

高性能容器(HIC)内のスラリー性状に関する追加調査とその実施内容について

2021/5/14

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 4/15面談における規制庁殿コメント

(表面線量が高いHICの調査を予定していたことに対し)低い線量のもので実施してみてスラリー性状を調べてみるのが大事。安全なものを選んで、例えばHIC底部のスラリーが硬くなっていないか、水の透明度がどこまであるか等、そこで出来ることを考えてみて、情報を得るほうがいいと思う。

➡ 上記のコメントを受け、調査内容等について次のように見直しを行った。

	見直し前	見直し案
調査内容	放射能濃度が高・中・低の炭酸塩スラリーそれぞれを対象に以下を調査 ・ 寿命評価のためのスラリー密度 ・ HICからの抜出、移替え可否	放射能濃度が低い炭酸塩スラリーのみを対象に以下を調査 ・ 濃縮度観測のためのスラリー密度 ・ HICからの抜出・移替え可否
対象HIC 表面線量	0.96 ~ 12.80mSv/h	0.0032 ~ 0.96mSv/h
安全対策	これまでの作業(IRID調査等) における実績を参照	これまでの実績から 安全対策を追加・見直し

表. 見直し案概要

2. 調査対象HIC

■ 調査対象予定HIC一覧

No.	HIC シリアルNo.	発生 場所	第二施設への 格納年月日	表面線量(mSv/h)				HIC タイプ
				上段	中段	下段	線量最大値	
1	PO641180-162	既設	2014/10/14	0.00060	0.00105	0.00323	0.00323	タイプ2
2	PO637802-28	既設	2014/4/1	0.00153	0.0812	0.151	0.151	タイプ2
3	PO637802-35	既設	2014/5/26	0.00805	0.02205	0.320	0.320	タイプ2
4	PO646393-248	増設	2014/11/25	0.05938	0.318	0.553	0.553	タイプ2
5	PO646393-247	増設	2014/11/23	0.196	0.537	0.727	0.727	タイプ2
6	PO637802-71	既設	2014/3/18	0.500	0.810	0.955	0.955	タイプ2

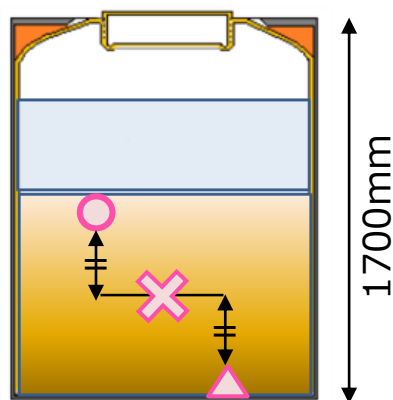
☐ :スラリー密度調査対象 ☐ :抜出、移替え調査対象

■ 対象選定基準

- ・スラリーの沈降、圧密化が推定される格納年月日が高いHICを対象とした。
- ・既存の設備のみでスラリーの抜出、移替え可否の確認が可能であるタイプ2 HICを対象とした。

3-1. スラリー密度調査の目的

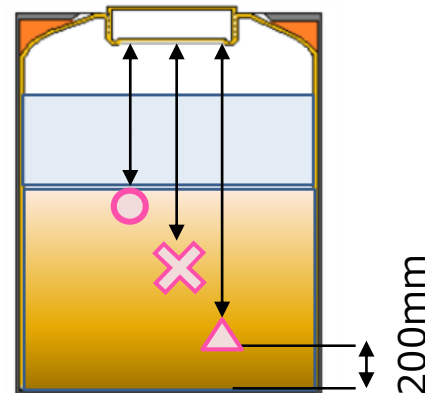
- これまでに調査を行ってきた炭酸塩スラリーの密度および濃縮度について更なる知見拡充のため、放射能濃度の低いものを対象とすることで作業上の安全を確保しながら追加の調査を行う。



HIC最底部および
スラリー界面
高さを基準として

○ : 上部
✕ : 中部
△ : 最底部

本調査でスラリー密度値を調査
する基準点のイメージ図



HIC上部プレート
下端を基準として

○ : 上部
✕ : 中部
△ : 低部

過去にスラリー密度値を調査した
測定点のイメージ図

- 本調査においては以下の知見を得ることを目的とする。
 - ・ HIC最底部のスラリー密度
 - ・ スラリーの濃縮率

3-2. スラリー密度調査作業フロー

- スラリー密度調査のために行う作業のフローは以下の通り。

① 準備作業

- ・作業エリアの区画 ・資機材搬入、準備 ・クレーン点検

② ボックスカルバート開口部養生

- ・門型クレーンでのボックスカルバート(BC)開放 ・対象BC及びその周辺の養生
- ・BC上への仮設ハウスの設置 ・局所排風機等資機材の設置

③ スラリー採取

- ・HIC上蓋の開放 ・スラリーの採取 ・サンプリングボトルへの充填

④ スラリーサンプル移送

- ・移送用車両の養生 ・遮へい容器を用いての増設ALPS建屋へのサンプル移送

⑤ スラリー密度分析

- ・サンプルの静置 ・密度の測定 ・サンプルの廃棄

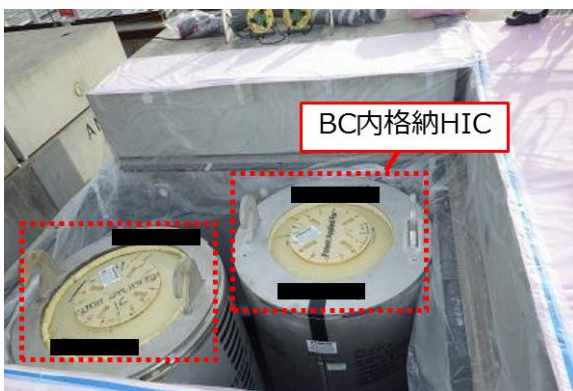
⑥ 後片付け、HIC表面線量測定

- ・養生撤去、片づけ ・門型クレーンでのHIC吊り上げと線量測定エリアへの移送と測定

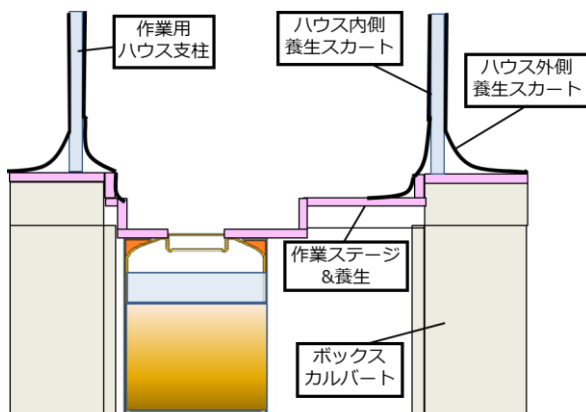
 スラリーを取扱う②～⑤の作業概要と被ばく対策を次ページ以降に示す。

3-3-②.ボックスカルバート開口部養生(1/2)

➤ 対象BC及びその周辺の養生と作業用仮設ハウスの設置



ボックスカルバート開口部及び
その周辺の養生外観



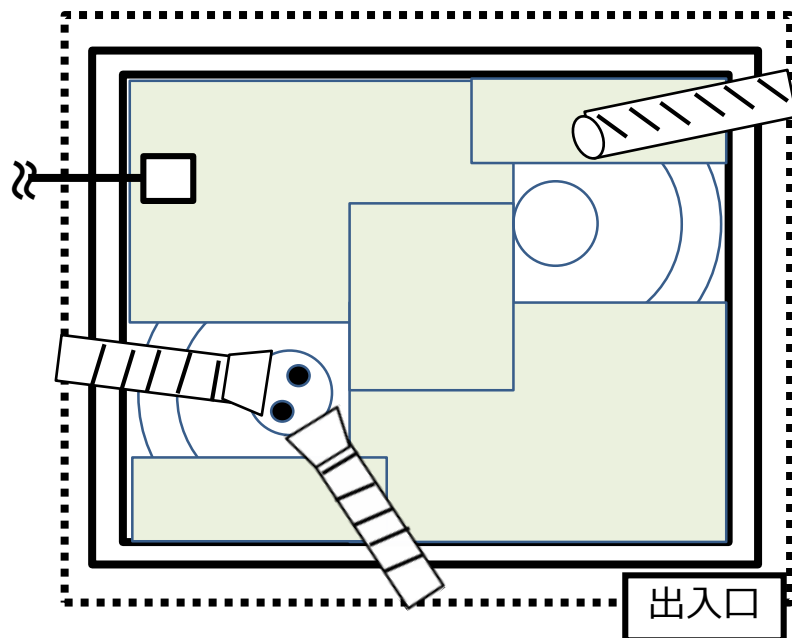
内部養生イメージ①



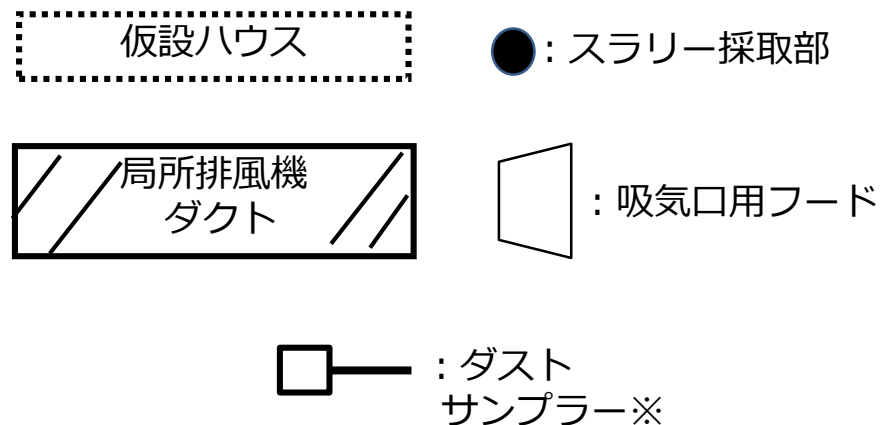
内部養生イメージ②

- ・ BC開口部およびその周辺を養生後、その上部に仮設ハウスを設置してその内部も養生する。

➤ 局所排風機等資機材の設置



仮設ハウス内排風機配置概要図



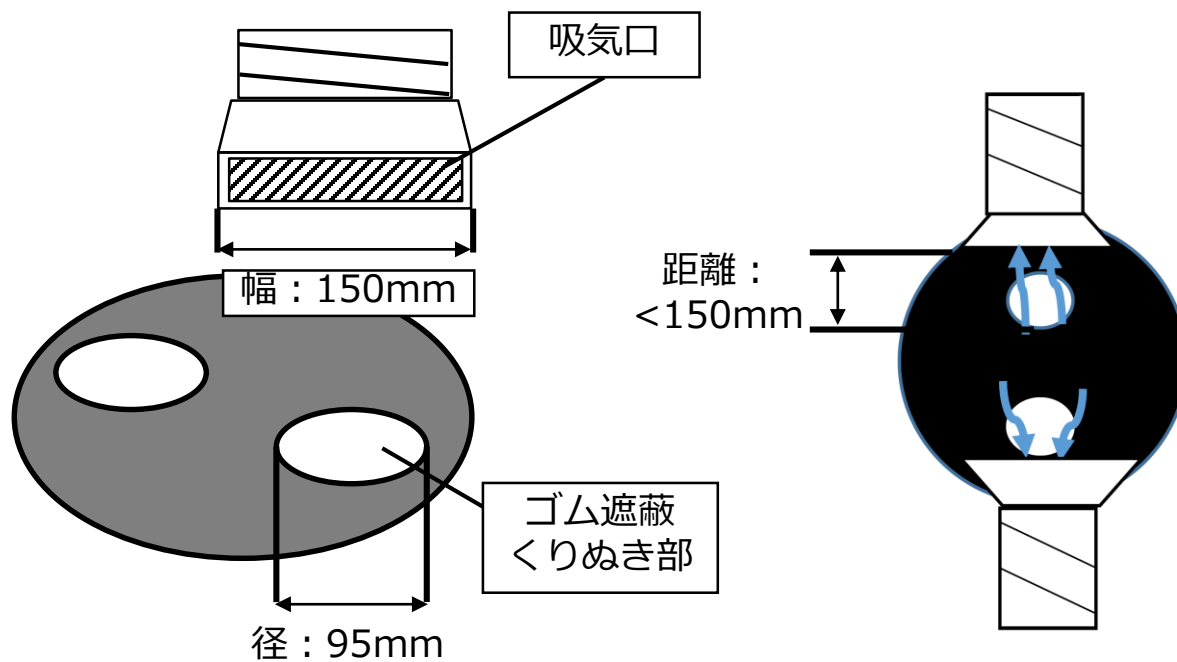
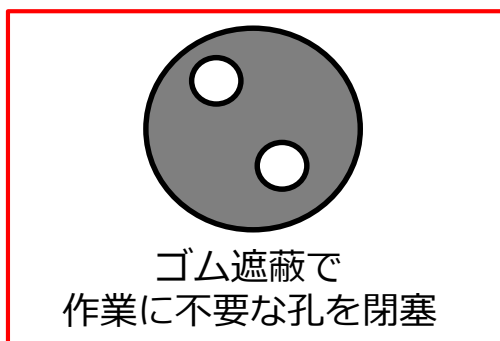
※ダストサンプラーは仮設ハウス壁面養生の採取口から測定点を挿入して、作業エリア付近で測定を行う。

- ・ HIC内部からのダスト飛散対策としてHIC蓋開放部直近に、また作業ハウス内の換気用として出入り口の対面に局所排風機の吸気口を配置する。
- ・ HIC蓋開放部直近においては、次頁で示す排風機および吸気口フードを用いる。

➤ 局所排風機能力と吸気口フードの形状



HIC開口部(フィルパン)外観

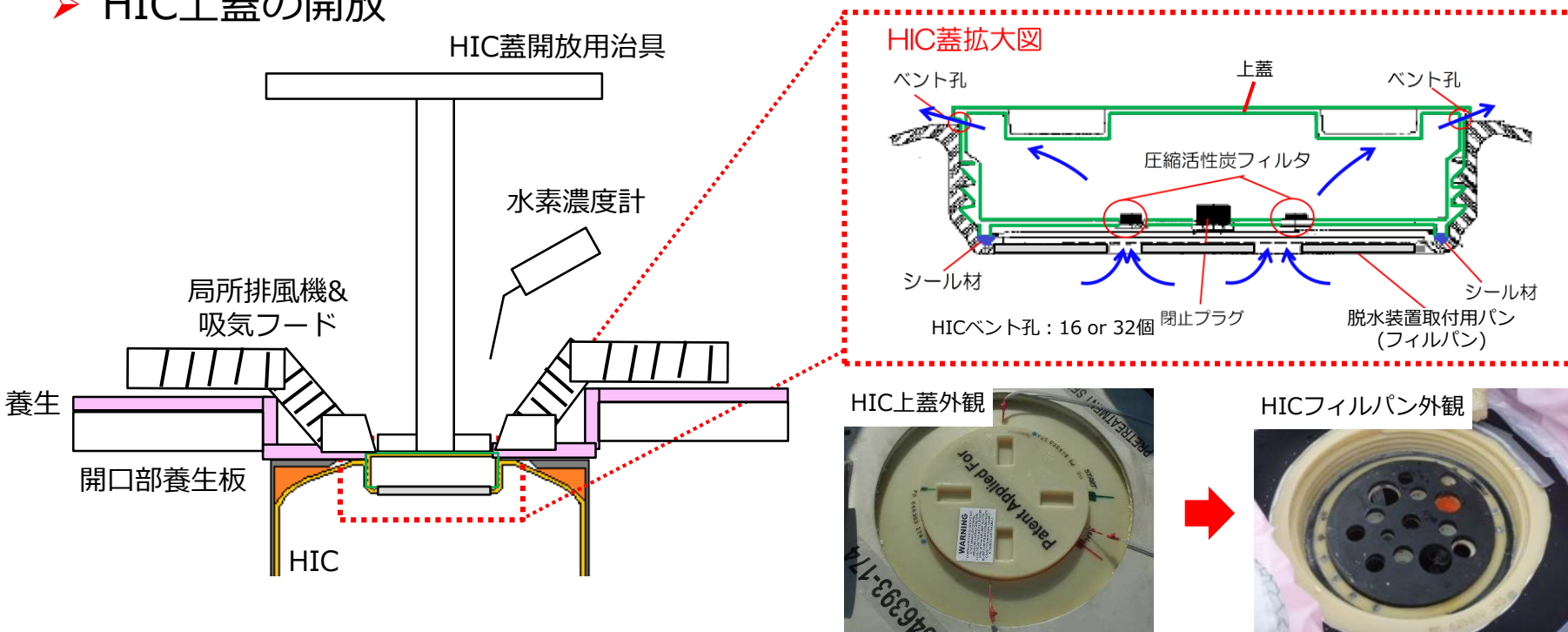


閉塞用ゴム遮蔽と吸気口イメージ

- 局所排風機1台あたりの吸気量は $9.0\text{m}^3/\text{min}$ 。
- HIC開口部直近に配置する吸気口にはスロット型フードを取り付ける。
- 吸気口率向上のため、HIC蓋開口部にゴム遮蔽を敷き、開口部位を極力減らす。
- 局所排風機の機数およびフードの形状は開放部(前述のゴム遮蔽くりぬき部)に応じたものとする。

3-3-③. スラリー採取(1/2)

➤ HIC上蓋の開放

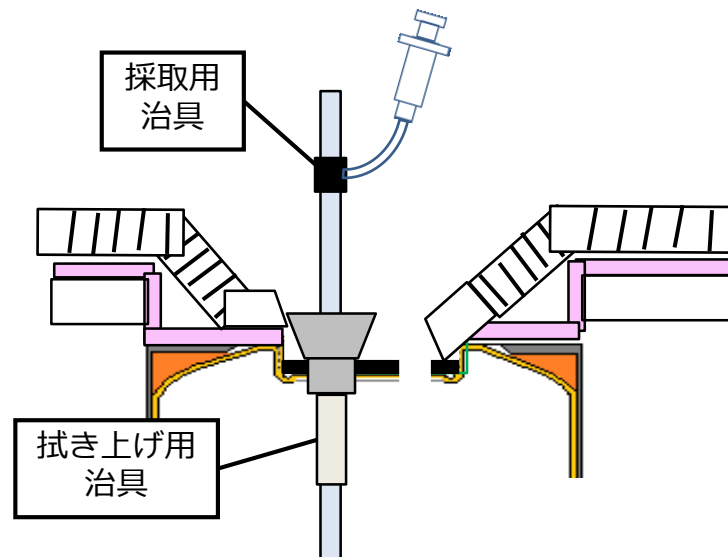


HIC上蓋開放時の概要と蓋開放図

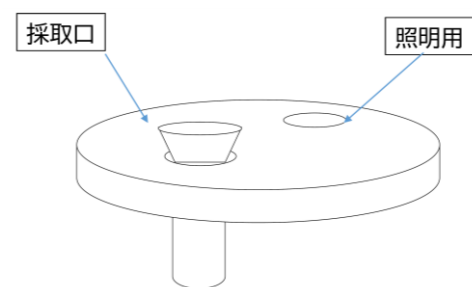
- ・ 上蓋開放時は水素測定を行い、水素濃度が十分低いことを確認後に排風機を起動して作業エリアのダスト濃度上昇を防ぐ。
- ・ HIC上蓋にはベント孔が設けられておりHIC内の圧力が上昇することはないが、上蓋開放時には万が一のダスト飛散に備え、蓋部に近づかずに済む治具を用いてゆっくりと蓋を開ける。
- ・ 前頁記載の通り、フィルパン上にゴム遮蔽を設置し、採取で用いる以外の孔を塞ぐことで作業中におけるHIC内部からのダスト飛散を防ぐ。

3-3-③. スラリー採取(2/2)

➤ スラリー採取



スラリー採取作業イメージ

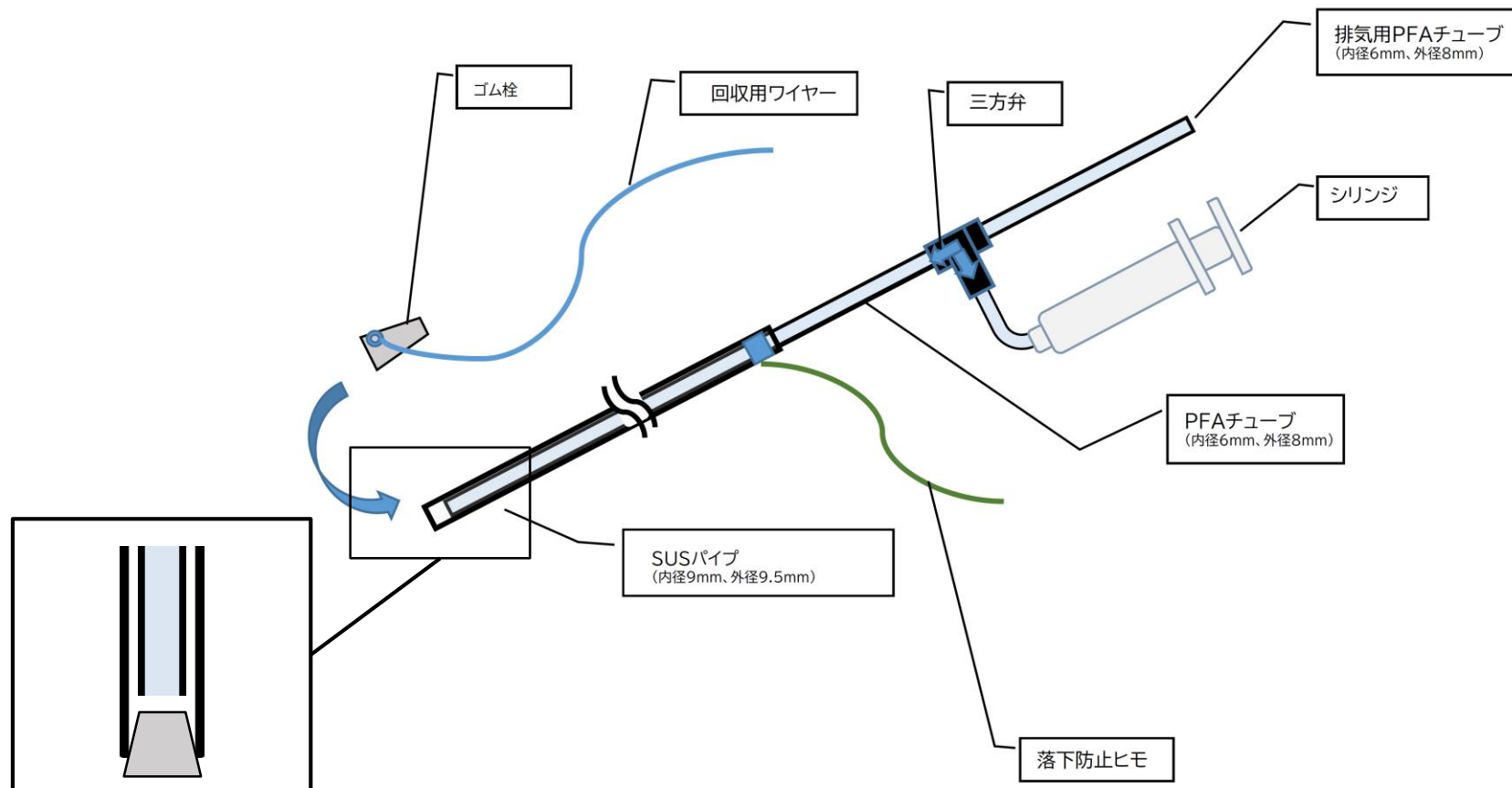


スラリー拭き上げ用治具外観&概要図

- ・ 初めにスラリー界面高さを確認し、採取点を定める。
- ・ 各採取点ごとに60～70mLのスラリーを採取する。
- ・ 拭き上げ用治具を用いて、採取用治具引き抜き時にスラリーの飛散を防ぐ。
- ・ 採取したスラリーはサンプル瓶へ封入する。
- ・ 作業者はベータ線対策としてベータ線遮へい手袋、またスラリーの飛散に備えて面体を着用する。
- ・ 採取したサンプルからは可能な限り距離を取り、被ばく防止に努める。

サンプリングの精度について、表層のみの観察にならないか(2/22監視評価検討会資料コメント)

- 以下のような治具を用いることで、表層のみの観察にならないようにする。

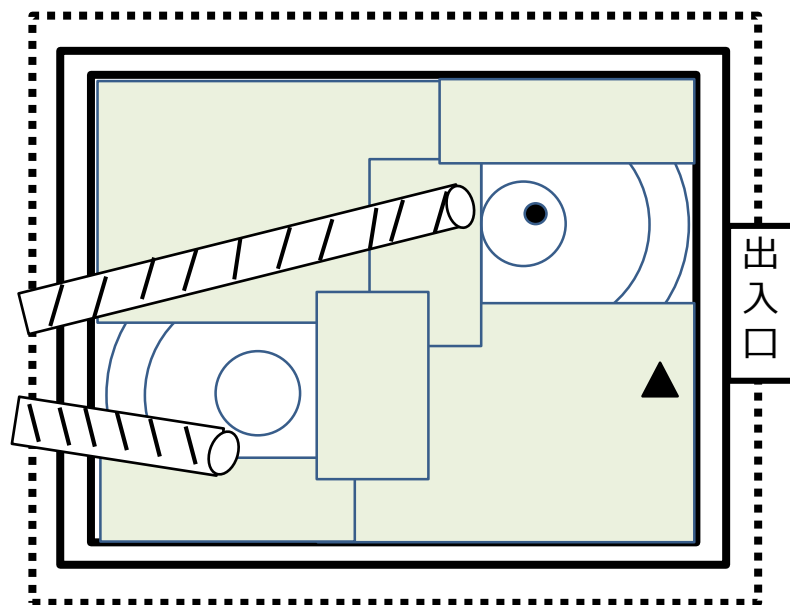


基準点まで挿入後、ゴム栓を
押し出し、採取する

【参考】防護装備の設定 (1/2)

✓ スラリー採取時過去作業のダスト測定結果について

- 2018年のスラリー採取時のダスト測定結果のうち、最も高いダスト濃度を示した際のデータは下記表の通り。
- 最も高いダスト濃度($2.38\text{E-}04\text{Bq/cm}^3$)について、Sr-90(チタン酸ストロンチウム以外の化合物)基準で当社が定める全面マスク着用上限($7.0\text{E-}03\text{Bq/cm}^3$)の1桁程度低い値である。
- また2020年に実施したスラリー採取作業時のダスト濃度($2.8\text{E-}04\text{Bq/cm}^3$)も当社が定める全面マスク着用上限の1桁程度低い値である。
- 以上よりダスト対策の装備として全面マスクは妥当と考える。



▲ : ダスト採取点

● : スラリー採取点

採取対象HIC 最大表面線量
PO641180-152 : 1.413mSv/h
PO625899-210 : 1.296mSv/h

捕集時間	検出限界値		測定結果 (Bq/cm^3)	作業内容
	Bq/cm^3	cpm		
8:00~8:10	5.65 E-05	130	<5.65E-05	作業前確認
9:10~9:20			<5.65E-05	HIC上蓋開放
9:20~9:30			2.38E-04	HICスラリ採取
9:50~10:00			<5.65E-05	HIC上蓋開放
10:00~10:10			<5.65E-05	HICスラリ採取
10:25~10:35			<5.65E-05	ハウス除染

2018年の密度測定作業時のスラリー採取時
におけるダスト測定結果抜粋

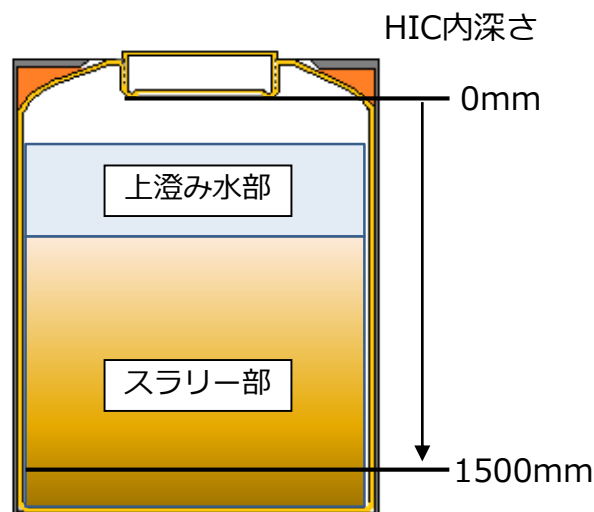
✓ 防護マスクの設定について

- 線量告示別表 1（厚労省告示別表第 1）では、Sr-90(チタン酸Sr以外の化合物)の濃度限度（1年間を通して、週40時間平均して吸引すると仮定した時の濃度）は $7\text{E-}04\text{Bq/cm}^3$ 。
- 当社使用の全面マスク（ろ過式全面形の防じんマスク）は、厚労省通達「防じんマスクの規格」の区分RL3の適合品（国検定品）。
- このため、防護係数は $P=50$ (防護係数を実測しない場合の指定防護係数：漏れ率2%・粒子捕集効率99.9%)。
- 上記 2 点により、電離則等の法令上のろ過式全面形区分RL3は**告示濃度の50倍**が使用の許容範囲。
- 一方で当社の全面マスク着用基準（上限）は $7\text{E-}03\text{Bq/cm}^3$ は告示濃度限度の10倍。
- 放射線防護上の対策と組みわせることで、全面マスク着用基準は安全な管理値といえる。

✓ 管理的対策について

前述の工学的対策に加え、以下の管理的対策を取る。

- 全面マスクの使用前点検、装着時のリークチェックの実施
- 作業時間の管理
- 蓋開放時及び作業中の作業環境モニタリング → 異常を確認した場合には作業の中断
- 作業エリアからの退出時における装備除染の徹底



HIC内の上澄み水とスラリーのイメージ図

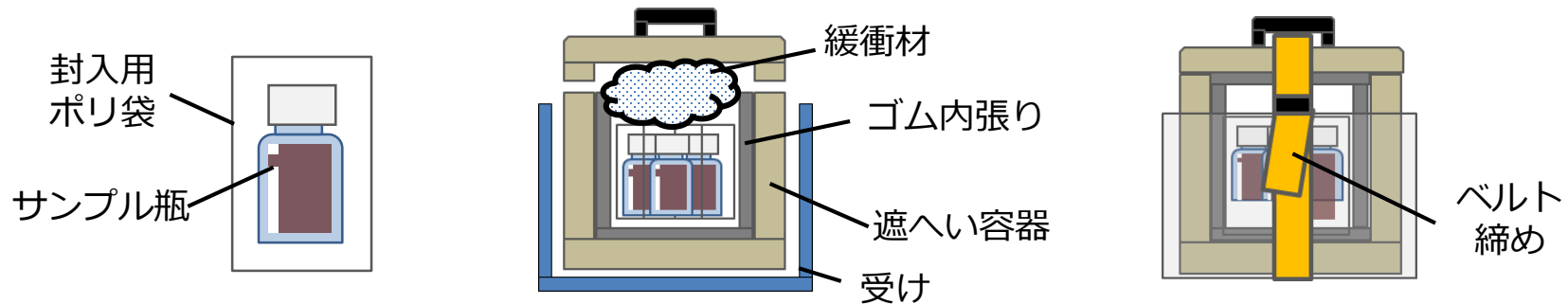
HIC No. PO646393-172

HIC内深さ [mm]	固液比[wt%]		固液比[vol%]	
	固体	液体	固体	液体
900	15.7	84.3	6.8	93.2
1000	22.7	77.3	10.4	89.6
1500	23.6	76.4	10.9	89.1

スラリーの固液分析結果 (測定機関：JAEA)

- ALPSにおいてはHIC内へスラリー充填後、フラッシング水を投入するためHIC内部には上澄み水が存在する。またスラリーの分析結果(上記表参照)よりスラリー固液比 [wt%] はおおそ2:8と含水率が高い。
- HIC内の上澄み水より上部に付着したスラリーが保管中に乾燥してダスト化する可能性がある。そのため蓋を開放しての作業時は局所排風機吸気口の設置と、作業エリアのダスト測定を行う。
- 防護装備は全面マスク、ゴム手袋、カバーオール、アノラック上下、ヘルメット、長靴、また高線量のスラリーサンプルを扱う際はβ線遮蔽手袋、面体シールドを追加する。
- ゴム手袋は汚染拡大防止の観点から交換をまめに行う。

➤ 遮へい容器を用いての増設ALPS建屋へのサンプル移送



移送用遮へい容器イメージ

- 移送用車両内は養生を行う。
- サンプル瓶保持者はベータ線対策としてベータ線遮へい手袋を着用する。
- サンプル瓶は個別にポリ袋で包装のうえで蓋つき遮へい容器に格納し、受けと共にベルト締めする。
- 車両内で遮へい容器がみだりに動かないよう、固縛する。
- 最大移送量は1回で約420mLで、万が一移送中に漏えいしたとしてもスラリーはゴム内張りされた移送容器中に留まる。

➤ 密度の分析とサンプルの廃棄

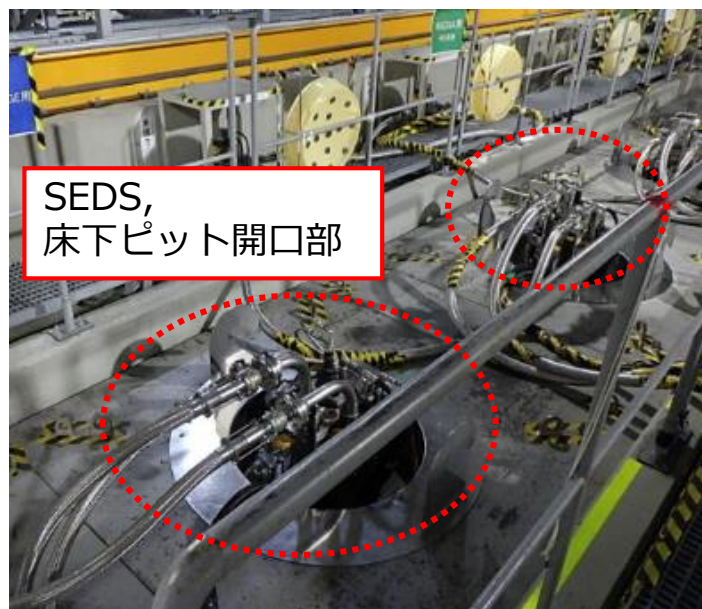


仮設ハウス外観

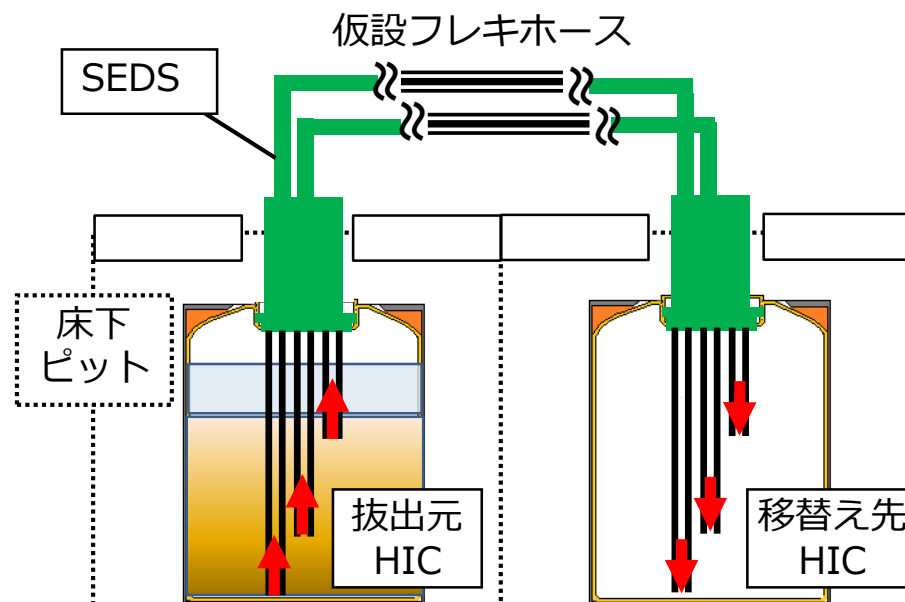
- 増設ALPS建屋内に仮設ハウスを設置し、人が立ち入れないよう区画と表示を行う。
- サンプル瓶保持者はベータ線対策としてベータ線遮へい手袋を着用する。
- 増設ALPS建屋へサンプル移送後、区画されたハウス内でボトルプロテクター内にサンプル瓶をいれて1週間静置する。
- 静置後、スラリー量を50mLに調整し、密度分析を行う。
- 密度分析完了後、養生を施した排水サンプエリアで試料をろ過水で1/100以上に希釈の上で、排水サンプへ廃棄する。

4-1. HICからのスラリー抽出、移替え

- ・ 増設ALPSの「スラリー払い出し装置(SEDS)※」を用いてHICからのスラリー抽出と移替えを行う。
- ・ スラリー抽出後、ファイバーカメラおよび治具でHIC内部を可視範囲で確認。



SEDSと床下ピット上面外観



移替え時のSEDSとHICイメージ図

※SEDSは以下用途で通常使用している。

- ・ ALPS系統から排出される炭酸塩・鉄共沈スラリーならびに各メディアのHICへの充填。
- ・ 各メディアをHICへ充填後の上澄み水の脱水。

① 準備作業

- ・作業エリアの区画 ・資機材搬入、準備 ・クレーン点検

② 移替え対象HICの移送

- ・門型クレーンでのBC開放 ・対象HIC、未使用HICの増設ALPS建屋への移送

③ スラリー移替え

- ・スラリー払い出し装置(SEDSS)のライン変更 ・移送ラインの養生
- ・HICへのSEDSS取付 ・対象HICから未使用HICへのスラリー移送

④ 移替え後の状態確認

- ・SEDSS切り離し ・HIC内部確認

⑤ 移替え完了後のHIC移送

- ・移替え完了後のHICを保管施設へ移送する

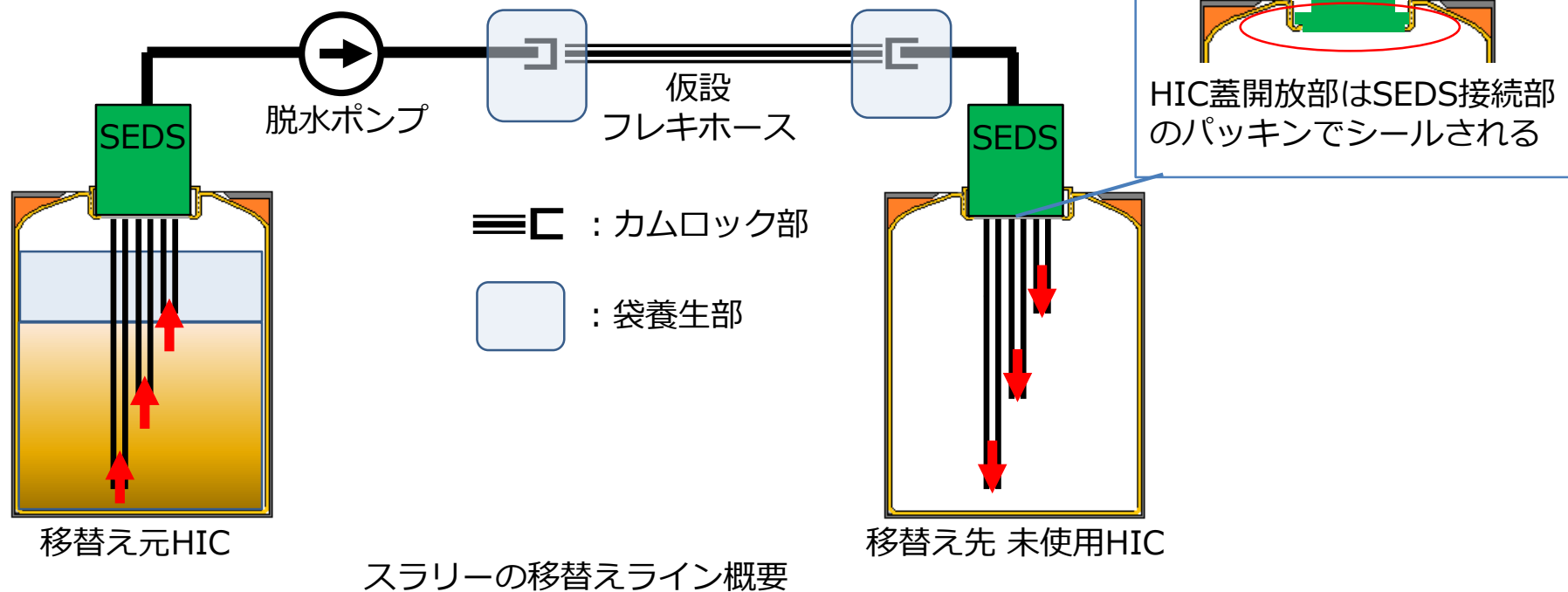
⑥ 後片付け

- ・養生撤去、片づけ

 スラリーを取扱う③～④の作業における被ばく対策を次ページ以降に示す。

4-3-③. スラリー移替え

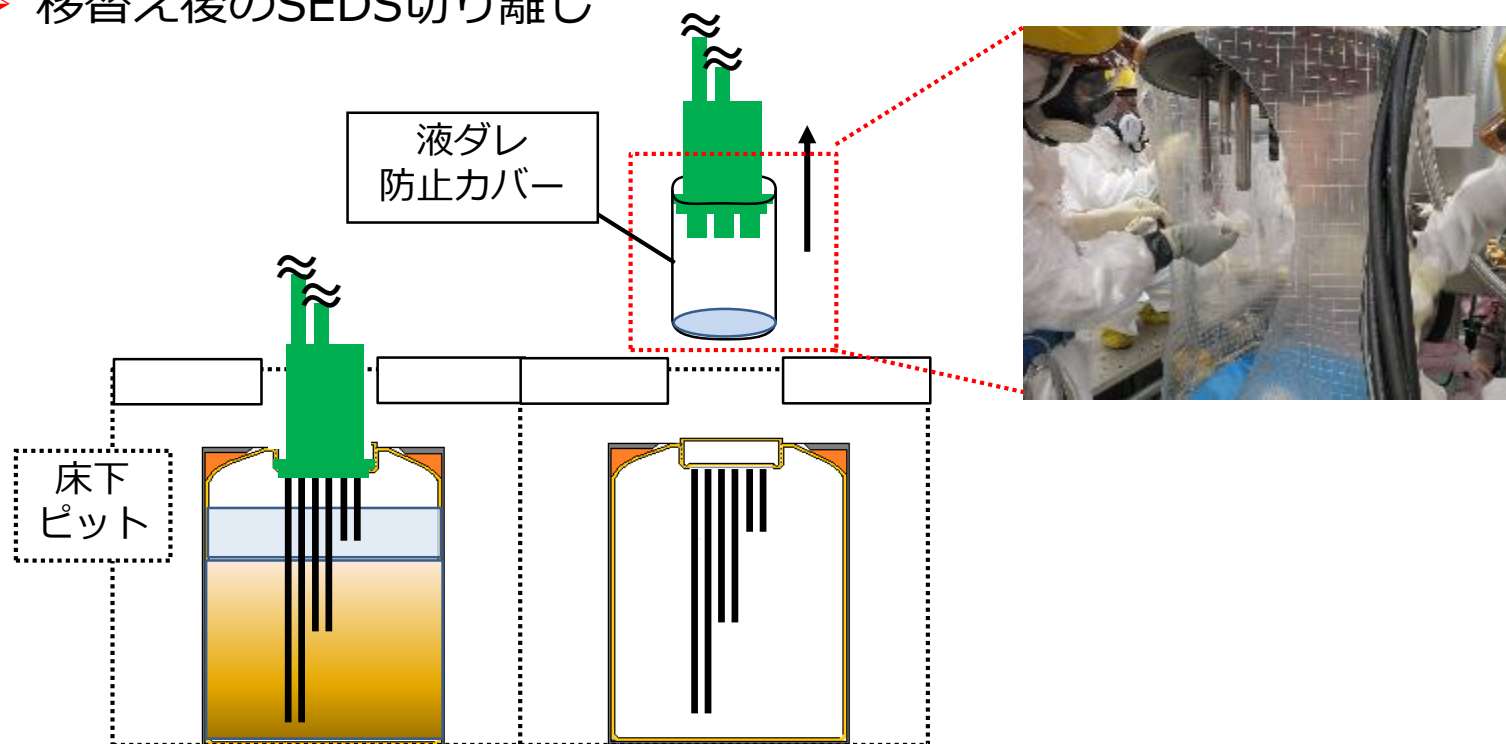
➤ スラリー払い出し装置のライン変更と移替えラインの養生



- 増設ALPSのSEDSのスラリー充填及び脱水用ラインを一部仮設フレキホースで変更し、HIC間でスラリーを移替える。
- 漏えい防止の観点から、仮設フレキホース接続前にカムロック部パッキンを目視点検し、異常がないことを確認する。
- カムロック部は袋養生し、移送中は漏えいが無いかの監視を行う。
- 移送完了後、SEDS配管内はフラッシングとエアブローを行うことで作業エリアの雰囲気線量の上昇を防ぐ。

4-3-④. 移替え後の状態確認(1/2)

➤ 移替え後のSEDS切り離し

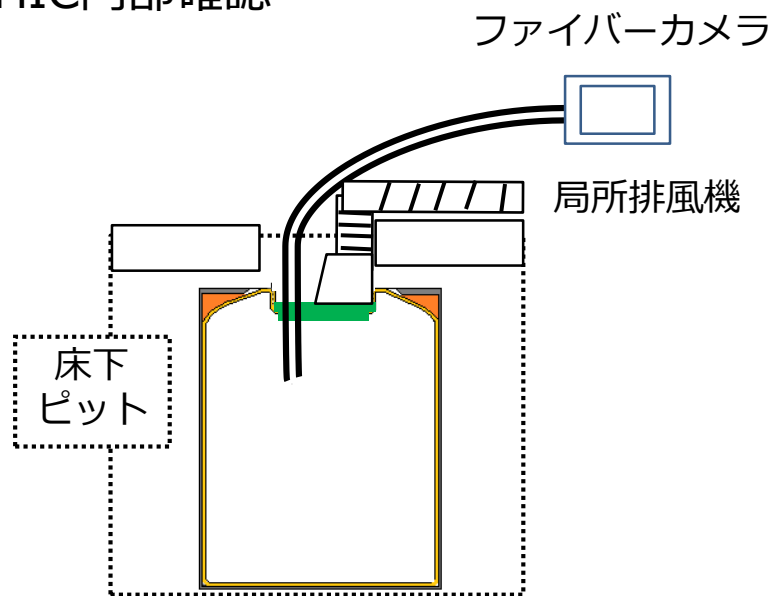


SEDS切り離し作業概要

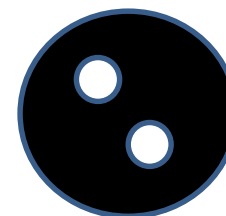
- 液ダレ防止カバーを切り離し時にSEDSに装着することで、接液していたSEDS配管部からの放射性物質の飛散を防ぐ。
- 作業エリアでダスト測定を行い、管理値を超過あるいは接近するようであれば作業を中止する。

4-3-④. 移替え後の状態確認(2/2)

➤ HIC内部確認



HIC内部確認作業イメージ図



3mm厚のゴムシートに
確認用の穴のみくり抜き
フィルパン上に設置

- ダスト測定を行いながら、フィルパン孔よりファイバーカメラを挿入してHIC内部を確認する。
- 作業時、ダスト対策として使用しないフィルパン孔をゴム遮蔽で塞いだうえで局所排風機を設置する。

HIC についての共通認識

令和 3 年 5 月 1 4 日
原子力規制庁
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

1. はじめに

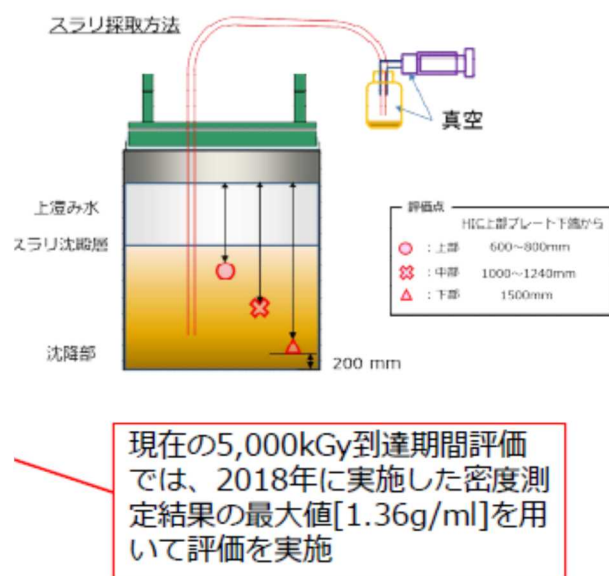
HIC の状況について共通認識を持つために、関係する状況を整理した。

2. 分っていること

2-1 炭酸塩スラリーの沈殿

HIC に収納された炭酸塩スラリーが時間の経過と共に下部に沈殿することは、過去の研究からも、これまでの測定結果からも明らかである。

2018 年 3 月の測定では、HIC 下部から 2 cm よりも高い位置でかさ密度 1.36 g/cm^3 という結果が得られている。2 cm より下部は沈殿の程度が大きく、かさ密度はより高いと考えられる。東電の図でもそのことを認識している。



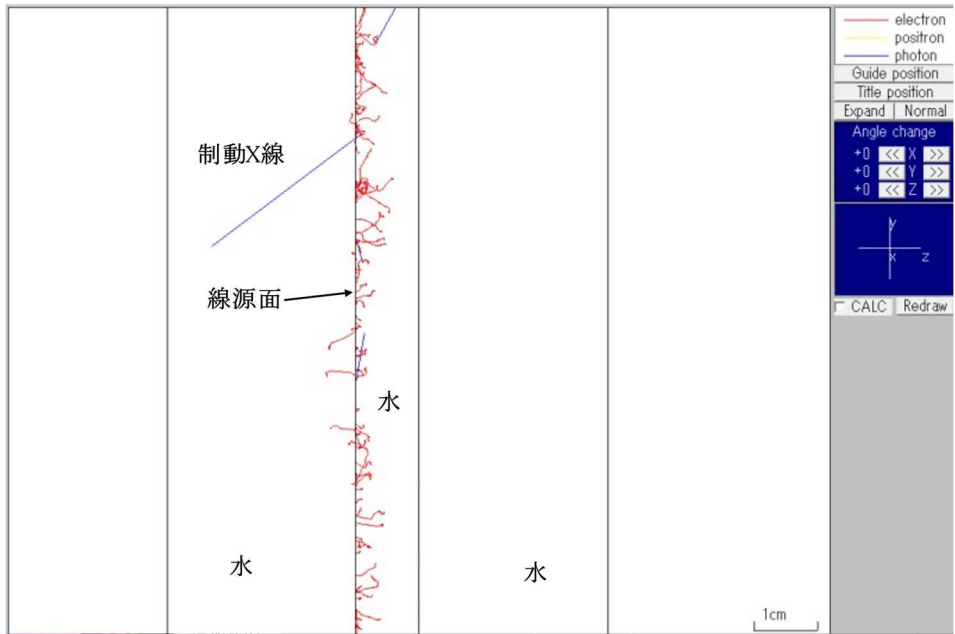
第 1 図 2018 年 3 月の測定図

2-2 HIC 下部の β 線による損傷に寄与する領域

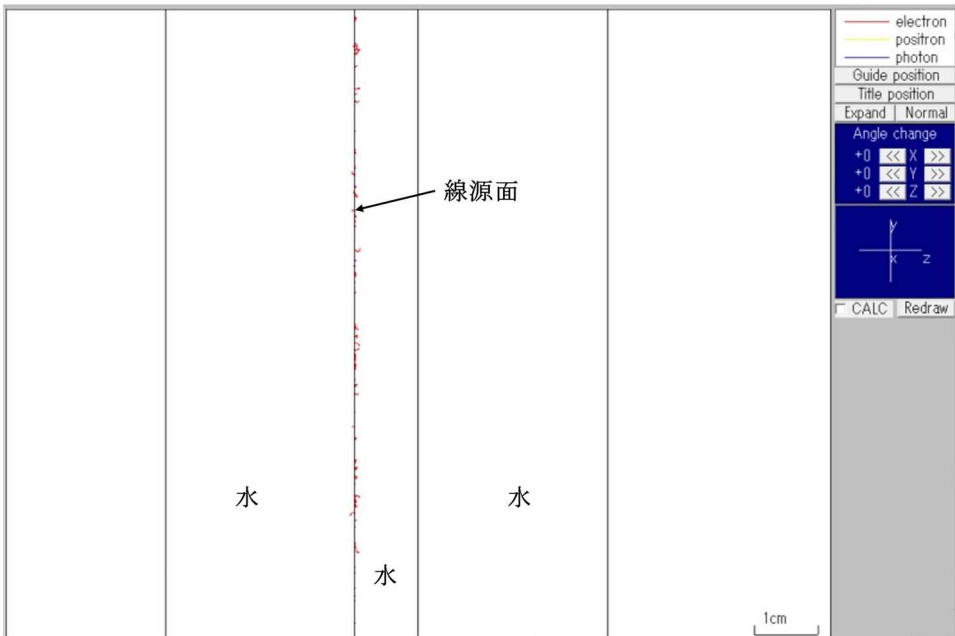
エネルギーが高い Y-90 の β 線でも 1 g/cm^2 の物質があると HIC 表面には到達しない。このことを理解するために、第 2 図に egs5 を使って求めた水中での Y-90 及び Sr-90 からの β 線の飛跡を示す。Y-90 からの β 線でも 1 cm の水を透過することが出来ないことが分る。かさ密度が高くなると、影響する領域の cm 単位の厚さは更に短くなる。密度が 1.5 の

場合には 0.67 cm、1.7 の場合は 0.59 cm の領域である。炭酸塩スラリーが 50 %の水分を含む場合のかさ密度が 1.77 g/cm³ であるので、HIC の底面近傍のかさ密度が 1.7 以上と仮定することは、過大な評価ではない。

Y-90 β線(50個)の水中での飛跡



Sr-90 β線(50個)の水中での飛跡



第 2 図 水中での Y-90 β線及び Sr-90 β線の飛跡

2-3 HIC に収納された Sr-90 濃度

同じタンクの水を処理した場合でも、個々の HIC に収納された Sr-90 濃度は異なる。収納された Sr-90 濃度を反映している情報としては、HIC 収納時に測定した表面での周辺線量当量率である。線量率の測定は、高さを変えて実施されているので、その最大値を使えば、Sr-90 濃度を過小評価することはない。表面での周辺線量当量率から Sr-90 濃度への換算は、IRID/JAEA が測定した Sr-90 濃度と当該 HIC の収納時の最大表面周辺線量当量率から求めた「 $7.0\text{E}+06 \text{ Bq/cm}^3 \text{ per mSv/h}$ 」を使用できる。

2-4 Sr-90 濃度から求めた HIC 表面での吸収線量率

2-2 から分るように、かさ密度により表面での吸収線量率に寄与する厚さが異なるので、Sr-90 濃度から求めた吸収線量も異なる。東電から提示された MCNP による結果と egs5 による結果は、条件を同じにすればほぼ同じ結果になる。また、egs5 で水の密度を変えて計算した結果から、Sr-90 濃度当たりの吸収線量率は密度に反比例する。そこで、通常の密度 1 g/cm^3 について egs5 で計算した結果とかさ密度を用いて、当該かさ密度の場合の Sr-90 濃度から HIC 表面での吸収線量率の換算係数を求めて使用するのが合理的である。

2-5 下部表面での吸収線量が 5000 kGy を超える HIC

上記から第 2 施設及び第 3 施設に保管されている HIC について、かさ密度を 1.7 とした場合の濃縮率を使用し、Sr-90 の半減期を考慮して推定すると、第 2 施設保管で 10 機、第 3 施設で 8 機の HIC がすでに 5000 kGy を超えていることになる。更に、2 年後までには第 2 施設で 11 機の、第 3 施設で 35 機の HIC が 5000 kGy を超える。

3. 対応策

3-1 炭酸塩スラリーの状況把握

どのような対応策をとるかに係わらず、HIC 下部に沈殿している炭酸塩スラリーが、「どこまで沈殿しているか」、「攪拌により容易に元に近い状態に戻るのか」等の情報を知ることが必要である。コールド試験が望ましいが、時間の効果を入れた試験結果を短時間得ることは難しいので、できる限り濃度の低い HIC で保管時間が長いものを選び、「十分な安全対策を立てた上で調査」を行なうのが現実的である。第 2 施設収納の HIC について見ると、第 1 表に示す HIC が候補として考えられる。参考のために第 2 施設で保管されている最も濃度が高い「PO646393-209」と比べると $1/4000$ から $1/8000$ である。相対的に少ないとはいえ、総量では 10 GBq 以上の Sr-90/Y-90 なので、「調査方法」と「安全対策」には十分な検討が必要である。

3-2 攪拌により容易に元に近い状況になる場合

高濃度の Sr-90 を扱うことから、手法などについては十分な対策を行なった上で、新しい HIC（又は、より適切な容器があればそれに）移し替えるのが現実的である。

計画されている「処理施設」は、扱う対象の Sr-90 濃度を考えると現実的に機能するものとは考えがたい。また、仮に予定通りに運用されたとしても、稼働予定の 2 年後までに多くの HIC が目安線量である 5000 kGy を超えることから現実的でない。

3-3 炭酸塩スラリーが固まっている場合

固化しているのであれば、上部の液体部を除く方法が見つければ、除いて別の HIC に収納する方法が考えられる。液体部の多くが除かれれば、徐々に吸着材に近い状況となる可能性がある。

固化した物を溶かすことができれば、上記の場合と同じ手法で、別の HIC に移し替えるのが現実的である。溶かす手法の検討では、非常に高濃度の Sr-90 を扱うことになるので、安全に出来るかどうかの考慮が不可欠である。なお、炭酸塩の沈殿である場合は比較的安定な状態であると言える。

第 1 表 相対的に濃度の低い HIC

HICシリアルNo.	通水終了日	最大表面	収納時	沈殿時かさ密度1.5 g/cm ³ (濃縮率 5.7)			沈殿時かさ密度1.7 g/cm ³ (濃縮率 8.0)		
		線量率	Sr-90 濃度	Sr-90	吸収線量率		Sr-90	吸収線量率	
		(mSv/h)	(Bq/cm ³)	濃度	Gy per Bq/cm ³	Gy/h	濃度	Gy per Bq/cm ³	Gy/h
625899-143	2013/12/28	0.0033	2.3E+04	1.3E+05	2.15E-07	0.028	1.9E+05	1.90E-07	0.035
PO641180-162	2014/10/14	0.0032	2.3E+04	1.3E+05	2.15E-07	0.028	1.8E+05	1.90E-07	0.035
625899-313	2014/1/6	0.002	1.4E+04	8.0E+04	2.15E-07	0.017	1.1E+05	1.90E-07	0.021
625899-188	2013/12/19	0.0015	1.1E+04	6.0E+04	2.15E-07	0.013	8.4E+04	1.90E-07	0.016
最も高濃度									
PO646393-209	2014/11/6	13.24	9.3E+07	5.3E+08	2.15E-07	114.263	7.4E+08	1.90E-07	141.503