

1Fにおける眼の水晶体等価線量の管理について

2023年 3月 3日

東京電力ホールディングス株式会社

はじめに

放射線審議会第150回総会（令和2年10月23日）で原子力規制庁 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室が報告した内容について、最新の情報への更新を行った。

本日のご説明内容

1. 眼の水晶体に対する等価線量の管理状況
2. 高β線環境下での作業事例
3. 協力企業に対する被ばく低減の取組事例

1. 眼の水晶体に対する等価線量の管理状況

【管理方法】

震災後～2017年度まで

- 眼の水晶体の等価線量は、胸部（又は腹部）の位置で測定したガラスバッジ等の受動形個人線量計の値を使用。

2018年度～2020年度

- 眼の水晶体の等価線量または実効線量が15mSv/年（確認線量）を超えた場合又はそのおそれがある場合、眼の近傍での測定を開始。なお、Sr-90などのβ線が主線源となるエリアで作業を行う場合は、15mSv/年に係わらず全面マスク内側に受動形個人線量計を着用し、全面マスク内のアイピースによるβ線遮へいも考慮した測定を実施。
- 2018年度より、水晶体の等価線量の上限値を50mSv/年とする管理を開始。
- 2019年度より、50mSv/年の上限に加え、5年平均20mSv/年を超えない管理を開始。

2021年度～

- 確認線量を15mSv/年から12mSv/年、目標線量を20mSv/年から18mSv/年にそれぞれ引き下げ。
- 眼の水晶体の等価線量または実効線量が確認線量を超過すると想定される場合、頭部で不均等被ばくが想定される場合、Sr-90などのβ線が主線源となるエリアで作業を行う場合は、全面マスク内側に受動形個人線量計を着用し、全面マスク内のアイピースによるβ線遮へいも考慮した測定を実施。
- 社内における線量の上限値（実効線量および眼の水晶体の等価線量）を20mSv/年及び80mSv/5年にそれぞれ引き下げ。

【測定方法】

□全面マスク内側で実測定



ガラスバッジ



ルミネスバッジ



マスク用治具



着用イメージ


確認線量を超過する、又は超過するおそれがある場合は、以下の受動形個人線量計を着用して算定する。

- ①γ線に対してγ+β線が大きい場合は、3mm線量当量測定用
- ②γ線とγ+β線が同等である場合は、3mm線量当量又は70μm線量当量のいずれか適切な線量当量測定用

1 - 1 福島第一原子力発電所における眼の水晶体の等価線量の推移

- 2018年度以降実施してきた運用が定着するとともに、2021年度に等価線量の目標線量を年間18mSvに引き下げたことにより、2020年度以降、20mSv/年超過者は発生していない。
- 眼の水晶体の等価線量の最大値は、年々減少傾向であり、2020年度以降は20mSv以下で推移。
- 2021年度に定めた等価線量の目標線量（18mSv/年）超過者は、これまで2022年度に2名発生（19.00mSvと18.90mSv）。胸部に着用したAPDの日々の線量を積算した値（暫定値）よりも、眼の近傍に着用した受動形個人線量計の値（確定値）の方が大きかったため、等価線量の目標線量を超過した（暫定値では超過していなかった）。

区分(mSv)	2017.4～2018.3			2018.4～2019.3			2019.4～2020.3			2020.4～2021.3			2021.4～2022.3			2022.4～2022.11		
	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計
150超え	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100超え～150以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75超え～100以下	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50超え～75以下	0	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20超え～50以下	0	267	267	0	49	49	0	64	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10超え～20以下	22	1233	1255	23	886	909	16	921	937	12	965	977	8	898	906	4	289	293
5超え～10以下	87	1138	1225	70	951	1021	59	866	925	66	858	924	62	894	956	21	808	829
1超え～5以下	303	3317	3620	251	2840	3091	288	2384	2672	231	2320	2551	208	2229	2437	200	1976	2176
1以下	1118	6410	7528	1099	5137	6236	1021	5089	6110	1028	4839	5867	1080	4758	5838	1140	5766	6906
計	1530	12413	13943	1443	9863	11306	1384	9324	10708	1337	8982	10319	1358	8779	10137	1365	8839	10204
最大(mSv)	19.80	86.20	86.20	16.23	26.93	26.93	14.68	26.30	26.30	15.03	20.00	20.00	13.02	17.90	17.90	11.52	19.00	19.00
平均(mSv)	1.19	3.77	3.48	1.07	2.90	2.66	1.03	2.97	2.72	0.99	2.94	2.68	0.87	2.85	2.58	0.59	1.75	1.59

- 
- ・ 上限値：50mSv/年（自主管理として開始）
 - ・ 上限値：5年平均20mSv/年（自主管理として開始）
 - ・ 改正法令施行
 - ・ 確認線量：12mSv/年
 - ・ 目標線量：18mSv/年
 - ・ 上限値：20mSv/年及び80mSv/5年に引き下げ
 - ・ 全面マスクのアイピースの遮へい効果を考慮した測定方法に変更したことにより線量が低下

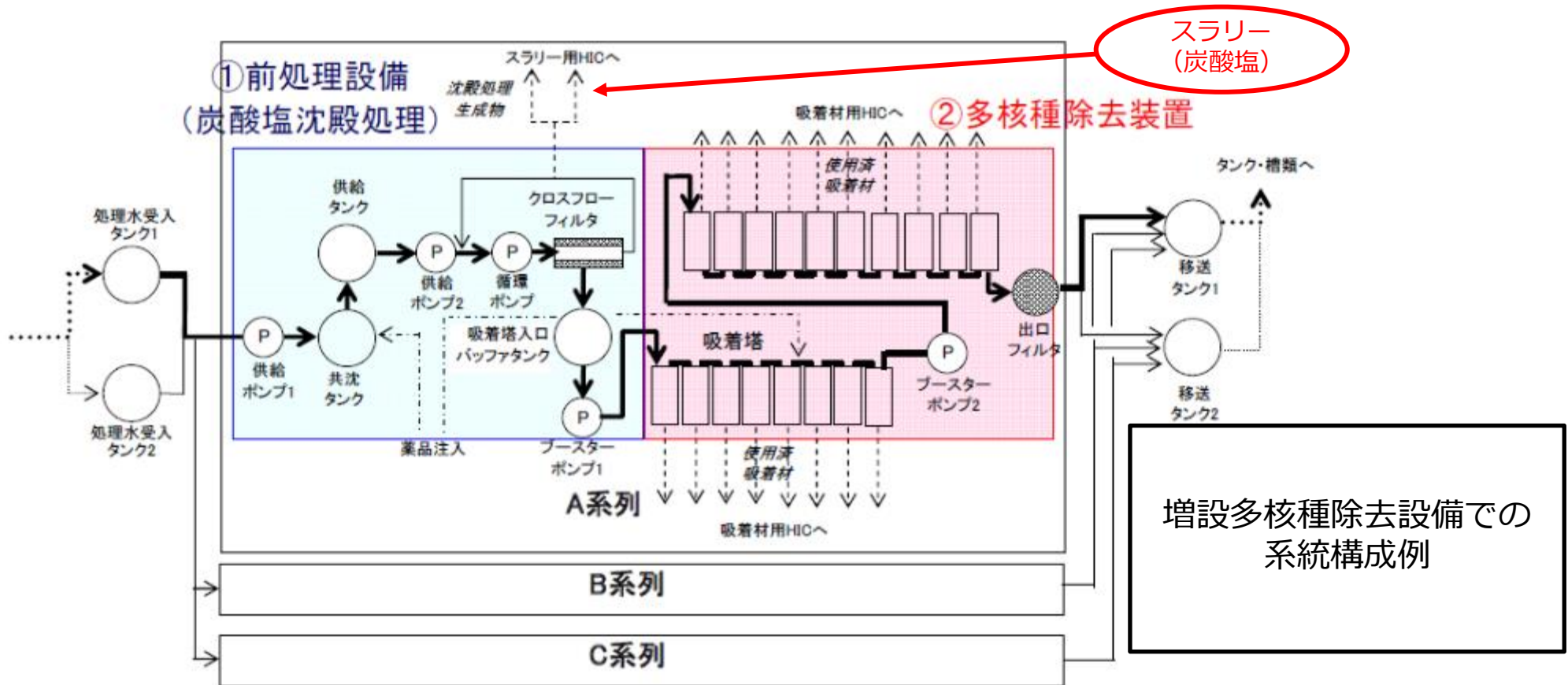
1 - 2 福島第一原子力発電所における実効線量の推移

- 2020年度以降は眼の水晶体の等価線量と実効線量の差が小さくなっている。
- マスク内に受動形個人線量計を装着した場合は、アイピースによりβ線が遮へいされた状態で眼の水晶体の等価線量を測定するため、アイピースで遮へいされないγ線の寄与が相対的に大きくなり、眼の水晶体の等価線量は実効線量と大きな差が見られなくなっていると想定される。
- 1～3号機原子炉建屋周辺や1～3号機建屋内作業に従事した作業員が、実効線量も眼の水晶体の等価線量も高い傾向。
- 今後も、原子炉建屋内、T/B地下階、汚染水処理設備など、建屋滞留水を保有するエリアは、γ線の空間線量率が高いため、眼の水晶体の等価線量も高くなることが想定される。
- 引き続き、等価線量の目標線量（18mSv/年）に到達した放射線業務従事者は、管理対象区域への入域制限をかける等の措置を行い、上限値（20mSv/年）を超過しないよう線量管理を実施する。

区分(mSv)	2017.4～2018.3			2018.4～2019.3			2019.4～2020.3			2020.4～2021.3			2021.4～2022.3			2022.4～2022.11		
	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計	東電社員	協力企業	計
20超え～50以下	0	74	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10超え～20以下	18	1133	1151	21	853	874	13	917	930	12	926	938	7	836	843	4	244	248
5超え～10以下	85	1038	1123	70	870	940	57	857	914	62	854	916	59	925	984	20	817	837
1超え～5以下	306	3571	3877	247	2856	3103	284	2365	2649	232	2319	2551	209	2247	2456	195	2002	2197
1以下	1121	6597	7718	1105	5284	6389	1030	5185	6215	1031	4883	5914	1083	4771	5854	1146	5776	6922
計	1530	12413	13943	1443	9863	11306	1384	9324	10708	1337	8982	10319	1358	8779	10137	1365	8839	10204
最大(mSv)	15.94	32.74	32.74	15.55	19.90	19.90	13.92	19.60	19.60	14.83	19.31	19.31	13.10	17.46	17.46	11.52	17.60	17.60
平均(mSv)	1.15	2.88	2.69	1.04	2.65	2.44	0.98	2.77	2.54	0.97	2.84	2.60	0.85	2.77	2.51	0.58	1.70	1.55

2. 高β線環境下での作業事例

HICスラリー移替え作業

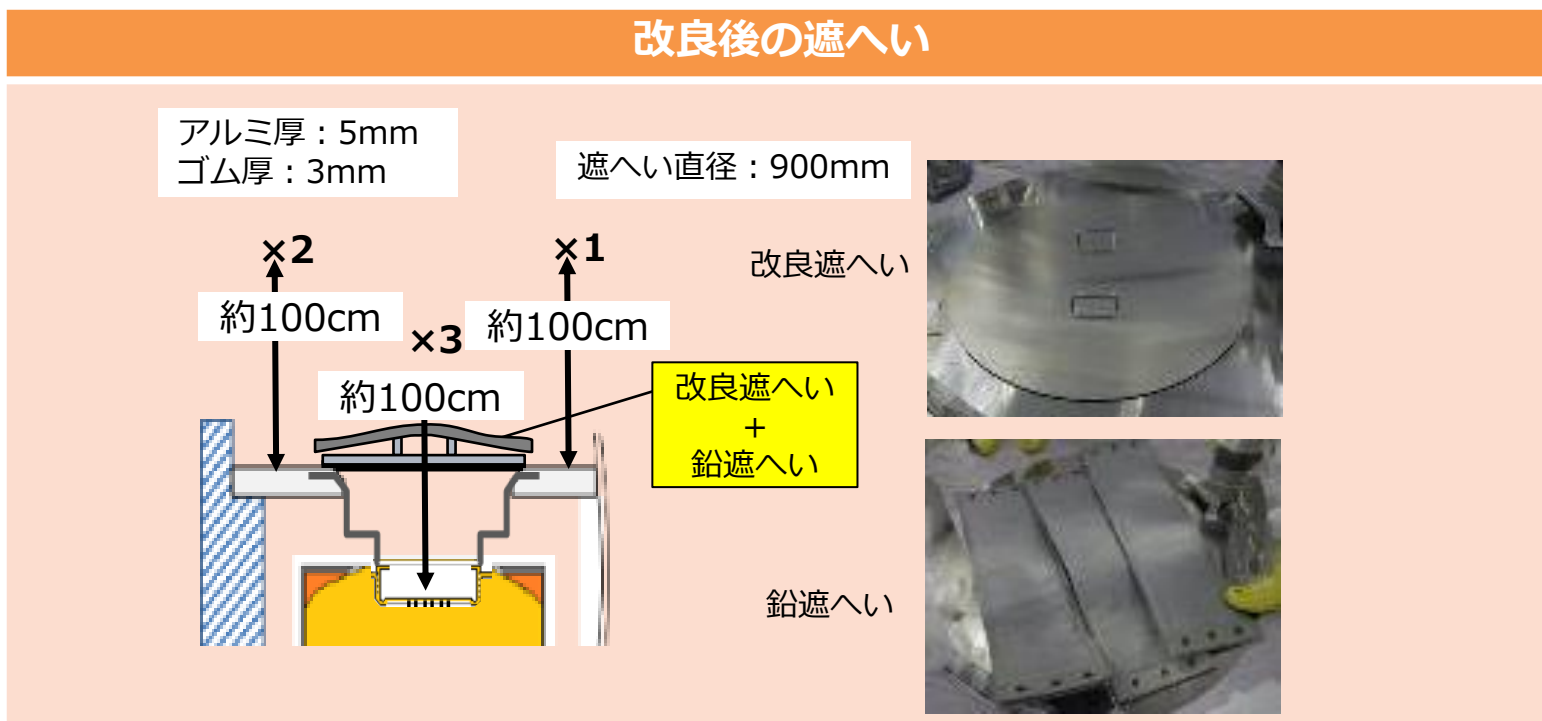


- 汚染水処理の前処理過程で発生する炭酸塩スラリーを高性能容器（HIC※1）に収納し、一時保管設備で保管。
- 事故発生後の初期の高濃度のSr-90（ 10^8 Bq/Lオーダ）を含むスラリーを保管しているHICについては、長期の保管により、劣化が想定されるため、HICスラリーを健全なHICへの移し替え作業を実施中。

2-1 HICスラリー移替え作業におけるβ線及びγ線被ばくの低減（遮へい）

第100回特定原子力施設監視・評価検討会資料一部引用・編集

高β線だけでなく、γ線の寄与もあることから、HIC開口部を下から順にゴム+アルミ遮へいと鉛遮へいで覆うことで作業エリアの1cm線量当量率と70μm線量当量率を低減。

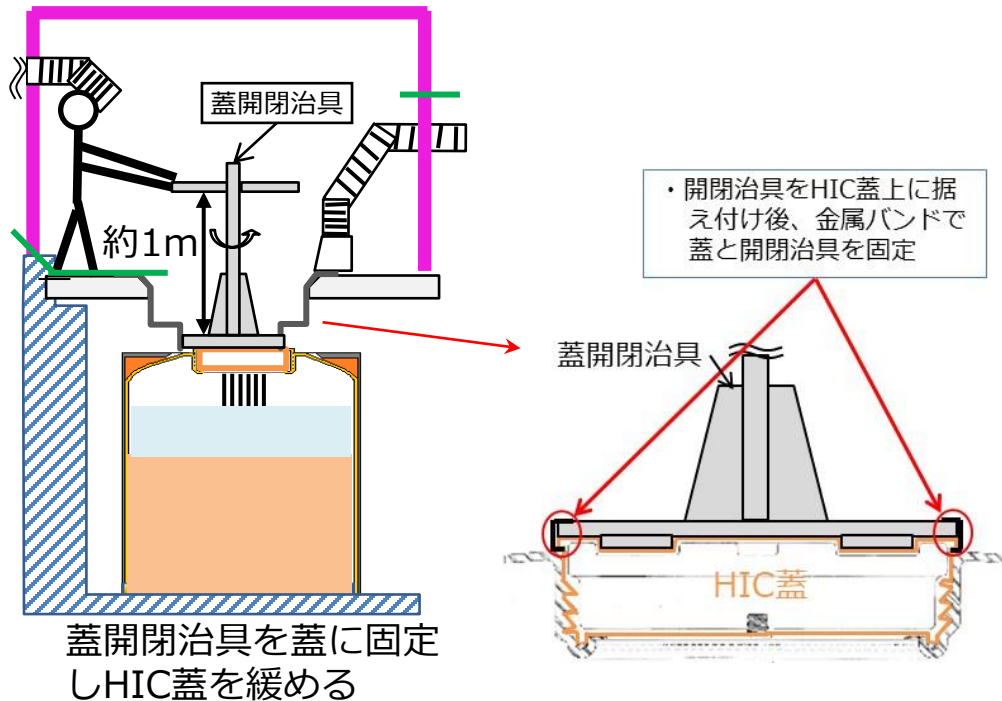


遮へい種類	線量当量率	スラリー移送前 移送元			スラリー移送後 移送元			スラリー移送後 移送先		
		×1 (mSv/h)	×2 (mSv/h)	×3 (mSv/h)	×1 (mSv/h)	×2 (mSv/h)	×3 (mSv/h)	×1 (mSv/h)	×2 (mSv/h)	×3 (mSv/h)
遮へいなし	1cm	0.040	0.035	0.085	1.4	1.1	4.0	0.085	0.050	0.35
	70μm	1.9	2.1	6.0	15	13	45	0.80	0.70	3.0
改良遮へい + 鉛板	1cm	0.030	0.030	0.024	0.80	0.50	0.45	0.030	0.035	0.040
	70μm	0.45	0.20	0.35	1.1	1.3	2.0	0.18	0.25	0.40

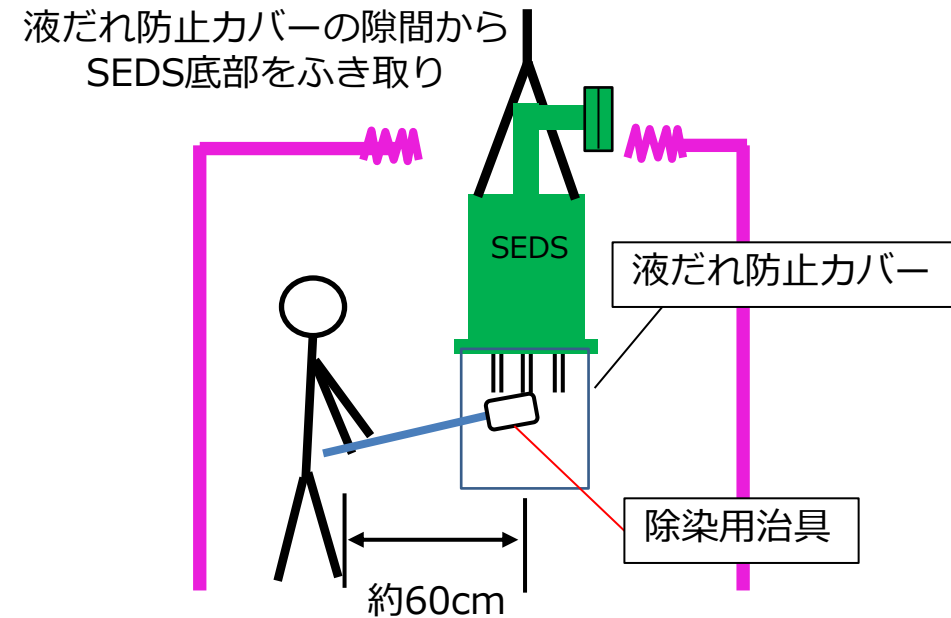
2-2 HICスラリー移替え作業におけるβ線被ばくの低減 (距離の確保)

第98回特定原子力施設監視・評価検討会資料一部引用

- HICの蓋開放/閉止作業における作業者の近接作業を離隔距離が取れる蓋開閉治具を使用 (左図)
- 移替え作業後のスラリー移替え装置 (SEDS) 取外しにおいて, スラリー移替え装置 (SEDS) 下部の除染を実施する際, 離隔距離を確保できる治具を活用 (右図)



HICの蓋開放/閉止における
離隔距離確保イメージ



SEDS下部の除染時における
離隔距離確保イメージ

2-3 HICスラリー移替え作業におけるβ線被ばくの低減 (防護装備)

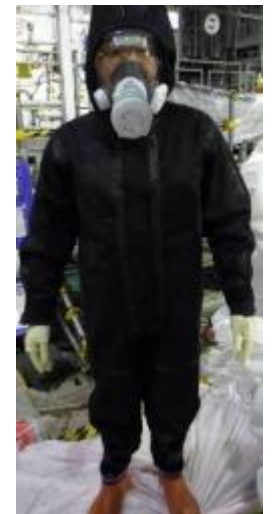
第93回特定原子力施設監視・評価検討会資料一部引用

HIC蓋開放/閉止, スラリー移替え装置 (SEDS) 取付/取外 (SEDS下部の除染含む) において, β線遮へいスーツや手袋に加えて, 水晶体のβ線被ばく対策としてアクリルフェイスシールドを使用。

通常時の防護装備(Y装備)等	スラリー移替え作業時の防護装備等
<ul style="list-style-type: none"> ・ 電動ファン式全面マスク ・ カバーオール ・ ゴム手袋 (三重) ・ 長靴 ・ APD (胸部) ・ ガラスバッジ (胸部) ・ ガラスバッジ (手) ・ 頭用ガラスバッジ (水晶体) ・ 足用バッジ (末端部) 	<p>左記に以下の装備を追加</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ アノラック上下 ・ アクリルフェイスシールド(1cm厚) (HIC2基目の作業から使用) ・ β線遮へい手袋 ・ β線遮へいスーツ ・ 可搬型アルミ製衝立遮へい(0.5cm厚) ・ オフラインAPD(胸部)(遮へいスーツ着用者のみ)



着用順に下からβ線遮へいスーツ, カバーオール, アノラックとし, β線遮へい手袋を装着した状態



β線遮へいスーツ



アクリルフェイスシールド

参考：福島第一原子力発電所における作業者の装備の使い分け

作業場所のzoneによって作業時の防護装備を使い分けている。

現状		運用区分	該当場所・条件	防護装備		
管理対象区域	全面マスク着用エリア	Red Zone	アルファ核種の表面汚染密度が法令に定める表面密度限度の10分の1を超えている、または超えるおそれのある作業を行うエリア	<ul style="list-style-type: none"> ・全面マスク ・作業用不織布カバーオール+アノラック ・布手袋+ゴム手袋（二重） ・靴下（二重） ・作業靴（RedZone専用） 		
	重汚染エリア		<ul style="list-style-type: none"> ・1～3号機原子炉建屋内 ・滞留水を保有する原子炉建屋やタービン建屋地下階などのエリア、滞留水の除染エリア、汚染水を直接取り扱う作業を行うエリア 			
	ベータ管理対象エリア		Yellow β Zone		<ul style="list-style-type: none"> ・水処理設備を含む建屋内 ・汚染水/ストロンチウム処理水を内包するタンク内やタンク移送ラインに係る作業 ・70μm線量当量率 ($\gamma+\beta$) /1cm線量当量率 (γ) が4倍以上のエリア 	<ul style="list-style-type: none"> ・全面マスク ・作業用不織布カバーオール+アノラック ・布手袋+ゴム手袋（二重） ・靴下（二重） ・作業靴（YellowZone専用）
	上記以外		Yellow Zone		<ul style="list-style-type: none"> ・1～4号機周辺建屋内および建屋周辺 ・高濃度粉じん作業や汚染水等を取り扱う作業を行うエリア ・作業環境に応じ随時設定するエリア 	<ul style="list-style-type: none"> ・全面マスク ・作業用不織布カバーオール ・布手袋+ゴム手袋（二重） ・靴下（二重） ・作業靴（YellowZone専用）
	全面マスク着用を不要とするエリア	Green Zone	<ul style="list-style-type: none"> ・空气中放射性物質濃度がマスク着用基準を超えるおそれがないエリアで、「White Zone」, 「Yellow Zone」, 「Yellow βZone」, 「Red Zone」, 「Red αZone」以外のエリア 	<ul style="list-style-type: none"> ・DS2マスク ・一般作業服 ・布手袋+ゴム手袋又は軍手 ・靴下（二重） ・作業靴（GreenZone専用） 		
汚染のおそれのない管理対象区域	White Zone	<ul style="list-style-type: none"> ・恒久的に設定している各休憩所、免震重要棟及び事務本館（1～4号出入管理所） ・地下バイパス一時貯留水タンクフィルタユニット内 ・一時的に設定している各休憩所 				

参考：2022年12月時点でのzone分布



参考：福島第一原子力発電所におけるこれまでの被ばく線量低減等に係る取り組み

作業時における被ばく低減対策

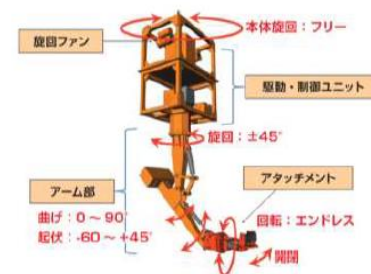
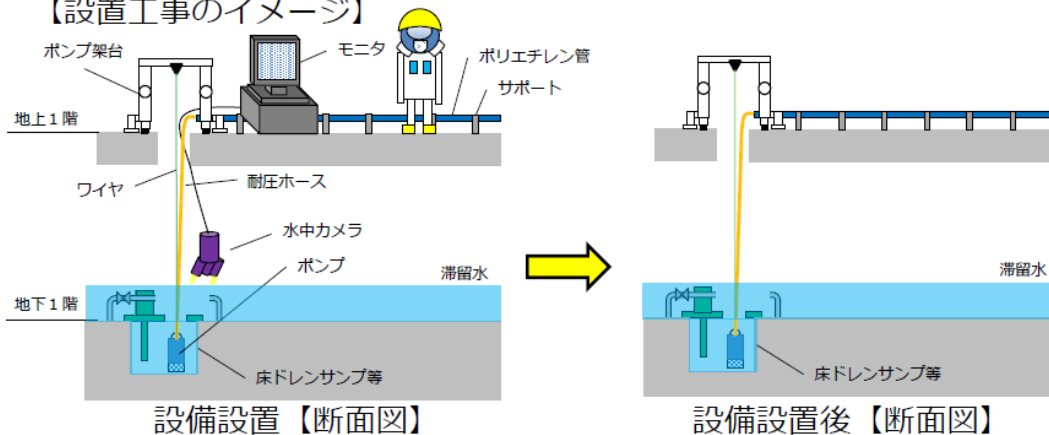
- ✓ 高線量箇所への遮へいの設置，作業場所の事前の除染等による空間線量の低減。
- ✓ 原子炉建屋内等空間全体の線量が高い場所において作業をする場合は，上記の他に比較的線量が低い場所を通過するルートの設定，準備作業を比較的線量のエリアにおいて準備作業を行うなど可能な限り被ばく線量を低くする作業計画を立案。
- ✓ 高線量箇所での作業にはロボット，治具などを用いた遠隔での作業により被ばく線量を低減。

【遠隔での作業の例】

- ・ 建屋滞留水を移送するためのポンプの設置に係る作業では滞留水があるフロアの線量が非常に高いため，上の階から遠隔で作業を実施。

- ・ 1号機オペレーティングフロアの瓦礫撤去作業はロボットにより実施。

【設置工事のイメージ】



■ 使用状況



3. 協力企業に対する被ばく低減の取組事例

工事の計画段階から当社と協力企業が一体となって、最善の被ばく低減対策や放射線管理（作業工法や作業員の配置等の見直し、遮へいや治具の使用、モニタリングの実施など）を協議し、最善の対策を講じた上で作業に着手している。

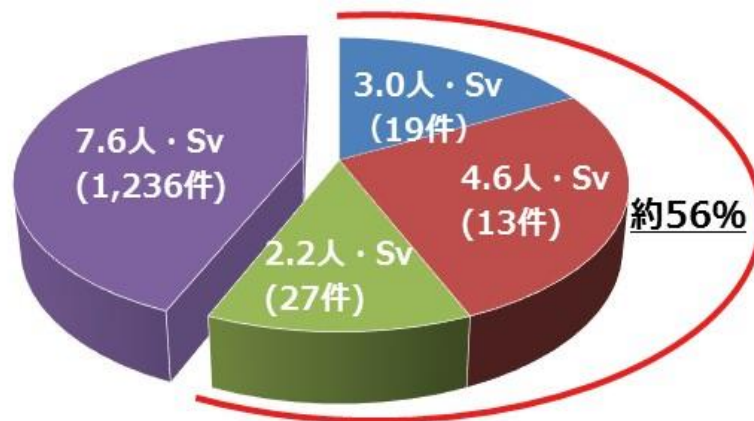
■ ALARA会議 線量関係の開催基準

	Aランク	Bランク	Cランク
線量	<ul style="list-style-type: none"> 個人最大線量（実効線量）が18mSv/年度を超過する工事 眼の水晶体の等価線量が18mSv/年度を超過する工事 実効線量または眼の水晶体の等価線量が複数件名の合算で18mSv/年度を超過する場合 	<ul style="list-style-type: none"> 総被ばく線量（実効線量）0.5人・Svを超過する工事 個人最大線量（実効線量）が12mSv/年度を超過する工事 眼の水晶体の等価線量が12mSv/年度を超過する工事 	<ul style="list-style-type: none"> 総被ばく線量（実効線量）0.25人・Svを超過する工事 実効線量または眼の水晶体の等価線量が複数件名の合算で12mSv/年度を超過する場合

- ALARA会議対象のA,B,Cランク件名の各作業における従事者の被ばく線量（人・Sv）が、所内全体の作業従事者における被ばく線量に占める割合：**約56%**

（2021年12月31日時点）

- Aランク件名
- Bランク件名
- Cランク件名
- その他件名



ALARA会議は特に計画線量の大きい件名を重点的に実施。

参考：ALARA会議の開催頻度と構成

【ALARA会議の開催頻度】

ALARA会議は、設計も含めた作業の進捗※に応じて開催している。

※工学的対策（無人化・遠隔化・線源の除去・遮蔽等）に対するALARA会議は工事の計画段階で実施し、管理的対策（移動動線の最適化・作業の効率化・個人保護具の採用等）に対するALARA会議は、作業の開始前までに実施している。

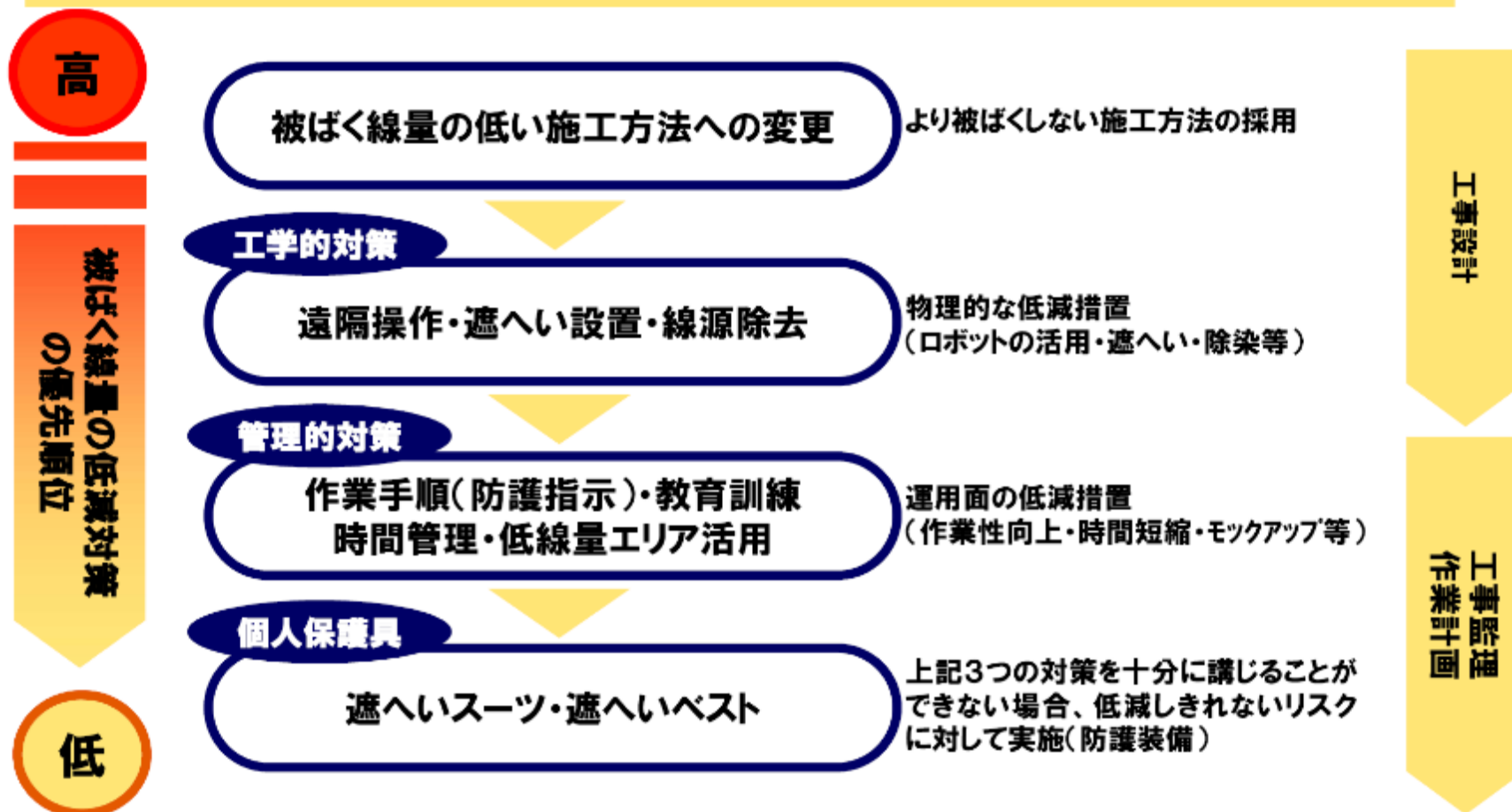
【ALARA会議の構成】

	主 査	副主査	委 員	左記以外の参加者
Aランク	福島第一原子力発電 所長	防災・放射線 センター所長 放射線・環境部長	主管部門のセンター所長, 部長, 部付 原子炉主任技術者	主管部門 元請企業
Bランク	防災・放射線 センター所長	放射線・環境部長	主管部門のセンター所長, 部長, 部付 原子炉主任技術者	主管部門 元請企業
Cランク	放射線防護GM	—	—	主管部門 元請企業

参考：協力企業の作業者に係る被ばく低減の取り組み

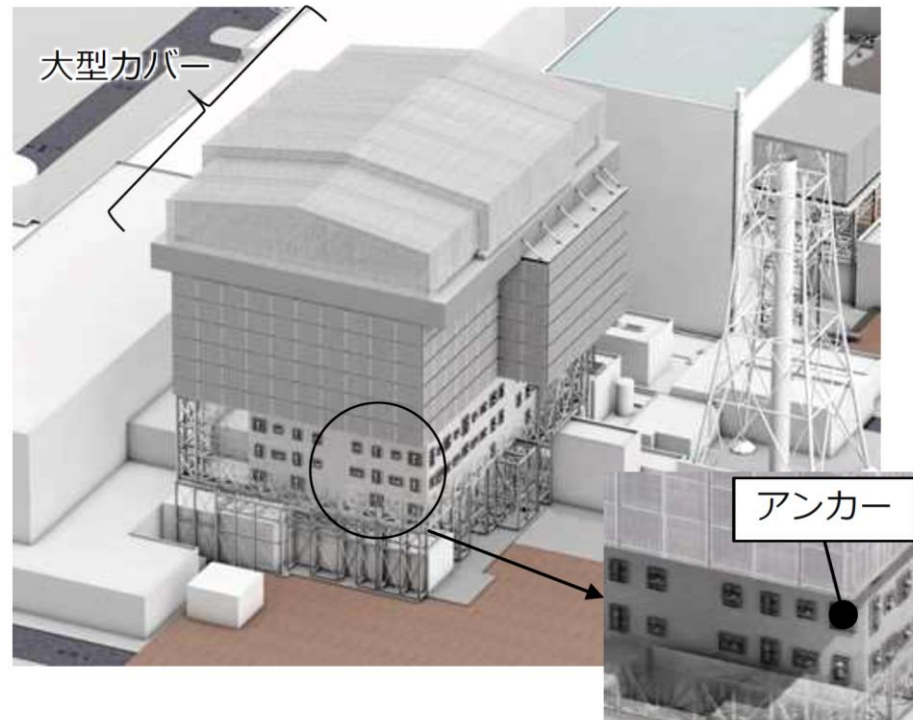
《参考》 被ばく低減対策適用の基本的考え方

放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、被ばくリスクの低減対策は、以下の優先順位で実施する。



3-1 1号機使用済燃料取り出しのための大型カバー設置作業

- ◆ 1号機の燃料取り出し（392体、うち使用済燃料292体）に当たっては、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行うことを計画
- ◆ 現在、大型カバー設置のためのアンカー設置作業を行っている状況
- ◆ R/B壁面における作業環境での空間線量率は、約0.5 mSv/h ~ 16.2mSv/h



3 - 2 1号機大型カバー設置工事における作業人工数削減及び被ばく低減効果

1F-1号機大型カバー設置工事

■ 遠隔化による被ばく低減

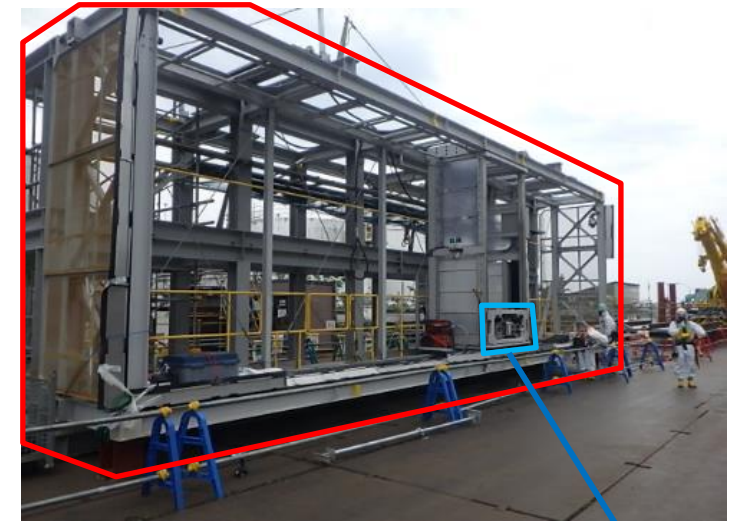
自動アンカー削孔装置を使用することにより、高線量率エリアでの直接作業に従事する作業人工数の削減及び、低線量エリアで装置の遠隔操作を実施したことで、被ばく低減した。（被ばく低減対策前後で、作業日数に大きな差は生じない）

➤ 作業人工（2022年10月12日時点の実績）

- 対策前 : 約5,600人・日
- 対策後 : 約 900人・日

➤ 被ばく低減効果（2022年10月12日時点の実績）

- 対策前 : 約18,300人・mSv
- 対策後 : 約 250人・mSv
- 低減効果 : 約18,050人・mSv



<自動アンカー削孔装置>



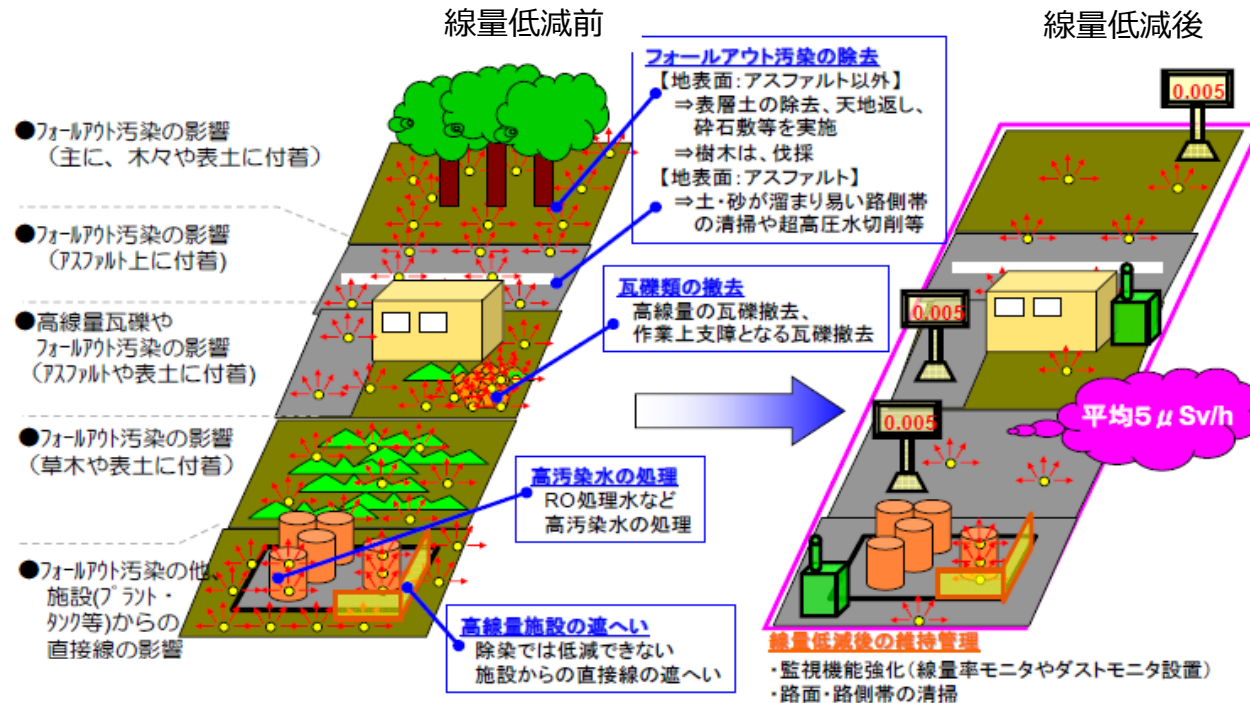
<現場削孔状況>

参考：東京電力福島第一原子力発電所におけるこれまでの被ばく線量低減等に係る取組

再掲：放射線審議会第150回総会資料 (<https://www.nra.go.jp/data/000332239.pdf>)

敷地内の汚染及び線量を低減するために、3号機オペレーティングフロアなど敷地内の高線量箇所等に対する遮への設置、高濃度の汚染水タンク内の汚染水の処理、高線区分量瓦礫の撤去や樹木の伐採、表土の除去や天地返し、地表面のフェーシング（モルタルの吹き付け・アスファルト舗装）などの取組を実施してきた。

これらの取組の結果、2016年9月には1～4号機の建屋周辺など一部を除いて敷地の大部分において胸元又は地表面における線量率は5 μ Sv/h以下となった。



一方で、原子炉建屋周辺は現在でも高線量の状態が継続しており、一部の場所において廃炉作業の支障となっている。このため、建屋周辺の線量を低減するために高い線源となっている1/2号機SGTS配管の撤去などに向けた取組が実施されている。