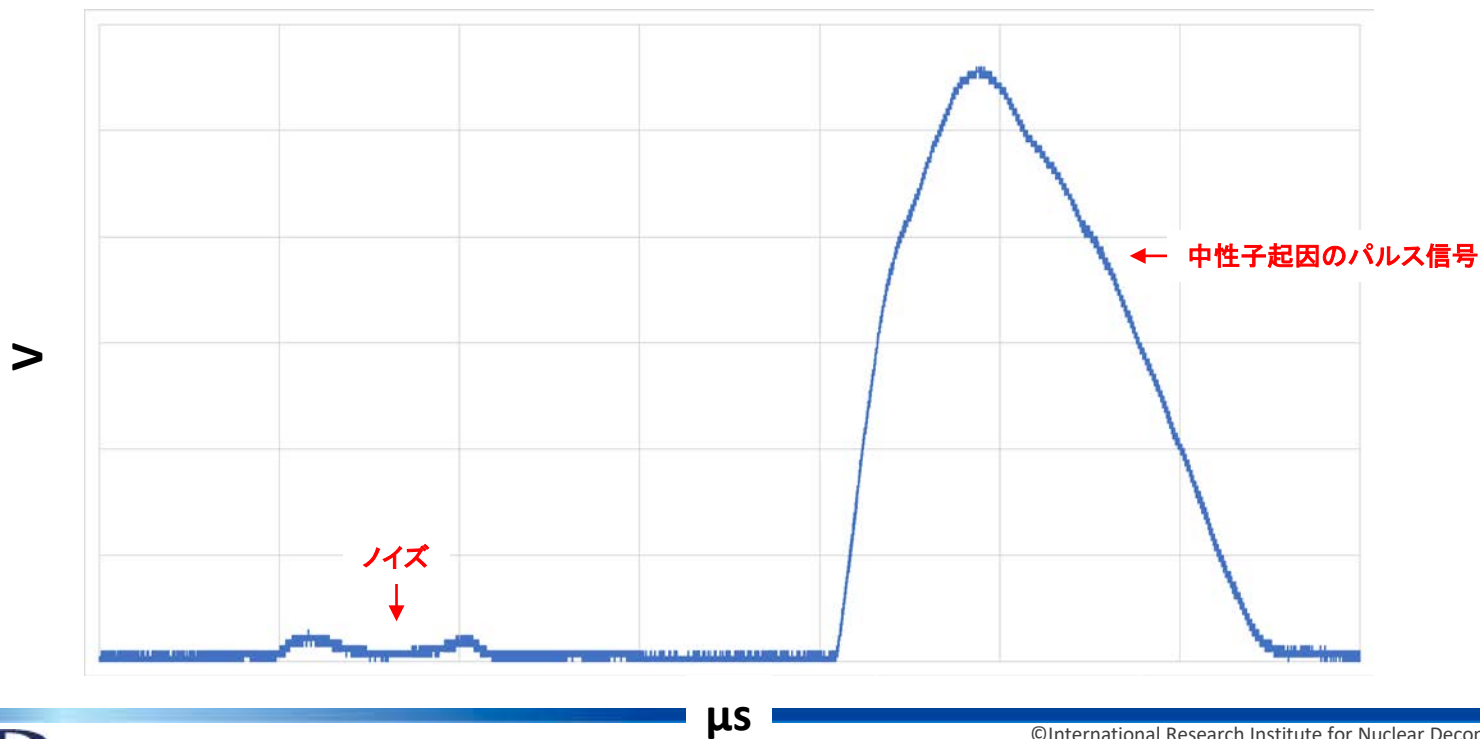
アームとセンサの組合せ試験 中性子検出器

補足資料(BG計測結果のグラフについて)

【用語説明】

- 計数

中性子検出器にて中性子を検出すると、以下グラフのようなパルス信号として検出します。グラフ縦軸の単位「計数」は検出したパルス波の「数」を意味します(中性子起因以外の信号についてはノイズとなります)。



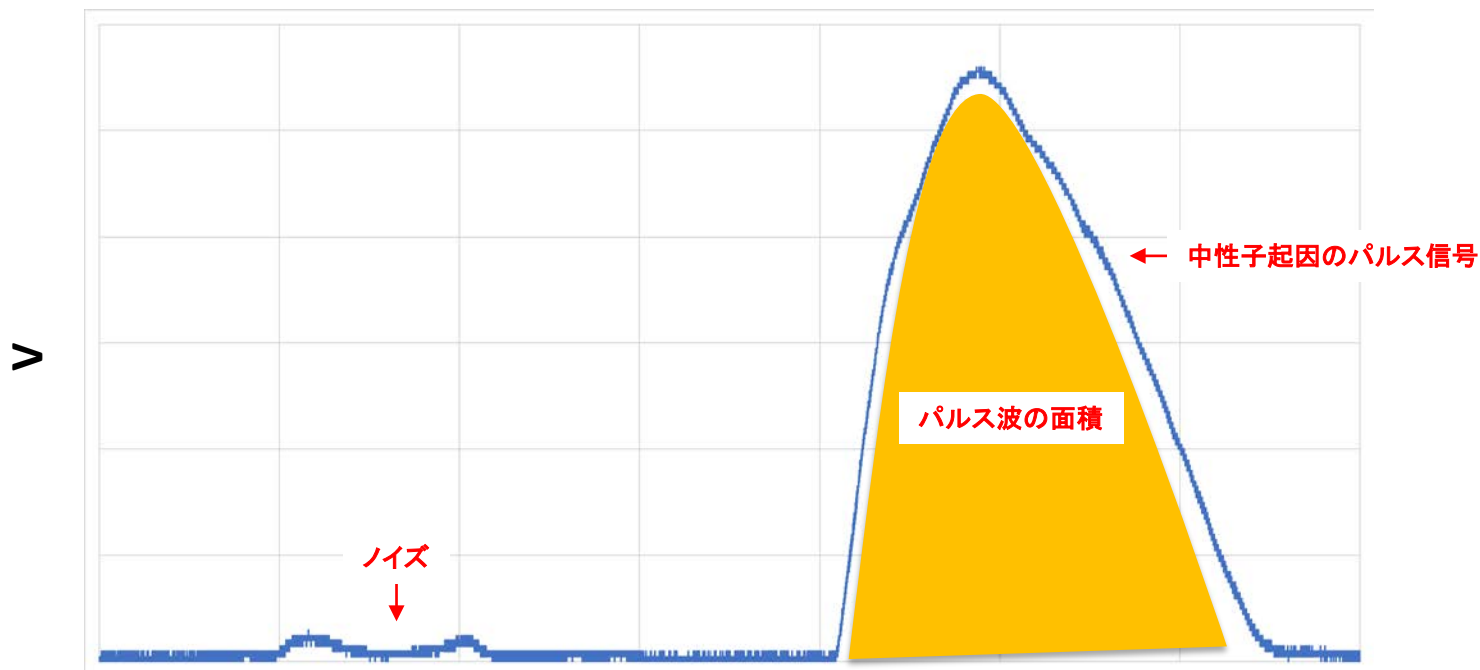
アームとセンサの組合せ試験 中性子検出器

補足資料(BG計測結果のグラフについて)

【用語説明】

• $V \cdot s$ (ボルト秒)

横軸の単位「 $V \cdot s$ (ボルト秒)」は電圧と時間の積を表しています。検出器からの信号は以下グラフのような「 V (電圧) vs. s (時間)」の信号を受信し、サーバにてパルス信号の面積を算出します。「 V (電圧) vs. s (時間)」のグラフの面積を算出するため、その単位は「 $V \cdot s$ (ボルト秒)」となります。



アームとセンサの組合せ試験 中性子検出器

補足資料(BG計測結果のグラフについて)

【試験結果のグラフの見方】

- 中性子検出システムの組合せ試験では横軸「V・s (ボルト秒)」、縦軸「計数」のグラフとしてデータを取得しました。中性子起因の信号はノイズと比較し信号の面積が大きいいため、ノイズ信号は横軸の値が比較的小さい領域に、中性子起因の信号は横軸の中央部付近に現れます。今回取得したデータはBGの計測のため、ほとんどの信号がノイズによる信号と考えられます。

