

厚生労働省委託事業

「東電福島第一原発廃炉等作業における被ばく低減対策普及啓発事業」

# 被ばく低減対策事例集



令和8年 2月 発行

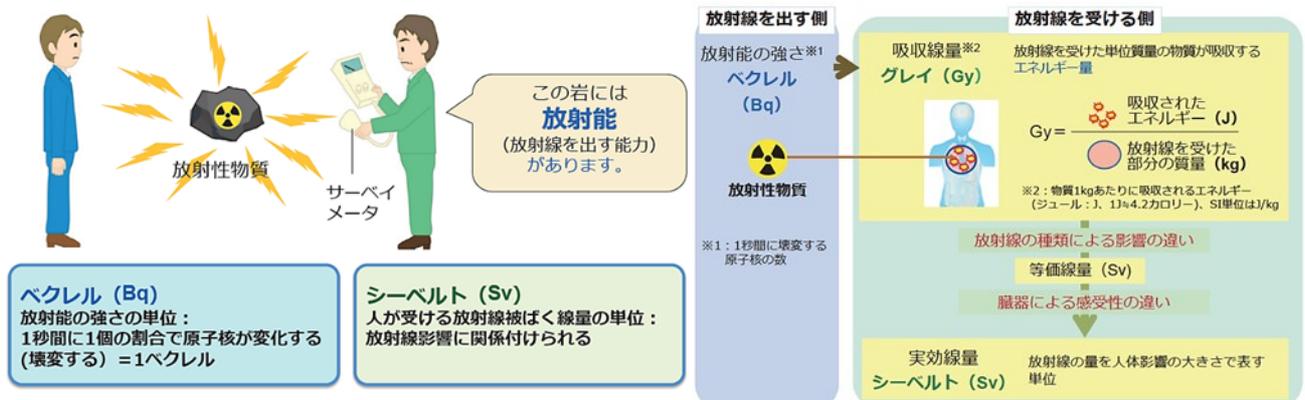
# 事例集目次

<b>1 作業場所の放射線環境の測定・評価に関する知識</b> .....	<b>1</b>
(1) 放射線の単位.....	1
(2) 被ばく防護の原則.....	2
<b>2 休憩場所から作業場所への移動動線の設定に関する知識</b> .....	<b>3</b>
(1) 1Fサイト内運用区分管理状況.....	3
(2) 構内全体における各区分の状況.....	4
(3) 運用区分管理の基本事項.....	4
(4) 各エリアの防護装備 .....	5
<b>3 事例集</b> .....	<b>6</b>
(1) 1F-1/2号機 SGTS配管線量調査における被ばく低減の取り組み.....	6
(2) 1F-3号機P C V内部気中部調査（マイクロドローン調査）における被ばく低減.....	8
(3) 瓦礫撤去作業における遠隔重機の適用 .....	9
(4) 1F-2号機F P Cバイパスライン設置における被ばく低減対策.....	10
(5) 1Fにおける線源逆推定システム（3D-ADRES-Indoor）の活用 ：線源・線量率マップ作成と線源対策のシミュレーション.....	11

# 作業場所の放射線環境の測定・評価に関する知識

## (1) 放射線の単位

放射能の強さを表す単位はベクレル (Bq) です。放射性核種が1秒間に何個、他の原子核に変わる (崩壊、あるいは壊変という) 能力を表します。似た言葉に放射性物質があります。たとえば、放射能は能力ですので「放射性物質2kgの放射能は100ベクレル (Bq) で、その濃度50Bq/kgです」とのように使います。「放射能で汚染した」、「放射能が漏れた」という使い方は正しくありません。「放射性物質が漏れた。漏れた放射性物質の放射能は100Bqです」というのが正確な使い方です。



出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 (令和5年度版)」より

放射性物質から周囲に放射するのが放射線です。放射線にはアルファ (α) 線、ベータ (β) 線、ガンマ (γ) 線等があります。透過力が強く外部被ばくの主な原因になるのはガンマ線です。

被ばくに関する放射線の単位をまとめると下表になります。大きく分けると、物質が放射線を浴びて吸収したエネルギーを表す吸収線量、人体への影響を表す等価線量及び実効線量です。吸収線量は人でも物でも使われる物理量ですが、実効線量は人のがんや遺伝的影響等の確率的影響を防止するための単位です。

		単位	定義
放射能の単位		ベクレル Bq	原子核が1秒間に壊変する数 (個/秒)
被ばくに関する単位	吸収線量	グレイ Gy	物質が放射線を浴びて吸収するエネルギー量 1kg当たり1ジュール (J) のエネルギーを吸収すると1Gy
	等価線量	シーベルト Sv	組織・臓器の被ばく影響を評価するための組織、臓器ごとの線量 等価線量 = 吸収線量 × 放射線加重係数
	実効線量	シーベルト Sv	実効線量 = Σ (等価線量 × 組織加重係数) 臓器、組織の等価線量に組織の違いによる組織加重係数を乗じ合算した値 人体全体に対するがん等の確率的影響を評価するための線量

※1人当たりの自然放射線の被ばく線量は、世界平均：2.4mSv/年、日本平均：2.1mSv/年。

## (2) 被ばく防護の原則

### 外部被ばくの低減

外部被ばくを少なくするためには、以下の被ばく防護の4原則を知っておくことが大切です。

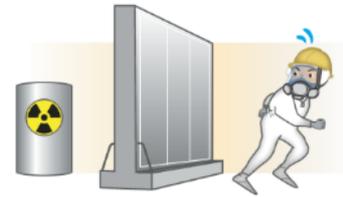
#### 原則1 放射線源を除去する

線源になっている物を移動したり、配管内部の線源を洗い流す(フラッシング)ことです。



#### 原則2 放射線源から距離をとる

線源から少しでも離れ、不必要に近づかないようにすることです。(待機場所も知っておくこと)



#### 原則3 遮へいをする

線源となる機器、配管等を鉛毛マットや鉛板等の遮へい材でおおうことです。



#### 原則4 作業時間を短くする

作業前の打ち合わせや工具の点検等事前の準備を十分にして、作業をスムーズに進めることです。



### 内部被ばくの防止

内部被ばくを少なくするためには、以下の被ばく防護の3原則を知っておくことが大切です。

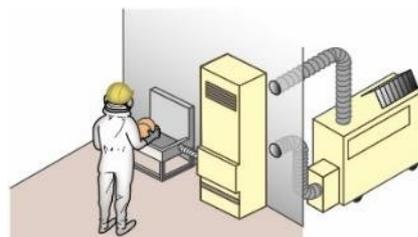
#### 原則1 汚染源を封じ込める

- ①隔離前室、隔離扉等の設置  
隔離機能 (バウンダリー) を維持して、負圧管理をする。
- ②汚染物の対応  
汚染物の梱包、容器封入する。



#### 原則2 汚染を拡大させない

- ①汚染区域を明確にする  
汚染区域を明確に区画し、作業員 (防護服・靴等の交換) と物品の出入りの管理をする。
- ②機材を活用する  
粉じんが舞い上がる作業では、仮設ハウスやフィルタ付局所排風機を活用する。ハウス内外の空気中ダスト放射能等を測定監視して、異常時には対応をできるようにする。



#### 原則3 体内に取り込まない

- ①保護具等を着用する  
決められた装備を着用し、呼吸用保護具は漏れが無いよう正しく装着する。
- ②身体汚染の防止  
防護装備 (マスク、防護服、手袋等) を身体または下着等に付着させないように脱着する。
- ③けがをしたら退域する  
けがをしたら迅速に非汚染区域へ退域する。



※被ばく線量限度は、「100mSv/5年」かつ「50mSv/年」

## 休憩場所から作業場所への移動動線の設定に関する知識

### (1) 1Fサイト内運用区分管理状況

区分		防護装備
Red $\alpha$ Zone (アノラック エリア)	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、または超える恐れのある作業エリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全面マスク</li> <li>・カバーオール1重 and アノラック</li> <li>・作業靴 (R Zone 専用)</li> <li>・ヘルメット (R Zone 専用)</li> <li>・綿手+ゴム手袋</li> <li>・靴下</li> </ul>
Red Zone (アノラック エリア)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1～3号機原子炉建屋内</li> <li>・滞留水 (水位安定エリアに貯留する滞留水及び建屋に貯留する滞留水) を保有する原子炉建屋やタービン建屋地下などのエリア、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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全面マスク</li> <li>・カバーオール1重 and アノラック</li> <li>・作業靴 (Y Zone 専用)</li> <li>・ヘルメット (Y Zone 専用)</li> <li>・綿手+ゴム手袋</li> <li>・靴下</li> </ul>
Yellow $\beta$ Zone (カバーオール エリア)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理設備を含む建屋内 ※1</li> <li>・濃縮塩水/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関わる作業</li> <li>・70<math>\mu</math>m線量当量率 (<math>\gamma+\beta</math>) /1cm線量当量率 (<math>\gamma</math>) が4倍を超えるエリア</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全面マスク</li> <li>・カバーオール1重 and アノラック</li> <li>・作業靴 (Y Zone 専用)</li> <li>・ヘルメット (Y Zone 専用)</li> <li>・綿手+ゴム手袋</li> <li>・靴下</li> </ul>
Yellow Zone (カバーオール エリア)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1～4号機周辺建屋内および建屋周辺の一部</li> <li>・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</li> <li>・作業環境に応じて随時設定するエリア</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・半面マスク</li> <li>・カバーオール</li> <li>・作業靴 (Y Zone 専用)</li> <li>・ヘルメット (Y Zone 専用)</li> <li>・綿手+ゴム手袋</li> <li>・靴下</li> </ul>
Green Zone (一般服 エリア)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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 <math>\beta</math> Zone」、「Red Zone」、「Red <math>\alpha</math> Zone」以外のエリア</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DS2マスク</li> <li>・一般作業服</li> <li>・作業靴 (G Zone 専用)</li> <li>・ヘルメット (G Zone 専用)</li> <li>・綿手+ゴム手袋または軍手</li> <li>・靴下</li> </ul>
White Zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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)</li> <li>・地下水バイパス一時貯留水タンクフィルタユニット内</li> <li>・一時的に設定している各休憩所</li> </ul>	

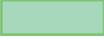
※1 濃縮塩水等を取り扱わない作業、タンクパトロール、作業計画時の現場調査、視察等は除く。

## (2) 構内全体における各区分の状況



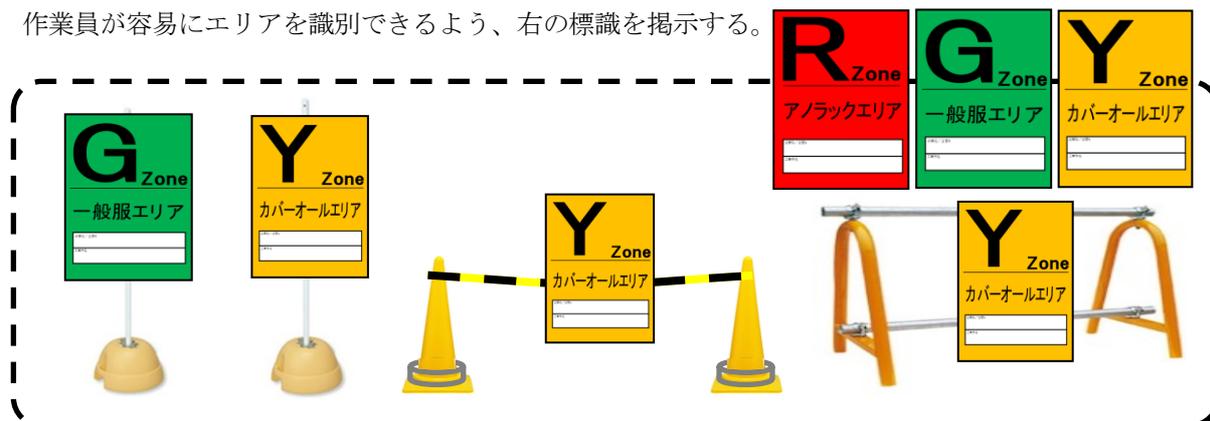
(出典：東京電力ホールディングス(株) 提供資料より)

## (3) 運用区分管理の基本事項

 <b>R Zone (アノラックエリア)</b>	<p>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、または超える恐れのある作業エリア</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1～3号機原子炉建屋内</li> <li>滞留水（水位安定エリアに貯留する滞留水及び建屋に貯留する滞留水）を保有する原子炉建屋やタービン建屋地下などのエリア、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</li> </ul>
 <b>Y Zone (カバーオールエリア)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水処理設備を含む建屋内</li> <li>濃縮塩水／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関わる作業</li> <li>70<math>\mu</math>m線量当量率 (<math>\gamma+8</math>) /1cm線量当量率 (<math>\gamma</math>) が4倍を超えるエリア</li> <li>1～4号機周辺建屋内および建屋周辺の一部</li> <li>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</li> <li>作業環境に応じて随時設定するエリア</li> </ul>
 <b>G Zone (一般服エリア)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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 <math>\beta</math> Zone」、「Red Zone」、「Red <math>\alpha</math> Zone」以外のエリア</li> </ul>

## 標識の掲示例

境界の識別 Yellow ZoneやGreen Zone等の境界には、  
作業員が容易にエリアを識別できるように、右の標識を掲示する。



### (4) 各エリアの防護装備

R Zone (アノラックエリア)	Y Zone (カバーオールエリア)	G Zone (一般服エリア)
全面マスク 	全面マスク 又は 半面マスク  	使い捨て式防じんマスク 
カバーオールの上にアノラック 	カバーオール 	一般作業服 

- ※1 水処理設備[多核種除去装置等]を含む建屋内の作業（視察等を除く）は、全面マスクを着用する。
- ※2 濃縮塩水、Sr処理水を内包しているタンクエリアでの作業（濃縮塩水等を取り扱わない作業、パトロール、作業計画時の現場調査、視察等を除く）時及びタンク移送ラインに関わる作業時は、全面マスクを着用する。

出典：東京電力ホールディングス（株）提供資料より

### 3

## 事例集

### (1) 1F-1/2号機 SGTS配管線量調査における被ばく低減の取り組み

場 所		分 類		被ばく低減対策事例	番号
原子炉建屋内	RB	1	時間		
タービン建屋内	TB	2	距離		
R Zone	R	<b>3</b>	<b>遮へい</b>		
Y Zone	Y	4	線源の除去		
<b>G Zone</b>	<b>G</b>	<b>5</b>	<b>遠隔、ロボット化</b>		
その他 ( )	Z	6	汚染拡大防止		
		7	その他		
作業場所	福島第一原子力発電所 1号機 西側道路				
概 略	高線量化が確認されている 1/2号機のSGTS配管の線量調査にあたり、作業者の被ばく低減と負担軽減のため、大型クレーンによる遠隔対応および作業エリアへの遮へいを実施した。				
評 価 (定性・定量)	効 果		対策前	対策後	
		被ばく線量(mSv)	198.59	169.64	
		人工数(人日)	1,521	1,614	

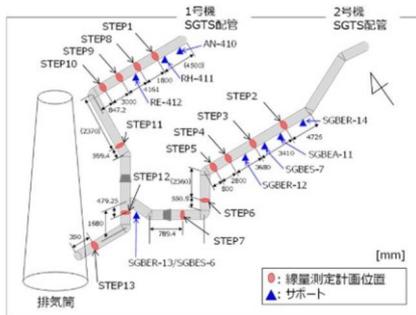
#### 事例詳細

##### 【概要】

1/2号機の非常用ガス処理系(SGTS)配管は、PCV ベントに起因する高汚染が確認されており、今後の1号機原子炉建屋大型カバー設置や周辺建屋撤去に干渉すると共に、構内作業員の被ばく低減のため、撤去が計画されている。

現在、未撤去である排気筒周辺のSGTS配管について、切断時の放射性ダスト飛散に伴う敷地境界の影響を評価するにあたり、切断計画位置(計13箇所)の配管内面汚染密度を把握する必要があるが、スミヤ等での直接評価は不可能な環境である。このため、外部の線量影響を受けない様に鉛遮へいを設けた線量計測装置を準備して配管の表面線量率を計測し、その値を元に解析にて配管内面の汚染密度を評価することとした。線量計測装置を用いた配管表面線量の測定は、大型クレーンによる遠隔操作にて各計測ポイント(切断計画位置)へアクセスし実施した。

また、本作業ではGPS機能付旋回制御装置の適用により線量測定装置の位置ずれを抑制し、再測定等の後戻り作業を排除することで作業員の負担軽減、被ばく低減を図ると共に、装置メンテナンス作業での被ばく低減対策を講じた。



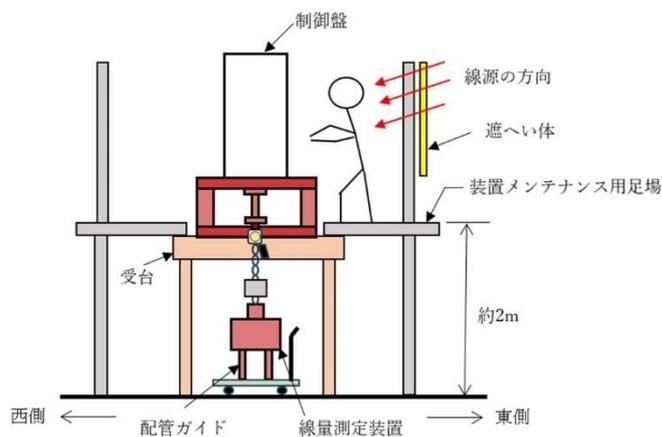
SGTS 配管線量測定箇所

線量測定装置

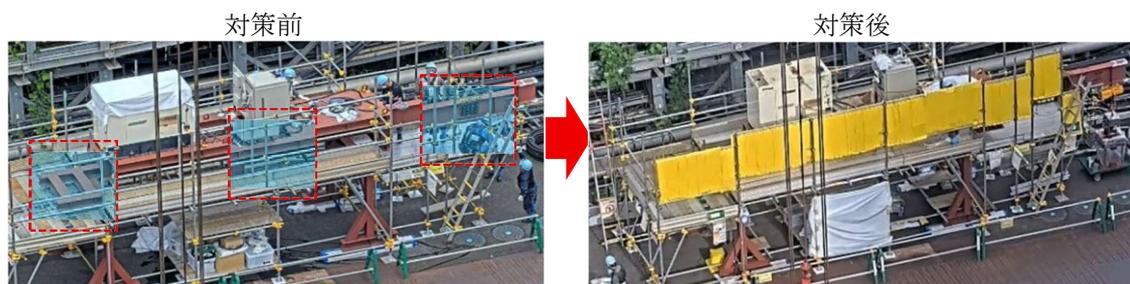
GPS 機能付旋回装置

**【装置メンテナンス作業時の被ばく対策】**

各測定点での線量測定前後にて測定装置の健全性を確認するため、1-2号機西側道路に設置した装置メンテナンス用足場(地上より約2m)にてメンテナンス作業を実施する必要があるため、足場上での空間線量率を測定すると共に、線源の方向を確認した。その結果、空間線量率は足場上の高所が高い傾向であり、1/2号機排気筒および2号機R/B方向からの線量寄与が大きい状況が確認されたため、足場上の線源方向(東側)に遮へいを設置し、被ばく低減を図った。



装置メンテナンスエリア概要図



**【対策の効果】**

主要な作業エリアである装置メンテナンス用足場上において、東側(1/2号機排気筒側)への遮へい設置を行った結果、最大64%の雰囲気線量率の低減を実現した。

各足場上の被ばく低減効果の詳細を下表に示す。

装置メンテナンス用足場上（3か所）への仮設遮へい設置による被ばく低減効果

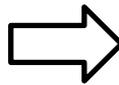
測定位置	遮へい前	遮へい後	低減率 (%)	遮へい材 鉛 3mm (枚数)
	幾何平均値 (mSv/h)	幾何平均値 (mSv/h)		
①地上約 1.8m 足場床面+1.2m	0.095	0.0556	41.5	13
②地上約 2.3m 足場床面+1.2m	0.136	0.0486	64.3	32
③地上約 2.0m 足場床面+1.2m	0.141	0.0637	54.8	13

(2) 1F-3号機PCV内部気中部調査（マイクロドローン調査）  
における被ばく低減

場 所		分 類		被ばく低減対策事例	番号
原子炉建屋内	RB	1	時間		
タービン建屋内	<b>TB</b>	2	距離		
R Zone	R	<b>3</b>	<b>遮へい</b>		
<b>Y Zone</b>	<b>Y</b>	4	線源の除去		
G Zone	G	5	遠隔、ロボット化		
その他 ( )	Z	6	汚染拡大防止		
		7	その他		
作業場所	3号機タービン建屋重汚染区域立入用チェンジングプレース				
概 略	3号機タービン建屋重汚染区域立入用チェンジングプレース部の仮設遮へいにより被ばく低減を図った。				
評 価 (定性 <b>定量</b> )	効 果		対策前	対策後	
		被ばく線量(mSv)	0.14	0.09	
		人工数(人日)	-	-	

事例詳細

3号機タービン建屋にある重汚染区域立入用チェンジングプレース部の線源となっている床面に鉛毛マット180枚を敷設し、原子炉建屋立入者および重装備脱衣補助者の被ばく低減を図った。



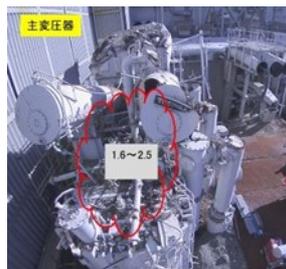
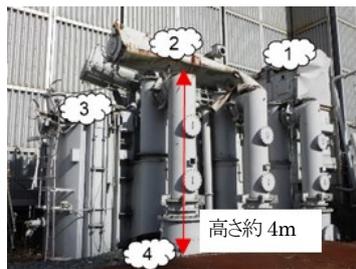
遮へい前

遮へい後

### (3) 瓦礫撤去作業における遠隔重機の適用

場 所		分 類		被ばく低減対策事例			
原子炉建屋内	RB	1	時間			番号	
タービン建屋内	TB	2	距離				
R Zone	R	3	遮へい				
<b>Y Zone</b>	<b>Y</b>	4	線源の除去				
G Zone	G	<b>5</b>	<b>遠隔、ロボット化</b>				
その他 ( )	Z	6	汚染拡大防止	番号			
		7	その他				
作業場所	3号機 主変圧器・所内変圧器エリア						
概 略	変圧器上部に堆積する瓦礫撤去を遠隔重機で実施						
評 価 (定性・定量)	効 果		対策前	対策後			
		被ばく線量(mSv)	234.8	88.6 (※)			
		人工数(人日)	340	232 (※)			

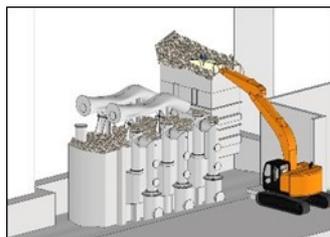
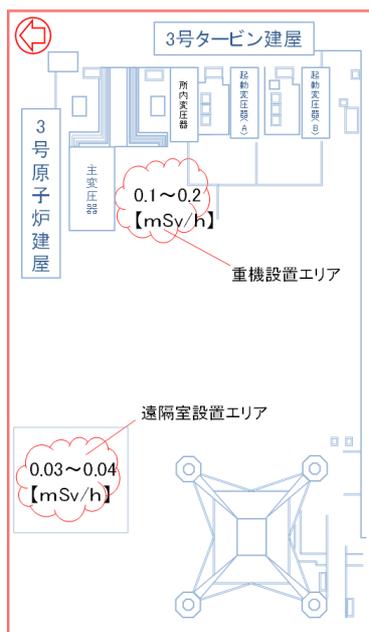
#### 事例詳細



主変圧器 設置状況

#### 【変圧器周囲 線量当量率 (mSv/h)】

1. 表面 2.0~6.5 (at 1m 1.6~2.5)
2. 表面 2.0~6.5 (at 1m 1.6~2.5)
3. 表面 2.0~6.5 (at 1m 1.6~2.5)
4. 表面 0.3~1.5 (at 1m 0.1~0.3)



遠隔重機による瓦礫撤去作業イメージ

#### 【対策後 線量当量率 (mSv/h)】

- 遠隔操作室設置エリア  
0.03~0.04mSv/h
- 重機設置エリア  
0.1~0.2mSv/h

**対策前**：人力での瓦礫撤去を計画

**対策後**：遠隔重機を用いて変圧器上部の瓦礫撤去を実施

(※) 現在も作業は継続中であり、記載している線量と人工数は、計画の数値になります。  
計画では、遠隔操作室で重機操作を全て実施する計画であったが、操作室画面から確認できない箇所もあり、重機近傍（重機設置エリア）にて操作する場面もあります。

線量当量率は、β線を含む(β+γ)場においても、γ線による場合と同程度

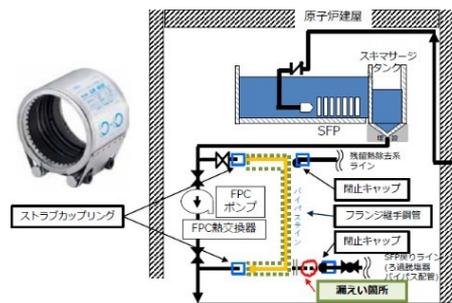
#### (4) 1F-2号機F P Cバイパスライン設置における被ばく低減対策

場 所		分 類		被ばく低減対策事例
原子炉建屋内	RB	1	時間	
タービン建屋内	TB	2	距離	
R Zone	R	3	遮へい	
Y Zone	Y	4	線源の除去	
G Zone	G	5	遠隔、ロボット化	
その他 ( )	Z	6	汚染拡大防止	
		7	その他	
作業場所	2号機 原子炉建屋 3階 F P C 熱交換器室			
概 略	2号機SFPスキマサージタンク水位低下事象への緊急対応として、原子炉建屋3階にF P Cバイパスラインを設置した。			
評 価 (定性 定量)	効 果		対策前	対策後
		被ばく線量(mSv)	1330.58	490.66
		人工数(人日)	—	—

#### 事例詳細

被ばく低減対策として、以下の項目を実施した。

項 目	概 要
1 自動化・遠隔化	監視カメラ・インターホンの活用
2 低線量エリアの活用	タービン建屋1階の低線量率エリアに現場本部を設置 原子炉建屋3階CRD補修室を一時的な待機場所として活用
3 遮へい	F P C熱交換器室内のスポット線源に遮へいを設置
4 アクセスルート	現場本部からFPC熱交換器室までのアクセスルートを選定し、LED照明で識別表示を実施
5 工法の改善	配管施工を従来の溶接工法からストラブカップリング工法へ変更 原子炉建屋1階から2階への足場材運搬を揚重機にて実施
6 モックアップ	防護装備を着用して各作業のモックアップを実施
7 その他	線量表示器、イルミネーションチューブの設置、 ハイグリップ長靴の採用



出典：東京電力ホールディングス株式会社

編集：東芝エネルギーシステムズ株式会社

(5) 1Fにおける線源逆推定システム（3D-ADRES-Indoor）の活用  
：線源・線量率マップ作成と線源対策のシミュレーション

場 所		分 類		被ばく低減対策事例			
原子炉建屋内	RB	1	時間				
タービン建屋内	TB	2	距離				
R Zone	R	3	遮へい				
Y Zone	Y	4	線源の除去				
G Zone	G	5	遠隔、ロボット化				
その他 ( )	Z	6	汚染拡大防止	番号			
		7	その他				
作業場所		1F 2号機1階/2階 3号機1階					
概 略		SPOTによる遠隔調査（点群・線量率）と線源逆推定及び被ばく及び線源対策シミュレーション					
評 価 (定性・定量)	効 果			対策前	対策後		
		被ばく線量(mSv)		79mSv			
		人工数(人日)		32人×36日			

事例詳細

日本原子力研究開発機構（JAEA）は、1Fにおける廃炉作業者の被ばく低減に向けたデジタル技術の開発を行うため、経済産業省の廃炉・汚染水対策事業費補助金「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（原子炉建屋内の環境改善のための技術開発（被ばく低減のための環境・線源分布のデジタル化技術の高機能化開発））」に係る補助事業（国プロ）[1.1]を受託し、令和5年4月当初から令和7年3月末までの期間（2年間）、1F屋内の放射線環境改善に係るデジタル技術の研究開発事業を進めてきた。

当該国プロでは、屋内構造物のモデルを構築するための点群の計測と、放射線の線量率分布の計測を行うため、四足歩行ロボット（Boston Dynamics 社SPOT）を利用し、遠隔にて上記計測データを取得した後、放射線源を逆推定し、放射線量の3D分布をシミュレーションにより順推定することで、被ばく線量を評価し、線源対策（除染、遮蔽等）のシミュレーションを実施可能とするシステムを構築した（図1参照）。

次に、その開発システムの性能試験を1F-2/3号機にて実施し、当該システムの最も重要な要件の一つである、任意の地点の推定線量率の精度を実測値の倍半以内とする目標の達成を凡そ確認することに成功した。これにより、アバターを用いた廃炉作業者の被ばく線量評価等が可能となる他、仮想空間上での線源対策による放射線環境改善に対する事前評価も可能になると考えられる。

以上、上記技術の更なる継続的進展を通し、今後の廃炉作業における廃炉作業者の被ばく低減に貢献したい。

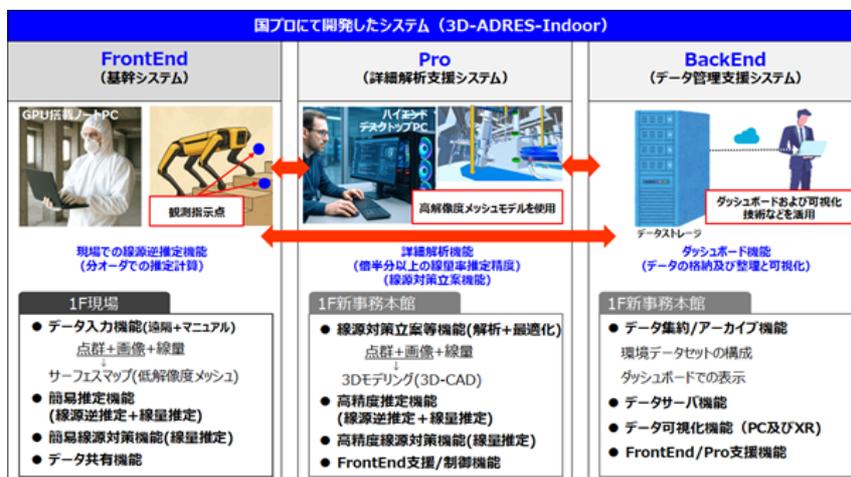


図1：開発システム3D-ADRES-Indoorイメージ（3つのコンポーネントから構成）

# 被ばく低減対策事例集

令和8年2月発行

厚生労働省委託事業

「東電福島第一原発廃炉等作業における被ばく低減対策普及啓発事業」

受託者 テクニル株式会社

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町1-3