

1号機 PCV内部調査（後半）について

2023年3月7日

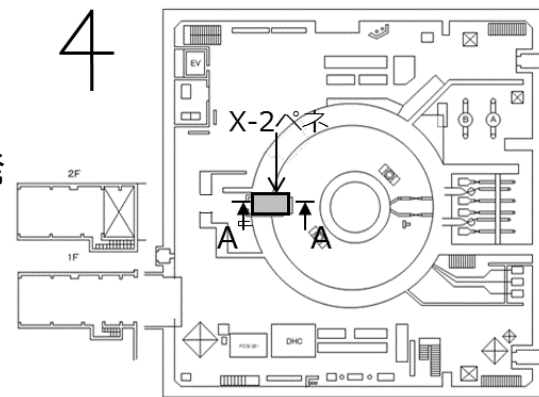
IRID **TEPCO**

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

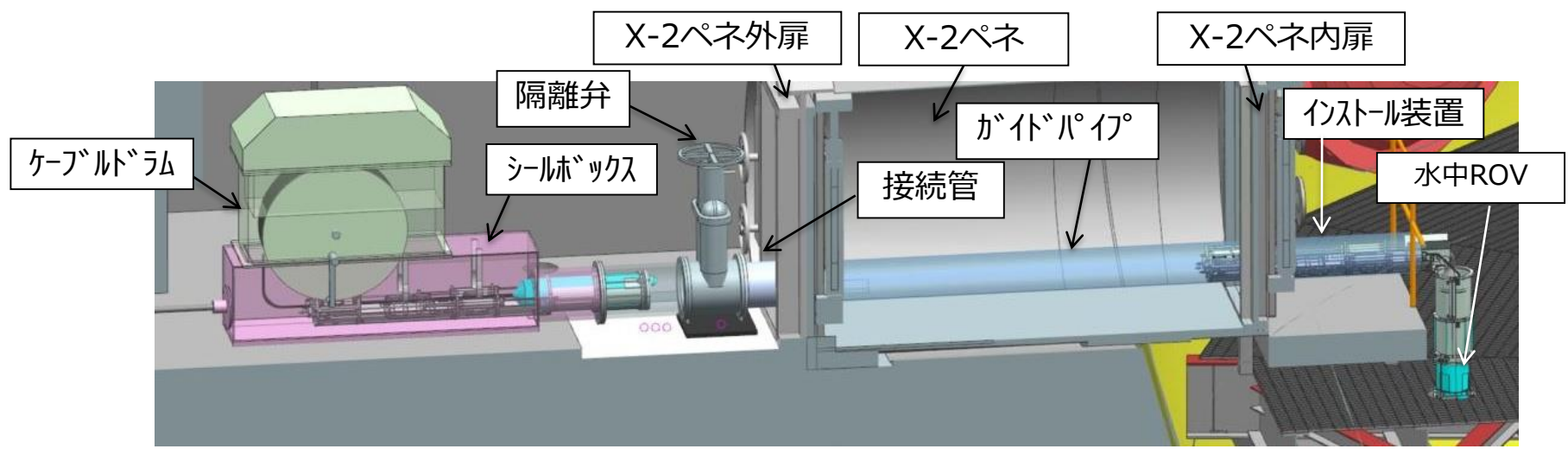
1. 1号機PCV内部調査の概要

- 1号機原子炉格納容器（以下、PCV）内部調査は、X-2ペネトレーション（以下、X-2ペネ）から実施する計画
- PCV内部調査に用いる調査装置（以下、水中ROV）はPCV内の水中を遊泳する際の事前対策用と調査用の全6種類の装置を開発
- 水中ROV調査ステップ

前半調査 (調査済)	① ROV-A	事前対策となるガイドリング取付
	② ROV-A2	ペDESTAL外の詳細目視
	③ ROV-C	堆積物厚さ測定
後半調査	④ ROV-D	堆積物デブリ検知・評価
	⑤ ROV-E	堆積物サンプリング
	⑥ ROV-B	堆積物3Dマッピング
	⑦ ROV-A2	ペDESTAL内部、壁部の詳細目視



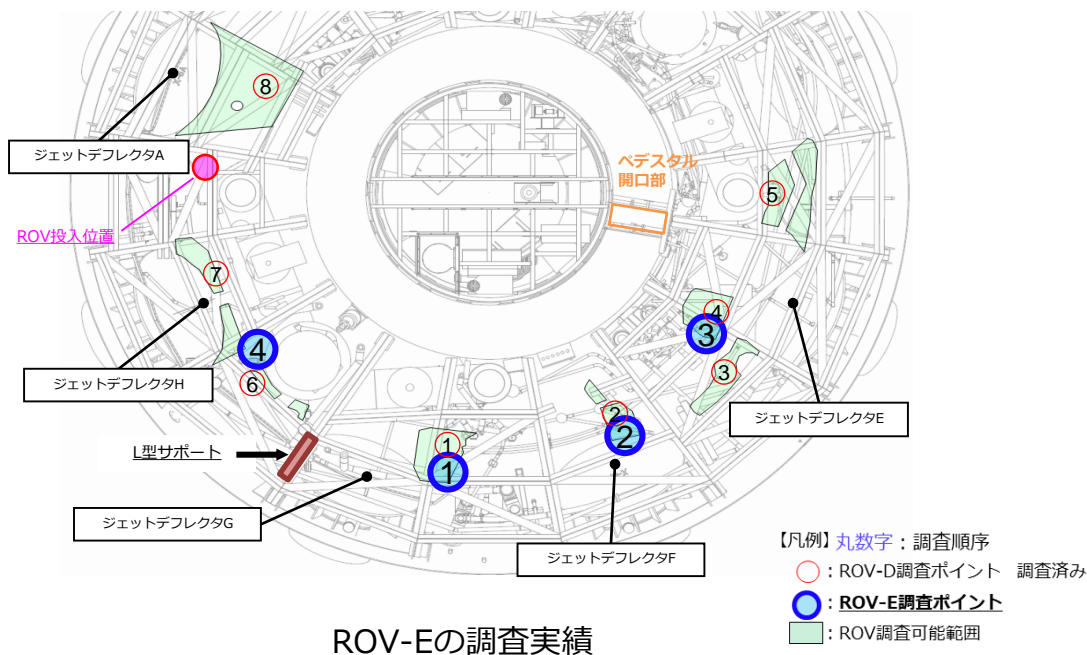
1号機原子炉建屋1階におけるX-2ペネの位置



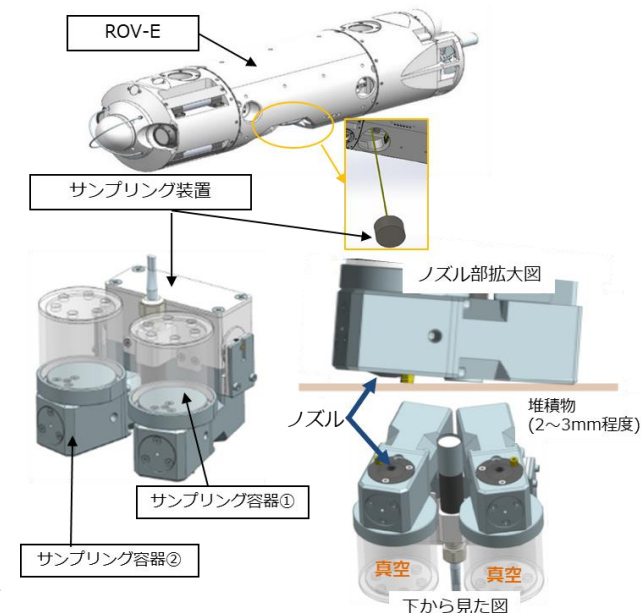
内部調査時のイメージ図 (A-A矢視)

2. PCV内部調査の状況

- ROV-Eによる堆積物サンプリングについては、1月12日に発生した調査中断事象の対策として、1月31日に再現性確認を実施。事象の再現がないことから、原因は異物の噛み込みによる一過性のものと判断
- その後調査を再開し、2月1日にかけて計画した1回目の調査を完了したことから、同日にROV-Eのアンインストールを実施
- 続く2回目の調査については、2月10日、11日にかけて計画した箇所調査を完了したことから、11日にROV-Eのアンインストールを実施
- 計画通り4箇所からの堆積物サンプルを取得。取得したサンプルは構外分析機関への輸送を計画しており、PCV内部調査後にグローブボックスでの分取作業を予定
- 現在はROV-Bによる堆積物3Dマッピングに向けた装置の搬入・動作確認などを実施中



ROV-Eの調査実績



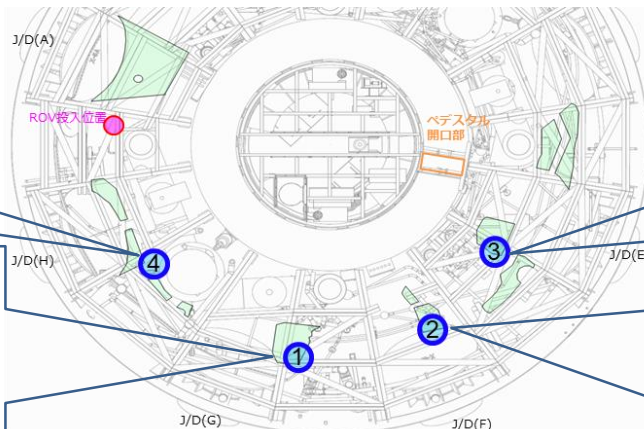
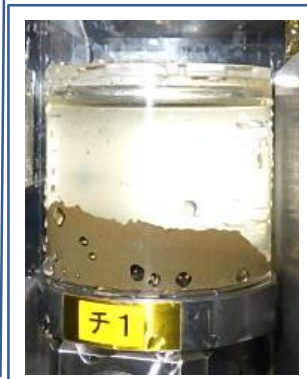
ROV-Eの装置構成

3. ROV-Eサンプリング容器線量測定実績

- ROV-E調査で取得した堆積物のサンプリング容器表面の線量測定を実施
- γ 線線量率については、今後のグローブボックスによる分取作業に影響を及ぼす値ではなかった
※グローブボックスでの分取作業における最大表面線量：150mSv/h未満
- 堆積物の外観は、2017年に取得した堆積物のサンプルと類似していた
- 堆積物の量については必要な量を取得できたと考えており、構外での詳細分析は可能と判断
- サンプルはグローブボックスでの分取作業後、構外分析機関への輸送を計画しており、調査結果の評価には1年程度を計画

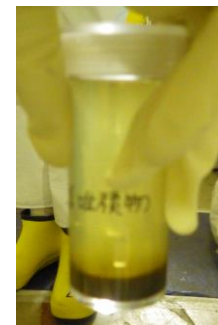


・調査ポイント④については、サンプリング量調整のため容器の体積を減らしており、金属部材で隠れていますが、取得できたことは確認しております。



●：調査ポイント

ROV-Eの調査ポイントと調査順序



2017年4月6日
サンプリング結果
(上澄み液除去前)
【表面線量】
 γ 線：9mSv/h

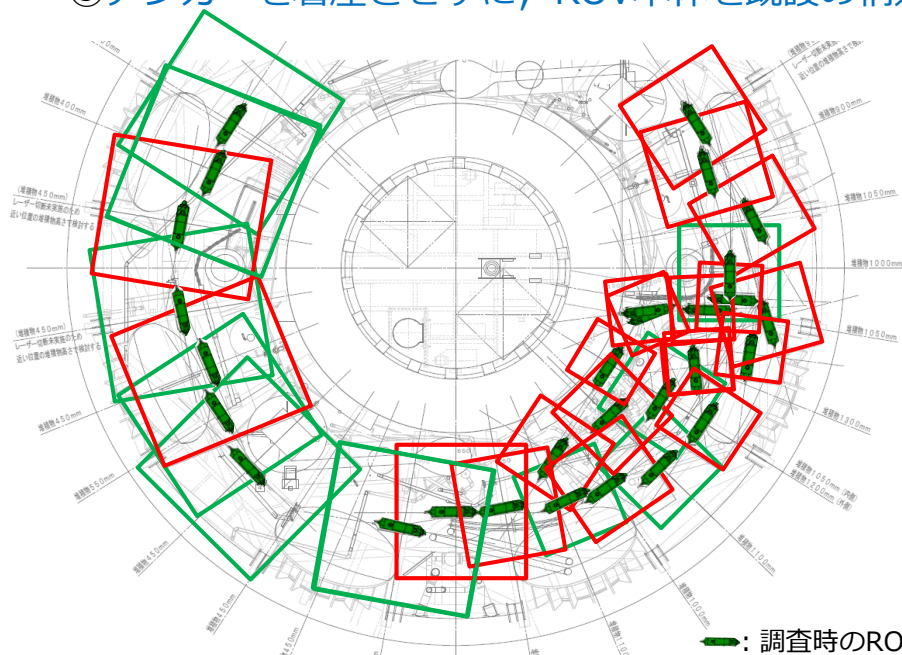
ポイント 測定項目	調査ポイント1 【測定日：2月3日】	調査ポイント2 【測定日：2月3日】	調査ポイント3 【測定日：2月14日】	調査ポイント4 【測定日：2月14日】
γ 線評価値 [mSv/h]	30.82	7.5	11.19	6.43

4. ROV-B (堆積物 3Dマッピング) 調査計画

- ROV-Bによる堆積物3Dマッピングについては、ペDESTアル外周の広い範囲を対象とし、点群データを取得することで、堆積物の高さ分布を確認することを計画
- トレーニング期間において、調査可能な条件の追加について検証し、調査範囲の拡大について見通しを得ている
- ただし、現地の状況（ケーブルの撚りや水流の影響）により、調査範囲が制限される可能性は残るが、可能な限り広範囲を調査する

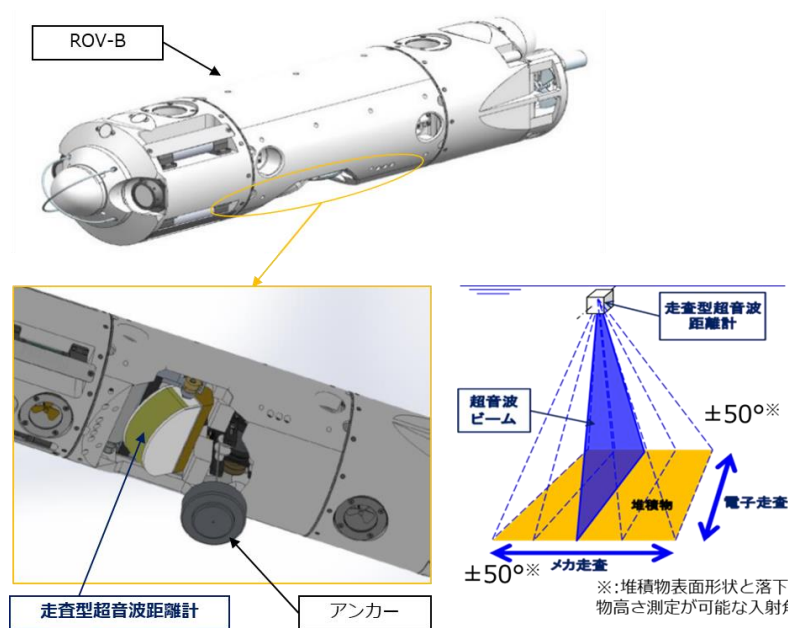
【ROV-Bで調査可能な条件】

- ①ROVがPCV水面に浮上可能であること
- ②ROVに搭載されるアンカーの吊り降ろしが可能であること
- ③アンカーを着座させずに、ROV本体を既設の構造物に固定できること（検証により追加）



ROV-B調査範囲

- : 調査時のROV位置
- : 調査可能範囲
- : 拡大した調査可能範囲



ROV-Bの装置構成

※: 堆積物表面形状と落下物高さ測定が可能な入射角

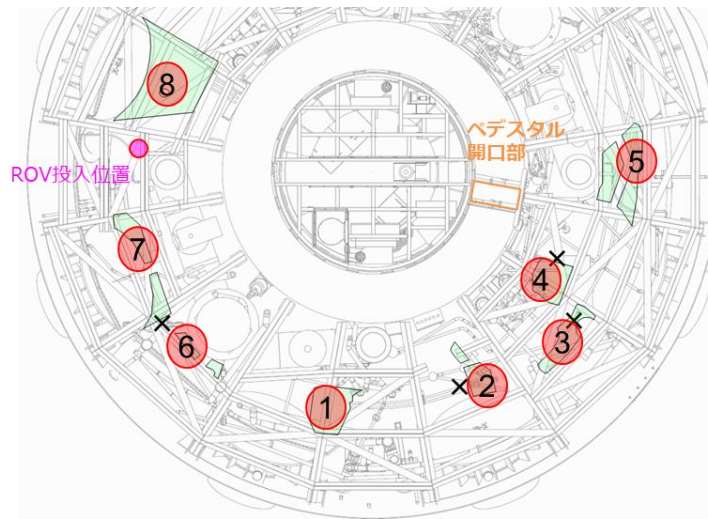
5. ROV-D (堆積物デブリ検知) 評価結果

- ROV-D (堆積物デブリ検知) は12月6日から12月10日にかけて実施し、調査ポイント全てにおいて、熱中性子束及びEu-154を検出 ※2ポイント(④,⑦)の評価速報及び、全8ポイント(①~⑧)のスペクトルについては、「2022年12月22日_廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議」にてお知らせ済み
- 熱中性子束及びγ線核種分析の数値については、ペDESTAL開口部からの距離と堆積物の高さとの相関は確認されなかった
- このROV-Dの調査結果から、燃料デブリ由来の物質が調査範囲に広く存在していると推定
また、堆積物の高さの影響がないことから、燃料デブリ由来の物質は堆積物の表面付近に存在する可能性が高い

燃料デブリは燃料や炉内構造物が溶融し冷えて固まったものであるが、燃料デブリから遊離した微小粒子が存在することも知られており、これらを合わせて燃料デブリ由来の物質と呼んでいる

- 熱中性子束の測定値が1箇所だけ小さかった調査ポイント⑥では、Eu-154の測定値も小さかった
- 2017年のサンプル分析結果から、ウランを含有する微小粒子が堆積物表面に存在していることが分かっている。この微小粒子には、中性子源となり得るCm244*とEu-154が含まれていたことから、今回測定された中性子線・Eu-154γ線のうち、どの程度がこの微小粒子から発生したものか評価することが必要

➡ ROV-Eによる堆積物サンプリングにおける詳細分析の結果も踏まえて、今後更なる評価を行う



ROV-Dの調査ポイントと調査順序

【凡例】 丸数字：調査順序

●：ROV-D調査ポイント

■：ROV調査可能範囲

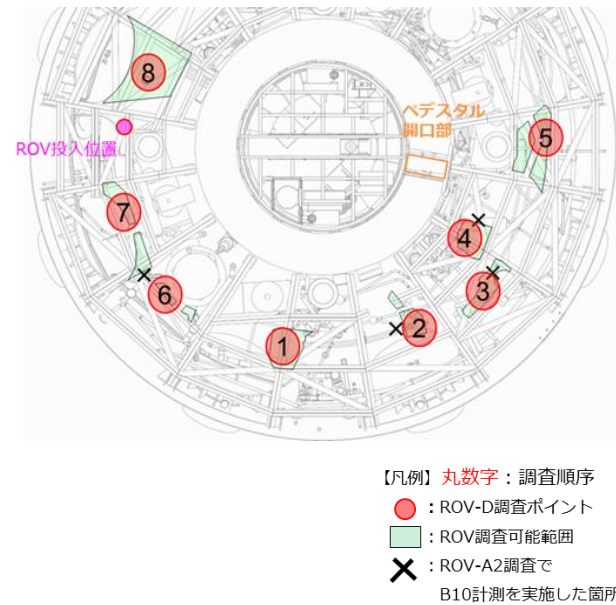
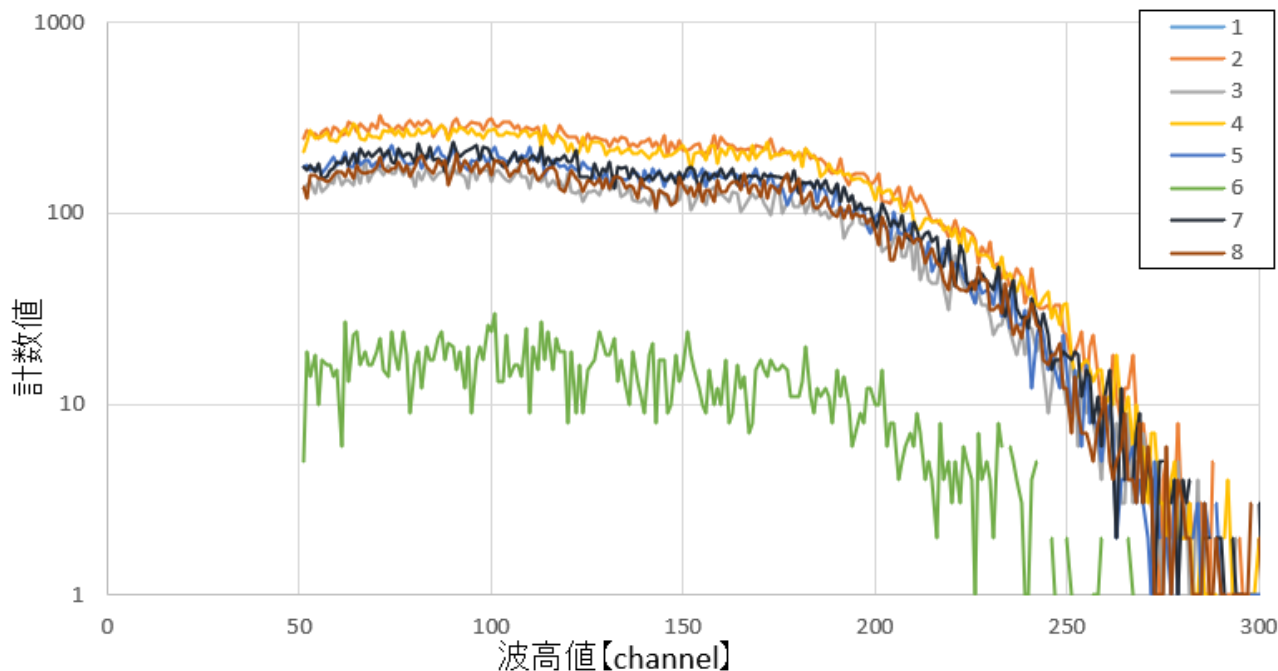
✕：ROV-A2調査で

B10計測を実施した箇所

*:Cm244はα崩壊と自発核分裂の二つの崩壊モードがあることが知られている。全崩壊のうち、100万分の1.35の確率で自発核分裂（中性子2.7個放出）する。2017年のサンプル分析で、α崩壊核種として約2000Bq（10mg中）が確認されているため、約0.007個/sの中性子源と評価される。

6. ROV-D (堆積物デブリ検知) 熱中性子束測定結果

- 全ての調査ポイントにおいて、中性子の波高値領域である50~300[channel]内にカウントが確認されたこと、250~300[channel]にかけて収束することから、熱中性子束を検出したものと評価
- 測定結果から、ペDESTAL開口部からの距離と堆積物の高さとの相関は確認されなかった
- 調査ポイント⑥の熱中性子束は、他の調査ポイントより一桁小さい値を検出



ROV-Dの調査ポイントと調査順序

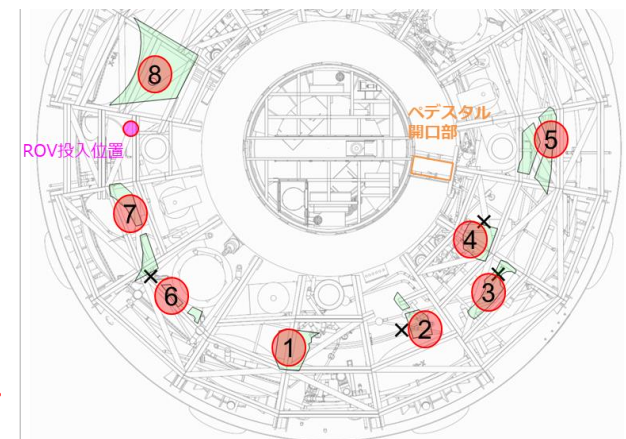
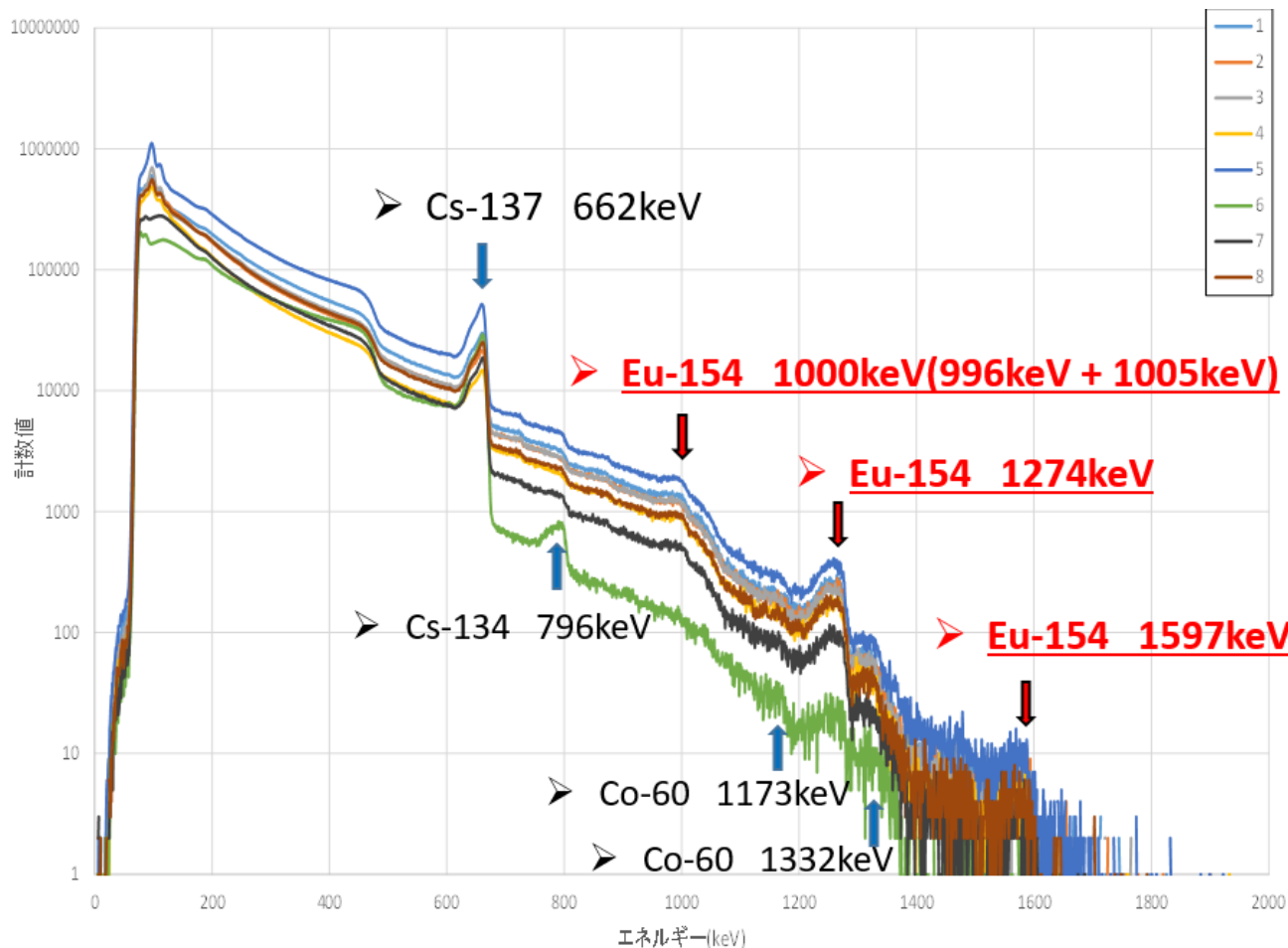
測定位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
合計カウント数※	15,169	27,047	14,653	25,224	18,096	1,697	18,997	16,218
熱中性子束 (nv)	35.4	63.1	34.2	58.9	42.2	4.0	44.3	37.9

計測器：B10検出器

※波高値100ch以上の合計カウント数

7. ROV-D (堆積物デブリ検知) γ 線核種分析結果(1/2)

- 全ての調査ポイントにおいて、Eu-154放出 γ 線であるエネルギーに対応するピークカウントが得られたことから、Eu-154を検出したものと評価
- 測定結果から、ペDESTAL開口部からの距離と堆積物の高さとの相関は確認されなかった
- 調査ポイント⑥については、1000keV(996keV + 1005keV)及び1597keVのピークカウントは小さく評価できないが、1274keVでピークカウントが得られており、Eu-154を検出したものと評価



- 【凡例】 丸数字：調査順序
- : ROV-D調査ポイント
 - : ROV調査可能範囲
 - ✕ : ROV-A2調査でB10計測を実施した箇所

ROV-Dの調査ポイントと調査順序

8. ROV-D評価結果に対する考察

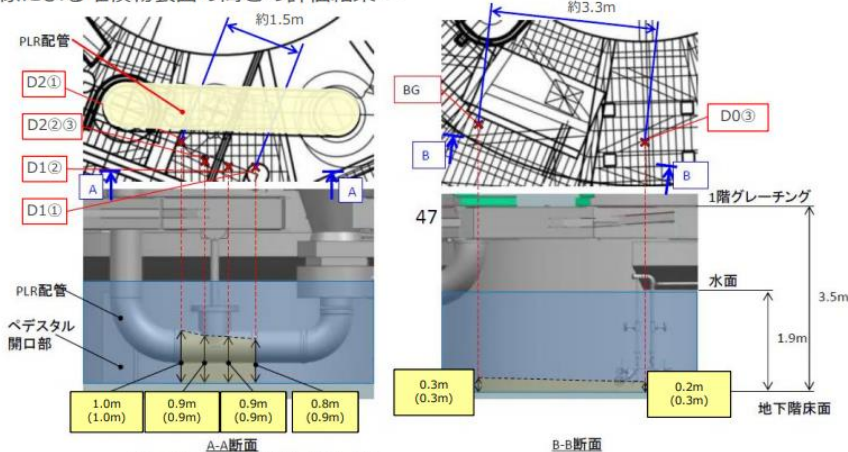
(1)2017年3月時のペDESTAL外調査（堆積物高さ・放射線量）

- ペDESTAL開口部付近に堆積物が存在することを確認
- ペDESTAL開口部付近に存在する堆積物の高さが1m程度であること、開口部から離れた場所では0.2~0.3m程度と低いことを確認
- 水面からの距離と線量率の関係を調査した結果、燃料デブリは堆積物の下にあり、その条件でデブリを検知するためには中性子検出とγスペクトル分析(Eu-154の確認)が有効と判断

(出展：2017年7月27日_廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議「1号機原子炉格納容器内部調査について~映像データ及び線量データの分析結果~」)

参考. 映像データの分析 堆積物表面高さの評価

- 映像による堆積物表面の高さの評価結果※1



※センサの接近により計測した高さ

※1: SFM(Structure from Motion)により、センサと堆積物表面間の距離を算出し、センサ降下量を合わせて堆積物表面の高さを評価。

- ・ 黄色枠内の数値は画像解析により算出した堆積物表面の推定高さ
- ・ ()内の数値はセンサの吊下げ最下点高さ
- ・ なお、堆積物表面より下の堆積物厚さについては確認できていない

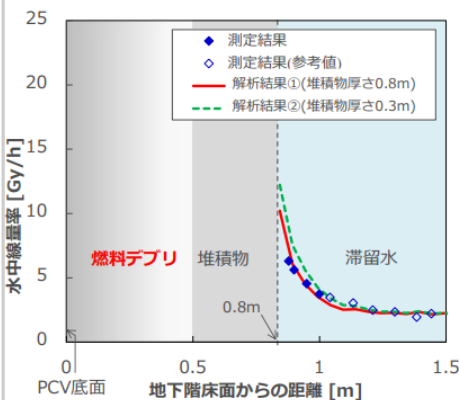
参考. 線量データの分析 線量率分布解析-堆積物中の燃料デブリの有無判断

- 燃料デブリ厚さと堆積物厚さを変えて線量率の分布について解析を実施。

■ D1①ポイント

解析条件 (堆積物表面高さ0.8m)

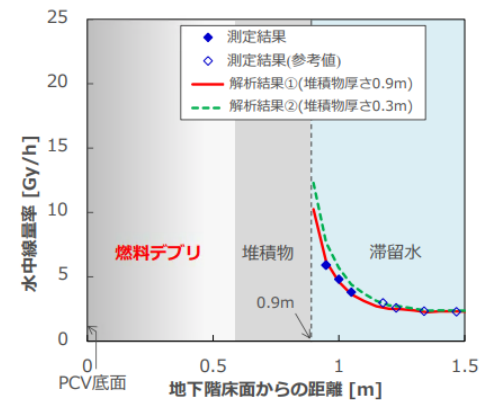
- ① 堆積物厚さ: 0.8m
- ② 堆積物厚さ: 0.3m



■ D1②ポイント

解析条件 (堆積物表面高さ0.9m)

- ① 堆積物厚さ: 0.9m
- ② 堆積物厚さ: 0.3m



注)

- ◆ 測定結果: センサを止めて測定した値
- ◇ 測定結果(参考値): センサ吊下げ動作中の線量率の平均値

8. ROV-D評価結果に対する考察

(2)2017年3月時の堆積物サンプリング及び分析結果

- 常設監視計器が設置されているX-100Bペネから装置を投入し、PCV底部の堆積物を採取
 - 固化した砂状の堆積物の表層に浮遊性堆積物が存在することを確認
- 浮遊性堆積物内にはウラン含有粒子（Eu-154及び中性子源であるCm244を含む）が存在することを確認

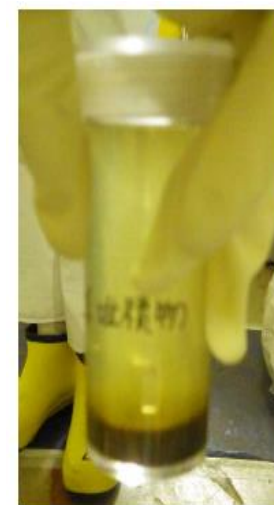
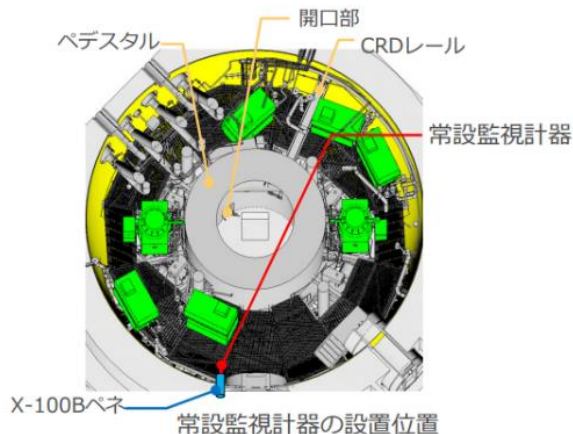
(出展：2017年5月25日_廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議「1号機原子炉格納容器内部調査について～堆積物の分析結果～」)



吸水ホース
先端ノズル

吸水ホース
先端に取り
付けた錘

堆積物サンプリングの状況



4/6サンプリング結果
(上澄み液除去前)
表面線量…γ : 9mSv/h
β+γ : 18mSv/h

試料名	放射能濃度 [Bq/試料]			
	²⁴² Pu (約3.7 × 10 ⁵ 年)	²⁴¹ Am (約4.3 × 10 ² 年)	²⁴² Cm (約163日)	²⁴⁴ Cm (約18年)
1号機格納容器 堆積物	(2.0 ± 0.1) × 10 ⁰	(1.4 ± 0.1) × 10 ³	(1.0 ± 0.1) × 10 ¹	(1.8 ± 0.1) × 10 ³

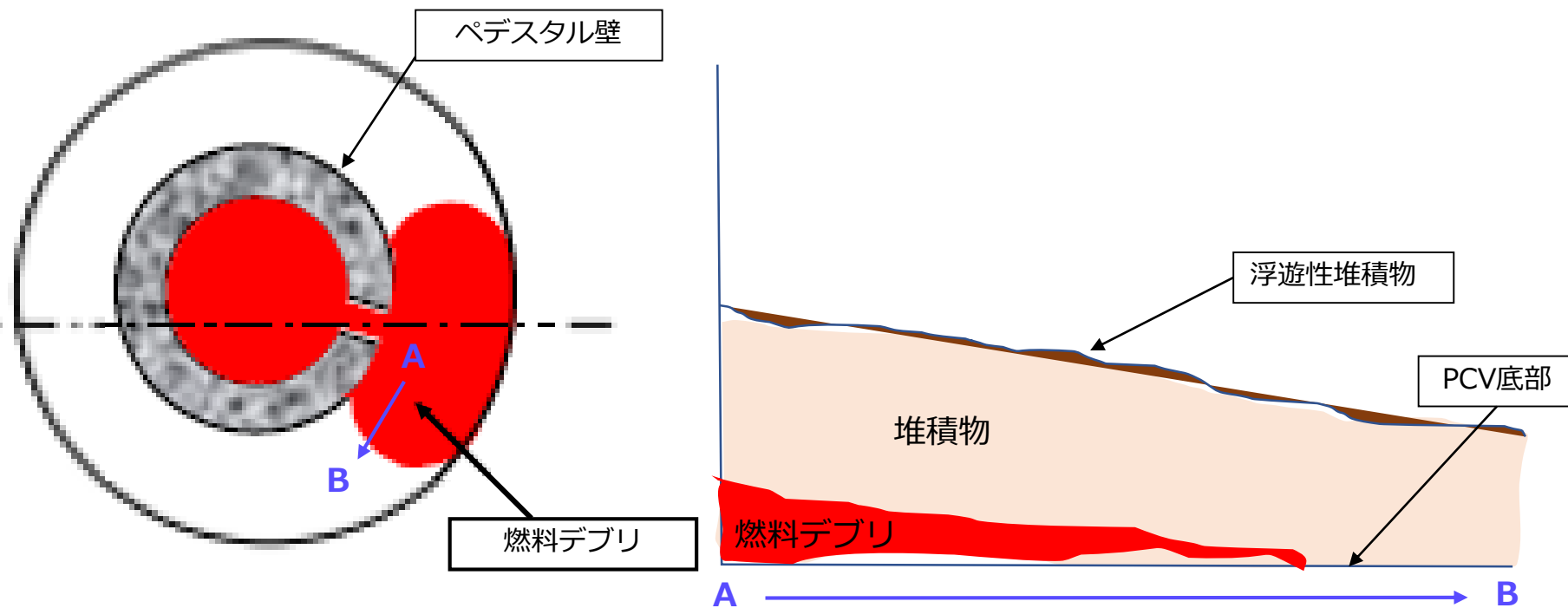
試料名	放射能濃度 [Bq/試料]					
	¹⁵² Eu (約14年)	¹⁵⁴ Eu (約8.6年)	¹⁵⁵ Eu (約4.8年)	²³⁴ U (約2.5 × 10 ⁵ 年)	²³⁵ U (約7.0 × 10 ⁸ 年)	²³⁶ U (約2.3 × 10 ⁷ 年)
1号機格納容器 堆積物	<5 × 10 ¹	(3.8 ± 0.1) × 10 ³	(1.7 ± 0.1) × 10 ³	(1.6 ± 0.2) × 10 ⁰	(3.2 ± 0.1) × 10 ⁻²	(2.5 ± 0.1) × 10 ⁻¹

(出展：技術研究組合国際廃炉研究開発機構/日本原子力研究開発機構_平成31年4月25日「廃棄物試料の分析結果 (1~3号機原子炉建屋内瓦礫)」)

8. ROV-D評価結果に対する考察

(3)中性子測定, γ線スペクトル測定を実施する場合の想定条件

- シビアアクシデントに関する過去の知見から、燃料デブリはペDESTAL開口部前面周辺の限定された領域にのみ存在すると想定
(出展：技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）平成29年度成果報告」)
- 2017年に実施したB2調査結果等をふまえ、燃料デブリは堆積物の下に比較的薄く広がっていると想定し、測定点直下における燃料デブリの有無を判断することを目的とした



燃料デブリと堆積物のイメージ

8. ROV-D評価結果に対する考察

(4)ROV-A2による中性子束測定結果

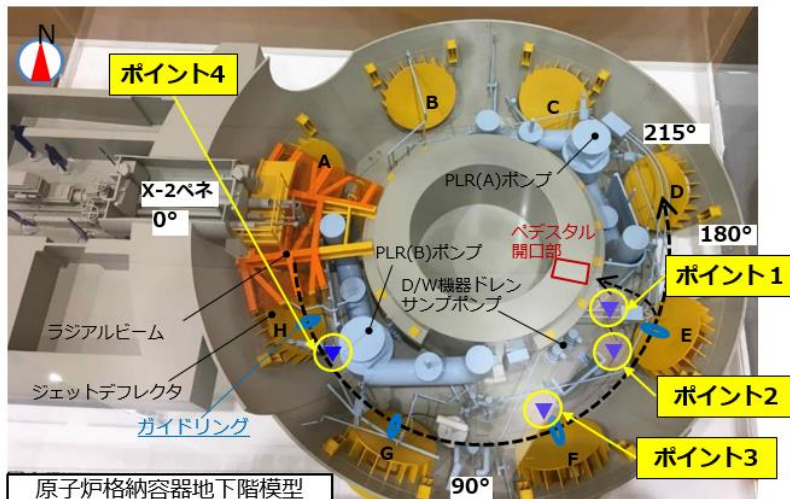
- ペDESTAL開口部からの距離・堆積物厚さと中性子測定値に相関があることを示唆
- 「燃料デブリはペDESTAL開口部前面周辺の限定された領域にのみ存在する」との当初想定と異なり、堆積物全体が燃料デブリである可能性が浮上→ROV-D調査で修正

(出展：2022年5月26日_廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議「1号機 PCV内部調査の状況について」)

4. 調査実績

中性子束測定結果 (5月20日,21日調査分)

- 今回測定したポイント全てにおいて熱中性子束を確認
- ペDESTAL開口部付近で熱中性子束が多く確認されていることから、燃料デブリ由来と推定
- 引き続き、後続号機であるROV-C (堆積物厚さ測定) において堆積物の高さと同さを確認した上で、ROV-D (燃料デブリ検知) において、堆積物への燃料デブリ含有状況を調査する予定



原子炉格納容器地下階模型

測定位置	ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
熱中性子束 [cm^2/s]	48.0	29.1	50.2	5.8

- 熱中性子束は単位時間に単位体積内を熱中性子が走行する距離の総和
- 測定は1箇所あたり60分間
- 測定結果は60分間のカウント数から評価した熱中性子束にて示す

<参考> ROV-A2に搭載のB10検出器による燃料集合体測定結果@NFD

■測定方法

- 燃料軸方向の中心部に設置
- 燃料最寄位置を含め3つの位置で測定
(線量率: 14.4, 6.5, 1.5 Gy/h)
- 測定時間: 3分

	線量率	検出器-検出器距離	熱中性子束評価値*
燃料集合体	14.4 Gy/h	約16 cm	8.8×10^1 / cm^2/s
燃料検査プール	6.5 Gy/h	約33 cm	1.1×10^1 / cm^2/s
収納容器	1.5 Gy/h	約78 cm	0 / cm^2/s

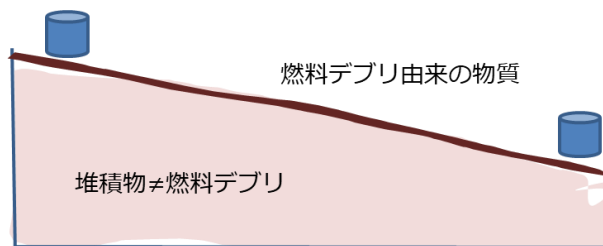


8. ROV-D評価結果に対する考察

(5)ROV-Dの調査結果


- 測定点を8点まで増やしたROV-Dの測定結果により、測定点数の少なかったROV-A2による測定結果を用いた燃料デブリ分布の想定を修正
 - 調査ポイント7点において、同程度の熱中性子束及びEu-154を検出
 - 熱中性子束及びγ線核種分析の数値は、ペDESTAL開口部からの距離と堆積物の厚さとの相関は確認されなかった
- 燃料デブリ由来の物質が調査範囲に広く存在しているとの推定は変更なし
- 測定値が同程度であったことを踏まえると、燃料デブリ由来の物質は堆積物の表面付近に存在し、例えば、以下の2ケースの様な様相となっている可能性が考えられるが、現段階では、得られている知見は限定的であるため、様々な可能性について幅広く検討していく必要がある
- 燃料デブリの存在状況については、表層に存在し、過去のサンプル分析により存在が分かっているウラン含有粒子（Eu-154及び中性子源であるCm244）による測定値の寄与を評価することが必要

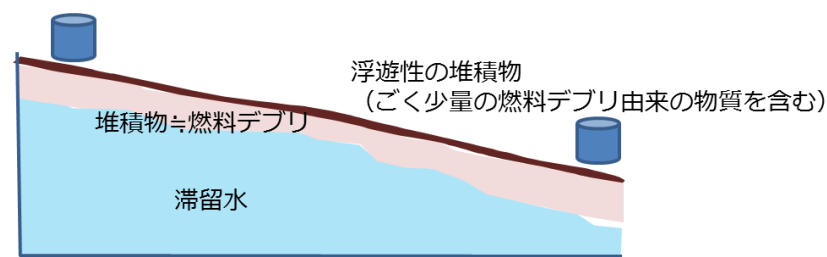
【ケース1】
堆積物の表面に薄く
燃料デブリ由来の物質がある場合



中性子計測機が堆積物の影響を受けな
いため、どこでも同程度の測定結果と
なる

【ケース2】
堆積物の下に滞留水がある場合

 : 中性子計測機

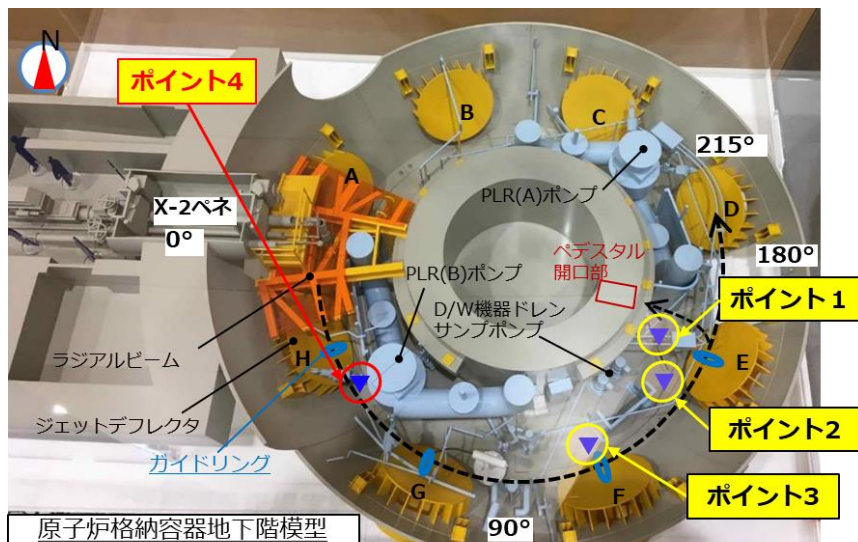


浮遊性の堆積物と堆積物の双方の影響を
受けることとなるが、どこでも同程度の
測定結果となる

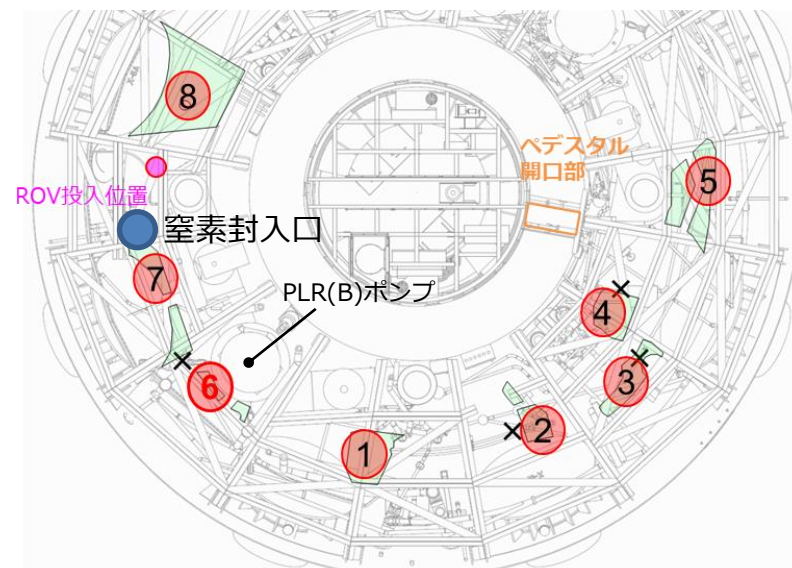
8. ROV-D評価結果に対する考察

(6)局所的に測定値が小さかった調査ポイントについて

- 測定値が小さかった調査ポイント⑥は、ROV-A2調査でのポイント④と同じ領域
- 以下に挙げる調査ポイント⑥周辺の特徴を踏まえて、今後も継続検討する。
 - 事故後の水素爆発防止のために使用された窒素封入口があり、その攪拌による影響
 - PCV内部調査前段作業であるアクセスルート構築作業時のAWJによる水流の影響
 - 他の調査ポイントと比較し、位置的にPCVシェル付近であることから、①PCVシェルを伝って上部から落下した物質による影響、②PCV外に近いことで、線源が相対的に小さくなることによる影響
 - ベント管からの気体流入による影響(ROV-A2調査時(2022年3月)にベント管Fにて気体流入を確認)
 - 主蒸気逃し安全弁 (SRV) 設定圧最小の排気管がベント管Gにあることの影響



ROV-A2の調査ポイント

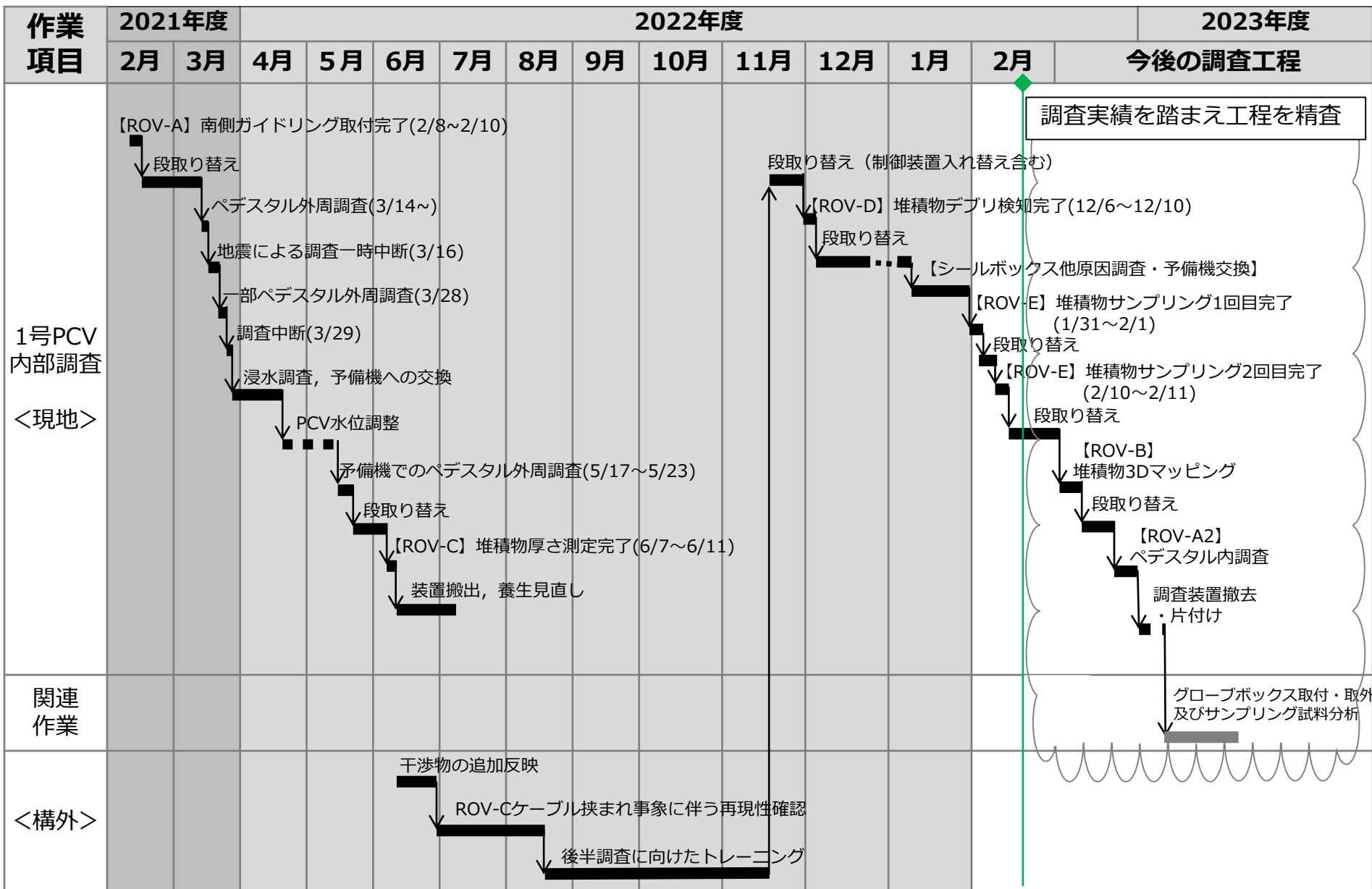


ROV-Dの調査ポイント

測定位置	ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
熱中性子束 [$\gamma/\text{cm}^2/\text{s}$]	48.0	29.1	50.2	5.8

測定位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
熱中性子束 (nv)	35.4	63.1	34.2	58.9	42.2	4.0	44.3	37.9

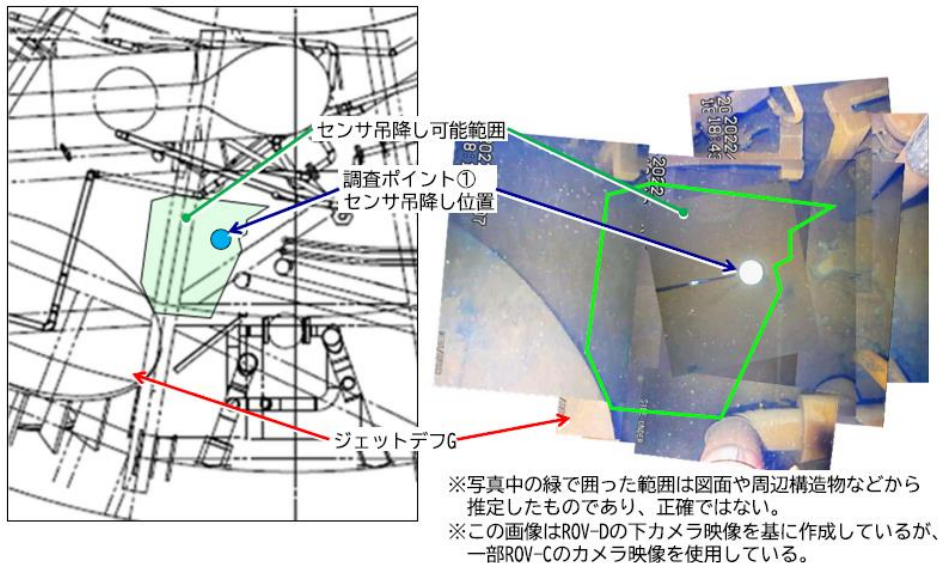
9. 1号機PCV内部調査全体工程



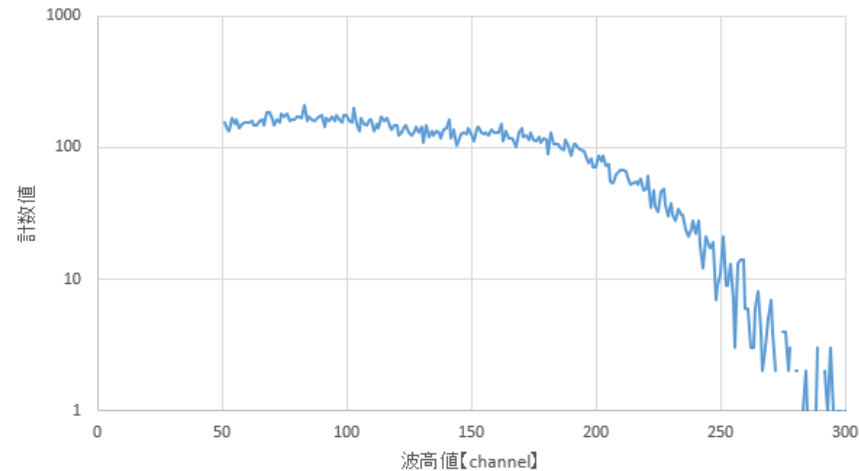
(注) 各作業の実施時期については計画であり、現場作業の進捗状況によって時期は変更の可能性あり。

(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント①

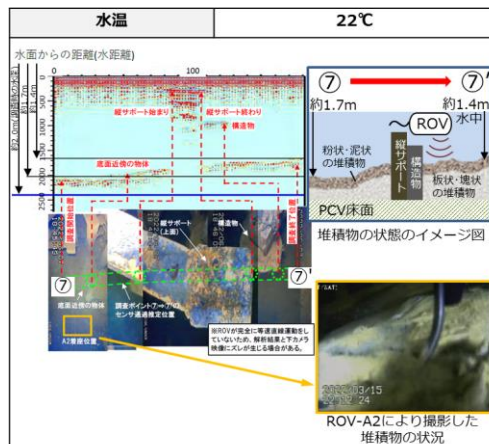
外観



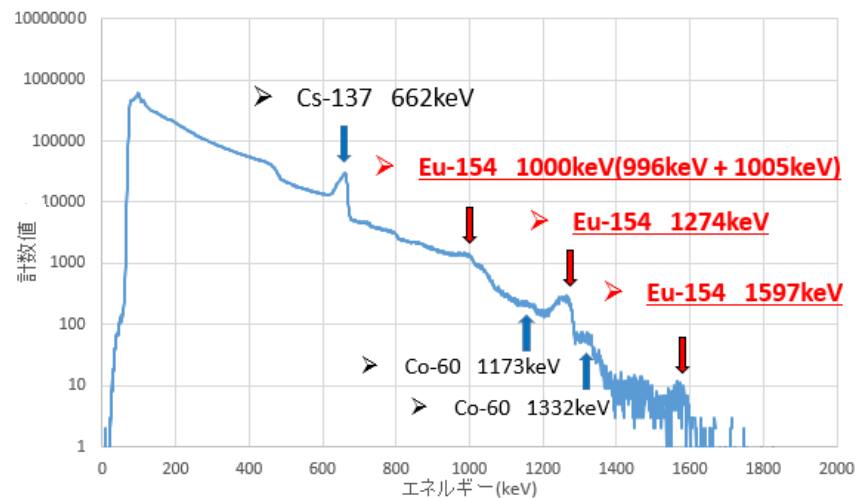
中性子波高値スペクトル



堆積物厚さ：約0.3~0.6m (ROV-C調査ポイント⑦-⑦'から参照)

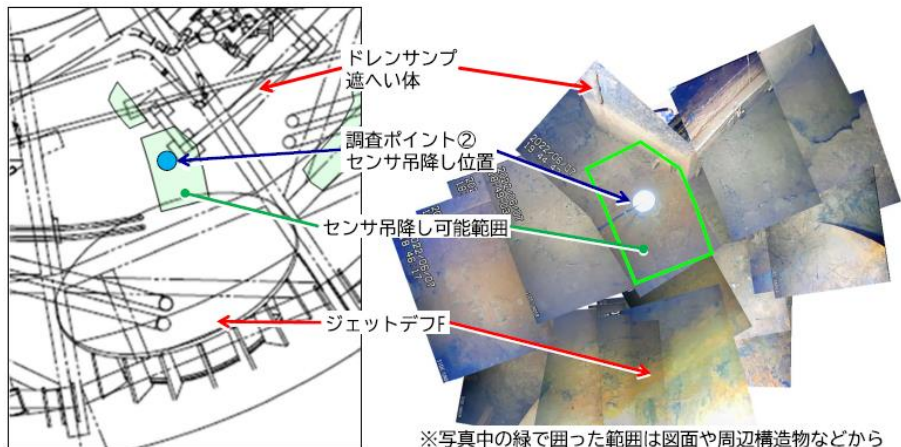


γ線エネルギースペクトル



(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント②

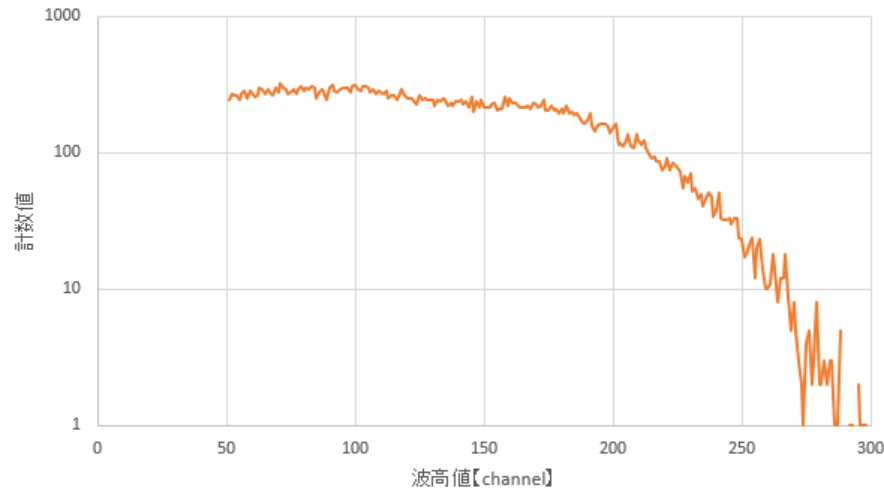
外観



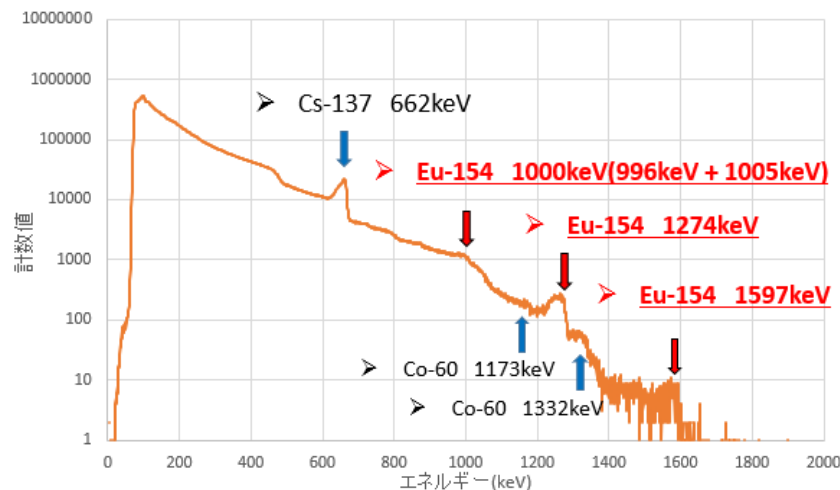
※写真中の緑で囲った範囲は図面や周辺構造物などから推定したものであり、正確ではない。
 ※この画像はROV-Dの下カメラ映像を基に作成しているが、一部ROV-Cのカメラ映像を使用している。

堆積物厚さ：約0.75~0.8m (ROV-C調査ポイント⑪-⑫から参照)

中性子波高値スペクトル



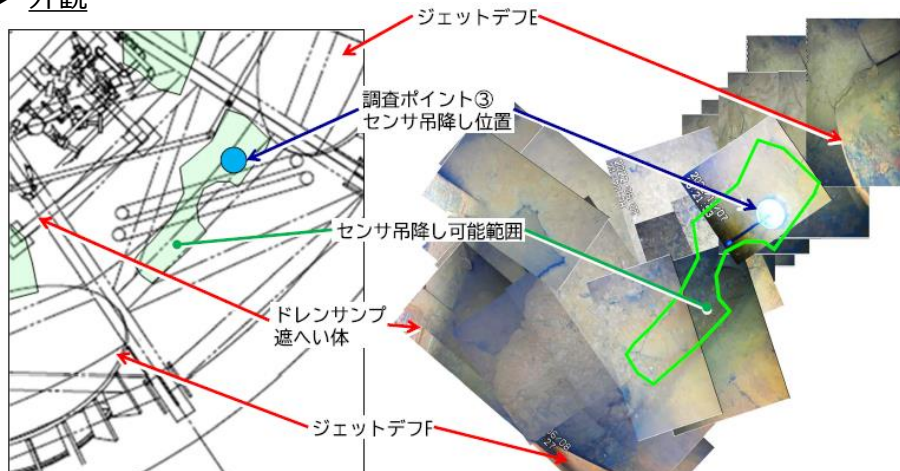
γ線エネルギースペクトル



調査ポイント名	⑪-⑫	水温	21℃
調査マップ		水面からの距離(水距離) 0 50 100 0 500 1000 1500 802.0m(調査開始位置) 2540.2000 1.500 1.000 0.500 調査終了位置	⑪ → ⑫ 約1.25m → 約1.2m 粉状・泥状の堆積物 板状・塊状の堆積物 PCV床面 堆積物の状態のイメージ図
ジェットデフレクタG			ROV-A2により撮影した堆積物の状況

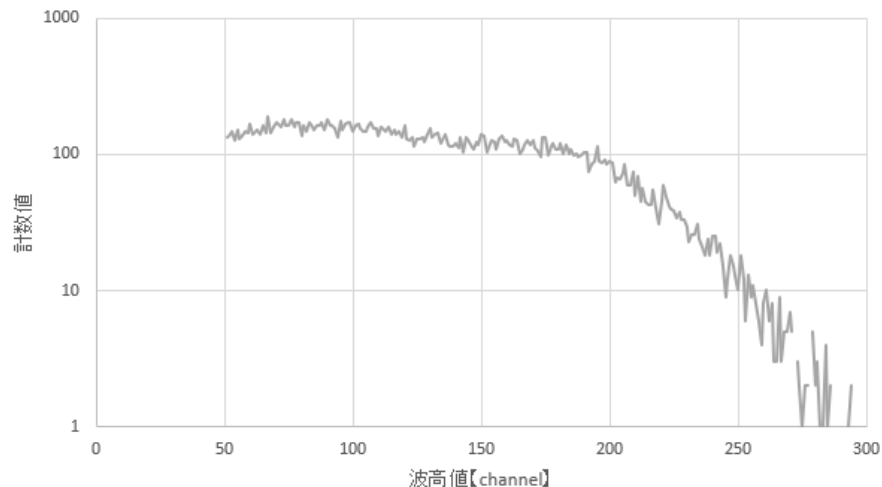
(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント③

外観



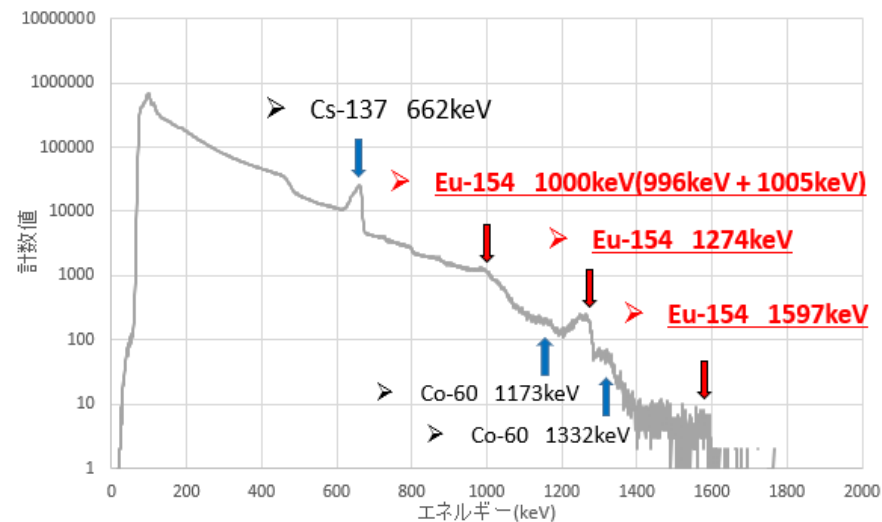
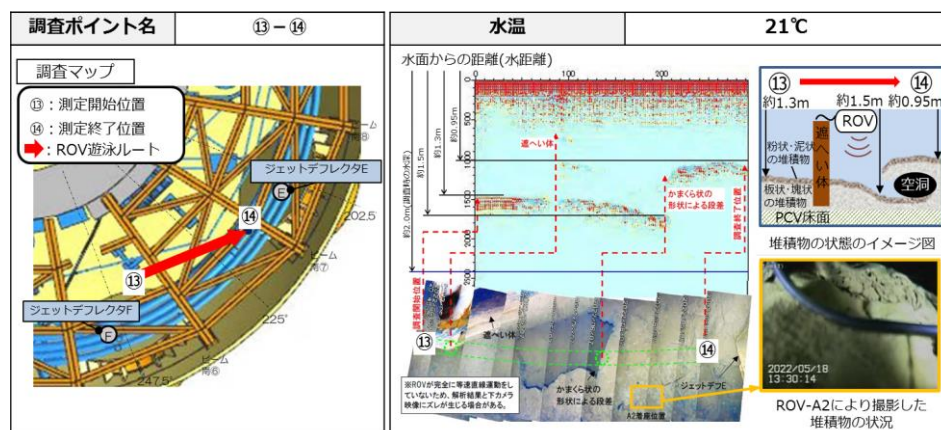
※写真中の緑で囲った範囲は図面や周辺構造物などから推定したものであり、正確ではない。
 ※この画像はROV-Dの下カメラ映像を基に作成しているが、一部ROV-Cのカメラ映像を使用している。

中性子波高値スペクトル



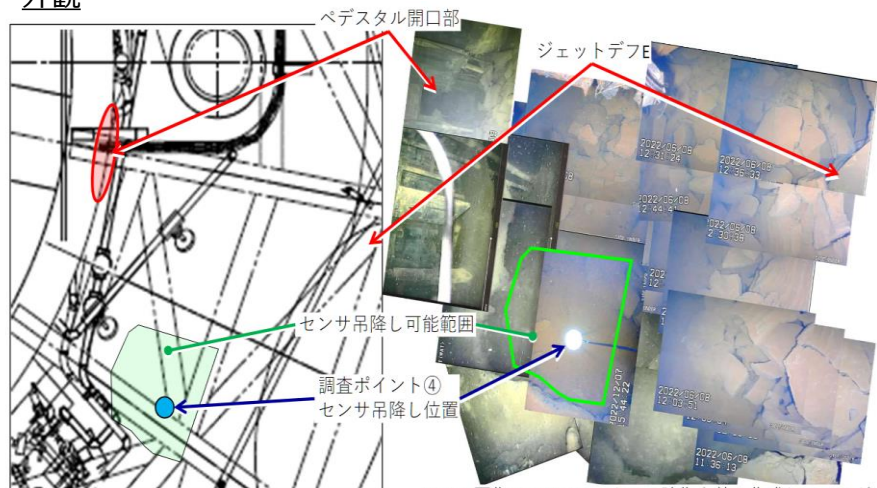
堆積物厚さ：約0.5~1.05m (ROV-C調査ポイント⑬-⑭から参照)

γ線エネルギースペクトル



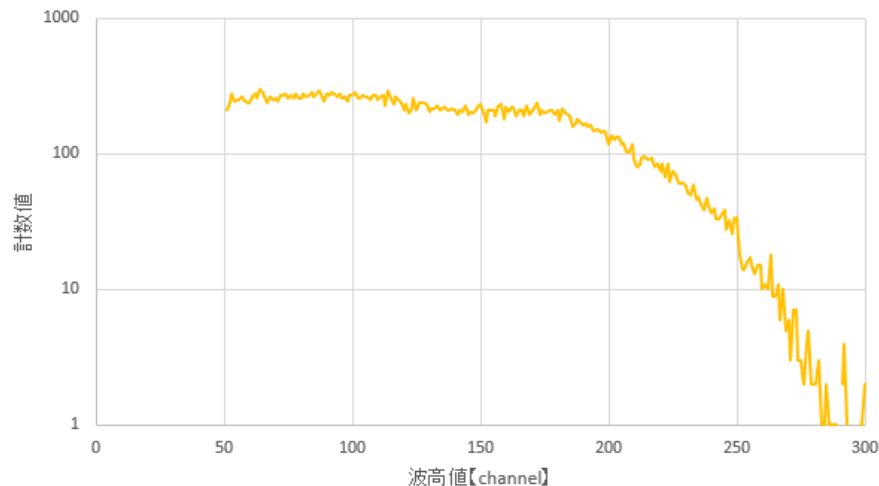
(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント④

外観



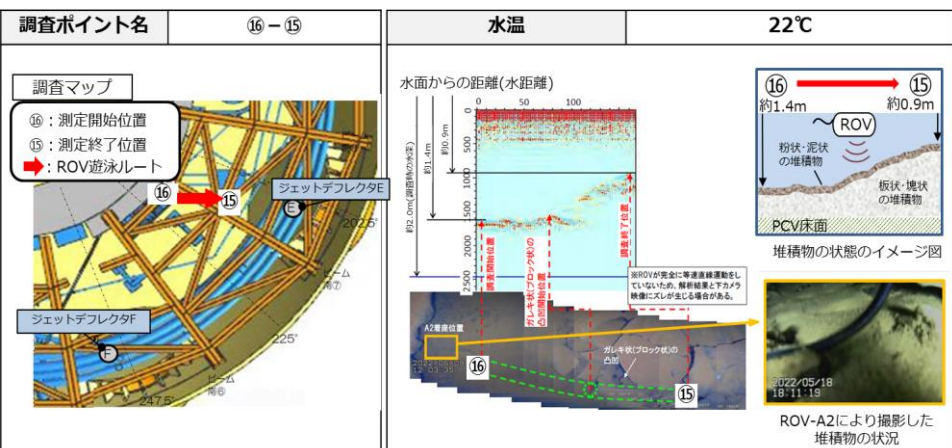
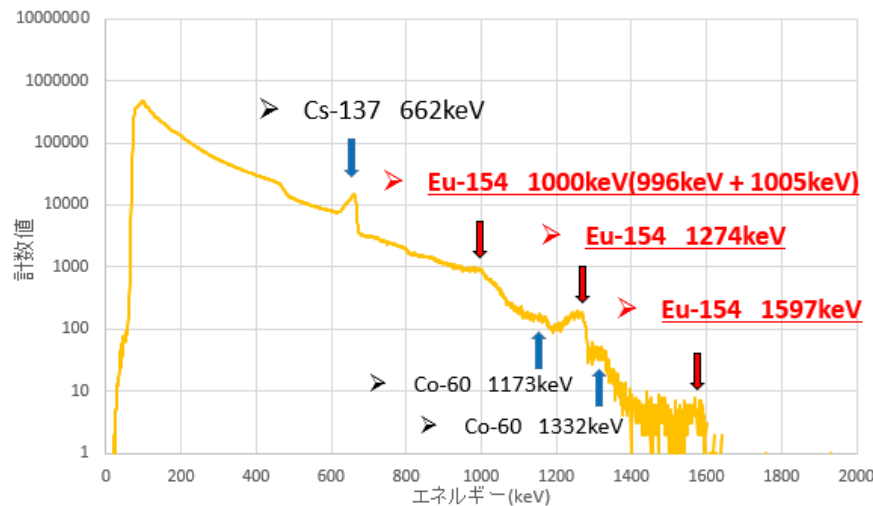
※この画像はROV-Dの下カメラ映像を基に作成しているが、一部ROV-A2、Cのカメラ映像を使用している。

中性子波高値スペクトル



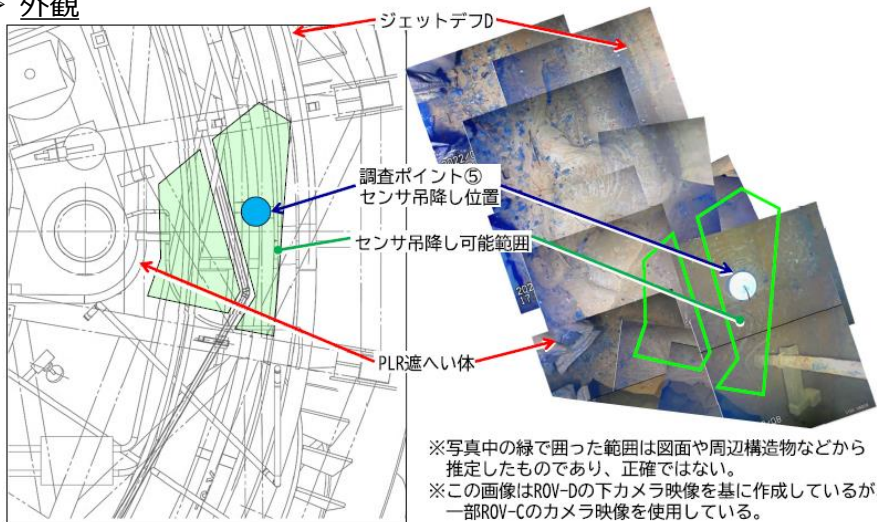
堆積物厚さ: 約0.6~1.1m (ROV-C調査ポイント⑩-⑪から参照)

γ線エネルギースペクトル

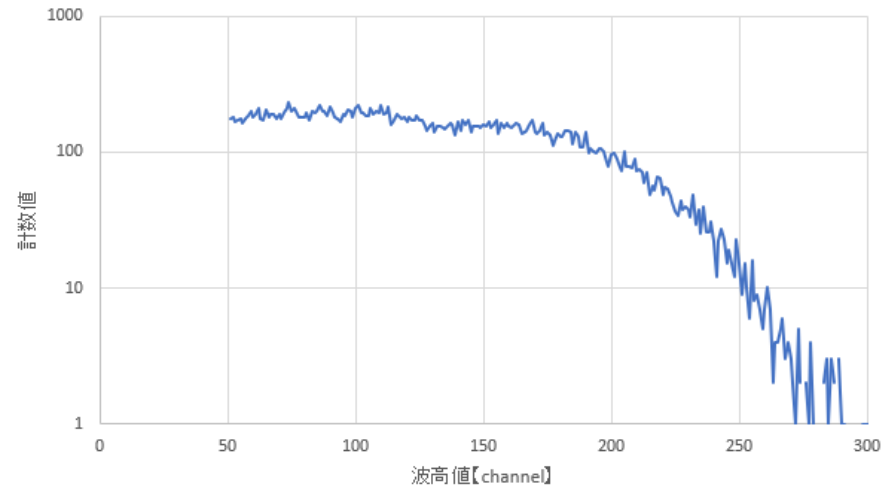


(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント⑤

外観

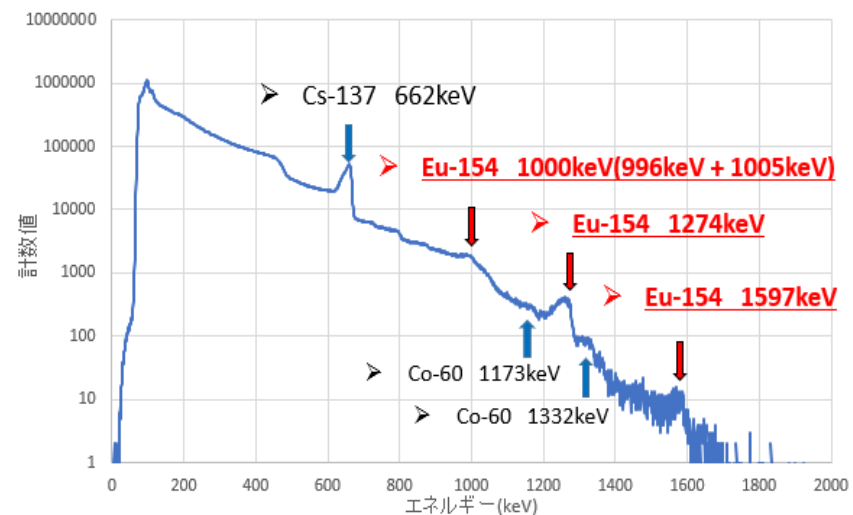
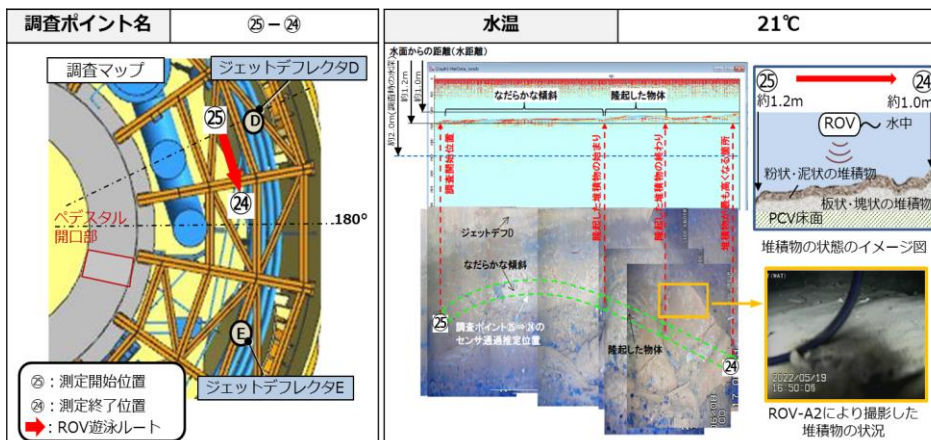


中性子波高値スペクトル



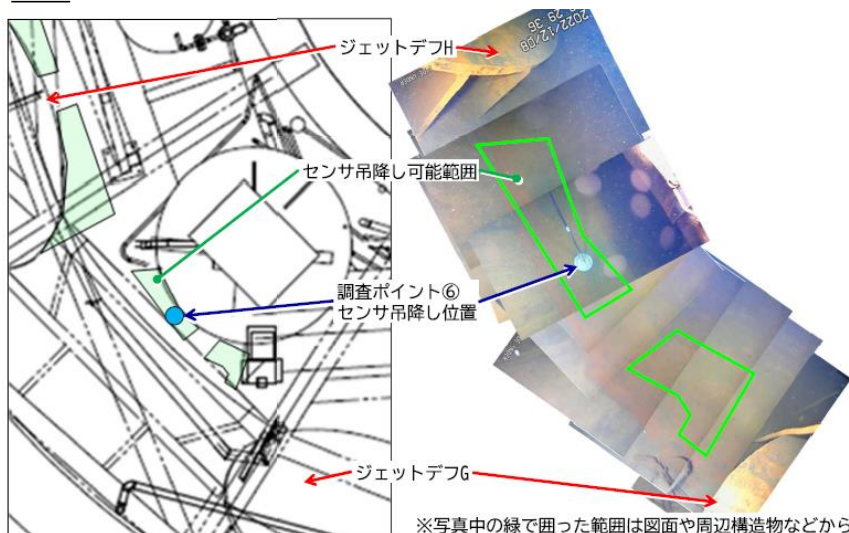
堆積物厚さ：約0.8~1.0m (ROV-C調査ポイント②⑤-②④から参照)

γ線エネルギースペクトル



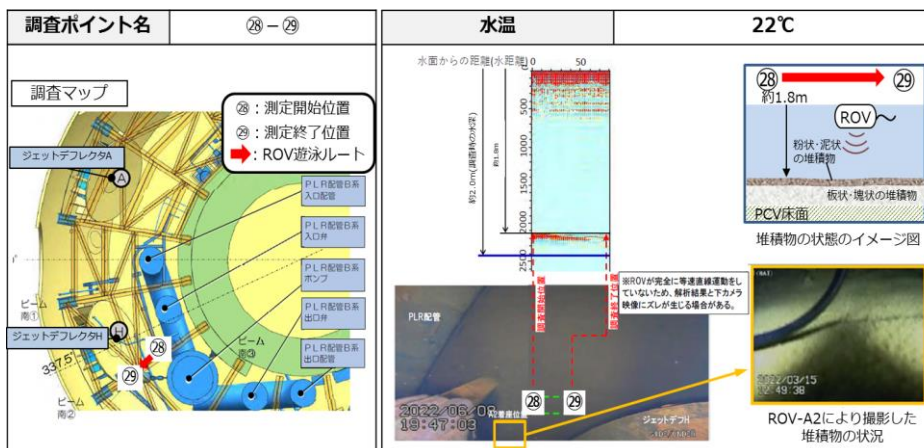
(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント⑥

外観

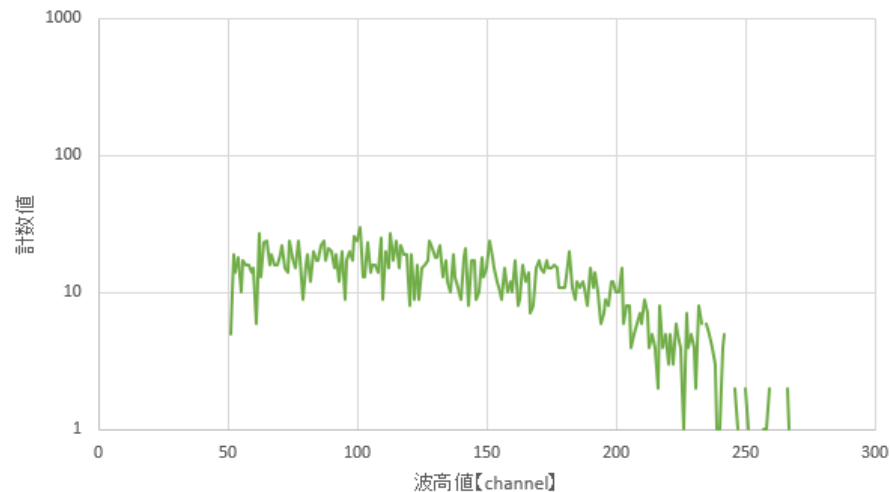


※写真中の緑で囲った範囲は図面や周辺構造物などから推定したものであり、正確ではない。
 ※この画像はROV-Dの下カメラ映像を基に作成している。

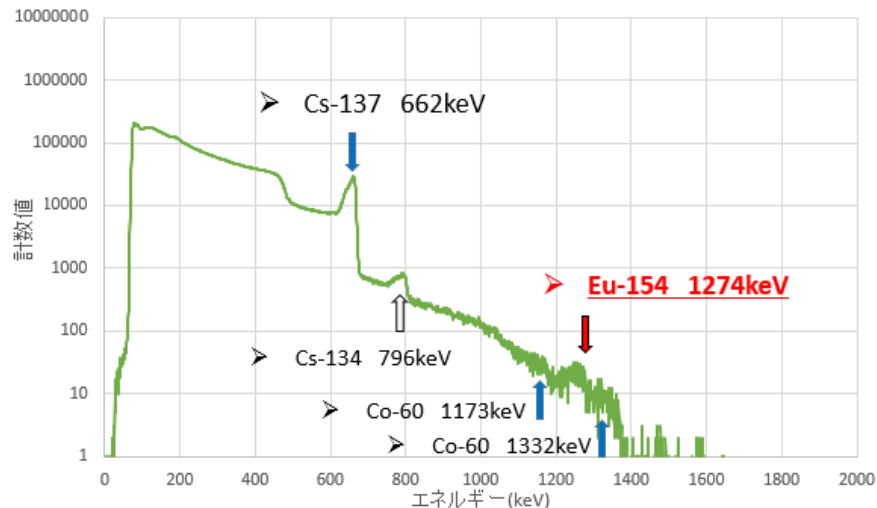
堆積物厚さ: 約0.2m (ROV-C調査ポイント⑳-㉑から参照)



中性子波高値スペクトル

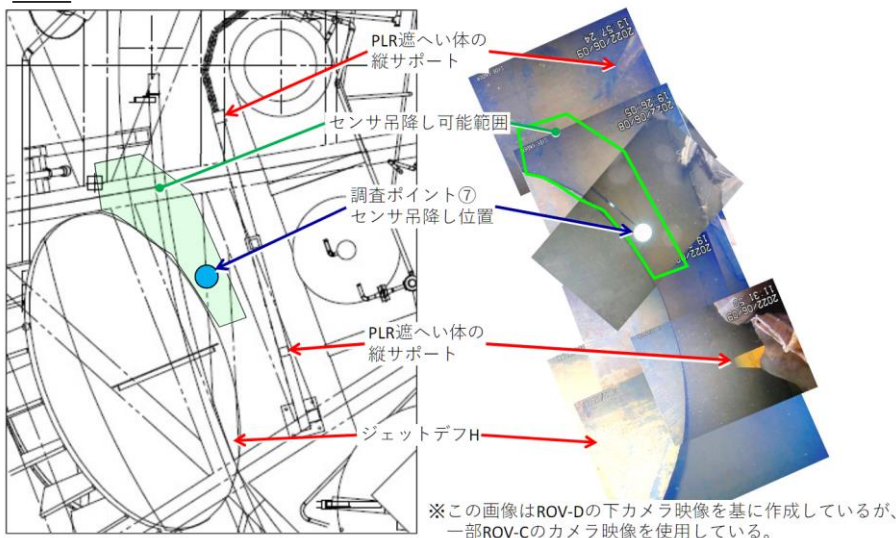


γ線エネルギースペクトル

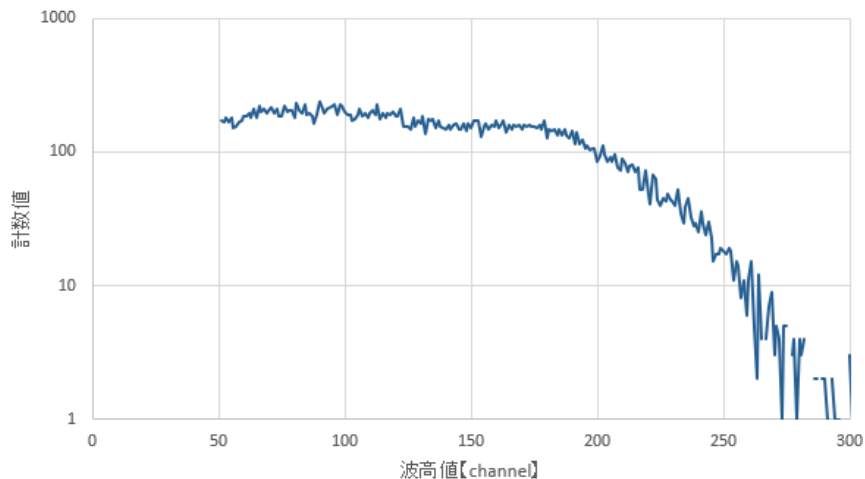


(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント⑦

外観

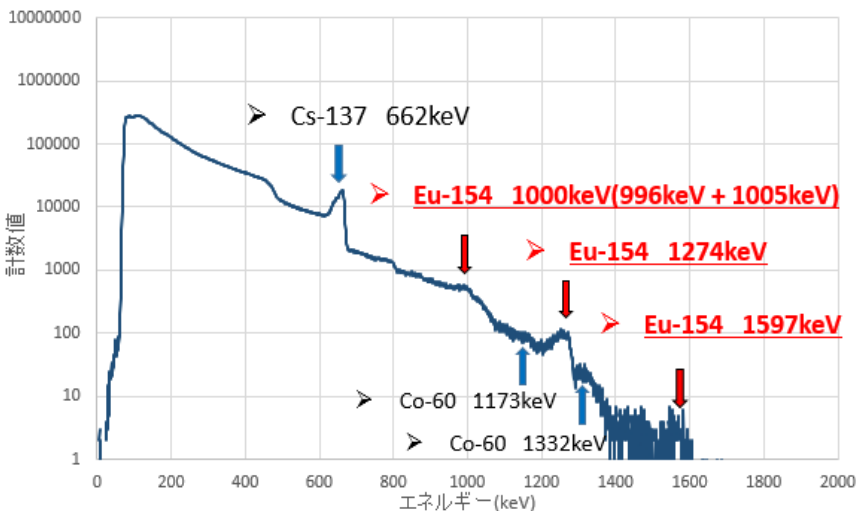
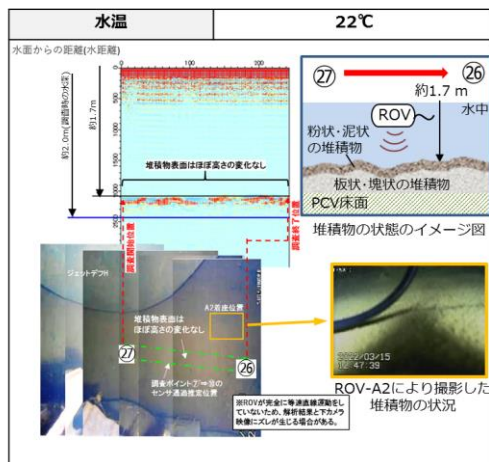
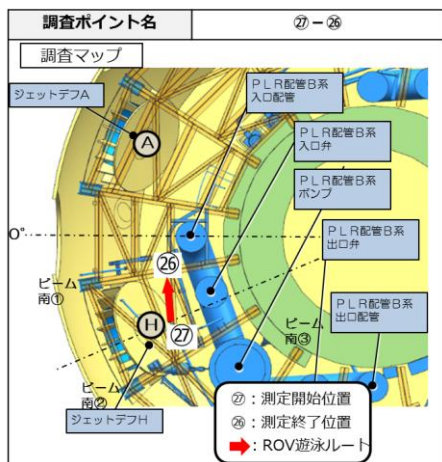


中性子波高値スペクトル



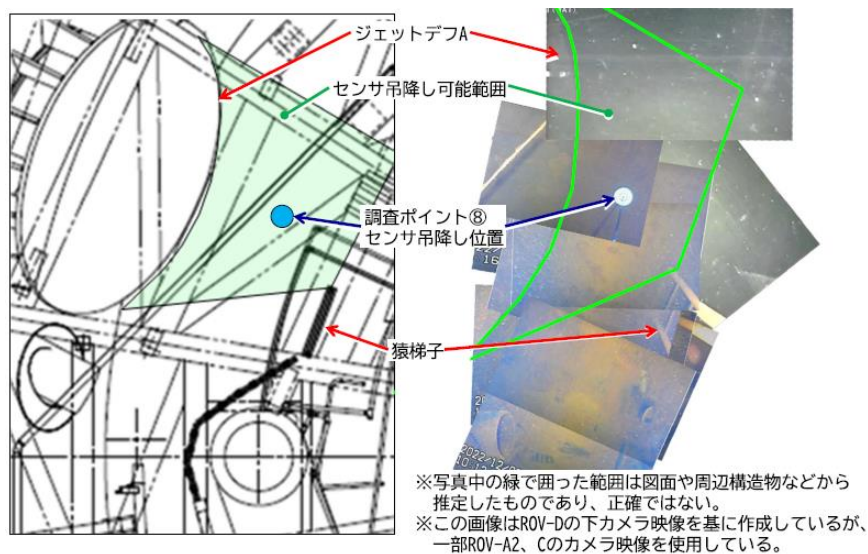
堆積物厚さ: 約0.3m (ROV-C調査ポイント②⑦-②⑥から参照)

γ線エネルギースペクトル



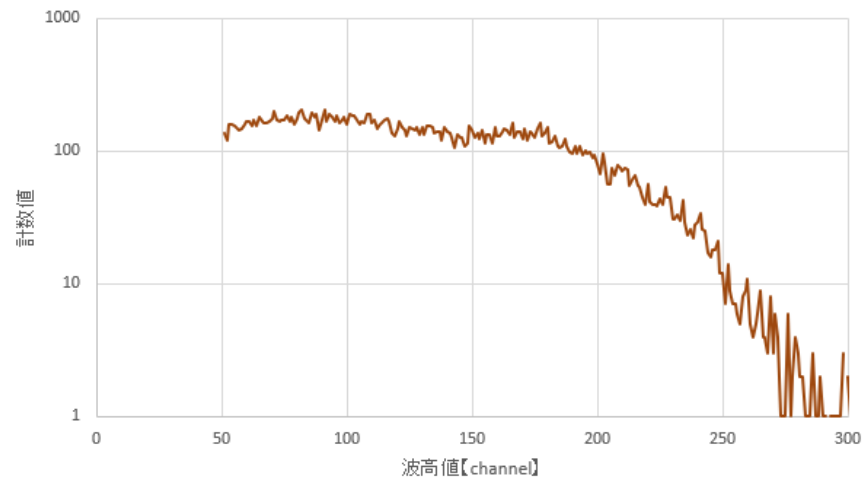
(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) 周辺状況,取得データ 調査ポイント⑧

外観

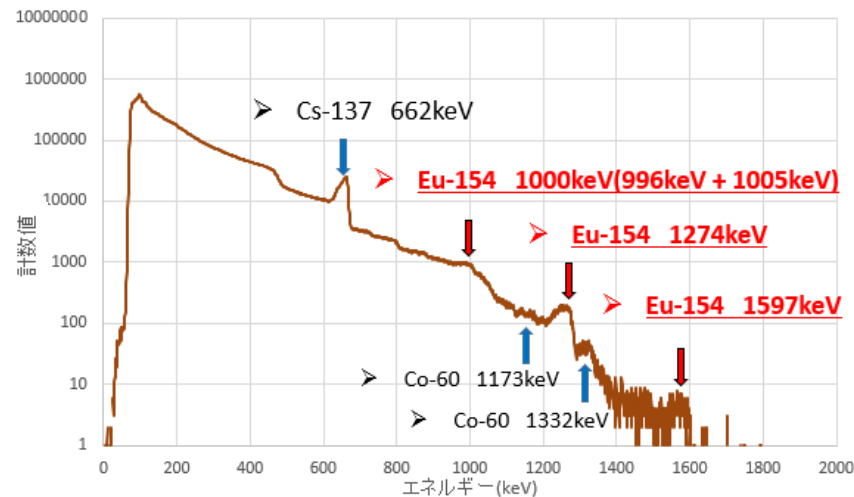


➤ 堆積物厚さ：ROV-C調査範囲外のため情報無し

中性子波高値スペクトル



γ線エネルギースペクトル



(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) γ 線核種分析結果(2/2)

測定位置			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
合計カウント数			81,966,208	72,204,278	75,660,331	57,921,013	122,056,952	41,810,536	51,024,138	71,889,817
Cs-137	662 (keV)	ネットカウント数 ※1	6.08E+5	4.17E+5	5.27E+5	2.77E+5	1.09E+6	7.11E+5	4.09E+5	5.36E+5
Eu-154	1000(996+1005) (keV) ※2	ネットカウント数	1.11E+4	7.91E+3	9.26E+3	6.77E+3	1.35E+4	2.11E+2	4.01E+3	7.00E+3
	1274 (keV)	ネットカウント数	8.41E+3	7.17E+3	7.02E+3	5.47E+3	1.15E+4	4.08E+2	2.88E+3	5.93E+3
	1597 (keV)	ネットカウント数	1.99E+2	2.06E+2	1.16E+2	1.50E+2	2.32E+2	2.43E+1	8.02E+1	1.49E+2

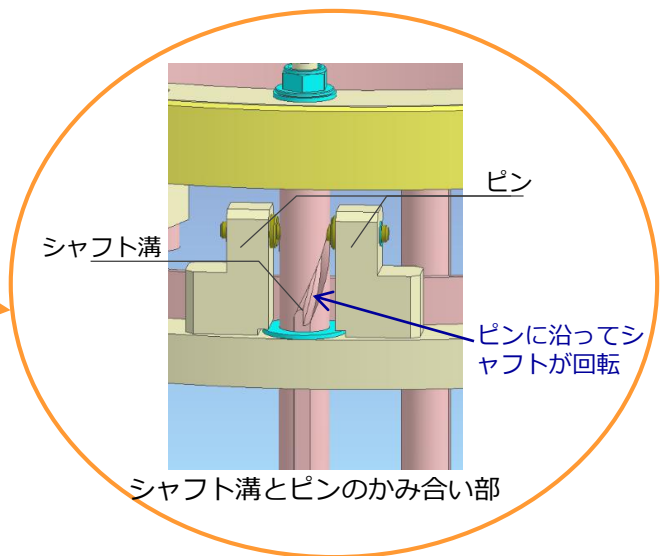
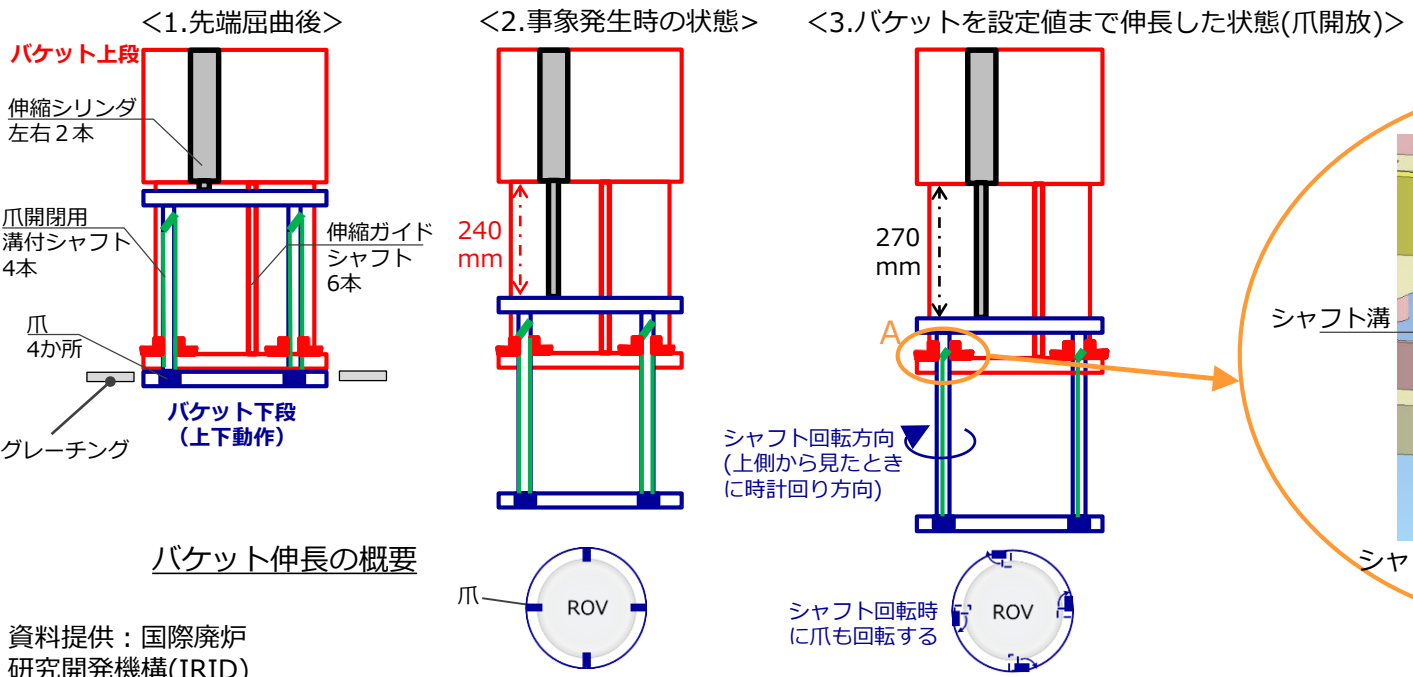
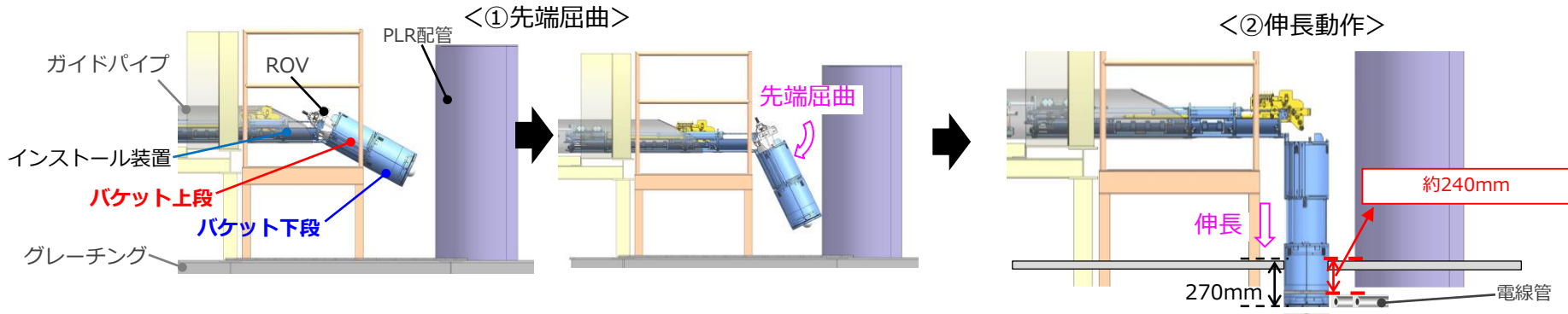
計測器：CdTe半導体検出器

※1 γ 線放出核種を評価するために、ピークカウント数からベースラインとなるカウント数を差し引いた値

※2 Eu-154放出 γ 線における996keVと1005keVの領域においては、計器の分解能により判別できないことから、双方の値を1000keVの領域として評価している

(参考) トラブルの概要

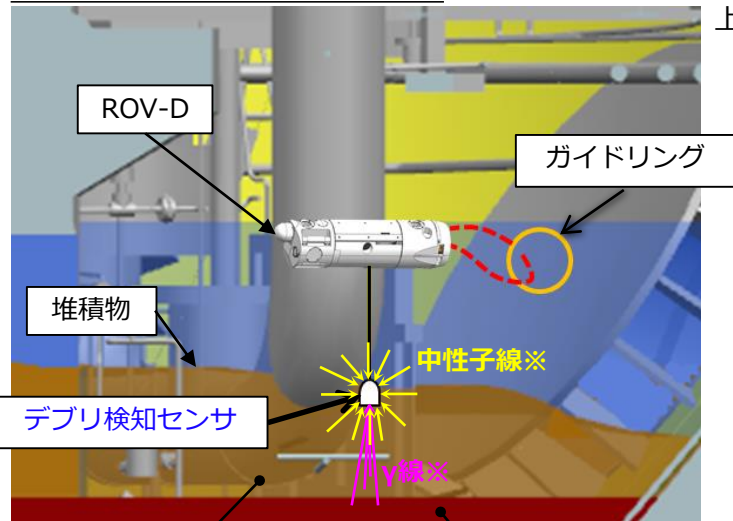
- ROVのインストールについては、インストール装置を用いて行い、ROVをガイドパイプを経由してPCV内部まで運んだ後、バケット部の先端屈曲および伸長動作を行う操作である
- 通常はバケット部の伸長動作時に設定値（270mm）まで伸ばすことで爪が開放され、ROVの吊り降ろしが可能となるが、240mmまでしか伸長動作しなかったもの ※先端屈曲と伸長動作は水圧駆動による



A部詳細

(参考) 各ROVの調査イメージ

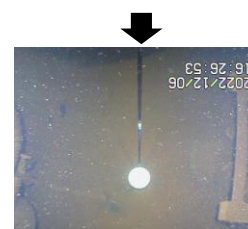
ROV-D (堆積物デブリ検知)



デブリ検知センサを堆積物上に吊り降ろし計測を実施



センサ吊り降ろし中



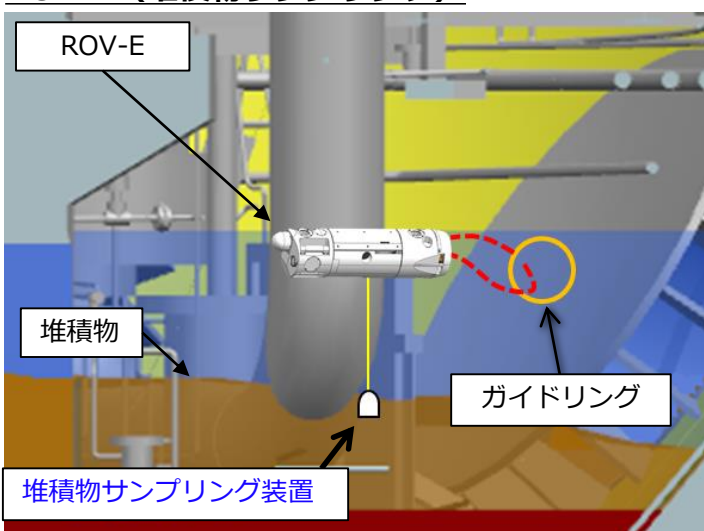
センサ吊り降ろし後

一定程度の厚さがある粉状・泥状等の堆積物イメージ

密度の高い堆積物(板状・塊状の堆積物)イメージ

※ γ線および中性子線の示す範囲はあくまでもイメージです

ROV-E (堆積物サンプリング)



サンプリング装置を堆積物上に吊り降ろし吸引を実施

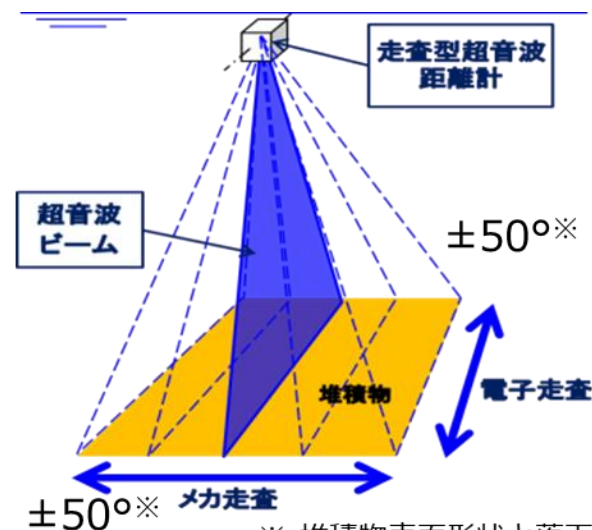
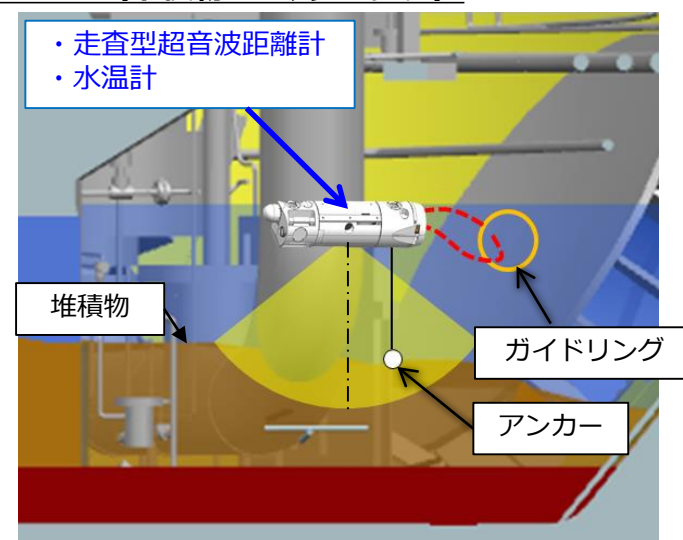


装置吊り降ろし中



装置吊り降ろし後

ROV-B (堆積物3Dマッピング)

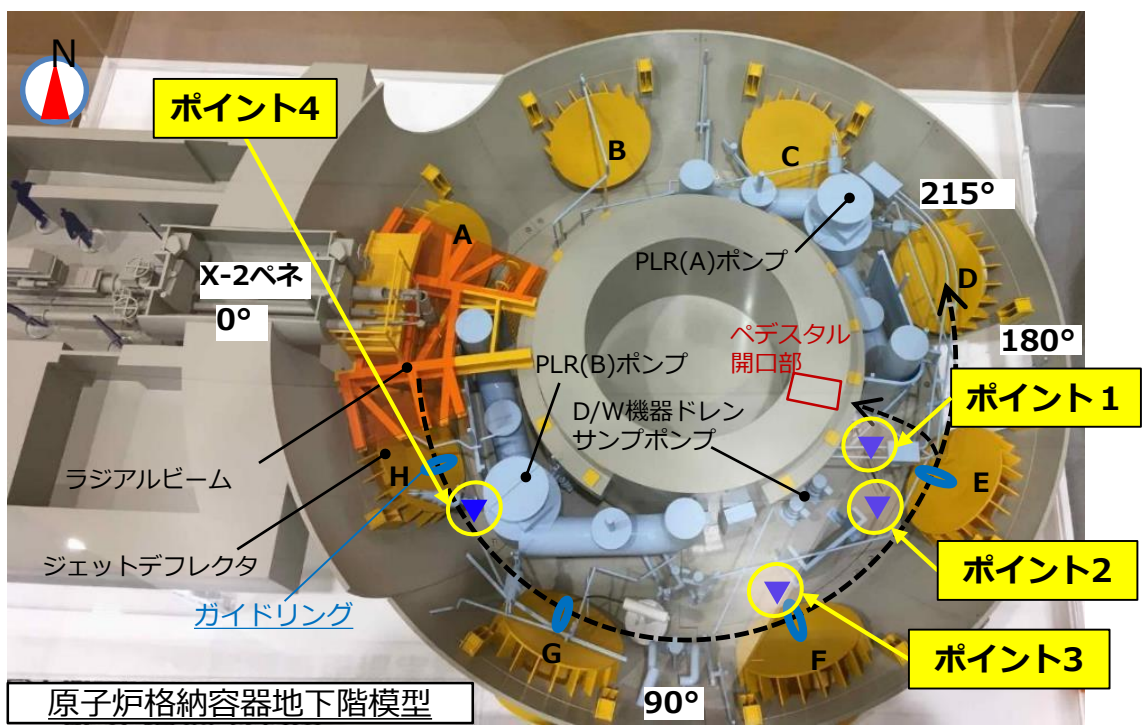


※: 堆積物表面形状と落下物高さ測定が可能な入射角

(参考) 調査実績

中性子束測定結果 (5月20日,21日調査分)

- 今回測定したポイント全てにおいて熱中性子束を確認
- ペDESTAL開口部付近で熱中性子束が多く確認されていることから、燃料デブリ由来と推定
- 引き続き、後続号機であるROV-C (堆積物厚さ測定) において堆積物の高さや厚さを確認した上で、ROV-D (燃料デブリ検知) において、堆積物への燃料デブリ含有状況を調査する予定



- 熱中性子束は単位時間に単位体積内を熱中性子が走行する距離の総和
- 測定は1箇所あたり60分間
- 測定結果は60分間のカウント数から評価した熱中性子束にて示す

<参考> ROV-A2に搭載のB10検出器による燃料集合体測定結果@NFD

■測定方法

- ・燃料軸方向の中心部に設置
- ・燃料最寄位置を含め3つの位置で測定 (線量率: 14.4, 6.5, 1.5 Gy/h)
- ・測定時間: 3分

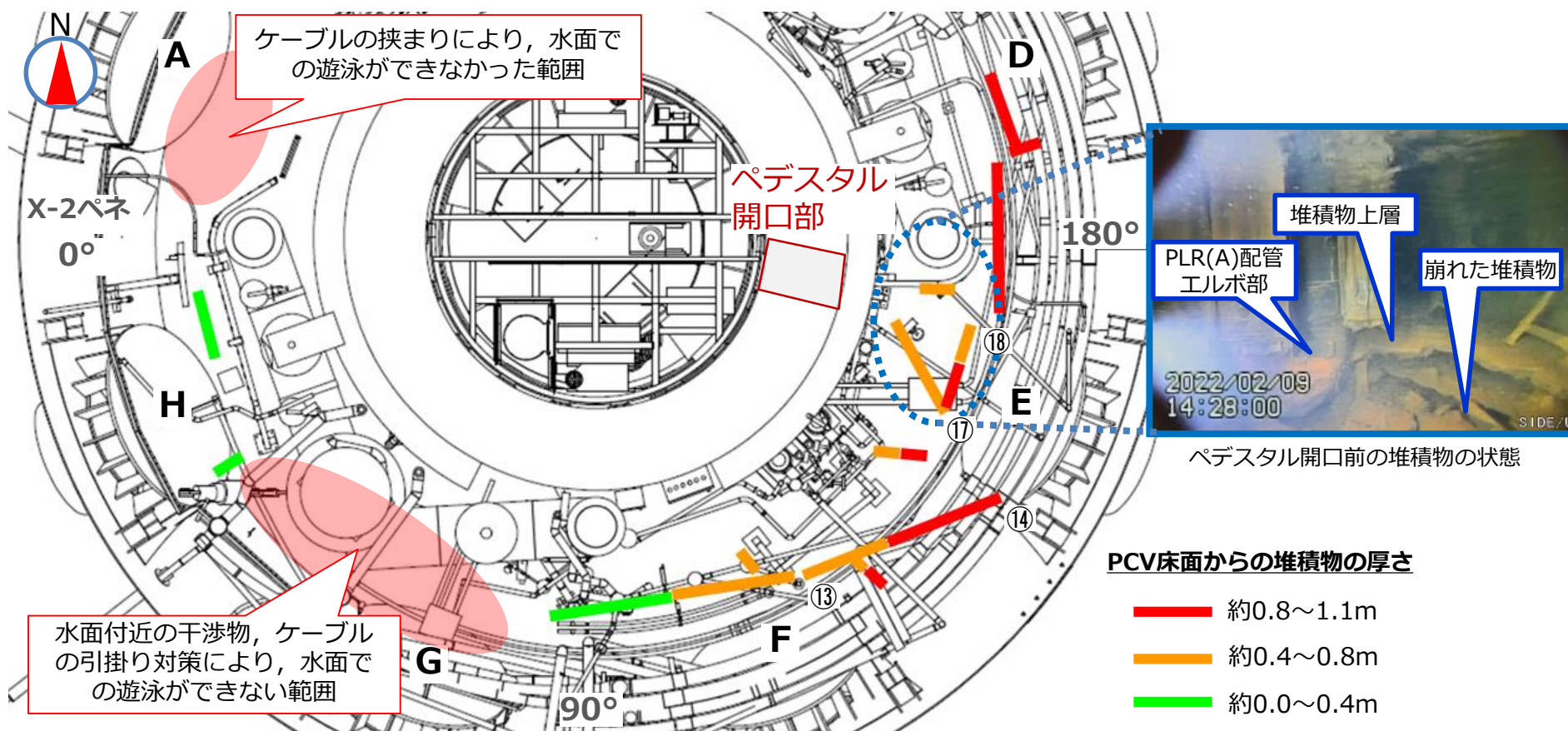
線量率	線源-検出器距離	熱中性子束評価値※
14.4 Gy/h	約16 cm	8.8×10^1 /cm ² /s
6.5 Gy/h	約33 cm	1.1×10^1 /cm ² /s
1.5 Gy/h	約78 cm	0 /cm ² /s

燃料集合体, 天井クレーン, 計測装置, 燃料検査プール, 収納容器, 距離を調整し測定位置を決定

測定位置	ポイント1	ポイント2	ポイント3	ポイント4
熱中性子束 [/cm ² / s]	48.0	29.1	50.2	5.8

(参考) ROV-Cによる堆積物厚さ測定結果まとめ(全13箇所)

- 超音波測定データ及びROV-C・A2の調査時の映像から、粉状・泥状の堆積物は想定より薄いと評価。また、堆積物（粉状・泥状および板状・塊状の堆積物含む）内部の状態（空洞の存在等）については、今回の調査結果からは評価不可
- PCV底部からの堆積物厚さについては、ペDESTAL開口部付近が比較的高く、ROV投入位置であるX-2ペネ付近に近づくにつれて徐々に低くなっていることを確認
- ペDESTAL開口部前の堆積物が一部低くなっている(下図、青点線囲い部)が、調査映像より堆積物が崩れているためと推定。



※PCV床面からの堆積物の高さは水位2.0mを基準として算出

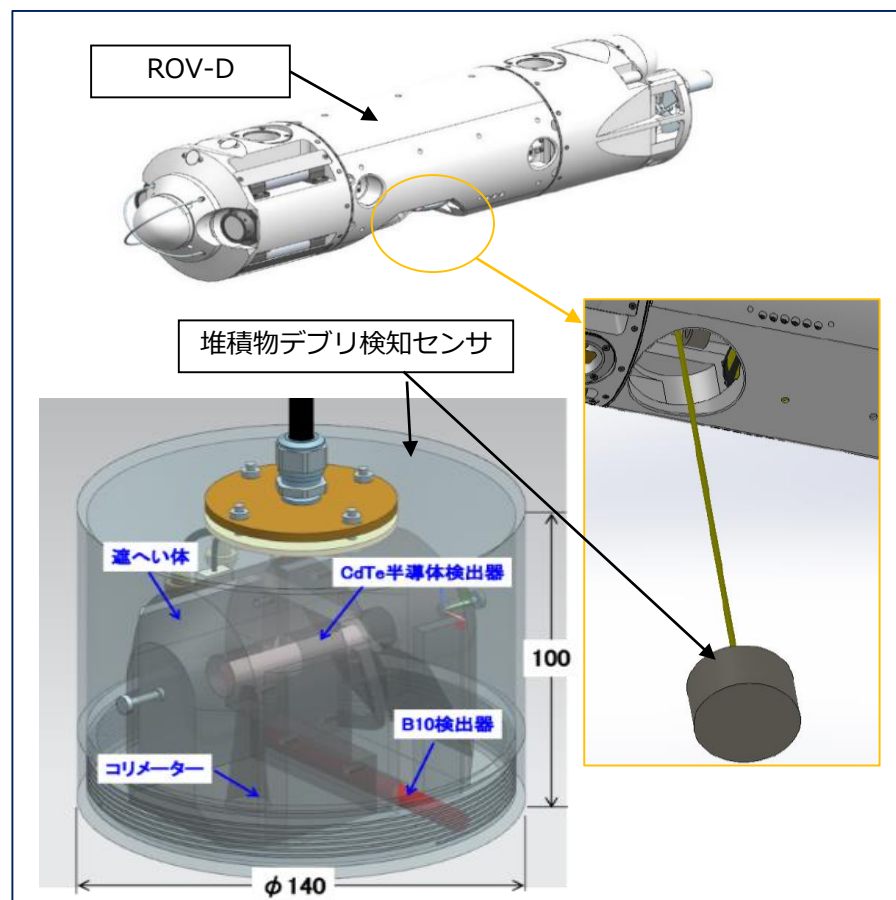
資料提供：国際廃炉研究開発機構（IRID） 27

(参考) ROV-D (堆積物デブリ検知) におけるγ線の核種分析について

- ROV-Dにおける堆積物デブリ検知について、前半調査 (ROV-A2) で確認された、燃料デブリ由来からと想定される中性子束について、γ線の核種分析情報を早期に取得することで計画
- 燃料デブリの主要なγ線源としては、4種類 (Eu-154, Cs-137, Co-60, Sb-125) (「JAEA-Review_2020-004 東京電力ホールディングス (株) 福島第一原子力発電所燃料デブリ等分析について」より)
- 堆積物デブリ検知の判断材料として、Eu-154の検知に加え、中性子束の測定結果を用いることで計画

- **Eu-154** ; FP起源であり、あまり拡散せず燃料帯同位が高い
さらに放出γ線が比較的計測容易であるため、燃料由来の物質の計測に有用である
- **Cs-137** ; 事故時燃料から揮発し放出されたため、燃料由来の物質の判定が困難
- **Co-60** ; FP起源ではなく放射化起源のため、燃料周辺の構造物等に起因するものであり、燃料由来の物質の判定が困難
- **Sb-125** ; Cs-137同様に揮発性が高く、燃料由来の物質の判定が困難

各γ核種における燃料由来の物質検知性

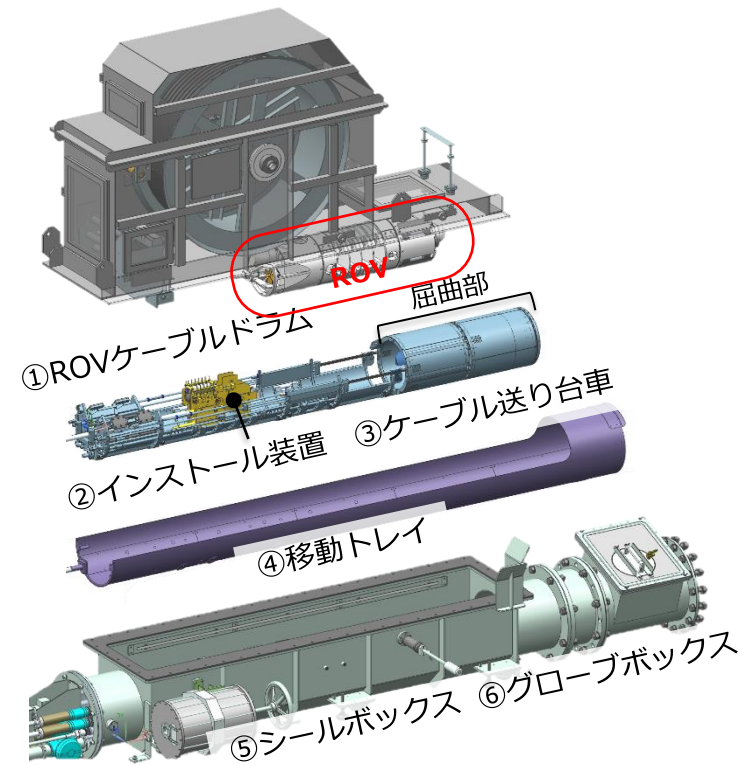
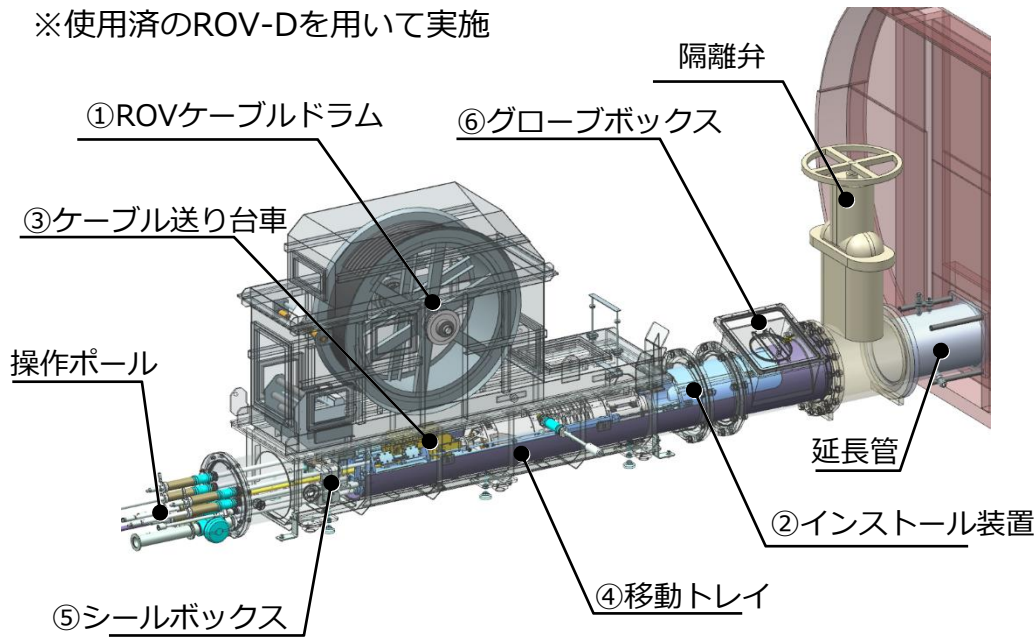


ROV-Dの装置構成

(参考) 調査装置詳細 シールボックス他装置

- 予備機シールボックス等の搬入・交換
- 隔離弁との芯出し
- ガイドパイプとの芯出し※（仮インストール）

※使用済のROV-Dを用いて実施

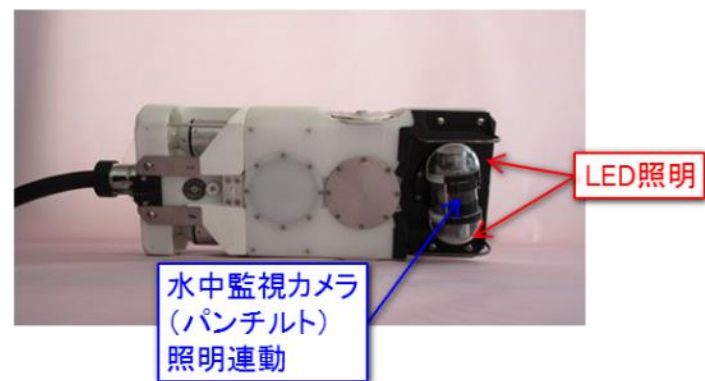
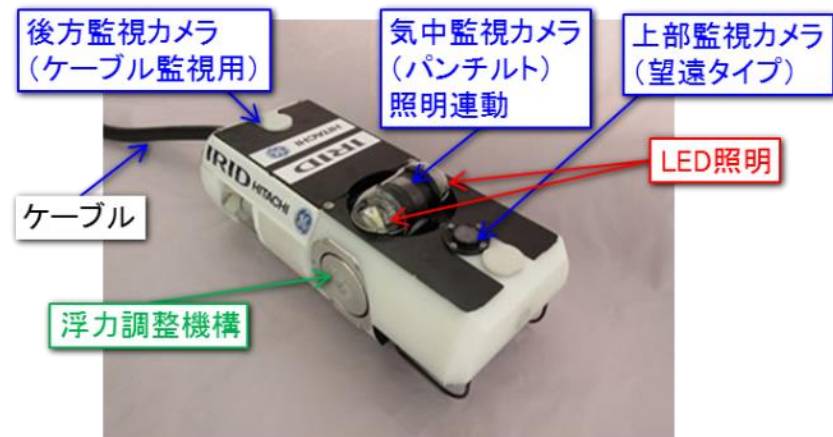
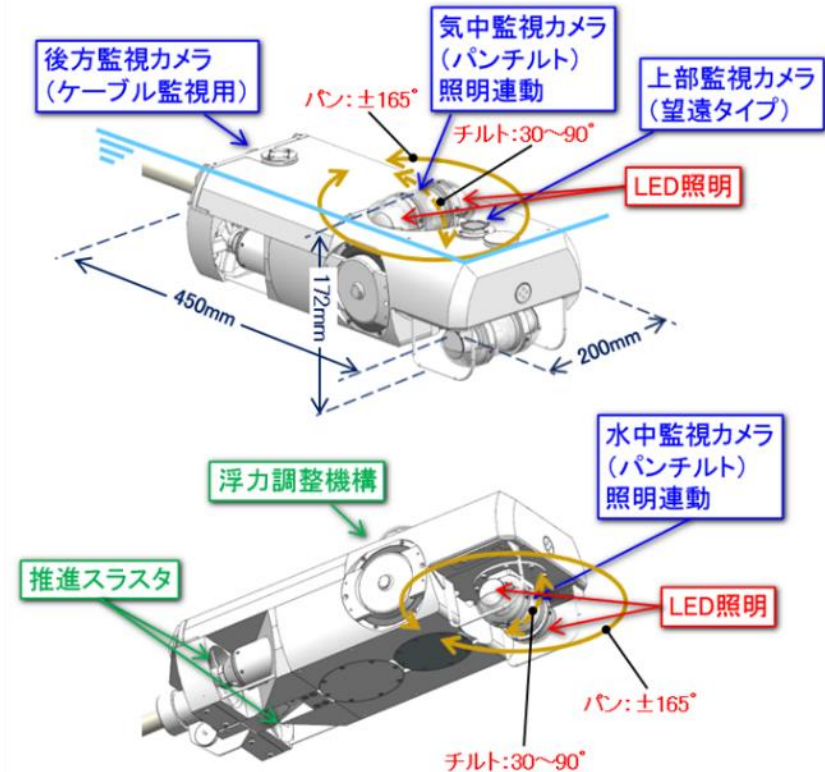


構成機器名称	役割
① ROVケーブルドラム	ROVと一体型でROVケーブルの送り/巻き動作を行う
② インストール装置	ROVをガイドパイプを経由してPCV内部まで運び、屈曲機構によりROV姿勢を鉛直方向に転換させる
③ ケーブル送り台車	ケーブルドラムと連動して、ケーブル介助を行う
④ 移動トレイ	ガイドパイプまでインストール装置を送り込む装置
⑤ シールボックス	ROVケーブルドラムが設置されバウンダリを構成する
⑥ グローブボックス	ケーブル送り装置のセッティングや非常時のケーブル切断

(参考) 調査装置詳細 ROV-A2_詳細目視調査用

調査装置	計測器	実施内容
ROV-A2 詳細目視	ROV保護用（光ファイバー型γ線量計※，改良型小型B10検出器） ※：ペDESTAL外調査用と同じ	地下階の広範囲とペDESTAL内（※）のCRDハウジングの脱落状況などカメラによる目視調査を行う（※アクセスできた場合）
	員数：2台 航続可能時間：約80時間/台 調査のために細かく動くため，柔らかいポリ塩化ビニル製のケーブル(φ23mm)を採用	

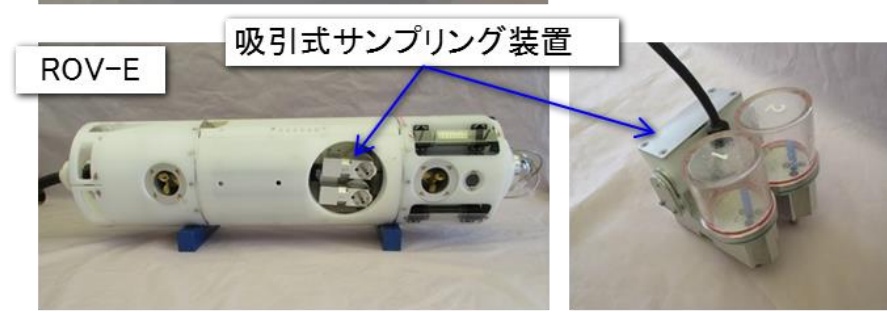
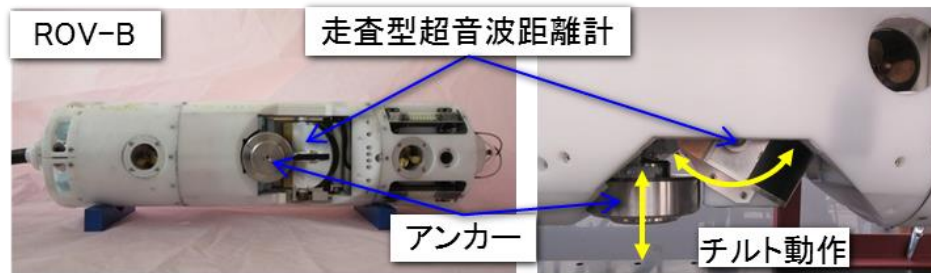
推力：約50N 寸法：直径φ20cm×長さ約45cm



(参考) 調査装置詳細 ROV-B~E_各調査用

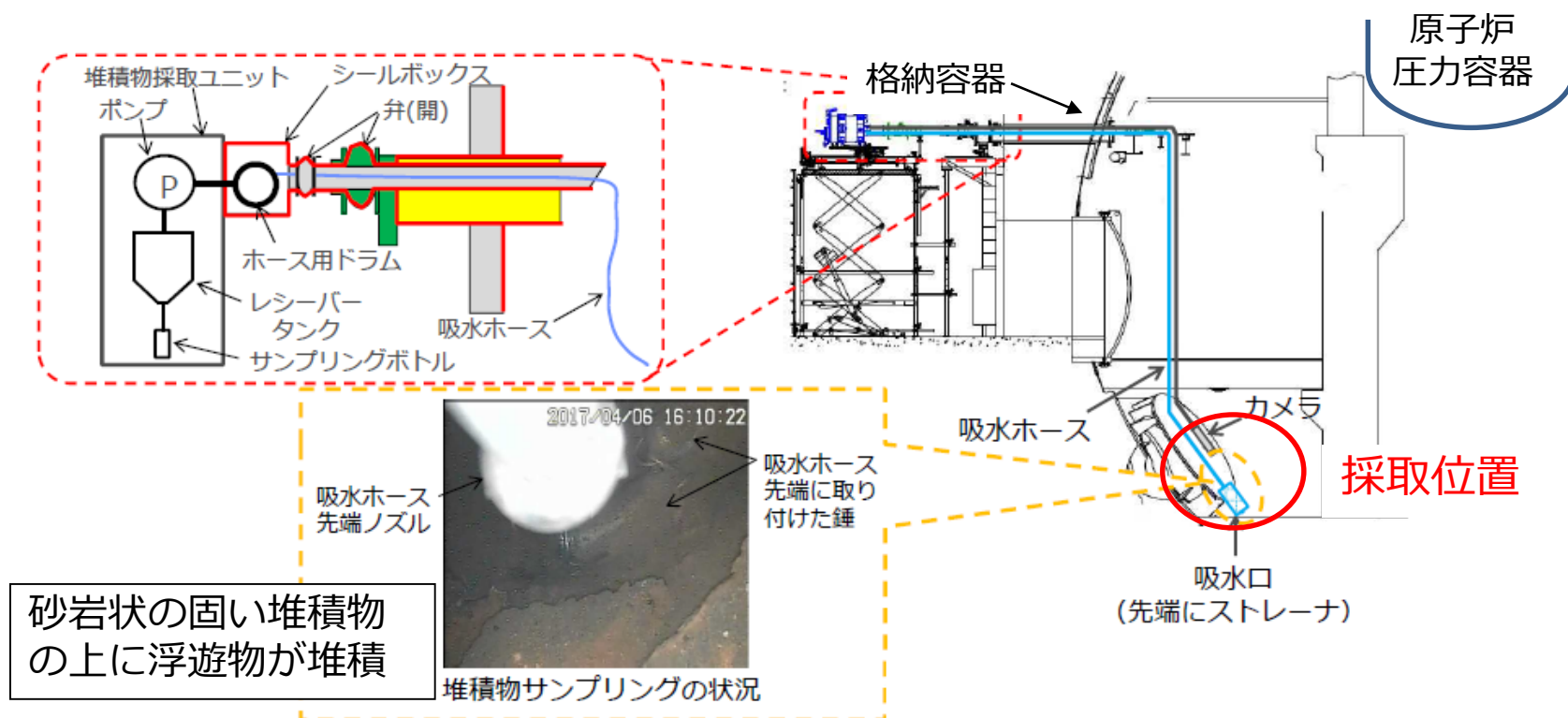
調査装置	計測器	実施内容
ROV-B 堆積物3Dマッピング	<ul style="list-style-type: none"> ・走査型超音波距離計 ・水温計 	走査型超音波距離計を用いて堆積物の高さ分布を確認する
ROV-C 堆積物厚さ測定	<ul style="list-style-type: none"> ・高出力超音波センサ ・水温計 	高出力超音波センサを用いて堆積物の厚さとその下の物体の状況を計測し、デブリの高さ、分布状況を推定する
ROV-D 堆積物デブリ検知	<ul style="list-style-type: none"> ・CdTe半導体検出器 ・改良型小型B10検出器 	デブリ検知センサを堆積物表面に投下し、核種分析と中性子束測定により、デブリ含有状況を確認する
ROV-E 堆積物サンプリング	<ul style="list-style-type: none"> ・吸引式カプリング装置 	堆積物サンプリング装置を堆積物表面に投下し、堆積物表面のサンプリングを行う

員数：各2台ずつ 航続可能時間：約80時間/台 調査のために細かく動くため、柔らかいポリ塩化ビニル製のケーブル (ROV-B：φ33mm, ROV-C：φ30mm, ROV-D：φ30mm, ROV-E：φ30mm)を採用



(参考) 2017年に実施した堆積物サンプリングの分析結果概要①

- 1号機格納容器内部調査の一環として、原子炉格納容器底部の堆積物（浮遊物）を採取したもの（2017年4月採取）。サンプリング時の映像から、堆積物は固い層の上に浮遊物があることを確認。主に浮遊物の部分が回収されていると考えられる。
- 発電所内で簡易蛍光X線分析とγ核種分析を実施。
- 簡易蛍光X線分析では、構造材料等のほかにUを検出、Puは確認されていない。
- ガンマ核種分析では、Cs-134、Cs-137、Co-60、Sb-125を確認。



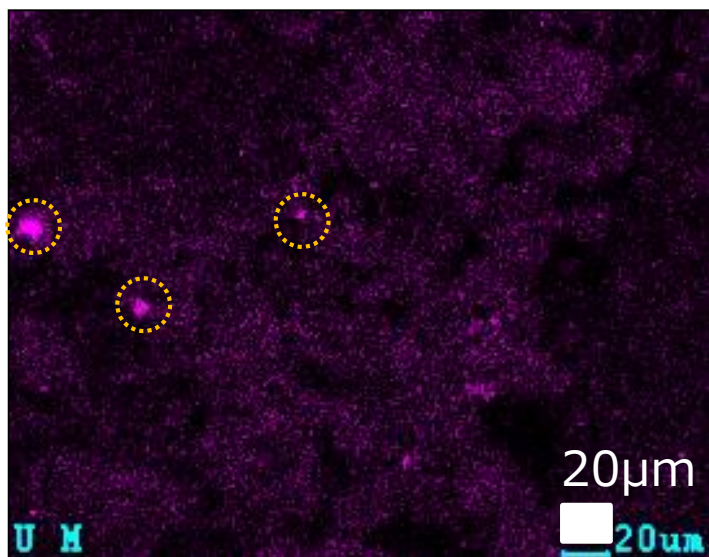
(参考) 2017年に実施した堆積物サンプリングの分析結果概要②

■ サンプル全体の観察結果

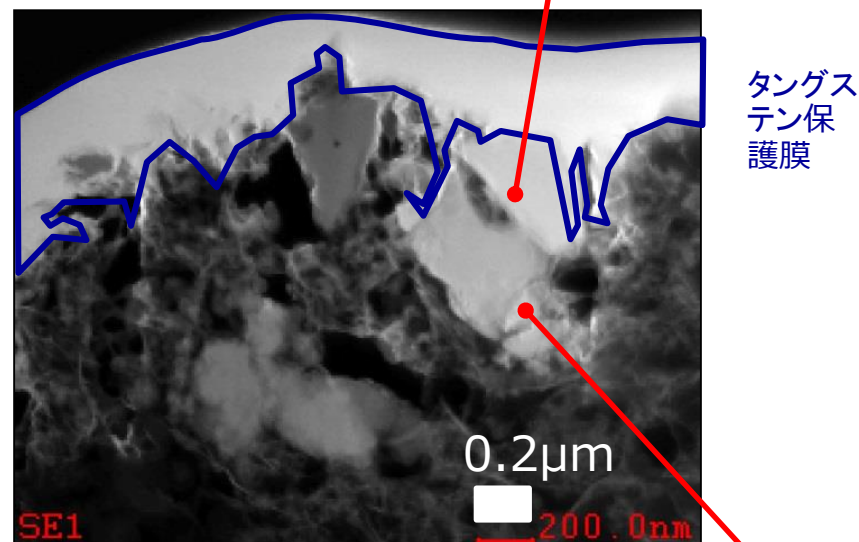
- SEM-EDS分析では、鉄さび上にU含有粒子が混在していることが確認された。
- 300 μm ×200 μm 程度領域の観察でU含有粒子を確認。(左下図黄色丸)
ただし、領域平均で見るとU濃度は低く検出されない程度。
- ICP-MSの分析結果では、Feが多く次いでAl、Cu、Zn、Pb、Uなどを確認。

■ U含有粒子の観察結果

- U含有粒子はUリッチな立方晶(U,Zr)O₂、Zrリッチな正方晶(Zr,U)O₂



SEM分析結果
(U分布)



TEM分析結果
立方晶-(U,Zr)O₂
タンゲステン保護膜
正方晶-(Zr,U)O₂