

遊泳調査ロボットの技術開発 実証試験の実施について

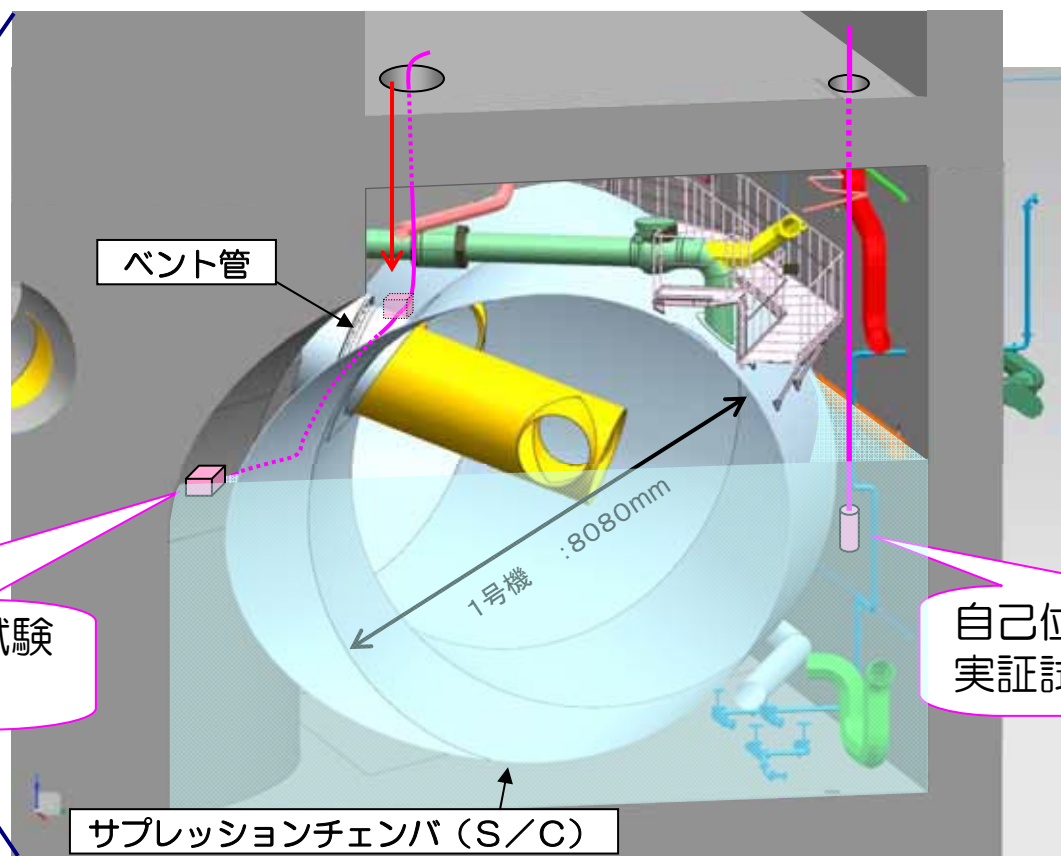
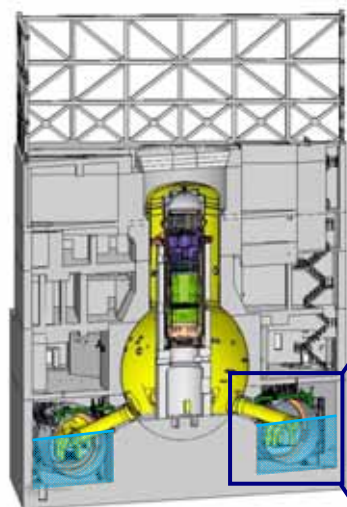
2013年10月31日

[遠隔技術タスクフォース WG2]

水中遊泳ロボットWG

1. 目的

「水中遊泳ロボットWG（主査：九州工業大 浦教授）」にて支援し、資源エネルギー庁 平成24年度発電用原子炉等事故対応関連技術基盤整備事業（遠隔技術基盤の高度化に向けた遊泳調査ロボットの技術開発）において開発した長尺ケーブル処理技術および自己位置検知要素技術を1号機原子炉建屋で実証する。



長尺ケーブル処理技術実証試験
イメージ（水上ボート利用）

自己位置検知要素技術
実証試験イメージ

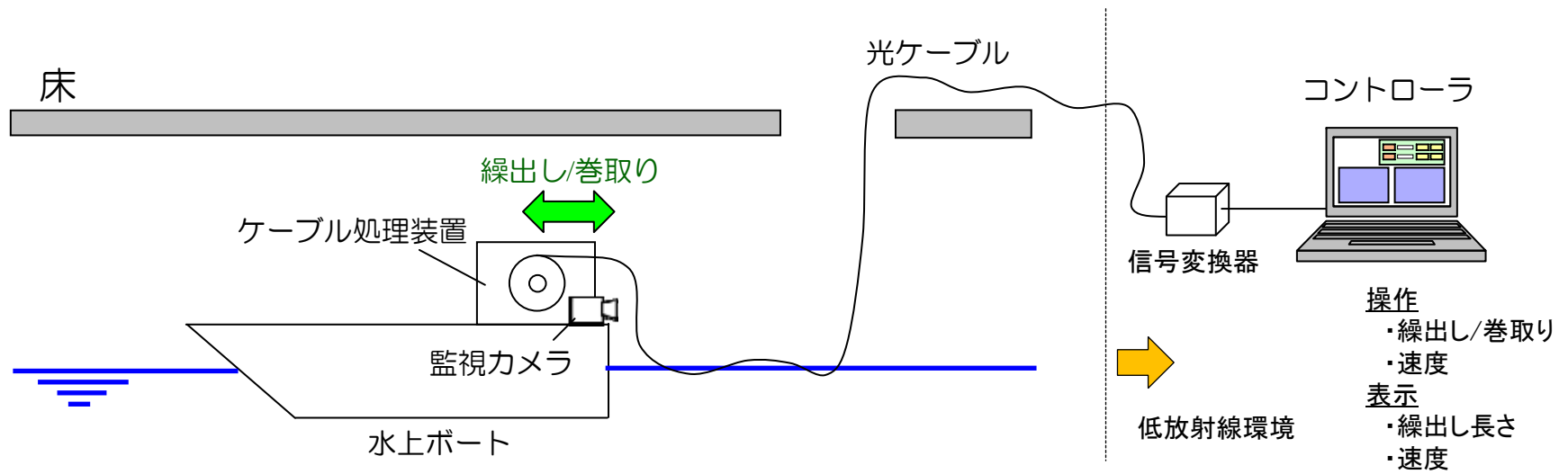
2. 長尺ケーブル処理技術 開発技術

■目的

水没部の水漏えい箇所調査には水上および水中移動機構を用い、移動機構に信号等を伝送するケーブルを接続する必要がある。複雑な構造物を有し、かつ狭隘で過酷な環境下では長尺なケーブルの操作技術が必要。このため、有線式水上調査ロボットの長距離遊泳可能な長尺ケーブル処理技術を開発。

長尺ケーブル処理技術

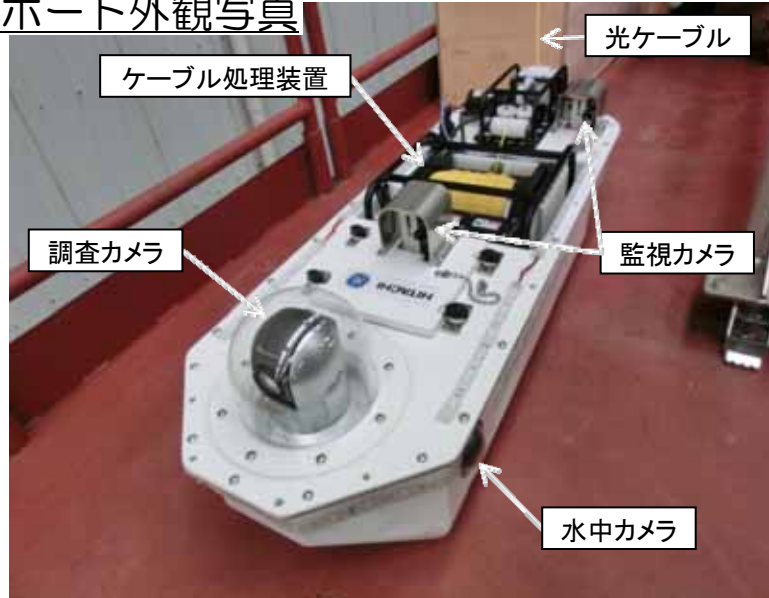
水上ボートにケーブル処理装置を搭載し、監視カメラ映像に基づきケーブル繰出し・巻取り操作を行う。



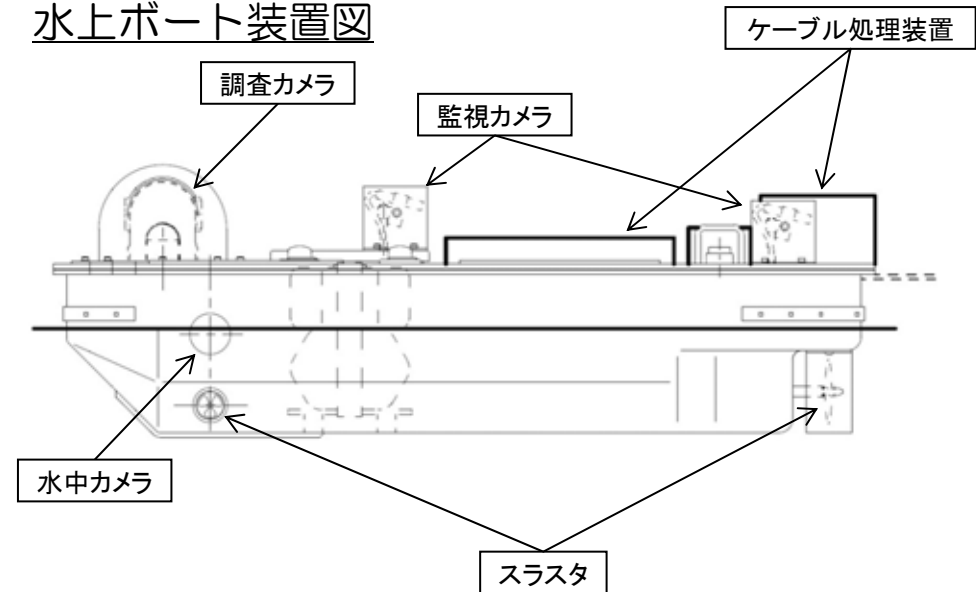
ケーブル処理装置概念図

2. 長尺ケーブル処理技術 装置仕様(水上ボート)

水上ボート外観写真



水上ボート装置図



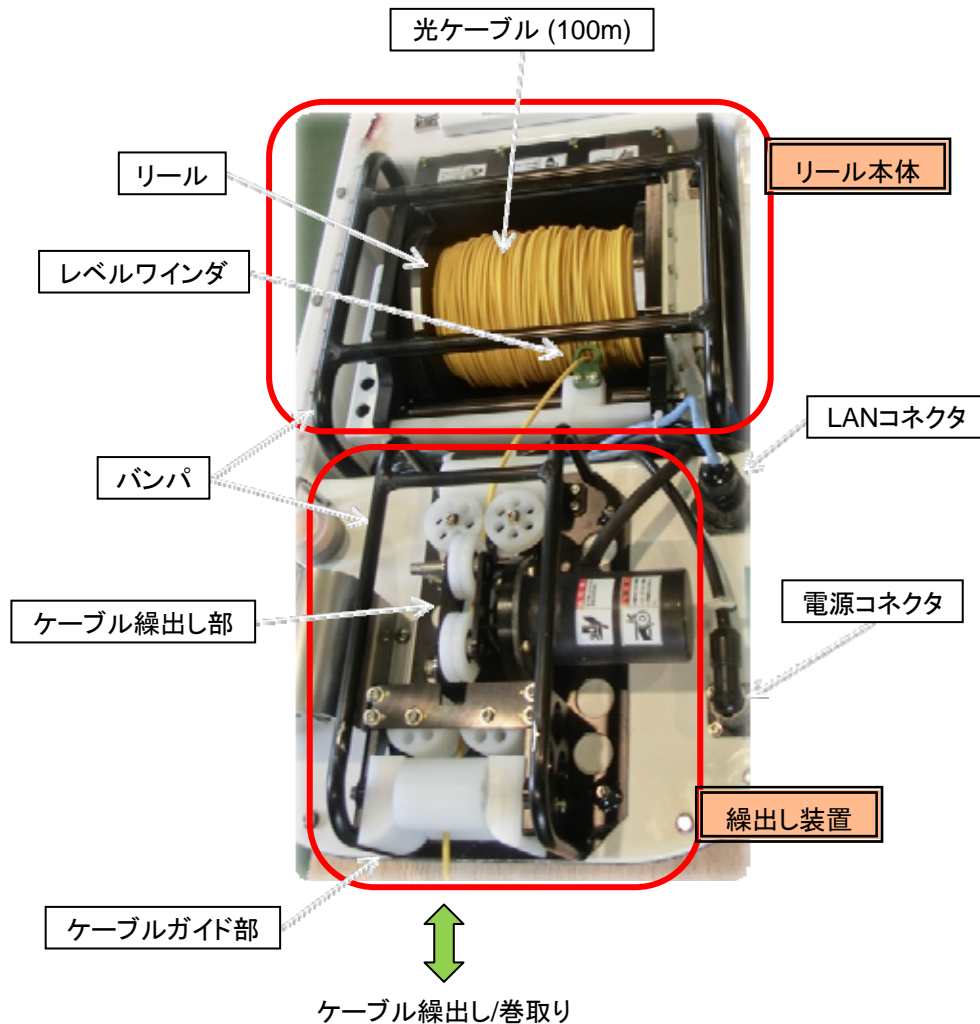
装置仕様

外形寸法	L 900 mm × W 330 mm × H 293 mm
質量	約 27 kg
推進装置	前後進用スラスタ、横移動用スラスタ
光ケーブル長	100 m
搭載機器	調査カメラ、水中カメラ(x2)、監視カメラ(x2)、放射線量率計

2. 長尺ケーブル処理技術 装置仕様(ケーブル処理装置)

5

ケーブル処理装置外観写真(水上ボート搭載状態)

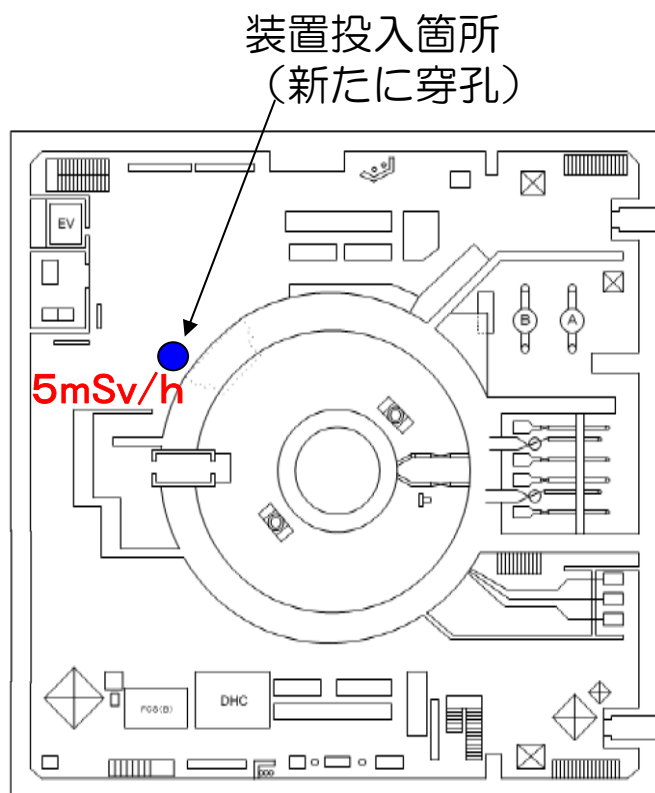


装置特徴	
外形寸法	リール本体:L 250 x W 250 x H 193 mm 繰出し装置:L 204 x W 153 x H 83 mm
質量	リール本体:約 6 kg 繰出し装置:約 1 kg
特徴	<ul style="list-style-type: none">• 機器搭載型の小型軽量装置• 100mまでの光ケーブルに対応• レベルワインダと繰出し装置を併用したことによるスムーズで絡まりのない繰出し/巻取り動作

2. 長尺ケーブル処理技術 実証方法

●水上ボートの投入方法

線量の比較的低い1号機1階北西床を開口（約φ500）し、ケージに入れた水上ボートを垂直投入し、さらに内側キャットウォークの隙間を通し着水させる

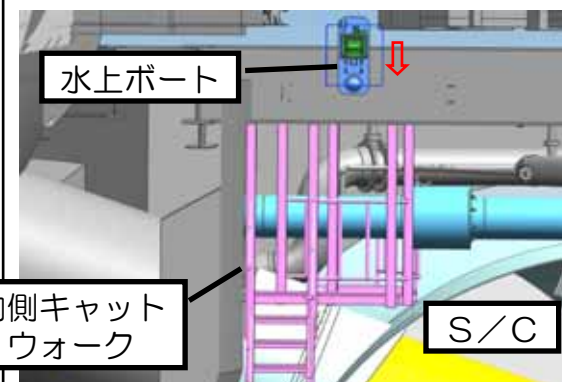


【装置投入手順】

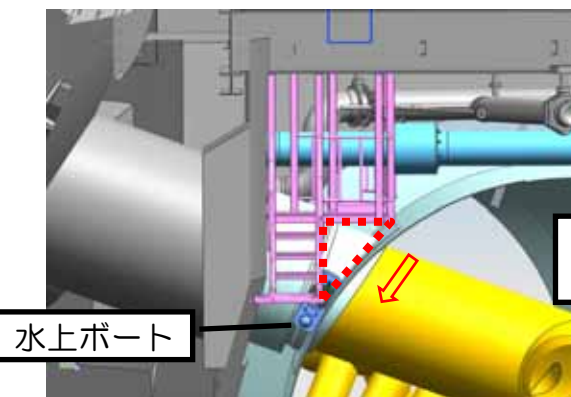
- ①穿孔箇所より装置を投入する
- ②S/C外面と内側キャットウォークの隙間から装置を通過させる
- ③装置を滞留水中に着水させる



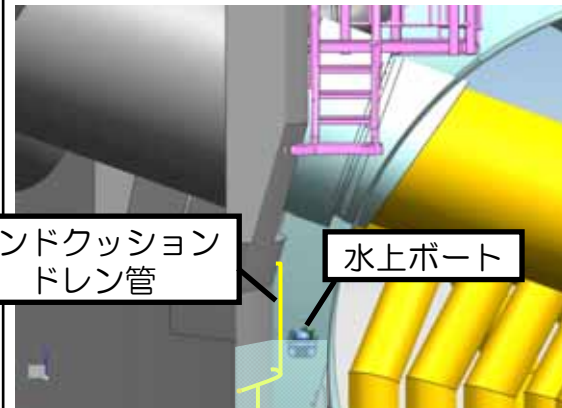
①装置投入



②内側キャットウォーク通過

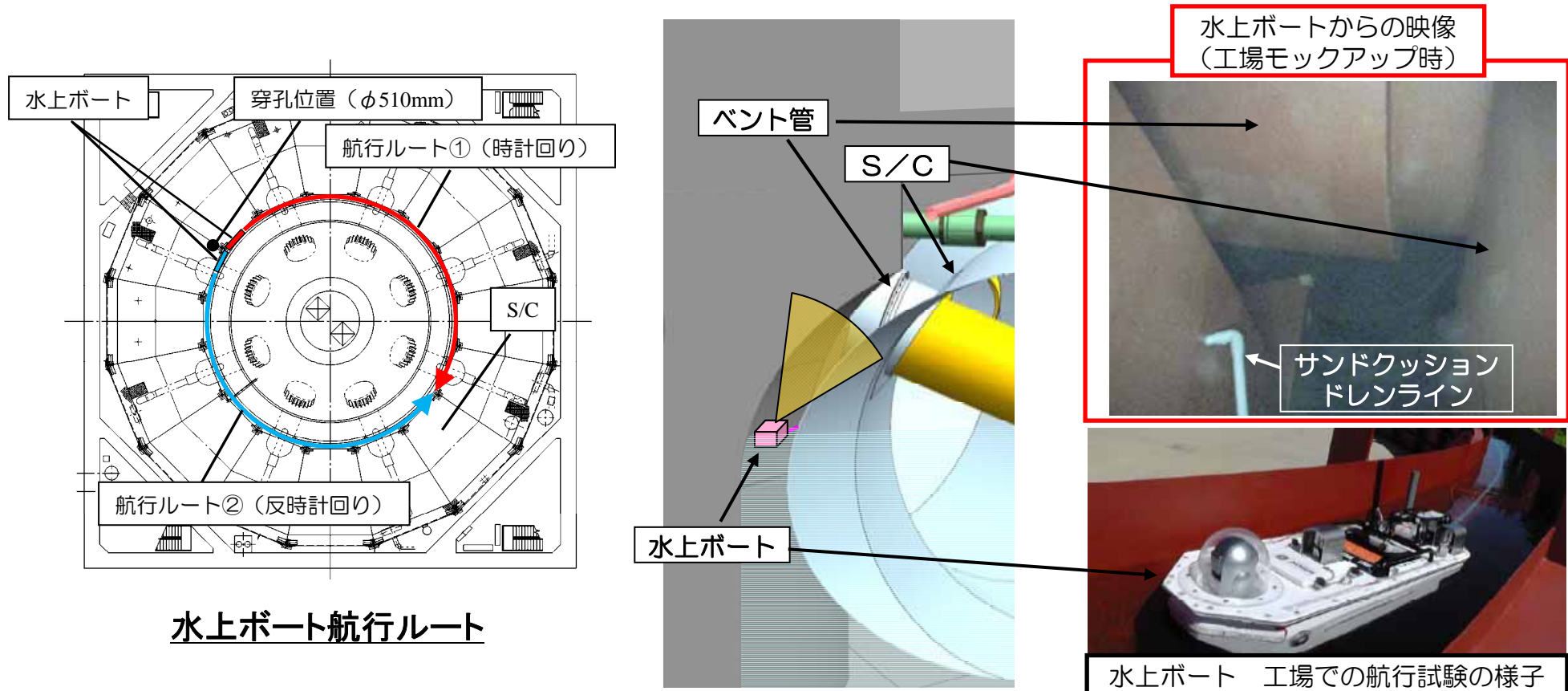


③装置着水



2. 長尺ケーブル処理技術 実証方法

●水上ボートを半周ずつ航行させ、長尺ケーブル処理機構が正常に動作（送り出し、巻き取り）することを搭載した監視カメラで確認する。また、併せてベント管下部周辺の漏水有無等とサンドクッションドレン管（一部塩ビ管）の状態を確認する。



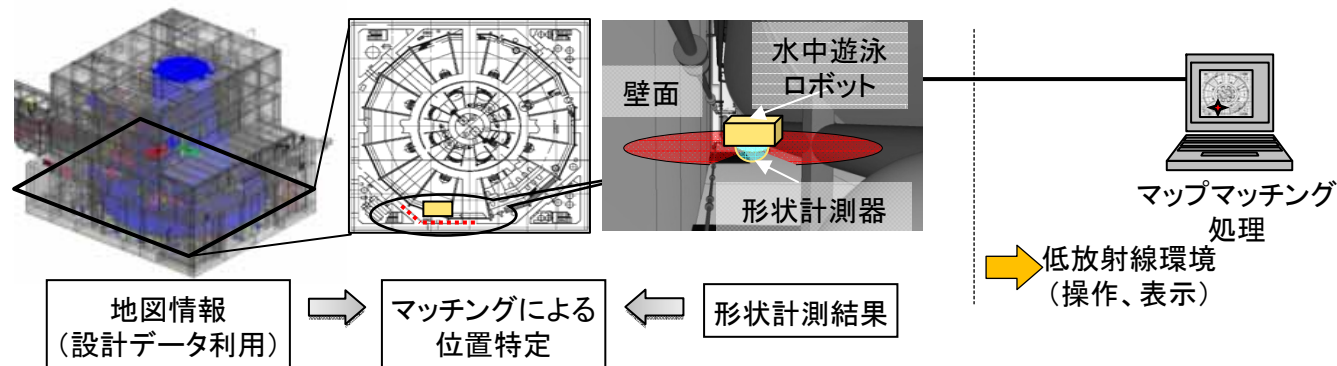
3. 自己位置検知要素技術 開発技術

【目的】

狭隘、閉空間かつ濁水中の環境では、光学カメラ映像のみでは、空間内でのロボット等の自己位置を把握するのが難しい。今後の様々な水中環境下での調査を想定し、基盤技術として、光学カメラ映像のみによらず、形状計測センサ（レーザーまたは超音波）での形状計測結果と地図情報から現在位置を特定する自己位置検知要素技術を開発

自己位置検知方法

検知方式	内容
マップマッチング式	形状計測センサ（レーザーまたは超音波）での形状計測結果と地図情報から現在位置を特定



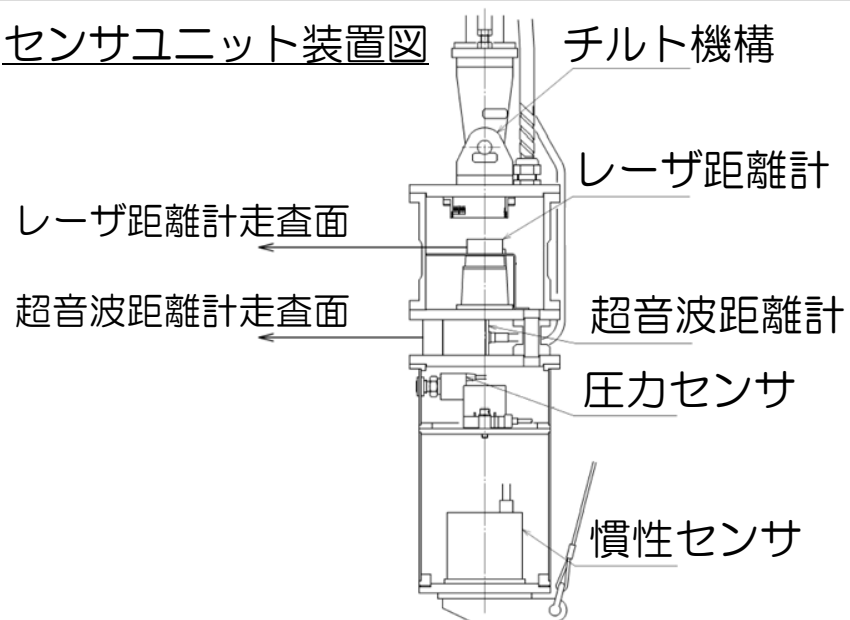
自己位置検知要素技術イメージ

3. 自己位置検知要素技術 装置仕様

センサユニット外観写真



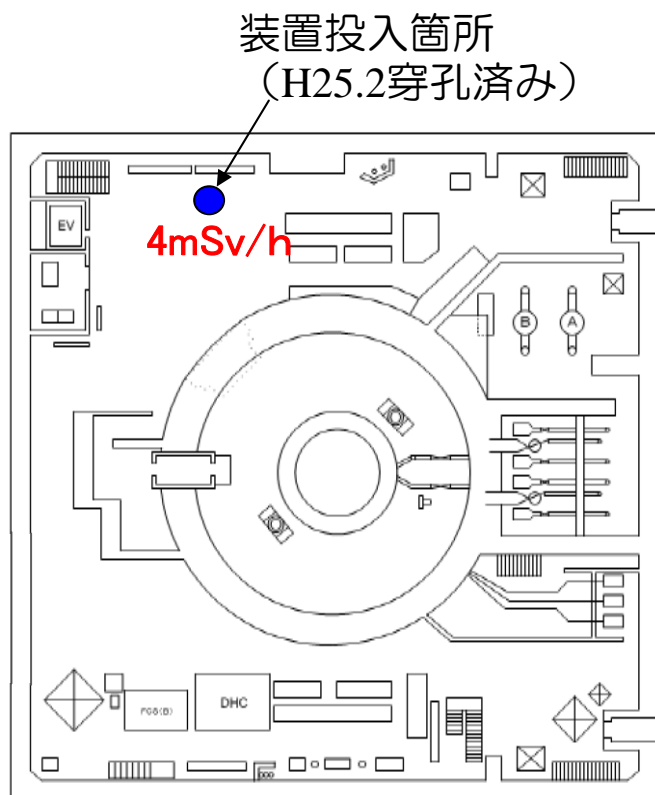
センサユニット装置図



装置仕様	
外形寸法	Φ 160 mm × H 435 mm (センサ部)
質量	約 15 kg (センサ部)
搭載センサ	距離: レーザ距離計・超音波距離計 水深: 圧力センサ、方位: 慣性センサ
測定距離	超音波: 最大 10 m、レーザー: 最大2m

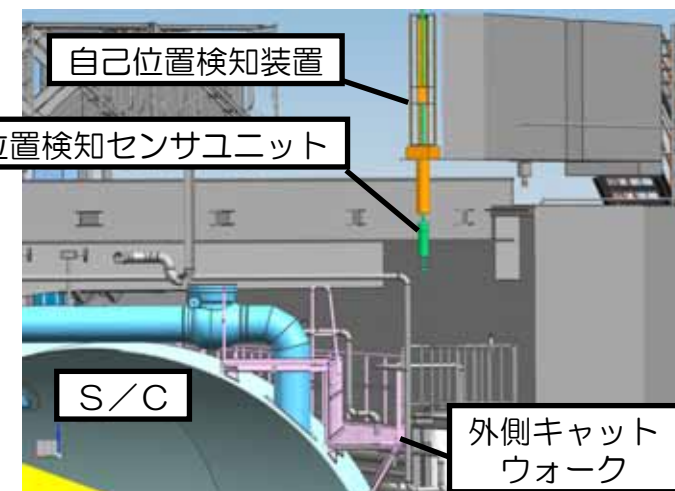
3. 自己位置検知要素技術 実証方法

● 1号機R/B 1階に穿孔済みのφ200の穴から装置を吊りおろし、実機環境（濁水等）での位置検知性能の評価を行う。

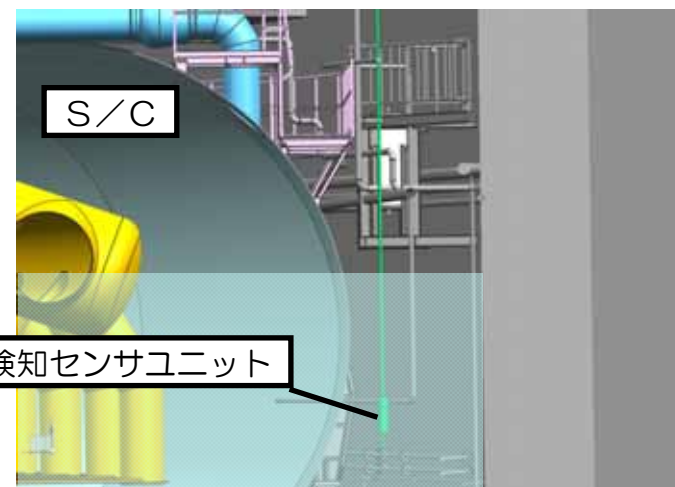


実証試験箇所
(1号機原子炉建屋1階)

穿孔済みのφ200の
穴から装置をトラス
室に投入



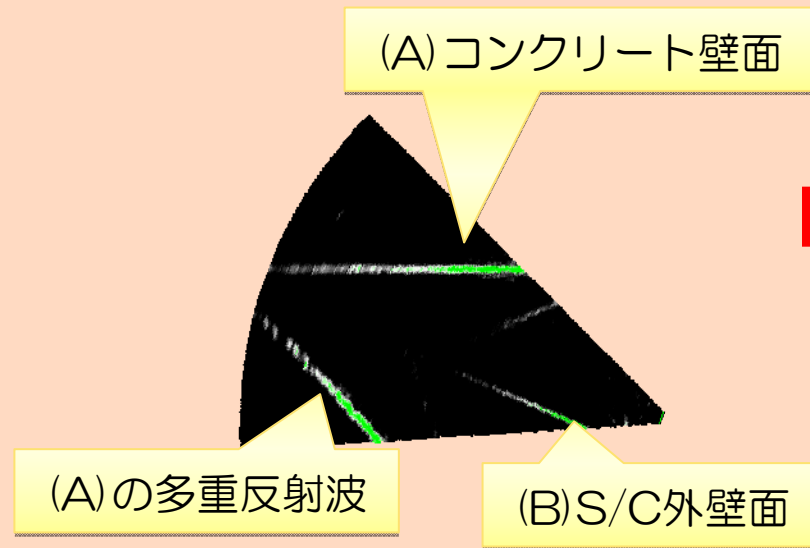
水面下まで装置を吊り
おろし、実証試験を実
施



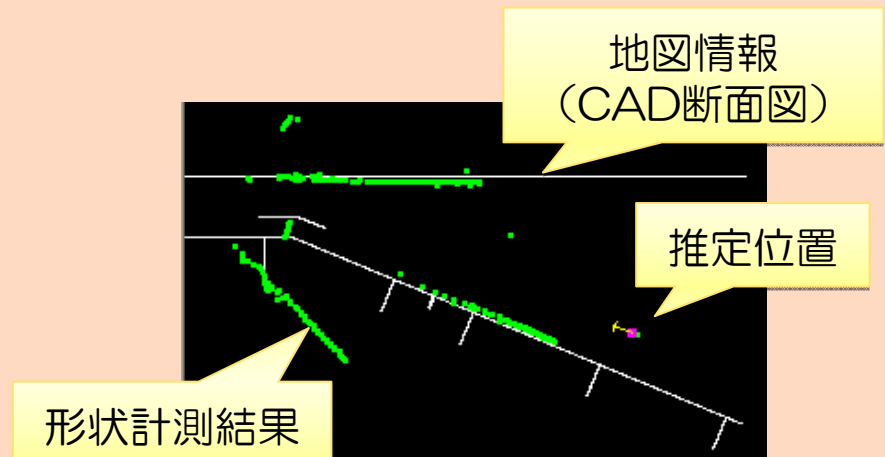
3. 自己位置検知要素技術 実証方法

●今回の実機検証では、1号機における実機水中環境で自己位置検知センサユニットの自己位置を推定する機能が正しく動作することを確認するとともに、工場試験との環境の相違による測定結果への影響について考察する。

形状計測結果（超音波測定結果（例））



自己位置推定結果（例）

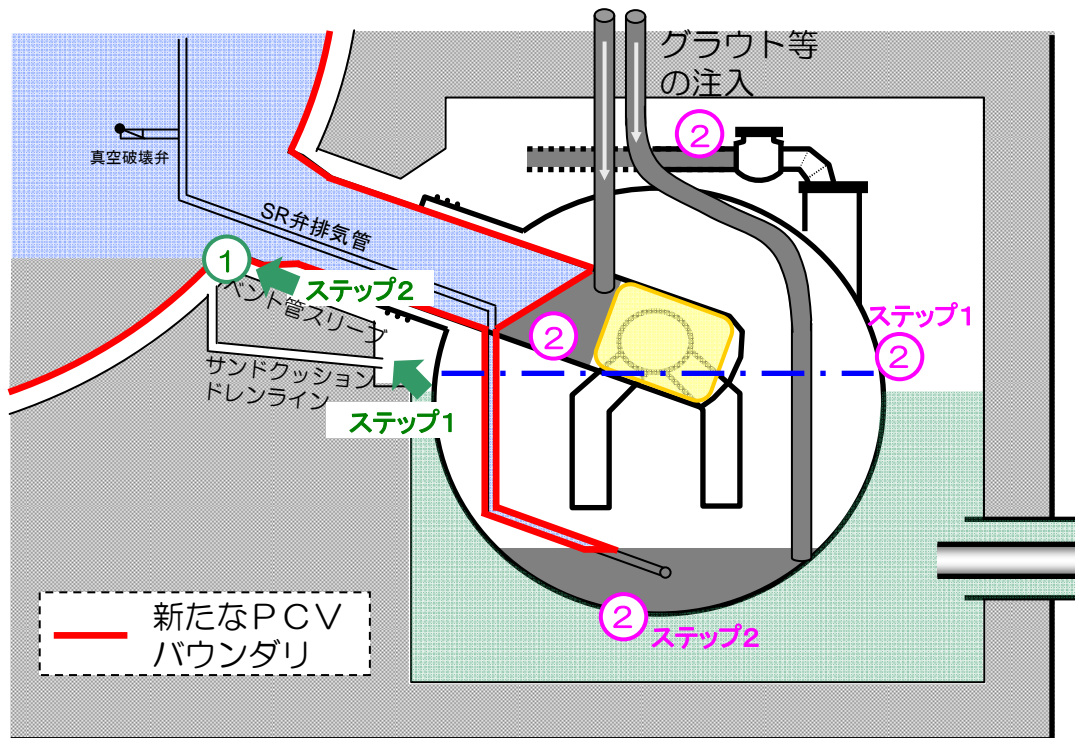


超音波による形状計測結果と地図情報（CAD断面図）を比較し、最も一致する点を検索・演算する

実機検証のイメージ

<参考> 調査と今後の対応(東京電力(株))

現在、格納容器の止水工法として、ベント管での止水(下図参照)等の格納容器の新たなバウンダリを形成する工法を検討しており、工法の成立性に向けた調査を以下の通り実施していく



止水工法イメージ図

【対象①】
バウンダリのうちリークポテンシャルのあるベント管付根部
《漏えい有無の確認》
ステップ 1：ベント管スリーブ下端周囲の調査
ステップ 2：ベント管付根部の調査

【対象②】
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)
《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内水位の測定
ステップ 2：止水材を充填する箇所の調査

今回の水上ポートによる調査内容は以下の通り

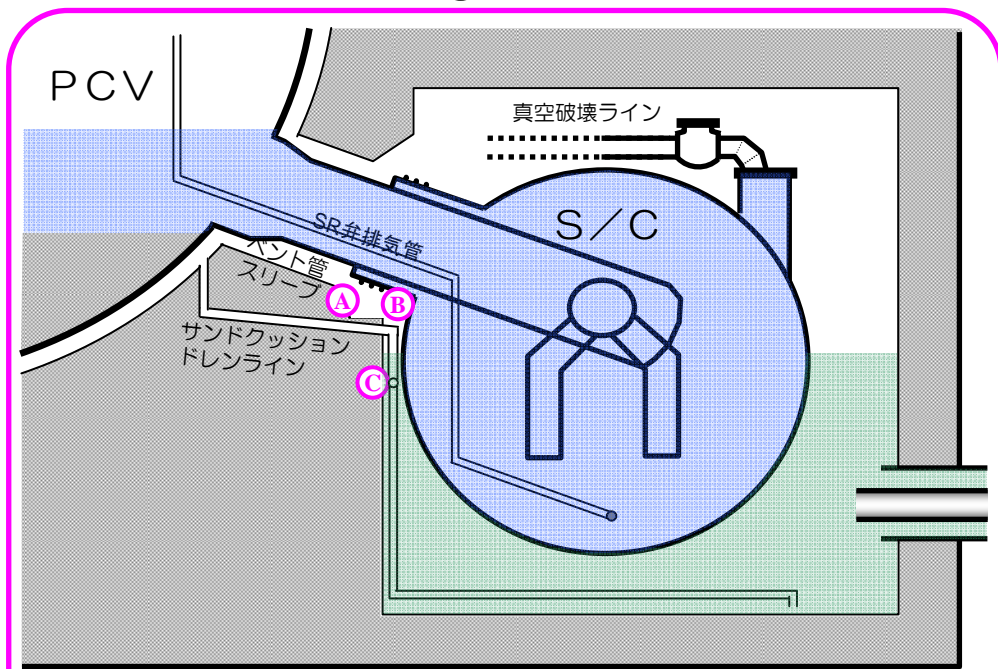
- 調査(1)：対象①のうちステップ1の調査
- 調査(2)：漏水が想定されるベント管ベロー等からの漏水状況の確認※

※止水工法の成立性に向けた調査ではなく、漏えい箇所把握のための調査

<参考> 調査と今後の対応(東京電力(株))

調査(1) : 対象①のうちステップ1の調査
…下図 ①および ③ の調査を実施

調査(2) : 漏水が想定されるベント管ベロー等からの漏水状況の確認
…下図 ② の調査を実施



<調査内容>

- ①…ベント管スリーブ端部からの流水の有無
- ②…ベント管やS/C気中部からの流水の有無
- ③…サンドクッションドレン管の状態の確認

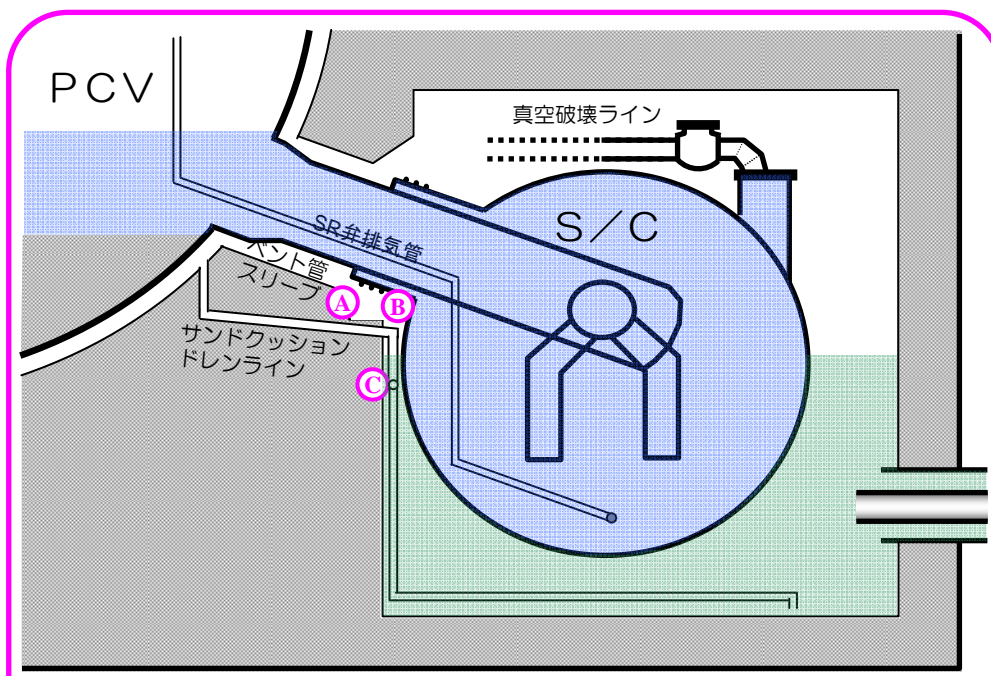
< ①にて流水を確認した場合>

PCVからの漏えいの可能性有り
(燃料デブリのPCVシェルアタックの可能性有り)

国P Jにて開発中のベント管接合部調査ロボット
によるベント管接合部調査を行う (H27年度予定)

調査イメージ





<調査内容>

- ①…バント管スリーブ端部からの流水の有無
- ②…バント管やS/C気中部からの流水の有無
- ③…サンドクッションドレン管の状態の確認

<②にて流水を確認した場合>

バント管ベローからの漏水の把握やS/C気中部の構造物(真空破壊ライン等)からの漏水の可能性について推測することができる

なお、真空破壊ラインについては、漏水の有無に関わらず、PCV下部止水のため止水材を充填することを想定していることから、充填可否を判断するため、国P Jにて開発中のS/C上部調査ロボットによる調査を行う(H26年度予定)

調査イメージ

ズームカメラ
(雲台付)

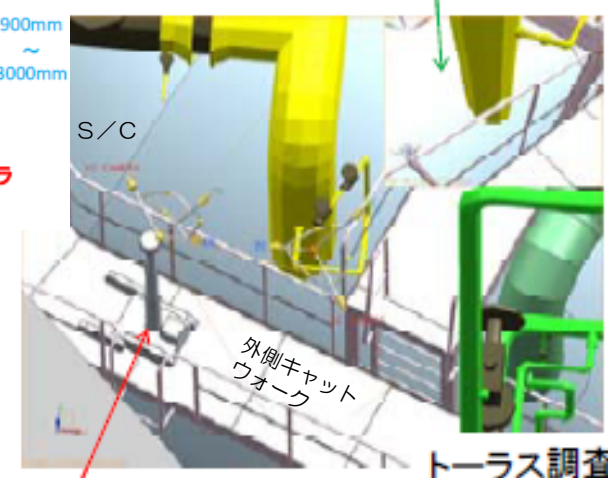
伸縮マスト

フリッパー

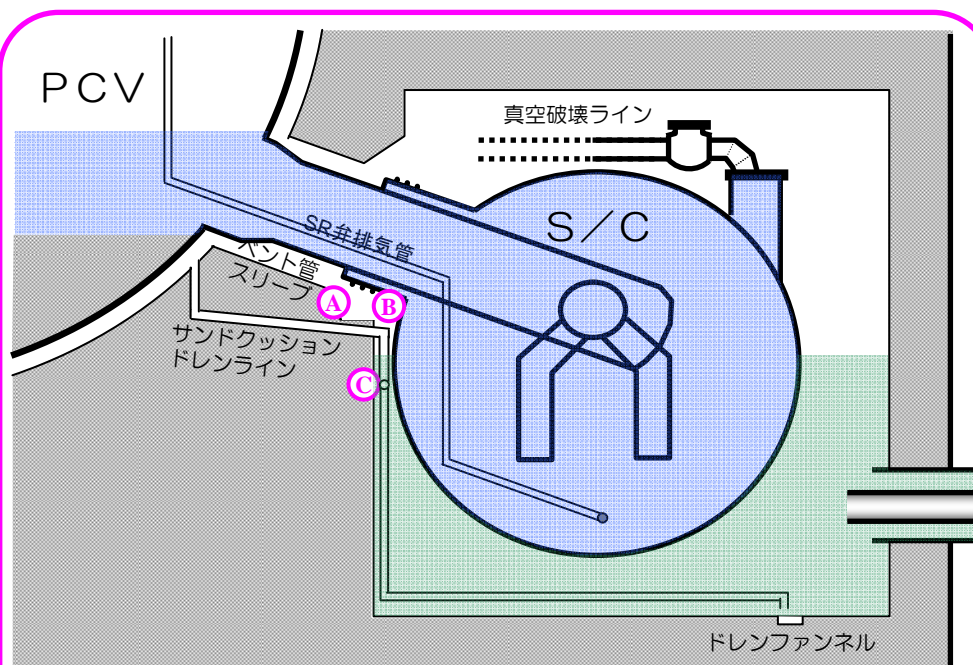
クローラ

900mm
約500mm
3000mm

撮影画像例



調査ロボット



<調査内容>

- ①…ベント管スリーブ端部からの流水の有無
- ②…ベント管やS/C気中部からの流水の有無
- ③…サンドクッションドレン管の状態の確認

<③ サンドクッションドレン管の状態の確認>

燃料デブリのPCVシェルアタックによるPCVからの漏えいを確認するためには、サンドクッションドレン管内の流水の有無も確認する必要がある

1号機については、サンドクッションドレン管がドレンファンネルまで配管（一部塩ビ管）でつながっていることから、その状況を確認し、状況に応じて以下の通り対応する

<ケース1>

サンドクッションドレン管が気中で破損している場合は今回の調査にて流水の有無が確認できる可能性有り

流水を確認した場合は、PCVからの漏えいの可能性があることから、国P Jにて開発中のベント管接合部調査ロボットによるベント管接合部調査を行う
(14ページと同様)

<ケース2>

サンドクッションドレン管が健全である場合もしくは水中で破損している場合は、サンドクッションドレン管内の流水の有無を確認するために必要な調査装置の開発を進める(国P J)

<参考> 滞留水水位について(東京電力(株))

