廃炉・汚染水対策事業費補助金

「燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」

令和3年度実施分報告
（報告資料）

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

	ページ
1.　研究の背景・目的	2
1.1　本研究が必要な理由	2
1.2　本研究の成果の反映先と寄与	3
2.　目標	4-5
3.　実施項目とその関連性、他研究との関連	6
3.1　本研究の実施項目	7-8
3.2　実施項目間、他研究との関連性	9-10
4.　実施スケジュール	11
5.　実施体制図	12
6.　実施内容	13
6.1　燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の要素技術開発・設計	13
6.1.1　取り出し用アームに搭載する要素技術	13-15
6.1.2　取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術	16-18
6.2　燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発	19-22
6.3　取り出し技術の開発計画の更新	23-26
6.4　取り出しのための装置の開発と組合せ試験	27
6.4.1　取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発	27-29
6.4.2　取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験	30-32
7.　まとめと今後の対応	33

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1. 研究の背景・目的
1.1 本研究が必要な理由

■ 福島第一原子力発電所1～3号機の燃料デブリ取り出しに向けて、装置開発や臨界評価等に燃料デブリ性状に関する情報が必要となる。これまでにTMIやチョルノービリ(チェルノブイリ)での事故データや解析結果等から推定した値を使用している。しかしながら、装置開発を適正に進めるに当たり、推定値が妥当なのか（安全側かどうかも含め）を確認するには現場の燃料デブリを取り出し、分析することが必要である。

■ このため、R4年度もR3年度から引き続き以下の作業を実施している。
- 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発計画、取り出し計画の策定、更新
- 燃料デブリ取り出しのための装置、システムの詳細設計、試作機製作、各種検証試験

■ 上記の作業で得られた成果や新たに見つかった課題、福島第一原子力発電所の最新状況を踏まえ、燃料デブリ取り出しの位置付けや目標を見直しながら、段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発を進める必要があり、本研究にて実施している。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1.2 本研究の成果の反映先と寄与

PCV*1内部調査技術の開発PJ
（原子炉格納容器内部調査技術の開発）
PCV*1内部調査の結果を反映する。

PCV*1内部詳細調査技術の開発PJ
（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）
調査装置の開発進捗を反映する。

*1：PCV＝原子炉格納容器

本PJ 「燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発」

- 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発計画、取り出し計画の策定
- 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出しのための装置、システムの開発

燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し・分析

- 硬さ等の物性データ 切削の速度、ダスト飛散状況
- U、Pu、Gd等の成分データ
- 燃料デブリ分布データ
- 水素発生量等の成分データ
- 廃棄物インベントリデータ

燃料デブリ取り出しの工法・装置等の詳細設計に係る各研究PJ

- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発PJ（臨界管理を含む）
  （燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化、燃料デブリ臨界管理技術の高度化）
  - 取り出しセルの系統設計、システム設計への反映
  - 燃料デブリ取り出し工具の設計及び改良
  - 臨界評価の妥当性確認
- 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発PJ
  （事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化）
  炉内の解析結果の信頼性の確認
- 燃料デブリの収納・移送・保管技術の開発PJ
  （燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）
  収納缶の安全性確認
- 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発PJ
  （固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）
  廃棄物の全体計画への反映

段階的に規模を拡大した取り出し
（東電HD実施予定）
段階的に規模を拡大した取り出し装置等の詳細設計

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

2. 目標 （1/2）

令和2年度に開始した実施項目

No.	事業内容	令和3年度末時の目標技術成熟度（TRL）
6.1	燃料デブリ取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の要素技術開発・設計	6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術 水平オフセット機構、テレスコ及びワンドまで試作し、ダミー先端ツールを用いた組合せ試験を行い燃料デブリへの先端ツール押し付け力、プラットフォーム上の開口通過性が確認されていること。 （終了時目標TRL：レベル5）
		6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術 ダブルドアシステムを試作し、単体性能試験で以下が確認されていること。 ・ダブルドアの開閉、閉止時の気密性 ・隔離ドアの開閉、閉止時の気密性 ・モータ故障時の非常駆動系の有効性 （終了時目標TRL：レベル5）
6.2	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発 試作機を製作し、工場内検証試験で以下が確認されていること。 ・台車の走行性、停止精度 ・模擬エンクロージャと燃料デブリ収納容器の接続・離脱機能 ・故障時の非常回収の作業性、メンテナンスの作業性 （終了時目標TRL：レベル5）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

2. 目標 （2/2）

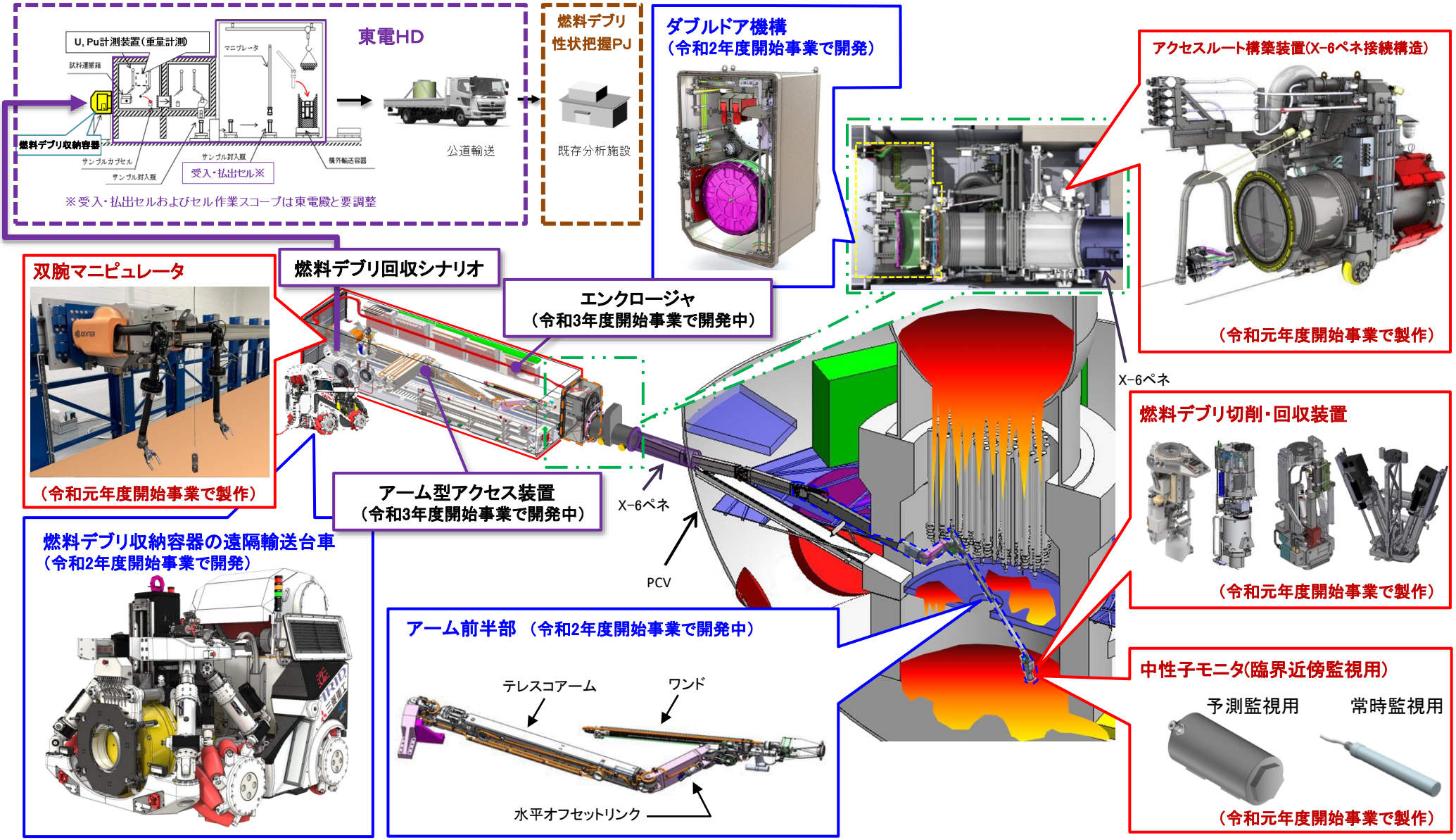
令和3年度に開始した実施項目

No.	事業内容	令和4年度末時の目標技術成熟度（TRL）
6.3	取り出し技術の開発計画の更新	2号機のPCV内部調査等で得られた情報を踏まえて、先行事業(令和元年度開始事業)にて策定した燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術（取り出し用の装置、システム等）の開発計画が必要に応じて更新されること。 併せて、燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出しに係るシナリオへ最新知見等が必要に応じて反映・更新されること。 （情報整理のため技術成熟度（TRL）目標設定の対象外とする）
6.4	取り出しのための装置の開発と組合せ試験	6.4.1 取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発 先行事業(令和2年度開始事業)で実施した取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の詳細設計に基づき、取り出し用アクセス装置（アームとエンクロージャ）を製作し、工場内検証試験で適用性を確認する。 （終了時目標TRL：レベル5）
		6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験 製作した取り出し用アクセス装置（アームとエンクロージャ）と、先行事業(令和元年度開始事業)で2021年度までに開発した装置を組合せ、システムとしての適用性を確認する。 （終了時目標TRL：レベル5）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3. 実施項目とその関連性、他研究との関連

R2年度開始事業 | R3年度開始事業



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

3. 実施項目とその関連性、他研究との関連
3.1 本研究の実施項目(1/2)

令和2年度より開始した実施項目

No.	実施項目		令和3年度の実施範囲	ページ
6.1	燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の要素技術開発・設計	6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術	• 水平オフセット機構、テレスコ、ワンド等のアーム前半部の試作機の製作 • 試作機の工場内検証試験	13-15
		6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術	• ダブルドアシステム試作機の製作 • 試作機の工場内検証試験	16-18
6.2	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車	• 遠隔輸送台車の試作機の製作 • 試作機の工場内検証試験	19-22

青文字:試験　赤文字:モノづくり

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

3. 実施項目とその関連性、他研究との関連
3.1 本研究の実施項目(2/2)

令和3年度より開始した実施項目

No.	実施項目		令和3年度の実施範囲	ページ
6.3	取り出し技術の開発計画の更新		• 令和3年度開始時点における開発計画の更新（PCV内部詳細調査アームの検証試験結果を本開発計画に反映するタイミング・着眼点の検討、および各種開発装置の組み合わせ検証試験内容の検討）	23-26
6.4	取り出しのための装置の開発と組合せ試験	6.4.1 取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発	• アーム根元部分の設計および製作と、アーム前半部との統合 • エンクロージャの設計および製作	27-29
		6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験	• 組合せ試験の試験計画検討 • 組合せ試験に向けた準備作業	30-32

黒文字：机上検討　赤文字：モノづくり

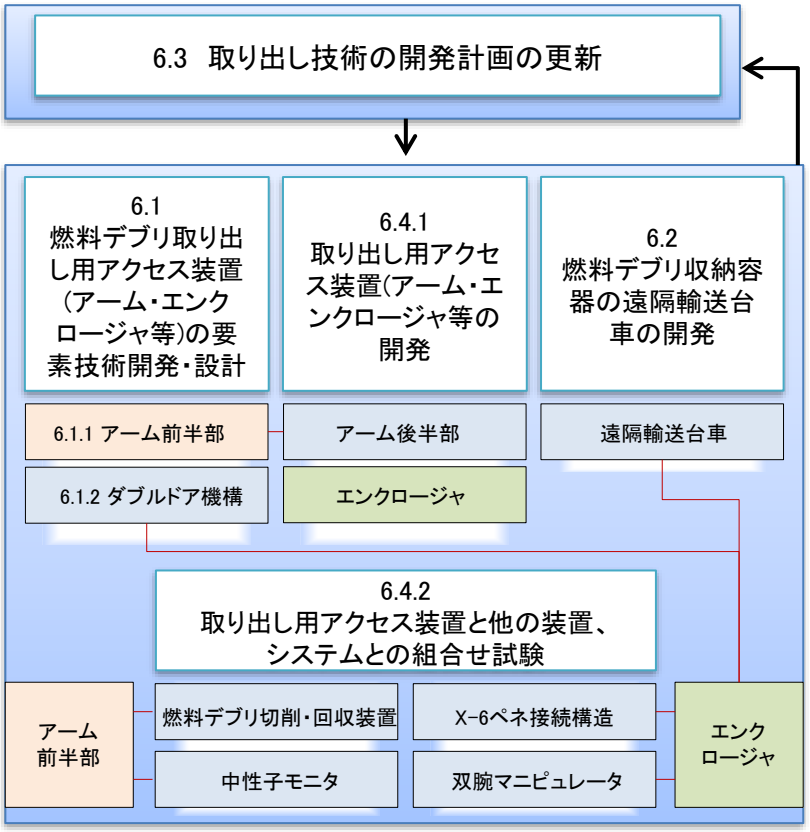
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

R3年度開始事業

3.2 実施項目間、他研究との関係性(1/2)

No.	関連する実施項目	連携内容	関係性
6.1.1	6.4.1 取り出し用アーム	アームの前半部と後半部の統合	新設計のアーム前半部とアーム後半部が統合される際にX-6ペネトレーション通過性を考慮する。
6.1.2	6.4.1エンクロージャ	エンクロージャの全体組立	ダブルドア機構を精度よくエンクロージャに取り付ける方法を考慮する。
6.2	6.4.1エンクロージャ	燃料デブリ収納容器(PADIRAC)のドッキングインターフェース	エンクロージャのPADIRACポートの取付位置、ドッキングの検知や不慮のドッキング解除を防止するインターロックについて考慮する。
6.3	6.1.1～6.4.2	技術課題の開発計画への反映	本事業での試作機の工場内検証試験で判明した新たな技術課題に対して、計画を更新する。
6.4.1	6.1.1アーム前半部 6.1.2ダブルドア機構	6.1.1、6.1.2 と同じ	6.1.1、6.1.2 と同じ
6.4.2	6.1.1アーム前半部 6.1.2ダブルドア機構 6.2遠隔輸送台車 6.4.1アーム 6.4.1エンクロージャ	組合せ検証によるインタフェース確認 システム連携度の課題抽出	6.1.1:燃料デブリ切削・回収装置や中性子モニタのアームとのインタフェースや連携において装置改良の余地がないか確認する。 6.1.2:X-6ペネ接続構造や双腕マニピュレータとのインタフェースや連携に装置改良やプロセス改善の余地がないか確認する。 6.2:日本人オペレータの操作でも、フランスでの検証と同じ結果が得られることを確認する。 6.4.1(アーム):X-6ペネトレーション通過性を確認する。 6.4.1(エンクロージャ):や双腕マニピュレータとのインタフェースや連携に装置改良やプロセス改善の余地がないか確認する。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

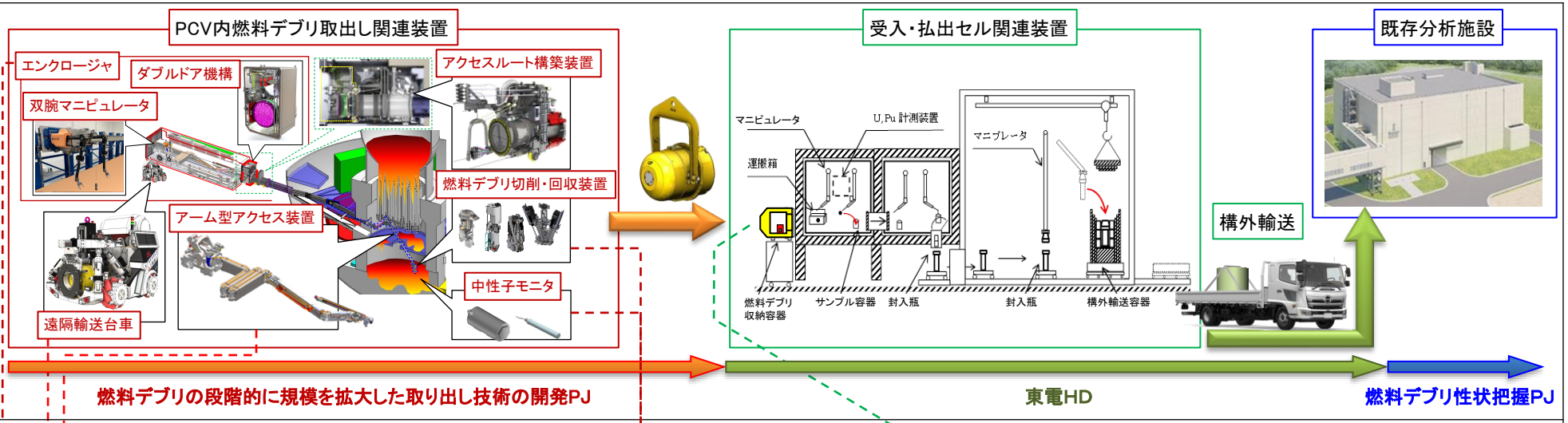
R2年度開始事業

R3年度開始事業

3.2 実施項目間、他研究との関係性（2/2）

■ PCV内の燃料デブリ取り出し作業フロー及び関連PJとの主要な取合い

PCV内燃料デブリ取出し作業フロー



関連PJとの主要な取合い

【PCV内部詳細調査PJ】
・PCV内部状況の映像の設計反映
・PCV内部調査用アームの開発情報の共有
・PCV内部詳細調査の技術課題の共有

【PCV内部詳細調査PJ】
・PCV内部調査用エンクロージャの開発情報の共有
・PCV内部調査での遠隔作業要領の共有
【東電HD】
・段階的に規模を拡大した取り出しへの関連技術の取り込み

【燃料デブリ性状把握PJ】
・燃料デブリ授受のインターフェース調整
【燃料デブリ取り出しPJ】
・燃料デブリサンプリングのニーズ
・燃料デブリ切削技術に関する情報共有
・燃料デブリ切削時の臨界防止対応

【東電HD】
・原子炉建屋のメンテナンスエリアの調整

【東電HD】
・燃料デブリ収納容器（PADIRAC）の情報共有
・原子炉建屋の搬出エリアの調整
・段階的に規模を拡大した取り出しへの活用技術ニーズ反映

燃料デブリ取り出し計画

【燃料デブリ性状把握PJ】
・既存分析設備での分析能力を聴取し、燃料デブリ取り出し計画に反映
【東電HD】
・燃料デブリ搬出ルートを協議し、燃料デブリ取り出し計画へ反映

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 実施スケジュール

:令和2年度開始事業　:令和3年度開始事業

R2年度開始事業　R3年度開始事業

大分類	小分類	2020年度 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月 3月 / 2021年度 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月 3月 / 2022年度 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月 3月	備考（最新状況）
6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の要素技術開発・設計	6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術	アーム前半部の製作・工場内検証⇒コロナ禍の影響により延長 詳細設計 製作・工場内検証 組立・調整 試験	
	6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術	ダブルドアシステムの要素試験 詳細設計 ダブルドア機構の製作・工場内検証⇒完了 製作・工場内検証	
	取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の全体設計	詳細設計	
6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発		詳細設計 遠隔輸送台車の製作・工場内検証⇒完了 製作・工場内検証	
6.3 取り出し技術の開発計画の更新		開発計画の具体化⇒計画通り実施	
6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験	6.4.1 取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の開発	取り出し用アームの開発⇒製作中 取り出し用アーム製作・統合 取り出し用エンクロージャの開発⇒製作中 取り出し用エンクロージャ製作・工場内検証 双腕マニピュレータの改造⇒製作中	
	6.4.2 取り出し用装置、システム全体の組合せ試験	アーム前半部と燃料デブリ切削・回収装置の組合せ試験⇒試験準備中 アーム全体の組合せ試験(工場内検証) エンクロージャとX-6ペネ接続構造／燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の組合せ試験 双腕マニピュレータのケーブル遠隔脱着機構、ダブルドア機構非常時対応の確認試験	
主要なマイルストン		中間報告会　年度報告会　中間報告会　最終報告会	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5. 実施体制図

R2年度開始事業 | R3年度開始事業

東京電力ホールディングス株式会社

○ 現場適用性の観点での諸調整

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（本部）

○ 全体計画の策定と技術統括のとりまとめ
○ 技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ

三菱重工業株式会社

令和2年度に開始した実施項目

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の要素技術開発・設計
- 6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術
- 6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術

6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車開発

令和3年度に開始した実施項目

6.3 取り出し技術の開発計画の更新

6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験
- 6.4.1 取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の開発
- 6.4.2 取り出し用装置、システム全体の組合せ試験

連携する開発プロジェクトチーム

- 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）
- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発
- 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
- 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
- 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

VEOLIA NUCLEAR SOLUTIONS：
・ 取り出し用アームに搭載する要素技術の設計、試作

双日マシナリー（株）＋CLEO ：
・ ダブルドアシステムの要素試験
・ 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術の設計、試作
・ 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の製作・工場内検証

VEOLIA NUCLEAR SOLUTIONS (VNS)：
・取り出し用アクセス装置の試作
・取り出し用アクセス装置の組合せ試験

双日マシナリー（株） CLEO：
・双腕マニピュレータのケーブル着脱機構の試作
・ダブルドア機構の組合せ試験準備・助勢
・燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の組合せ試験準備・助勢

Jacobs：
・小石・砂状デブリ回収装置（バケット型）の組合せ試験準備・助勢

ORANO ：
・小石・砂状デブリ回収装置（フレキシブルグリッパ型）の組合せ試験準備・助勢

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

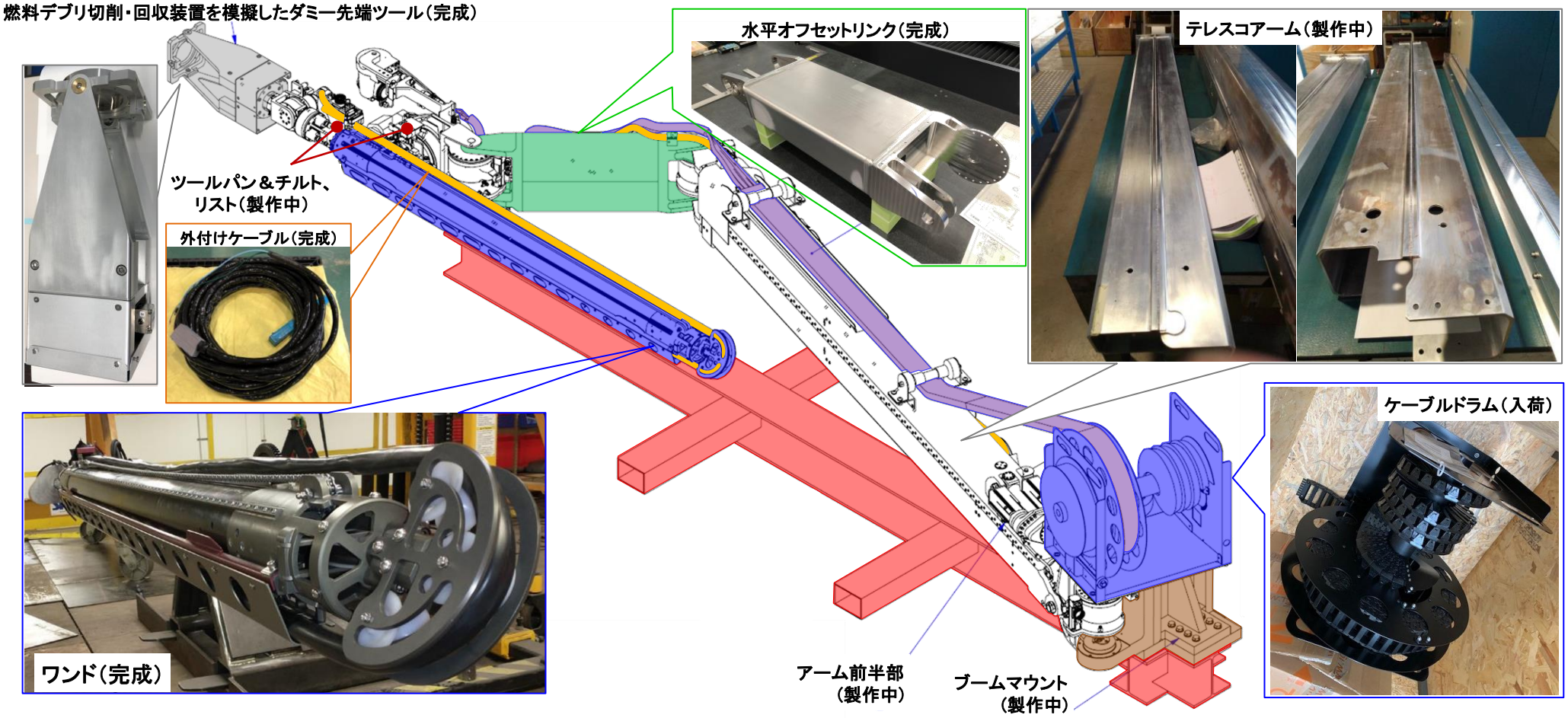
R2年度開始事業

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の要素技術開発・設計

6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術

【今年度の成果 1/2】

✓ 水平オフセット機構や燃料デブリ切削・回収装置からの反力を考慮したテレスコアームやワンドなどのアーム前半部を製作している。(コロナ禍の影響により開発期間を延長)



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

R2年度開始事業

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の要素技術開発･設計

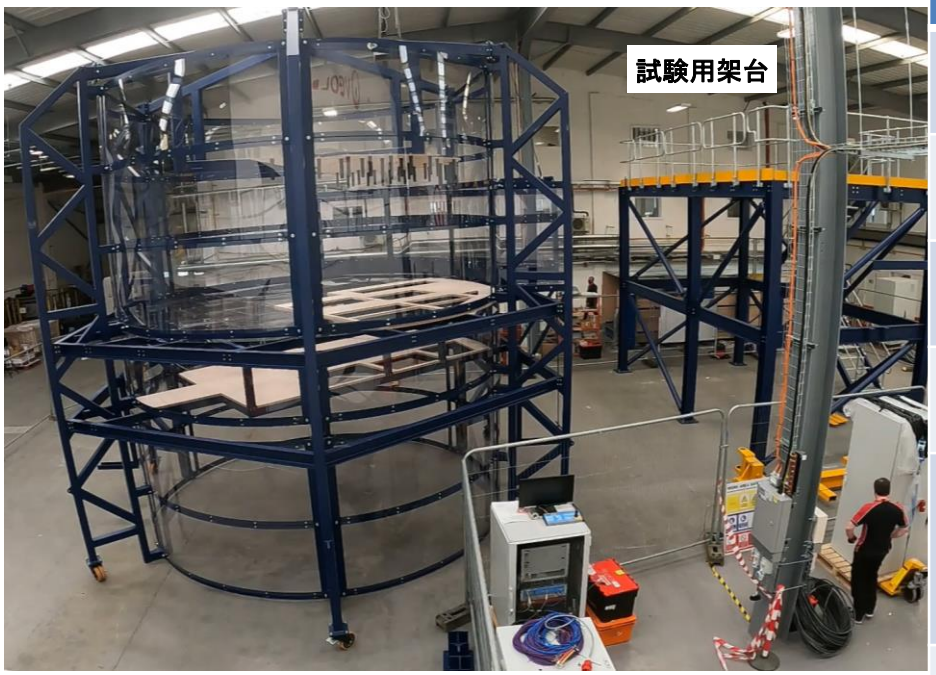
6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術

【今年度の成果 2/2】

✓ アーム前半部の性能を確認するための工場内検証試験の計画を立案した。

✓ アーム前半部の性能を検証するためのPCV内部構造を模擬した試験用架台の製作を行った。

模擬ペデスタル



工場内検証試験に用いる模擬ペデスタルと試験用架台

工場内検証試験内容

No	名称	内容	使用機材	判定基準
1	基本性能試験1	可動範囲、目標最大/最小速度を調べる	試験用架台、ダミー先端ツール	所定の可動範囲、速度であること。
2	基本性能試験2	水平オフセットリンクのフットに内蔵した荷重計の能力を調べる	試験用架台、模擬ペデスタル	フットに1kNの押付力を付加できること。
3	基本性能試験3	プラットフォーム上の開口通過能力を調べる	試験用架台、模擬ペデスタル	開口部に接触しないこと
4	ダミー先端ツール試験1	ダミー先端ツールのプラットフォーム開口通過性を確認	試験用架台、ダミー先端ツール、模擬ペデスタル	開口部に接触しないこと
5	ダミー先端ツール試験2	ダミー先端ツールのデブリ着座性を確認		床面から100mm手前で一時停止し、対象面に衝突しないこと。 垂直(±5°以内)に先端ツールを100N以下で着座できること。
6	ダミー先端ツール試験3	ダミー先端ツールのデブリ押付け能力の確認･荷重付加データの取得･所要時間の計測		1kNの押付力を付加できること。押付時のアームに異常がないこと。
7	制御精度確認試験	VRシミュレーションとの比較		代表的部位の位置が±100mm以内であること。

注:VRシミュレーション
コンピュータ画面上にアームの3次元モデルを表示して、操作によってどのように動くかを計算し、予想される到達位置などを求める。(次頁参照)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

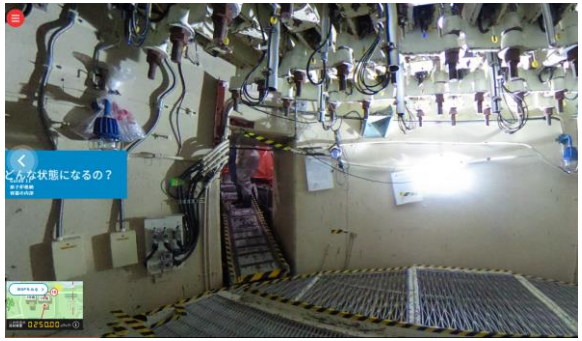
6. 実施内容

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の要素技術開発・設計

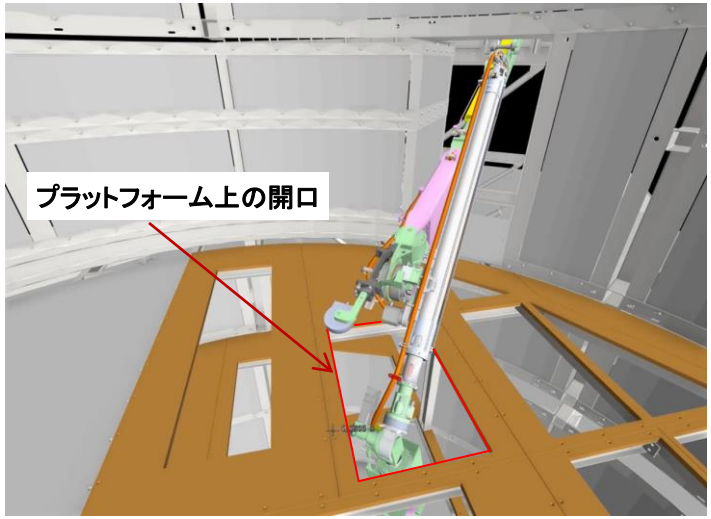
6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術

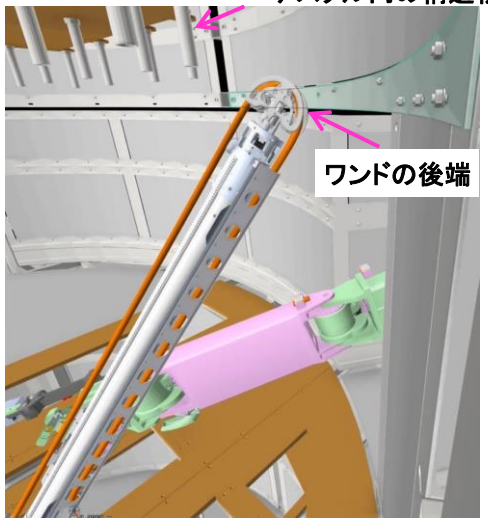
【課題】

✓ プラットフォーム上の開口から燃料デブリ切削・回収装置を下降させるために、ワンドの後端がペデスタル内部の構造物に干渉するリスクを抽出した。なお、対策として、装置を破損させないように事前にVRシミュレーションで下降ルートをチェックしておく必要がある。また、VRシミュレーション結果に対して、実際のアームと構造物の位置関係に大きなずれが無いようにしておく必要がある。
（位置合わせの方法を準備しておく）



5号機のペデスタル内（東電HDホームページより）





【今後の計画】

✓ アーム前半部の製作・組立を完了し、水平オフセット機構によるPCV内の開口部通過性や、ワンドによる燃料デブリ切削・回収装置の押し付け力を工場内で検証する。

✓ 引き続き、令和3年度開始事業にて、燃料デブリ切削・回収装置や中性子モニタの試作機との組合せ検証試験を行う。

✓ 上記の組み合わせ検証試験後、アームの後半部と統合することで、取り出し用アームとして工場内検証を行う。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

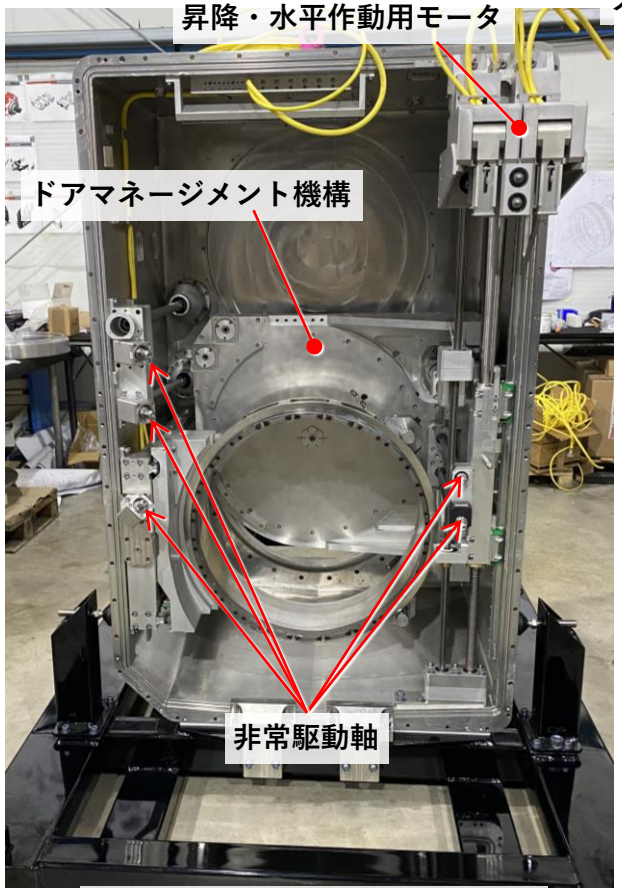
R2年度開始事業

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の要素技術開発･設計

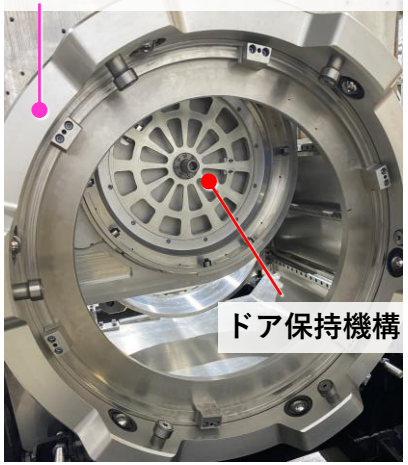
6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術

【今年度の成果 1/3】

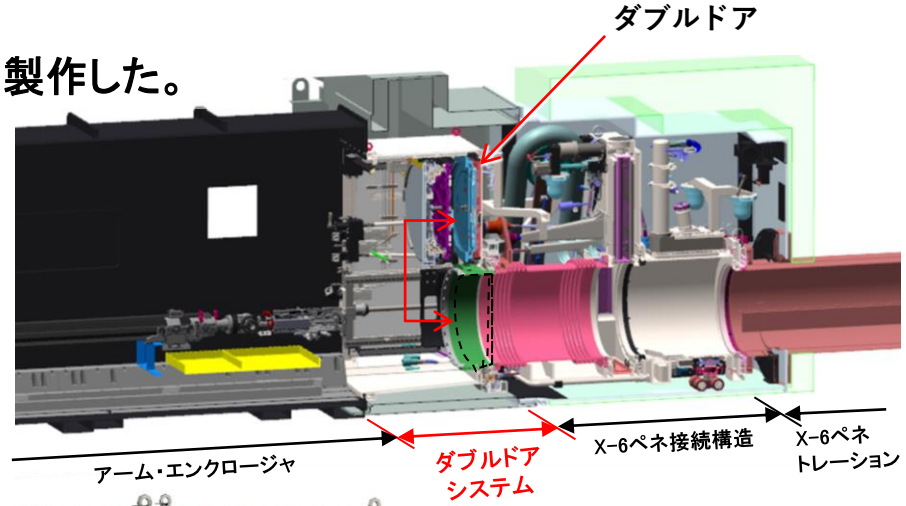
✓ ダブルドアを開閉するダブルドアシステム試作機を計画通り製作した。

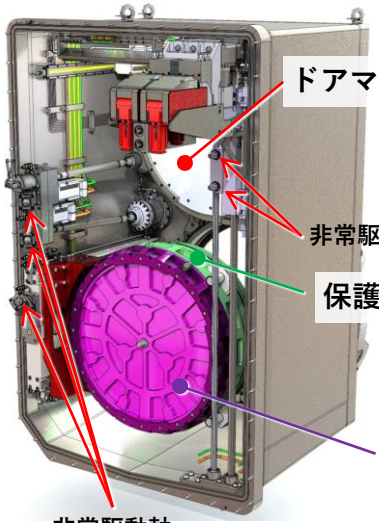


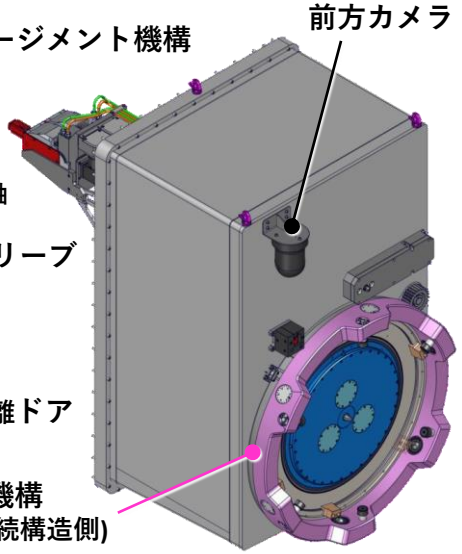
アーム・エンクロージャ側



保護スリーブ
(隔離ドアを外した状態)







©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の要素技術開発･設計

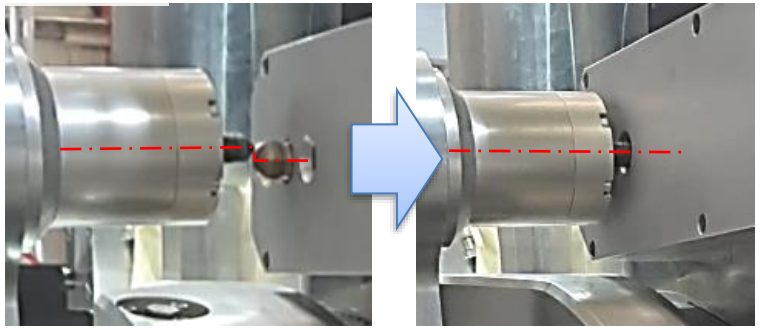
6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術

【今年度の成果 2/3】

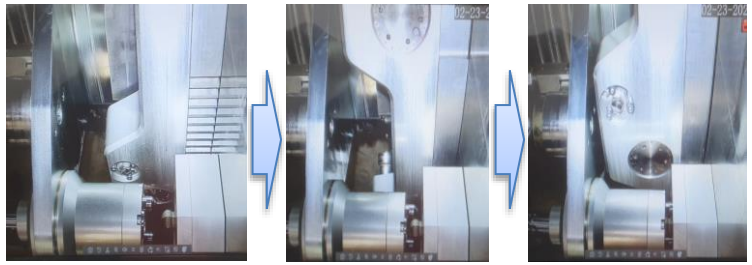
✓ 試作機の工場内検証試験を実施し、以下の①～③の試験で懸念される問題がないことを確認した。

①X-6ペネ接続構造との連結機能（自動調心で衝突回避、ベローズ傾き誤差を吸収、カメラ視野良好）

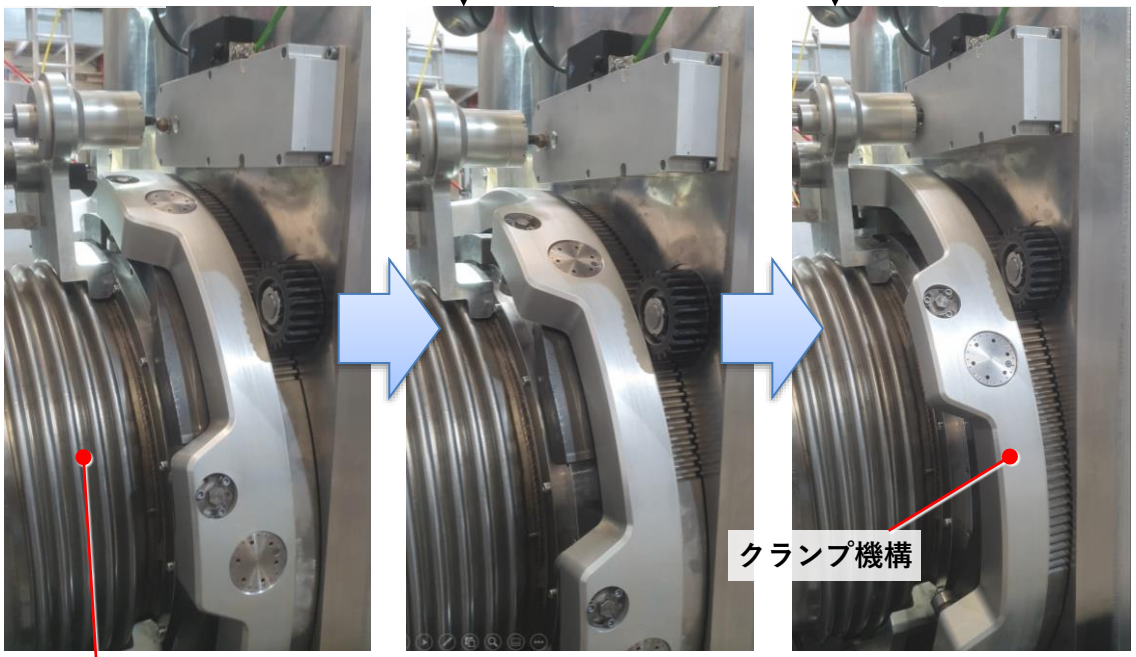
X-6ペネ接続構造との連結試験



非常駆動軸の自動調心は衝突なくできた。



前方カメラによる映像・視野は良好なことを確認した。



想定されるベローズ傾きを吸収しつつ、ドッキングができた。

X-6ペネ接続構造模擬体ベローズ

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

R2年度開始事業

6.1 燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム･エンクロージャ等)の要素技術開発･設計

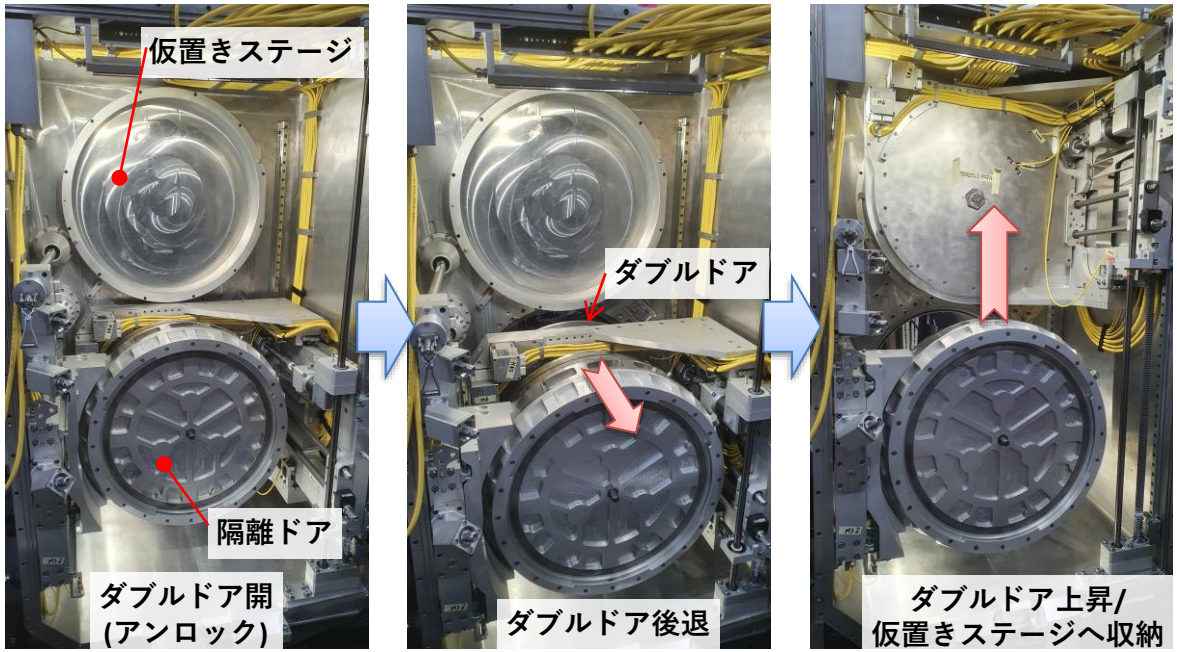
6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術

【今年度の成果 3/3】

✓ 試作機の工場内検証試験を実施し、以下の①～③の試験で懸念される問題がないことを確認した。

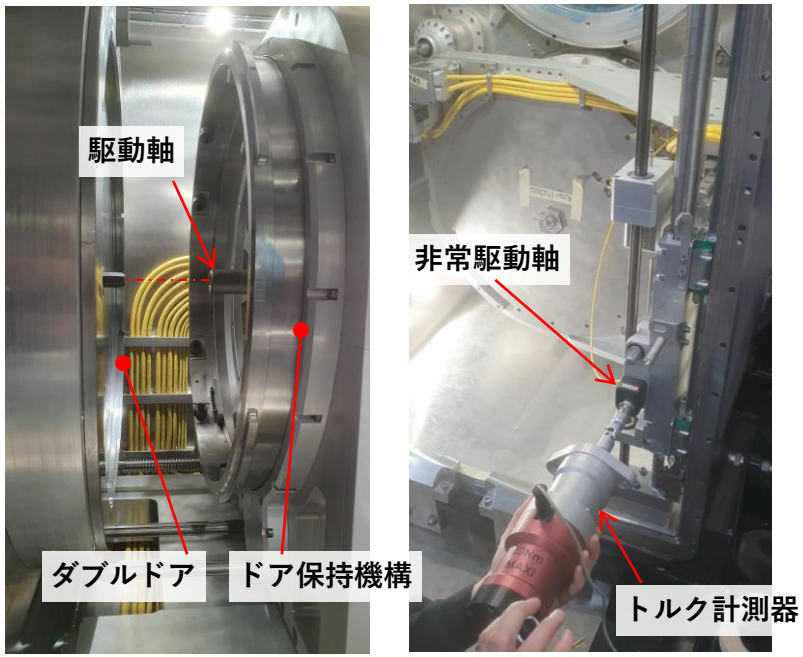
②ダブルドア開閉･気密機能(漏洩率0.1vol%/h)　③モータ故障時の非常駆動機能(回転トルク12.8Nm以下)

ダブルドアの開閉試験



ダブルドアの取り外し・仮置き動作は問題なく行え、漏洩率も合格した。

モータ故障時の非常駆動軸による作動試験



双腕マニピュレータで動作可能な見通しを得た。

【課題･今後の計画】

✓ システム検証が課題として残っているため、令和3年度開始事業において、エンクロージャへの組み込みを行い、X-6ペネ接続構造との組み合わせ試験等を実施する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

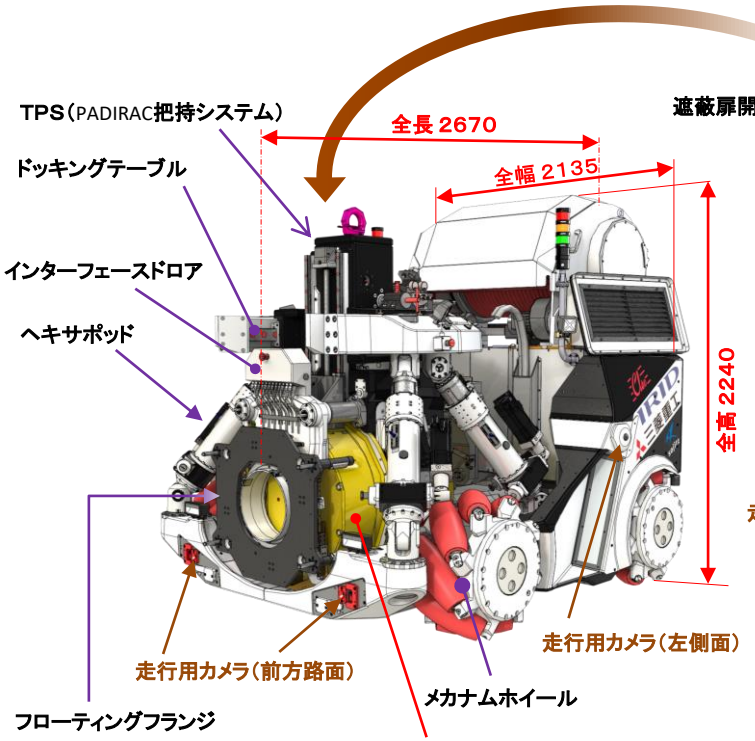
6. 実施内容

R2年度開始事業

6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発

【今年度の成果 1/4】

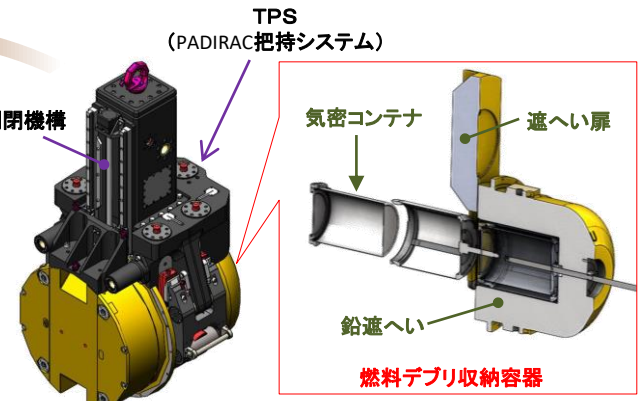
✓ 燃料デブリ収納容器(PADIRAC)の遠隔輸送台車（台車、制御盤、運転設備等）の試作機を製作した。



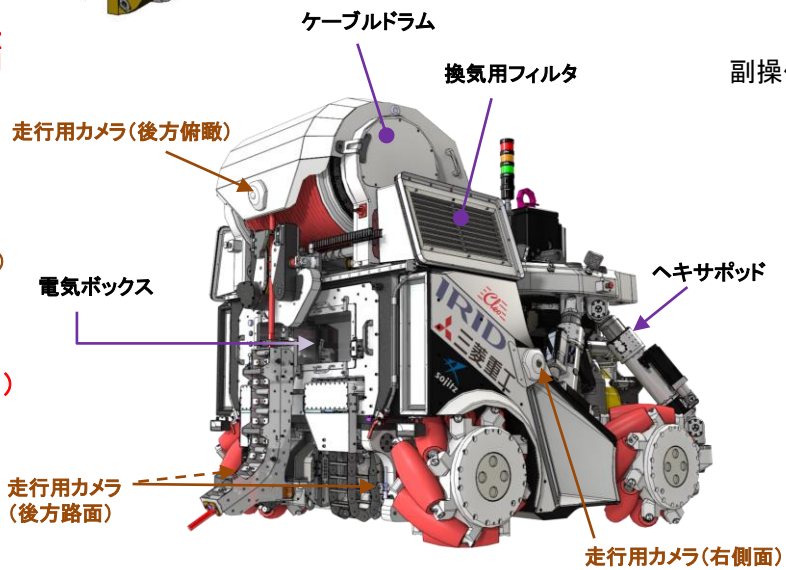
燃料デブリ収納容器：PADIRAC RD-20（重量4トン）（※1）

（※1）PADIRAC … 仏GETINGE La Calhene社製
シールド輸送システム・容器の製品名

遠隔輸送台車外観
（車体重量12トン）



副操作員及び監視員用の制御装置



中継盤

操作員用制御装置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

6. 実施内容

6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発

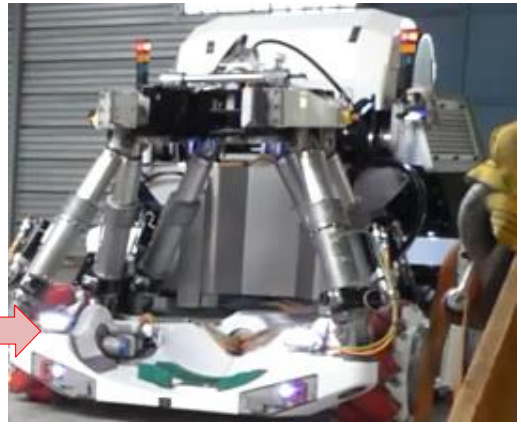
【今年度の成果 2/4】

✓ 燃料デブリ収納容器（PADIRAC）を遠隔輸送台車にセットする作業を防護服を着用して行い、作業手順どおりに実施可能であることを確認した。

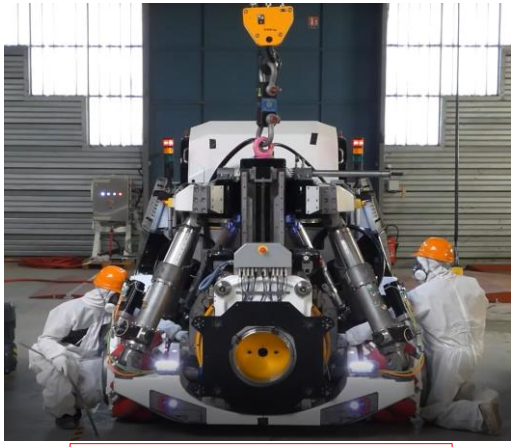
TPS（PADIRAC把持システム）（※1）

（※1）TPS：Tool PADIRAC System）

燃料デブリ収納容器（PADIRAC）



台車本体



TPS＋PADIRAC を台車にセット

走行準備完了

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R2年度開始事業

6. 実施内容

6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発

【今年度の成果 3/4】

✓ 遠隔輸送台車の工場内検証試験を行い、以下の性能・機能を確認し、現場適用できる見通しを得た。

No.	項目	実施内容	結果	判定	備考
1	ヘキサポッド位置決め性能	PADIRACを保持した条件でのヘキサポッドの位置決め性能データを取得し、この値が設計要求条件を満足することを評価、検討する。	搬出ポートへの接続に必要な位置精度を満足することを確認した。	合格	図1 写真1
2	メカナムホイール走行性能	以下の走行性能を確認する。 1)粗位置調整の性能(制動距離)2)スロープ走行 3)通路状況の影響(障害物、水溜り、砂他)4)カメラの視野性他	要求される走行性能を全て満足することを確認した。	合格	写真2～4
3	気密コンテナ接続試験	ドッキングテーブル、遮蔽扉開閉機構等が設計通りに作動し、気密コンテナを搬出ポートに正常に接合及び着脱ができることを確認する	気密コンテナの着脱が正常にできることを確認した。	合格	写真5
4	総合検証試験	PADIRACの装着～走行～気密コンテナの模擬ダブルドア接合・離脱～走行～PADIRAC取外しまでの一連の操作がスムーズに行えることを確認する。	一連の作業がスムーズに行えることを確認した。	合格	
5	レスキュー試験	モータ等が故障した場合の大物搬入口まで移動するレスキュー対策が行えることを確認する。	計画したレスキュー対応作業が実施可能なことを確認した。	合格	写真6
6	保守検証試験	故障した部品の交換保守作業が現場条件(放射線防護衣着用)で行えることを確認する。(代表的な部品での保守作業の検証)	代表例での検証では全て計画通りに保守できることを確認した。	合格	写真7

位置決め性能要求値

Tx= ±0.5mm　Rx= ±1°
Ty= ±1mm　Ry= ±0.17°
Tz= ±1 mm　Rz=±0.17°

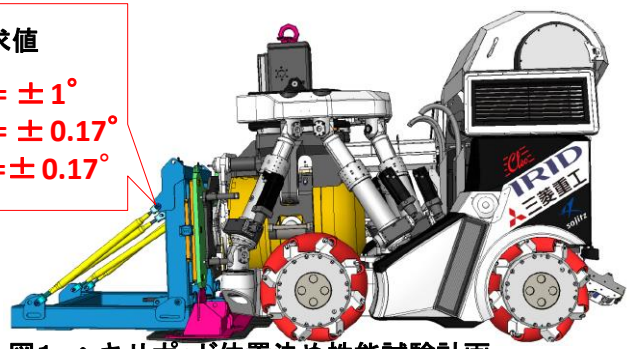


図1　ヘキサポッド位置決め性能試験計画

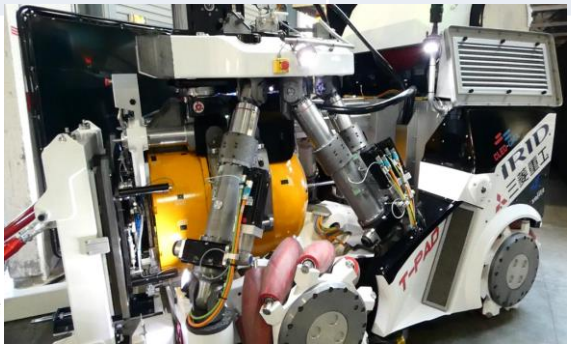


写真1　ヘキサポッド位置決め性能試験

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

R2年度開始事業

6.2 燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発

【今年度の成果 4/4】

写真2　走行試験（スロープ走行）

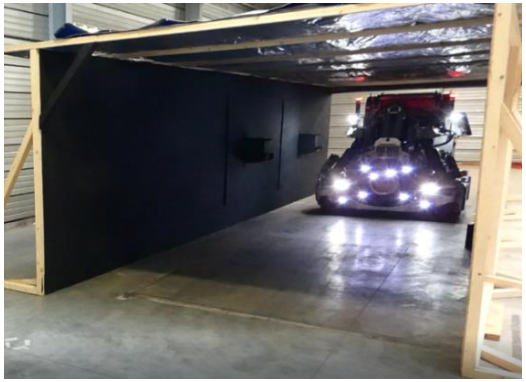


写真3　走行試験（狭隘部の走行）

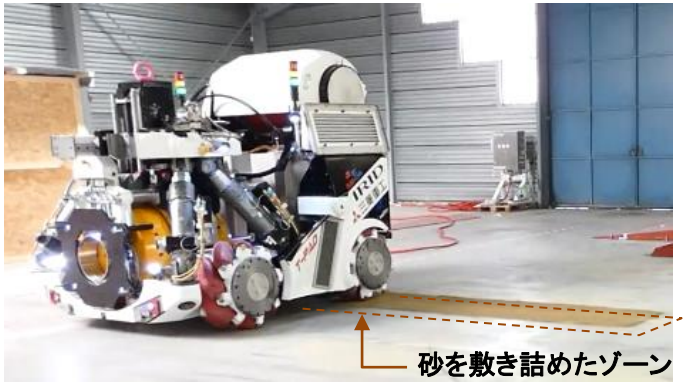


写真4　走行試験（砂上の走行）

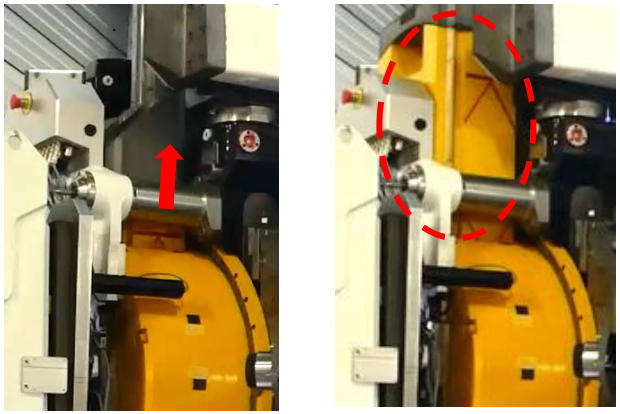


写真5　接続試験（遮へい扉の開閉）

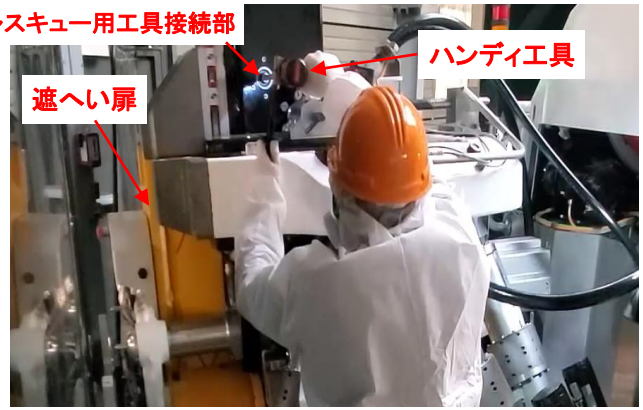


写真6　レスキュー試験（遮へい扉の閉止モータ故障時）

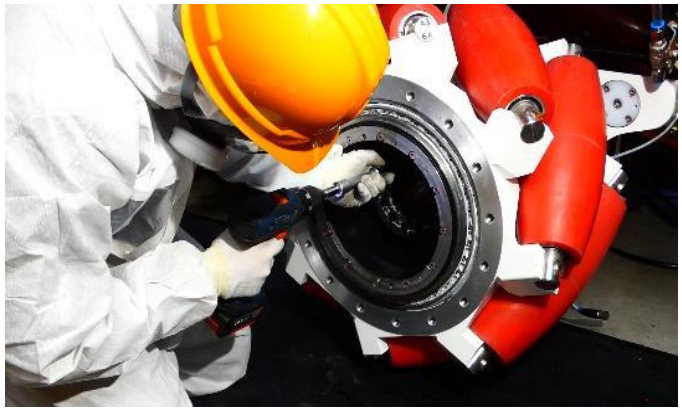


写真7　保守試験（走行モータの交換）

【課題・今後の計画】

- ✓ システム検証が課題として残っているため、令和3年度開始事業にて、国内での再確認試験及びエンクロージャとの組合せ検証試験を行う。
- ✓ 実機作業におけるメンテナンスエリアの選定と、遠隔輸送台車を原子炉建屋から搬入出する際の管理方法の検討が必要である。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

R3年度開始事業

6.3 取り出し技術の開発計画の更新

【今年度の成果 1/3】

- ✓ 2020年度までに策定した燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術（取り出し用の装置、システム等）の開発計画を更新した。
- ✓ PCV内部調査用アクセス装置の製作・組合せ試験で得られる情報を踏まえて、本事業の開発計画への反映時期、反映事項、具体的な内容を整理した。

取得予定の情報	取得時期 反映時期	開発への反映事項	具体的な実施内容・実施方法	反映状況
PCV調査用アームの動作速度	2021年11月～ 2022年1月	取り出し用アームの予想性能の見直し、速度改善の余地の検討、運用方法変更の余地の検討	取り出し用アームの重量、ギア比やモータトルクの相違点を加味して、予想性能を見直す。 予想性能が1日5往復の運用と整合しない場合、モータトルクの増強による速度改善余地を検討する。 速度改善余地が十分ではないと評価された場合、負荷荷重や往復回数の低減や操作手順の見直しによる時間短縮などの運用方法の変更余地を検討する。	以下の速度が改善要 ・キャリッジ前後進速度 ・テレスコアーム伸長速度 前者はPCV調査プロジェクトでの改善をフォローする。 後者はアーム前半部の試験結果を評価する。
PCV調査用アームの減衰特性	2021年11月～ 2022年1月	取り出し用アームの予想挙動の見直し、振動改善の余地の検討、運用方法変更の余地の検討	取り出し用アームの長さ、重量の相違点を加味して、振動に関する予想挙動を見直す。 予想されるアームの振動がX-6ペネやプラットフォーム開口の通過性に悪影響を与える場合や、先端ツールの燃料デブリ接近時の振動が100mmを超える場合には、低速運転による振動改善余地を検討する。 振動改善余地が十分ではないと評価された場合、操作手順の見直しによる振動抑制の余地を検討する。	水平は4%以上（予想通り）であった。 上下は1%未満であった。振動の静定に時間を要するためペデスタル内でのアームの着座は有用と判断される。 取得データは機構解析に今後、活用していく。
双腕マニピュレータによる外付けケーブルの付け外し作業性	2021年11月～ 2022年1月	取り出し用アームのケーブル固定構造やケーブルドラム構造の見直し、取り付け作業用の専用治具の要否の検討、外付けケーブルの改良余地の検討	双腕マニピュレータによる遠隔操作性を改善するための、ケーブル固定構造やケーブルドラム構造を見直す。 また取り付け作業を支援する専用治具の適用余地がないか検討する。また外付けケーブル自身が双腕マニピュレータで取り扱いが楽になるような改良余地がないか検討する。	検証は未完了だが、2つの課題が明らかになった。 今後、本事業において補完的な試験・開発の余地について検討する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

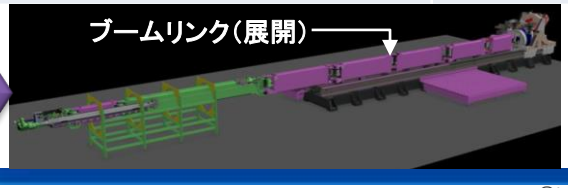
6. 実施内容

6.3 取り出し技術の開発計画の更新

【今年度の成果 2/3】

- ✓ 令和元年度開始事業、令和2年度開始事業で開発した装置の組合せ試験に関して、位置付け、確認項目、達成すべき目標を策定した。
- ✓ 「①アーム前半部と燃料デブリ切削・回収装置との組合せ試験」に向けて準備作業を開始した。

組合せ試験項目【実施場所】	位置付け	妥当性	確認項目	達成目標
①アーム前半部と燃料デブリ切削・回収装置との組合せ試験【英国】	燃料デブリ切削・回収装置および中性子モニターを目標位置に所定の姿勢で接近させるためのペデスタル内の操作に関して、方法・手順を検証する。 これまではVRシミュレーションで検討していたが、アームの加減速や剛性に起因する振動を考慮した検証が必要なものである。	テレスコアームから先のアーム前半部を用いるため、後半部の剛性に起因する振動は模擬できないが、早期(＊)に課題を把握することができる。 フルスケールのペデスタル模擬設備を用いることができる。 (＊)アーム全体の完成後では、ブームリンクのモータドライバ調整に時間を要するため、速やかに試験に移行できない。	アームの振動振幅・減衰時間 動作中のアームに取り付けられたカメラ視認性 アーム前半部(特にワンド)の操作性 所定の姿勢での目標位置接近方法	振動振幅100mm以下 減衰時間5分以内。 カメラ映像がアーム操作に支障のないこと。 アーム操作困難な作業ステップが無いこと。 周辺と衝突しないこと。 目標位置に所定の姿勢で接近できること。
②アームとX-6ペネ模擬体との組合せ試験【英国】	ブームリンクの展開とキャリッジの前進によって実施される取り出し用アームのX-6ペネ通過性を確認する。 ブームリンクが展開した状態でのテレスコアームから前半部の駆動による振動特性を確認する。	PCV調査用アームとはブームリンク構成が異なるため、取り出し用アームでも検証しておく必要がある。 X-6ペネ通過後のアームの動作はアーム前半部が関与するため、ブームリンクが展開した状態でのテレスコアーム等の前半部の駆動による振動特性を把握することで、上記①項で実施したアーム前半部の組合せ試験の結果を有効に活用できる。	X-6ペネ通過性の確認 アームたわみ量の計測 アーム展開状態でのワンド動作によるテレスコアームの振動特性	10mm以上のクリアランスを確保しながら通過できること。(振動も含む) アームたわみ量が設計想定値と同等以下。 振幅が30mm以内。



次ページに表の続き

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

6. 実施内容

6.3 取り出し技術の開発計画の更新

【今年度の成果 3/3】

✓ 前ページの表の続き

組合せ試験項目【実施場所】	位置付け	妥当性	確認項目	達成目標
③エンクロージャ(ダブルドア機構)とX-6ペネ接続構造の組合せ試験【日本】	エンクロージャを現地に据え付ける際にダブルドア機構とX-6ペネ接続構造のドッキングが設計通りに行えることを確認する。 特にダブルドア接続が行われる気密扉内の狭隘部には作業員が立ち入ることができないため、遠隔作業性に配慮したカメラ配置などを検証する。	エンクロージャ内にはダミーアーム等を設置しておくことで、重量模擬を行う。従って、模擬性は確保される。	据付時の偏芯量 ドッキング時のクランプトルク 停止位置精度 カメラ視野	許容偏芯量以内。 モータ設計トルク以下。 許容寸法以内。 レーザポインタが視認できること。
④エンクロージャと遠隔輸送台車の組合せ試験【日本】	エンクロージャに燃料デブリ収納容器(PADIRAC)をドッキングする作業の検証、および故障時のレスキュー方法の検証を行う。	エンクロージャ周辺の干渉物を模擬することで、模擬性は確保される。	両者のドッキング操作 レスキュー時の作業性	問題なくドッキングできること。 レスキューできること。
⑤双腕マニピュレータとダブルドア機構模擬体の組合せ試験【日本】	レスキューインターフェースを備えたダブルドア機構の模擬体を双腕マニピュレータの検証試験に用いている模擬エンクロージャに配置し、双腕マニピュレータおよび専用補助具によるダブルドア機構の復旧操作ができることを確認する。	双腕マニピュレータとダブルドア機構模擬体の相対位置や干渉物、レスキューインターフェースの形状・必要トルクを模擬できるようにする。従って、模擬性は確保される。	カメラの視認性 双腕マニピュレータの腕のアクセス性 専用治具の有効性	専用治具の操作およびダブルドアの可動状況が観察できること。 専用治具を設置できること。 回転トルクを双腕マニピュレータの腕で支持できること。
⑥双腕マニピュレータとケーブル遠隔脱着機構の組合せ試験【日本】	双腕マニピュレータの検証試験に用いている模擬エンクロージャ内で、双腕マニピュレータのケーブル脱着機構の動作確認を行う。双腕マニピュレータ、その専用台車およびそのレールを組み合わせた状態で試験を行う。	エンクロージャ内の干渉物を模擬することで、模擬性は確保される。双腕マニピュレータの遠隔輸送設備(装置回収ボックス)は模擬しないが、遠隔脱着機構は装置回収ボックスの有無に関わらず双腕マニピュレータのメンテナンスに活用できる技術であり、早期に課題を把握することは有効。	電気接続性 アクチュエータの駆動力 ブレーキの駆動力	すべての端子で電気的接続ができること。 アクチュエータ、ブレーキの駆動力が十分であること。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

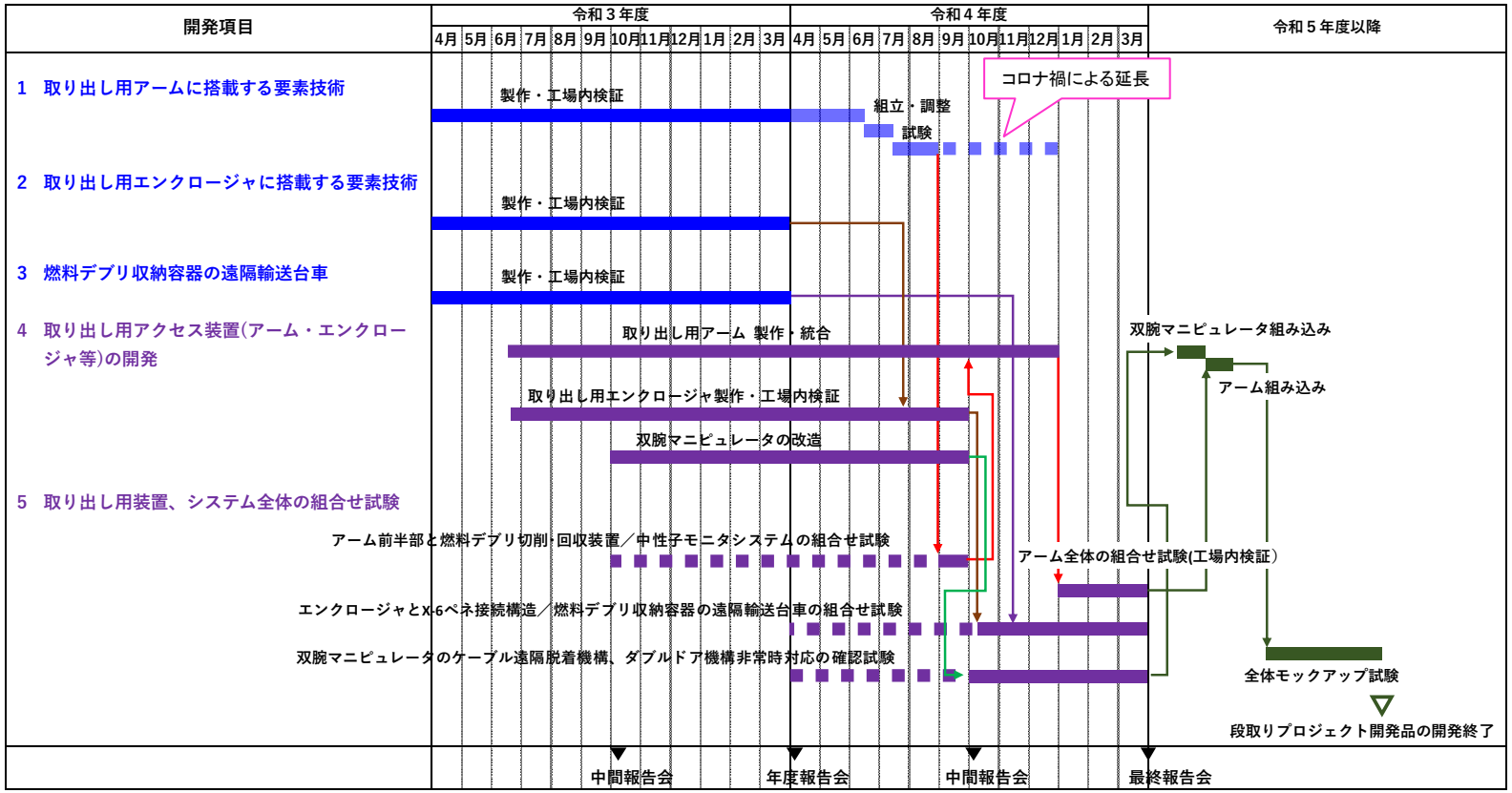
R3年度開始事業

6. 実施内容

6.3 取り出し技術の開発計画の更新

【課題】

- ✓ アーム前半部の延長によって、取り出し用アーム開発工程が遅延しないようにする必要がある。
- ✓ 全体モックアップ試験による検証について、本プロジェクト後の実施を検討する必要がある。



【今後の計画】

- ✓ 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術（取り出し用の装置、システム等）の開発計画を必要に応じて更新する。
- ✓ 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出しに係るシナリオへの最新知見等の反映・更新を行う。

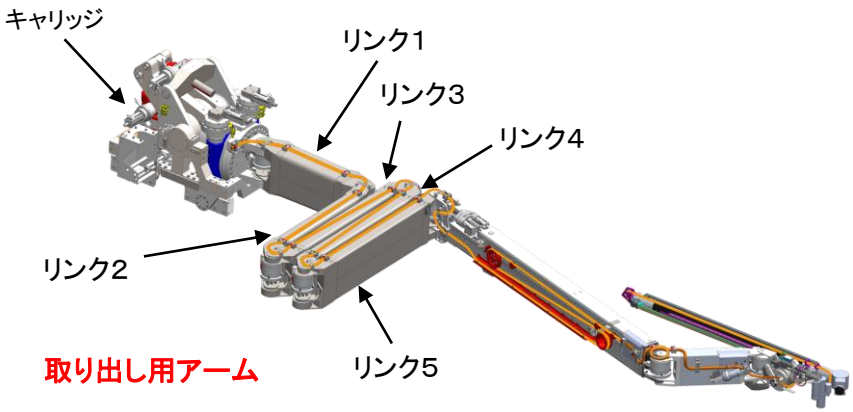
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

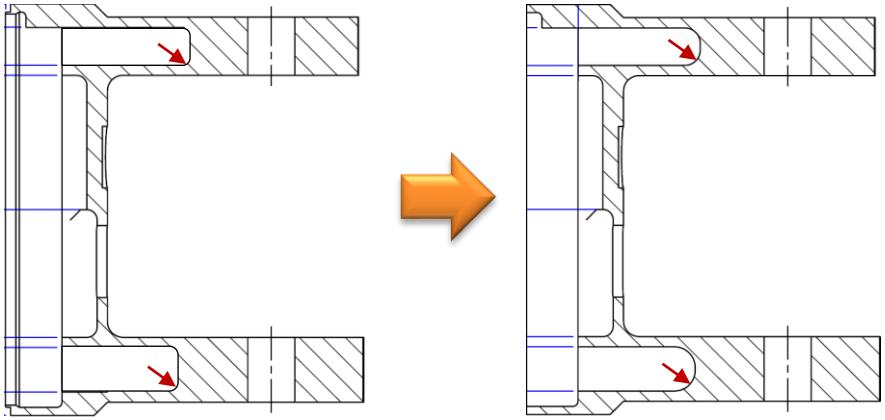
6. 実施内容

6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

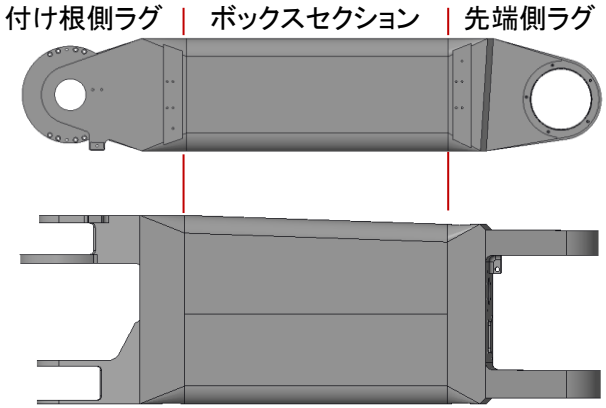
6.4.1 取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発

【今年度の成果（アーム）1/2】
- ✓ ブームリンク1～5を国内にて製作中。
- ✓ ブームリンクの製作図を改訂し、製作性改善を図った。

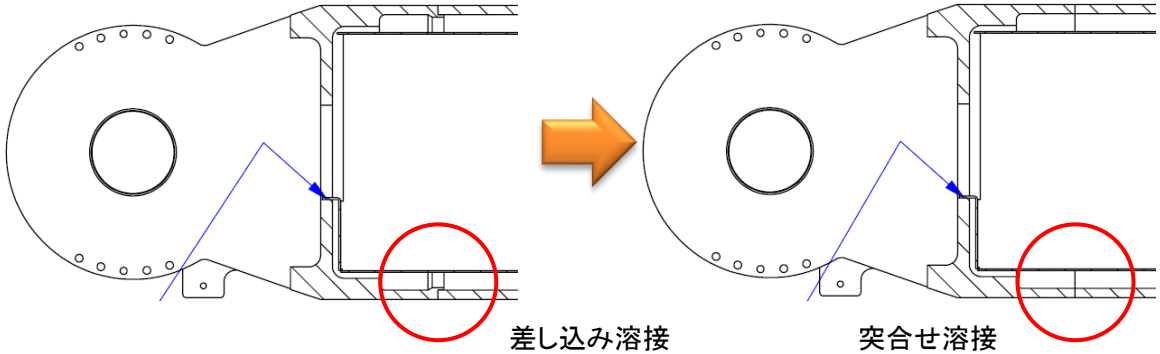




ラグ内部ざぐり部分の角部半径拡大による切削効率向上



ブームリンク1の構造



ラグとボックスセクションの溶接方法の改良

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

6. 実施内容

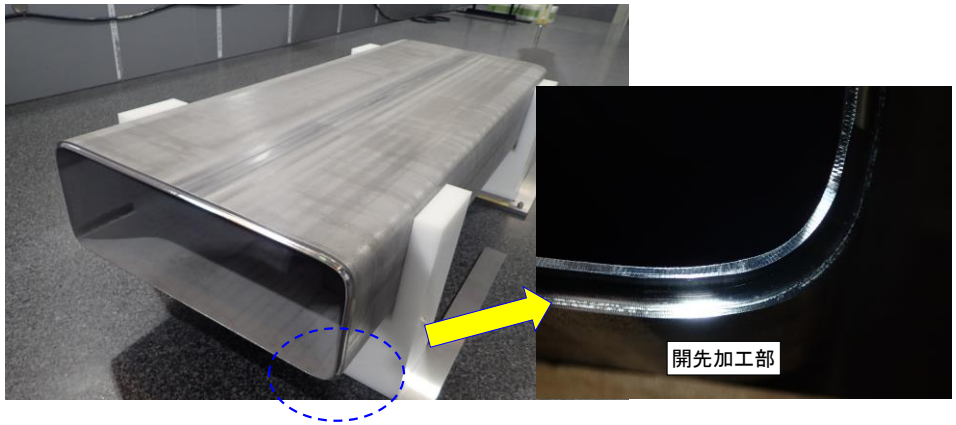
6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

6.4.1 取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発

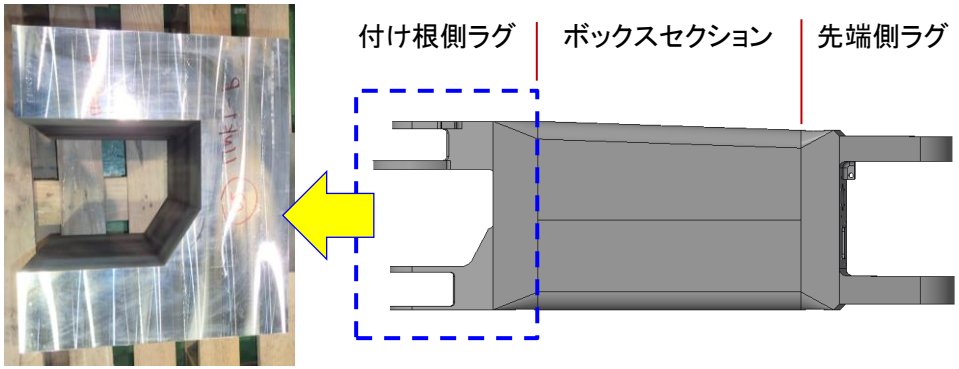
【今年度の成果（アーム）2/2】

✓ 国内ではブームリンクの材料手配を完了し、加工に着手した。

✓ 英国VNS社ではキャリッジなどの長納期品の手配に向けて準備を開始した。



リンク2のボックスセクション加工状況



リンク1の付け根側ラグの加工状況

【課題（アーム）】

✓ 水平オフセットリンク製造の経験から得られた改善点（熱処理時の変形防止）を反映する必要がある。

✓ 全体工程をキープできるよう、酸洗浄などの時間を要するプロセスを簡略しつつ、品質を確保する必要がある。

【今後の計画（アーム）】

✓ アーム後半部の部品を英国VNS社に支給して全体組み立てを行い、アーム前半部やエンクロージャと組み合わせて、取り出し装置全体としての機能確認を行う。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6. 実施内容

R3年度開始事業

6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

6.4.1 取り出し用アクセス装置（アーム・エンクロージャ等）の開発

【今年度の成果（エンクロージャ）】

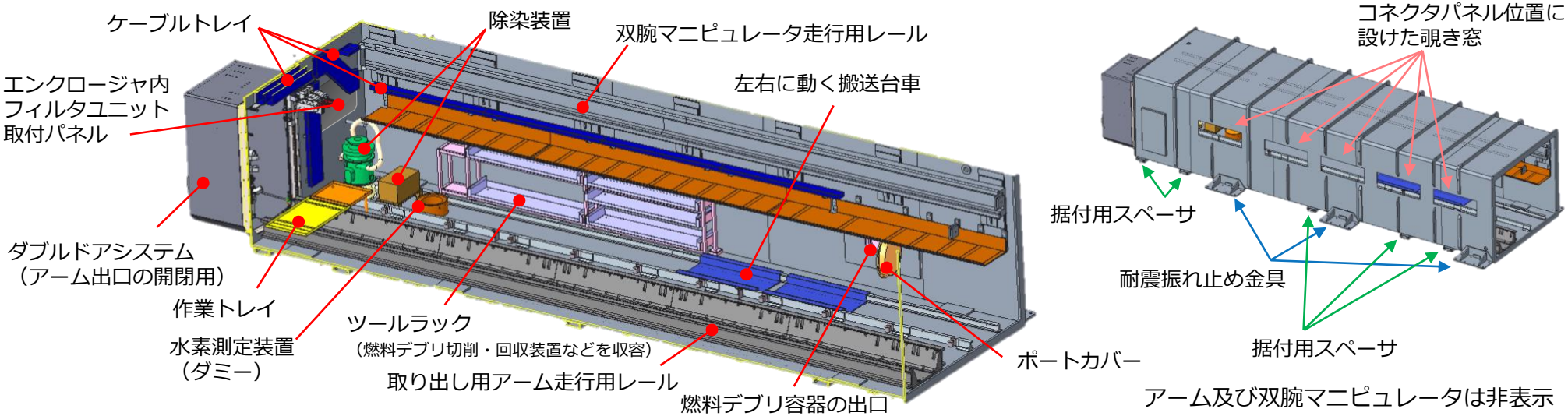
- ✓ 検証試験用エンクロージャの製作に向けて製作図面を整備した。（本体及び付属機器類）
- ✓ 部材手配に着手した。（バウンダリ部の主要部材、内装品に使用するSUS材 他。）
- ✓ 双腕マニピュレータの改造としてケーブル遠隔着脱機構の製作に着手した。

【課題（エンクロージャ）】

エンクロージャ内への据付の際、ダブルドアシステムと取り出し用アーム走行用レールの位置関係について、基準面をどのように設定することで精度要求を満たすことができるか検討する必要がある。

【今後の計画（エンクロージャ）】

製作完了後、ダブルドアシステムを組込み、X-6ペネ接続構造や遠隔輸送台車との組合せ試験を行う。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

6. 実施内容

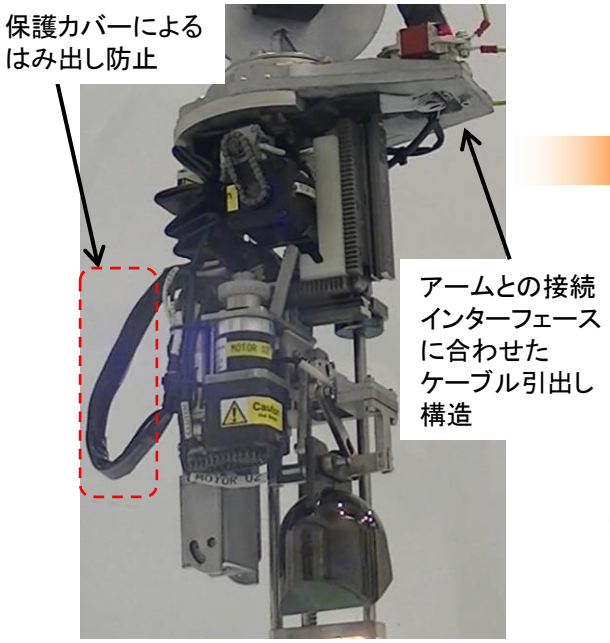
6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験

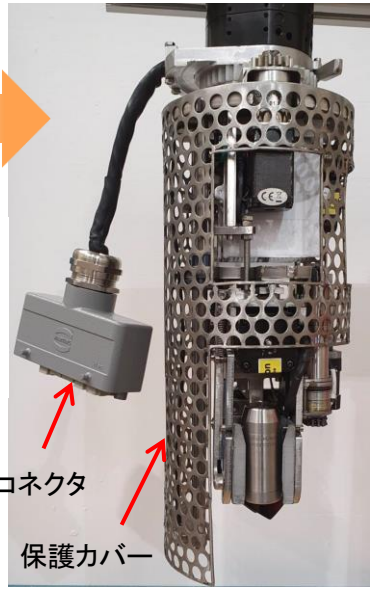
【今年度の成果(バケット型デブリ回収装置)】

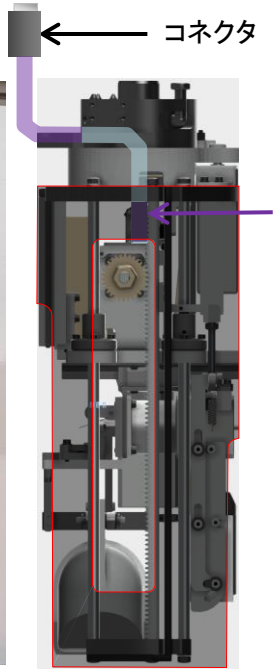
- ✓ アーム前半部との組合せ試験準備として、バケット型デブリ回収装置のケーブルの取り回しを検討し、外側にケーブルをはみ出さない設計とした。
- ✓ 狭隘部通過時の干渉リスク防止のために、保護カバーの設置検討をした。
- ✓ 上記の設計に基づいて装置の構造を改良した。

令和元年度開始事業で開発した装置外観

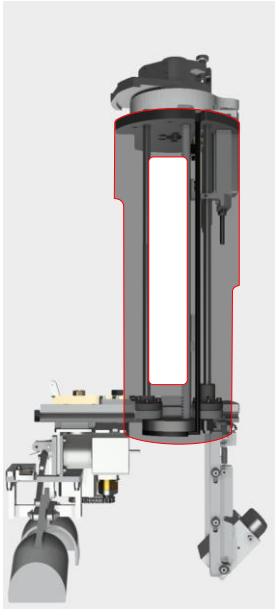


試験に向けた準備状況





X-6ペネ通過時の姿勢



展開時の姿勢

保護カバーの設置検討

【課題(バケット型デブリ回収装置)】

- ✓ アームと組合わせたときの燃料デブリへのアプローチシナリオの検証を行う必要がある。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

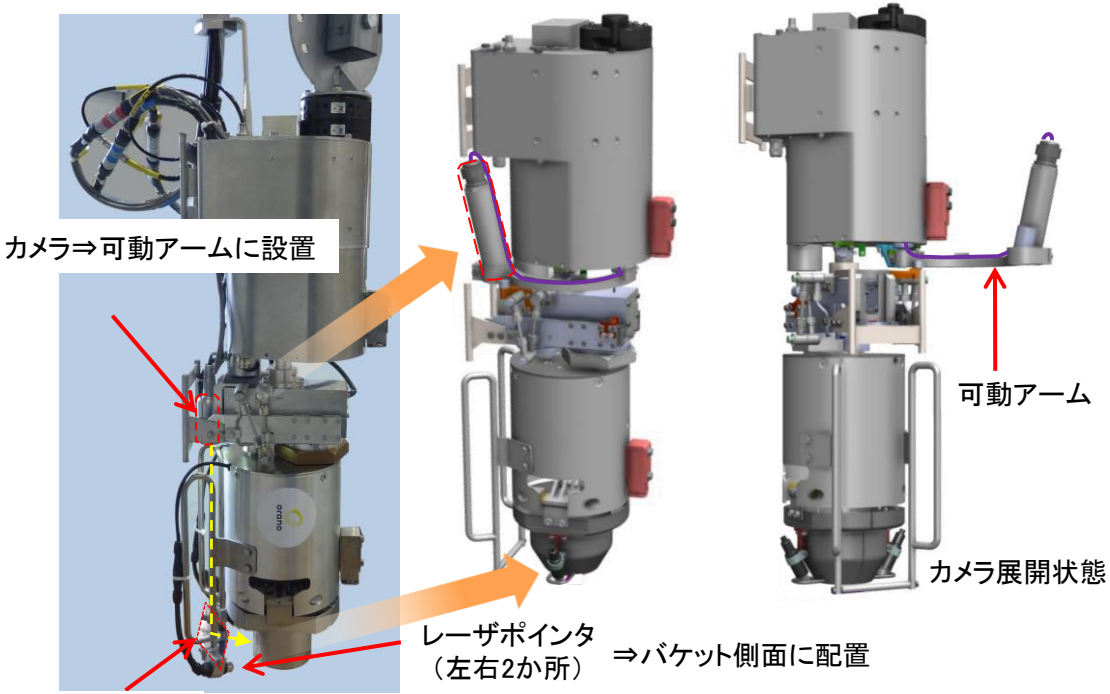
6. 実施内容

6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

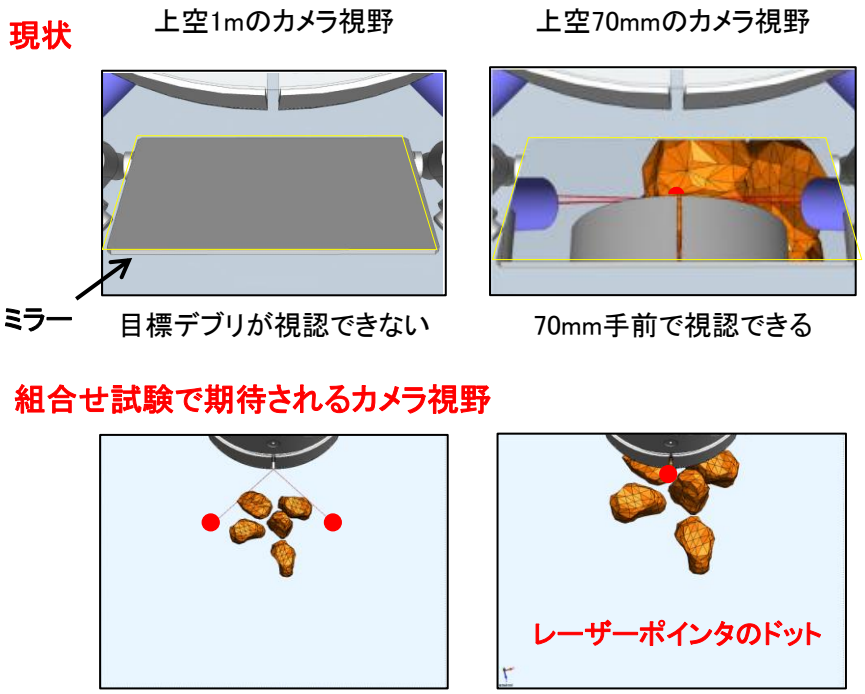
6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験

【今年度の成果(フレキシブルグリッパ型デブリ回収装置)】

✓ アーム前半部との組合せ試験準備として、フレキシブルグリッパ型デブリ回収装置の燃料デブリアプローチ時の視認性向上のために、カメラを外側に展開して視野を確保する設計とした。



カメラ位置変更の検討



カメラ視野確認結果

【課題(フレキシブルグリッパ型デブリ回収装置)】

✓ アームと組合わせたときの燃料デブリへのアプローチシナリオの検証を行う必要がある。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

R3年度開始事業

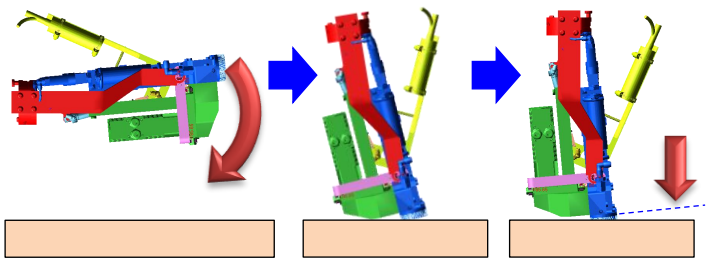
6. 実施内容

6.4 取り出しのための装置の開発と組合せ試験

6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験

【今年度の成果(切削粉状デブリ回収装置)】

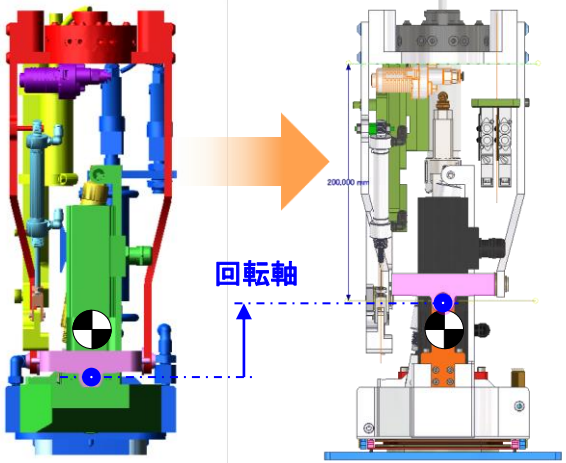
✓ アーム前半部との組合せ試験準備として、プラットフォーム上の燃料デブリのアクセス性確保のために、ジンバル機構の設計を見直した。



回転軸の位置が重心より下にあるため、傾いたままの姿勢で対象デブリにアプローチしてしまう。
強い力で押し付けないと切削チャンバを立て起こせない。

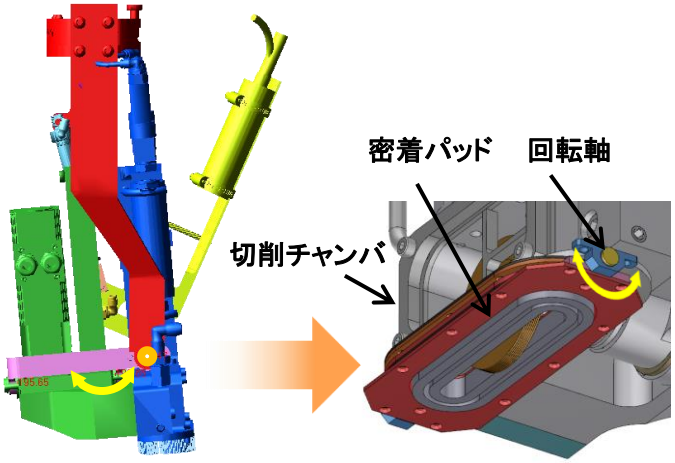
アプローチの課題

改良前の構造　　試験に向けた準備状況



回転軸を重心より上に移動

改良前の構造　　試験に向けた準備状況



切削方向の回転ジンバルを
切削チャンバと一体化

【課題(切削粉状デブリ回収装置)】

✓ プラットフォームの梁にアクセスする際の燃料デブリアプローチシナリオの検証を行う必要がある。

✓ アームと組合わせたときの押しつけと切削性の検証を行う必要がある。

【今後の計画(バケット型デブリ回収装置、フレキシブルグリッパ型デブリ回収装置、切削粉状デブリ回収装置)】

✓ 検討に基づいて、組合せ試験の準備として装置の修正を実施していく。

✓ アーム前半部との組合せ試験でアプローチシナリオの検証、アームの挙動、デブリ回収性能を確認する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

7. まとめと今後の対応

R2年度開始事業 | R3年度開始事業

令和3年度の実施範囲に関するまとめと今後の対応は以下の通り。

No.	実施項目		令和3年度の実施範囲のまとめ	今後の対応
6.1	燃料デブリ取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の要素技術開発・設計	6.1.1 取り出し用アームに搭載する要素技術	• 水平オフセット機構、テレスコ、ワンド等のアーム前半部の試作機の製作を継続中。 • 試作機の工場内検証試験の計画を策定し、試験用設備の準備を完了。	アーム前半部の製作を完了させ、工場内検証試験にて試作機の性能を確認する。
		6.1.2 取り出し用エンクロージャに搭載する要素技術	• ダブルドアシステム試作機の製作を完了。 • 試作機の工場内検証試験にて連結機能、気密性能、故障時の復旧方法が適切であることを確認。	装置を日本へ輸送し、エンクロージャへ組み込み、X-6ペネ接続構造との組み合わせ試験等を実施してシステム検証を行う。
6.2	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車の開発	燃料デブリ収納容器の遠隔輸送台車	• 遠隔輸送台車の試作機の製作を完了。 • 試作機の工場内検証試験にて燃料デブリ収納容器の移送作業が行えることや、遠隔輸送台車の性能およびメンテナンス方法が適切であることを確認。	装置を日本へ輸送し、国内での再確認試験及びエンクロージャとの組合せ検証試験を行う。
6.3	取り出し技術の開発計画の更新		• 開発計画の更新し、PCV内部詳細調査アームの検証試験結果を本開発計画に反映するタイミング・着眼点の検討、および各種開発装置の組み合わせ検証試験内容の検討を実施。	開発計画は必要に応じて更新する。 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出しに係るシナリオへの最新知見等の反映・更新を行う。
6.4	取り出しのための装置の開発と組合せ試験	6.4.1 取り出し用アクセス装置(アーム・エンクロージャ等)の開発	• アーム根元部分の設計および製作とアーム前半部との統合を継続中 • エンクロージャの設計を完了し、製作を継続中	アクセス装置完成後に工場内検証試験を行う。 エンクロージャ完成後に、ダブルドアシステムを組込み、X-6ペネ接続構造や遠隔輸送台車との組合せ試験を行う。
		6.4.2 取り出し用アクセス装置と他の装置、システムとの組合せ試験	• 組合せ試験の試験計画検討を継続中 • 組合せ試験に向けた準備作業を継続中	組合せ試験の準備として装置の修正を実施していく。 アーム前半部との組合せ試験でアプローチシナリオの検証、アームの挙動、デブリ回収性能を確認する。

黒文字:机上検討　青文字:試験　赤文字:モノづくり

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning