

TOSHIBA

令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業
（原子炉圧力容器内部調査技術の開発
（既存配管を利用しての原子炉圧力容器内部調査の技術開発））」

中間報告 （令和4年度実施分成果）

東芝エネルギーシステムズ株式会社

2023年9月

目次

1. 補助事業の概要

- 1.1 研究の背景と目的
- 1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連
- 1.3 スケジュールと実施体制図
- 1.4 全体開発フロー

2. 実施内容

- 2.1 既存配管ルートを選定
- 2.2 調査計画の策定
- 2.3 装置類の開発計画の策定

3. まとめと今後の課題

1. 補助事業の概要

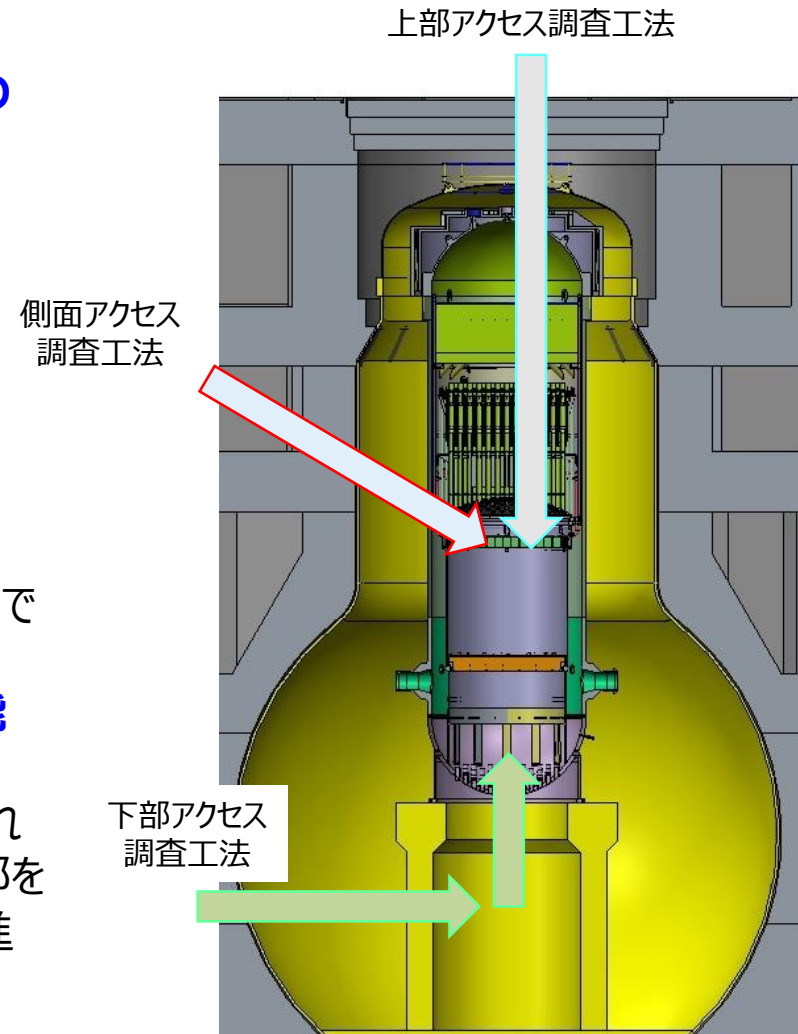
1.1 研究の背景と目的

【略語補足】

RPV：原子炉圧力容器

■ 背景（1/2）

- 燃料デブリ取り出し工法を検討する上で、**炉内の情報取得が必要とされている。**
- RPV内部調査工法として、これまでに
 - 上部から炉心にアクセスする工法（上部アクセス調査工法）
 - 側面から炉心にアクセスする工法（側面アクセス調査工法）の実機適用性が検討されてきた。
- 一方、上記の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る。
- よって、**早期にRPV内部調査を実施できる可能性のある工法の開発**を進めることも重要である。
- 2020年度からは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、内部を調査する下部アクセス調査工法の概念検討を進めている。



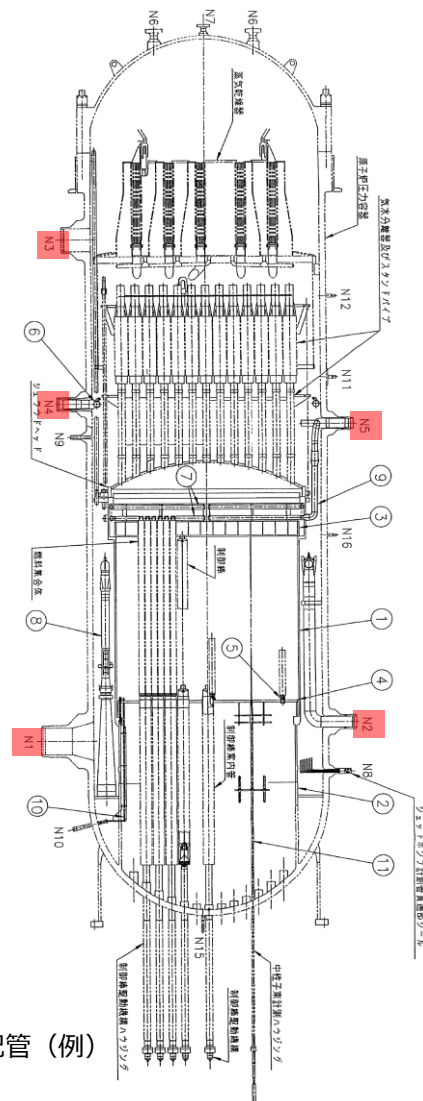
背景①：現在研究する工法よりも早期にRPV内にアクセスするための研究も重要

1. 補助事業の概要

1.1 研究の背景と目的

■ 背景 (2/2)

- 炉心部の上方から早期にRPV内部調査を実施できる可能性のある工法としては、既設配管を利用してRPV内にカメラを挿入して内部の調査を行うことが考えられ、東京電力HDでは小型の調査装置を用いた小口径配管（計装配管等）からの調査の検討を進めている。
- より大口径の配管へ適用するためには、
 - 配管の途中にある逆止弁やティ等の閉塞部を穿孔等して、調査装置を通過させる
 - 鉛直配管部の上方に調査装置を移動させるなどの課題が抽出されている。



■ 大口径配管 (例)

背景②：大口径配管から調査する技術が求められているが、配管内移動に課題あり

1. 補助事業の概要

1.1 研究の背景と目的

■ 開発スコープとなる要素技術の特定

- 本事業は、作業員を含めた様々なヒト・モノの集合体である「RPV内部調査の全体システム」を完成させる過程となる。
- **ゴール明確化のため、本事業の開発スコープの詳細を以下のように整理した。**

【公募要領が定義する開発キーワード】

“...本事業では、既存配管を利用したR P V内部調査技術の開発として、適用可能な既設配管ルートと**調査装置**（耐放射線性カメラ等）を検討した上で、既設配管内を通過・移動させてR P V内まで**調査装置を到達させるために必要となる装置類等の技術開発**を行い、工場内試験にて現場適用性の見通しを確認します。...”



開発キーワード：調査装置（+ 調査装置をRPV内に到達させる装置）



【本事業の開発スコープとなる要素技術】
ルート構築技術・配管内移動技術・炉内状況確認技術

■ 本事業の目的

- **本事業では、既存配管を利用したRPV内部調査技術の開発として以下を目的とする。**
 - 適用可能な既設配管ルートと調査装置を検討
 - RPV内まで調査装置を到達させるために必要となる装置類等の技術開発を実施。工場内試験にて現場適用性の見通しを確認。

調査装置（主にカメラ）をRPV内まで到達させる要素技術の開発を行う

1. 補助事業の概要

1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

■ 実施項目

(1) 既設配管を利用したR P V内部調査計画と装置類の開発計画の策定

- 適用可能な**既設配管ルートを検討**し、作業の制約条件（線量、作業環境、干渉物の有無、等）を考慮した上で、現場での既設配管へのアクセスおよび作業の実現可能性を検討する。
- 調査装置の機能要求、制約、R P V内部の調査可能な範囲等も確認した上で、**調査計画を策定**する。
- 調査に必要となる装置類の要求機能を検討し、それらの**開発計画を策定**する。

(2) 既存配管を利用したR P V内部調査技術に関する装置類の開発

- 上記（1）で策定した開発計画に基づき、**調査に適用性が高いと評価**された方法に必要な装置類を試作する。
- 既設配管への調査装置を適用して調査する方法を模擬した**工場内試験**でその**現場適用性**を確認する。

2022年度は実施項目（1）に取り組む

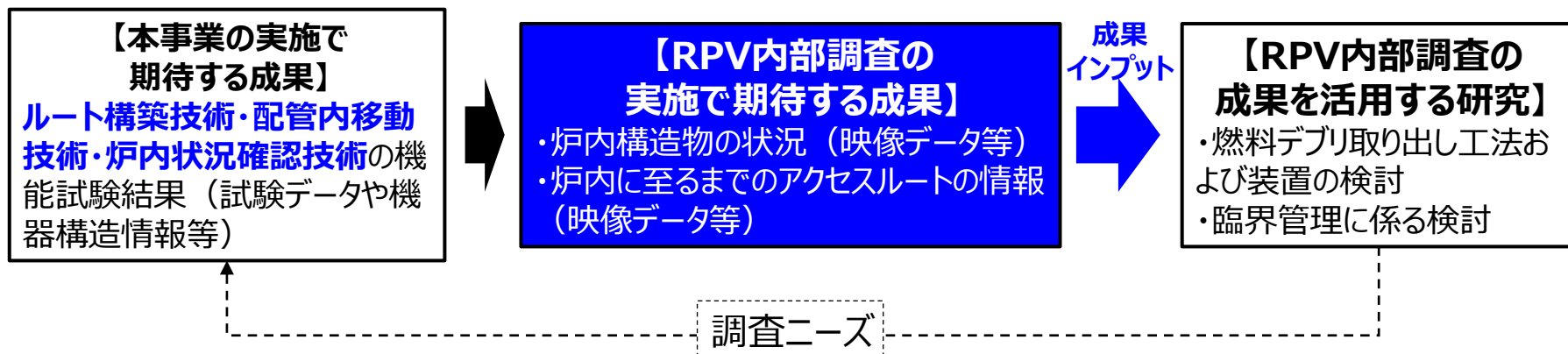
1. 補助事業の概要

1.2 実施項目、TRLおよび他研究との関連

■ TRL

実施項目	目指す効果	TRL定義
(1)既設配管を利用したR P V内部調査計画と装置類の開発計画の策定	(計画の策定は開発項目と異なるため、TRLは設定しない。)	---
(2)既存配管を利用したR P V内部調査技術に関する装置類の開発	開発、エンジニアリングのプロセスとして、既存配管からのアクセス調査工法について、RPV内部へアクセスするための各種装置について、 試作レベルの機能試験を実施する段階 に到達していること。 (終了時目標T R L :レベル4)	開発、エンジニアリングのプロセスとして、試作レベルの機能試験を実施する段階

■ 他研究との関連



1. 補助事業の概要

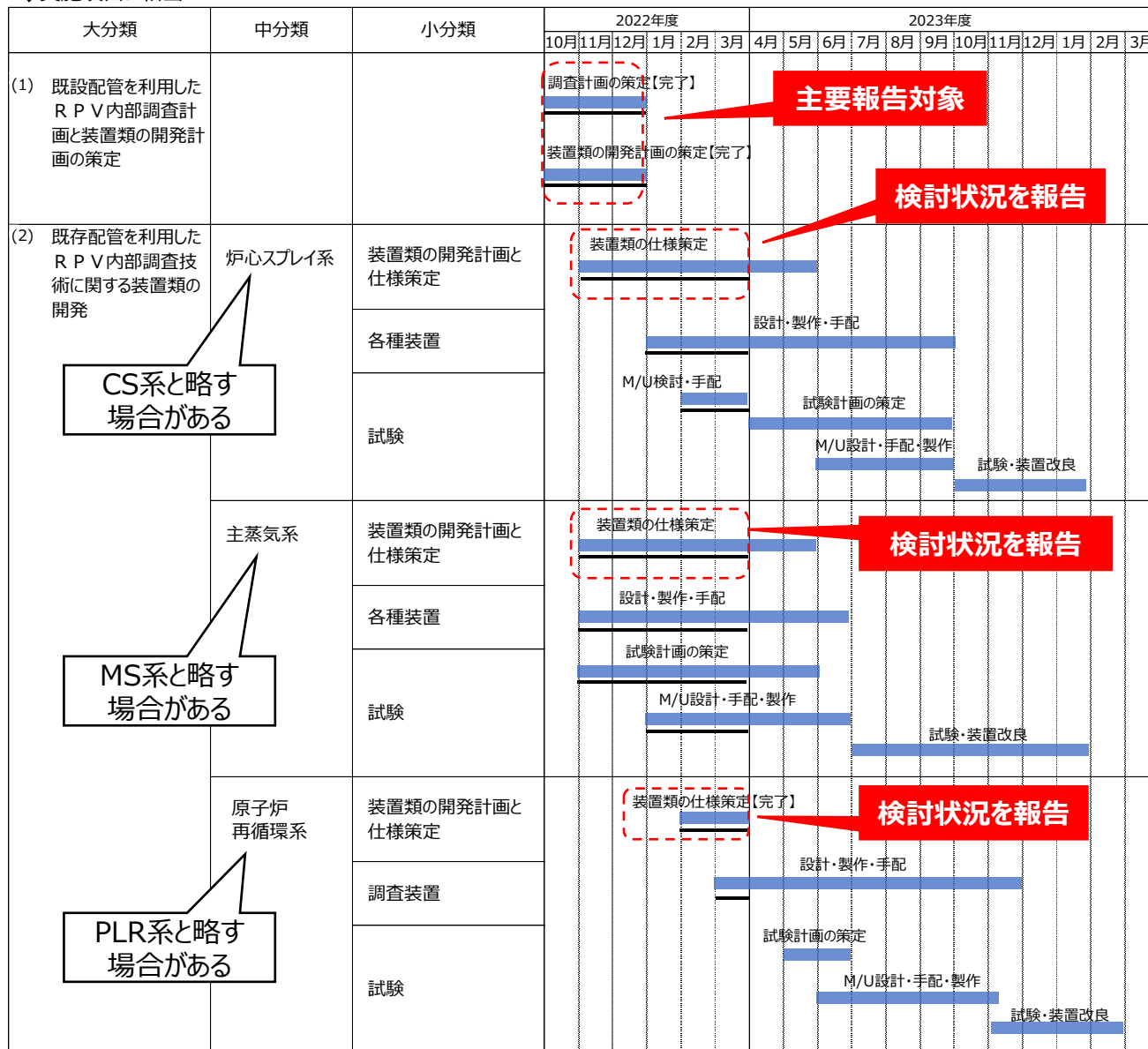
1.3 スケジュールと実施体制図

■ : 計画
■ : 実績

■ スケジュール

- 2022年度は右図のうち、大分類(1)を主に実施し、計画通りに全て完了した。
- 大分類(2)については、2023年度も継続実施する。本中間報告では検討状況の一部を説明する。

↓ 実施項目に相当



CS系と略す
場合がある

MS系と略す
場合がある

PLR系と略す
場合がある

主要報告対象

検討状況を報告

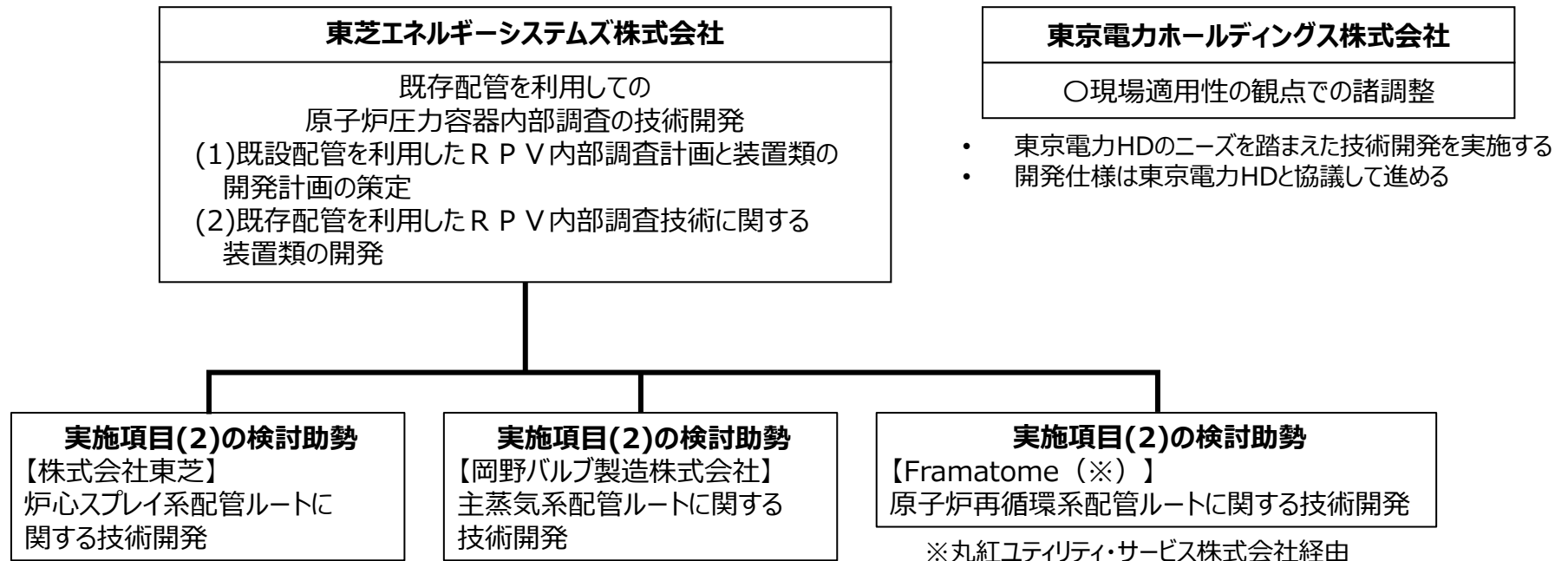
検討状況を報告

検討状況を報告

1. 補助事業の概要

1.3 スケジュールと実施体制図

■ 実施体制図



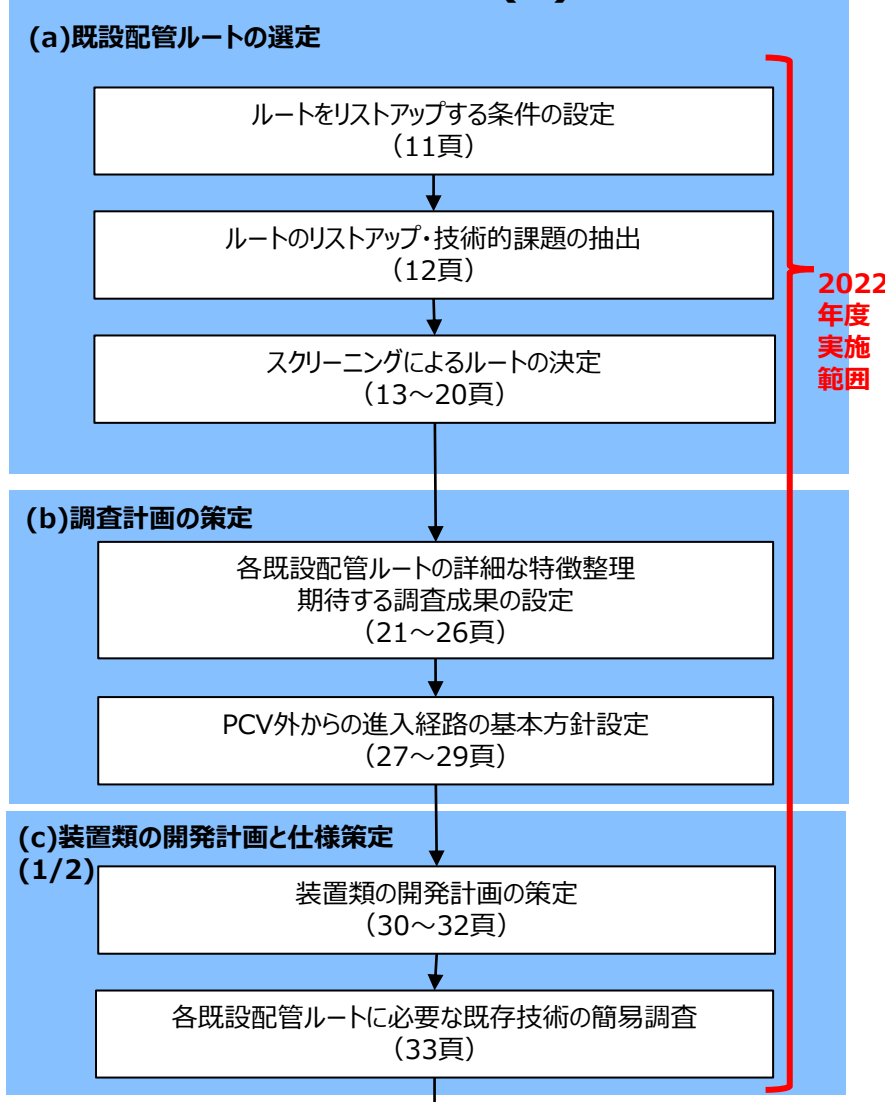
1. 補助事業の概要

1.4 全体開発フロー

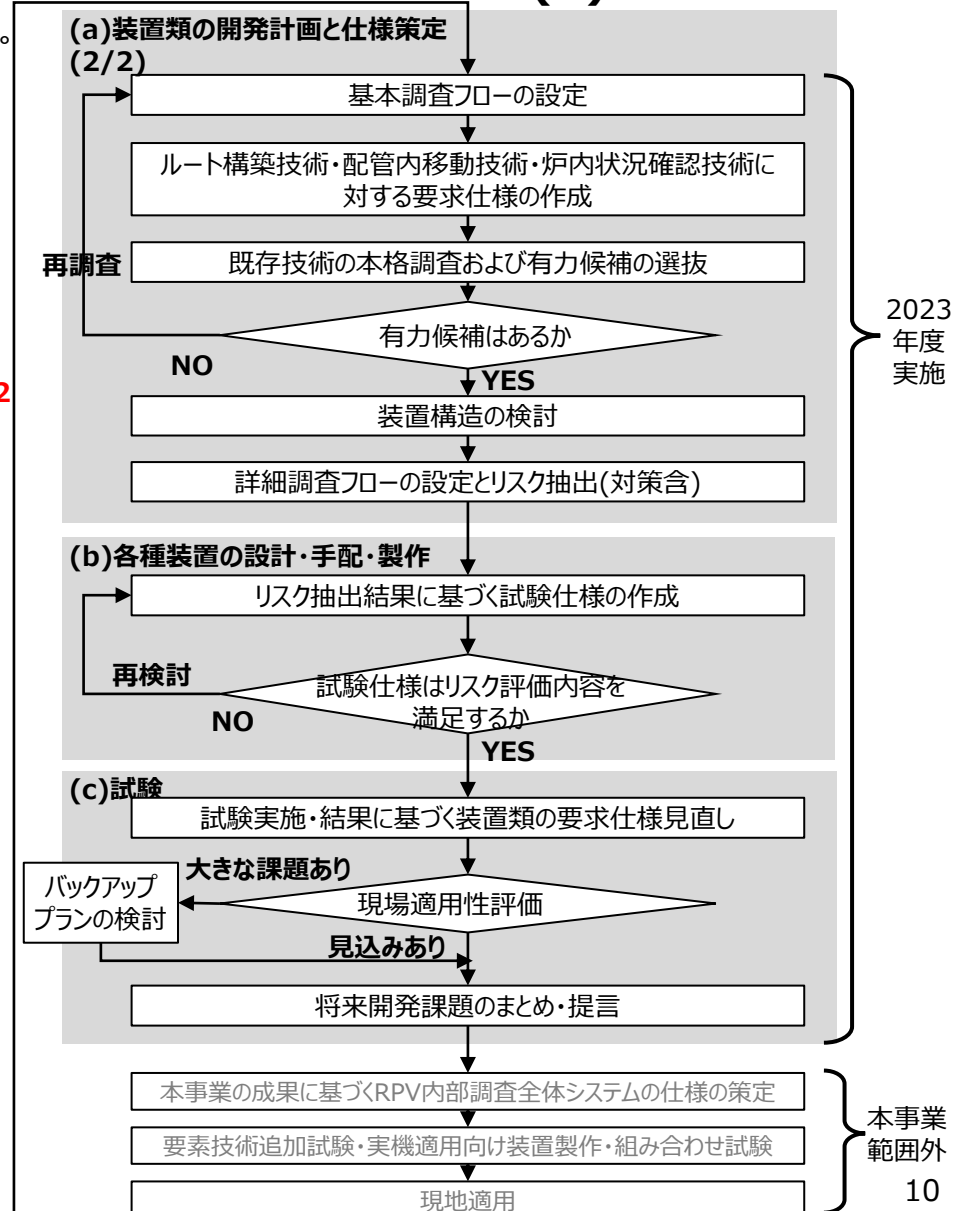
■ 現地適用に至るまでの全体開発フロー

本事業を起点とした、将来開発・現地適用までの開発フローを示す。

実施項目(1)



実施項目(2)



2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■ ルートをリストアップする条件の設定

既設配管ルートをリストアップするための条件を以下のように設定した。RPV内部調査の目的を詳細化した上で、条件を設定した。

【調査の目的・他のアクセス調査工法との棲み分け】

- 既設配管ルートを利用する場合、到達できるのはアニュラス部等の炉心の外側である。炉心への到達には、シュラウド等の炉内構造物の穴開けが必要となる。
- 炉心へアクセスする工法は、上部アクセス調査工法、側面アクセス調査工法にて検討されている。
- 本事業では、炉内構造物の外観、据付状態などに代表される震災前の状況との差分を確認できるような映像を得ることを目的とする。**

【リストアップ対象にする既設配管ルート】

- 配管内で調査装置（内視鏡等）を移動させる手段として、「調査装置を押し込む方式」、「クローラ等で搬送する自走式」に大別される。
- 本事業では、**自走式が適用可能な配管径を125A以上とし、大口径配管と呼ぶ**。それ以下の配管（100A以下）は小口径配管と呼ぶ。
- 小口径配管を利用するルートは、東京電力HDにて小型の調査装置（内視鏡）を押し込む方式での調査検討がされているため、本事業では、**125A以上の既存の大口径配管**を検討対象にする。
- なお、分岐等があるルートで100A以下の配管と125A以上の配管が混在する場合も、配管径は最低125A以上を検討対象とする。

**他のアクセス工法との棲み分け：炉心外側から震災前状況との差分を確認
対象ルート：配管径125A以上**

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■ ルートのリストアップ・技術的課題の抽出

【リストアップ結果】

119ルートを一覧アップした。

【技術的課題の抽出】

119ルートに対して、構造的な特徴を整理し、技術的課題を整理した。以下に主要な課題を示す。

閉弁（MO弁、AO弁、MSIVなど仕切弁、逆止弁）通過のための弁体加工が必要

- MO弁や仕切弁は「閉」状態のものもあり、調査装置を通過させるためには切断や穿孔等の加工作業が必要。あるいは押し広げてその状態を維持する方法が必要。
- 配管内での加工になるため、加工ツールの小型化が前提となる。

PCV外にて玉型弁等の撤去が必要

- 複雑形状の弁のため撤去が基本となる。有人作業の場合は環境改善や作業場所の確保が必要。

オリフィスを含む口径変化への対応が必要

- 配管口径は一律でないものも存在し、変化に追従しながら調査装置を移送する方法が必要。

ルート分岐への対応が必要

- ライザ管、ティ等の分岐や玉型弁がある場合、移動方向を選択できる方法が必要。円形配管の場合、装置の可動域が限定されるため、例えばクローラの場合には旋回などが困難な場合がある。

装置が進入するための配管加工が必要

- ペネトレーションから進入できない場合、バウンダリを維持しつつ、調査装置が配管内に進入するための加工作業が必要。 ※ペネトレーション：PCV内に通じる既設貫通孔
- PCV外での作業が基本になるため、機器設置スペースや作業スペースの確保が必要。

【略語補足】

MO弁：電動駆動弁

AO弁：空気駆動弁

MSIV：主蒸気隔離弁

PCV：原子炉格納容器

技術的課題の内容を踏まえてルートを選定を行なう（次頁）

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■スクリーニングによるルート決定

- ルートの選定は二段階のスクリーニングで実施する。
- 評価方法を以下に示す。

【1次スクリーニング】

RPV内部へのアクセス難易度の確認：

ルートのリストアップ時に抽出した技術課題を踏まえて、RPV内へのアクセス難易度を評価する。

※ 各ルート毎のRPV内部の調査可能範囲については、何れのルートも炉心外側であり、炉内構造物の据付状態を外観で確認できる点で、大きな相違はないため、評価対象外とした。

【2次スクリーニング】

1次スクリーニングで選定したルートが、現場状況の観点で適用可能か評価する。

1次スクリーニング：RPV内へのアクセス難易度で評価

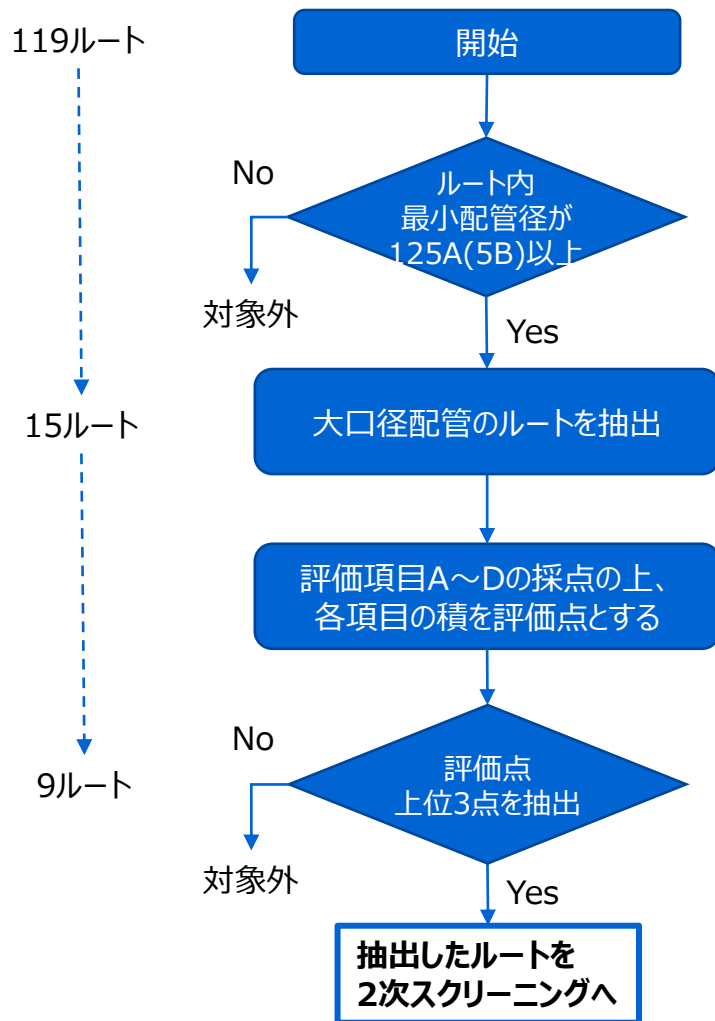
2次スクリーニング：現場適用性の観点で評価

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■スクリーニングによるルート決定

- 1次スクリーニングの評価手順を以下に示す。



【難易度評価点】

- ・1点：現状の保有技術で対応可能
- ・2点：1年間程度の期間での検討・開発で対応可能
- ・3点：3～4年間程度の期間での検討・開発で対応可能
- ・9点：技術的難易度が非常に高く、長期間の検討・開発が必要



評価A：ルート上の障害物の有無

例：閉弁（MO弁、AO弁、MSIVなど仕切弁、逆止弁）

- A-1：配管内に障害物がない（1点）
- A-2：配管内に障害物が1つある（2点）
- A-3：配管内に障害物が2つ以上ある（3点）

評価B：ルート内の形状変化の有無

例：異径配管、レデューサ、オリフィス

- B-1：配管口径の変化がない（1点）
- B-2：配管口径の変化が1つある（2点）
- B-3：配管口径の変化が2つ以上ある（3点）
- B-4：ジェットポンプエルボのノズル部分がある（9点）

評価C：ルート上の分岐の有無

- C-1：分岐がない（1点）
- C-2：分岐が1つある（2点）
- C-3：分岐が2つ以上ある（3点）

評価D：炉内観察のための追加工の有無

例：給水スパージャノズル、炉心スプレイスパージャノズルの穿孔

- D-1：加工対象がない（1点）
- D-2：加工対象が1つある（2点）
- D-3：加工対象が2つ以上ある（3点）

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

※ペネトレーション：PCV内に通じる既設貫通孔

■スクリーニングによるルート決定

- 1次スクリーニングによる抽出結果（難易度評価の総合得点が低いもの）を以下に示す。

評価A×評価B×評価C×評価D

	系統	ノズル番号	可観察対象	PCVペネトレーション			配管径	1次スクリーニング（詳細14頁）の難易度評価点				
				番号	接続系統	作業場所		難易度評価の総合得点	評価A	評価B	評価C	評価D
1	炉心スプレイ (CS)系	N5A	【ヘッドからアニュラスへ】 シュラウドヘッド CS配管	X-16A	炉心スプレイ (CS)系	R/B 2階北	250A	12	3	2	---	2
2		N5B	【スプレッドからシュラウド内側へ】 上部格子板 シュラウド内側（炉心部）	X-16B		R/B 2階南		12	3	2	---	2
3	主蒸気 (MS)系	N3A	蒸気乾燥器	X-7A	主蒸気 (MS)系	R/B1階東 または T/B 1階	600A	6	3	2	---	---
4		N3B		X-7B				12	3	2	2	---
5		N3C		X-7C				12	3	2	2	---
6		N3D		X-7D				6	3	2	---	---
7	原子炉再循環 (PLR)系	N3C	シュラウド、 ジェットポンプ	X-11	高圧注水 (HPCI)系	R/B 1階西 P/A室	250A 600A	6	---	2	3	---
8		N1A		X-12	残留熱除去 (RHR)系	R/B 1階西	500A 700A	12	2	2	3	---
9				X-14	原子炉浄化系 (CUW)	R/B 2階西	150A 500A 600A	9	---	3	3	---

1次スクリーニングによって全119ルートから、3系統9ルートまで絞り込んだ

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■スクリーニングによるルート決定

- 2次スクリーニングの評価手順を以下に示す。

1次スクリーニングで抽出した3系統について、作業場所となる各系統毎のペネトレーションの現場状況を踏まえて絞り込みを行う。

現場状況は主に以下の観点から踏まえて検討する。

- 線量
- 作業スペース
- 機器類の搬入経路
- 作業員のアクセス経路

なお、現場状況については環境改善等が進んでいる2号機を対象として検討し、その後他号機への適用を検討する方針で検討した。

3つの各系統（炉心スプレイ系、主蒸気系、原子炉再循環系）それぞれに、PCV外の線量・作業スペース・経路の観点で評価を行う

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

【略語補足】

R/B：原子炉建屋

■スクリーニングによるルート決定

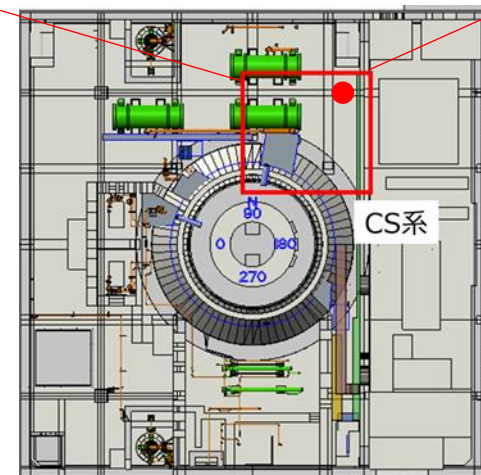
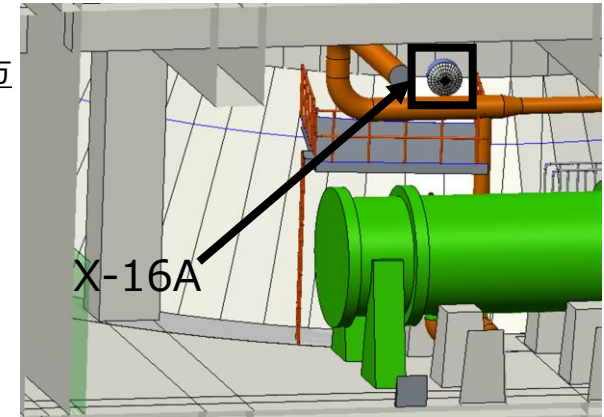
【炉心スプレイ系】

2次スクリーニング結果を以下に示す。

- 線量
X-16A：約5～10mSv/h
X-16B：不明
- 作業スペース
X-16Bは熱交換器室内にあるため、
X-16Aの方が作業スペースを確保可能。
- 機器類の搬入経路
両方ともにR/B 2階にあり、階段、大物搬入口を使用して搬入可能なため、大きな差はない。
- 作業員のアクセス経路
両方ともにR/B 2階にあり、階段にてアクセス可能なため、大きな差はない。

作業エリア（下図

● 付近からPCV方向を見た図）



原子炉建屋 2階

炉心スプレイ系：作業スペースの観点から、X-16Aを第一候補として選定

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

【略語補足】

T/B：タービン建屋

■スクリーニングによるルート決定

【主蒸気系】

- 2次スクリーニング結果を以下に示す。
- X-7A～D、X-11共に部屋内にあり、配管径が600Aと大きいため、部屋外からのアクセスを前提に検討した。

➤ 線量

X-7A～D：T/B建屋側で最大約0.6mSv/h

X-11：R/B西側は最大約8mSv/h

→X-7A～Dの方が環境が良い。

➤ 作業スペース

両方とも部屋外にスペースはあるため、大きな差はない。

➤ 機器類の搬入経路

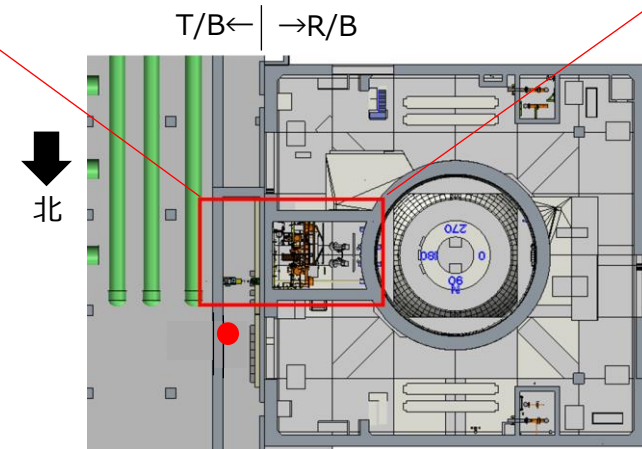
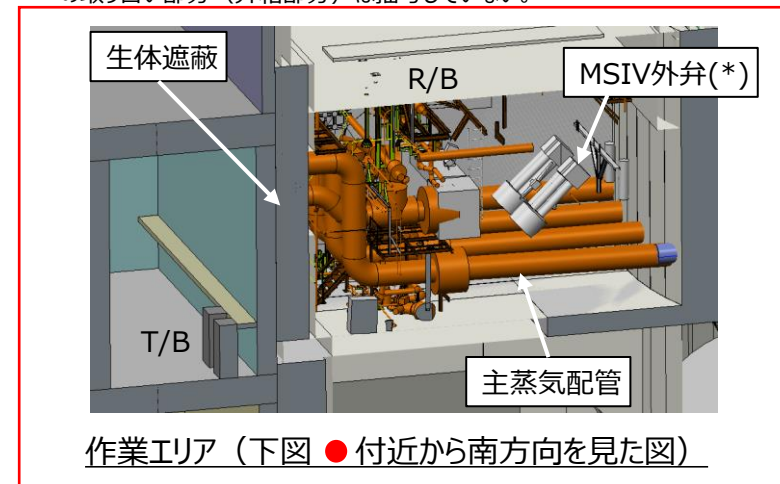
X-7A～DおよびX-11共にR/BもしくはT/Bの大物搬入口より搬入可能。両者に大きな差はない。

➤ 作業員のアクセス経路

両方ともにアクセス可能なため、大きな差はない。

- 現場状況の観点では、線量の観点でX-7A～Dが優位。
- X-7A～Dそれぞれの差異については、**1次スクリーニングの難易度評価点（15頁）**を考慮し、**X-7A/Dを第一候補とする。**

(*)CAD図の都合から主蒸気配管とMSIV外弁の取り合い部分（弁箱部分）は描写していない。



原子炉建屋&タービン建屋 1階

主蒸気系：線量の観点から、X-7A/Dを第一候補として選定

X-7AとDの構造は鏡合わせ様でほぼ同様のため、本事業ではX-7Aを例に検討する

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■スクリーニングによるルート決定

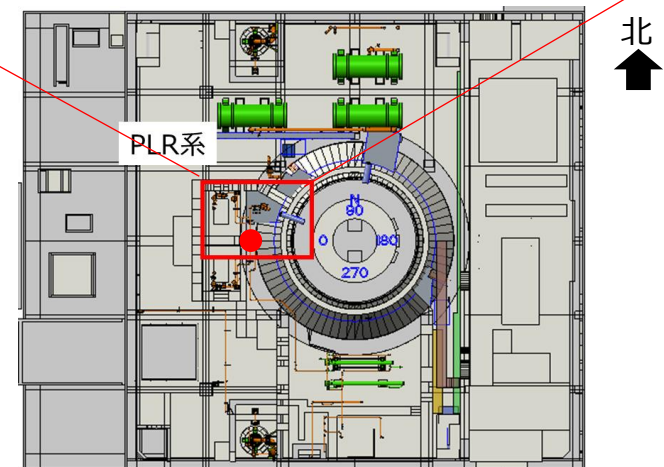
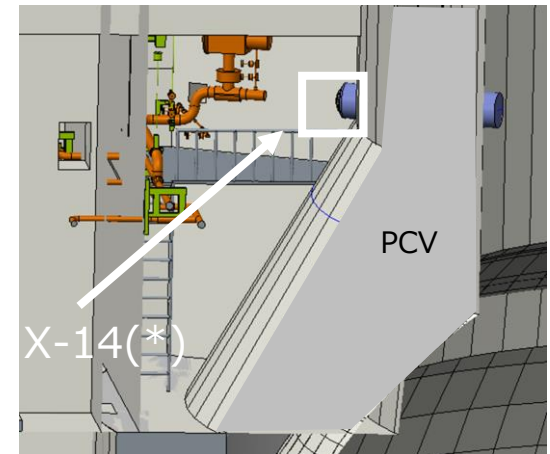
【原子炉再循環系】

- 2次スクリーニング結果を以下に示す。
 - 線量
X-12：約2～7mSv/h
X-14：不明
 - 作業スペース
両方とも部屋内のため、大きな差はない。
 - 機器類の搬入経路
X-12は1階、X-14はR/B 2階だが階段、大物搬入口からも搬入可能な見込みため、大きな差はない。
 - 作業員のアクセス経路
両方ともにアクセス可能なため、大きな差はない。
- ↓
- 現場状況の観点では、X-12とX-14に大きな差が無い。
 - **1次スクリーニングの難易度評価点（15頁）を考慮し、X-14を第一候補とする。**

作業エリア（下図

● 付近から北方向を見た図）

(*)CAD図の都合上、X-14と原子炉建屋内の配管の繋がりは表示していない



原子炉建屋 2階

**原子炉再循環系：現場状況の観点では差異無し
技術課題の難易度が高い、X-14を第一候補として選定**

2. 実施内容

2.1 既設配管ルートを選定

■スクリーニング結果のまとめ ・ 2次スクリーニングを含めた最終結果を示す。

15頁の表の再掲

(※) 総合得点=評価A×評価B×評価C×評価D

No.	系統	ノズル番号	可観察対象	PCVペネトレーション			配管径	1次スクリーニング (詳細14頁) の難易度評価点					2次スクリーニング (詳細17~19頁)			総合結果
				番号	接続系統	作業場所		難易度評価の総合得点 (※)	評価A	評価B	評価C	評価D	線量 (mSv/h)	作業スペース	機器・作業員経路	
1	炉心スプレー (CS)系	N5A	【ヘッドからアニュラスへ】 シュラウドヘッド CS配管	X-16A	炉心スプレー (CS)系	R/B 2階北	250A	12	3	2	---	2	5~10	良好	大きな差異無し	第一候補
2		N5B	【パージャからシュラウド内側へ】 上部格子板 シュラウド内側 (炉心部)	X-16B		R/B 2階南		12	3	2	---	2				不明
3	主蒸気 (MS)系	N3A	蒸気乾燥器	X-7A	主蒸気 (MS)系	R/B1階東 または T/B 1階	600A	6	3	2	---	---	0.6 (T/B 1階)	大きな差異無し	大きな差異無し	第一候補 (MS系の代表例として検討)
4		N3B		X-7B				12	3	2	2	---				---
5		N3C		X-7C				12	3	2	2	---				---
6		N3D		X-7D				6	3	2	---	---				---
7		N3C		X-11	高圧注水 (HPCI)系	R/B 1階西 P/A室	250A 600A	6	---	2	3	---	8			---
8	原子炉再循環 (PLR)系	N1A	シュラウド、 ジェットポンプ	X-12	残留熱除去 (RHR)系	R/B 1階西	500A 700A	12	2	2	3	---	2-7	大きな差異無し	大きな差異無し	---
9				X-14	原子炉浄化系 (CUW)	R/B 2階西	150A 500A 600A	9	---	3	3	---	不明			---

全119ルートから、CS系・MS系・PLR系でそれぞれ1つずつ、候補を絞り込んだこの3ルートを本事業の検討対象とする

2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■各ルートの詳細な特徴整理

【炉心スプレイ系】

- 炉心スプレイ系の配管ルートの特徴を示す。
- 逆止弁は「閉」状態（図1）。
- 仕切弁1と2は「閉」状態だが、R/B内（図4）。
- 仕切弁3は「開」状態。
- 調査装置の目標到達部となるティAとティBに既設開口は無い（図2, 3）。
- 調査装置は既設配管を切断し、閉じ込め空間を構築してから進入させる（図4）。
- ティBを穿孔できれば、炉心への唯一のアクセスルートになるが高難易度。

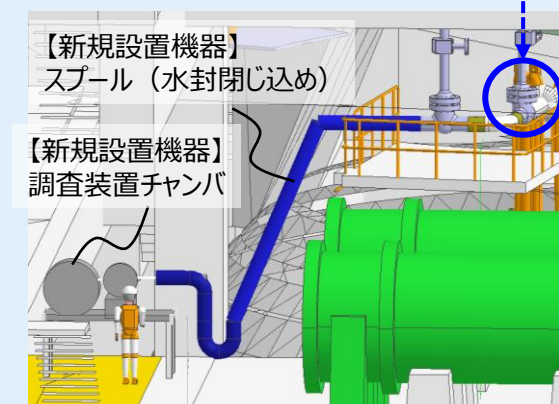
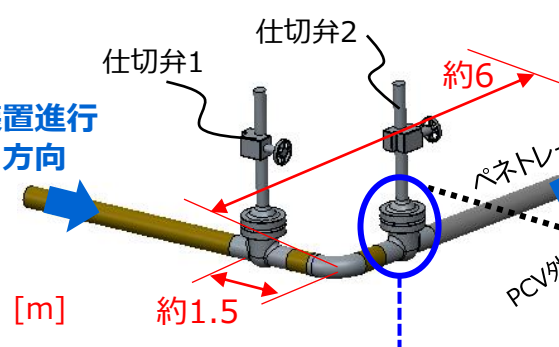
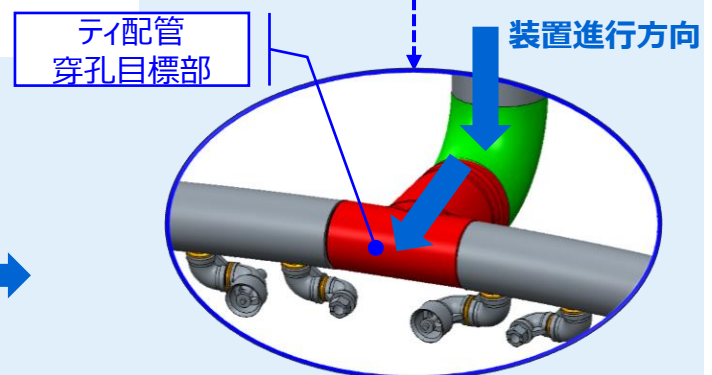
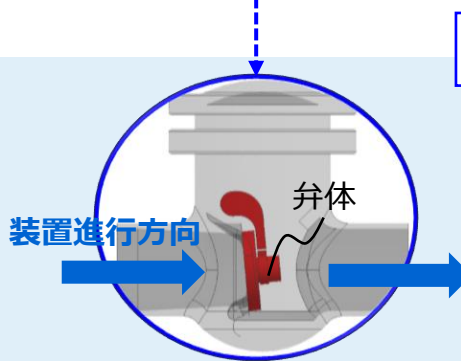
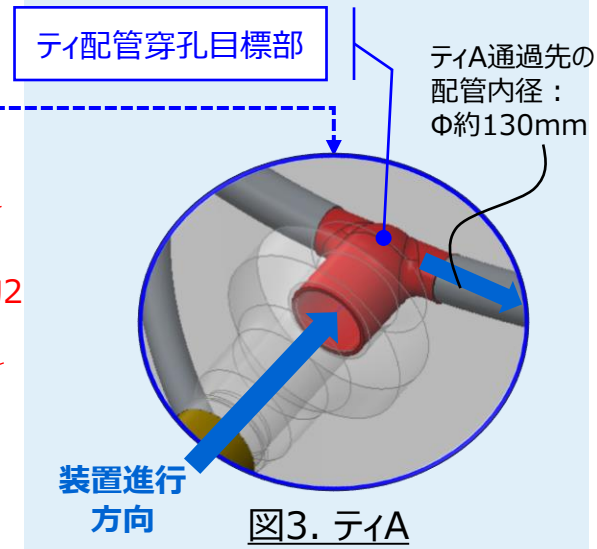
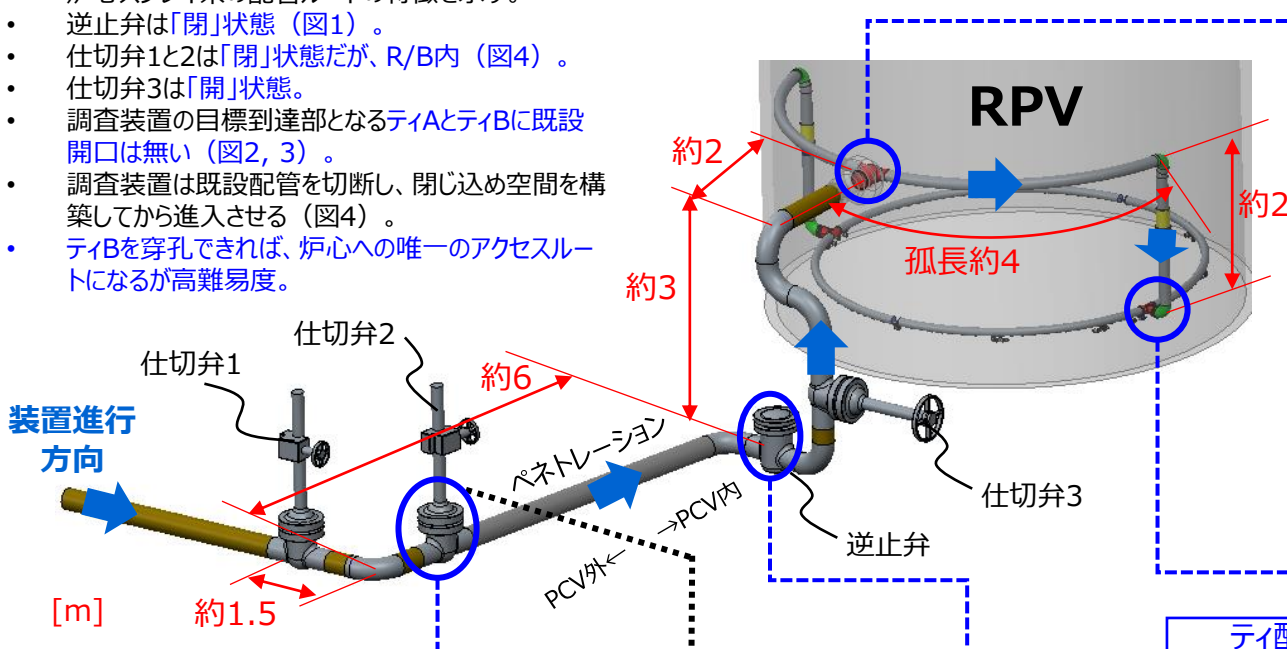


図4. R/B内機器設置イメージ

2. 実施内容

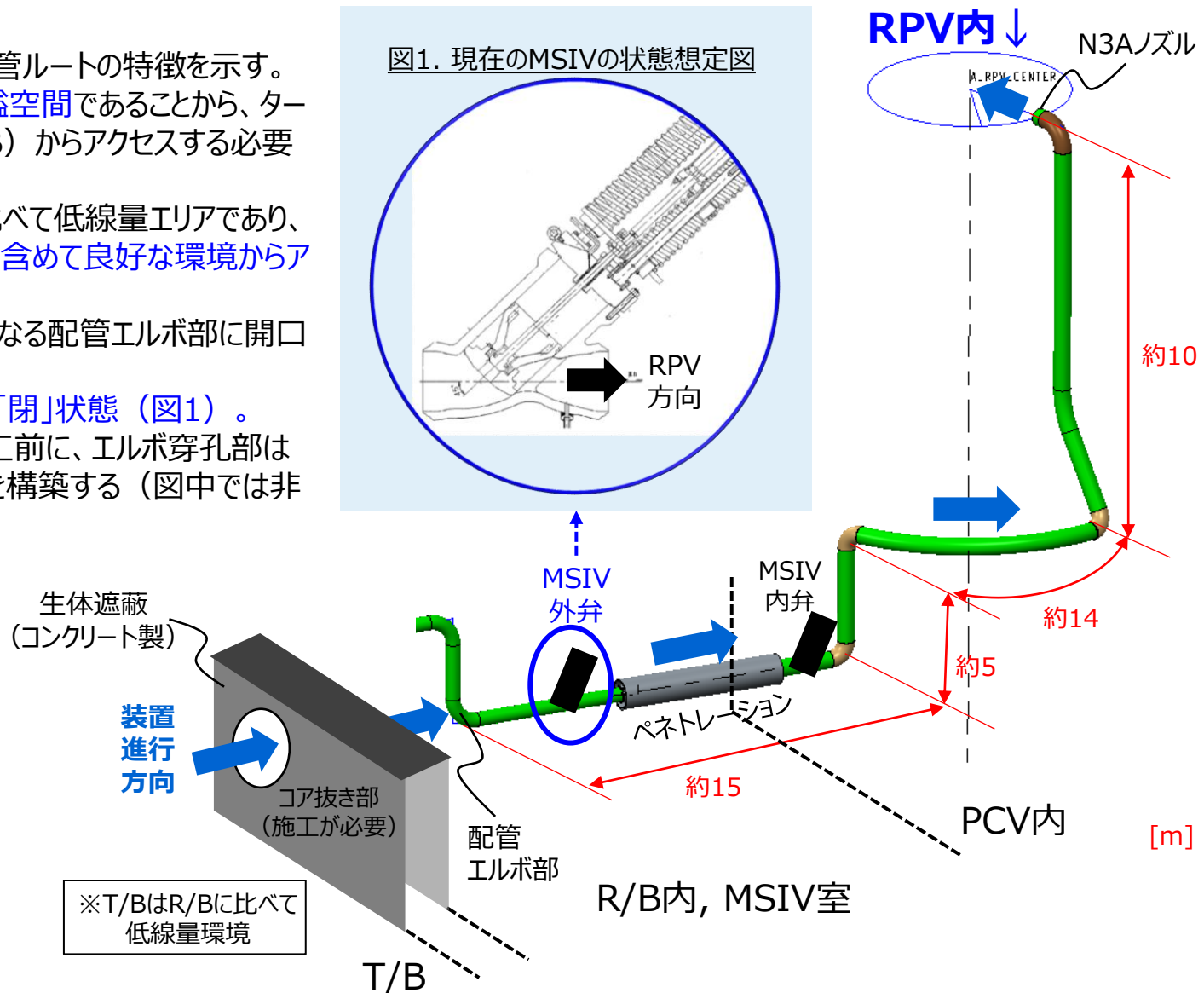
2.2 調査計画の策定

【略語補足】
MSIV：主蒸気隔離弁

■各ルートの詳細な特徴整理

【主蒸気系】

- 主蒸気系の配管ルートの特徴を示す。
- MSIV室は狭隘空間であることから、タービン建屋（T/B）からアクセスする必要あり。
- T/BはR/Bに比べて低線量エリアであり、作業員被ばくも含めて良好な環境からアクセスが可能。
- アクセスルートとなる配管エルボ部に開口は無い。
- 2基のMSIVは「閉」状態（図1）。
- MSIV内弁加工前に、エルボ穿孔部は閉じ込め空間を構築する（図中では非表示）。



※T/BはR/Bに比べて
低線量環境

2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ 各ルートの詳細な特徴整理

【原子炉再循環系】

- 原子炉再循環系の配管ルートの特徴を示す。
- 内径が異なる配管内を移動する（図1）。
- 配管内の移動ルート上には仕切弁があり（図中では非表示）、凹凸部でひっかかりを起こさないようにする必要があるが、「開」状態。
- 調査装置は既設配管を切断し、閉じ込め空間を構築してから進入させる（図中では非表示）。

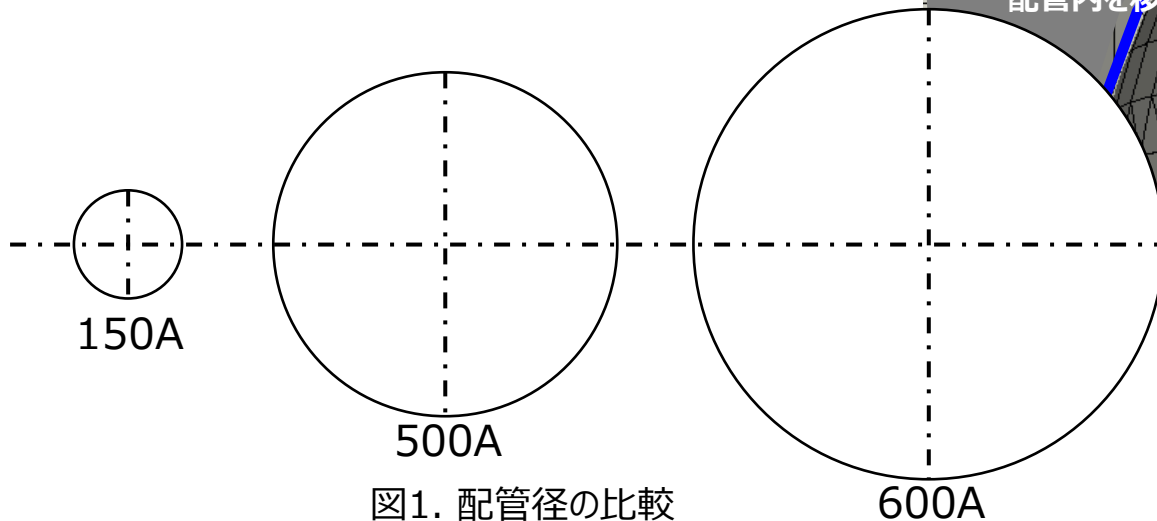
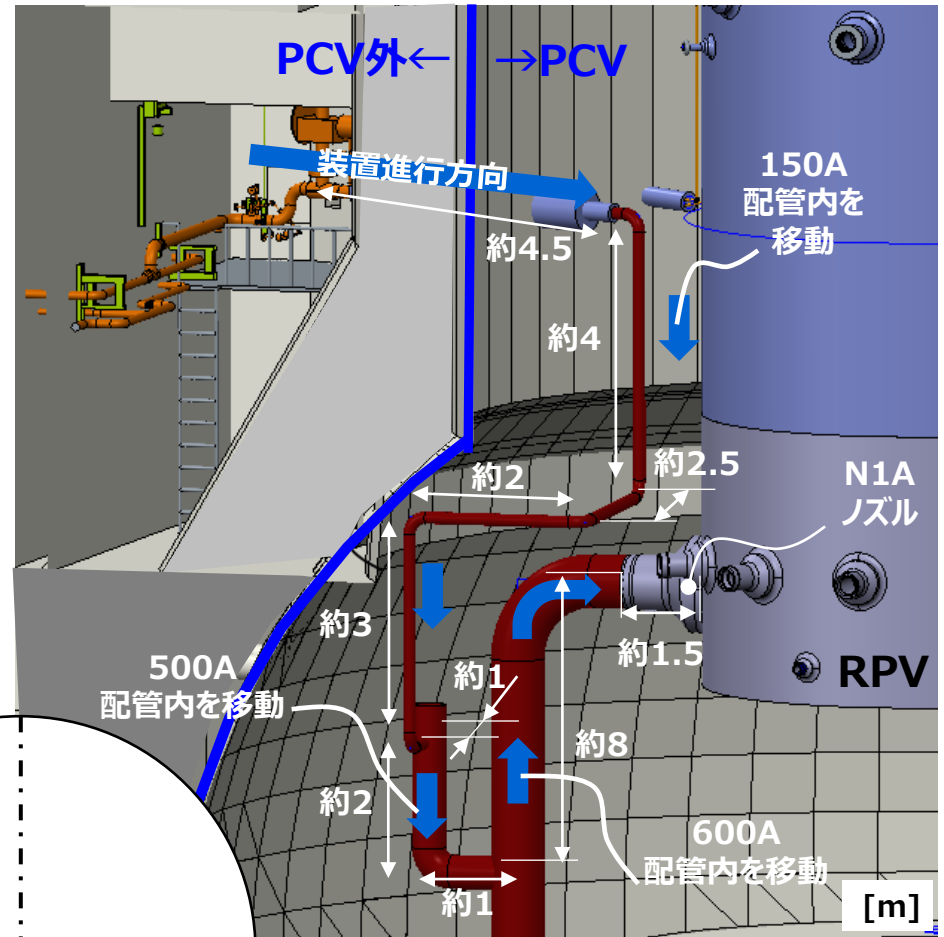


図1. 配管径の比較

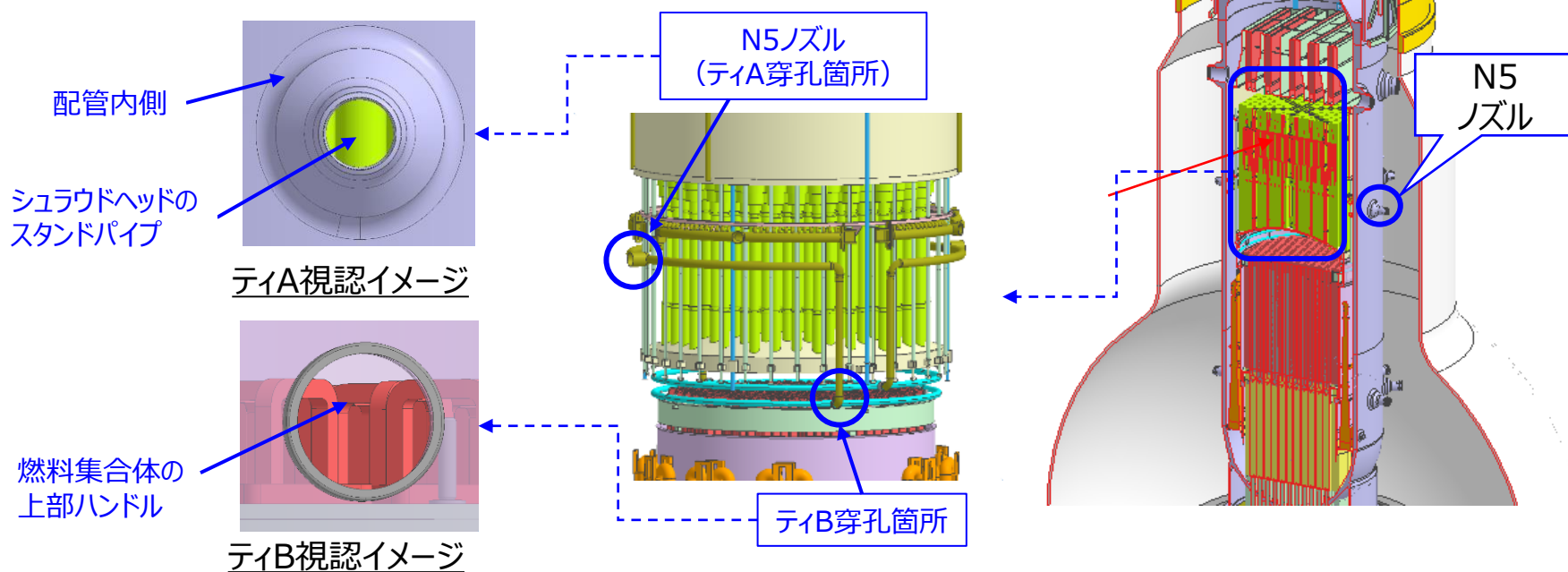
2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ 期待する調査成果の設定

【炉心スプレイ系】

- ・ 炉心スプレイ系の配管内からの視認イメージを以下に示す。
 - ・ ティA部からはシュラウドヘッドのスタンドパイプ周辺が確認可能。（※1、※2）
 - ・ ティB部からは燃料集合体の上部ハンドル周辺が確認可能。（※1、※2）
- （※1） 炉内構造物が健全な状態の場合
（※2） ティ配管に開口は無いので、穿孔してアクセスルートを確認することが前提条件



炉内構造物が健全であれば炉心スプレイ系配管からはシュラウドのスタンドパイプや燃料集合体の上部ハンドルを視認可能

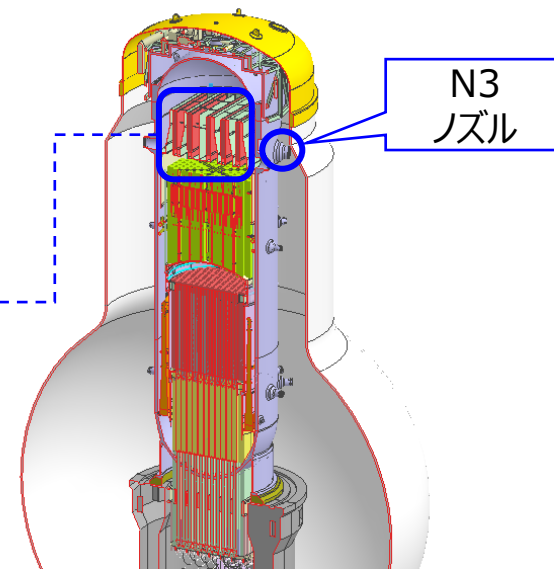
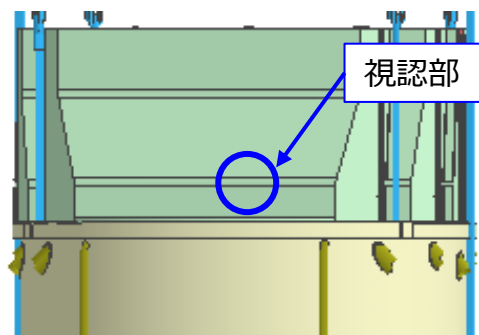
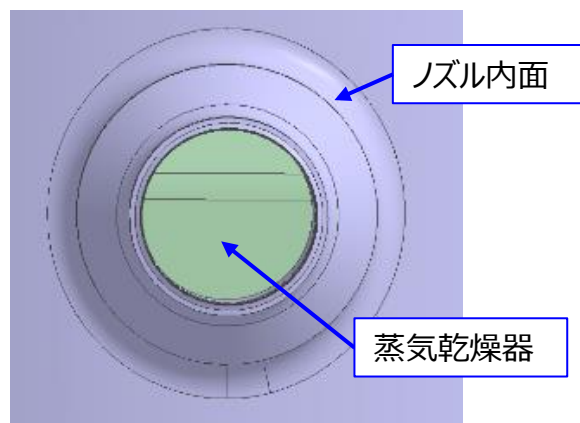
2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ 期待する調査成果の設定

【主蒸気系】

- 主蒸気系の配管内からの視認イメージを以下に示す。
 - N3ノズルからは蒸気乾燥器の下部周辺が確認可能（※）。
- (※) 炉内構造物が健全な状態の場合
(※) ノズルから配管側へ異物混入（燃料デブリ等）の可能性あり



炉内構造物が健全であれば主蒸気系配管からは蒸気乾燥器の一部を視認可能

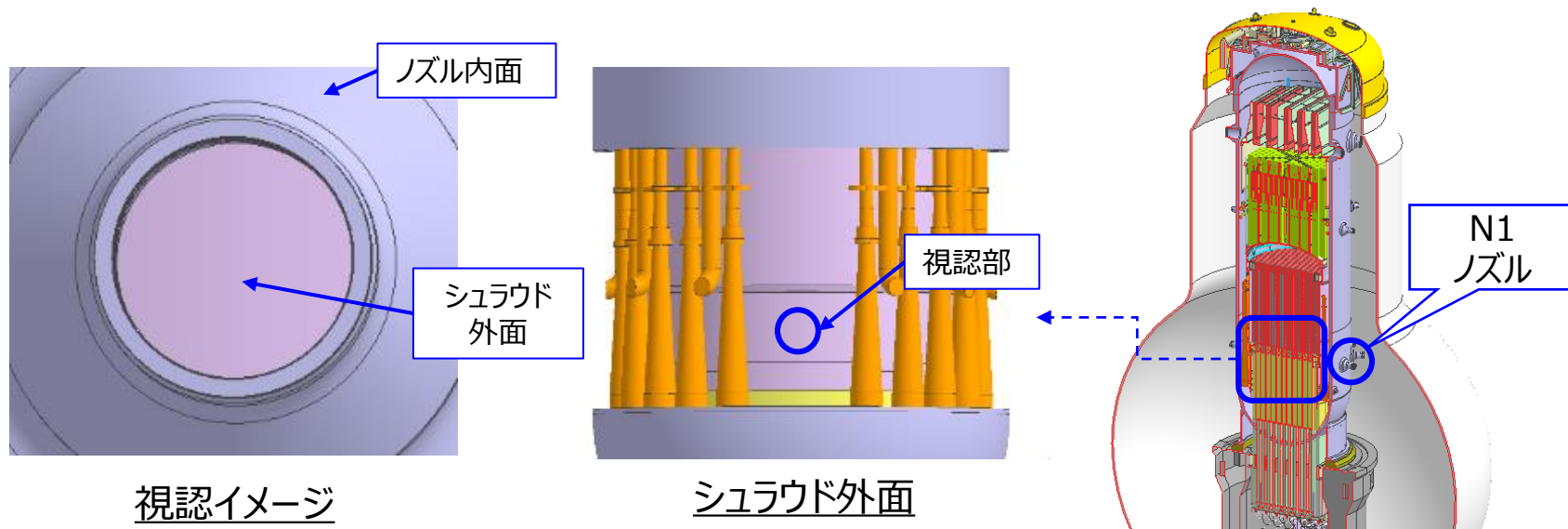
2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ 期待する調査成果の設定

【原子炉再循環系】

- 原子炉再循環系の配管内からの視認イメージを以下に示す。
 - N1ノズルからはシュラウド外面が確認可能（※）。なお、バッフルプレートがあるため炉底部へは移動不可。
- (※) 炉内構造物が健全な状態の場合
(※) ノズルから配管側へ異物混入（燃料デブリ等）の可能性あり



炉内構造物が健全であれば原子炉再循環系配管からはシュラウド外面を視認可能

2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ PCV外からの進入経路の基本方針設定

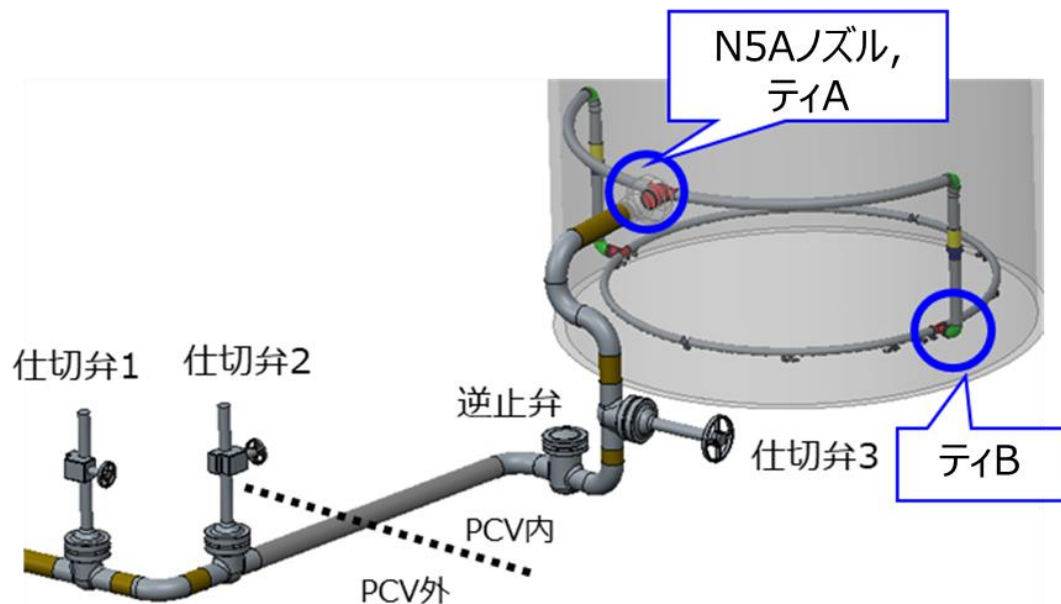
【炉心スプレイ系】

～RPV内到達ルート～

- N5Aノズル部より炉心スプレイ（ティA、B）まで移動する。ティAでは配管分岐がある。
- 調査箇所はティBを第一目標、ティAを第二目標とする。なお、ティBは距離・配管径の等の観点で開発難易度は高い。

～調査前の事前作業～

- 仕切弁1および2はPCV外であるため、作業員によって開く。なお、必要に応じて現場環境改善も行う。
- 「閉」状態の逆止弁を切断し、後続の装置が通過できるスペースを確保する。
- ティAもしくはティBで配管穿孔し、RPV内に調査装置が進入できるようにする。



2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ PCV外からの進入経路の基本方針設定

[1]画像出典：東京電力HD, 公表画像
(URL有効確認日：2023.5.17)

https://photo.tepco.co.jp/library/130416_01/130416_02.jpg

【主蒸気系】

～RPV内到達ルート～

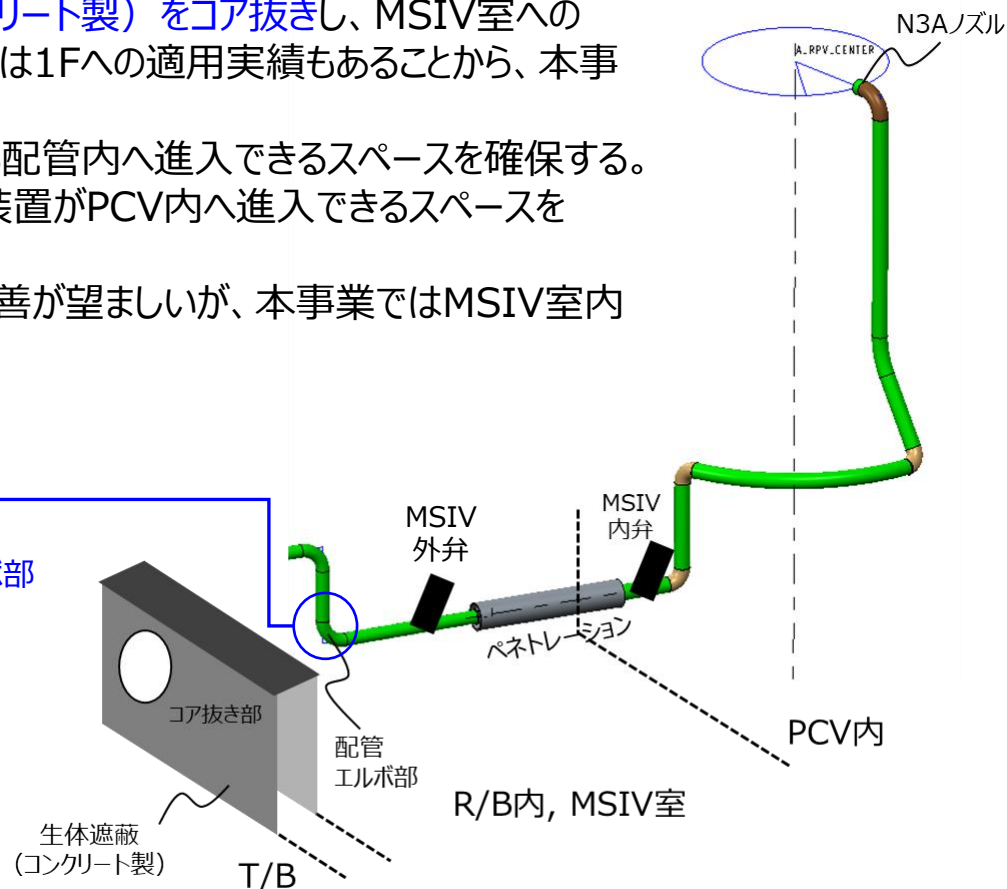
- R/B内のMSIV室（図1）の配管エルボ部からN3Aノズルまで移動する。
- 配管ルートに分岐は無く、道なりに進むことでノズルまで到達する。

～調査前の事前作業～

- 隣接するタービン建屋の生体遮蔽（コンクリート製）をコア抜きし、MSIV室への進入経路を確保する。なお、コア抜き技術は1Fへの適用実績もあることから、本事業では開発スコープから除外する。
- 配管エルボ部を穿孔し、後続の装置がMS配管内へ進入できるスペースを確保する。
- MSIVの外弁と内弁を順に穿孔し、調査装置がPCV内へ進入できるスペースを確保する。
- MSIV室は高線量環境であるため環境改善が望ましいが、本事業ではMSIV室内作業は遠隔操作を前提に検討する。



図1. 1F-2 MSIV室[1]



2. 実施内容

2.2 調査計画の策定

■ PCV外からの進入経路の基本方針設定

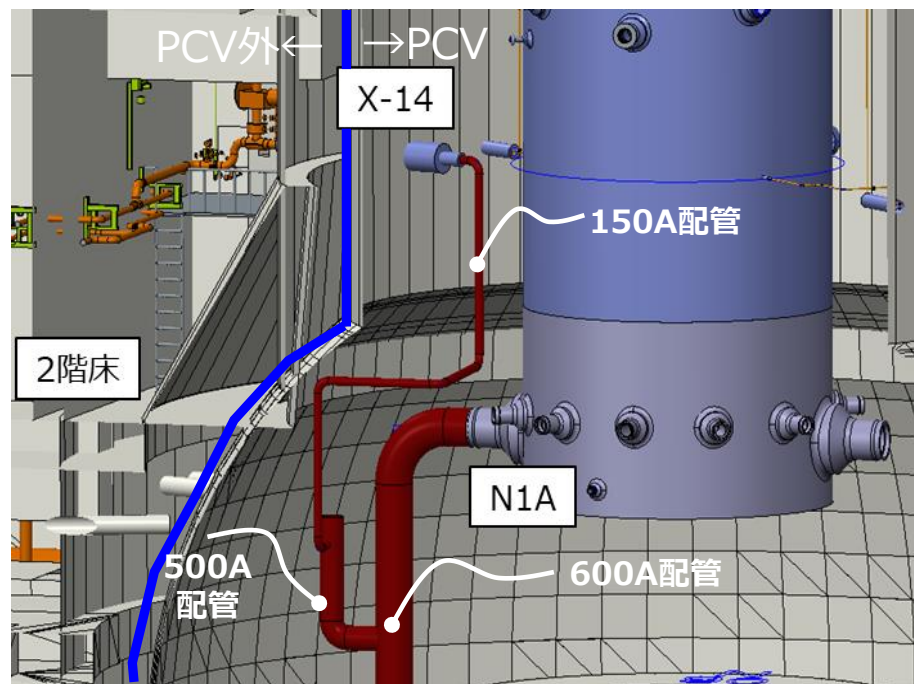
【原子炉再循環系】

～RPV内到達ルート～

- R/Bの2階のX-14からN1Aノズルまで移動する。
- 配管分岐があり、特に500A→600Aの分岐は垂直移動が求められる。
→全ルートの中で配管径の変化が最も大きく、配管内移動技術への要求難度が高い。

～調査前の事前作業～

- 配管移動経路上の弁体は「開」状態を前提とし、配管内での加工等の作業は無いものとする。



2. 実施内容

2.3 装置類の開発計画の策定

■ 装置類の開発計画の策定

(*)PCV内に進入するユニットは何れも対放射線性が求められるが、本表ではRPV内空間に接近・進入するユニットのみに課題を記した。

【炉心スプレイ系】

アクセスルートの詳細な特徴とPCV外からの進入経路の基本方針に基づいた開発計画を以下に示す。

大項目	中項目	小項目	開発課題	開発方針
RPVへのアクセスルートの構築	閉状態の逆止弁弁体部の通過方法	弁体加工ユニット	・穿孔方法	・穿孔時に発火リスクの低い方法を適用する
			・運搬方法	(配管内移動ユニットの「開発課題／開発方針」記載内容と同じ)
			・位置決め・固定方法、精度	・加工点への位置決め機構を設ける ・加工時の反力に耐えられる設計とする
			・寸法、重量制約	・配管寸法内にて設計する ・移動装置と合わせて検討する
			・防水性	・防水を考慮した設計とする
		弁体押し広げユニット	・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
			・押し広げ方法	・寸法、重量等の制約を踏まえ、決定する
			・運搬方法	(配管内移動ユニットの「開発課題／開発方針」記載内容と同じ)
			・位置決め・固定方法、精度	・押し広げ時の位置決め機構を設ける ・押し広げ時の反力に耐えられる設計とする
			・寸法、重量制約	・配管寸法内にて設計する ・移動装置と合わせて検討する
	配管(ティA・B)の穿孔方法	配管穿孔ユニット	・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
			・穿孔方法	・穿孔時に発火リスクの低い方法を適用する
			・運搬方法	(配管内移動ユニットの「開発課題／開発方針」記載内容と同じ)
			・位置決め・固定方法、精度	・加工点への位置決め機構を設ける ・加工時の反力に耐えられる設計とする
			・寸法、重量制約	・配管寸法内及び弁体加工寸法内にて設計する ・移動装置と合わせて検討する
RPVへのアクセス	配管内の移動方法	配管内移動ユニット	・防水性	・防水を考慮した設計とする
			・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
			・耐放射線性(*)	・RPV内に進入するため、RPV外にアクセスする装置よりも高い対放射線性を有する設計とする
			・移動方法	・寸法、重量等の制約を踏まえ、必要な牽引力を得られる機構を設計する
			・位置決め・固定方法、精度	・加工点への位置決め機構を設ける ・加工時の反力に耐えられる設計とする
		配管内移動ユニット	・寸法、重量制約	・配管寸法内及び弁体加工寸法内にて設計する
			・防水性	・防水を考慮した設計とする
			・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
			・耐放射線性(*)	・RPV内に進入するため、RPV外にアクセスする装置よりも高い対放射線性を有する設計とする
			RPV内の調査	RPV内の調査方法
・耐放射線性(*)	・東京電力HDが開発を計画している耐放射線性内視鏡を採用する			
・視認性	・同上。本事業からの要求が出る場合は整理する			

2. 実施内容

2.3 装置類の開発計画の策定

■ 装置類の開発計画の策定

【主蒸気系】

アクセスルートの詳細な特徴とPCV外からの進入経路の基本方針に基づいた開発計画を以下に示す。

大項目	中項目	小項目	開発課題	開発方針	
RPVへのアクセス ルートの構築	コンクリート外壁の穿孔方法	外壁穿孔ユニット	—	・既存のコアボーリング技術にて対応可能な見込み	
		主蒸気系配管エルボ部の 穿孔方法	配管穿孔ユニット	・穿孔方法	・寸法、重量等の制約を踏まえ、決定する
	・位置決め・固定方法、精度			・加工点への位置決め機構を設ける ・加工時の反力に耐えられる設計とする	
	・寸法、重量制約			・コンクリート外壁の穿孔寸法内にて設計する	
	・監視方法			・監視用のカメラ等を設ける	
	閉状態の主蒸気隔離弁 弁体部の通過方法	弁体及びリブ 加工ユニット	・穿孔方法	・穿孔時に発火リスクの低い方法を適用する	
			・位置決め・固定方法、精度	・加工点への位置決め機構を設ける ・加工時の反力に耐えられる設計とする	
			・寸法、重量制約	・配管寸法内にて設計する	
			・防水性	・防水を考慮した設計とする	
	RPVへのアクセス	配管内の移動方法	配管内移動 ユニット	・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
				・移動方法	・寸法、重量等の制約を踏まえ、必要な牽引力を得られる機構を設計する
				・寸法、重量制約	・配管寸法内及び弁体加工寸法内にて設計する
・防水性				・防水を考慮した設計とする	
・耐放射線性(*)				・RPV内に接近するためアクセスルート構築関連ユニットよりも高い対放射線性を有する設計とする	
RPV内の調査	RPV内の調査方法	調査ユニット	・寸法、重量制約	・配管寸法内及び弁体加工寸法内にて設計する ・配管内移動装置と合わせて検討する	
			・耐放射線性	・東京電力HDが開発を計画している耐放射線性内視鏡を採用する	
			・視認性	・同上。本事業からの要求が出る場合は整理する	

(*)主蒸気配管内に進入する装置は、何れも対放射線性が求められるが、本表ではRPV内空間に接近・進入するユニットのみに課題を記した。

2. 実施内容

2.3 装置類の開発計画の策定

■ 装置類の開発計画の策定

【原子炉再循環系】

アクセスルートの詳細な特徴とPCV外からの進入経路の基本方針に基づいた開発計画を以下に示す。

大項目	中項目	小項目	開発課題	開発方針
RPVへのアクセス	配管内の移動方法	配管内移動ユニット	・移動方法	・寸法、重量等の制約を踏まえ、必要な牽引力を得られる機構を設計する
			・寸法、重量制約	・配管寸法内にて設計する
			・防水性	・防水を考慮した設計とする
			・監視方法	・監視用のカメラ等を設ける
			・耐放射線性	・RPV内に接近するため高い対放射線性を有する設計とする
RPV内の調査	RPV内の調査方法	調査ユニット	・寸法、重量制約	・配管寸法内にて設計する ・配管内移動装置と合わせて検討する
			・耐放射線性	・耐放射線性カメラを採用する。もしくは、東京電力HDが開発を計画している耐放射線性内視鏡を採用する
			・視認性	・同上。本事業からの要求が出る場合は整理する

2. 実施内容

2.3 装置類の開発計画の策定



■ 各既設配管ルートに必要な既存技術の簡易調査

- 各ルートの移動手段と加工手段の開発は、既存技術を応用する。応用候補となる一般産業技術の簡易調査結果を以下に示す。
- 炉内状況確認技術は東京電力HDが開発を計画している内視鏡の活用を前提にした。
- 2023年度はこの候補を基に、各ルート毎に採用の絞り込みを行う。


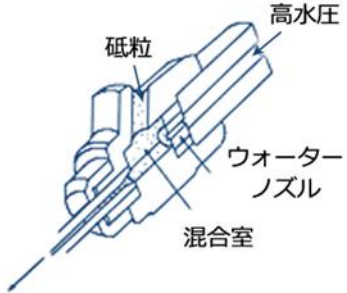
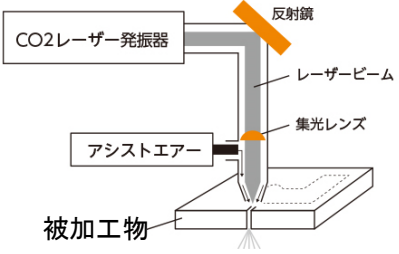
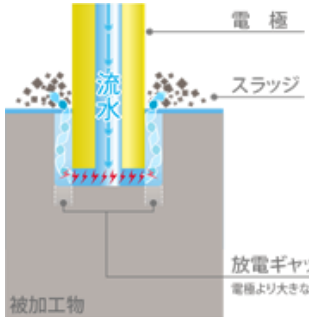
画像出典 (URL有効確認日: 2023年7月31日)

- [1] <https://nexxis.com/product/crab-crawler-vertical-pipe-inspections/>
- [2] <https://solaris-inc.com/technology/>
- [3] <https://koeidreamworks.jp/service/robot-two/>
- [4] <https://www.monotaro.com/note/cocomite/023/>
- [5] <http://www.yoneyama.co.jp/feature/>
- [6] <https://www.laserconnect.co.jp/laser/index.html>
- [7] <https://estrolabo.com/%E6%94%BE%E9%9B%BB%E5%8A%A0%E5%B7%A5%E3%81%A8%E3%81%AF-2/>

【配管内移動技術】

	内壁走行型	変形移動型	噴射駆動型
外観 (例)	 [1]	 [2]	 [3]

【ルート構築技術 (弁体等、干渉物の加工技術)】

	機械加工		熱加工	電気加工
	ドリル	AWJ・WJ	レーザー・プラズマ	放電・電解
外観 (例)	 [4]	 [5]	 [6]	 [7]

3. まとめと今後の課題

■まとめ

- ① 既設配管ルートのリストアップ、技術的課題の抽出、および二段階のスクリーニングによるルートの絞り込みにより、**以下3つの既設配管ルートを選定した。**
 - 炉心スプレイ系
 - 主蒸気系
 - 原子炉再循環系
- ② 選定した3つのルートに対して、特徴の整理、期待する調査成果（視認イメージ）の設定、およびPCV外からの進入経路の基本方針の設定をそれぞれ実施、**調査計画と開発計画を策定した。**
- ③ 装置開発に必要な一般産業技術の簡易調査を実施し、**次年度の装置構造設計に採用する候補を抽出した。**

■2023年度の検討に向けての課題

- 2023年度は、上記③に示す通り、装置設計に採用する一般産業技術を選抜する。この実施に先立ち、選抜ロジックの整備が必要である。
- この課題については、上記①と②で示す調査計画と開発計画を活用して、一般産業技術に対する各ルート特有の要求を個別整理し、相性の良い一般産業技術を星取表等で比較評価することで対応する。
- 上記課題対応は今年度の成果を活用できるため、**2023年度は10頁に示す全体開発フローを予定通り進めていく。**