

【廃炉・汚染水・処理水対策事業】
SARRY、KURIONからの吸着材採取について

東京電力ホールディングス(株)

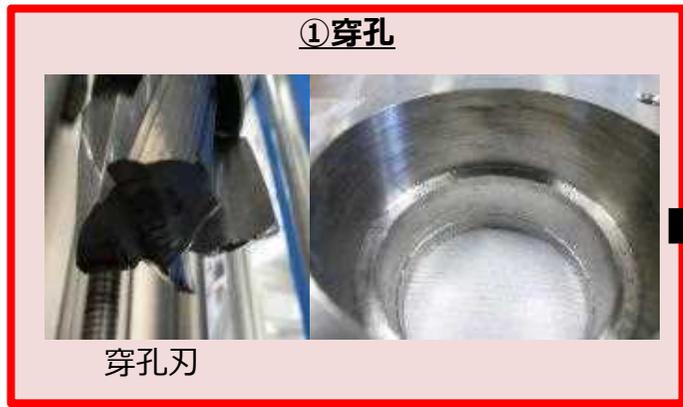
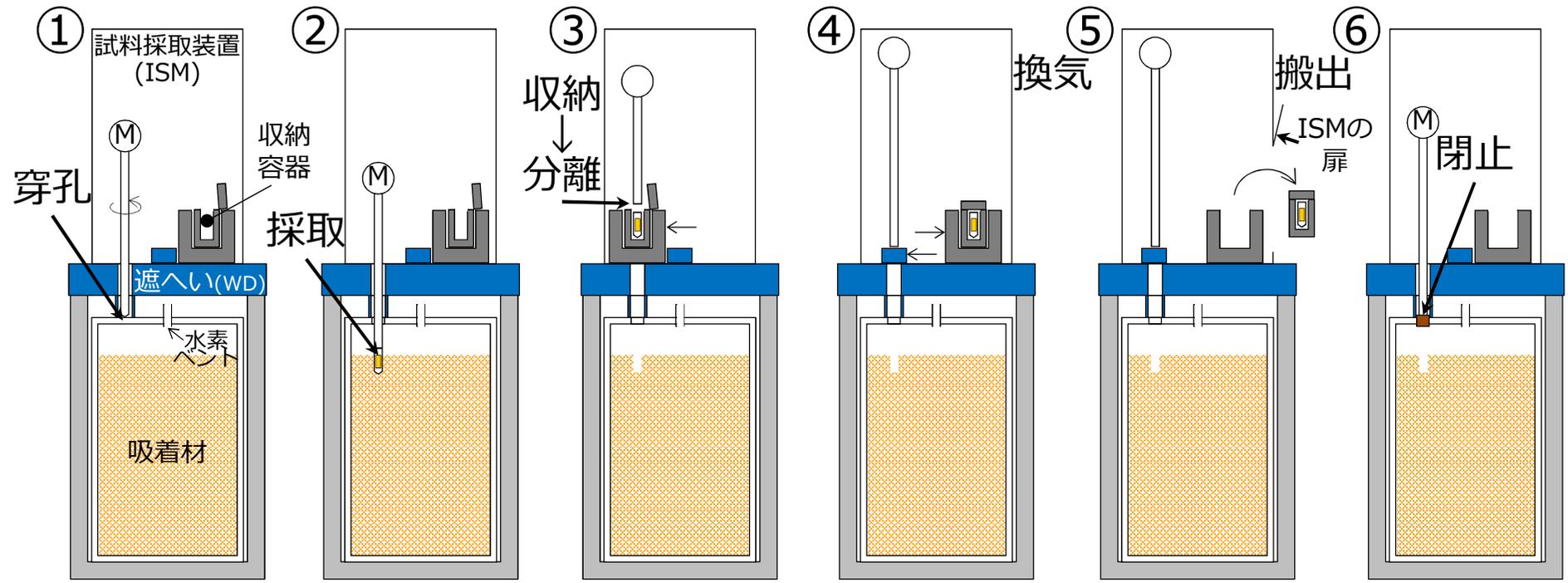
2023年3月10日

TEPCO

本資料は、国際廃炉研究開発機構(IRID)が補助事業者として実施している令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(セシウム吸着塔からの吸着材採取技術及び固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発))」の一部に関する計画を示すものであり、同じく過年度の「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」の成果の一部を含みます。

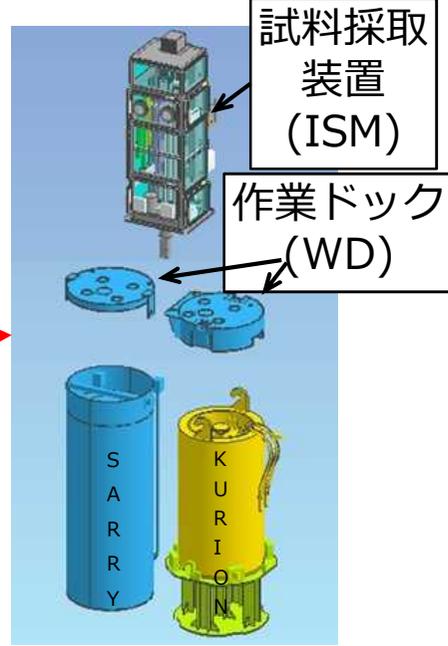
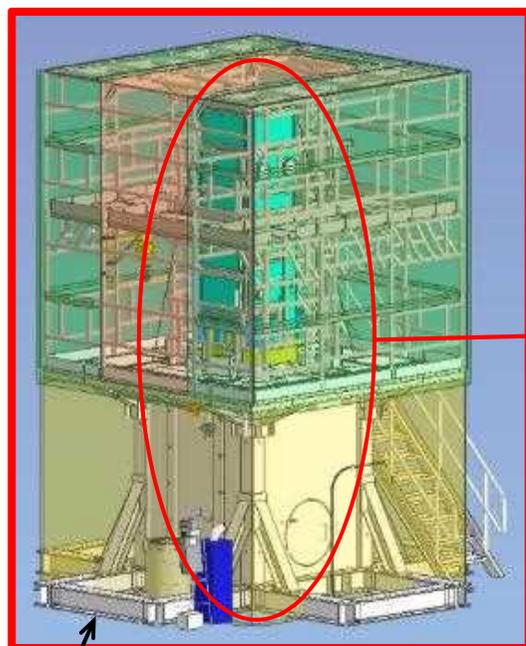
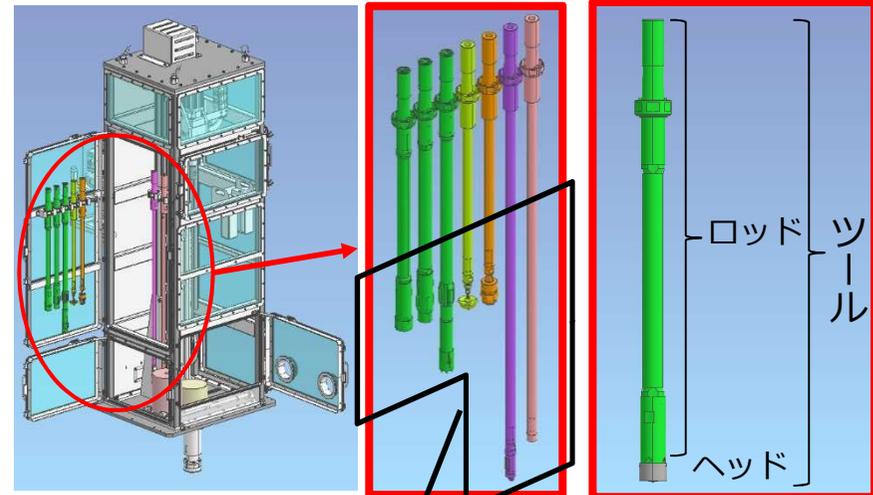
The logo for IRID (International Reactor Innovation and Development) and ATOX (Advanced Technology for Oxidation) is displayed. IRID is in blue text, and ATOX is in blue text with a stylized blue wave-like graphic underneath.

吸着材採取のステップ



試料採取装置の構成要素と機能

| 構成要素 | 機能 |
|--------------|--|
| 試料採取装置 (ISM) | 作業ドック上部に本装置を設置し、KURION・SARRY両吸着塔のサンプリングに対応する、縦型ボール盤状の装置。「吸着塔の穿孔」、「試料の採取」、「穿孔部の閉止」のサンプリング一連作業を実施でき、グローブボックス状の機能を持つ。 |
| 作業ドック (WD) | 試料採取装置を吸着塔に設置するための接続装置である。遮蔽機能を有し、吸着塔上部からの放射線を遮蔽する。 |
| 作業架台 (WS) | 吸着塔を安定的に支持するとともに、試料採取装置周辺での作業床を確保するための専用架台。 |



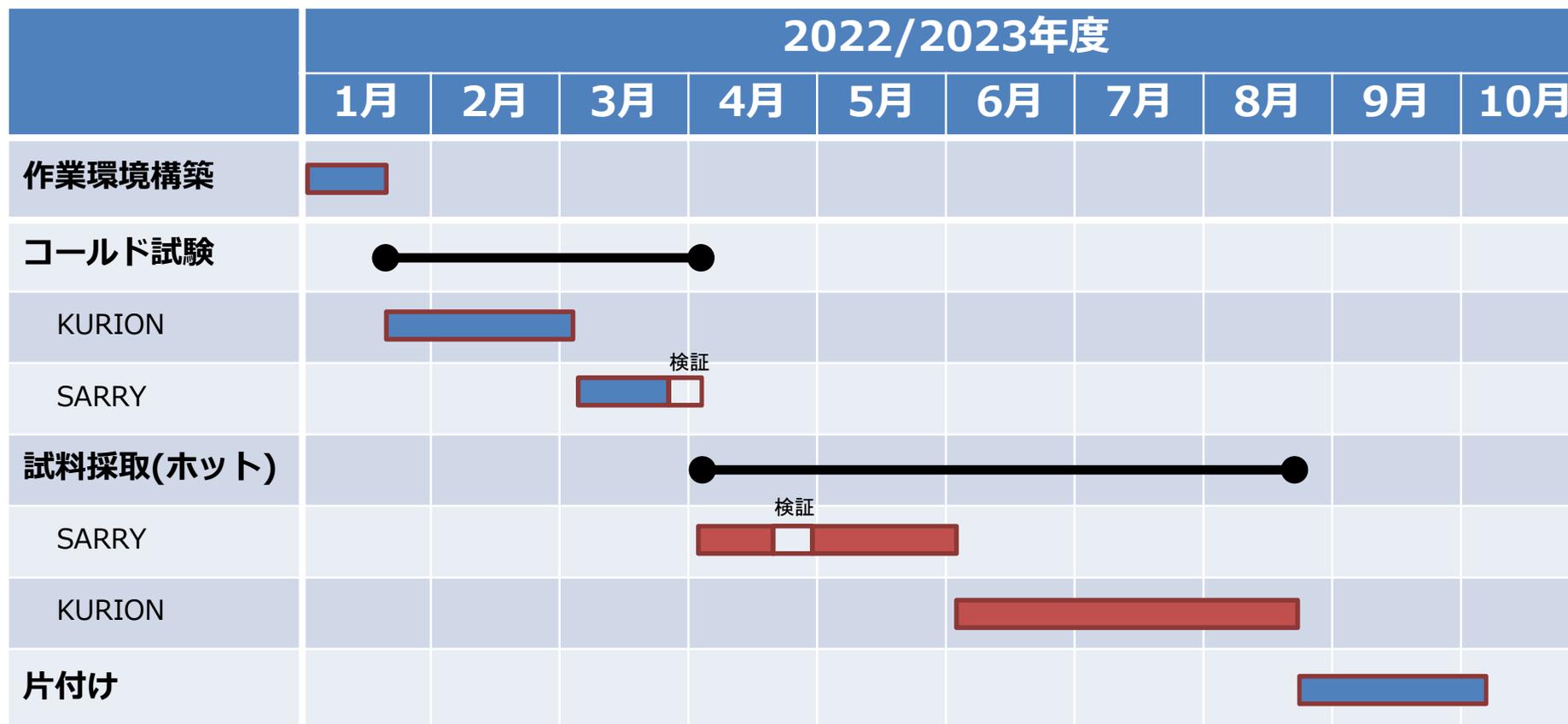
作業架台(WS)

全体構成

ISMの専用ツール

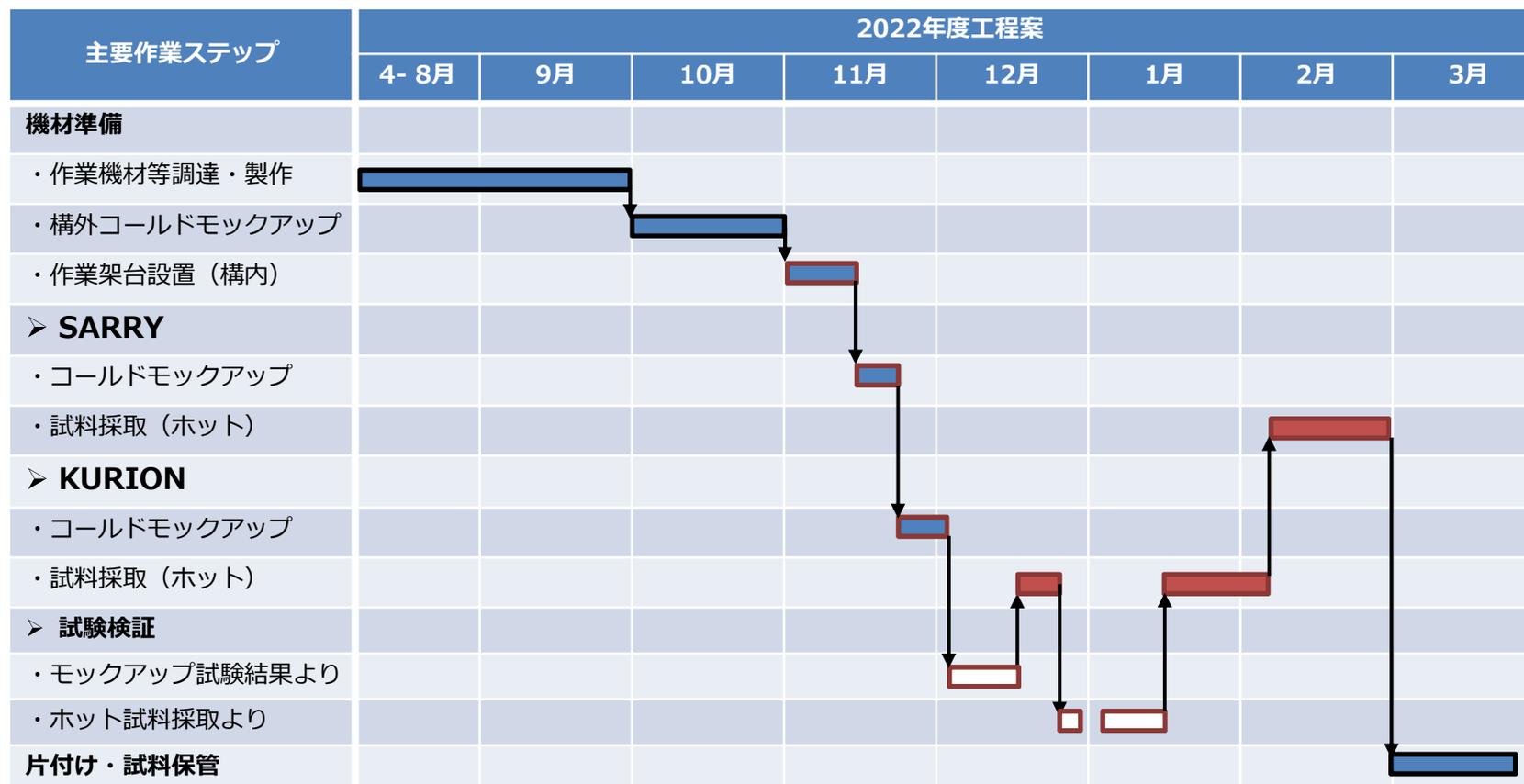


本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)の成果を活用しております。

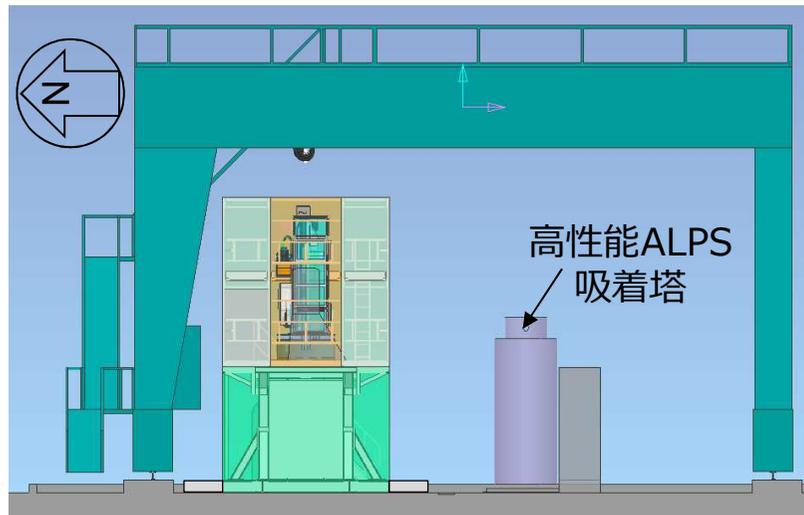


- 被ばく評価の精緻化、現地着工前の安全評価の充実に伴い開始を後送り
 - 新技術、新工法を導入して行う作業であり、安全事前評価会議での評価を工事主管GMが決定
- 熱中症対策期間中の作業となることから、一日の作業量を制限→工期延長※
 - 試料採取対象吸着塔数(8基)には変更なし (※4月以降の工期延長については、現在、関係者調整中。)

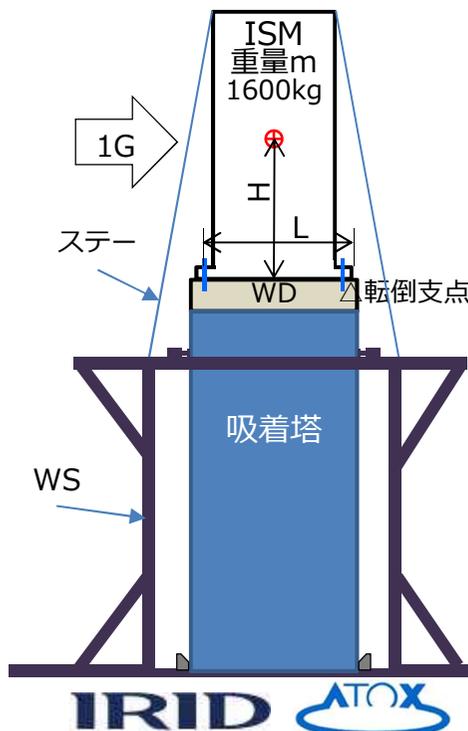
【参考】 前回面談時の想定工程



既設設備への波及的影響の追加評価



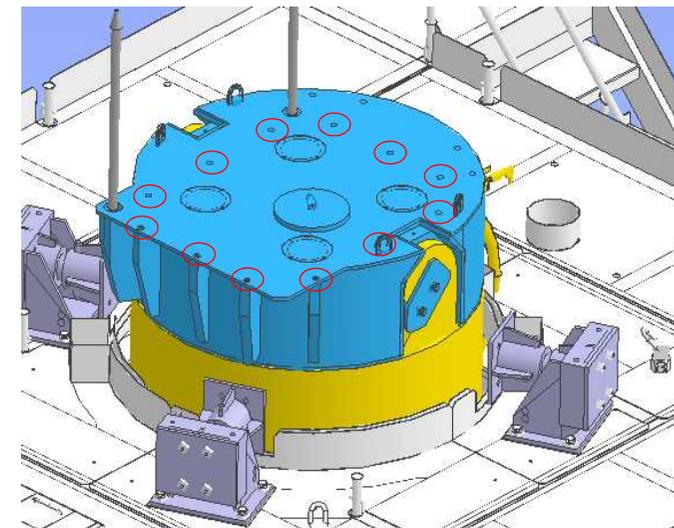
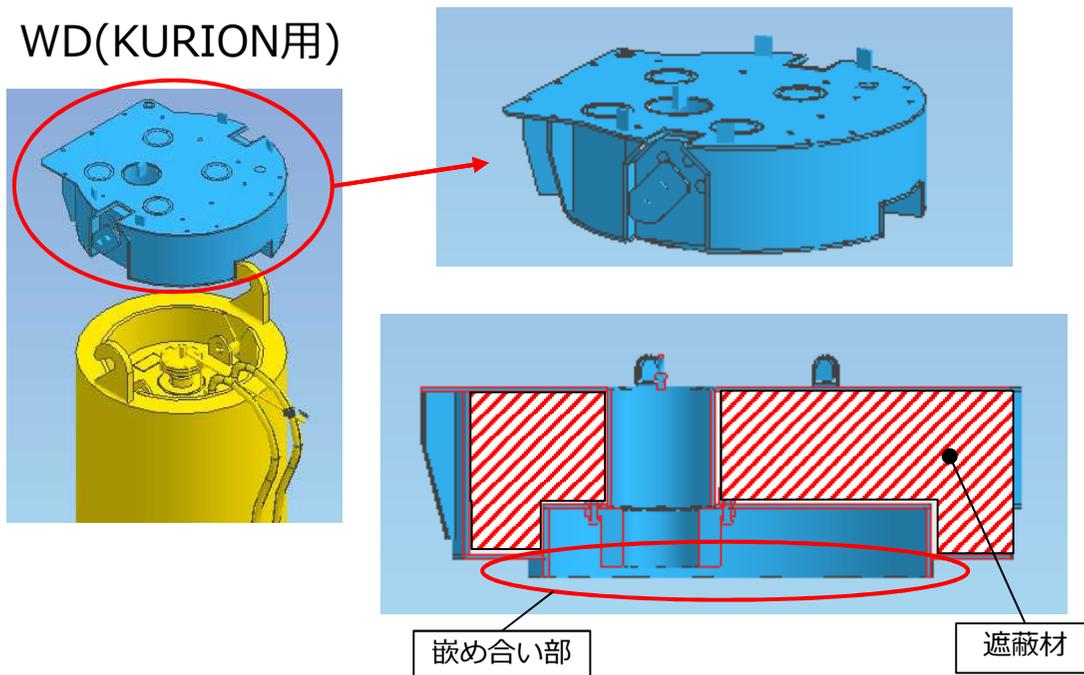
- 試料採取対象吸着塔、試料採取装置等並びに支持構造物は床版に強固に固定(前回ご説明)
- 試料採取装置が分離して既設設備側へ倒壊しないことを今回ご説明
- 取扱いインベントリーが小さいISM単体は耐震クラスC相当であるが、 $C_H = 1G$ で評価
- 強度評価には3.7倍の余裕があるが、念のためステーを張って万全を期している



- WDは吸着塔の吊具部に締結される。
- ISMはその基板をWDにボルト結合する(M16、四辺に各3本)
- ボルトの引張荷重が最大(Lが最小)となる向きについて評価
- 転倒モーメント $mgH = 1600 \times 9.8 \times 1.088(m) = 17.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- ボルトにかかる引張応力 $\sigma = mgH / 3 / L / A = 41.6 \text{ MPa}$
 - Lの最小値は0.915m、 $A = 149.4 \text{ mm}^2$ (M16のねじ底径13.8mm)
 - 保守的に、自重による安定モーメントは無視している
- ボルト材(SS400)の許容引張応力 $F = 156.6 \text{ MPa}$
- 安全率 $= F / \sigma = 156.6 / 41.6 = 3.7$ 倍
(ボルト12本で支持されるせん断安全率は10.2倍(計算省略))

【装置の概要】 作業ドック(WD)

WD(KURION用)



- WDは吸着塔側と嵌め合い構造を有し、吸着塔側の吊り具部(KURION約18t、SARRY約25tを支持)に締結される
- 赤丸(○)部のボルト孔でWD上にISMが固定される

| 項目 | 作業ドック (WD) |
|-------|---|
| 目的・役割 | 吸着塔の上面に設置し、ISMと吸着塔の位置合わせ、及び遮蔽体の役割を持つ。 |
| 機能 | KURION、SARRYで吸着塔上面の構造が異なるためそれぞれ専用設計とする。遮蔽能力、ISM、吸着塔と接続するための、ガイド機構、締結機構を有する。 |
| 設置 | 天井クレーンにて設置する。 |

【参考】取扱いインベントリー(概算)

- 表面線量率0.8mSv/hのSARRYには ^{137}Cs が $3.4\text{E}15\text{Bq}$ 吸着し、充填量を保守的に(少なめに) 1m^3 としてそのうち20mLを採取するものと設定
 - SARRYでは ^{137}Cs が $3.0\text{E}15\text{Bq}$ の時に表面線量率0.7mSv/hとの関係
 - ^{137}Cs は無減衰で評価。 ^{134}Cs は5.5半減期経過しているため無視する
- 上記の場合、採取サンプル中のインベントリーは $^{137}\text{Cs} : 6.9\text{E}10\text{Bq}$
- 取扱い時にこれが無遮蔽となった場合、最寄り敷地境界であるBP70(距離約400m)への直スラ線影響(QADによる計算値)は $7.7\text{E}-3\mu\text{Sv/h}$
- 事象収束時間(吸引回収あるいは追加遮蔽)を6hrとすると、線量は $4.6\text{E}-2\mu\text{Sv/事象}$ (≪ $50\mu\text{Sv}$)
(サンプルは固体であり、グローブボックス状のISM、仮設ハウス、建屋で覆う計画であることから、ダスト成分の敷地境界外への放出・取込みは無いものとした)

統合試験・トレーニング

- JAEA櫛葉遠隔技術開発センターにて、未使用の実吸着塔3基を含め、すべての設備を統合した実規模モックアップ試験、作業予定者による習熟訓練を実施。



試料採取環境の構築



KURION吸着塔



実吸着塔の遠隔設置



換気ユニットの換気風量確認

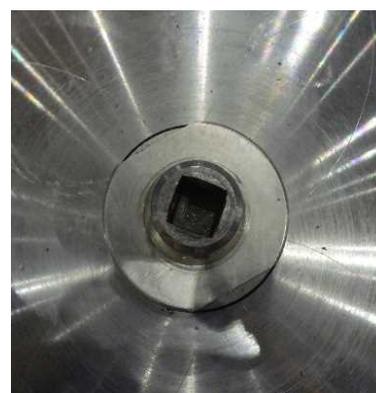


穿孔穴の内視鏡観察画面



サンプリングヘッド

採取吸着材



閉止栓取付

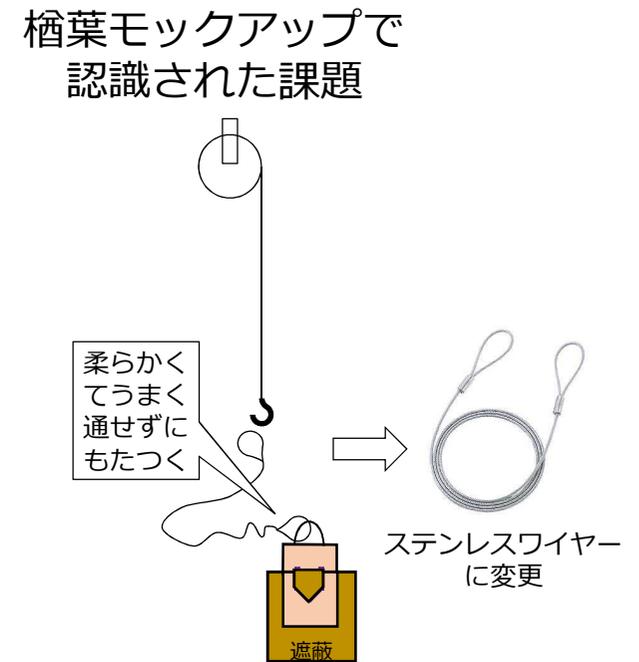
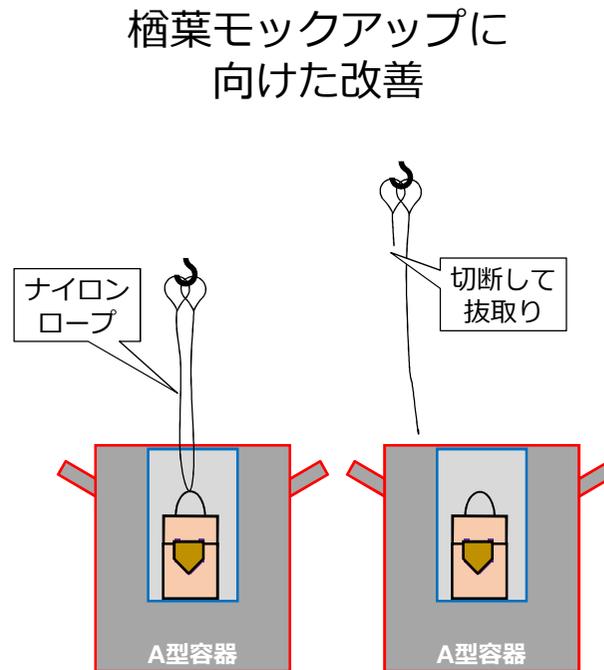
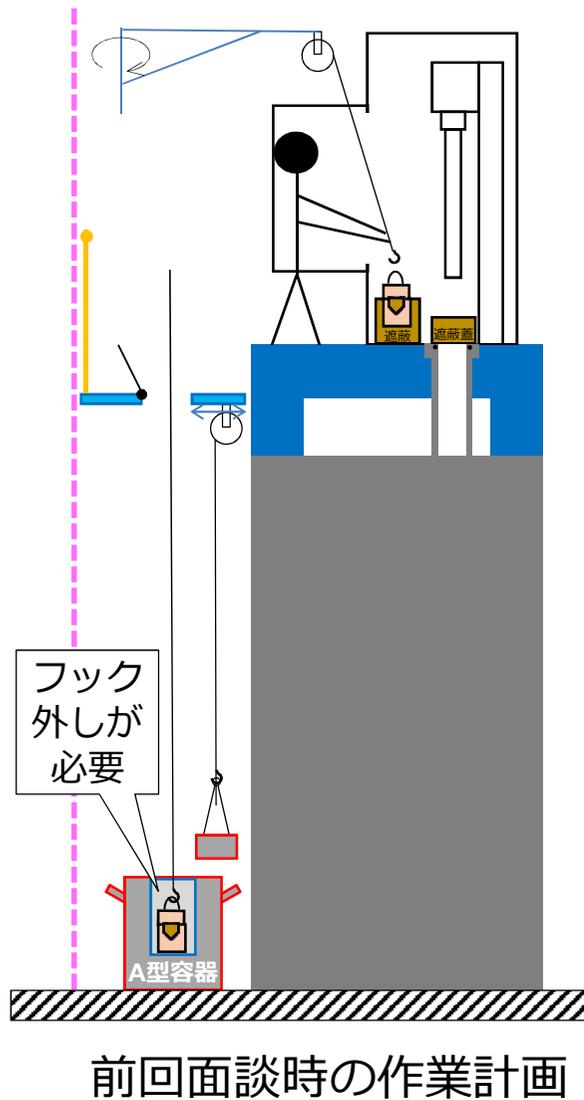


防護装備を着用しての訓練

- 高線量な採取サンプル収納容器を保管容器に収納するまでの手順の短縮余地を認識
 - 対応の詳細は次ページ

サンプル入り収納容器の保管容器(A型容器)への格納

- ISM内から収納容器を取出し安全に保管容器に格納するため、電動ホイスト吊りを採用
 - 収納容器の重量(10kg弱)はホイストで支持→落下事故リスクも軽減
- 直吊りだと保管容器内でのフック外し時に手指が高被ばく
 - ナイロンロープを用いて、保管容器外での切断でスルリと抜くこととした
- 櫛葉モックアップで、ナイロンロープを収納容器吊りワイヤーに通す際のもたつきを認識→却って被ばくが増える
- 張りのあるステンレス両アイワイヤーに変更。もたつきを解消



被ばくを伴い得る重要トラブル想定

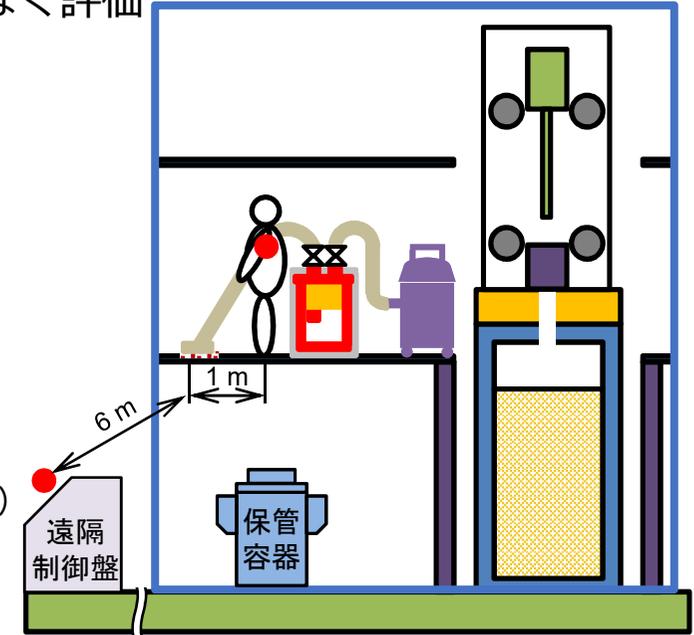
検討した評価ケースのうち、比較的被ばくの大きい作業は以下の2ケース

| | ケースA) 収納容器が落下して試料が飛散 | ケースB) 試料採取後にISM垂直モータが故障停止 |
|------|--|--|
| 発生事象 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 仮設ハウス2階の床面上に収納容器を落下させ、採取した試料が漏えい・飛散したケースを想定 ➢ 仮設ハウスで囲まれているため外部への飛散はない | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 試料採取後、試料入りサンプルングヘッドが露出した状態で垂直モータが故障し停止した状態を想定 ➢ スライド遮蔽蓋をスライドさせるとサンプルングヘッドと干渉する位置関係にあるため、スライド遮蔽蓋を閉めることもできず貫通孔から上方に放射線が出ている状態 |
| 対応手順 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ ISMの吸引回収ユニットに使用するHEPAフィルタ予備を掃除機に接続して吸引回収を行う ➢ HEPAフィルタは遮蔽を入れたドラム缶内に収納して使用 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 故障した垂直モータを外し、治具を使用して上下スライドユニットを駆動する ➢ サンプルングヘッドを取り外して収納容器に収納して回収する |

重要トラブル時の対応と作業被ばく評価（ケースA）

ケースA) 収納容器が落下して試料が漏えいした場合の作業被ばく評価

- 線源条件
 - 吸着塔：貫通孔上の遮蔽あり
 - 試料：点線源として距離による減衰を考慮
- 評価点
 - 仮設ハウス内作業側
 - 吸着塔：2階のISM外で解析値が最大となる評価点（ISM正面）
 - 試料との離間距離：1 m（掃除機ノズル長を元に安全側の値として設定）
 - 遠隔操作側
 - 吸着塔：遠隔制御盤位置
 - 試料との離間距離：6 m
（仮設ハウス端部からの距離を元に安全側の値として設定）



- 作業時間
 - トラブル発生時から片付けまでの作業ステップごと作業場所と作業時間を見積もり
- 評価結果
 - 試料の漏えいが生じても作業可能な雰囲気線量率であり、回収作業は可能

| 工程 | 作業位置 | のべ作業時間 [min] | H大 [mSv/h] | IE96大 [mSv/h] |
|---------------|----------|--------------|------------|---------------|
| 回収まで | 仮設ハウス内2階 | 53 | 1.02 | 1.05 |
| | 遠隔 | 23 | 0.007 | 0.001 |
| 回収後 | 仮設ハウス内2階 | 195 | 0.194 | 0.101 |
| | 遠隔 | 3 | 0.007 | 0.001 |
| 作業被ばく [人・mSv] | | | 1.54 | 1.26 |
| 必要最小人数 [人] | | | 3 | 3 |
| 個人最大被ばく [mSv] | | | 0.568 | 0.533 |

重要トラブル時の対応と作業被ばく評価 (ケースB)

ケースB) 試料採取後にISM垂直モータが故障した場合の作業被ばく評価

- 線源条件
 - 故障時：
 - 吸着塔：貫通孔上の遮蔽なし
 - 試料：サンプリングヘッド露出、距離減衰を考慮
 - 収納時：
 - 吸着塔、サンプリングヘッド：サンプリングヘッド分離

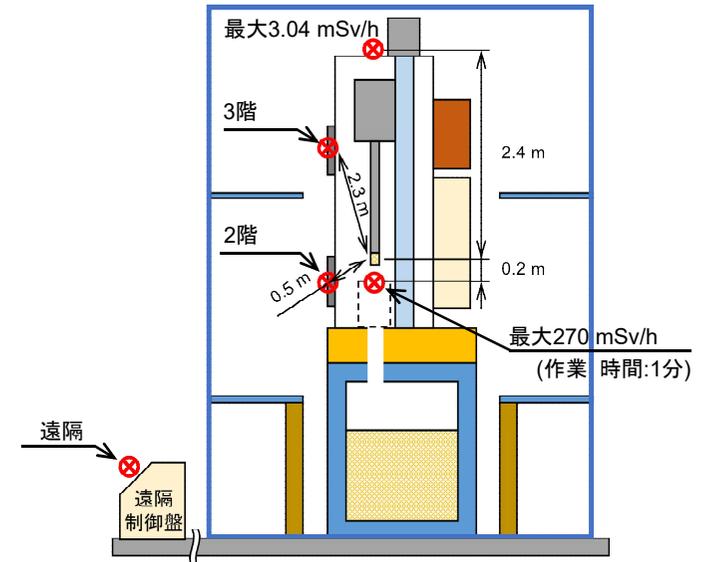
• 評価点：右図参照

• 作業時間

- トラブル発生時から片付けまでの作業ステップごと作業場所と作業時間を見積もり

• 評価結果

- 試料採取後のサンプリングヘッドが露出状態で装置が停止しても、許容被ばく内でサンプリングヘッドの収納等対応可能と評価



| 工程 | 作業位置 | のべ作業時間 [min] | H大 [mSv/h] | IE96大 [mSv/h] |
|---------------|----------|--------------|------------|---------------|
| 貫通状態 | 仮設ハウス内3階 | 48 | 0.541 | 1.06 |
| | 仮設ハウス内2階 | 1 | 3.39 | 4.26 |
| | 遠隔 | 8 | 0.018 | 0.017 |
| 貫通孔遮蔽後 | 仮設ハウス内3階 | 6 | 0.201 | 0.223 |
| | 仮設ハウス内2階 | 6 | 1.6 | 0.807 |
| 片付け | 仮設ハウス内3階 | 20 | 0.016 | 0.009 |
| 作業被ばく [人・mSv] | | | 0.678 | 1.03 |
| 必要最小人数 [人] | | | 2 | 3 |
| 個人最大被ばく [mSv] | | | 0.461 | 0.444 |

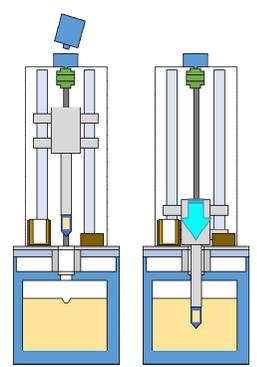
【参考】 ケースB)の作業手順詳細

• 垂直モータ故障時の作業手順

①追加の被ばく低減措置

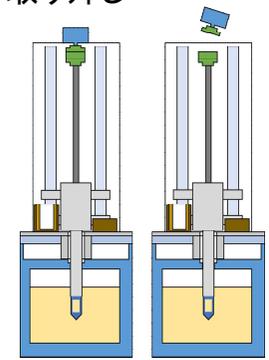
作業床とISMの間に遮蔽マットを設置する等、追加被ばく低減措置を講じる。

②垂直モータ取り外し



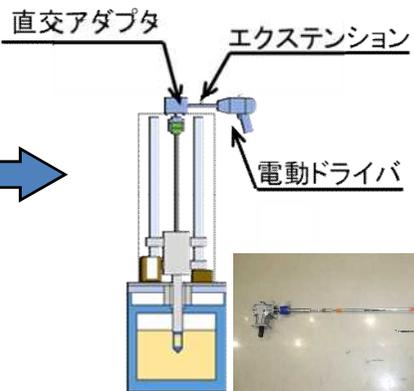
モータの内蔵ブレーキが効かなくなるため、一体となっている回転モータ、サンプリングロッド、サンプリングヘッドは自重で緩やかに下降

③フレキシブルカップリング取り外し



遮蔽蓋が電動駆動しない場合は遮蔽蓋とアクチュエータのボルト締結を解除し手でスライド可能とする

④緊急垂直駆動ツールの取付け

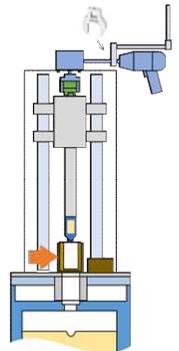


緊急垂直駆動ツール

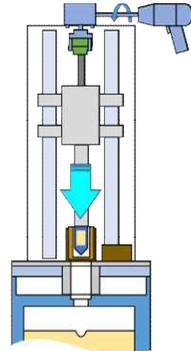
⑤緊急垂直駆動ツールによりSH*上昇



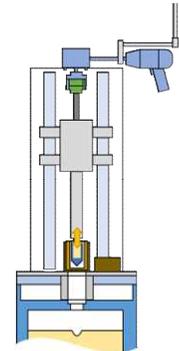
⑥収納容器を移動



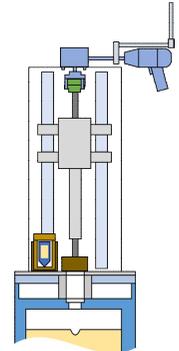
⑦SH*を降下、収納容器へ収納



⑧SH*、ロッドを分離



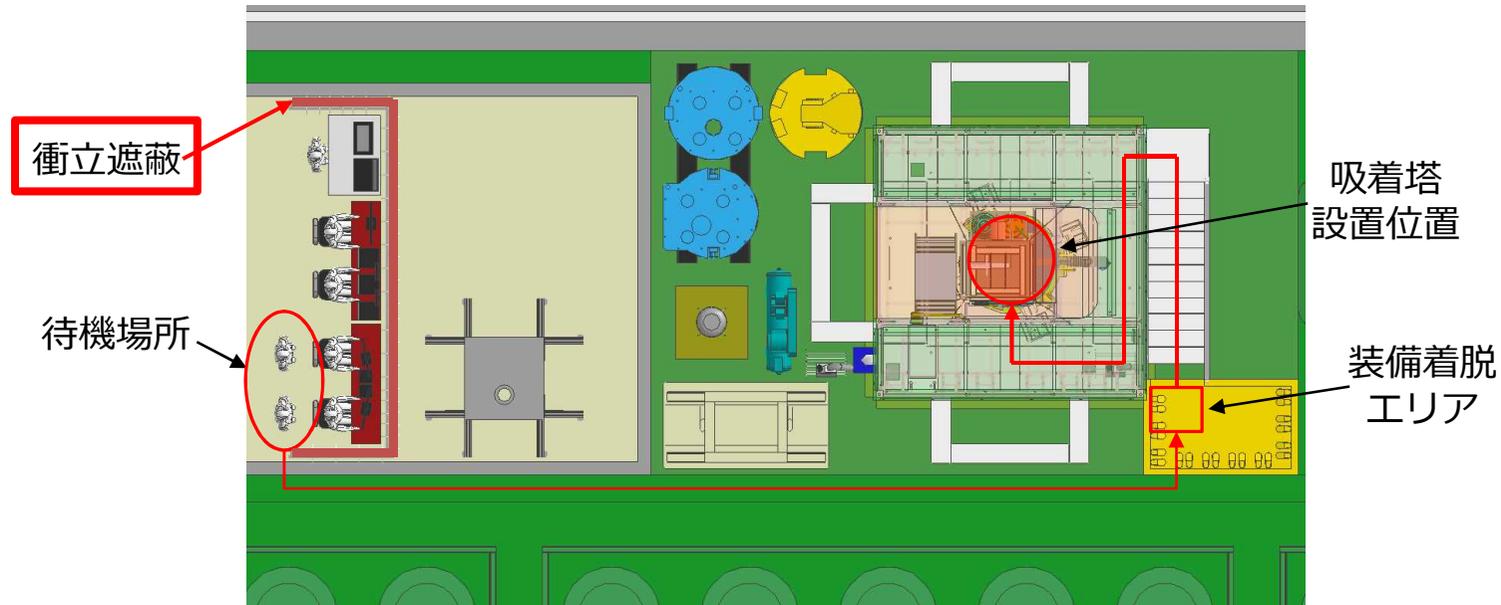
⑨収納容器移動、蓋閉め



※ SH : サンプリングヘッド

全般的な被ばく抑制方策の追加

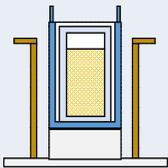
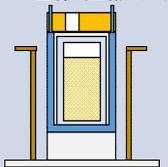
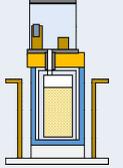
- 仮設ハウス内作業がない時の待機場所を遠隔制御盤の操作卓周辺とし、そのエリアを衝立遮蔽で囲い、線量を更に低減



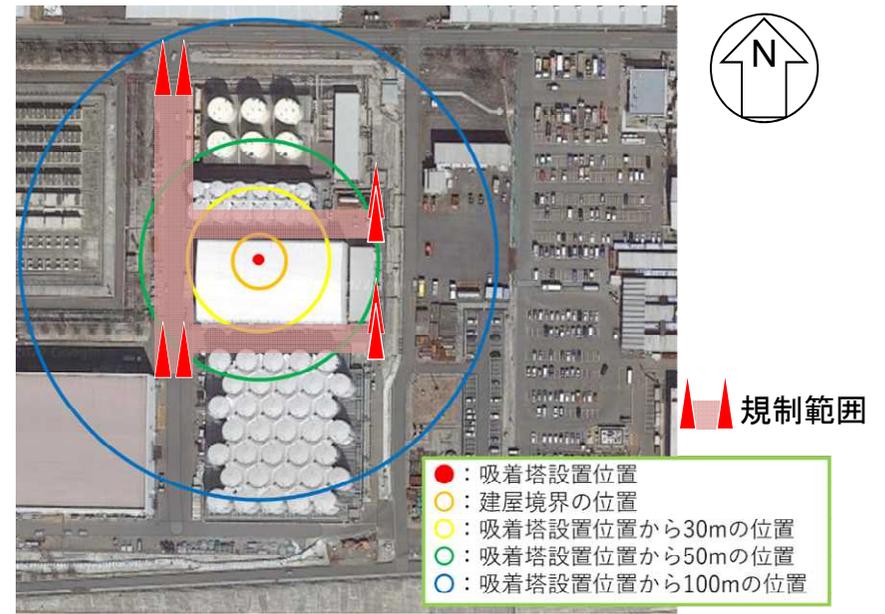
- 仮設ハウス内での待機が発生する場合、線量率の低い位置にテープで待機位置を明示し、待機中の被ばくを低減する

建屋外への線量影響可能性のある状態と規制計画

朱色：各状態で最も高い建屋境界線量率

| 建屋外への線量影響の可能性のある状態 | 評価位置 | 線量率 単位：mSv/h | | 規制要否 |
|---|---------|----------------------|----------------------|------|
| | | KURION H大 | SARRY IE96大 | |
| KURION蓋撤去後  | 仮設ハウス境界 | 2.1×10^{-1} | | 要 |
| | 建屋境界 | 1.1×10^{-1} | | |
| | 30 m | 3.1×10^{-2} | | |
| | 50 m | 1.8×10^{-2} | | |
| | 100 m | 5.5×10^{-3} | | |
| WD遮蔽栓撤去後  | 仮設ハウス境界 | 8.9×10^{-2} | | 要 |
| | 建屋境界 | 1.2×10^{-2} | | |
| | 30 m | 1.2×10^{-3} | | |
| | 50 m | 3.8×10^{-4} | | |
| | 100 m | 7.4×10^{-5} | | |
| 吸着塔貫通後  | 仮設ハウス境界 | 6.3×10^{-2} | 4.1×10^{-2} | 不要 |
| | 建屋境界 | 8.4×10^{-3} | 5.0×10^{-3} | |
| | 30 m | 9.0×10^{-4} | 4.0×10^{-4} | |
| | 50 m | 3.0×10^{-4} | 1.5×10^{-4} | |
| | 100 m | 5.4×10^{-5} | 3.5×10^{-5} | |
| (想定トラブル) 採取吸着材漏えい | 仮設ハウス境界 | 2.1×10^{-1} | 2.4×10^{-1} | 不要 |
| | 建屋境界 | 1.3×10^{-2} | 1.5×10^{-2} | |
| | 30 m | 9.2×10^{-4} | 1.1×10^{-3} | |
| | 50 m | 3.3×10^{-4} | 3.9×10^{-4} | |
| | 100 m | 8.3×10^{-5} | 9.6×10^{-5} | |

吸着塔設置位置と高性能ALPS建屋周り



- ：吸着塔設置位置
- ：建屋境界の位置
- ：吸着塔設置位置から30mの位置
- ：吸着塔設置位置から50mの位置
- ：吸着塔設置位置から100mの位置

- KURION蓋⇔WD載せ替え時とWDの遮蔽栓撤去時、建屋外側の線量率が有意に上昇すると評価したため、当該作業時間は建屋周辺道路を通行止めとする。
- 楯葉でのMUでの所要作業時間(75分以内)をもとに、規制時間はその前後を含む3時間で計画する。事前に当該作業開始時刻を定め、規制情報として周知する。
- 作業員には事前教育及び当該日のTBM-KYで線量率上昇と作業上の注意事項を周知する。
- 当該作業時に上昇時の線量率分布図等を高性能ALPS建屋内の見やすいところに掲出し注意喚起を行う。
- エリアモニタが上昇するので作業日を当直に周知する。

【参考】 サンプル採取対象として選定した吸着塔

| | 対象 (管理No.) | 供用時期 | 当初測定線量 ・測定日※ | 再測定結果 () は推定値 | 備考 | 作業順 (改) |
|--------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------|
| KURION | ① H大 (7-048) | 2011年 6/15～6/27 | 15mSv/h 2013/7/18 | 3.0mSv/h 2022/3/25 | ・ KURION運開時のHメディア初装荷品 | VI |
| | ② H小 (7-412) | 2013年 10/29～11/6 | 0.30mSv/h 2013/11/19 | 未測定 (0.12mSv/h) | ・ プロセス主建屋滞留水のセシウム濃度が低位安定した時期のもの | V |
| | ③ 珪砂 (3-011) | 2011年 7/26～9/14 | 35mSv/h ^注 2015/3/3 | 14mSv/h ^注 2022/3/25 | ・ フィルタ材を珪砂に変更した初期のもの | VII |
| | ④ AGH (3-030) | 2011年 6/15～9/13 | 8.5mSv/h ^注 2013/8/31 | 4.0mSv/h ^注 2022/3/25 | ・ AGHメディア(銀添着ハーシュライト)の初装荷品 | IV |
| | ⑤ TSG (7-546) | 2015年 3/4～3/23 | 0.20mSv/h 2015/5/21 | 0.060mSv/h 2022/3/24 | ・ Sr吸着運用開始(2014/12月)後、比較的初期のもの ・ TSGメディアのうち測定値最大 | VIII |
| SARRY | ⑥ IE96大 (T003) | 2011年 8/29～9/7 | 0.8mSv/h ^{※※} 2011/9/7 | 0.075mSv/h 2018/5/25 | ・ 初期に供用されたIE96メディアで高線量のもの | II |
| | ⑦ IE96小 (T040) | 2013年10/17 ～翌年2/25 | 0.09mSv/h 2014/2/25 | 未測定 (0.017mSv/h) | ・ HTI建屋滞留水のセシウム濃度が低位安定した時期のもの | I |
| | ⑧ IE911 (S013) | 2011年8月 ～翌年3/8 | 0.05mSv/h 2012/3/8 | 未測定 (0.005mSv/h) | ・ SARRY運開時のIE911メディア初装荷品 | III |

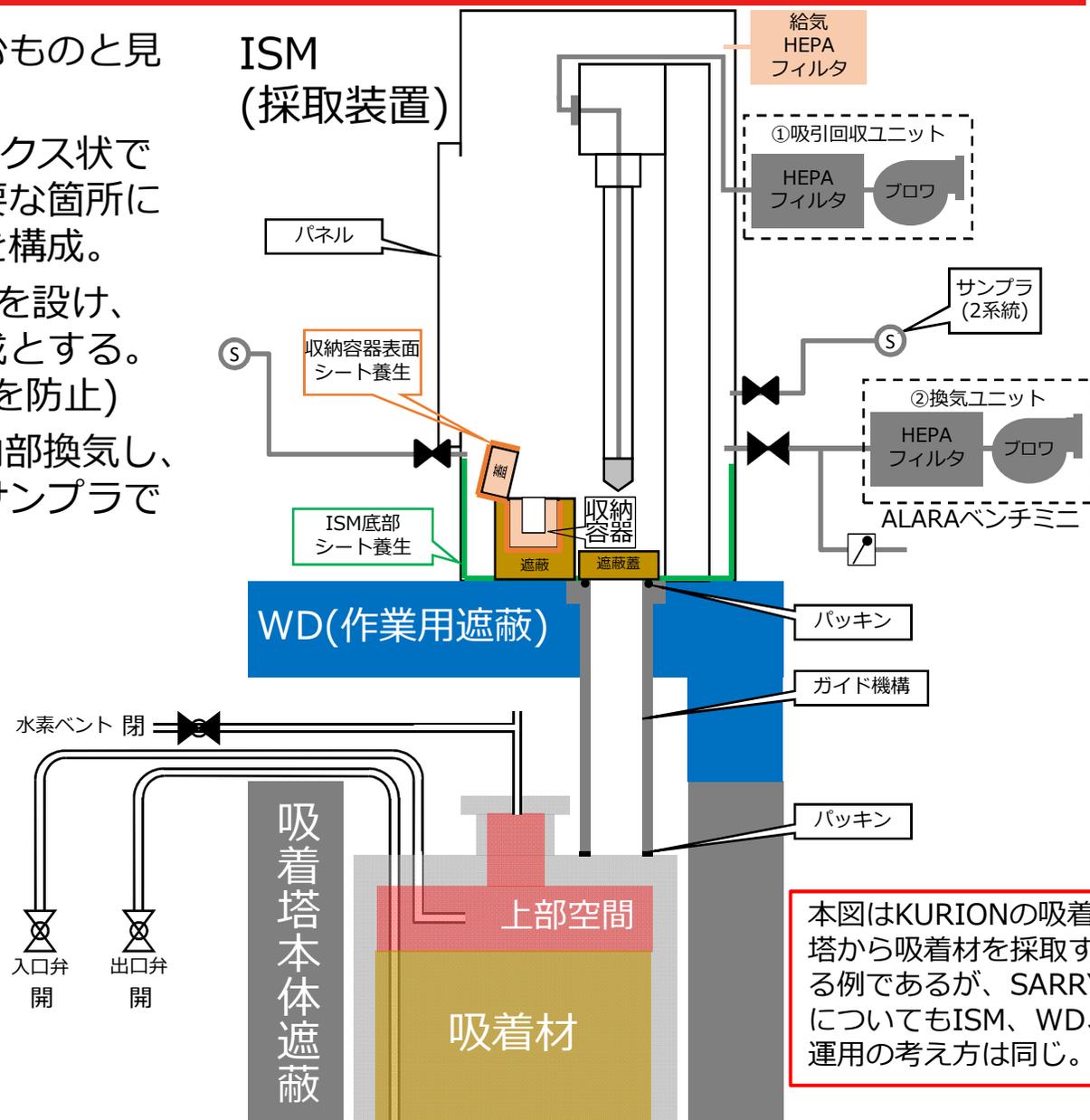
注：③④は吸着塔の遮蔽厚が3インチ。他のKURIONは7インチ

※：一時保管施設への格納時に測定した吸着塔側面線量率（遮蔽胴表面）

※※：仮保管施設への格納時に測定した吸着塔側面線量率（遮蔽胴表面）

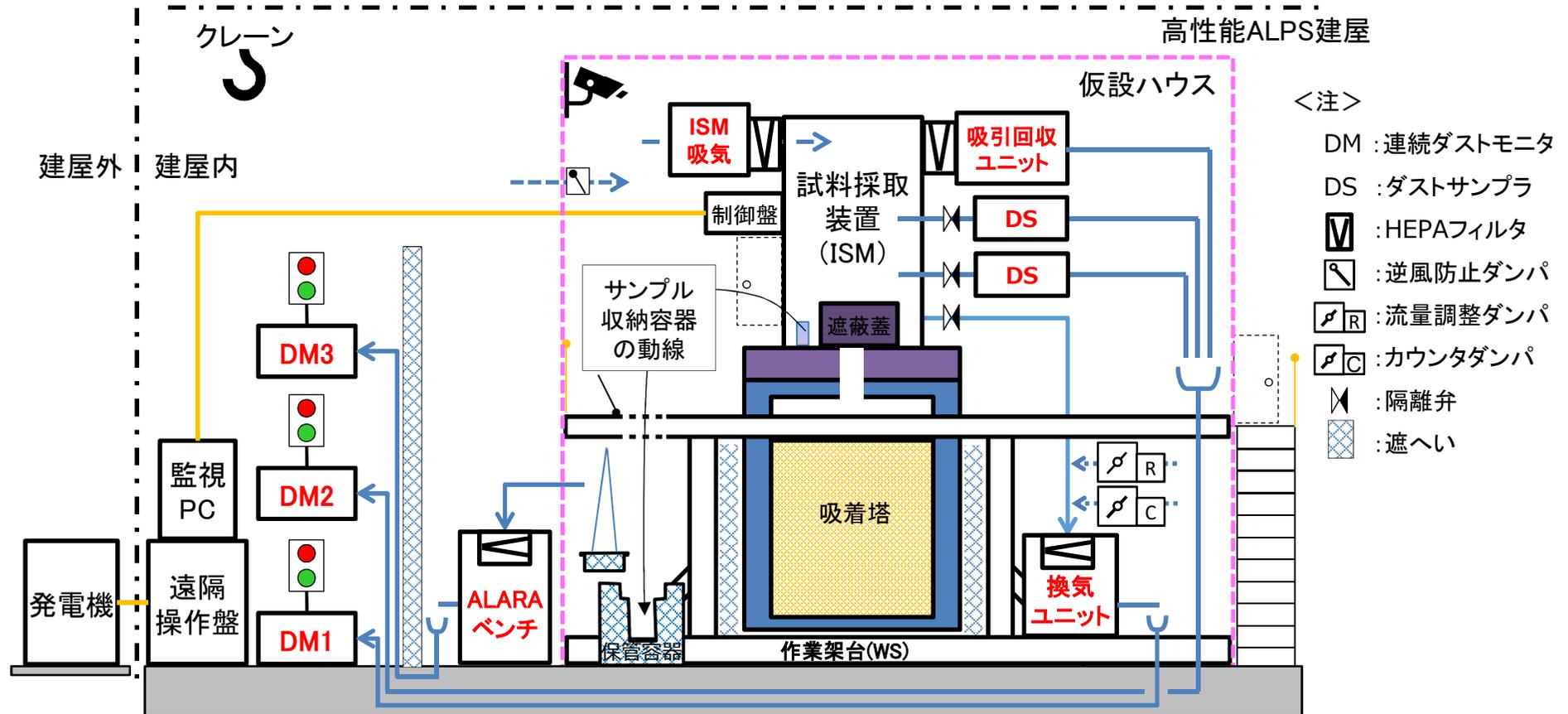
【参考】ダストに対する防護対策：採取装置(ISM)の設備構成 **TEPCO**

- 吸着塔内の空気はダストを含むものと見做して措置を講ずる。
- ISM(採取装置)はグローブボックス状で気密性のある構造とする。必要な箇所にパッキン等を設けバウンダリを構成。
- HEPAフィルタ経由の排気のみを設け、陽圧になることがない系統構成とする。(吸着塔側ベントからの吹出しを防止)
- ISMのパネル開扉に先立って内部換気し、汚染レベルが下がったことをサンプラで確認してから開とする
- 以後の作業で想定される放射性物質による汚染に対して必要な養生を施す。
- ISMから搬出するサンプルの収納容器は事前養生する。
- 養生の付け外し、その他内部作業を可能とする長手袋を設ける。
- 排気HEPAの機能喪失の監視のため連続ダストモニタで仮設ハウス内を測定する。



ダスト拡散の防止

- グローブボックス状の試料採取装置に加え、仮設ハウス、各種フィルター付き換気系、ダストモニタを重層的に配置し、建屋内外へのダスト拡散を防止・監視し、また作業者の放射性物質取り込みを防止する。



DM1 : 換気ユニットの効果、換気ユニットHEPAの健全性

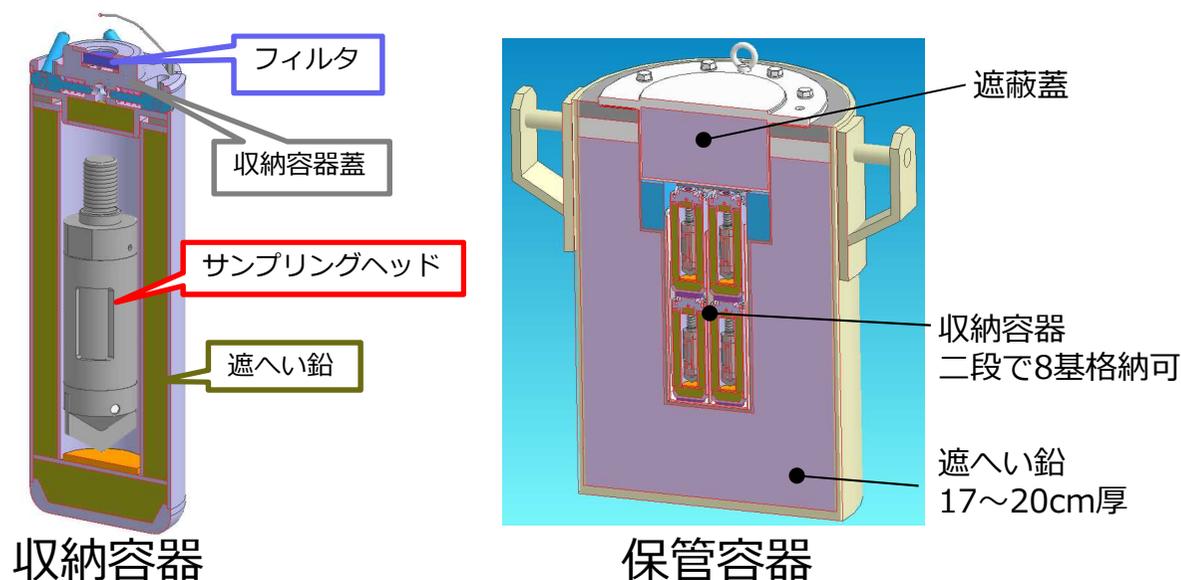
DM2 : ISMのシール健全性、ISMのHEPAの健全性、ISM扉開放前に測定するダストサンプラの排気

DM3 : 仮設ハウスの健全性、アララベンチのHEPAの健全性

- ALPSスラリー詰替え作業に準じ、3台のDM・表示を監視エリアに変更

【参考】採取した吸着材試料の保管

- サンプリングヘッドの収納容器は作業床より下方に配置した保管容器に保管する
- 保管容器はA型輸送容器(下図)とし、採取期間中は仮設ハウス内に設置する。収納容器を最大8基格納できる
- 一連作業完了後、保管容器は輸送まで構内保管する
- 採取試料の輸送及び分析は2023年度以降の廃炉・汚染水・処理水対策事業にて実施する計画
- 保管容器からの内容物取出しは、分析施設到着後のホットセル内で行う



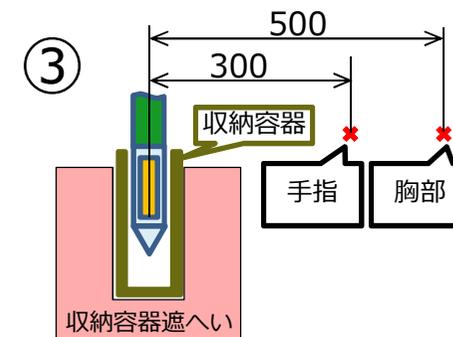
【参考】採取サンプル周辺の放射線環境評価

● インベントリ最大の「⑥IE96大」試料について評価。

- 吸着塔保管時点(2011年9月)の側面線量率(0.8mSv/h)と設計時の遮へい性能評価(^{137}Cs : $3\text{E}15\text{Bq}$ /塔で0.7mSv/h、実施計画Ⅲ3.2.2.2)、吸着材充填量(保守的に(少なめに) 1m^3 と設定)、サンプル採取量(保守的に(多めに) 20mL と設定)から放射線を設定
- ^{137}Cs は無減衰で評価。 ^{134}Cs は5.5半減期経過しているため無視する
- $3\text{E}15 \times (0.8/0.7) \times (20/1\text{E}6) = 6.9\text{E}10\text{Bq}$ (^{137}Cs)/サンプル:☆とする

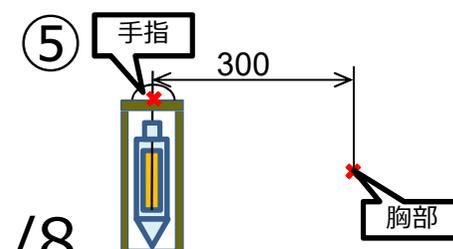
● サンプリングヘッド(SH)分離作業時(p.21の③)の線量率評価

- 収納容器の蓋閉止前、収納容器遮へい有り。
- 手指部：☆× $3.05\text{E}-10\text{mSv/h/Bq} = 21.0\text{mSv/h}$
- 胸部：☆× $9.64\text{E}-11\text{mSv/h/Bq} = 6.7\text{mSv/h}$



● 収納容器取扱い時(p.21の⑤)の線量率評価

- 収納容器の蓋閉止済、収納容器遮へい無し
- 手指部：☆× $7.93\text{E}-11\text{mSv/h/Bq} = 5.5\text{mSv/h}$
- 胸部：☆× $2.39\text{E}-10\text{mSv/h/Bq} = 16.5\text{mSv/h}$



● KURIONで最大の「①H大」は上記評価の約1/8

【参考】総被ばく量の見通し

- 全工程を通しての総被ばく量を算定
 - 41.94 人・mSv

| 作業手順 | | 作業日数 (日) | 被ばく線量 (人・mSv) |
|----------------|-------|-------------|------------------|
| 準備作業(作業架台設置等) | | 10 | 1.71 |
| コールドモックアップ | | 13 | 2.84 |
| KURION | AGH | 7 | 4.53 |
| | H小 | 7 | 1.05 |
| | H大 | 7 | 8.54 |
| | 珪砂 | 7 | 13.64 |
| | TSG | 7 | 1.04 |
| 装置の換装 | | (< 1) | 0.16 |
| SARRY | IE911 | 7 | 1.03 |
| | IE96小 | 7 | 1.61 |
| | IE96大 | 7 | 4.13 |
| 片付け, 試料引渡し | | 15 | 1.66 |
| 総被ばく線量 | | — | 41.94 |
| 【参考】 想定全作業従事者数 | | — | 16人 |