


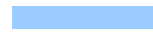







燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで一ヶ月の動きと今後一ヶ月の予定		5月		6月				7月			8月	9月	備考		
			25	1	8	15	22	29	6	13	下	上	中	下	前		後	
RPV/PCV健全性維持		(実績) ○【研究開発】圧力容器/格納容器腐食に対する健全性の評価技術の開発(継続) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続) (予定) ○【研究開発】圧力容器/格納容器腐食に対する健全性の評価技術の開発(継続) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続)	検討・設計	【研究開発】原子炉容器の構造材料腐食試験														
			現場作業	【研究開発】腐食抑制策確認試験														
炉心状況把握解析		(実績) ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析 事故時プラント挙動の分析(継続) ○【研究開発】シビアアクシデント解析コード高度化 シビアアクシデント解析コード高度化(継続) (予定) ○【研究開発】事故時プラント挙動の分析 事故時プラント挙動の分析(継続) ○【研究開発】シビアアクシデント解析コード高度化 シビアアクシデント解析コード高度化(継続)	検討・設計	【研究開発】事故時プラント挙動の分析														
			現場作業	【研究開発】シビアアクシデント解析コード高度化														
取出後の燃料デブリ安定保管		(実績) ○【研究開発】模擬デブリを用いた特性の把握 ・模擬デブリ作製条件検討、MCCIデブリ条件・計画検討(継続) ・機械物性評価(U-Zr-O) ・福島特有事象の影響評価(海水塩・B4C等との反応生成物)(継続) ○【研究開発】デブリ処置技術の開発 ・分析要素技術の検証、保管に係る基礎特性評価(継続) (予定) ○【研究開発】模擬デブリを用いた特性の把握 ・模擬デブリ作製条件検討、MCCIデブリ条件・計画検討(継続) ・機械物性評価(U-Zr-O) ・福島特有事象の影響評価(海水塩・B4C等との反応生成物)(継続) ○【研究開発】デブリ処置技術の開発 ・分析要素技術の検証、保管に係る基礎特性評価(継続)	検討・設計	【研究開発】模擬デブリを用いた特性の把握 ・機械物性評価(酸化物系、金属系)														
			現場作業	【研究開発】デブリ処置技術の開発 ・分析要素技術の検証、保管に係る基礎特性評価														
燃料デブリの臨界管理		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 公募手続き等	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
			現場作業	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
燃料デブリの臨界管理		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 公募手続き等	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
			現場作業	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
燃料デブリの臨界管理		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 公募手続き等	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
			現場作業	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
燃料デブリの臨界管理		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 公募手続き等	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
			現場作業	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
燃料デブリの臨界管理		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発 公募手続き等	検討・設計	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														
			現場作業	【研究開発】燃料デブリ臨界管理技術の開発														

凡例

-  : 検討業務・設計業務・準備作業
-  : 状況変化により、再度検討・再設計等が発生する場合
-  : 現場作業予定
-  : 天候状況及び他工事調整により、工期が左右され完了日が暫定な場合
-  : 機器の運転継続のみで、現場作業(工事)がない場合
-  : 2014年9月以降も作業や検討が継続する場合は、端を矢印で記載
-  : 工程調整中のもの

研究開発「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」にて開発中のS/C（圧力抑制室）上部調査装置の  
実証試験における

1号機 S/C上部調査結果（続報）および  
トーラス室壁面調査結果について

2014年6月27日

東京電力株式会社



東京電力

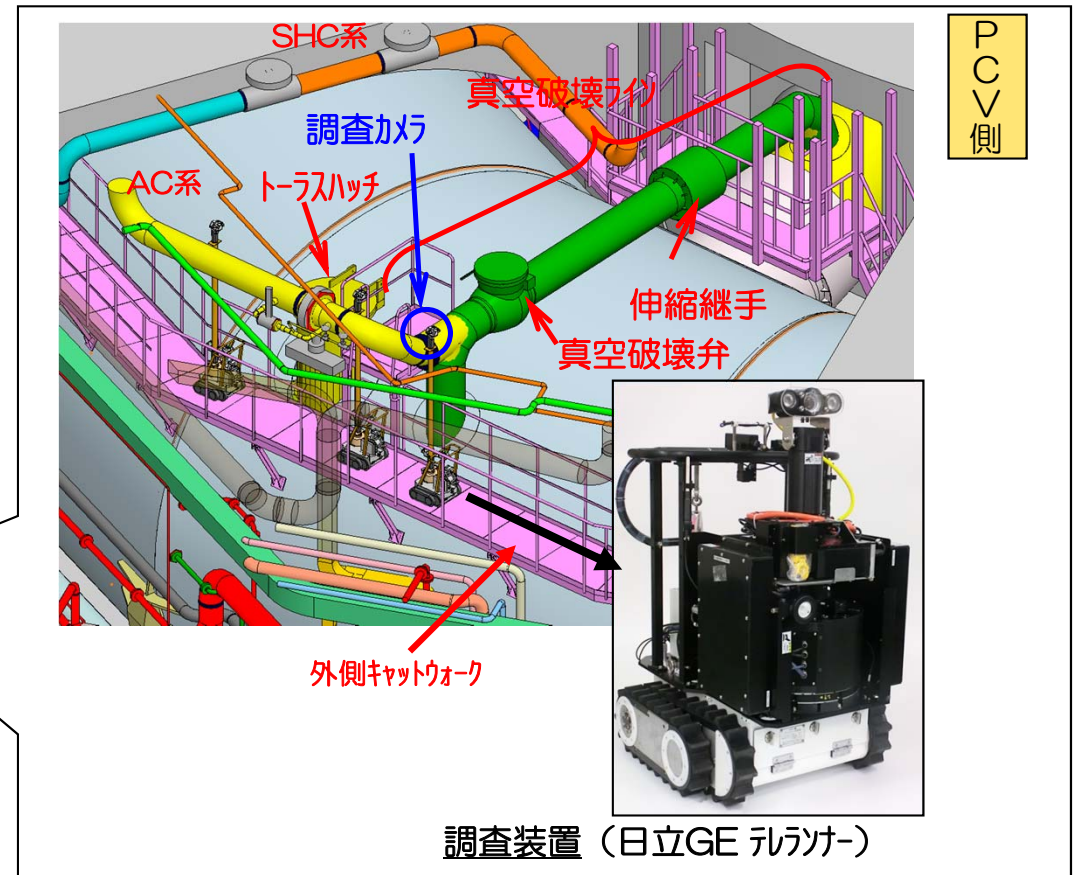
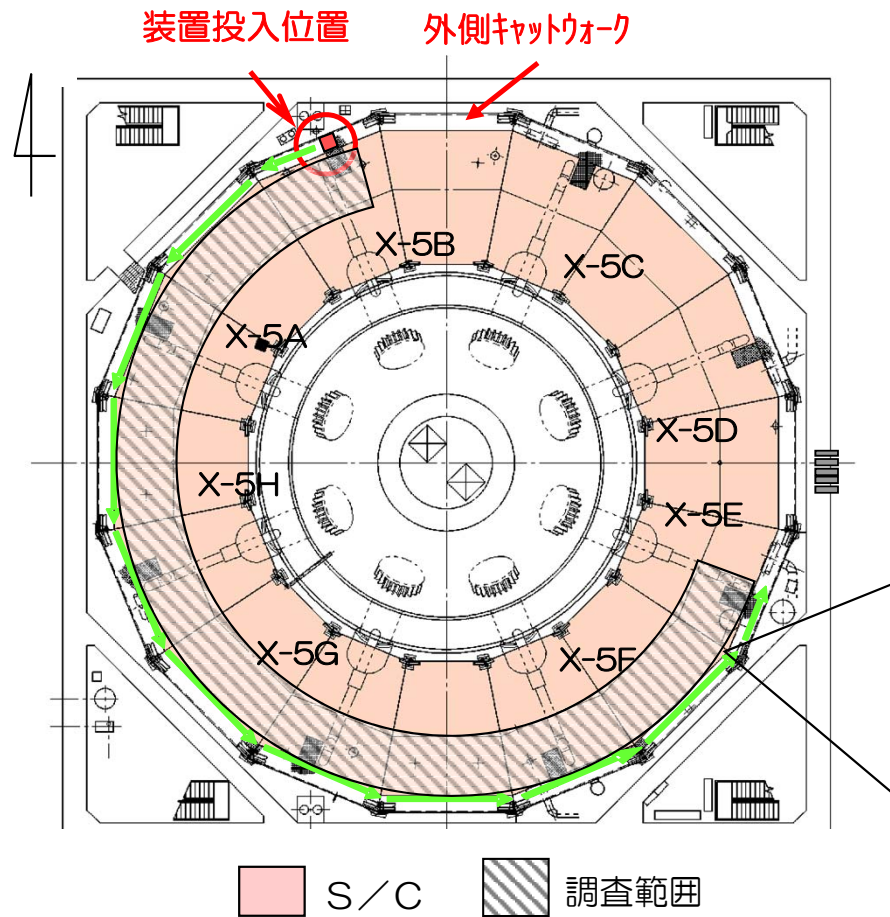
IRID

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構 (IRID) の成果を活用しております。

# 1. S/C上部調査概要

研究開発(資源エネルギー庁補助事業「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」)中のS/C上部調査装置を北西エリア穿孔箇所より投入し、外側キャットウォークから調査を行った。

- S/C上部外周側の確認 \* 5月30日 西・南側外周を実施



S/C上部調査イメージ図

装置アクセスルート (原子炉建屋地下1階)

# 1-1 調査結果-1

## ■調査状況

- 南（X-5G近傍）のキャットウォーク上に保温板金が落下していたため、北西～南の範囲について調査を実施した。

## ■調査結果

- 北西～南の範囲の外側キャットウォーク側の真空破壊ラインおよびS/C上部に、漏れいは確認されなかった。
- X-5G近傍の周辺配管は、他のエリアより汚れているのが確認された。
- X-5G近傍で線量の上昇が確認された。



S/C



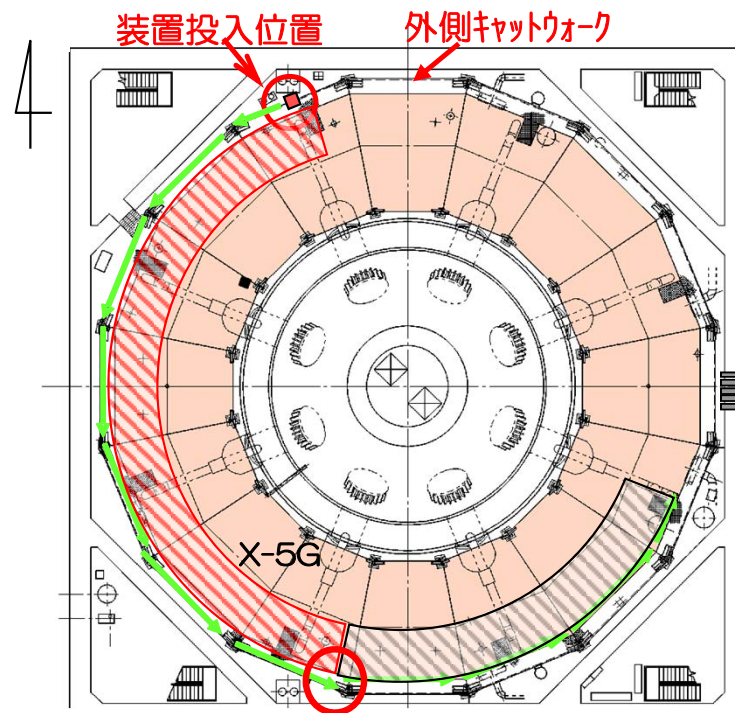
南（X-5G近傍）の状況



S/C



北西の状況



# 1-2 調査結果-2

## ■調査状況

- 5月30日の調査で、キャットウォーク上の落下物によりS/C上部の一部で漏えい調査ができず調査未実施となった南東～南（X-5F近傍）の範囲について、漏えい等の確認を実施した。

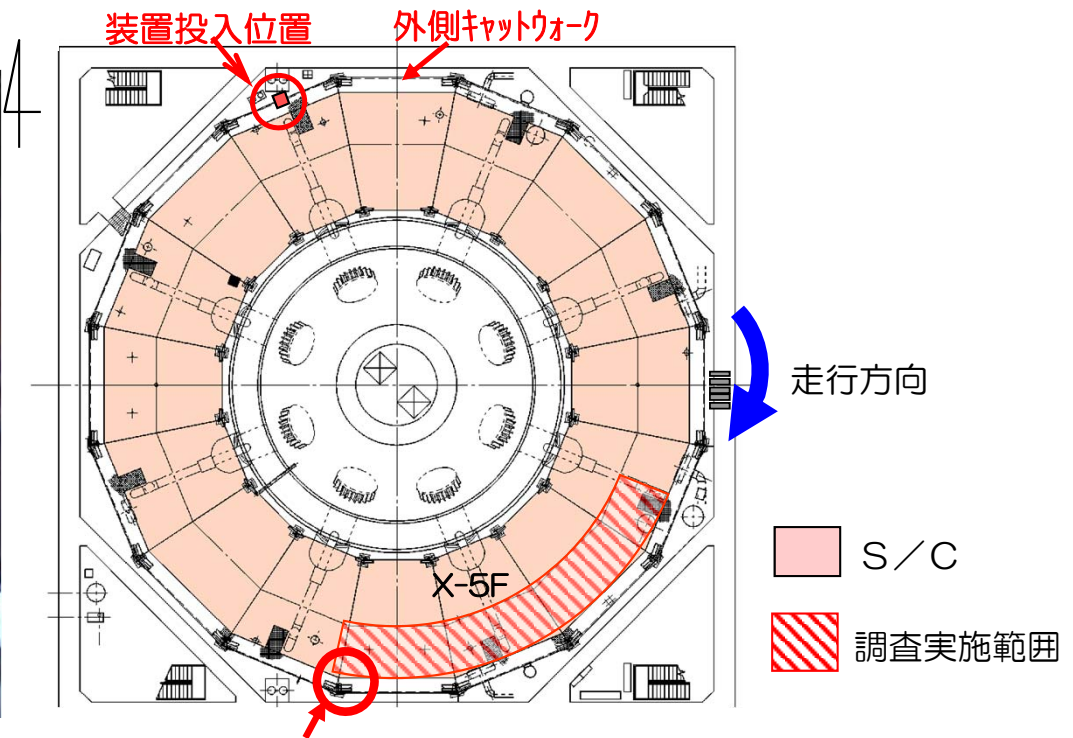
## ■調査結果

- S/C上部の漏えい等は、確認されなかった。
- キャットウォーク上の大きな落下物は、保温板金1個のみであった。



落下物（保温板金）

代表写真

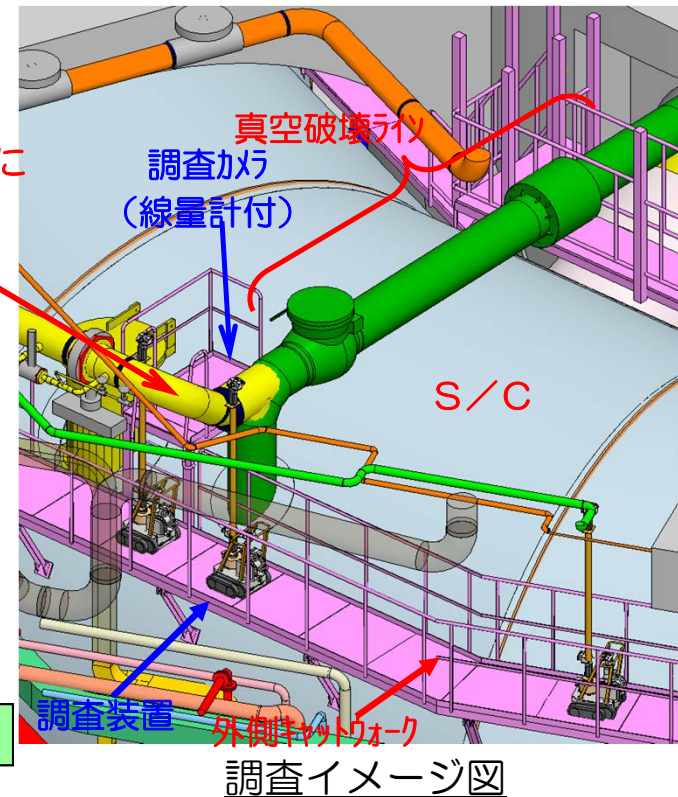
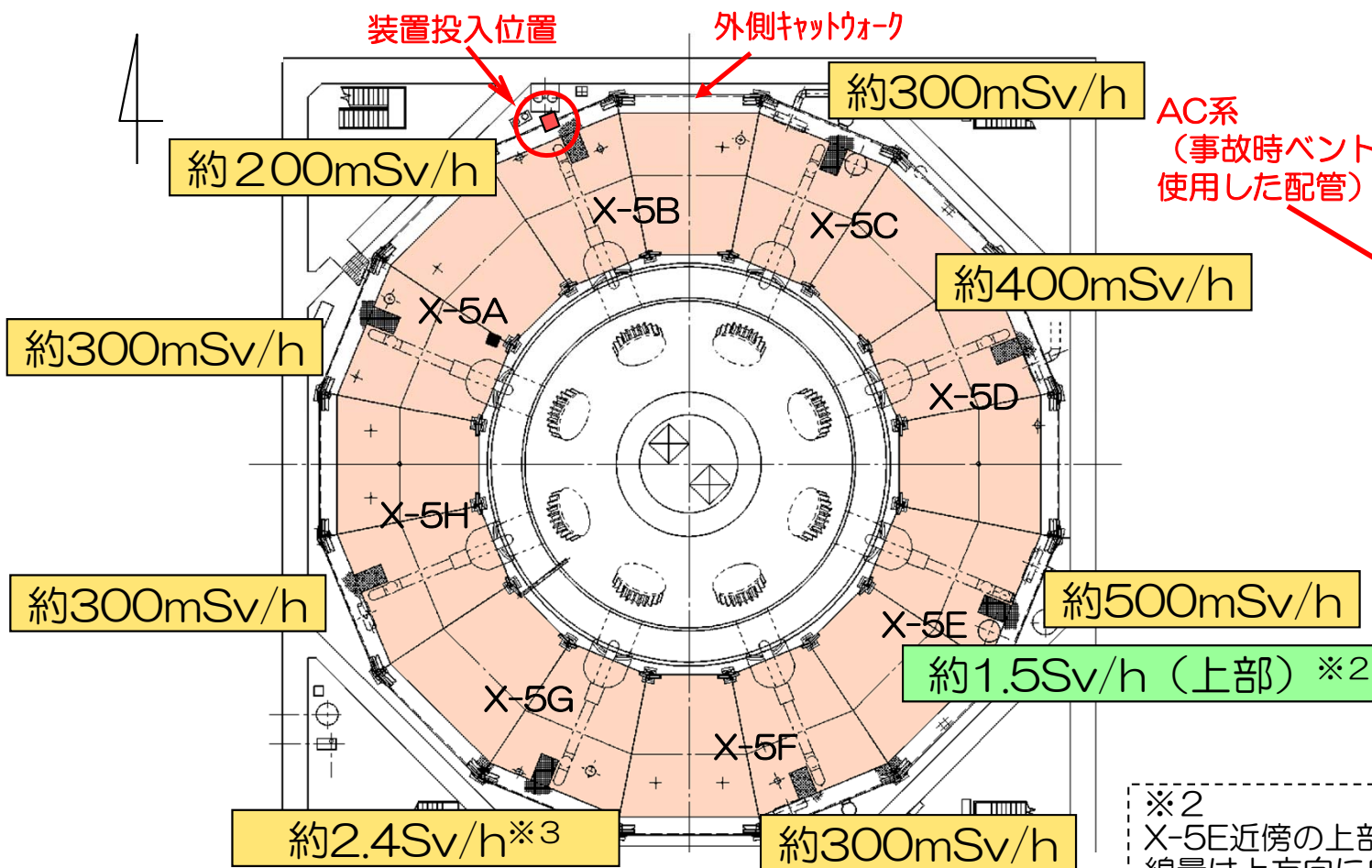


落下物（保温板金）

# 1-3 調査結果-3

## ■ トーラス室内線量分布（キャットウォークでの測定※1）

※1 調査装置の調査カメラに設置した線量計により、キャットウォーク上では走行しながら調査カメラを最低位置の状態ですべて測定。（測定位置：キャットウォーク上から約460mm高さ）



<sup>3</sup> 調査カメラ（線量計）を上方向（約1m）に延伸しても線量の増加傾向は確認されなかった。

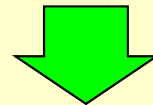
※2 X-5E近傍の上部調査時に線量を測定。線量は上方向に応じて増加する傾向であった。（調査カメラを上方向に延伸）  
測定位置：キャットウォーク上から約1400mm高さ

## 1-4 まとめ

■ S/C上部調査（カメラ映像取得）装置によりS/C上部の状況が確認できることを実証できた。

■ 漏えい箇所特定

一連のS/C上部調査により、S/C上部のベント管（X-5E）に接続する真空破壊ラインの伸縮継手保護カバーのPCV（格納容器）側と反PCV側からの漏えいを確認。



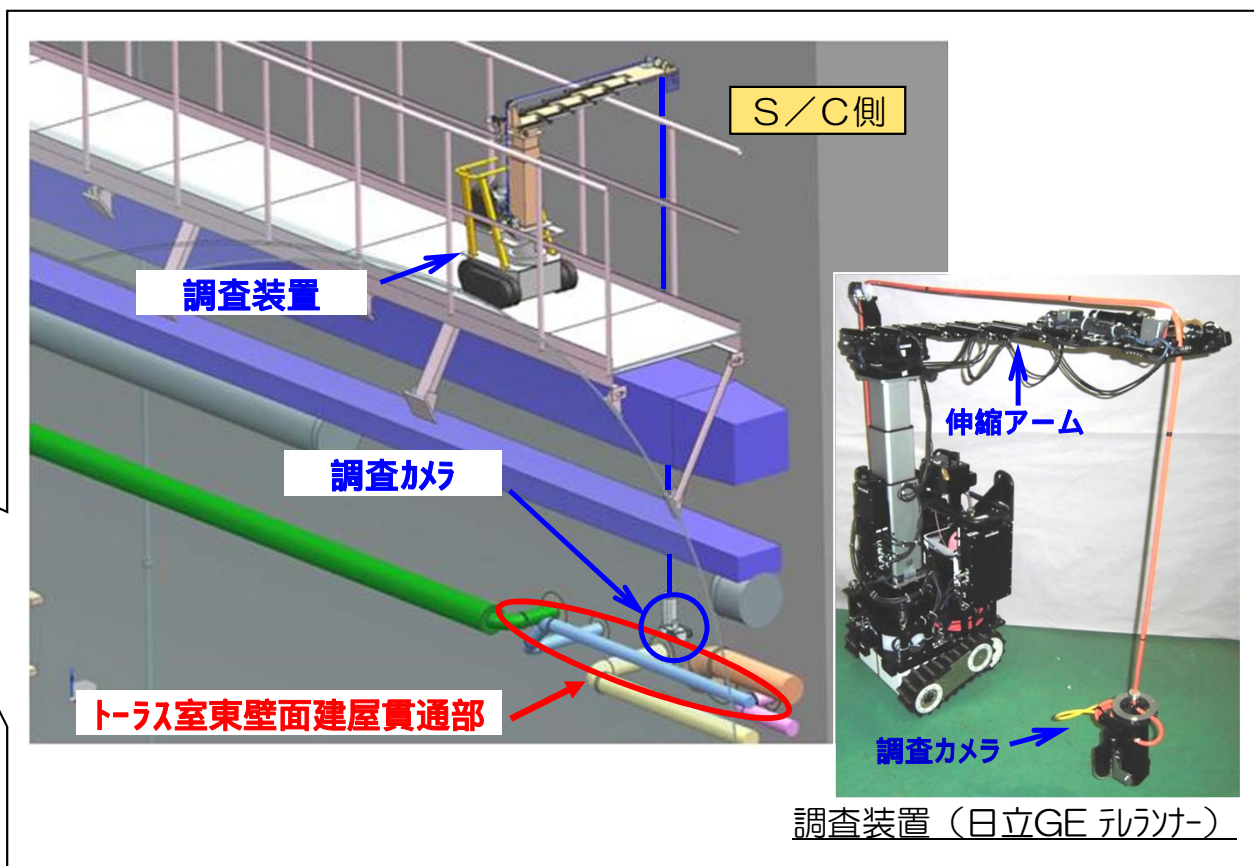
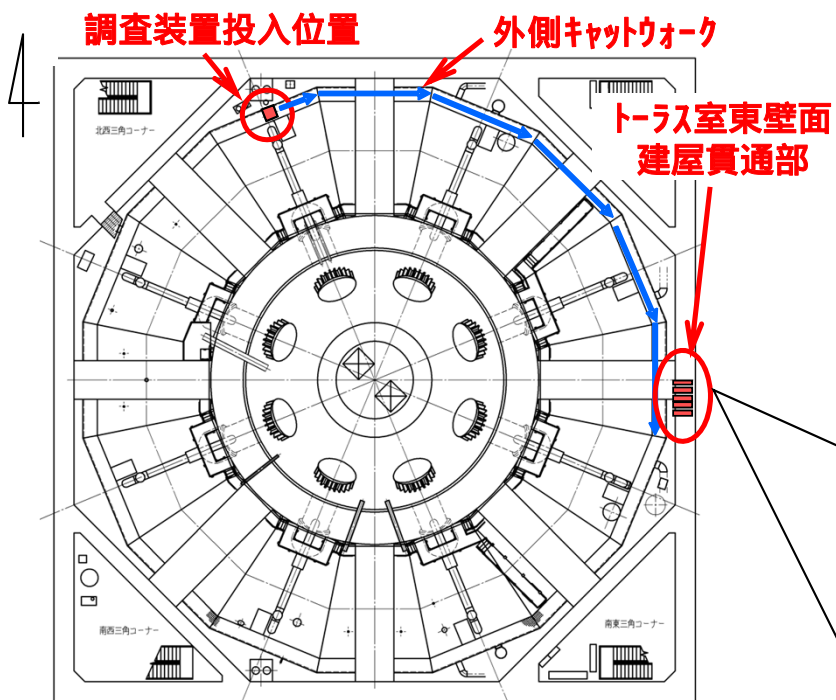
今回得られた結果を踏まえて、格納容器止水工法を開発していく。



## 2. トーラス室壁面調査概要

研究開発(資源エネルギー庁補助事業「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」)中のトーラス室壁面調査装置を北西エリア穿孔箇所より投入し、外側キャットウォークから調査を行った。

- 調査内容：配管貫通部（5箇所）の「外観状況」と「漏えいの有無」を確認する。

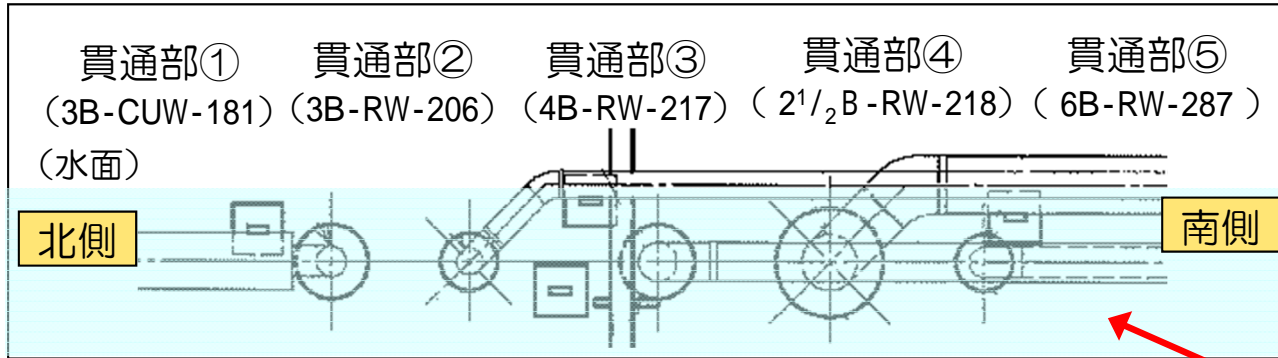


装置アクセスルート (原子炉建屋地下1階)

トーラス東壁面調査イメージ図

# 2-1 調査方法

- カメラによる貫通部の「外観」及び「漏えい確認」を行う。
- **トレーサ\***を散布し、カメラにより貫通部の「漏えい確認」を行う。（※トレーサ：粘土系粒子）

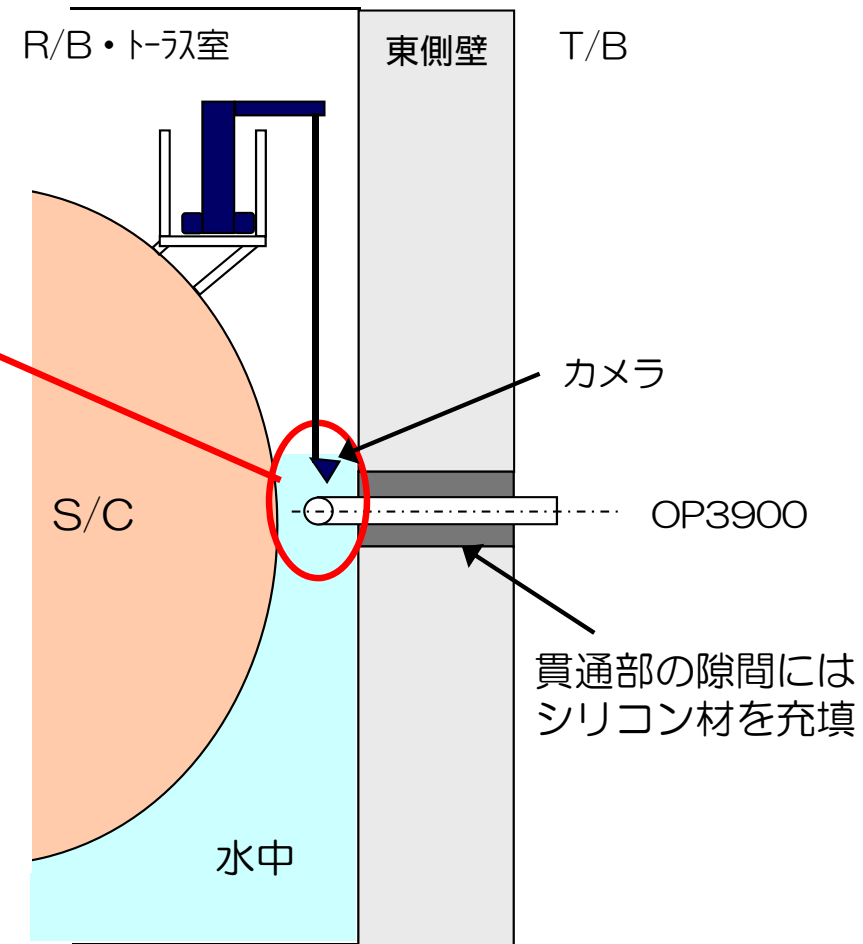


**トランス室東壁面建屋貫通部**



**貫通部の状況 [代表]**

(貫通部 〇、平成12年10月撮影)



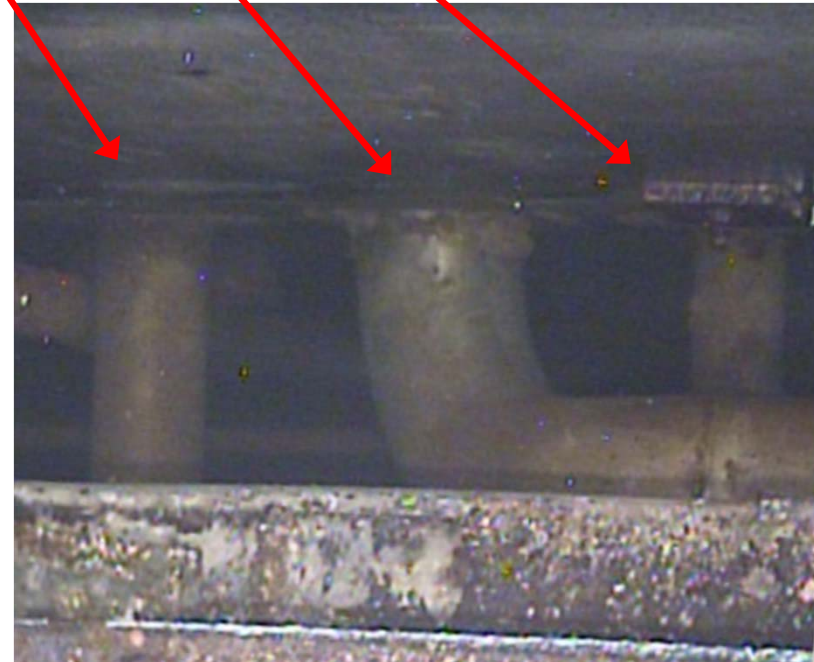
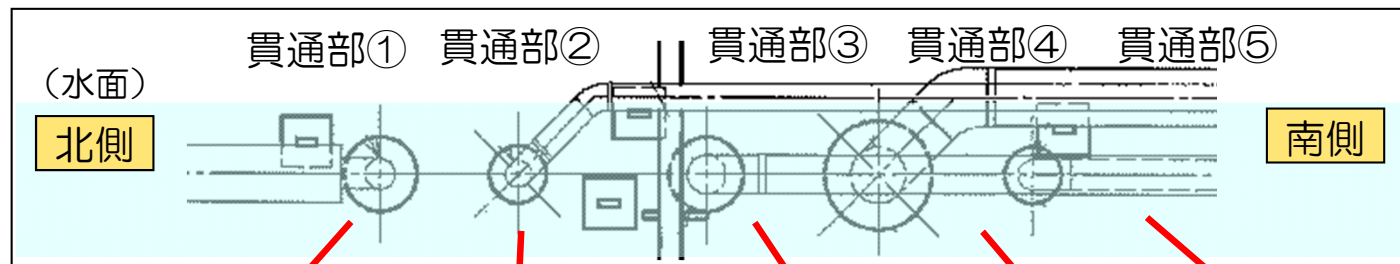
**トランス室東側断面イメージ図**

## 2-2 調査結果-1

### ■貫通部の外観・漏えい確認結果

調査対象：貫通部①～⑤

- 気中からカメラによる確認した結果、滞留水水面の浮遊物の動きは確認されなかった。



トランス室東壁面建屋貫通部

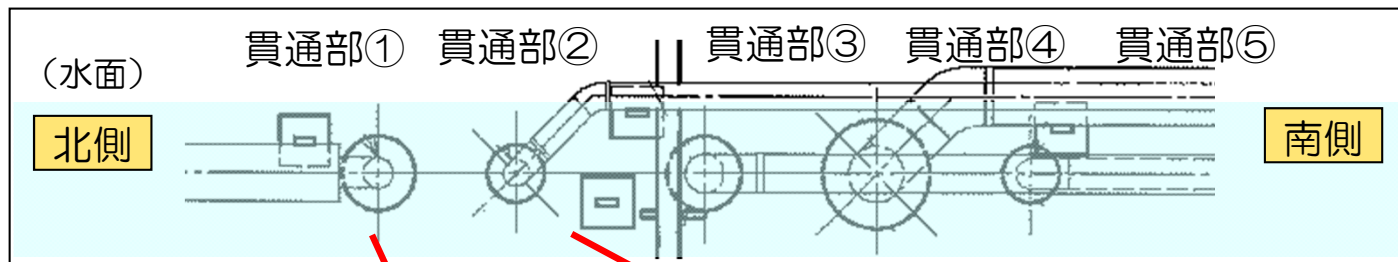
## 2-3 調査結果-2

### ■貫通部の外観確認結果

調査対象：貫通部①、②

●水中からカメラによる確認をした結果、貫通部のシール材に著しい損傷はなかった。

※貫通部③～⑤については、干渉物により水中での確認はできなかった。



貫通部①



貫通部②

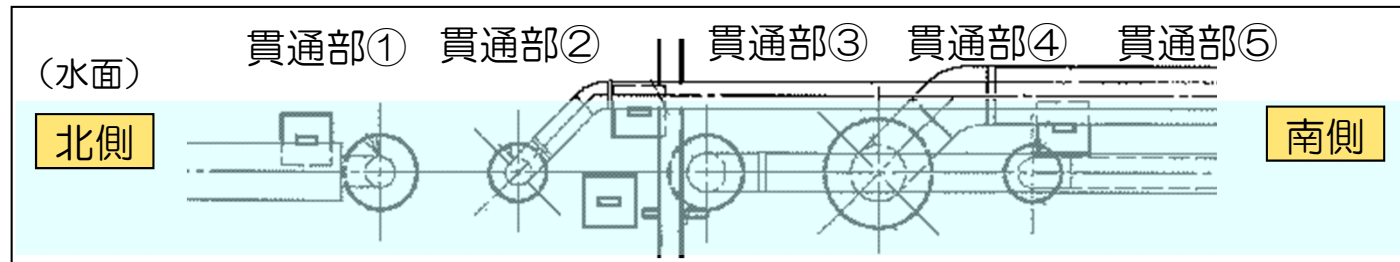
トラス室東壁面建屋貫通部

## 2-4 調査結果-3

### ■ トレーサ散布による漏えいの確認

調査対象：貫通部①・②

- トレーサ※を散布し、トレーサの流れを確認した結果、貫通部周辺での流れは確認されなかった。  
（※トレーサ：粘土系粒子）



貫通部①

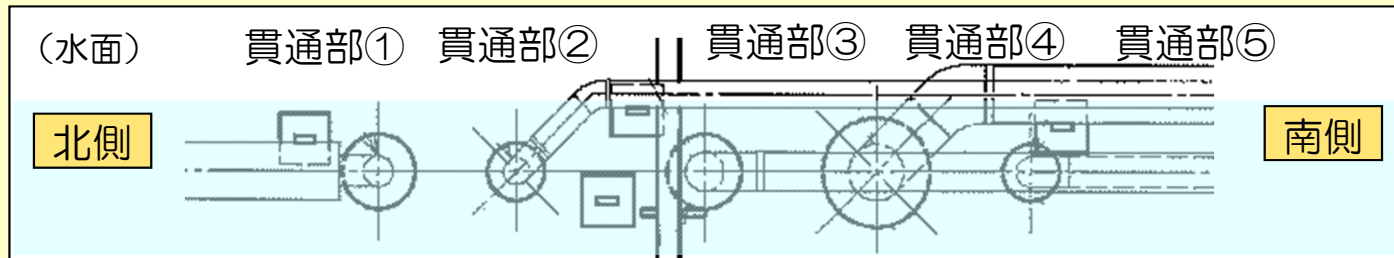


貫通部②

トレーサ  
トレーサ散布の状況

## 2-5 まとめ

- トーラス室壁面調査（カメラ映像取得）装置により貫通部の漏えいの有無が確認できることを実証できた。
- 貫通部①、②  
カメラを水中に投入し、トレーサによる調査の結果、貫通部の漏えいは確認されなかった。
- 貫通部③、④、⑤
  - 干渉物により、水中にカメラを投入することができなかった。
  - 気中から水面の状況を確認した結果、水面での流れは確認されなかった。

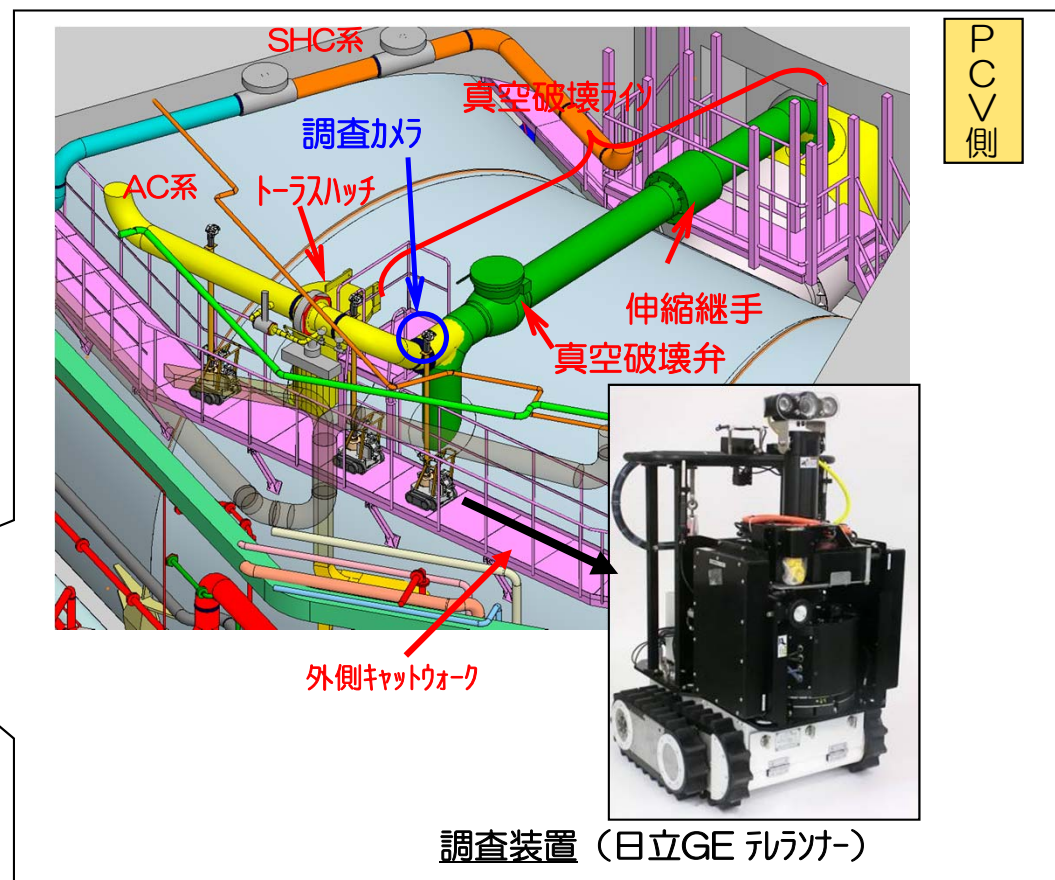
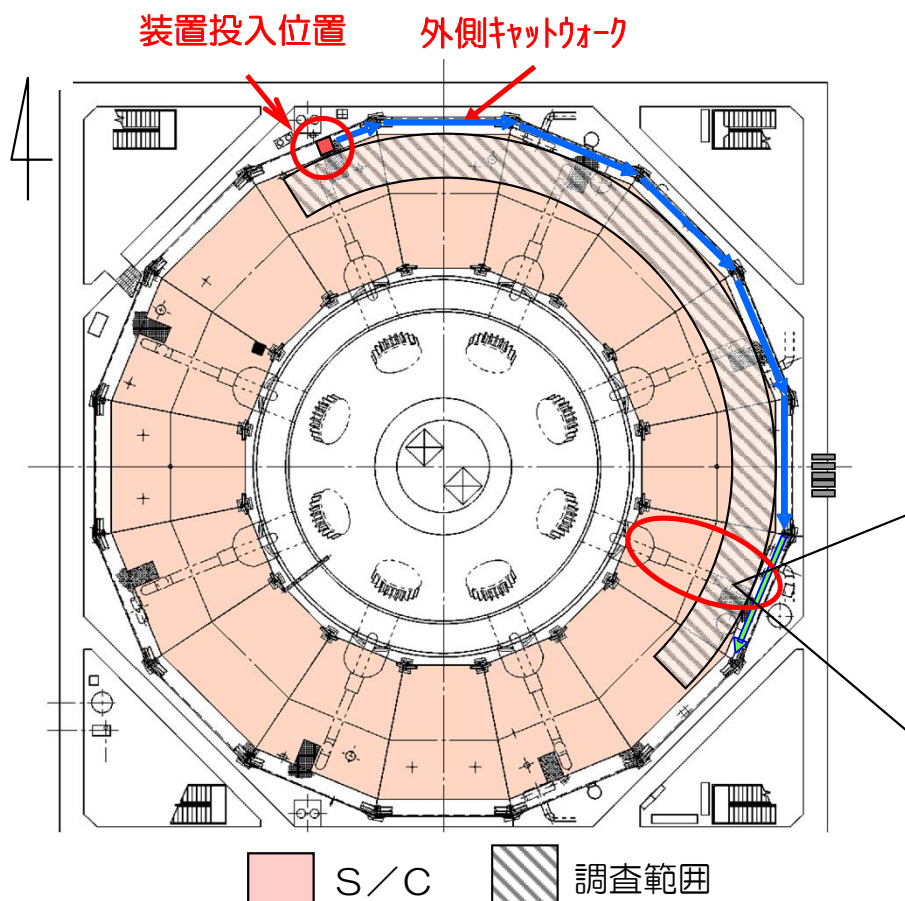


- 貫通部③～⑤については、今後、2号機で実証予定の水中壁面調査装置を用いて、建屋間止水工事前に漏えいの有無を確認する。
- また、計画している超音波（ソナー）調査は、今調査でトレーサの動きがなかったこと及び調査対象箇所が狭隘であることから、実施要否について再検討する。

# 【参考（先月既報分）】 S/C上部調査（北側外周）概要

資源エネルギー庁 補助事業「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」で開発中の S/C上部調査装置を1号機原子炉建屋1階北西エリア穿孔箇所より投入し、外側キャットウォークから調査を実施。

- S/C上部（X-5E近傍）の漏えい箇所の特定
- S/C上部外周側の確認 \* 5月27日 北側外周を実施

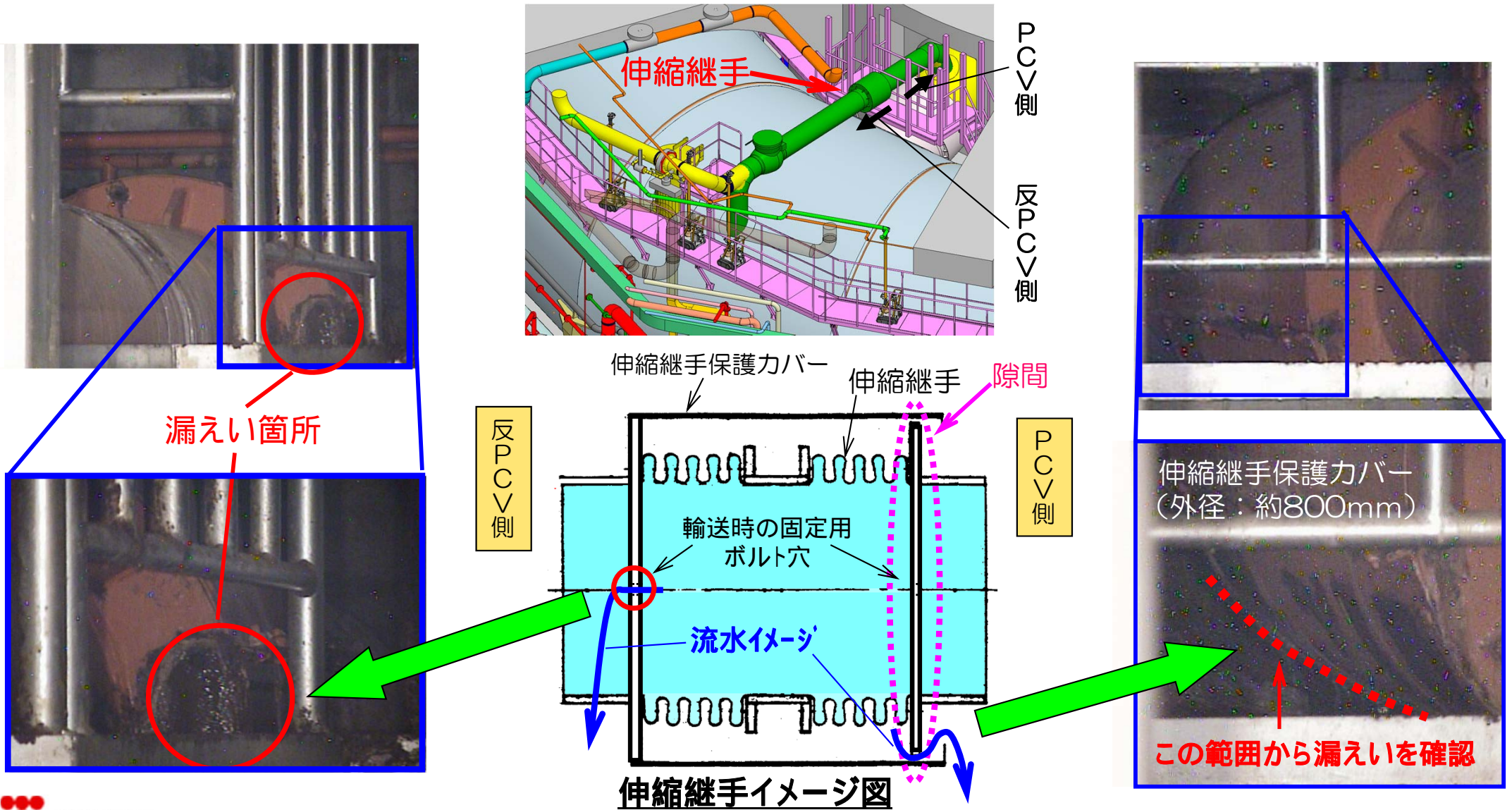


S/C上部調査イメージ図

# 【参考（先月既報分）】 調査結果-1

## ■ S/C上部（X-5E近傍）の状況

- 真空破壊ラインの伸縮継手保護カバーのPCV側と反PCV側からの漏えいを確認。

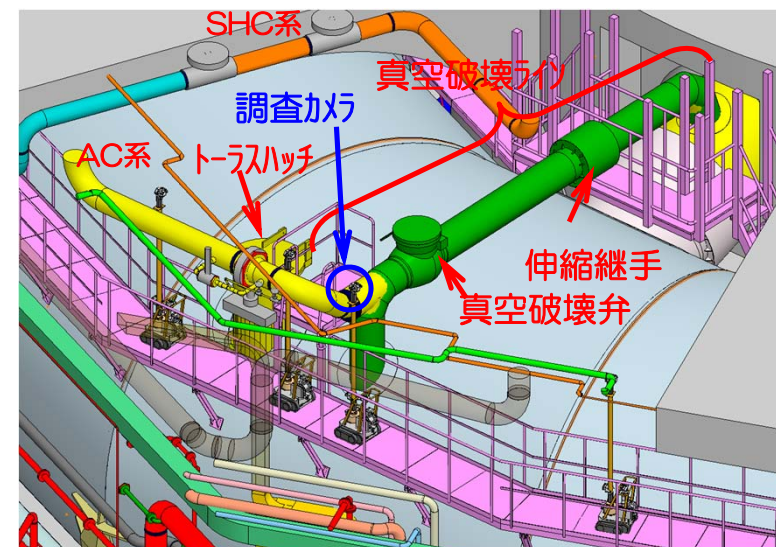




## 【参考（先月既報分）】 調査結果-2

### ■ S/C上部（X-5E近傍）の状況

- 真空破壊弁・トラスハッチ・SHC系配管・AC系配管に漏えいは確認されなかった。



# 【参考（先月既報分）】 調査結果-3

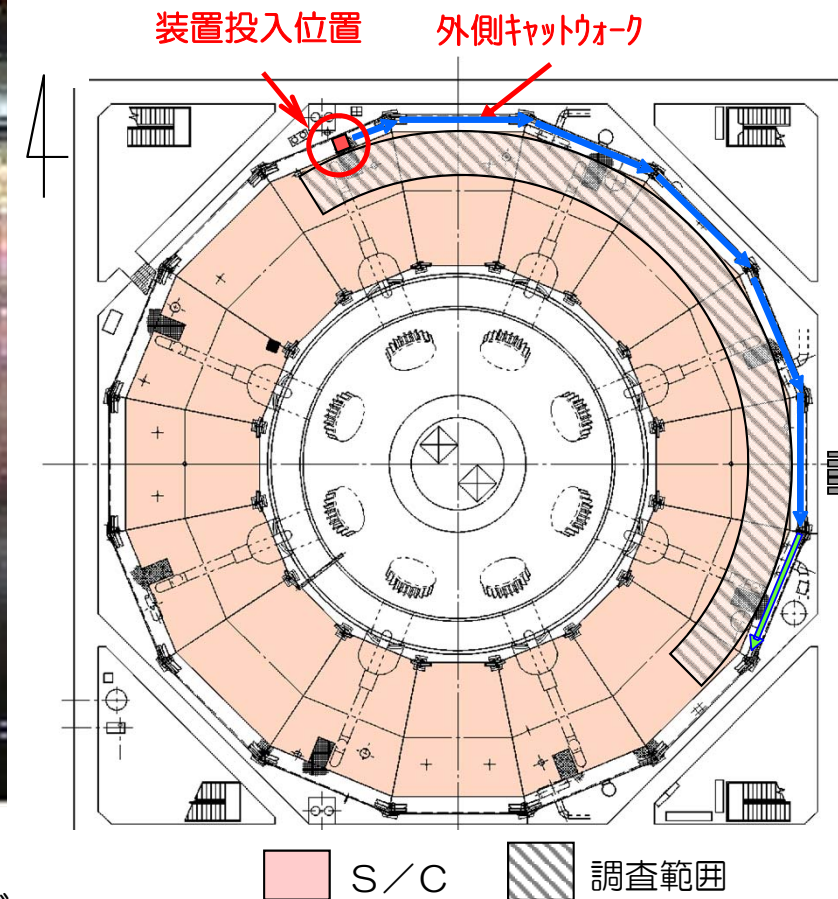
## ■ S/C上部外周（北側）の状況

- 漏えい・機器の著しい損傷は確認されなかった。



代表写真

注) 調査装置操作の広角レンズのカメラのため、画面端部の方が湾曲して写っている。



# 研究開発「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」にて開発中のトーラス室壁面調査装置 実証試験の実施について

2014年6月27日

東京電力株式会社



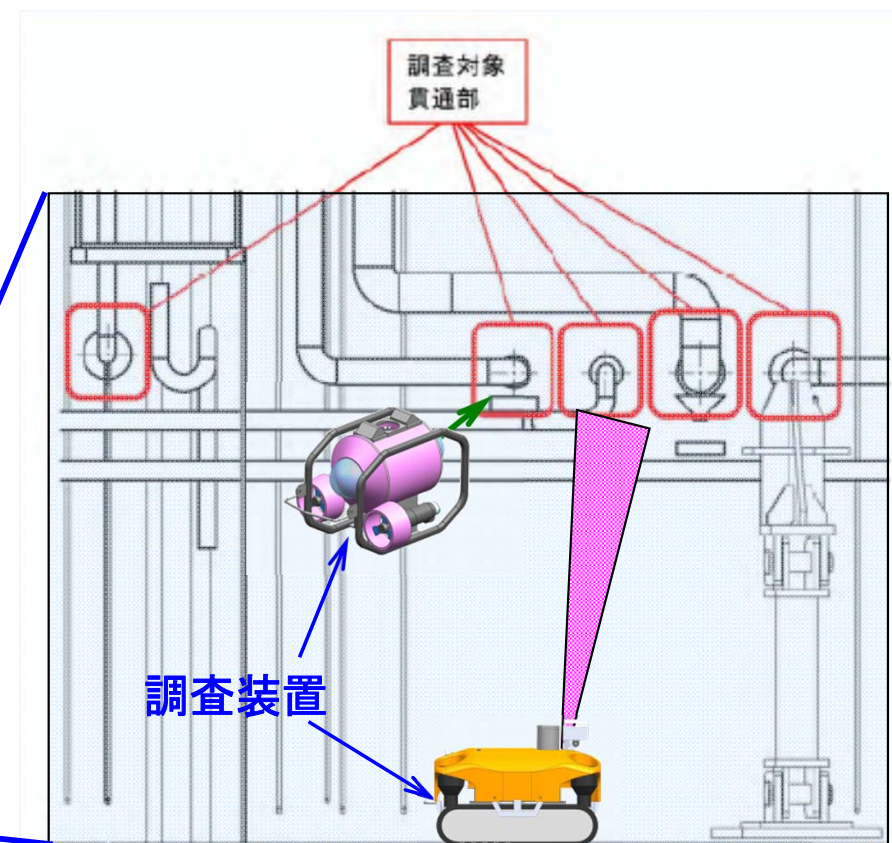
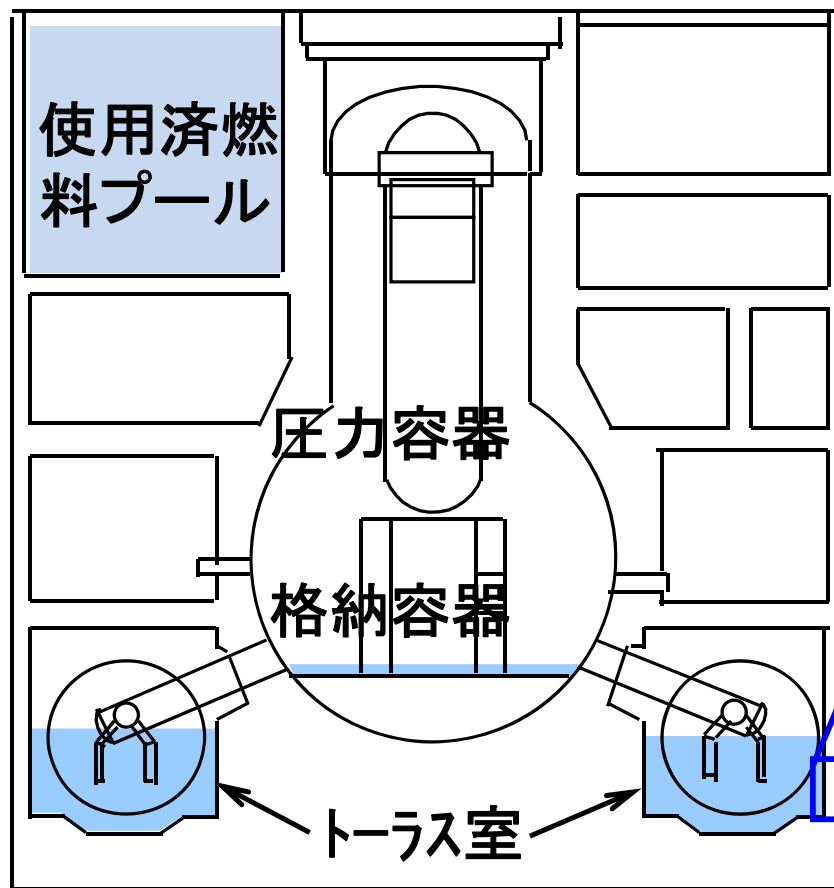
東京電力

IRID

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)の成果を活用しております。

# 1. 概要

研究開発(資源エネルギー庁 補助事業)「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発」で開発中のトラス室壁面調査装置について、2号機のトラス室壁面(東壁面北側)を対象に実証試験を行う。



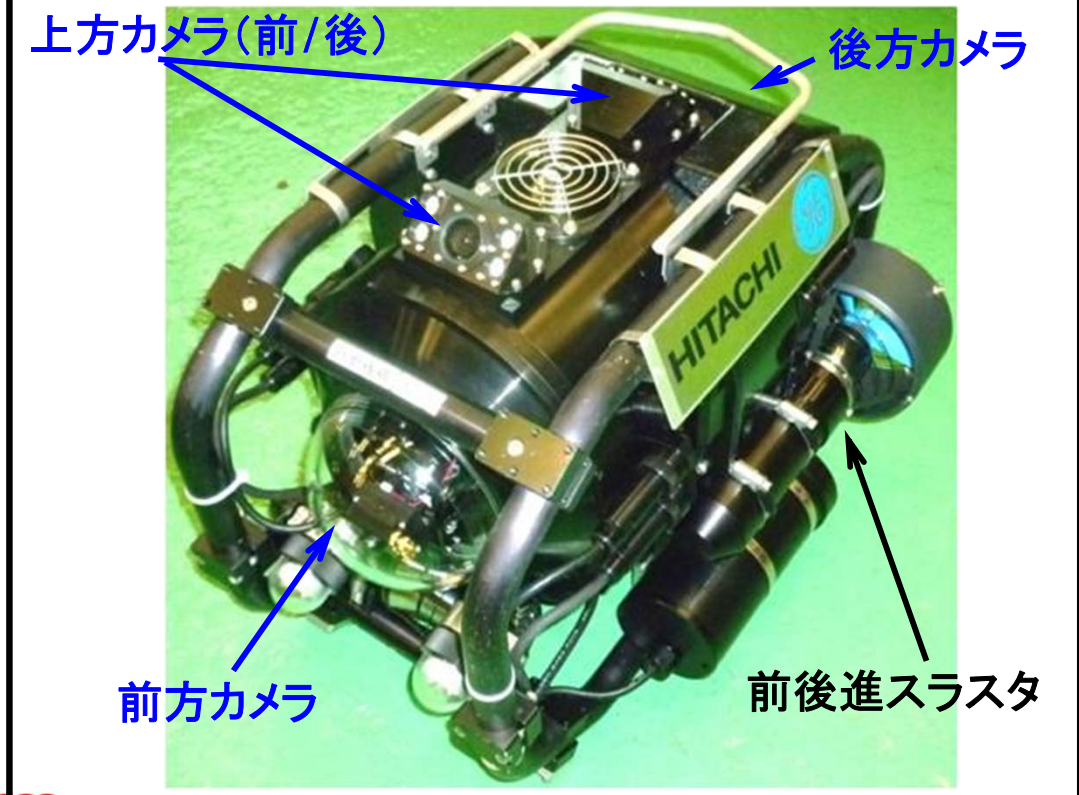
トラス室壁面(東壁面北側)

トラス室壁面調査装置実機検証イメージ図

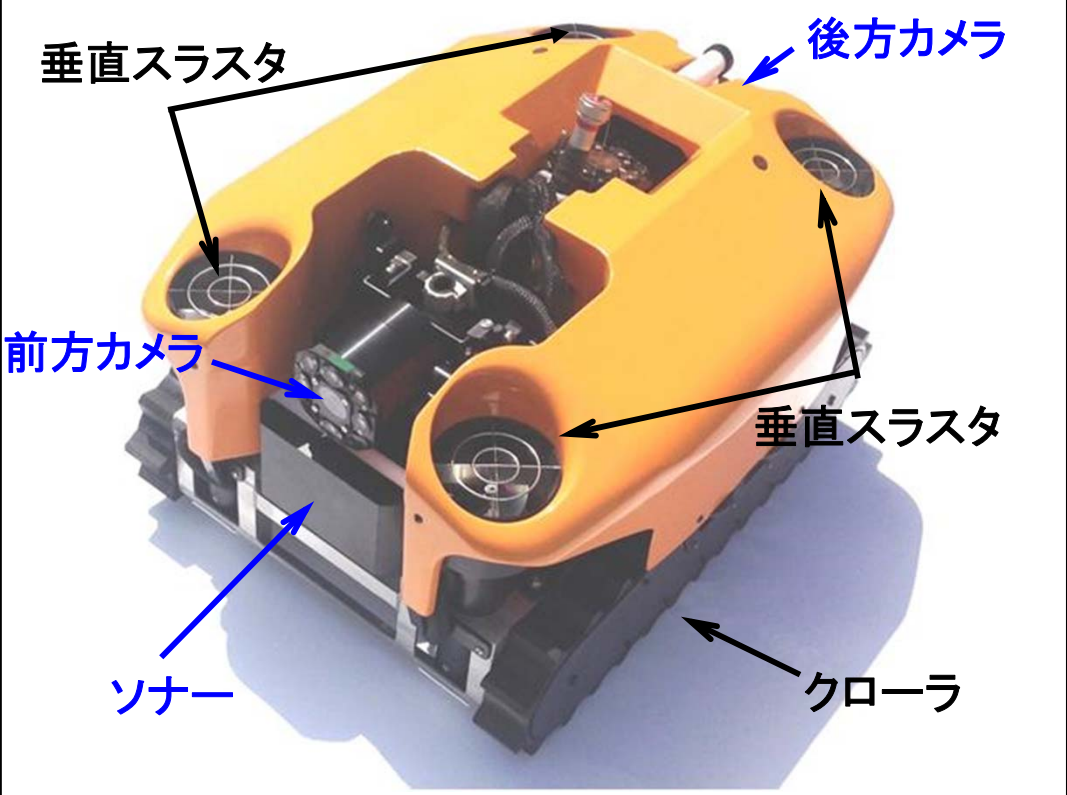
# 2. 実証内容

トーラス室壁面調査装置は水中遊泳ロボットと床面走行ロボットの2つの装置を開発。  
①水中遊泳ロボット(げんごROV)はカメラ映像取得、②床面走行ロボット(トライダイバー)は超音波ソナーによるドップラ計測画像取得により壁面調査する機能を有している。  
これらの機能を実機検証する。

①水中遊泳ロボット(げんごROV)  
(カメラ映像取得)

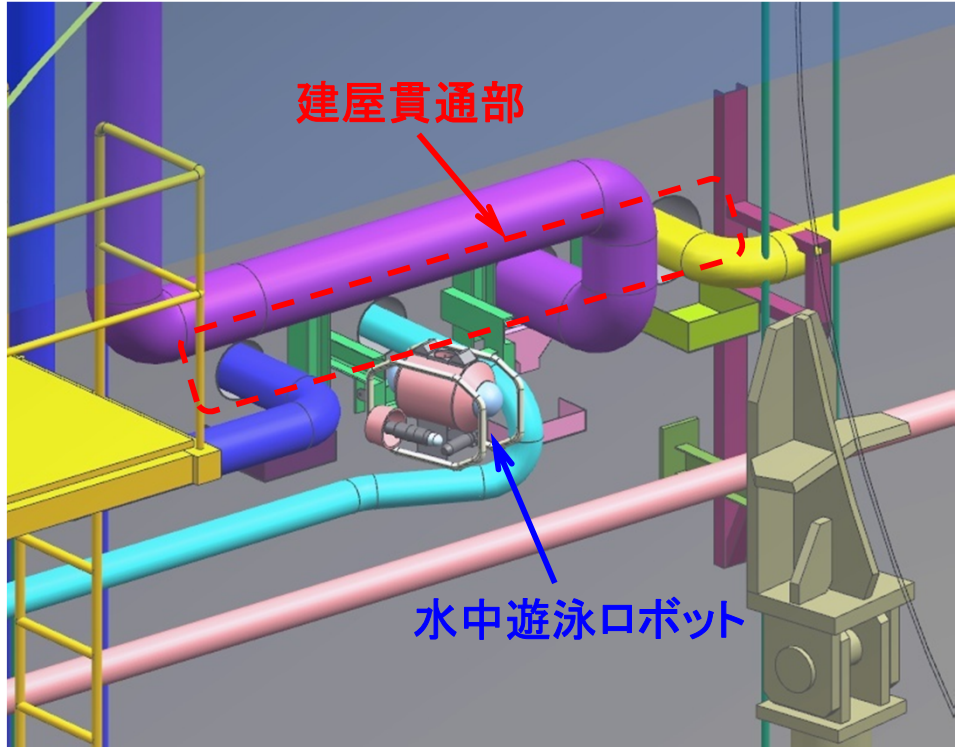


②床面走行ロボット(トライダイバー)  
(超音波ソナーによるドップラ計測画像取得)



## 2. 実証内容(水中遊泳ロボット(カメラ))

トラス室東壁面北側建屋貫通部(5箇所)の状況および滞留水の流れの有無を、1階床面より投入した水中遊泳ロボットのカメラにより映像を取得し確認する。

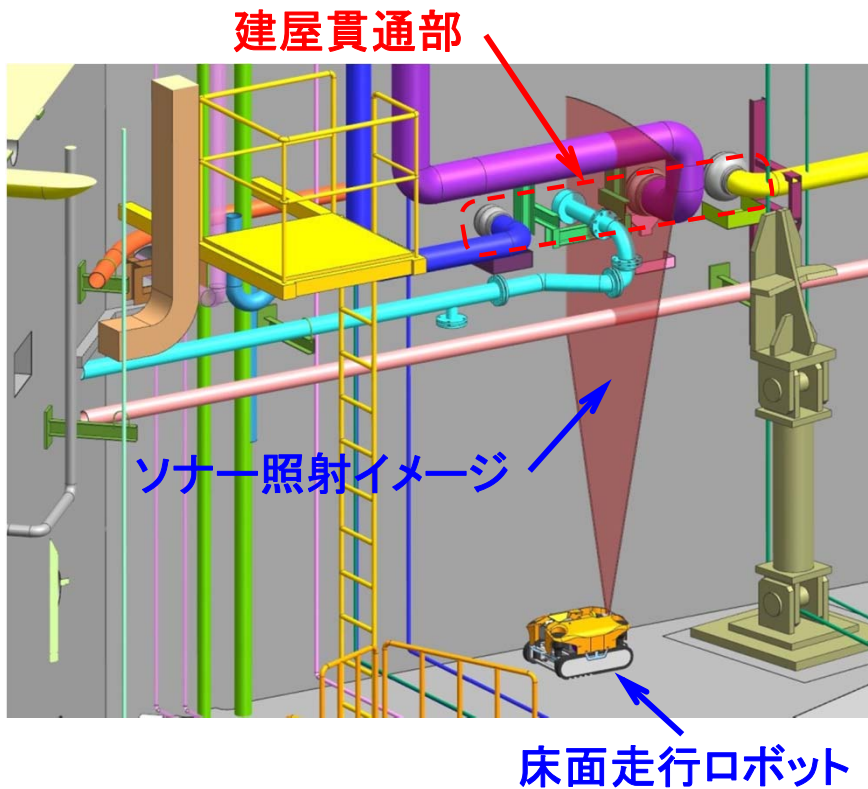


調査対象箇所	調査内容
トラス室東壁面北側 建屋貫通部	・ 貫通部の状況確認 ・ 滞留水の流れ有無の確認

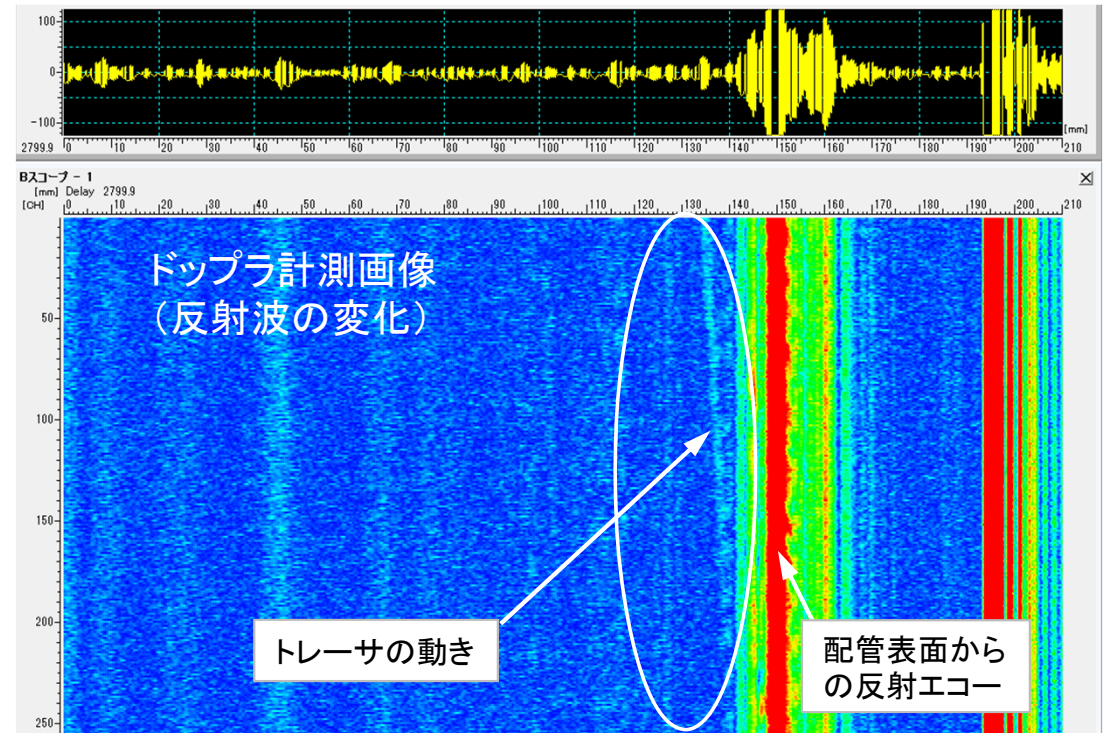
水中遊泳ロボット(カメラ)による  
トラス室壁面調査イメージ図

## 2. 実証内容(床面走行ロボット(超音波ソナー))

トラス室東壁面北側建屋貫通部について、水中遊泳ロボットのカメラ映像により確認した滞留水の流れの有無から、それぞれ貫通部1箇所を選定し、トラス室床面に下ろした床面走行ロボットの超音波ソナーによりドップラ計測画像を取得し滞留水の流れの有無を確認できることを実証する。



調査対象箇所	調査内容
トラス室東壁面北側 建屋貫通部	滞留水の流れ有無の確認

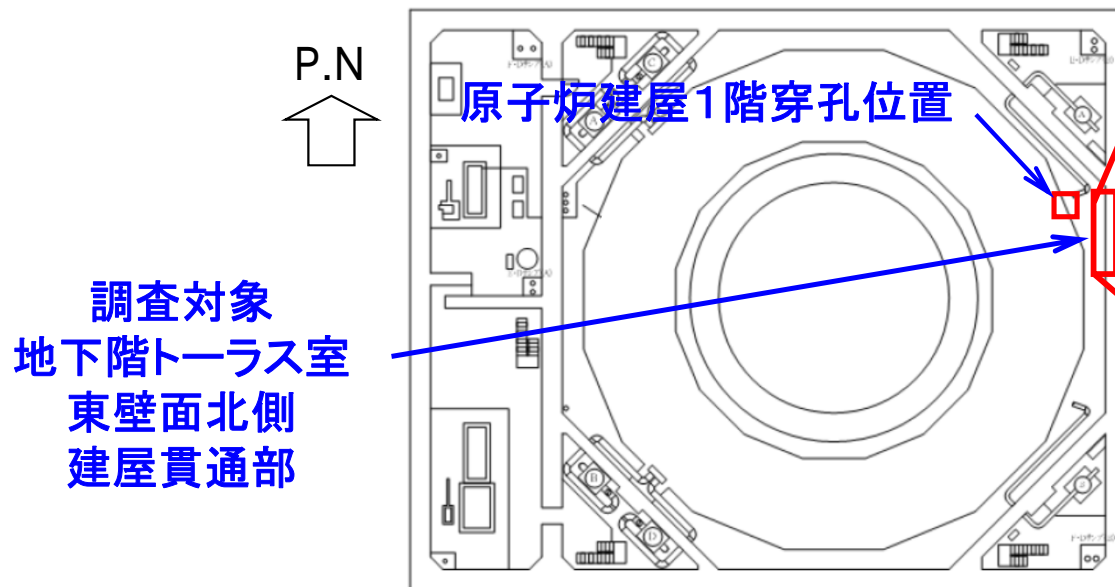


床面走行ロボット(超音波ソナー)による  
トラス室壁面調査イメージ図

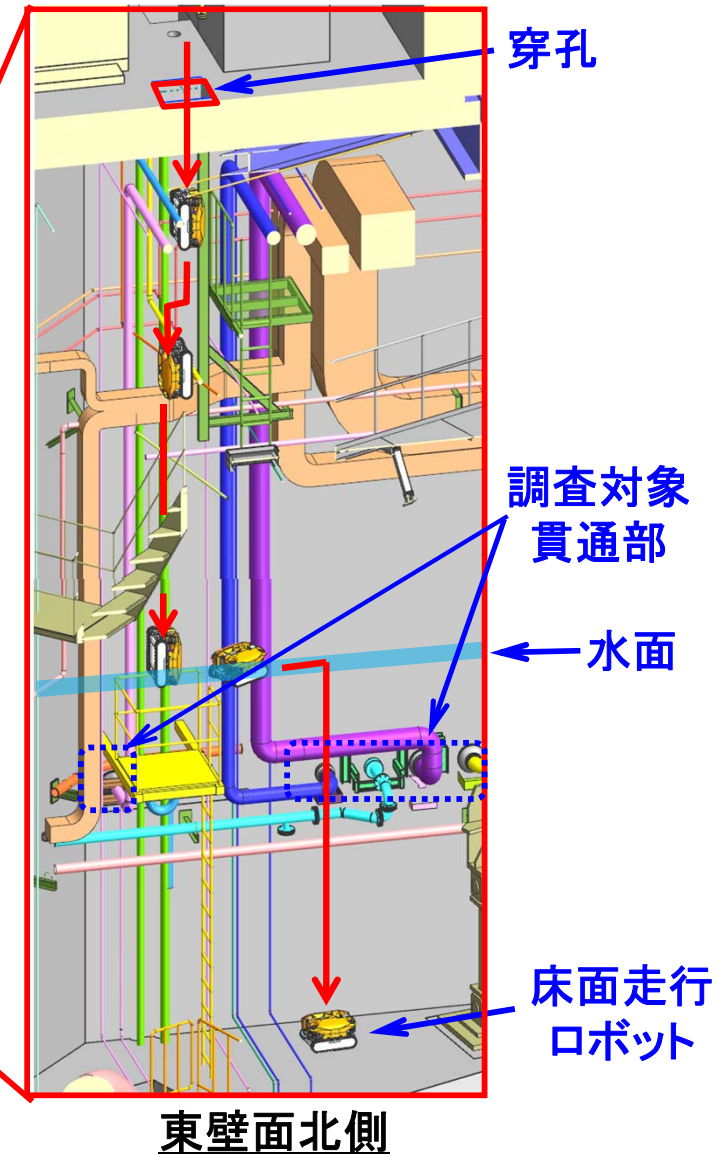
ドップラ計測画像イメージ(ドップラ計測についてはスライド8参照)

### 3. 調査装置アクセス方法

2号機原子炉建屋地下階トーラス室東壁面北側建屋貫通部を調査するため、1階北東エリアの床面に穿孔した615mm×615mm角穴から調査装置を吊り下ろす。水中遊泳ロボットは水中を遊泳し、調査対象箇所であるトーラス室東壁面北側建屋貫通部まで移動し調査する。床面走行ロボットは地下階床面まで下ろし、調査対象に超音波が届く位置へ移動し調査する。



原子炉建屋地下階平面図



床面走行ロボット吊り下ろしイメージ



# 4. 実証試験スケジュール

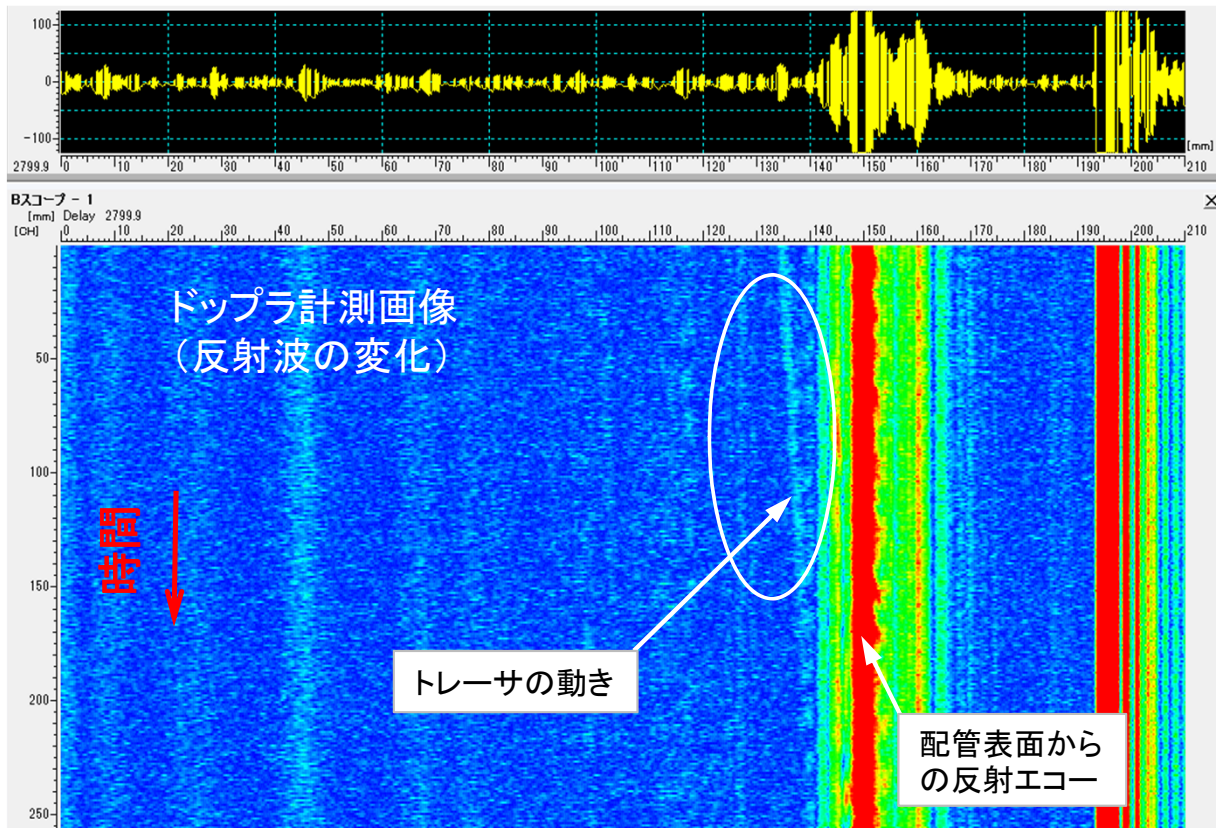
2号機原子炉建屋1階床穿孔後、トーラス室壁面調査の実証試験を実施予定。

	6月				7月			
2号機原子炉建屋 1階床穿孔作業			6/16~6/24準備作業	6/25~7/14床穿孔作業				
トーラス室壁面調査 (カメラおよびソナー)						7/15準備作業	7/16~7/24トーラス室壁面調査	

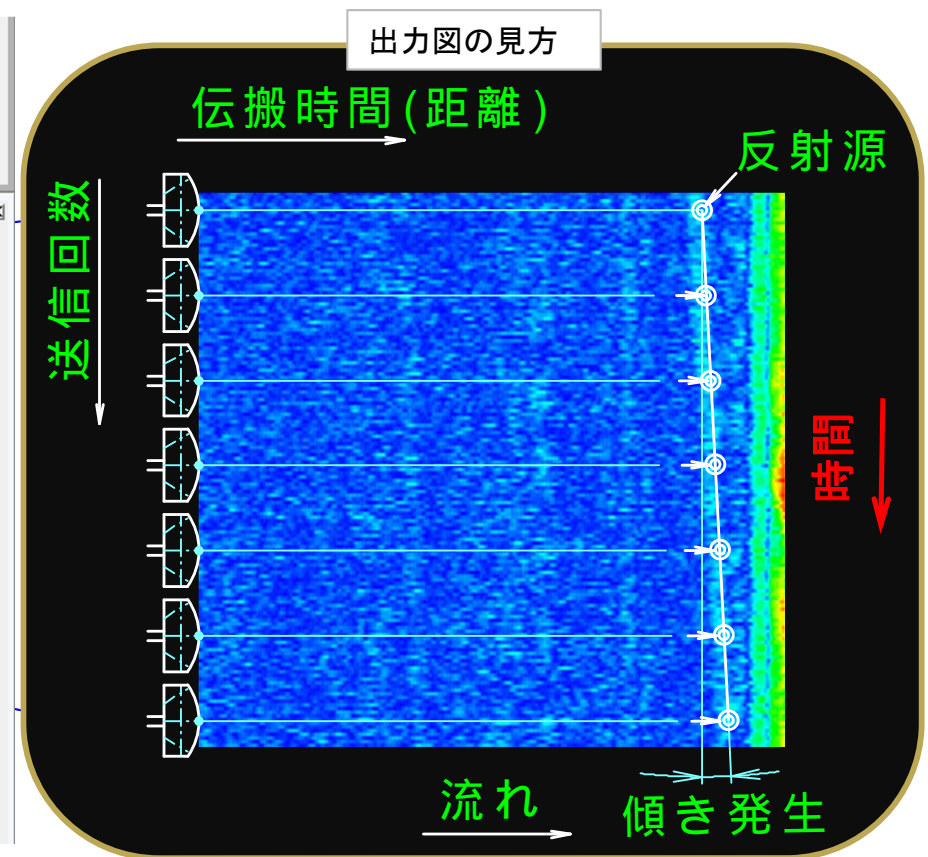
# 【参考】ドップラ計測

超音波を1秒間に数百回くりかえし送信し、トレーサ(水中の微粒子など)からの反射波の微小な変化を捉え、流れの有無を確認する。

流れがある場合には、流れが速いほど反射源の表示上の傾きが大きくなる。

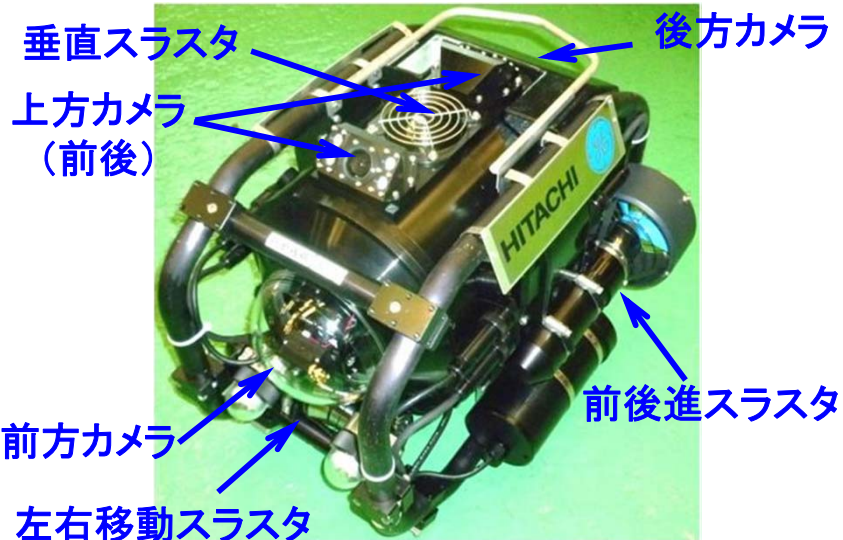
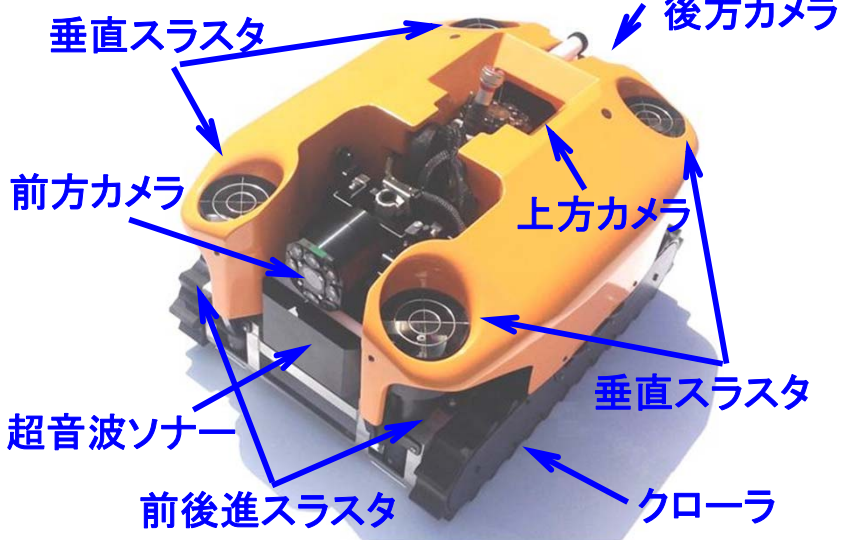


ドップラ計測画像例



拡大図

# 【参考】調査装置仕様

	水中遊泳ロボット(カメラ)	床面走行ロボット(超音波ソナー)
装置外観	 <p>垂直スラスタ 上方カメラ(前後) 前方カメラ 左右移動スラスタ 前後進スラスタ 後方カメラ</p>	 <p>垂直スラスタ 前方カメラ 超音波ソナー 前後進スラスタ クローラ 上方カメラ 垂直スラスタ 後方カメラ</p>
寸法	W420mm × L480mm × H375mm	W480mm × L628mm × H378mm
質量	気中:約22kg, 水中:中性浮力	気中:約40kg, 水中:約1.5kg
推進装置(スラスタ)	前後進:2基 垂直:1基 左右移動:1基	前後進:2基 垂直:4基
走行速度(クローラ)	—	最大60mm/s
ケーブル	長さ:100m、外径:φ7.7, 電源線2芯, 光ファイバ1芯	長さ:80m, 外径:φ14.5, 電源線2芯, 通信線4芯
調査機器	デジタルズーム付パンチルトカメラ:2台(前後各1台) デジタルズームカメラ:2台(前後上方各1台)	超音波ソナー(視野角30°) 前後上方カメラ(計3台、前方カメラはチルト付)

## 本スライド以降参考資料

国プロ「原子炉格納容器の水張りに向けた調査・補修（止水）技術の開発」（調査）等の成果活用について

平成26年2月27日

東京電力株式会社

# 目次

- 1 . P C V 下部 ( 地下階 ) 調査
  - ( 1 ) P C V 下部 ( 地下階 ) の止水工法 . . . . . P 3
  - ( 2 ) P C V 下部 ( 地下階 ) 調査箇所 . . . . . P 4
  - ( 3 ) 【対象】の調査 . . . . . P 5 , 6
  - ( 4 ) 【対象】の調査 . . . . . P 7 , 8
- 2 . P C V 上部 ( 地上階 ) ペネ等調査 . . . . . P 9
- 3 . トーラス室・三角コーナー壁面調査 . . . . . P 1 0
- 4 . 調査計画・実績
  - ( 1 ) 調査計画・実績 [ 1 号機 ] ( 案 ) . . . . . P 1 1
  - ( 2 ) 調査計画・実績 [ 2 号機 ] ( 案 ) . . . . . P 1 2
  - ( 3 ) 調査計画・実績 [ 3 号機 ] ( 案 ) . . . . . P 1 3

# 1. (1) PCV下部(地下階)の止水工法

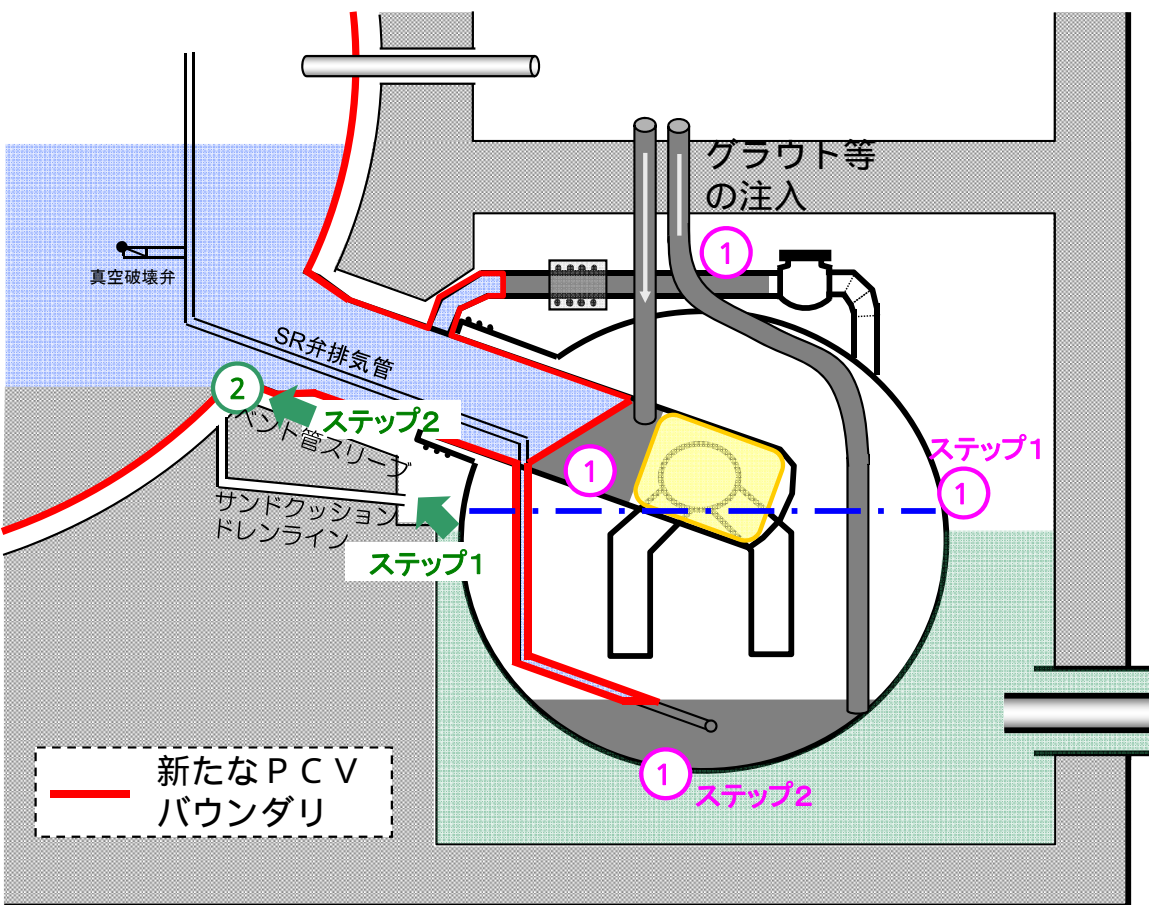
国PJにおいて以下の止水工法について検討。

	ジェットデフでの止水	ベント管での止水	ダウンカマでの止水	トーラス室での止水
イメージ図	<p>新たなPCVバウンダリ</p>	<p>新たなPCVバウンダリ グラウト等の注入 袋のようなものを膨らませて栓をする SR弁排気管</p>	<p>新たなPCVバウンダリ グラウト等の注入 SR弁排気管</p>	<p>新たなPCVバウンダリ グラウト等の注入</p>
机上検討	<p>グラウトの注入管をジェットデフにアクセスさせることが困難→成立性が低い</p>	<p>R/B1階からグラウト等の注入管をアクセスさせることが可能であり、成立の可能性有り</p>		<p>成立の可能性有るが、バウンダリが最も大きくなる(系統側もバウンダリとなる) ベント管ベローズ、真空破壊ラインベローズ(1号機)まで止水材を充填する必要あり</p>
要素試験	—	<p>要素試験により、止水の可能性を確認 今年度1/2モデル試験他を実施予定</p>	<p>要素試験により、止水が難しいことを確認(下流側からの止水が困難)</p>	<p>漏えい箇所を流れの下流側から止水する必要があり、今年度に要素試験を実施して確認予定</p>
評価	—	<p>単独での工法の成立性も期待でき、止水工法のベースとして検討</p>	<p>単独での工法の成立性は低いが、ベント管での止水との組合せについて検討</p>	<p>ベント管での止水が成立しない場合のバックアップとして引き続き検討</p>

以上より、PCV下部(地下階)はベント管での止水をベースとした工法を優先的に検討していくこととし、並行して止水に向けた調査を実施中。

# 1. (2) PCV下部(地下階) 調査箇所

ベント管での止水をベースとした工法の成立性を確認するため、対象 ① の調査を計画。



ベント管止水工法イメージ図

## 【対象】

止水材を充填するS/C下面、ベント管および真空破壊ライン(1号機のみ)について、グラウト等の注入に影響のある損傷等の有無を確認する

《充填可否の確認》

S/C下面については2ステップの調査計画

ステップ1: S/C内水位測定  
(S/C下部の開口面積を推定)

ステップ2: 止水材を充填する箇所の調査

## 【対象】

D/W側のバウンダリ健全性確認を行い、D/W側の追加補修等の対策の必要性を判断する  
《漏えい有無の確認》

ステップ1: ベント管下部周辺調査  
(D/W側の損傷の可能性確認)

ステップ2: D/W損傷箇所調査

2ステップの調査計画をしている対象箇所については、ステップ1の調査の結果をもってステップ2の調査要否の判断を行う

# 1. (3) 【対象】の調査(1/2)

## 【対象】止水材を充填するS/C下面等

- ・真空破壊ライン(1号機)

真空破壊ライン(1号機)について、グラウト等の注入に影響のある損傷等の有無を確認する(図中A)

### <確認方法>

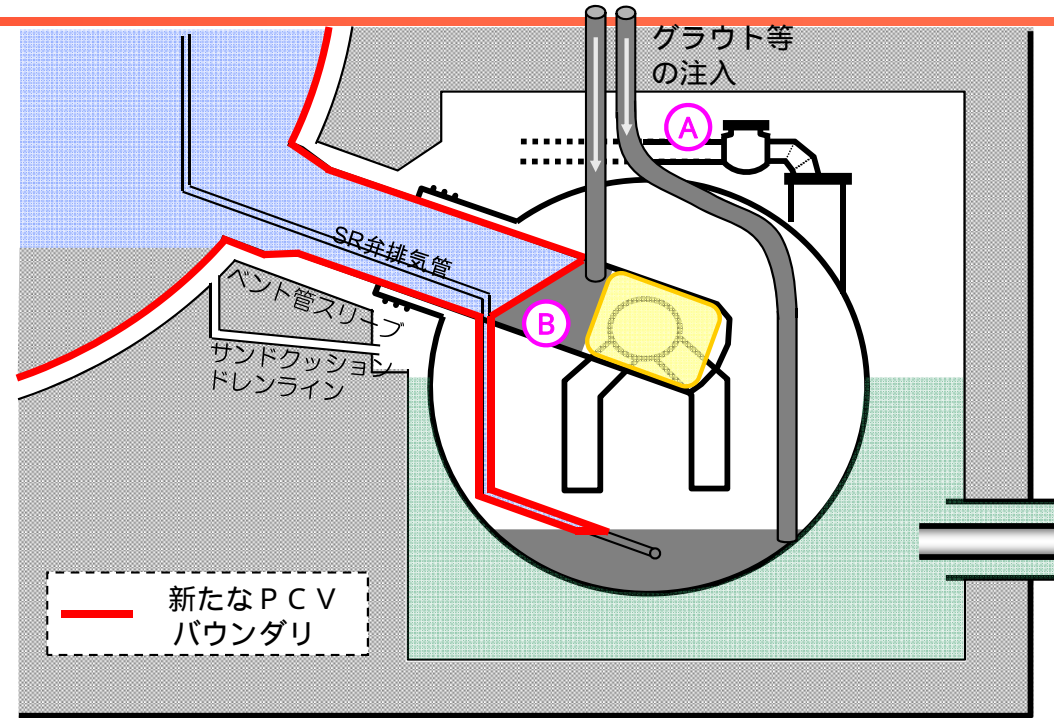
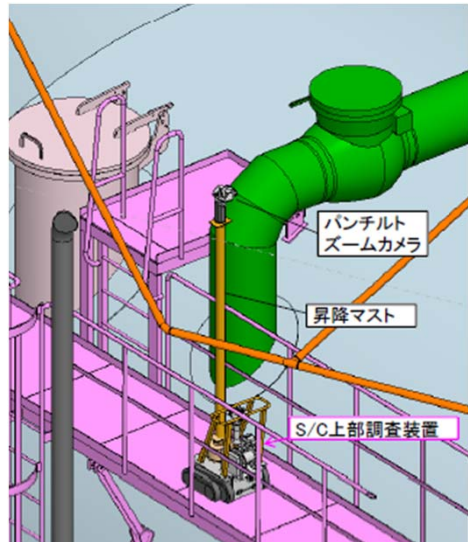
- 1号機: S/C上部調査ロボット(国PJ)
- 2, 3号機: 真空破壊ラインなし

### S/C上部調査ロボット

パンチルト  
ズームカメラ

昇降マスト

クローラ  
フリック



- ・ベント管(S/C内部)

ベント管(S/C内部)について、グラウト等の注入に影響のある損傷等の有無を確認する(図中B)

<確認方法> グラウト注入前にカメラにより目視確認

止水材の充填に影響のある損傷等の有無

有

無

PCV下部  
止水へ

代替工法を  
含め検討



# 1. (3) 【対象】の調査(2/2)

## 【対象】止水材を充填するS/C下面等

・S/Cシェル(下部)

【ステップ1】S/C内の水位から、S/C下部の開口面積を推定し、止水材の充填可否を判断する

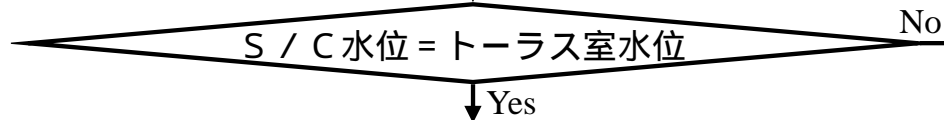
(S/C水位=トラス室滞留水水位の場合、止水材の充填に支障のある開口が存在する可能性あり)

<確認方法>

2号機：S/C内水位測定(遠隔技術TF)(実施済み)

1, 3号機：S/C内水位測定または漏水部調査で判断

PCV内圧を考慮しない場合

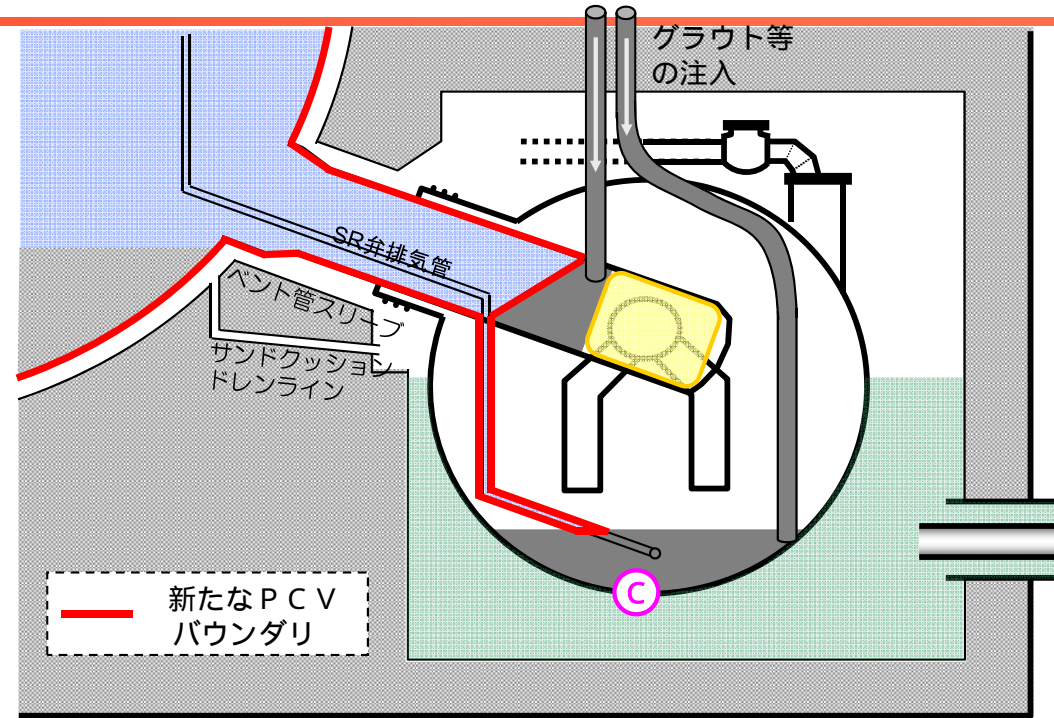
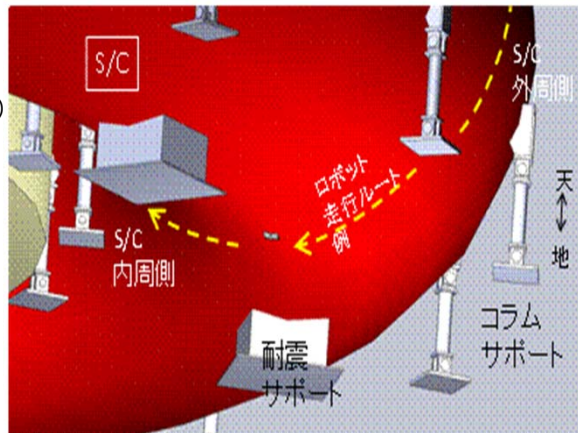
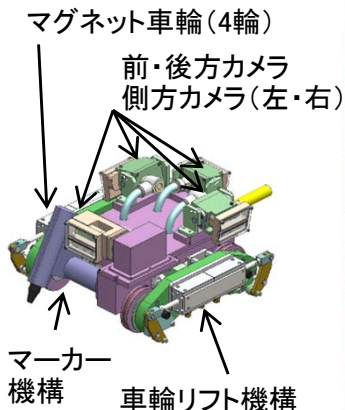


【ステップ2】S/Cシェル(下部)について、グラウト等の注入に影響のある損傷等の有無を確認する(図中C)

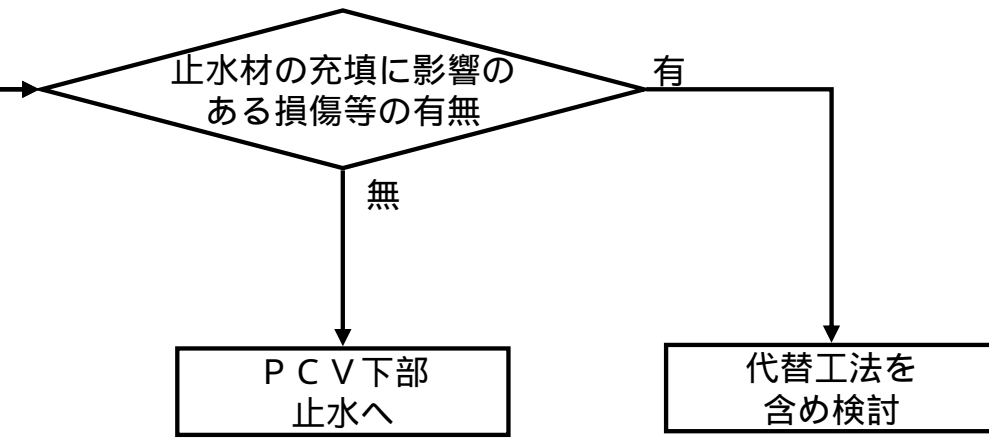
<確認方法>

S/C下部調査ロボット(国PJ)

S/C下部調査ロボット



— 新たなPCV  
バウンダリ



# 1. (4) 【対象】の調査(1/2)

【対象】 D/W側のバウンダリ健全性確認  
 (溶融燃料デブリのPCVシェルアタックを想定)

【ステップ1】 ベント管下部周辺調査(ベント管スリーブおよびサンドクッションドレン管からの水の滴下等の有無を確認(図中D))

<確認方法>

- 1号機: 水上ROV(遠隔技術TF)(実施済み)
- 2号機: 4足歩行ロボット(実施済み)
- 3号機: 4足歩行ロボットでの調査を検討中  
 サンドクッションドレンライン調査装置(国PJ)

サンドクッションドレンラインが水没していた場合

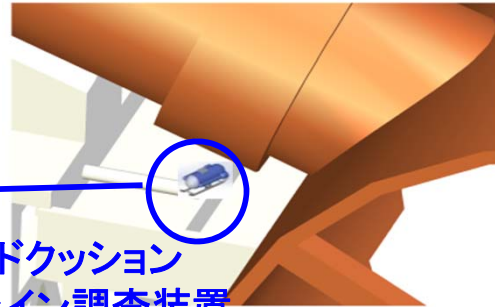
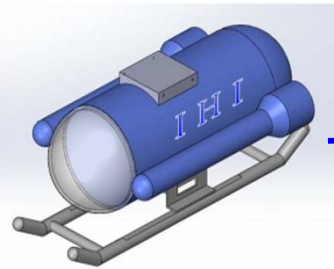
水上ROV



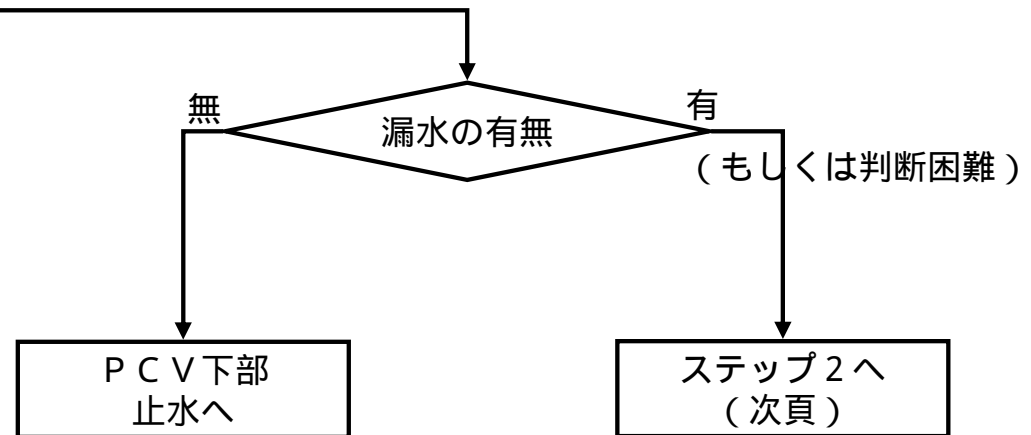
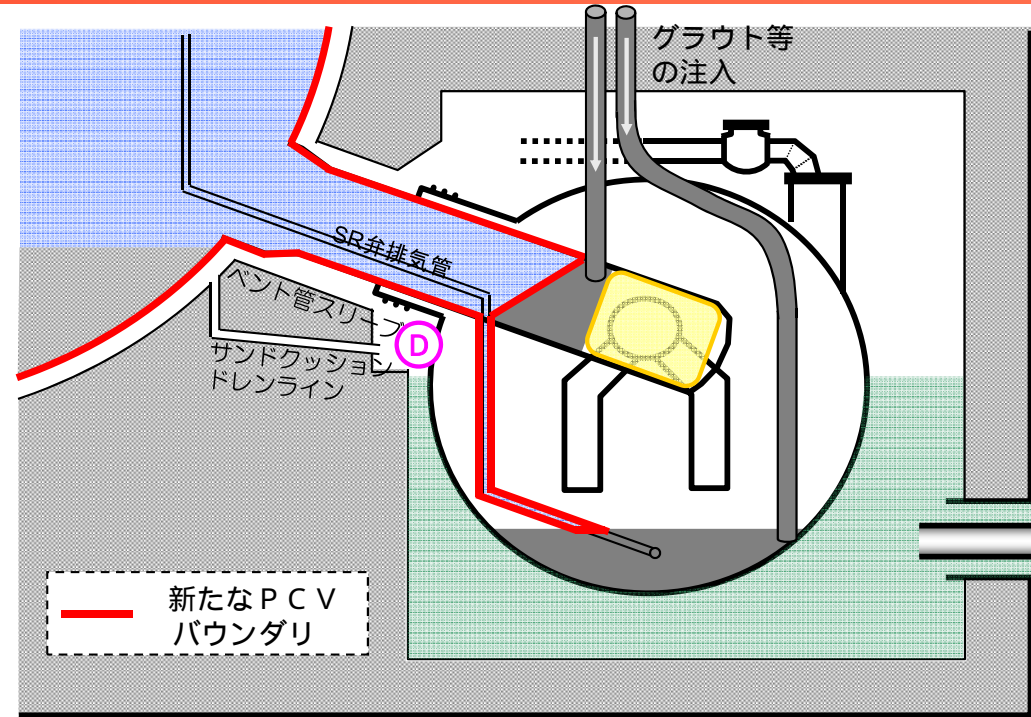
4足歩行ロボット



サンドクッションドレンライン調査装置



サンドクッションドレンライン調査装置



# 1. (4) 【対象】の調査(2/2)

【対象】 D/W側のバウンダリ健全性確認  
(溶融燃料デブリのPCVシェルアタックを想定)

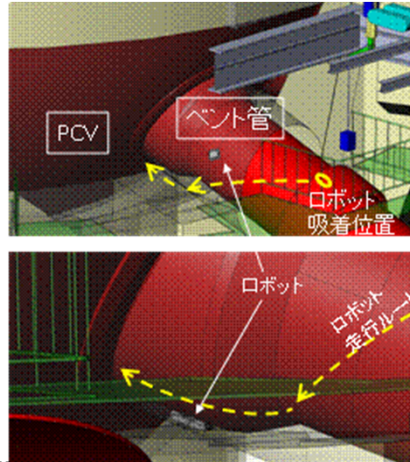
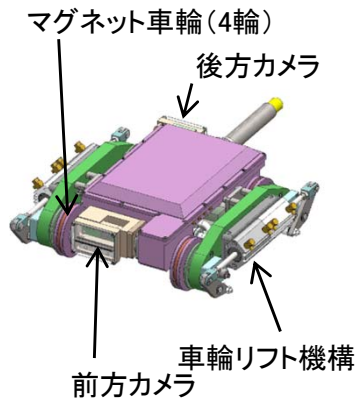
【ステップ2】 D/W損傷箇所調査(図中E)

- 1号機: ステップ1調査にて漏水を確認したため、以下の調査を計画
- 2号機: ステップ1調査により不要
- 3号機: ステップ1調査を踏まえ実施判断

<確認方法>

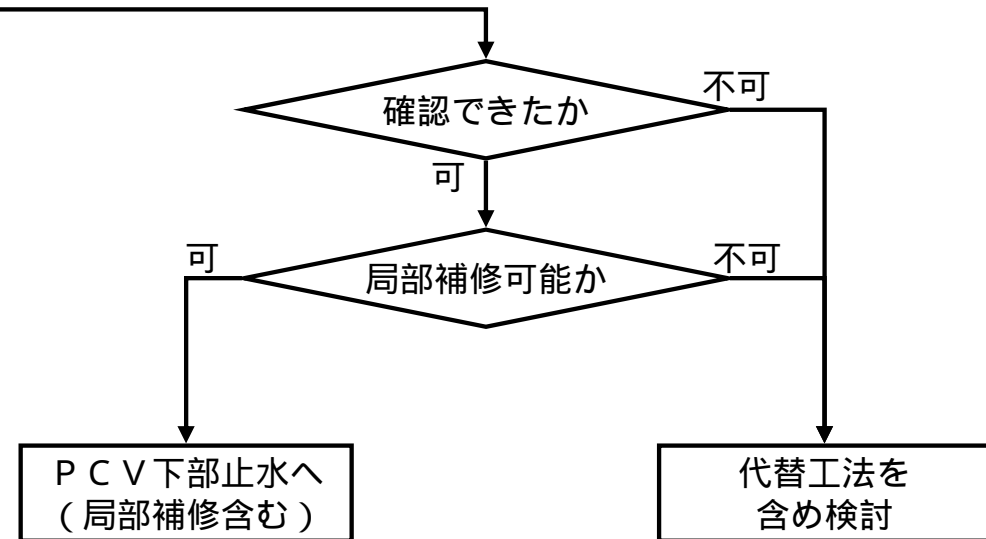
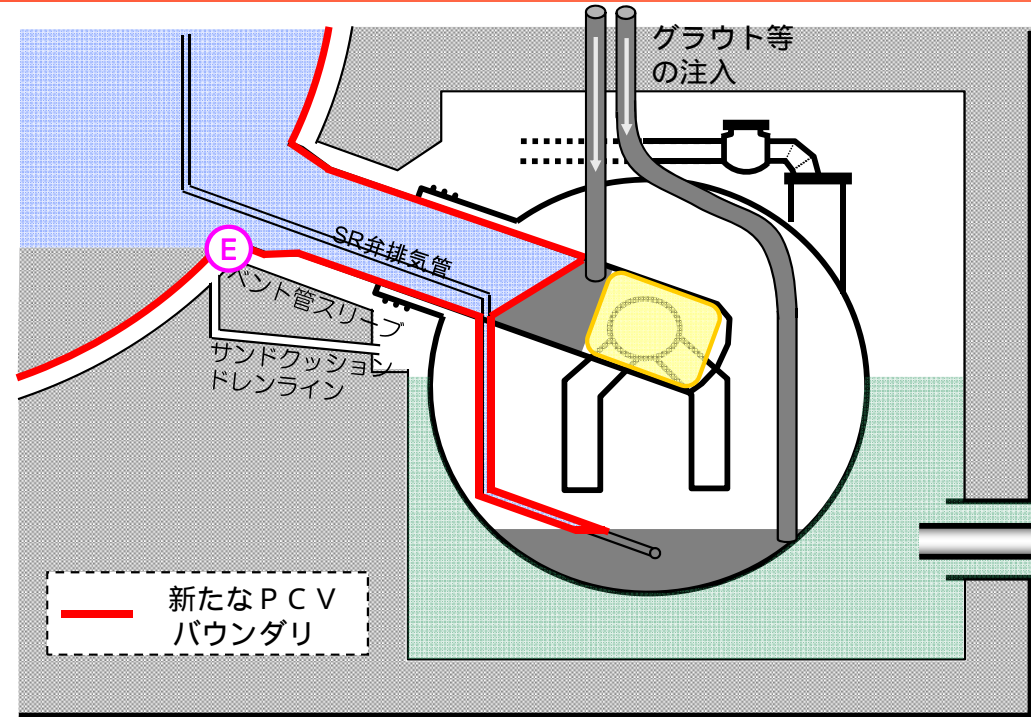
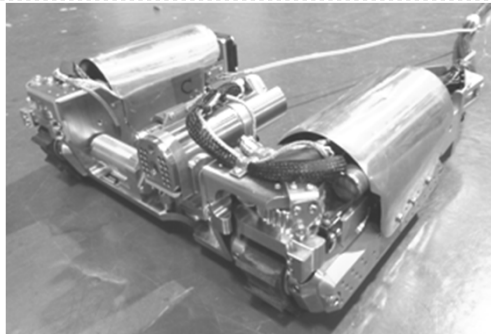
D/W外側からの調査: ベント管接合部調査ロボット(国PJ)

ベント管接合部調査ロボット



D/W内側からの調査: PCV内部調査装置(国PJ)の改良を検討

PCV内部調査装置の改良  
(PCV内部調査PJ)



# 2 . P C V 上部 ( 地上階 ) ペネ等調査

## P C V 上部ペネ等の調査【対象】

【調査1】 損傷の可能性も高く P C V 水張り後に漏水の可能性が否定できないハッチ・貫通部ペネ等について状況を確認する。

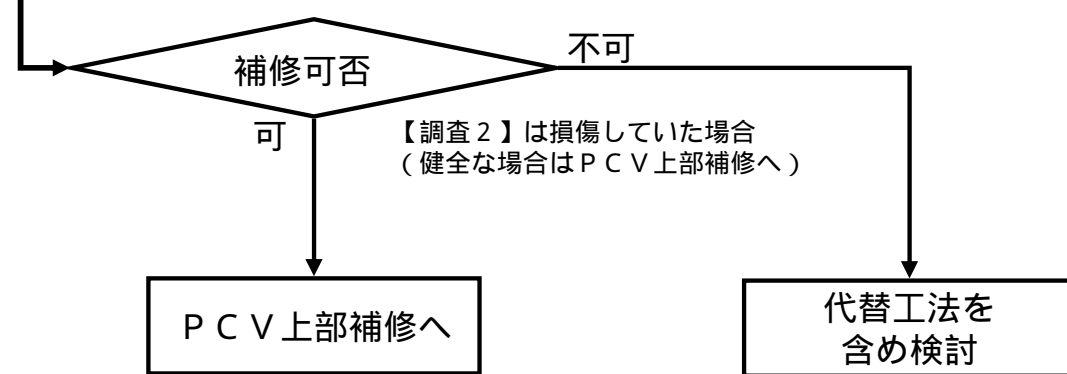
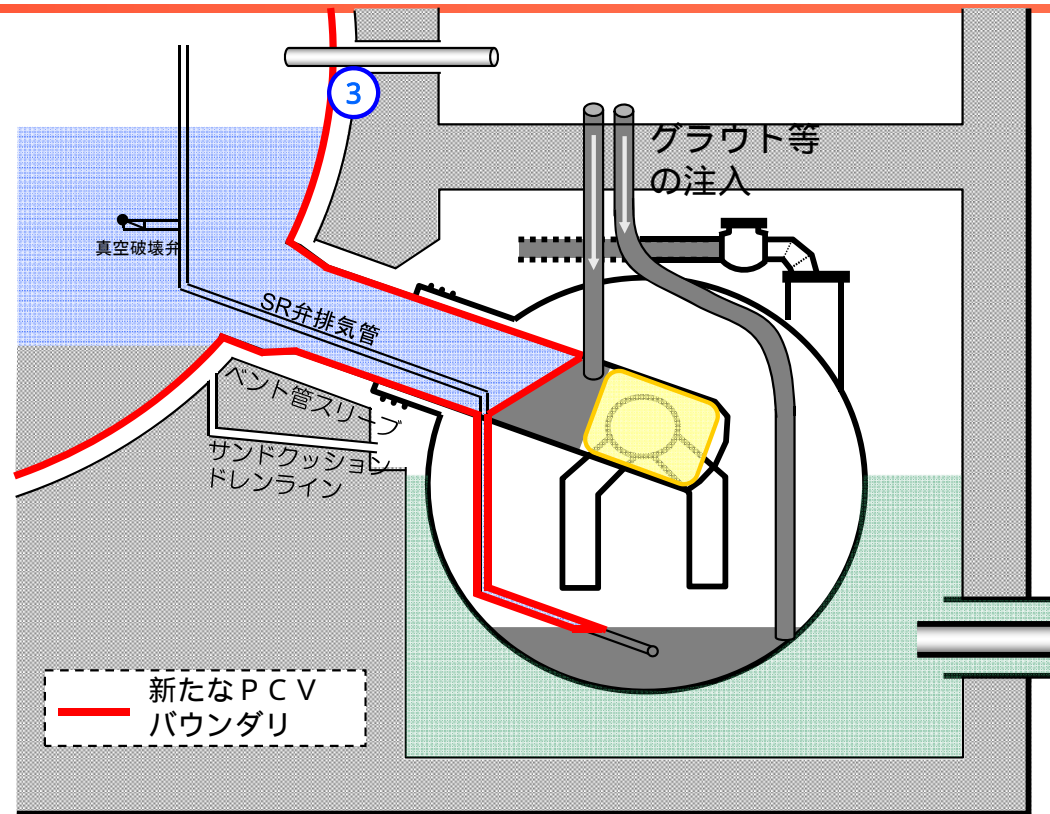
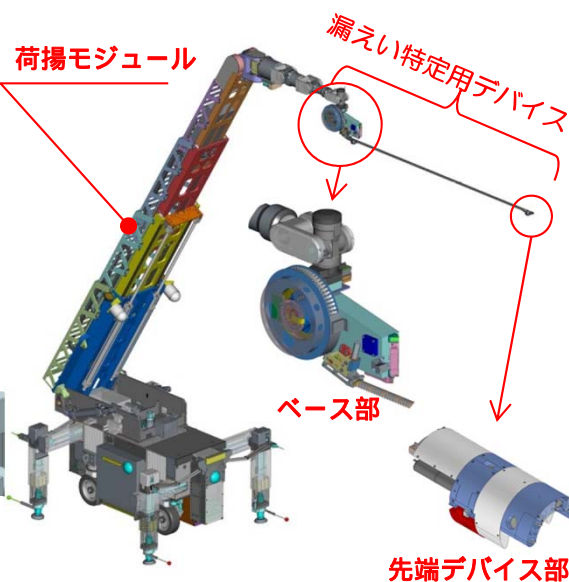
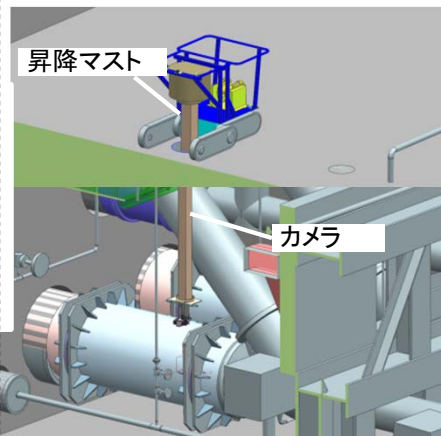
【調査2】 損傷の可能性が低く P C V 水張り後も漏水の可能性が低い貫通部ペネ（直管）について、健全であることを確認する（代表箇所）。

### < 確認方法 >

1 ~ 3号機：  
D / W 狭隘部調査ロボット  
（国 P J）

### < 確認方法 >

1 ~ 3号機：  
D / W 開放部調査ロボット  
（国 P J（台車は N E D O））



# 3 . トーラス室・三角コーナー壁面調査

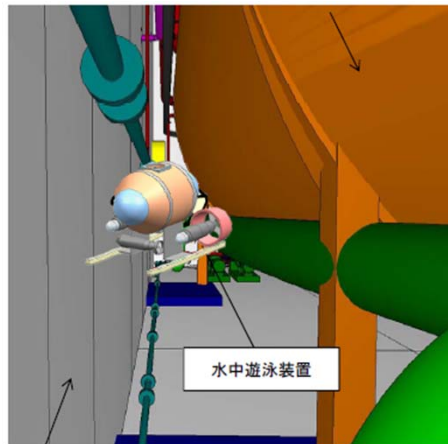
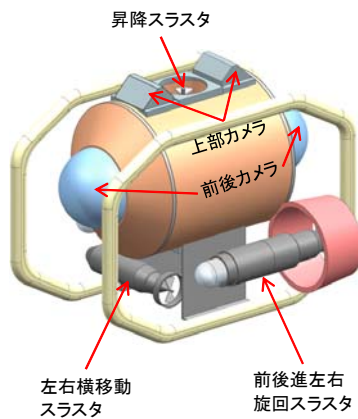
## 隣接建屋に接するR / B壁面【対象】

R / Bと隣接するT / BおよびRw / Bへの漏水状況（損傷状況等）を把握するため、隣接建屋に接するR / B壁面の調査を行う

< 確認方法 >

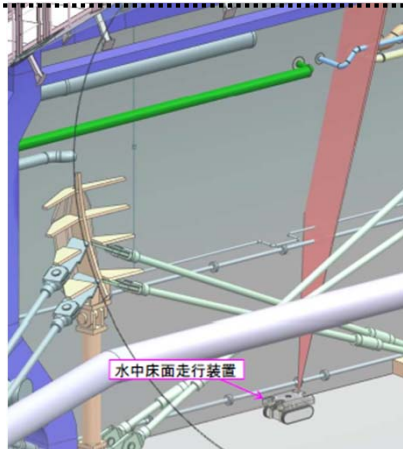
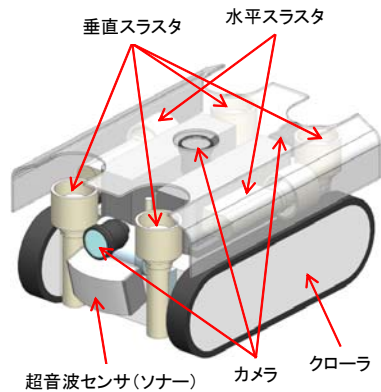
1 ~ 3号機：トーラス室水中壁面調査ロボット（国PJ）

### 水中遊泳ロボット

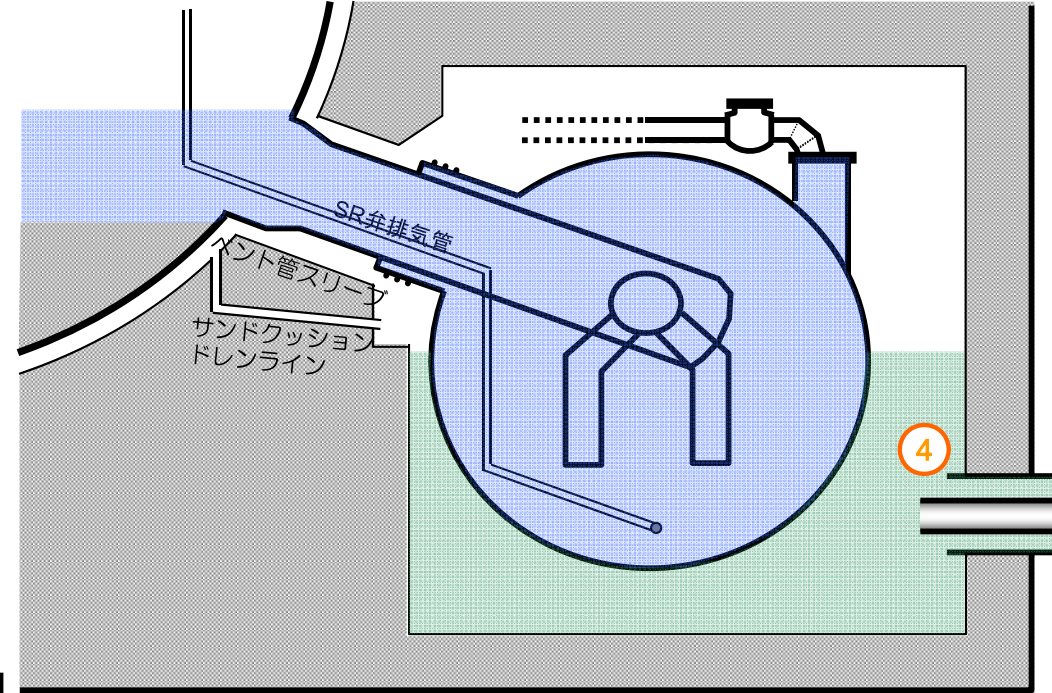


トーラス室壁面

### 床面走行ロボット



水中床面走行装置



漏水状況（損傷状況等）を把握

壁面止水する場合の止水方法検討に反映（グラウト埋設、個別補修等）

# 4 . ( 1 ) 調査計画・実績〔 1号機 〕 ( 案 )

分類	調査	対象	～2013年度	2014年度	2015年度	2016年度～
線量低減 PCV止水	干渉物調査(1F・地下階)	—				
PCV 下部止水	1. PCV下部(地下階)調査	対象①				
			S/C上部調査			
			S/C内水位測定			
		対象②				
		S/C下部調査				
		ベント管下部周辺調査				
燃料デブリ 取出・冷却	PCV内部調査					
PCV 上部補修	2. PCV上部(地上階)調査	対象③				
建屋壁面	3. トーラス室・三角コーナー 壁面調査	対象④				

PCV等調査作業へ反映

PCV止水作業へ反映

S/C上部構造物より  
漏水が無い場合

開口面積大の可能性  
がある場合

(漏水有り)

PCV下部止水工法の確定へ

壁面止水対策検討に反映

# 4 . ( 2 ) 調査計画 ・ 実績 [ 2号機 ] ( 案 )

. . . 実績  
 ●—● . . . 計画  
 ( 表中の ■ は調査対象外 )

分類	調査	対象	～2013年度	2014年度	2015年度	2016年度～
線量低減 PCV止水	干渉物調査(1F・地下階)	—				
PCV 下部止水	1. PCV下部(地下階)調査					
	S/C上部調査					
	S/C内水位測定	対象①				
	S/C下部調査					
	ベント管下部周辺調査	対象②	 (漏水無し)			
	ベント管接合部調査					
燃料デブリ 取出・冷却	— PCV内部調査	—				
PCV 上部補修	2. PCV上部(地上階)調査	対象③				
建屋壁面	3. トーラス室・三角コーナー 壁面調査	対象④				

# 4 . ( 3 ) 調査計画 ・ 実績 [ 3号機 ] ( 案 )

. . . 実績  
 —  . . . 計画

は調査対象外

分類	調査	対象	～2013年度	2014年度	2015年度	2016年度～
線量低減 PCV止水	干渉物調査(1F・地下階)	—		●————●	⇒ PCV止水作業へ反映	
PCV 下部止水	S/C上部調査			↓ PCV等調査作業へ反映		
	S/C内水位測定	対象①		●●————●	開口面積大の可能性 がある場合	
	S/C下部調査			●●————●		
	ベント管下部周辺調査			●●————●		
	ベント管接合部調査	対象②			●●————●	⇒ PCV下部止水工法の確定へ
	PCV内部調査				●●————●	
燃料デブリ 取出・冷却						
PCV 上部補修	2. PCV上部(地上階)調査	対象③				●————
建屋壁面	3. トーラス室・三角コーナー 壁面調査	対象④			●●————●	⇒ 壁面止水対策検討に反映

MSIV室のベロー等から漏水している場合は、S/C水位も高くS/C開口面積大の可能性はないため、水位測定しない場合有り

ベント管スリーブもしくはサンドクッションドレンラインから漏水が確認された場合



# 「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術開発」

PCV上部貫通部（ベローズ、機器ハッチ）  
補修技術の開発状況について

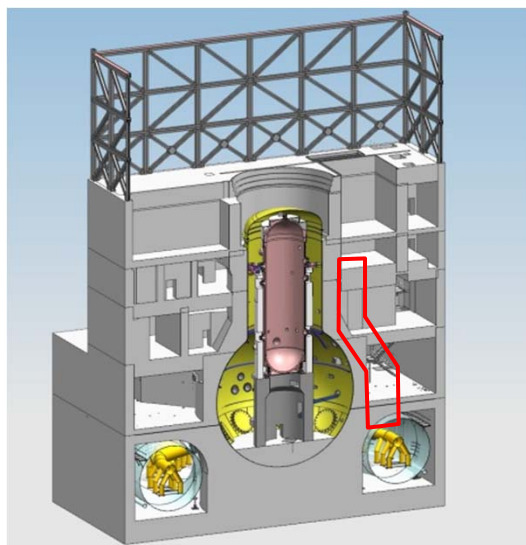
平成26年6月27日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

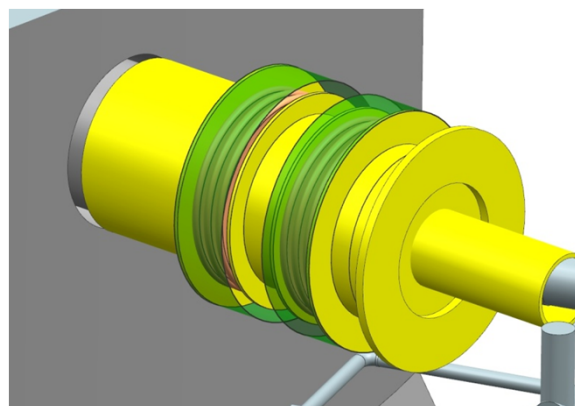
# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

## ■ 実施概要

- 1～3号機原子炉建屋のPCV上部貫通部（ベローズ）を対象に，想定漏えい箇所の補修方法に関する技術開発を実施。
- 線量環境等の現場環境から，補修対象箇所を小部屋内と開放部に大別。それぞれの環境に合わせた補修技術を開発。
- 開放部に設置されている貫通部に対して非セメント系材料で止水する工法の検討を行う。



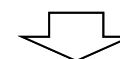
原子炉建屋断面



ベローズ概要

### 現場環境の特徴

- 気中環境での補修
- 高線量



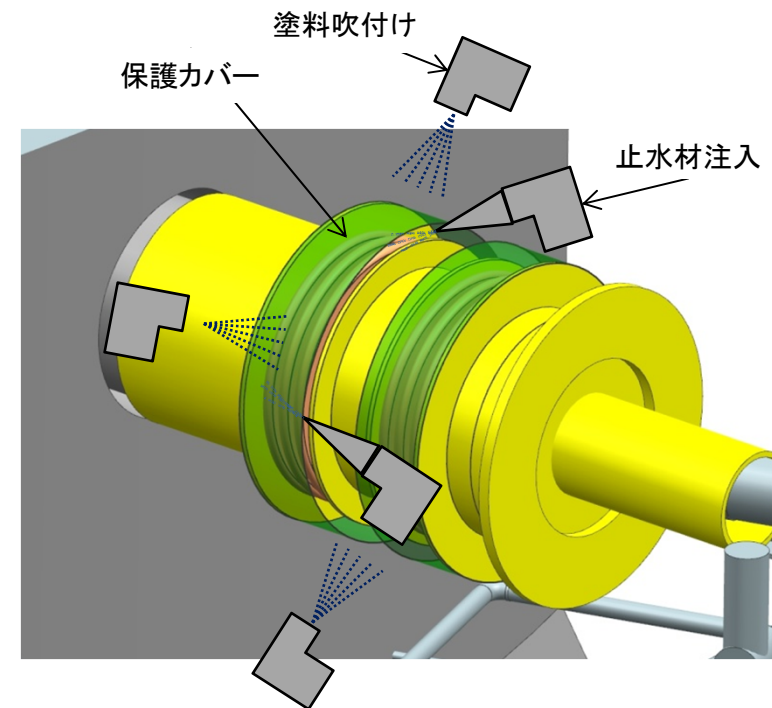
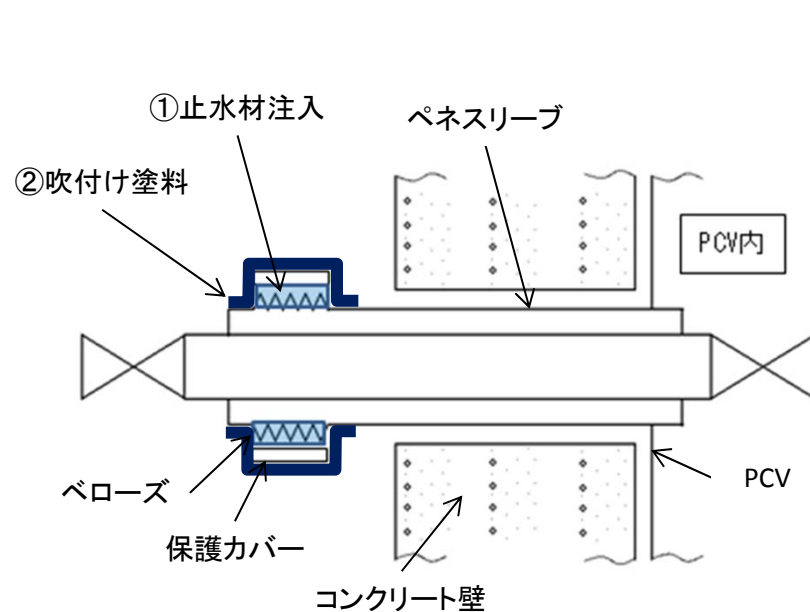
### 補修概念

- 遠隔作業で、重量の軽い非セメント系の材料で止水
- 水張り等により線量低減後に恒久止水を実施

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

## ■ 工法概念

- ① 既設の保護カバーとベローズの隙間部に止水材を注入して止水する。
- ② ベローズ・保護カバーの外周面に高強度の防水塗料を吹付けて止水する。
- ③ ①と②の組合せ



ベローズ付貫通部補修方法概要(案)

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

## ■ 止水材の調査と絞込み

シリコン系、発砲ウレタン系、エポキシ系、ゴム系、無機系、ポリマー系から止水材の候補をリストアップし、下記の試験を実施して、止水材の候補の絞込みを実施。

### ・ 耐水圧性確認のための試験

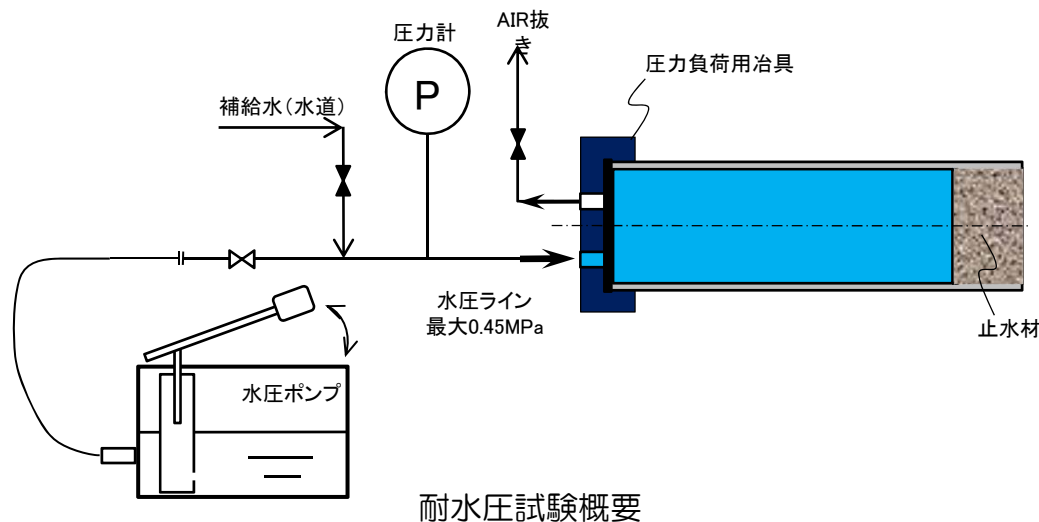
下図に示すようなΦ50の鋼管の試験体内に止水材を充填して、0.45MPa（30m相当の水頭圧の1.5倍）に耐えられる止水材を選定。

### ・ 耐放射線性の確認試験

10<sup>4</sup>Gyの照射試験による止水材の影響を確認。

## ■ 試験結果

0.45MPaの水圧に耐えられ、10<sup>4</sup>Gyの照射による影響がない止水材の候補が見つかった。



0.45MPaで漏えい無し

0.45MPaで漏えい無し



ハイセルAT  
（ウレタン系材料）

LINE-X  
（ポリマー系材料、塗料）

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

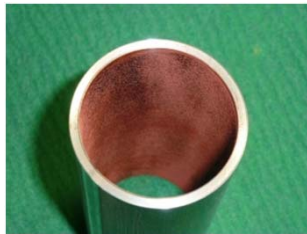
## ■ 汚れの影響確認試験の概要

実機環境影響で想定される試験体の汚れ（液体系（油）、固体系（錆））を模擬し、止水性能検証のための耐水圧性試験を行い、汚れの影響について確認。

汚れとしては、潤滑油（グリース）と赤錆（酸化鉄）を使用。

## ■ 試験結果

- 汚れ成分が少しでも付着した場合、ごくわずかな圧力でも漏水が確認された。
- 汚れ成分の付着により、発泡ウレタン材料の発泡が抑制される現象が観察された。
- 硬化後の材料も凹みが見られ、試験体鋼管と発泡ウレタン材料の接着力も小さく、汚れ成分が止水性に大きく影響するため、汚れの対策が必要。



【グリース+鉄粉を全体に付着】

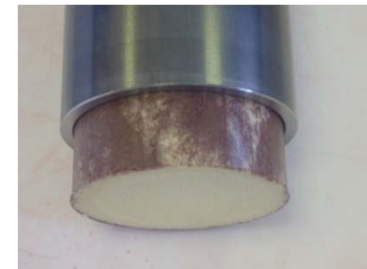


【グリース+鉄粉をまだらに付着】

汚れを付着させた試験体の例



【グリース+鉄粉を全体に付着】



【グリース+鉄粉をまだらに付着】

耐圧試験時の状況

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

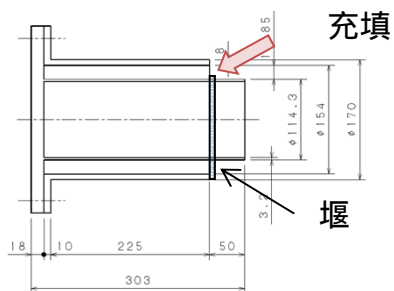
## ■ 充填性確認試験の概要

代表的なベロー付ペネトレーションを模擬した小規模の亚克力製可視化試験体で止水材の注入性（充填性）を確認。

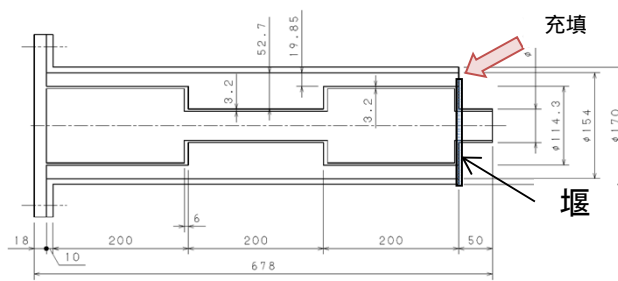
止水材としては、発砲ウレタン（ハイセルAT）使用。

## ■ 試験結果

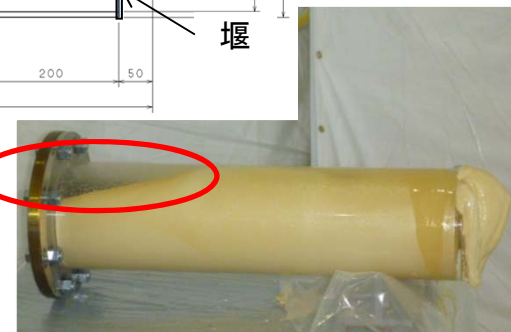
- 発砲ウレタン（ハイセルAT）を注入すると保護カバーの開放部から漏れて充填できないので、充填するためには漏れを防止する堰が必要。
- 堰を設けることができれば、発砲ウレタンを充填できることを確認した。堰の構築方法の検討が必要。
- 段差のあるタイプは、奥側に空気溜りができて完全には充填ができなかった。奥まで充填するためには空気抜き穴が必要。



保護カバーが短いタイプを模擬した試験体



空隙



保護カバーが長いタイプを模擬した試験体

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

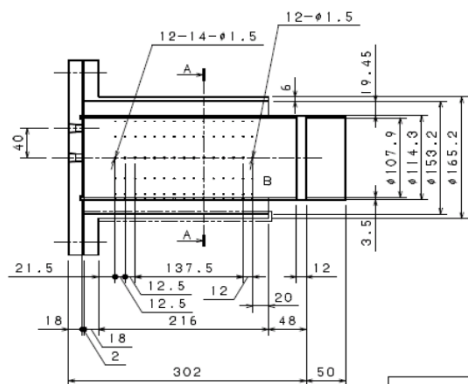
## ■ 耐水圧性試験の概要

代表的なベロー付ペネトレーションを模擬した小規模の鋼管製試験体を用い、止水材の耐水圧性を確認。（最大0.45MPaまで昇圧し、1時間保持後、0.30MPaで最大5時間加圧。）

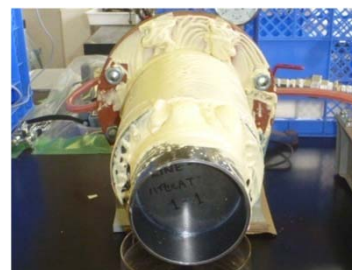
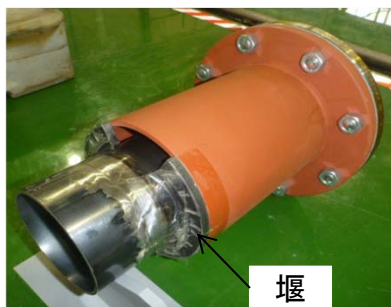
止水材としては、発砲ウレタン（ハイセルAT）、LINE-Xを使用。

## ■ 試験結果

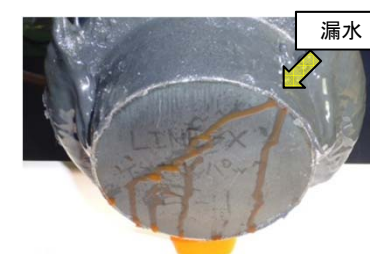
- 発砲ウレタン（ハイセルAT）は耐水圧性は良好。
- LINE-Xの試験体2体のうち1体で、0.3MPaで保持中、内筒とLINE-Xの接着面から漏えいが確認された。



耐水圧性試験体



発砲ウレタンは漏えい無



1体で0.3MPaで加圧中に漏えい

耐水圧性試験結果

# 1. PCV上部貫通部（ベローズ）補修技術の開発

## ■まとめ・考察

- 水頭圧30m相当の1.5倍の水圧（0.45MPa）に耐えられ、 $10^4$ Gyの照射による影響がない非セメント系材料の止水材の候補（発砲ウレタンのハイセルAT、塗料のLINE-X）が見つかった。
- 実機環境影響で想定される試験体の汚れ（グリース、錆）を模擬し、耐水圧性を確認した結果、汚れ成分が止水性に大きく影響することが確認された。汚れの対策の検討が必要。
- 代表的なベロー付ペネトレーションを模擬した試験体を用い、止水材の充填性を確認した結果、保護カバーの開放部に止水材の漏れを防止する堰が必要であることを確認した。堰の設置方法の検討が必要。
- 今回実施した試験結果を受けて、止水工法の検討を進めていく。



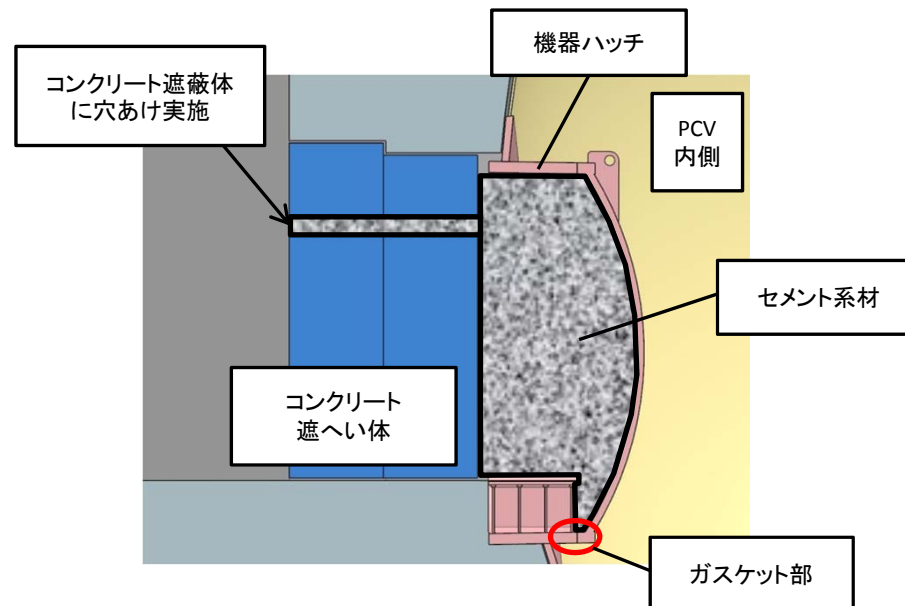
## 2. PCV上部貫通部（機器ハッチ）補修技術の開発

### ■ 機器ハッチの補修技術開発

- 機器ハッチについて、想定漏えい箇所であるガスケット部からの漏えいを防止する工法を検討。

### 工法の概要

- コンクリート遮蔽体に穴あけを実施し、そこから止水材（セメント系材料）を注入・充填して止水する。
- 止水材の充填の際にPCVと生体遮蔽のギャップから止水材の漏えいを防ぐために、発砲ウレタンで目止めを実施する。



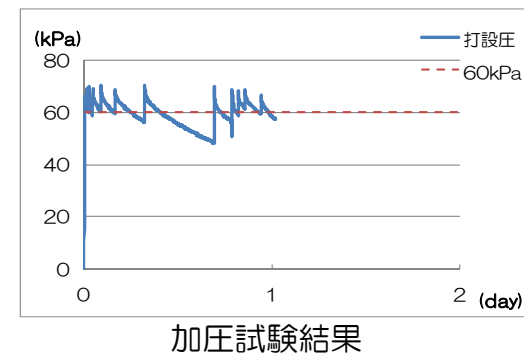
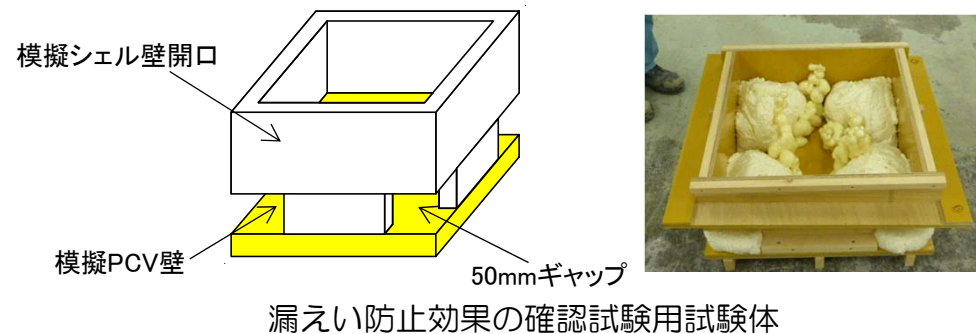
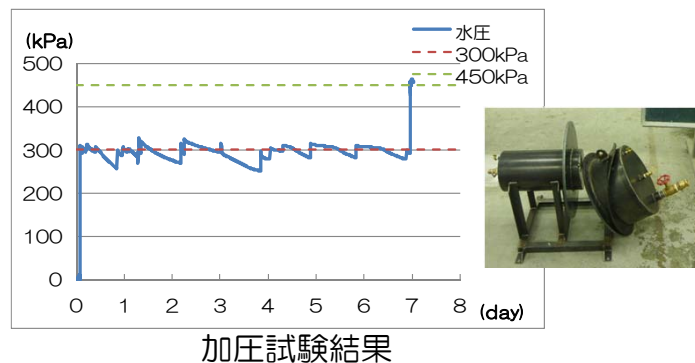
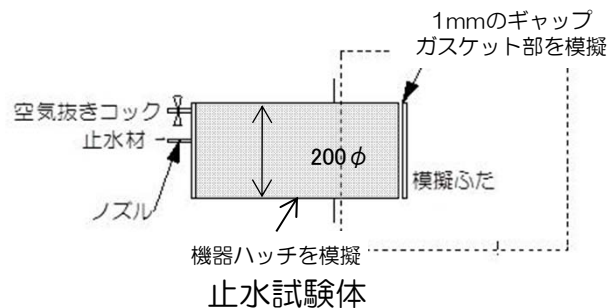
機器ハッチの止水概念

## 2. PCV上部貫通部（機器ハッチ）補修技術の開発

### ■ 機器ハッチ止水試験の概要と実施結果

機器ハッチを模擬したスケール試験体にて、止水材（セメント系材料）を充填して止水試験，発砲ウレタンによる止水材の漏えい防止効果の確認試験を実施。

- 機器ハッチのガスケットを模擬した試験体に止水材を充填して、0.30MPa（30m相当の水頭圧）で1週間、0.45MPa（30m相当の水頭圧の1.5倍）で1時間加圧して漏えいがないことを確認。
- PCVと生体遮蔽のギャップを模擬した試験体のギャップを発砲ウレタンで埋めた後、60kPa（止水材を充填したときの側圧）で加圧し、漏えいがないことを確認。
- スケールアップした試験体を使用した止水試験での止水性能の確認と、発砲ウレタンによる目止めの施工方法の検討が必要。



平成25年度実績概要

# 模擬デブリ性状把握・処置技術の 開発

平成26年6月27日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

## 背景・目的

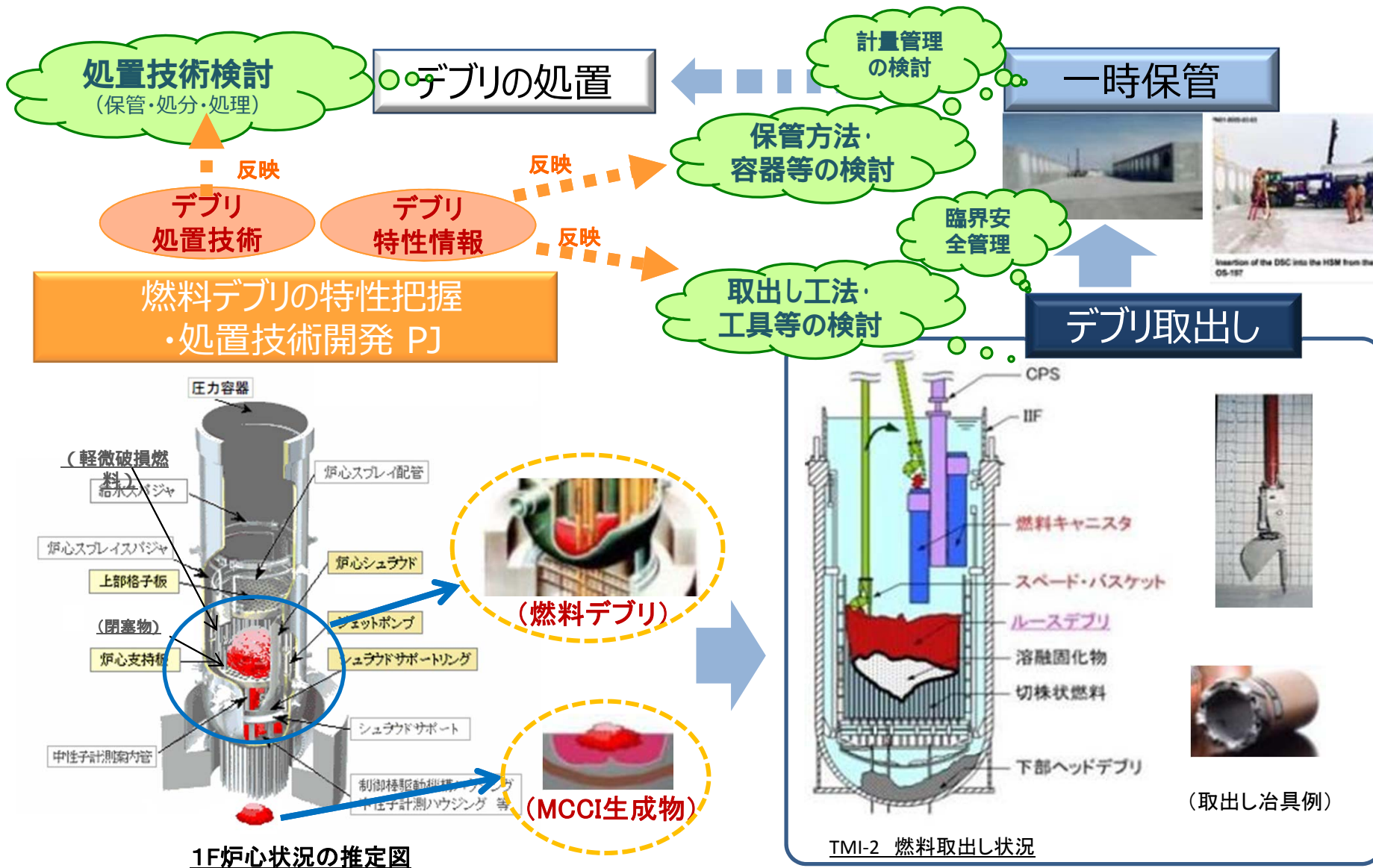
### 【背景】

東京電力福島第一原子力発電所事故で発生した燃料デブリに関し、燃料デブリの模擬体(模擬デブリ)を作製し、機械的特性、化学的特性などの性状データを取得するとともに、燃料デブリ取り出し後の処置(処理・処分等)の見通しを得るために処置に関する選択肢及び既存の処理技術の適用可能性について検討することで、**原子力施設の廃炉・安全技術基盤の高度化を図ることに加え、福島第一原子力発電所の中長期的な廃止措置等に向けた取組を着実かつ迅速に行なう必要がある。**

### 【目的】

本事業は、「東京電力福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以下、「中長期ロードマップ」という。)と整合を図りつつ、燃料デブリの取り出しの具体的方法の検討に向けて、**事故履歴を踏まえて模擬デブリを作製し、実デブリの性状を推定を行う。また、燃料デブリ取り出し後の処置(処理・処分等)の見通しを得るため、処置に関する選択肢及び既存の処理技術の適用可能性について検討を行う。**

# プロジェクトの概要



# 全体スケジュール

2号機の場合

現場ニーズ

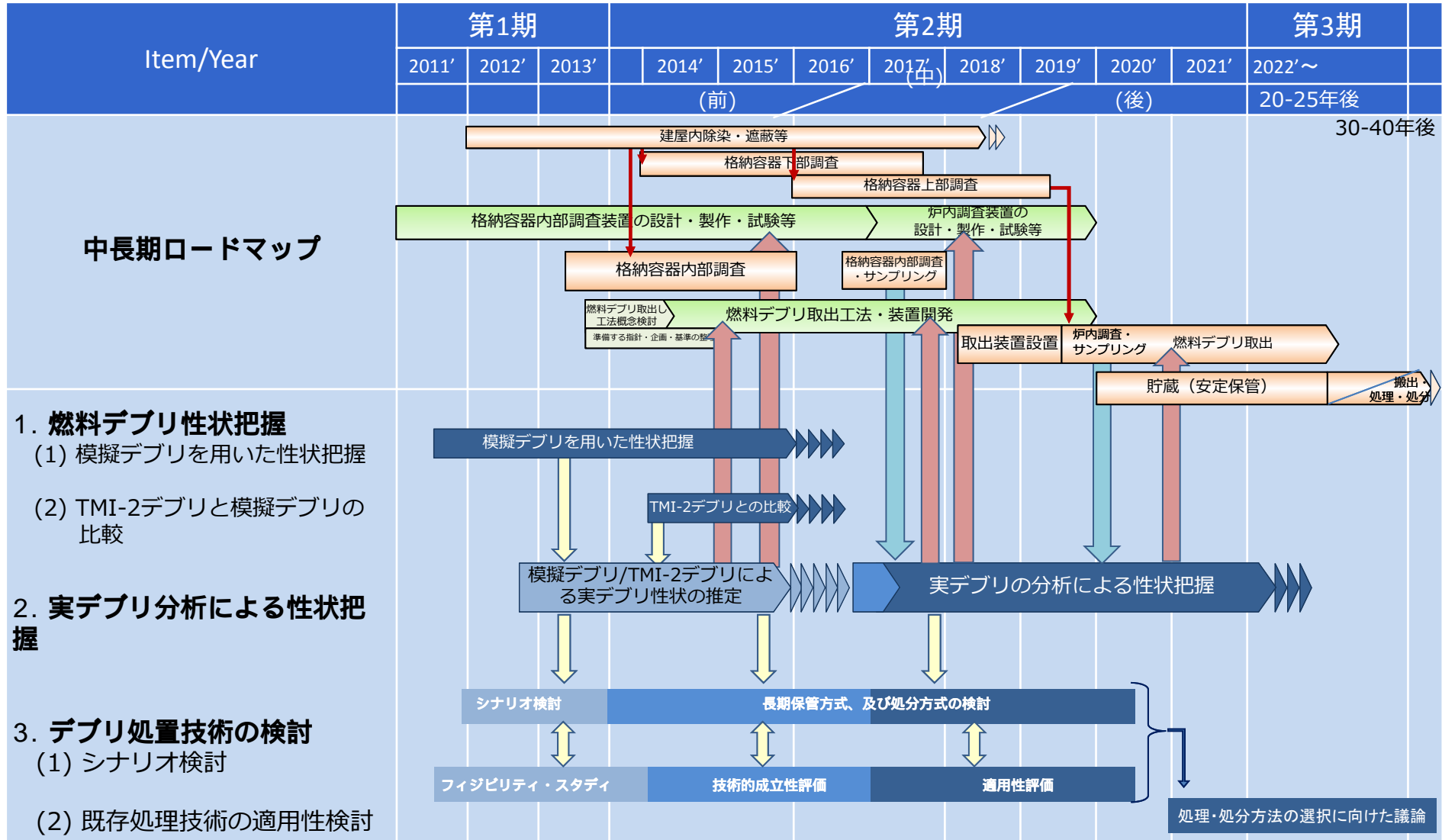
破損燃料状況把握に必要な情報

サンプリング・取出しに必要な情報

取扱い・保管に必要な情報

処置シナリオの評価に必要な情報

処理・処分・長期保管に必要な情報

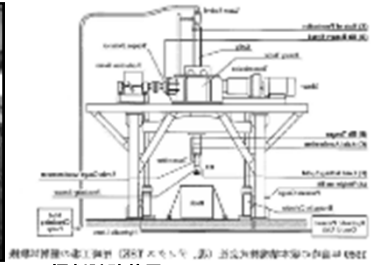


# (2-③)-1) 模擬デブリを用いた特性の把握 デブリ取出し工法・装置開発とデブリ特性把握関係図(案)

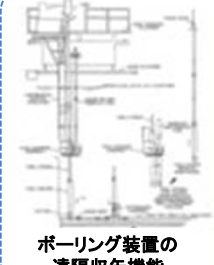
TMI-2等の情報を参考に取出し工法・装置開発への開発ステップをJAEAで想定。

※ 取出し装置開発プロジェクトの工程についてはJAEAの想定であり、今後、本プロジェクトの立ち上げ後に具体化、調整を行う必要がある。

両プロジェクトで  
連携して検討



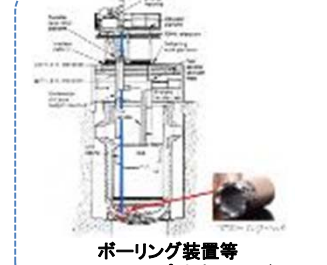
掘削試験装置



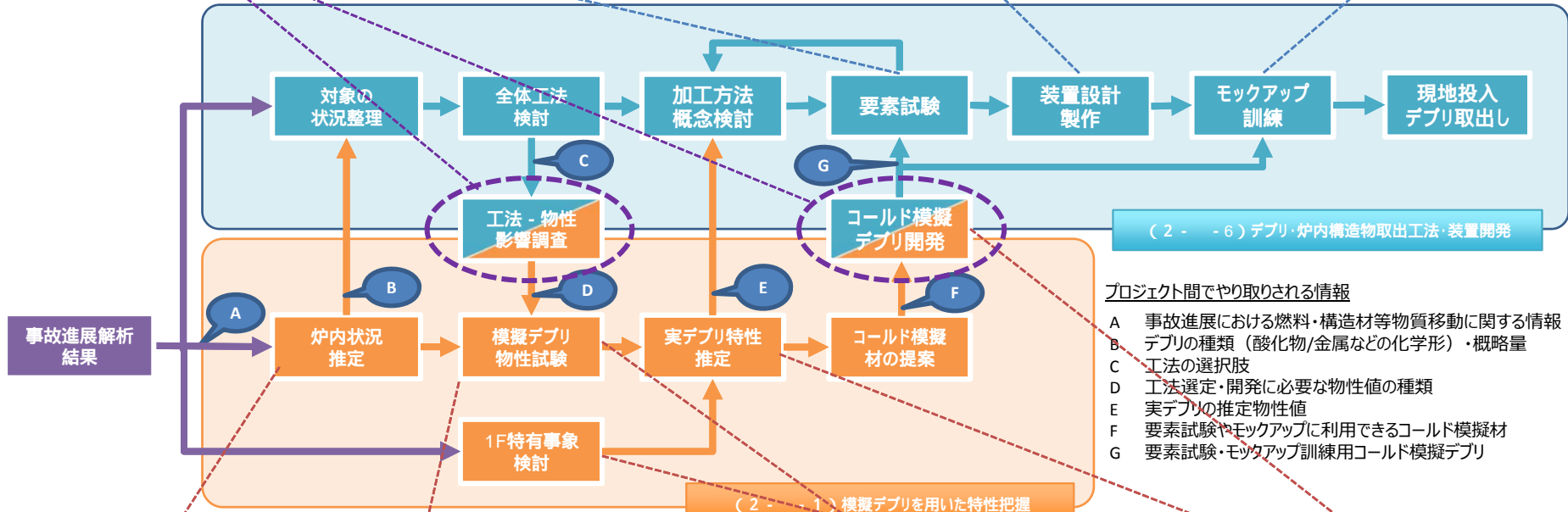
ボーリング装置の  
遠隔収缶機能



プラズマアーク装置の  
位置決め装置



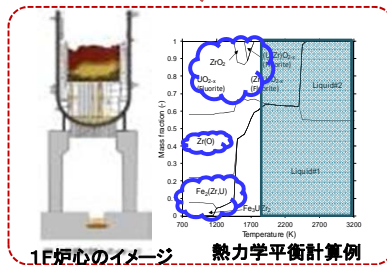
ボーリング装置等  
のモックアップ試験イメージ



プロジェクト間でやり取りされる情報

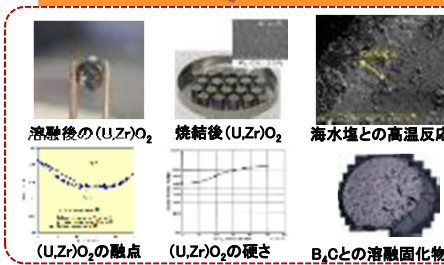
- A 事故進展における燃料・構造材等物質移動に関する情報
- B デブリの種類（酸化物/金属などの化学形）・概略量
- C 工法の選択肢
- D 工法選定・開発に必要な物性値の種類
- E 実デブリの推定物性値
- F 要素試験やモックアップに利用できるコールド模擬材
- G 要素試験・モックアップ訓練用コールド模擬デブリ

(2-③)-1) 模擬デブリを用いた特性把握



推定する実デブリの特性リスト

項目	特性	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	10F
組成	UO <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
形状	粒状	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
状態	融解	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
硬さ	硬	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
反応性	高	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

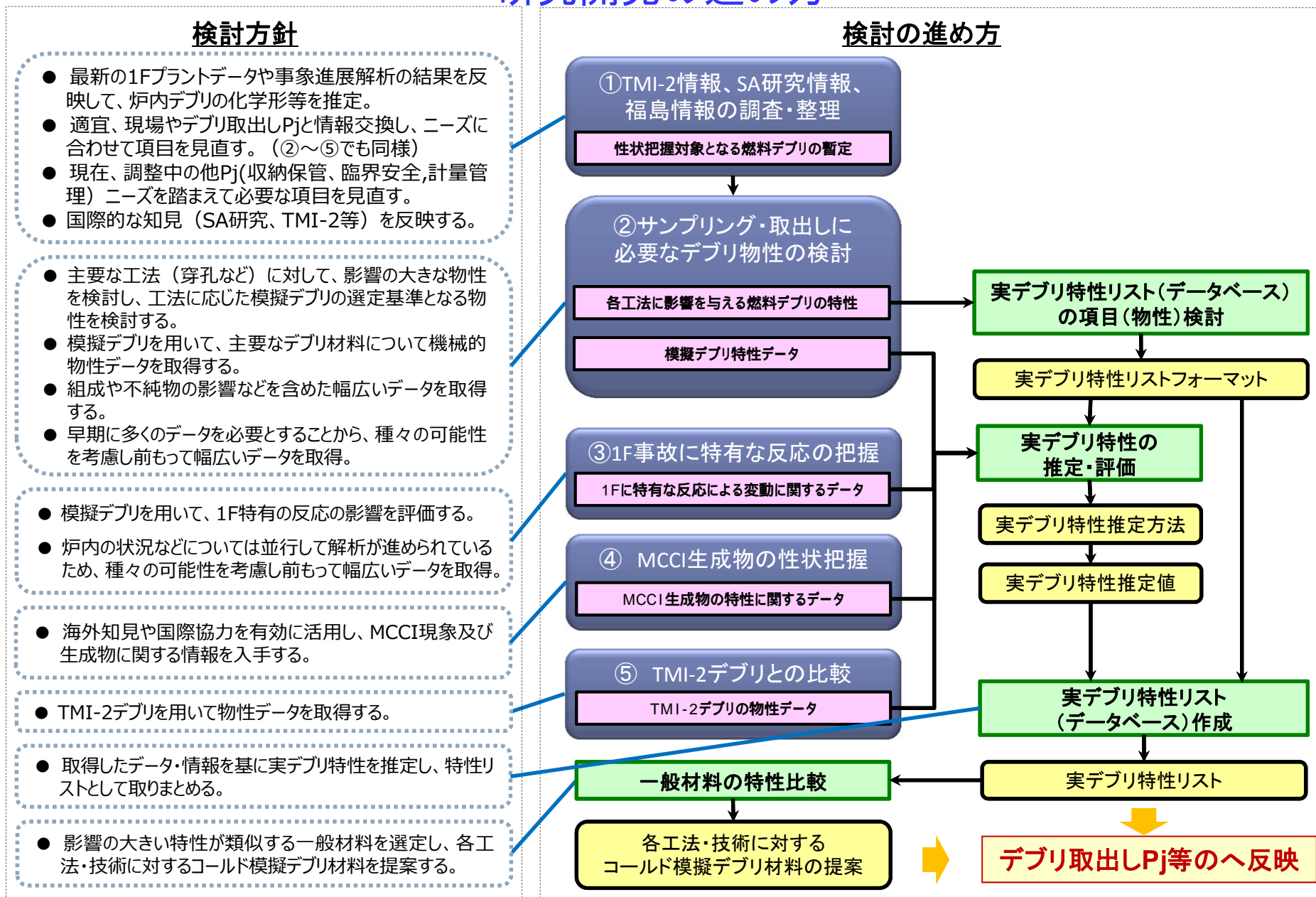


推定する実デブリの特性リスト

項目	特性	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	10F
組成	UO <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
形状	粒状	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
状態	融解	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
硬さ	硬	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
反応性	高	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●



## (2-③-1) 模擬デブリを用いた特性の把握 研究開発の進め方





# (2-③-1) 模擬デブリを用いた特性の把握

## (1) 燃料デブリのサンプリング・取出しに必要な物性値の検討

### ■ 材料物性の加工性への影響評価

表 サンプリング・取出しの検討に必要と考えられる燃料デブリの物性

作業	対象	形状	硬さ	弾性率	破壊靱性	粉砕	溶解	抽出
①切断ツールA (衝撃破壊)	塊状デブリ		●	●	●	●	△	
②切断ツールB (せん断)	ピン状構造物		●	●	●	△		
③切断ツールC (溶融切断)	板状の構造物		●				●	●
④燃料回収用ツール (掴み取り)	粒子状デブリ	○	●					
⑤吸引システム (懸液輸送)	粒子状デブリ	○	●					
⑥研削	塊状デブリ		●	●	●	△	△	●

知見により変更が生じる可能性があります。新たに取得すべき物性 SA研削等による知見も活用

- : 模擬デブリや文献調査により評価する物性。○ : 実デブリでの評価が中心となる物性
- △ : 模擬デブリや実デブリでの評価が困難な物性。

コア・ボーリングに着目して、実験的に確認

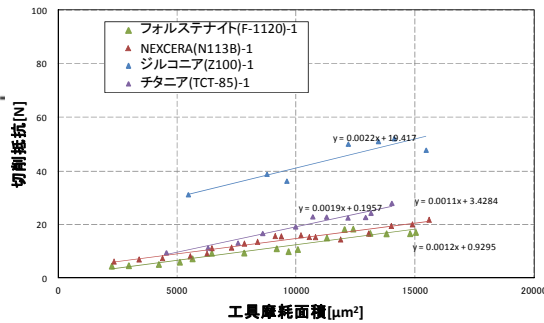
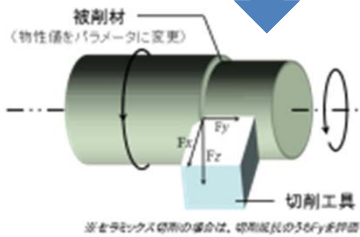


図 種々のセラミックスの切削抵抗 (工具摩耗により整理)

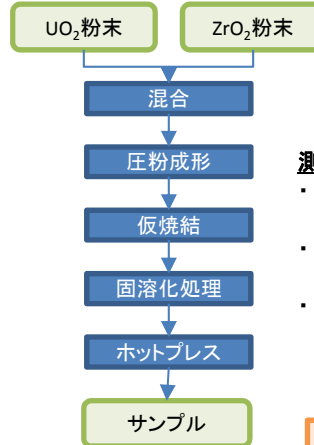
コア・ボーリングの主要な加工原理のひとつである「研削」への影響について、旋盤による切削試験により評価。

「研削」は、原理的に無数の「切削」の集合とみなせるため、より単純な切削で影響を評価。

「硬さ」「弾性率」「破壊靱性」などの物性が機械加工へ及ぼす影響の程度を確認。加工要素試験等へのコールド模擬デブリは影響の大きなものを指標に選定。

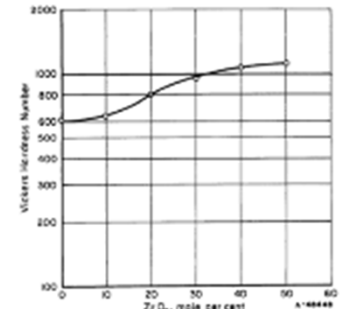
### ■ 酸化物デブリの機械的性質

#### ● U/Zr比影響評価(高Zr含有率)



#### 測定項目

- ・ビッカース硬さ (JIS R 1610準拠)
- ・弾性率[超音波パルス法] (JIS R 1602準拠)
- ・破壊靱性[IF法] (JIS R 1607準拠)



参考: 低Zr領域での硬さ

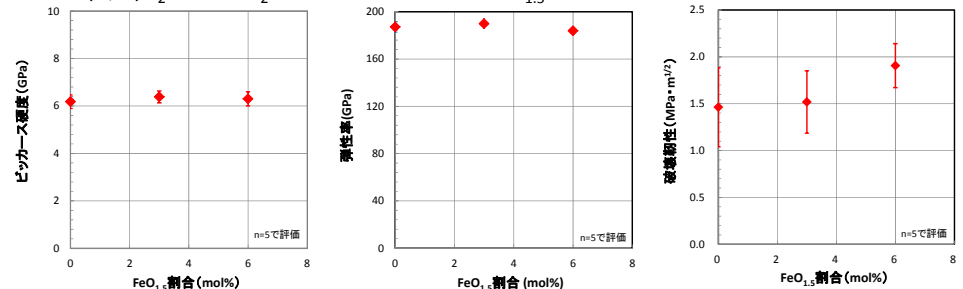
T. R. Wright, et. al., BMI-1689(1964)

U/Zr組成比が機械的性質に与える影響を評価。Zr成分の多いBWR系の燃料デブリの特性推定に寄与。

#### サンプル調整フロー

#### ● Feの固溶影響評価

(U,Zr)O<sub>2</sub> (10%ZrO<sub>2</sub>) に対して3、6mol%のFeO<sub>1.5</sub>を固溶させて測定。



Feの固溶により、「破壊靱性」には上昇傾向が見られた。表面観察(SEM-EDX)やXRD分析を行い、結果の解析中。

加工(破砕)時の挙動についてはFeの影響でやや割れにくくなる傾向。

## (2-③)-1) 模擬デブリを用いた特性の把握 (2) 1F事故に特有な反応(1/2)

### ■ 制御材(B<sub>4</sub>C+SUS)との反応

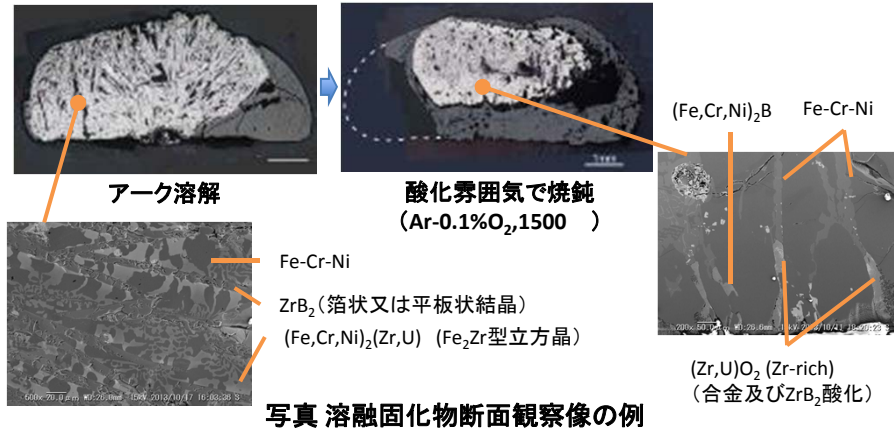
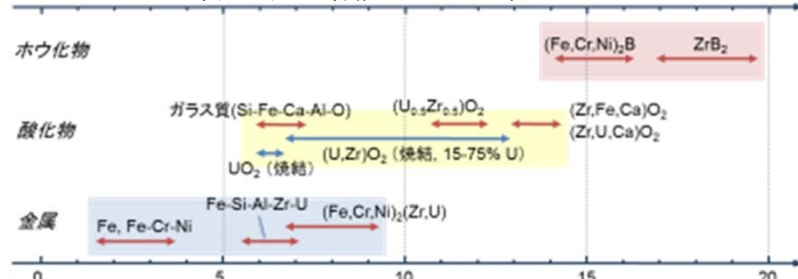


写真 溶融固化物断面観察像の例

制御材(B<sub>4</sub>C+SUS)との反応により、Fe-Cr-Ni合金やFe<sub>2</sub>Zr型金属間化合物の金属相およびZrB<sub>2</sub>や(Fe,Cr,Ni)<sub>2</sub>Bのホウ化物生成の可能性を示唆。

### ■ 反応物の物性データ

表 生成した各相のピッカース硬さ



- ・ B<sub>4</sub>C制御棒由来のホウ化物が全化合物中で顕著に高硬度、
- ・ 金属ではFe<sub>2</sub>Zr型組成のLaves相が高硬度

取出し工具に対して、酸化物以上に摩擦等の不具合の原因となる物質として、ホウ化物の存在を示唆。

### ■ コンクリートとの反応

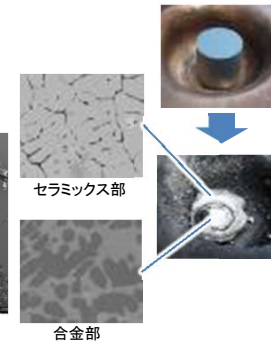


写真 モルタル/Fe/Zr/(U,Zr)O<sub>2</sub> 溶融固化物

表 不活性雰囲気下での生成相

混合系(wt%)	生成相
モルタル/Fe (30/70)	Si-Fe-Ca-Al-Mg-O ガラス質 Fe
モルタル/Fe/Zr (30/40/30)	fcc (Zr,Ca,Al)O <sub>2</sub> +x →粒界ガラス質 Al-Ca-Si-Zr-Mg-O 合金2相 Fe-Si-Al, Fe-Si-Zr
モルタル/Fe/Zr/ZrO <sub>2</sub> (20/30/20/30)	fcc (Zr,Fe,Ca)O <sub>2</sub> -x →粒界ガラス質 Si-Fe-Ca-Al-Zr-Mg-O Fe
モルタル/Fe/Zr/(U,Zr)O <sub>2</sub> (20/30/20/30)	fcc (Zr,U,Ca)O <sub>2</sub> -x →粒界 Al-Ca-O 合金2相 Fe-Si-Al, Fe-Si-Al-Zr-U

溶融固化過程で酸化物(ガラス質含む)と合金に分離する傾向。不活性雰囲気ではUやSi合金に含まれる可能性。(Caは酸化物相)

### ■ デブリコロイド

表 各溶媒への浸漬(50℃, 1か月)後の生成物

浸漬液	U	UO <sub>2</sub>	PuO <sub>2</sub>
純水	—	UO <sub>2</sub>	—
過酸化水素水	—	UO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	PuO <sub>2</sub>
ホウ酸水	UO <sub>2</sub>	主にUO <sub>2</sub>	—



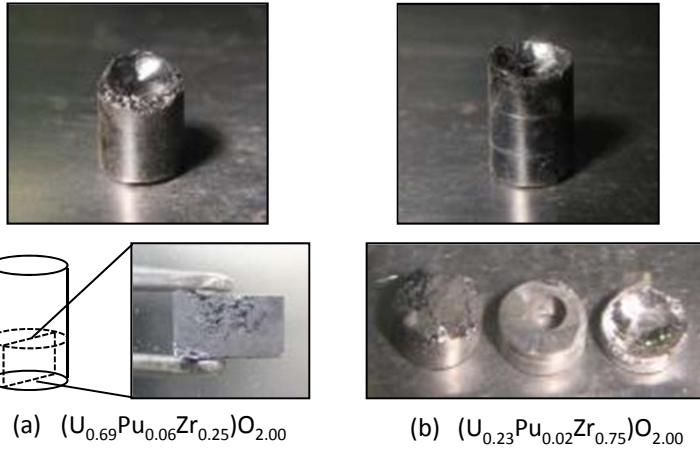
写真 浸漬中の外観(例)

- ・ 浸漬時のUO<sub>2</sub>の化学変化は過酸化水素の影響がより大きい。  
→微細な過酸化ウランを生成
- ・ PuO<sub>2</sub>はUO<sub>2</sub>に比べて水中で安定。

浮遊デブリの性状データの取得。

## (2-③)-1) 模擬デブリを用いた特性の把握 (2) 1F事故に特有な反応(2/2)

### ■ Pu含有模擬デブリの特性



(a)  $(U_{0.69}Pu_{0.06}Zr_{0.25})O_{2.00}$

(b)  $(U_{0.23}Pu_{0.02}Zr_{0.75})O_{2.00}$

図 溶融後試料の外観・断面

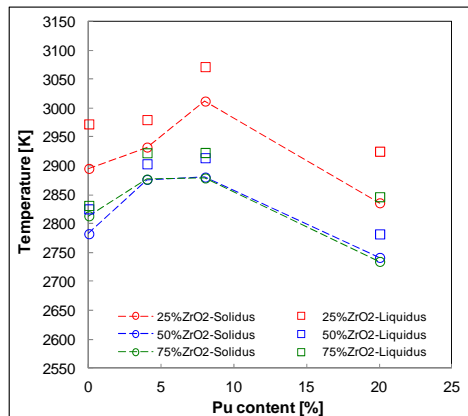


図 模擬MOXデブリの融点のZr含有率の影響

#### 融点のPu含有率依存性:

- 融点に対するPu含有の影響が10%Pu付近で極大をとる傾向。
- Zr含有率が25%、50%、75%の試料で同様の傾向を示すことを確認。

模擬MOXデブリの弾性定数、熱膨張率を評価予定。

臨界特性に影響が大きいPu挙動の予測に寄与。  
デブリの熱特性評価に寄与。

### ■ Gd含有模擬デブリの特性



図  $(U_{0.45}Gd_{0.05}Zr_{0.50})O_{2-x}$  焼結試料の外観

Gd含有量をパラメータとして添加した模擬Gd含有デブリについて焼結試料を作製。O/M調整を行い、融点測定を実施。溶融試料について熱拡散率等の測定を実施予定。

臨界特性に影響が大きいGd挙動の予測に寄与。  
デブリの熱特性評価に寄与。

## (2-③)-1) 模擬デブリを用いた特性の把握 まとめ(平成25年度 成果見込み)

### (1) 燃料デブリのサンプリング取出しに必要な物性値の検討

- ・ 種々の特性をもつセラミックスについて、切削性への物性影響を評価中。
- ・ Zr量の多いBWR系を考慮した(U,Zr)O<sub>2</sub>の高Zr領域における機械的性質の評価中。
- ・ 構造材由来のFeが固溶した(U,Zr)O<sub>2</sub>の機械的性質を評価。 Feの固溶により、破壊靱性は上昇する傾向。

### (2) 1F事故に特有な反応

- ・ 制御材と模擬デブリとの反応試験。 合金相(Fe-Cr-Ni, Fe<sub>2</sub>Zr型)やホウ化物(Fe<sub>2</sub>B, ZrB<sub>2</sub>)生成の可能性。
- ・ MCCI基礎試験として、モルタルと金属、酸化物の反応試験。 酸化物(ガラス質)や合金に分離する傾向。
- ・ 上記2試験の反応生成物の物性データを取得。 硬さについてホウ化物(ZrB<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>B)が最も硬い。
- ・ 微細なデブリに関する基礎試験。 過酸化水素水の影響により、微細な過酸化ウラン生成の可能性を示唆。
- ・ Pu含有模擬デブリの融点を評価。 Zrの含有率によらず、おおよそ10%Pu程度の組成で極大を確認。
- ・ Gd含有模擬デブリによる融点、熱物性を評価中。

### ● 課題等

- ・ 試験条件や生成物の組成等について、実際の炉内状況とどの程度合致しているか。  
現在はMAAPなどの公開されている炉内解析結果等を参照しているが、実験上の制約などもある。  
2-②-1「事故進展解析技術の高度化による炉内状況の把握」Pjのアウトプットと整合をとる必要がある。
- ・ 実際のデブリで想定される複合組織の特性は、ある程度マクロな機械的性質評価が重要。  
複合組織に関する試験は、単相のコールド模擬材を組み合わせ、コールド環境での実施を検討中。  
ポイントでの確認などにウラン試験や2-①-6で実施予定のカザフNNCの大規模試験の結果も有効活用。  
圧縮試験などのマクロな機械的性質測定、装置イメージがある場合は加工要素試験など。  
スケジュールとしては、2015年を超える可能性がある。

## (2-③-3) デブリ処置技術開発 研究開発の進め方

### 検討方針

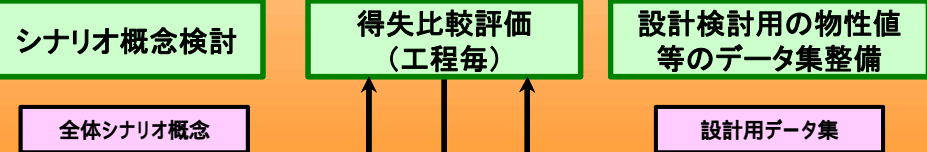
- デブリ取出し後の措置（長期保管、処分、処理等）の決定に向けて、そのための議論に必要な情報を整備する。
- デブリ取出し、保管、廃棄物処理処分等の検討状況を反映しつつ適宜見直しを行う。
  - デブリ取出しから最終的な状態に至るまでの一連の流れを整理し、個別の工程についての選択肢を示す。その上で、取りうる選択肢の組合せの全体像を全シナリオの概要を示す。（2012年度）
  - 多数考えられる選択肢の組合せの中から代表的なシナリオ（取り出しから最終的な状態までの各工程について選択肢から選択した一連の流れ）を複数抽出し、その特徴及び定性的な得失評価を行う。（2012年度～）
  - シナリオ間比較を行うための方法論（比較項目）を検討する。（2012年度～）
  - シナリオ間の定量評価に向けたデータベースを作成する。（2012年度～）
  - シナリオ評価に必要な技術開発課題を抽出する。（2012年度～）

- 実デブリサンプルの分析、及びデブリの取出し後の措置に共通して必要になる分析技術の開発を行う。
- 実デブリのサンプリング状況を反映し適宜見直しを行う。
  - 候補技術についてコールド/UV模擬デブリ等により適用性を確認する。（2012年度～）
  - TMI-2デブリの分析をとおして実デブリ分析への適用性を確認する。（2014年度～）

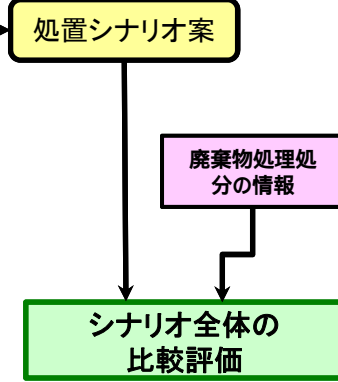
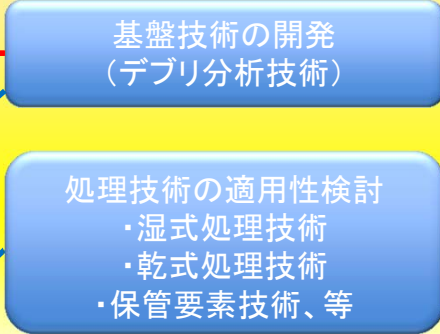
- 既存処理技術の適用性について基礎試験により確認。
  - 湿式処理技術及び乾式処理技術に関して基礎試験により適用性確認を行う。（2012年度～）
  - 2013年度で一旦、基礎技術の取り纏めを行い、シナリオ検討側の検討状況を踏まえて実施計画を検討。（2013年度）

### 検討の進め方

#### 処置シナリオの検討 (長期保管、処分、処理等)



#### デブリ処置技術の適用性検討



デブリ取出しPj, 及び処置方策の選択に向けた議論へ反映

## (2-③-3) デブリ処置技術開発

### (1) 燃料デブリ処置シナリオ検討に向けた技術的要件の整理

#### ■ 処置シナリオ各案の得失評価

##### ● 経済性

長期保管 < 直接処分 < 乾式処理 (金属電解) < 湿式処理 (通常溶解) < 安定化処理 < 湿式処理 (新型溶解)

- ・長期保管: 50年程度の保管を仮定
- ・直接処分: 使用済燃料の直接処分と同等、かつ使用済燃料の直接処分サイトと併用できる条件を仮定
- ・安定化処理: 酸化処理しガラス固化体化することを想定
- ・湿式処理(通常溶解): 粉碎、コプロセッシング法を想定
- ・湿式処理(新型溶解): U希釈による可溶化、コプロセッシング法を想定
- ・乾式処理(金属電解): 電解還元法を用い低除染のU系保管体を残す条件を仮定

##### ● 廃棄物発生量(総量)

長期保管 < 直接処分 < 乾式処理 (金属電解) < 安定化処理 < 湿式処理 (新型溶解) < 湿式処理 (通常溶解)

高レベル放射性廃棄物相当の廃棄体数は、安定化処理が最大、次いで乾式処理(金属電解(電解還元))、湿式処理(新型溶解)、直接処分及び湿式処理(通常溶解)の順になると推定。湿式処理(通常溶解)では、TRU廃棄物量(地層処分対象)が最大となるため、高レベル放射性廃棄物相当の廃棄体と合わせた地層処分対象の廃棄体数は最大。直接処分は処分体のサイズにより廃棄体数が異なる。

注) 上記経済性、廃棄物発生量は、各シナリオが想定している要素技術が実際に機能することを前提とした概略評価に基づくもので注意が必要

##### ● 技術的課題

◇ 廃棄体の長期安定性における課題

**直接処分、安定化処理:** デブリを主体とする廃棄体内包物の浸出特性、熱的安定性、機械的安定性、耐放射線性や収納缶の機械的安定性、耐食性、及び臨界について、内包物特性(放射性核種濃度、化学組成等)を取得し評価する必要あり  
**処理:** 従来に無い新規の廃棄体が生じるため、上記と同様に内包物特性を把握し、廃棄体の閉じ込め性、臨界を評価する必要あり

◇ 技術的成立性の見通しの観点から課題

**乾式処理:** 他方式と比較して技術的開発課題が多く、難易度が高いと推定

経済性、廃棄物発生量の面で有利なシナリオは長期保管及び直接処分。安定化処理、湿式処理、乾式処理は経済性、廃棄物発生量の面で不利。特に乾式処理は技術的開発課題の面でもっとも難易度が高いと推定。

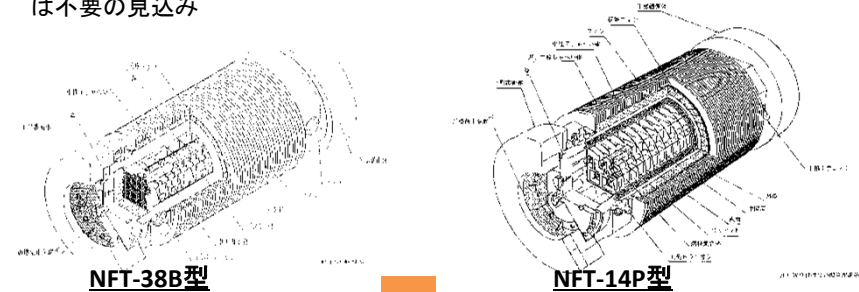
#### ■ 既存輸送技術の適合性に関する情報の調査・評価

##### ● 検討対象キャスク

既存輸送キャスクで放射能収納量の大きいNFT-38B型キャスク、NFT-14P型キャスクを選定

##### ● 適合性評価

- ◇ 構造: 蓋部板厚等の寸法変更が必要
- ◇ 閉じ込め: Oリングでは、許容できる1缶当たりのデブリ量が15kg程度と小さくなりすぎるため、金属ガスケットもしくは溶接が必要
- ◇ 遮蔽: 中性子の線量が支配的であり、1缶当たりの収納量、キャスクの収納量を制限する。評価上厳しくなったNFT-14P型キャスクの場合、1缶410kg、1キャスク当たり5.7t程度
- ◇ 臨界: 最適減速条件でも問題なく、収納缶内に収納するデブリ重量への制限は不要の見込み



既存輸送キャスクの使用に関して、キャスク自体の適用性はある見込み。ただし、収納缶への収納、封入などの開発課題は生じる。

#### ■ 技術検討用の評価データの整理

物性値等の既往のデータ整理/処置対象物量の推定

【想定すべき処置対象物量】

- ・燃料起因、構造材起因の物量 (約530t)
- ・コンクリート起因の物量 (約60t)
- ・海水起因の物量 (約70~80t精査中)
- ・その他炉心下部構造物等

⇒ 総量  
約700t程度

各シナリオ共通で必要な情報であり、全ての検討の基礎として反映する。

## (2-③-3) デブリ処置技術開発 (2) 燃料デブリ分析方法の検討

### ■ オートクレーブ法による溶解手法の検討

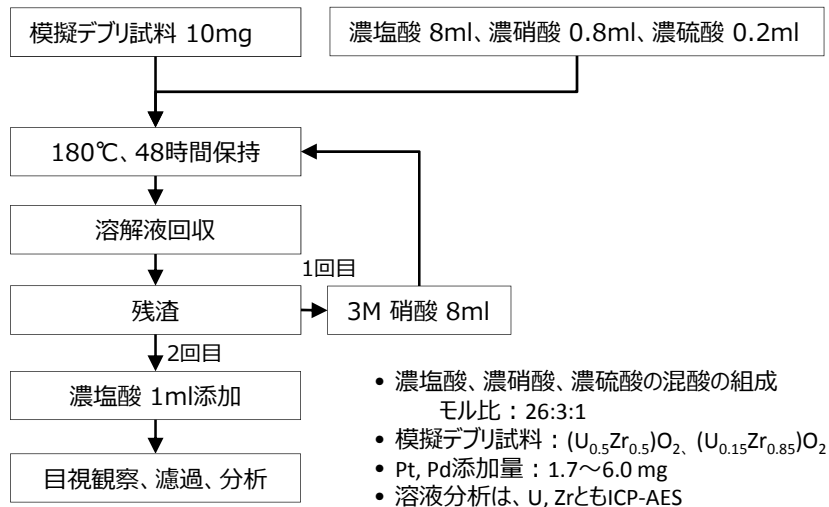


図 オートクレーブ法の試験手順

#### 溶解率

$(U_{0.5}Zr_{0.5})O_2$  100% (保持時間24hと同様)  
 $(U_{0.15}Zr_{0.85})O_2$  80% (保持時間24hでは65%)

#### Pt, Pd添加の効果

見られず。

- 残渣に過酸化ナトリウムによるアルカリ融解を実施したところ完全に溶解

低いZr組成のデブリに対しては、利用可能。  
 溶解しにくいものには過酸化ナトリウムによるアルカリ溶解の方が効果的。

### ■ 模擬MCCI生成物に対するアルカリ溶融の適用性検討



写真 模擬MCCI生成物

現在、試験実施中。

MCCI生成物に対する適用性評価。

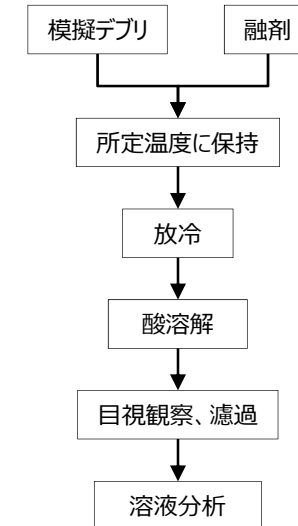
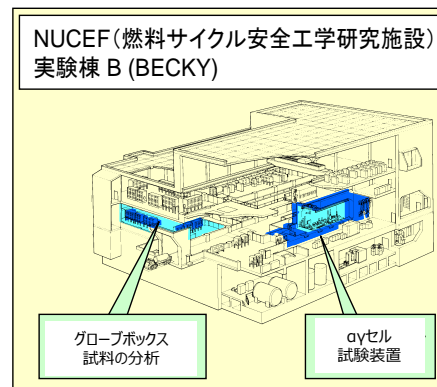


図 アルカリ溶融法の試験手順

### ■ TMI-2デブリ分析試験に向けた準備



#### 溶解試験用電気炉

- 温度範囲：100 ～ 1000
- 電気容量：1500W, AC200V
- 炉内寸法：φ120×H130mm程度
- 簡易搬送機を有し、セル外から試料を加熱炉に自動搬送可能とする
- 電気炉表面温度50 以下
- 分解可能とし、φ270×H350のケースに収まる寸法とする。

TMI-2デブリを用いた、アルカリ溶融等の試験準備。

## (2-③-3) デブリ処理技術開発 (3) 湿式・乾式処理技術の適用性評価

### ■ 湿式処理技術の適用性評価

- (U,Zr)O<sub>2</sub> 硝酸溶解反応における物質収支評価

図 模擬デブリと硝酸との反応

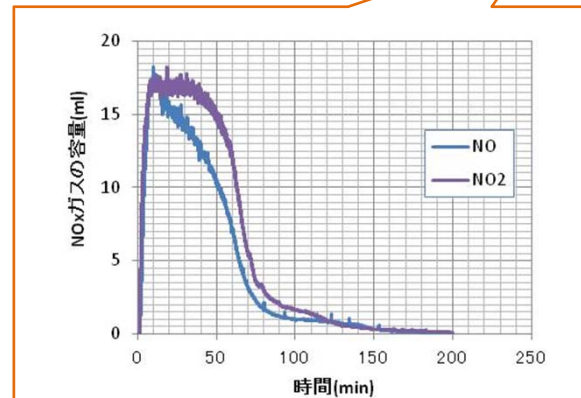
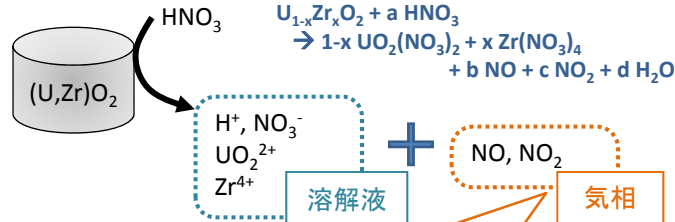


図 模擬デブリ溶解に伴うNO<sub>x</sub>ガスの発生挙動

- ・ NO<sub>x</sub>の発生量は、溶けたUの量と同程度のオーダー。
- ・ 物質収支評価のため、溶解液の分析を実施中。

オプションとしての湿式処理技術の適用性評価に資するデータを取得。

### ■ 乾式処理技術の適用性評価

- LiCl-Li<sub>2</sub>O 溶融塩中における電解還元法の適用性評価

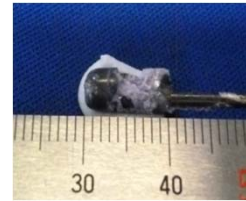


図 還元生成物の外観

- ・ 十分な電流を供給すれば、(U,Pu,Zr)O<sub>2</sub>中のU, Puの全量を金属に還元可能。
- ・ Cdへの溶解では、還元生成物に付随するLi<sub>2</sub>O等の酸化物によってUが再酸化される(以下の反応)ため、U,Pu回収率の低下が懸念される。



- ・ (U,Pu,Zr)O<sub>2</sub>中のU,Puの金属への還元は技術的には可能。
- ・ 付随する酸化物の電解精製プロセスへの影響低減が課題。

- 塩素化溶解技術の適用性評価

- ・ NaCl-2CsCl溶融塩中・塩素ガス供給下では、(U,Zr)O<sub>2</sub>のUが先行して溶解し、Zr溶解がそれに続く。

- ・ 塩素ガスの連続供給によるU,Zrの全量溶解が期待できる。
- ・ ただし、反応は遅く、装置形状の工夫・塩素ガスの循環利用が必要。

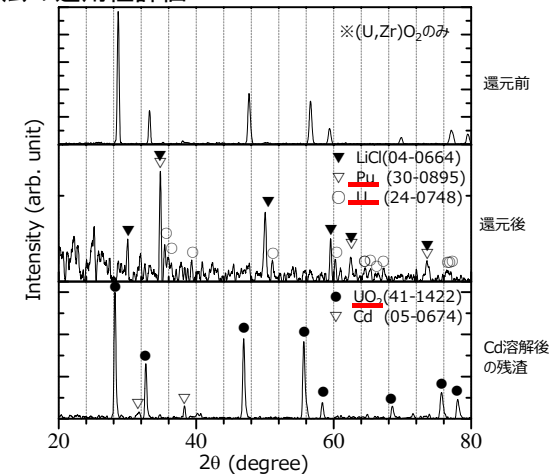


図 電解還元前後およびCd溶解後における(U,Pu,Zr)O<sub>2</sub>試料(25at%-Zr)のXRD測定結果

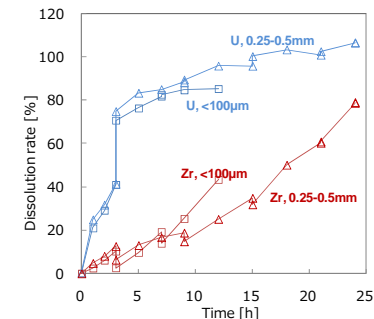


図 U<sub>0.15</sub>Zr<sub>0.85</sub>O<sub>2</sub>の溶融塩中での溶解挙動



## (2-③-3) デブリ処置技術開発 まとめ(平成25年度 成果見込み)

### (1) 燃料デブリ処置シナリオ検討に向けた技術的要件の整理

- ・ シナリオ各案の得失を評価。 長期保管及び直接処分が経済性、廃棄物発生量の面で有利。
- ・ 既存輸送技術の適合性に関する調査・評価中。 適用性はある見込み。(ただし、開発課題あり。)
- ・ 技術検討用の評価データの整理を実施。

### (2) 燃料デブリ分析方法の検討

- ・ オートクレーブ法の検討。 低いZr含有率の試料では100%溶解可能。Zr含有率が高いと時間がかかる。
- ・ 模擬MCCI生成物に対するアルカリ溶融の適用性検討を実施中。

### (3) 湿式・乾式処理技術の適用性評価

- ・ 湿式処理技術の適用性評価のための硝酸溶解基礎試験を実施。
  - － 溶解反応の物質収支評価 Zrの溶解反応への寄与を確認中。
  - － 構造材由来のFeが固溶する影響について実験的に確認中。
- ・ 乾式処理技術の適用性評価のための乾式処理基礎試験を実施。
  - － 電解還元基礎試験 十分な電流によりU,Puの全量を還元できる見込み。
  - － 副生成物となるリチウムジルコネートによる電解の物理的阻害と分離方法が課題。
  - － 塩素化による溶解、Ca還元についても、適用可能性が示された。

### ● 課題等

- ・ 今年度のシナリオ検討によって、長期保管、直接処分の優位性が明確になったことにより、処理技術(湿式法、乾式法)の検討については、一時中断。
- ・ 次年度より、収納保管技術および収納保管用の前処理技術(乾燥等)に資するデータの取得を検討中。

## (2-③-1) 模擬デブリを用いた特性の把握/ (2-③-3) デブリ処置技術開発 国際協力について／人材育成への取組

### 【国際協力の状況】

- MCCI生成物の物性評価に関し、MCCIに係る試験設備及び試験実績を要する仏国CEAとの国際協力を行うべく交渉を進めている。
- 関連するSA研究等を実施している国際機関との情報交換を行っている。

### 【人材育成】

- 電力中央研究所と共同研究を実施している。
- 国際協力相手機関(CEA)への若手研究者の派遣等、研究開発を通じた人材育成を計画している。
- 東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に関するワークショップにおいて大学の研究者等を対象に研究の現状と基盤研究ニーズ等について紹介した。

平成25年度実績概要

# 燃料デブリ収納・移送・保管技術開発

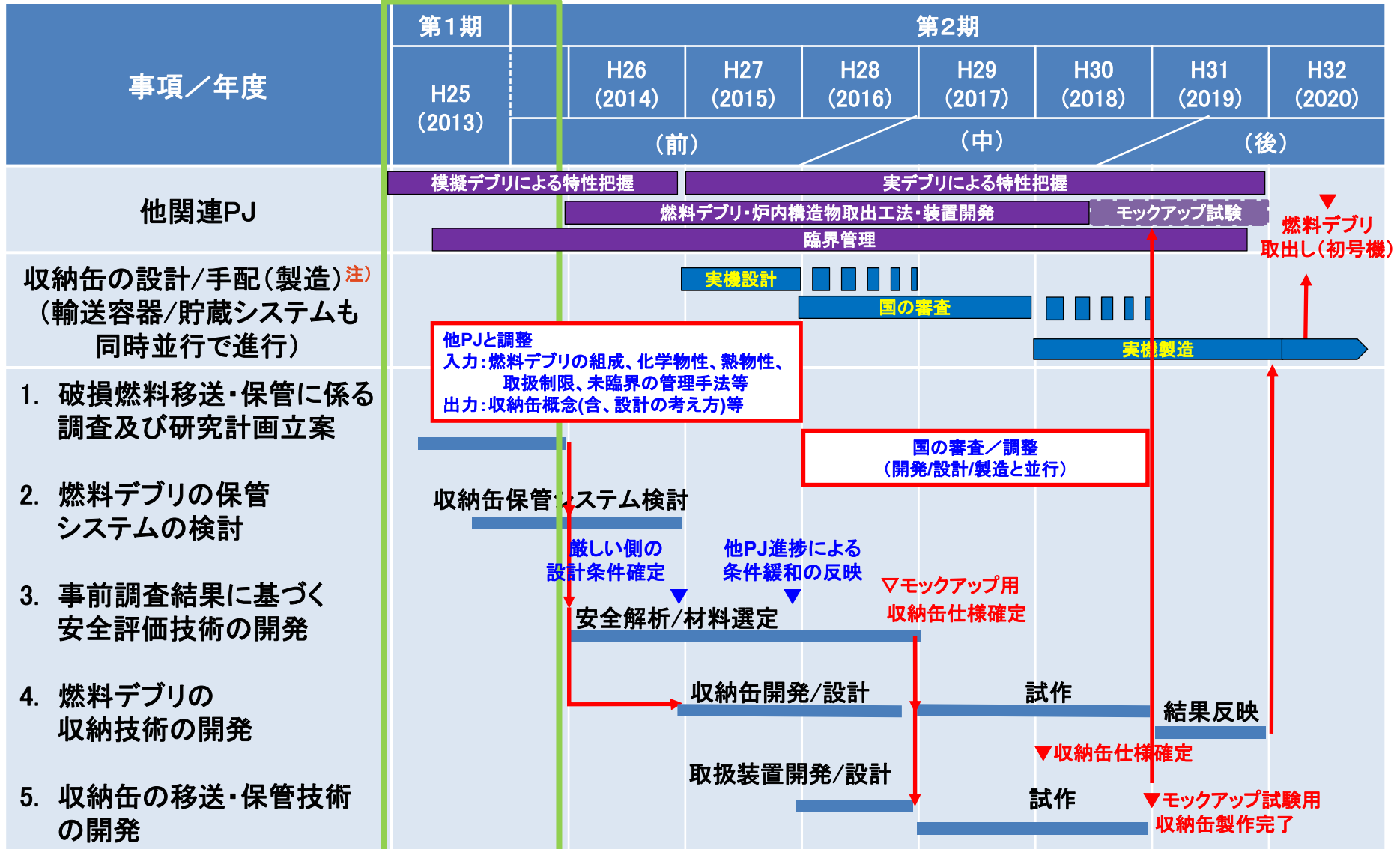
平成26年6月27日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

# 1. 全体計画

## 1.1 ロードマップとの関係

H32(2020)年6月の初号機の燃料デブリの取出しに向け、以下の工程で開発を進める。



# 1. 全体計画

2

## 1.2 「燃料デブリ収納・移送・保管技術開発」の目的と目標

### 【燃料デブリ収納・移送・保管技術開発の目的】

1FではTMI-2と比較して以下に示すような条件に相違がある

- 1F-1～3の燃料デブリはRPV下部、PCV内に存在。位置や性状が不明。
- 建屋内は高線量で、人のアクセスが困難。
- 燃料は、TMI-2より燃焼度・濃縮度が高く、収納・移送・保管条件が厳しい。
- 炉内への海水注入により、腐食の進行も懸念。

TMI-2では専用の収納缶を開発、収納缶を使用して燃料デブリの収納・移送・保管作業を実施。収納作業は、RPV上部に作業台を設置、炉内で収納缶に燃料デブリを収納。

本研究は、1F燃料デブリの収納・移送・保管技術の開発として、TMI-2の実績等を参考に、1Fの状況にあった燃料デブリ収納缶及び収納缶取扱い技術の開発を行う。

### 【開発の目標】

1F実施計画に基づき、燃料デブリ取出しは、臨界未満に維持、安全な取出し、飛散防止、適切な遮へい、冷却、貯蔵、作業員及び敷地内外の安全確保が求められる。

- 1F燃料デブリの収納・移送・保管に適した収納缶の要求仕様を設定、収納缶材料を選定
- 燃料デブリ収納缶の安全性に関する評価手法を開発
- モックアップ試験用収納缶を設計・製作し、燃料デブリ取出しのモックアップ試験に供する

### 【本研究の前提条件】

燃料デブリの輸送や保管方法として、収納缶に收容することで、使用済み燃料の輸送や貯蔵で実績ある手法(金属キャスク等)がそのまま適用できることを前提とする。

# 1. 全体計画

## 1.3 1F燃料デブリ向け収納缶の開発の必要性

1F特有の条件に対する研究開発が必要

**【収納缶設計】**  
1FとTMI-2の燃料デブリの違いを考慮した収納缶設計が必要

- ・貯蔵システム全体から俯瞰した収納缶への密封機能・除熱機能等の要求の要否及び分担のレベル(TMI-2より高燃焼度、短冷却)
- ・臨界防止対策と計量管理(TMI-2より高濃縮)
- ・1F燃料デブリ性状に応じた水素発生量評価および水素発生対策
- ・1F燃料デブリ性状に応じた収納缶材料の選定 (海塩などを考慮)

収納缶物量にも関係

**【収納缶取扱い】**  
1FとTMI-2の環境条件等の違いを考慮した収納缶設計・取扱検討が必要

- ・長期高線量化での遠隔操作に対応した燃料デブリ収納缶・同取扱技術の開発

TMI-2では原子炉キャビティ近傍に作業員が近接できた。  
1Fでは近接困難と考えられ、より高度な遠隔技術が必要。  
本条件を満たしつつ安全要求も満足できる収納缶/取扱設備を成立させる必要がある。

- ・異なる状況(1～3号機)における収納缶および燃料デブリ収納・収納缶取扱技術の共通化の検討

## 2. H25年度実施結果

4

### 2.1 スケジュール実績

H25年度では以下を実施。

- ・破損燃料移送・保管に係る調査及び研究計画立案
- ・燃料デブリ保管システムの検討\* (H25年度は調査のみ)

事項／年度	平成25年度	
	上期	下期
1. 破損燃料移送・保管に係る調査		12/3交付決定 ▼ 調査計画立案 調査
2. 燃料デブリの保管システムの検討 (26年度まで継続)		調査計画立案 調査
3. 課題の抽出と研究計画立案		課題の抽出 全体計画立案

\* 収納缶の仕様を決定するうえで、1Fに適用可能な燃料デブリの保管システム(複数の場合あり)を検討し、それらからの収納缶への要求機能を分析することが目的である。また、本成果が実際の保管システム選定において参考となることが期待される。なお、ここでいう保管システムとは、燃料デブリが措置されるまでの間、安全に保管するためのシステム全般を意味する。

## 2. H25年度実施結果

5

### 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

#### 【実施内容】

燃料デブリを収納・移送・保管するための収納缶の開発に資するため、国内外の破損燃料※の輸送・貯蔵実績について、公開（含、提供元から公開の同意を得た）情報を調査。

※：ここでいう破損燃料とは、燃料デブリ、漏えい燃料等の燃料被覆管が損傷して内部の核燃料物質から核分裂生成物等が漏出している状態の燃料を示す。

#### 【調査のポイント】

調査のポイントは以下のとおり。

- ・燃料の破損状態：被覆管の状態、ペレット放出の有無、燃料デブリの場合は溶融物の概略組成
- ・現在の保管状況：保管方式（湿式/乾式（金属キャスク、コンクリートキャスク、ボルト））、保管期間
- ・保管後の計画：そのまま保管、再処理、直接処分などの計画の有無
- ・安全評価：安全評価における評価条件、基準設定の考え方（燃料の損傷状況設定、臨界評価条件、被覆管からの燃料放出率の設定、密封機能、長期健全性等の設定の考え方、基準）
- ・安全対策：水素対策、落下等の事故の想定及び事故時の評価・事故発生防止対策、作業員安全対策
- ・許認可：規制要件、認可手続き

#### 【調査対象】

調査の対象は以下のとおり。

- 1)北米；TMI-2（TMI-2からINLへの輸送、INLでの湿式貯蔵まで、INLでの乾式貯蔵）
- 2)欧州；ハンガリーPaksの燃料損傷事例、フランスの破損燃料輸送

#### 【調査結果】

TMI-2燃料デブリのINLへの輸送、INLでの湿式貯蔵、乾式貯蔵について情報を収集した。またハンガリーPaks原子力発電所2号機の損傷燃料の移送・保管事例、フランスの損傷燃料輸送の情報を得た。

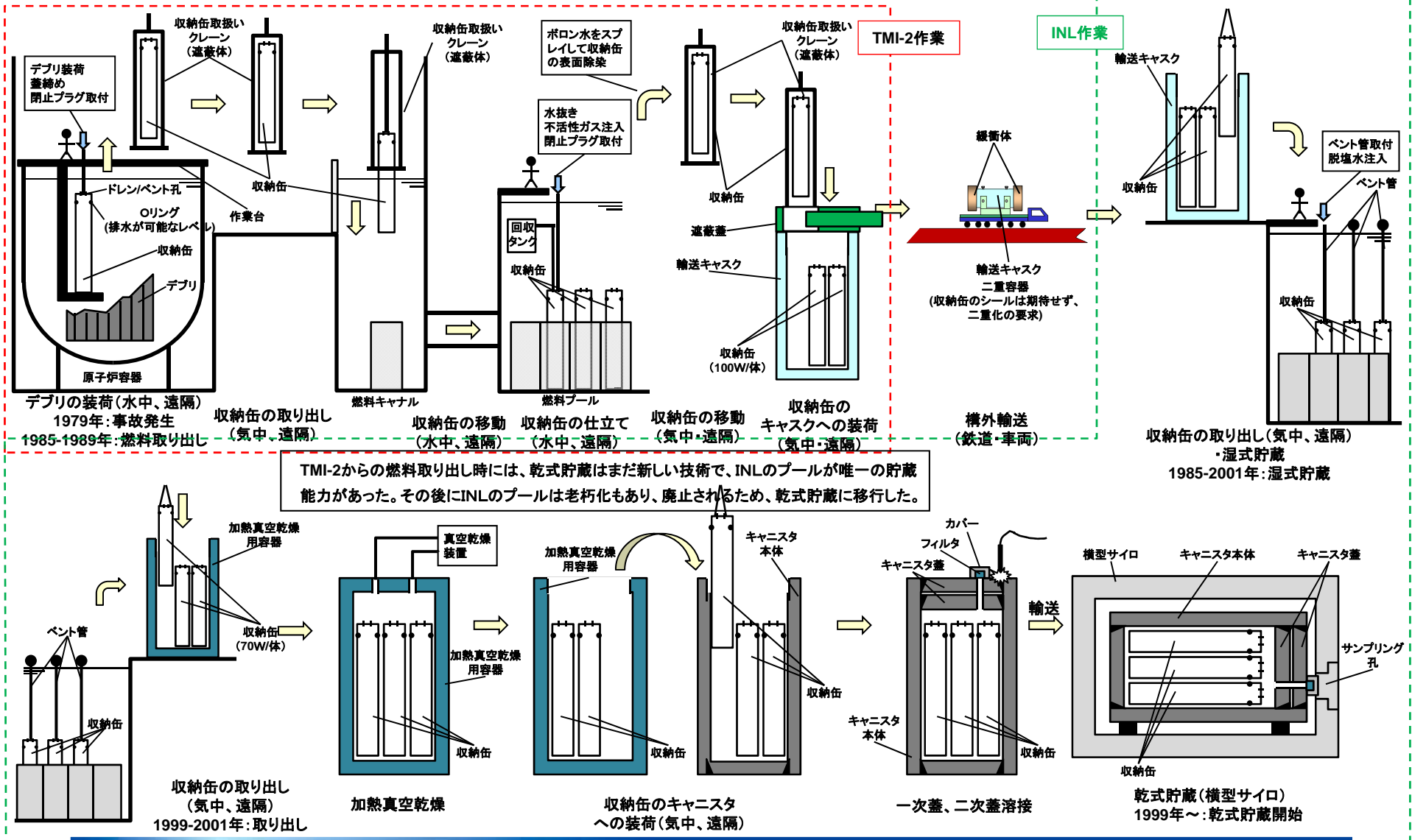
⇒H26年度からの検討にて活用予定。



# 2. H25年度実施結果

## 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

### 破損燃料移送・保管に関する調査(TMI-2燃料デブリ処置の概要)

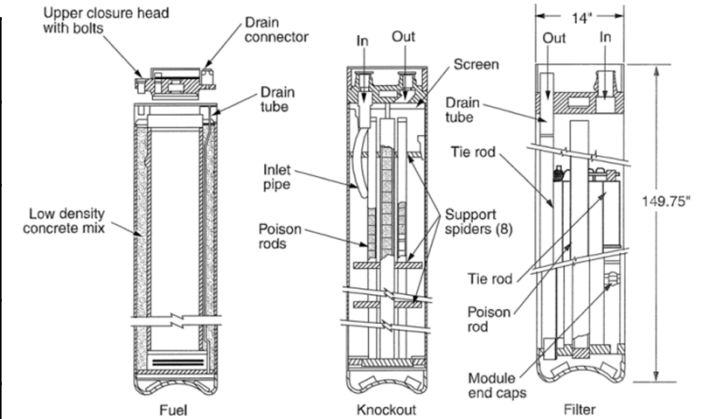


# 2. H25年度実施結果

## 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

破損燃料移送・保管に関する調査結果の概要

	TMI-2事例 (燃料デブリ移送)	TMI-2事例 (燃料デブリ保管)	Paks事例	仏破損燃料輸送	
収納物	燃料デブリ (燃料が溶融)	同左	被覆管の破損 (燃料溶融なし)	ピンホールリーク	
湿式・ 乾式	半乾式(排水のみ実施し、 乾燥処理は行っていない。)	乾式	湿式	乾式	
収納缶 の有無	収納缶使用	収納缶使用	収納缶使用	収納缶なし(健全燃料 と同様に輸送)	
基本的な 安全設計	閉 込 め	収納缶は湿式保管中、 発生した水素は、蓋のスク リーンフィルタを経由して 常時ベントする構造 収納缶の移送容器(キャ スク)は密封構造とし、水 素再結合触媒で水素発 生量を管理した。	収納缶は密封機能 なし。発生した水素 はキャニスタに設 けられたHEPAフィ ルタを経由してベン ト	収納缶は使用して いない キャスクは輸送期 間中の水素濃度を 解析評価。輸送前 に水素濃度を測定。	
	遮 蔽	遮蔽は周辺機器で担保 し、収納缶自体の肉厚は 構造等の要素で決定	同左	同左	キャスクで担保
	臨 界	収納缶内は最適減速の 保守的設定(収納缶に収 容する燃料デブリは燃料 集合体1体以下と設定し、 運用でも管理)	最大濃縮度の新燃料 が最大容量まで 収納された収納缶 を、キャニスタに12 本装荷した条件で 臨界評価を実施。	収納缶内は最適 減速の保守的設 定	健全燃料と同じ
	除 熱	収納缶当たりの最大収 納量で評価	同左	除熱容量のみ記 載(詳細不明)	健全燃料での評価



米TMI-2で使用された燃料デブリ用収納缶事例(参考)  
出展:DOE/SNF/REP-084 TMI Fuel Characteristics for  
Disposal Criticality Analysis(2013)より



米TMI-2燃料デブリの保管システム(参考)  
出展:Andrew P. Szilagyi, Three Mile Island Unit 2  
Overview and Management Issues, OECD-Nuclear  
Energy Agency – 12th Meeting of the WPDD,  
France(2011i)より

## 2. H25年度実施結果

### 2.3 保管システムに関する検討

#### 【実施内容】

実際の保管システムの選定に資するよう、国内外での使用済燃料の保管実績について、公開(含、提供元から公開の同意を得た)情報を調査。

#### 【調査のポイント】

- 調査のポイントは以下のとおり。
- ・破損燃料の適用実績または計画
  - ・保管後の計画(そのまま保管、再処理、処分など)
  - ・立地条件
  - ・安全評価(密封、臨界、耐久性(長期健全性)、耐震性等の評価条件設定、基準設定の考え方)
  - ・許認可(規制要件、認可手続きなど)

#### 【調査対象】

調査の対象は以下のとおり。  
コンクリートキャスク方式(設置方式、床面への固縛方式・地下方式)、ボールド方式・横型サイロ

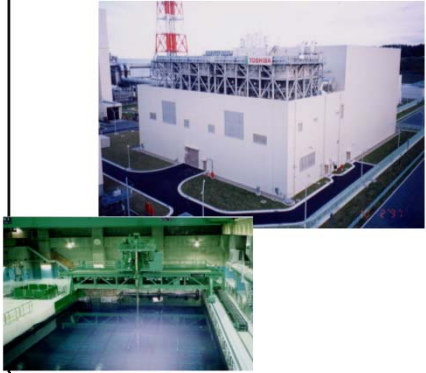
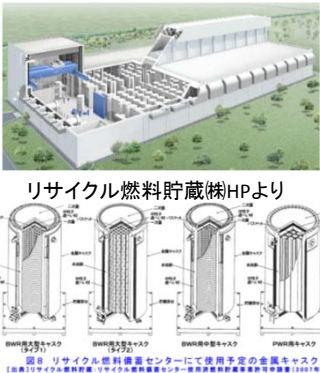
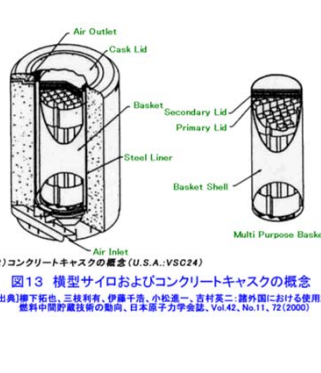
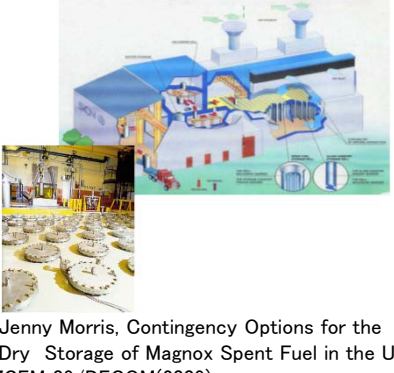
#### 【調査結果】

米国のコンクリートキャスク方式(設置式とともに耐震性に優れた固縛式、地下式)の事例を調査した。  
また、フランス、米国のボールド方式、横型サイロ方式の事例を調査した。  
⇒H26年度からの検討にて活用予定。

# 2. H25年度実施結果

## 2.3 保管システムに関する検討

### 保管システムに関する調査結果の概要

保管方式	湿式		乾式		
	プール方式	金属キャスク方式	コンクリート遮蔽式(横型サイロをふくむ)	ボールド方式	
概要図		 リサイクル燃料貯蔵棟HPより	 図13 横型サイロおよびコンクリートキャスクの概念	 Jenny Morris, Contingency Options for the Dry Storage of Magnox Spent Fuel in the UK, ICEM 09/DECOM(2009)	
安全機能の担保	密封	・プール水及び原子炉建屋	・一次蓋、二次蓋の金属ガスケット方式	・キャニスタの一次蓋、二次蓋の溶接構造	・同左
	遮蔽	・プール水及び原子炉建屋	・金属キャスク本体(鋼、中性子遮蔽材等の組み合わせ)及び建屋	・コンクリートキャスク本体(鋼、コンクリートの組み合わせ)	・建屋(コンクリート)
	臨界防止	・燃料ラックの幾何学的配置(必要に応じて燃料ラック材料)	・金属キャスクバスケットの幾何学的配置(必要に応じてバスケット材料)	・キャニスタやバスケットの幾何学的配置(必要に応じてバスケット材料)	・同左
	除熱	・プール水による循環冷却	・金属キャスク表面の自然冷却	・キャニスタ表面の自然冷却	・同左
長所/短所	輸送対応	・収納物を輸送用キャスクへ収納する必要あり	・輸送・貯蔵兼用キャスクが開発されておりキャスクをそのまま輸送可能。	・キャニスタを貯蔵用キャスクから輸送用キャスクに詰替える必要あり(輸送・貯蔵兼用キャスクを使用する例もある)	・キャニスタを輸送用のキャスクに収納する必要あり
	点検等の容易さ	・収納物はそのまま水中保管されているので取出や状態確認等が容易	・収納物がキャスクに収納されているため収納物の確認は、プール/ホットセル等で行う必要がありプールより不利。	・収納物が溶接封入されたキャニスタに収納されているうえ、収納物の確認は、プール等で行う必要がある。	・同左
	必要面積	・貯蔵密度が高く設置面積を小さくできる可能性がある。	・貯蔵密度はプールより低い。	・貯蔵密度は金属キャスクより低い。(保管のための設置面積が大きい。)	・貯蔵密度は金属キャスクより高い。
	拡張性	・容量拡大は建屋新設等が必要で大掛かり。	・費用の多くを占めるキャスク増設で対応できるため少しずつの拡張が可能	・同左	・容量拡大は建屋新設等が必要で大掛かり。
	維持費	・冷却の継続や水質管理が必要で割高	・電装品等の維持作業のみで、割安。	・同左	・同左
	法令整備	・国内実績があり法令等が整備済	・同左	・海外実績はあるが国内実績はなく法令整備が課題	・同左

## 2. H25年度実施結果

### 2.4 課題の抽出と全体計画立案

10

#### 【調査を踏まえて抽出された課題】

##### ・技術面

燃料デブリや破損燃料の移送・保管では残留水分が分解して生ずる水素への対策が課題となる。  
(燃料デブリの乾燥方法の確立、乾燥により水素発生を十分に抑制できない場合の対策)

##### ・燃料デブリ物量等

TMI-2では横型サイロ29基分。一方、1Fでは燃料デブリが広範囲に分布していると考えられており、保管物量が膨大となる可能性がある。

⇒確保できる保管場所によっては、燃料デブリの減容/仕分け等の技術が必要となる。  
また、収納効率向上のため、収納効率と関連する重要因子(未臨界維持など)とのバランスを考慮した上で、合理的な収納缶の大きさ、燃料デブリ収納量を設定する必要がある。

#### 【今後の対応案(H26年度計画への対応案)】

##### ・他開発PJとの連携、全体像を見据えた複数のシナリオの策定

⇒保管場所や必要に応じて減容/仕分け等の作業場所等技術以外の課題も配慮する必要があり、IRID内(東京電力㈱、日本原子力研究開発機構、国内プラント機器メーカー)と連携して燃料デブリの収納・移送・保管の全体像を見据えた複数のシナリオを策定して収納缶への要求事項を明確にする。また、他の開発PJへ収納缶からの要求事項として発信する。

##### ・情報入手

⇒燃料デブリの乾燥技術、水素対策、臨界評価手法等、TMI-2、Paksの事例他、より詳細な調査が有効と考えられ、意見交換等をIRID内で調整しつつ進めていく。

## 2. H25年度実施結果

### 2.4 課題の抽出と全体計画立案

#### ①他の研究開発とのインターフェースの構築に係るアクションプラン

##### ・I/F情報のマップ作成

基本物性等の収納缶設計を行う上で必要となる情報を関連する開発PJ(デブリ性状把握PJ、取出工法PJ、計量管理PJ、炉内状況把握PJ他)や東電殿(インフラ設備の整備等が前提になるので)で整理した。

⇒H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築等に活用を予定。

##### ・基本フロー図と課題の抽出

特に連携が必要となる取出工法検討とのインターフェースを密に連携できるように収納缶取扱関わるフロー図を作成し、開発が必要となる課題の具体化を行った。

⇒H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築や取出工法PJとの連携に活用する。

#### ②燃料デブリ保管方法の選定に係るアクションプラン

現存の技術による保管システム(コンクリートキャスク方式(横型サイロ含む)並びにボルト方式)を対象に、収納缶による燃料デブリ保管に供する場合の技術的課題や問題点を抽出した。

⇒ H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築や東電殿との連携に活用する予定。

#### ③規制要件／技術要件の整備に係る規制側等への提案に係るアクションプラン

今後の許認可や具体的設計を進めるにあたり参考とすべき法令(核燃料物質の輸送・貯蔵に係る規制)を整理した。

⇒収納缶の基本機能、概略形状等の設計の方向性(設計コンセプト)に活用し課題を具体化していく。

#### ④全体計画の策定

①～③を踏まえ、2020年予定の燃料デブリ取出しに向けた収納缶開発本格化のために、設計の前提となる情報の必要時期を整理。また、今後必要と考えられるアクションを整理した。

⇒引き続きH26年度の実施成果を踏まえて見直していく。

## 2. H25年度実施内容

12

### 2.5 まとめ

#### 【H25年度成果】

当初計画通り、所定の成果が得られた。また、全体ロードマップは維持できる見込み。

#### 1. 破損燃料輸送・貯蔵に関する調査

海外の破損燃料の輸送・貯蔵(TMI-2(湿式輸送、湿式貯蔵、乾式貯蔵)、Paks(破損燃料の処置)、フランス(破損燃料輸送)の実績を調査した。

#### 2. 保管システムに関する検討

国内実績のないコンクリートキャスク方式(設置方式、床面への固縛方式・地下方式)、ボルト方式・横型サイロの実績を調査した。

#### 3. 課題の抽出と全体計画立案

他の研究開発とのインターフェースの構築に係るアクションプラン、燃料デブリ保管方法の選定に係るアクションプラン、規制要件／技術要件の整備に係る規制側等への提案に係るアクションプランを整理し、全体計画として反映した。

#### 【内外の叡智の活用】

今般の調査は海外のコンサル(米PLS社、仏JPG CONSEIL社)、キャスクエンジニアリング会社(米国NAC社)を活用して情報や知見収集を行った。また、IRIDの外部委員会で計画レビューを実施した。

#### 【人材育成】

人材育成を意識した共同研究や成果報告会に資するべく成果、課題等を整理中であり、H26年度開催のワークショップ等で発表する。また、社内若手をPJに参画させ長期的な人材育成を実施中。

#### 【規制側への要求事項の提示】

H28年度より国への実施方針の説明、その後、審査と進むことが想定されるため、規制側との調整が必要。また、H25年度は参考とするべき法令整理を完了、抽出した課題に基づき要求事項として整理。