

福島第一原子力発電所 1号機 燃料取り出し工法及びガレキ落下防止・緩和対策

2020年2月17日



東京電力ホールディングス株式会社

第一編 燃料取り出し工法

第二編 ガレキ撤去作業時のガレキ落下防止・緩和対策
(使用済燃料プール養生他)

1. 経緯

- 1号機は、2018年1月から原子炉建屋（以下、「R/B」）のオペレーティングフロア上部（以下、「オペフロ」）のガレキ撤去作業に着手。
- オペフロ北側及び中央の屋根スラブ撤去は概ね完了したが、オペフロ南側については屋根の崩落に伴い天井クレーン及び燃料取扱機が損傷して残置している状況であり、これまで南側の屋根ガレキや天井クレーン等の調査を進めてきた。また、正規の位置からずれている原子炉ウェルプラグについても、プラグのずれ状況や汚染状況等について調査を進めてきた。
- 今後、オペフロ南側の崩落した屋根等の撤去作業を進めて行くためには、上記調査結果を踏まえ、ダスト飛散に留意したより慎重な作業が求められる。
- 以上から、燃料取り出しは、これまで検討してきた「ガレキ撤去完了後に燃料取り出し用カバーを設置する」プランと、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」プランの2案について検討を進めた。



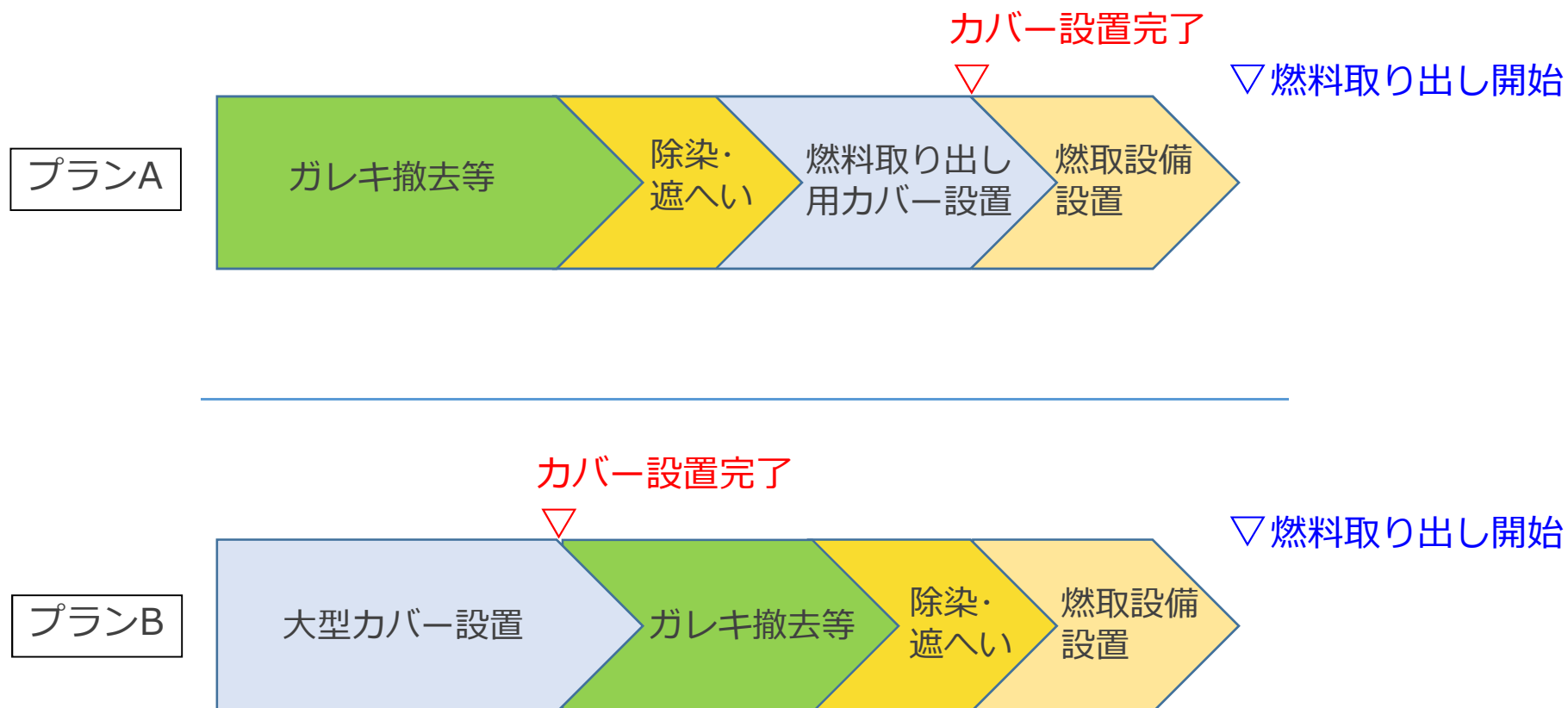
崩落屋根下の既存設備の状況（イメージ図）



南側崩落屋根の状況

2. 検討プランの作業フロー

- 屋外でのガレキ撤去作業後に燃料取り出し用カバーを設置して、燃料取り出しを行う現計画(プランA)と、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、先行して大型カバーを設置する計画(プランB)を検討した。



※上記フローは、プランA/Bともに現在実施中のガレキ落下対策以降の作業を示す。

3. 検討プランの概要

■プランA, Bの概要は以下の通り。

	プランA	プランB
架構イメージ	<p>雨養生カバー 燃料取り出し用カバー 燃料取扱機 クレーン</p>	<p>ガレキ撤去用天井クレーン 大型カバー 燃料取扱機 クレーン</p>
概要	<ul style="list-style-type: none"> ガレキ撤去後、除染・遮へいを行い、燃料取り出し用カバー、燃料取扱設備を設置し、燃料取り出しを行う 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋を覆う大型カバーを先行設置し、カバー内の天井クレーンを用いてガレキを撤去 除染・遮へい後、燃料取扱設備を設置し、燃料取り出しを行う
架構規模	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨：約4,000t 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄骨：約4,100t ガレキ撤去用天井クレーン：約360t
架構寸法	約45m(南北)×約50m(東西)×約55m(GL高さ)	約65m(南北)×約50m(東西)×約65m(GL高さ)
燃取設備	燃料取扱機：門型クレーン式 クレーン：門型クレーン式	同左
燃料取り出し	構内用輸送容器 (3号機用：7体キャスク)	同左

■ プラン検討にあたっては、以下の項目を中心に総合的に評価する。

1. ダスト飛散対策

✓ ガレキ撤去に伴うダスト飛散対策の信頼性が高い工法であること。

2. 作業員被ばく

✓ 作業員被ばくが少ない工法であること。

3. 雨水対策

✓ 建屋滞留水の流入抑制の観点で、建屋に流入する雨水が低減できる工法であること。

4. R/B周辺工事との干渉

✓ R/B周辺工事等の他の廃炉作業への工事影響が少ない工法であること。

5. 評価結果

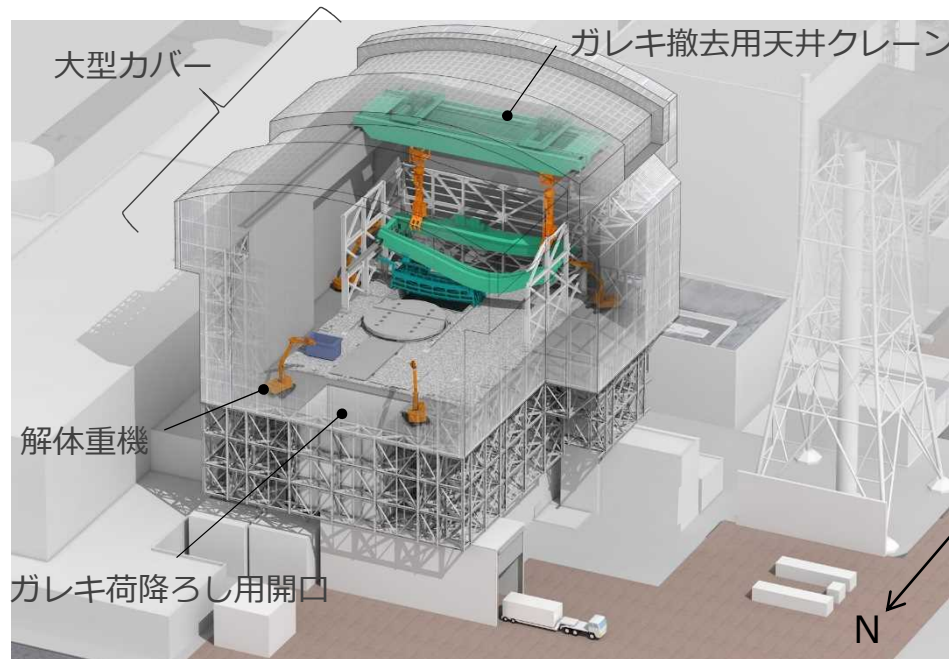
- 大型カバーを先行設置し、カバー内でガレキ撤去を行うプランBの方が、オペフロ作業中のダスト対策の信頼性や雨水の建屋流入抑制の観点で優位性があると判断し、プランBを選択する。

プラン名		プランA	プランB
架構イメージ			
評価	ダスト飛散	○ ・飛散防止剤の散布やダスト飛散の少ない工法を採用し、管理を実施	◎ ・カバー内でのガレキ撤去作業により、ダスト飛散対策の信頼性を向上
	作業員被ばく	○ ・カバー施工時はオペフロガレキ撤去後の状態で実施。燃取り完了までの被ばく想定(約20Sv・人)	△ ・カバー施工時はオペフロガレキがある状態で実施。燃取り完了までの被ばく想定(約24Sv・人) ・今後の詳細検討のなかで、遠隔施工や省人化、遮へい等により可能な限り被ばく低減を図る。
	雨水対策※1	△ ・カバー設置時期はガレキ撤去後となる	○ ・カバーの先行設置により雨水流入を早期に抑制
	R/B周辺工事との干渉	○ ・カバー施工時の地組ヤードやカバー部材の通行ルートの確保が必要(プランA,B共通)	○ ・カバー設置時に南側既設設備等の撤去作業と干渉するが、南面施工時期を調整し対応予定
	工事期間	△ ・作業手順の組み替えのためプランBに対して大差はないと判断。但し、ガレキ撤去期間は屋外作業のためプランBより長くなると想定。	△ ・作業手順の組み替えのためプランAに対して大差はないと判断。但し、カバー施工期間は架構規模が大きいいためプランAより長くなると想定。
	燃料取り出し作業期間	○ ・プランA,Bで燃料取扱設備(燃料取扱機、クレーン)及び構内輸送容器は同じため、同等と想定	○ ・プランA,Bで燃料取扱設備(燃料取扱機、クレーン)及び構内輸送容器は同じため、同等と想定

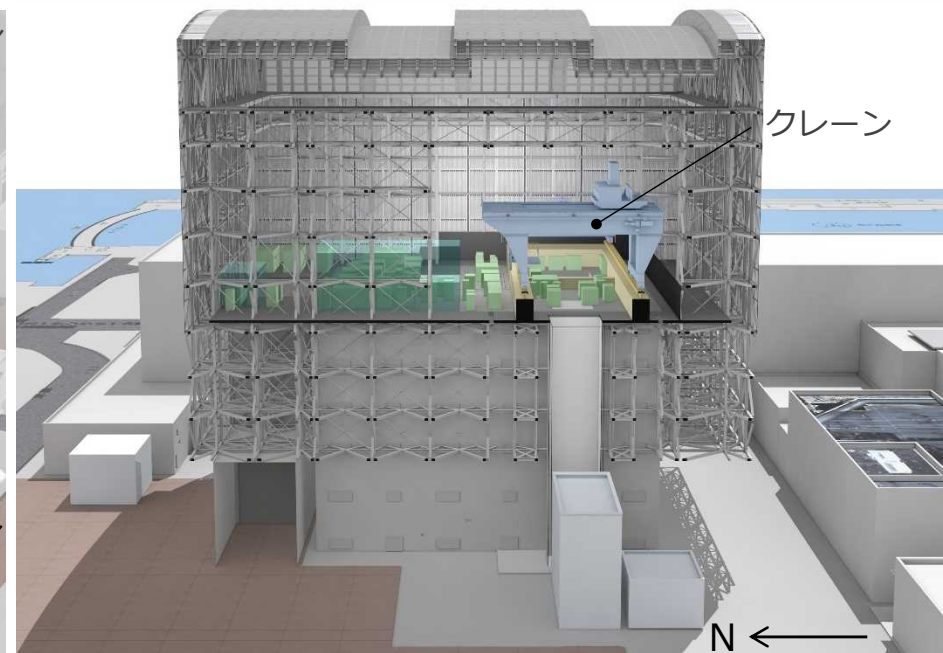
※1 建屋への雨水流入量は、R/B屋根面積と年間降雨量平年値より、1.8km³/年程度と試算

6. プランBの概要

- オペフロ全体を大型カバーで覆い、カバー内のガレキ撤去用天井クレーンや解体重機にてガレキ撤去を行う。
- ガレキ撤去後、オペフロの除染・遮へいを行い、燃料取扱設備(燃料取扱機, クレーン)を設置する。



ガレキ撤去時のイメージ図

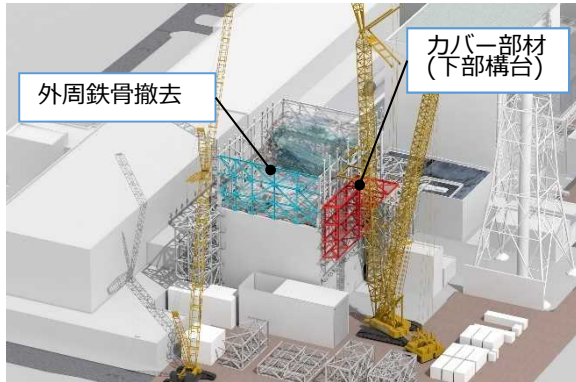


燃料取り出し時のイメージ図※

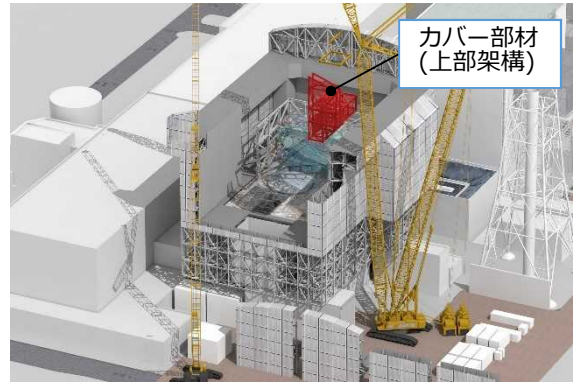
※パース作成上、図示されていない設備有り(ガレキ撤去用天井クレーン, 燃料取扱機等)

7. 主な作業ステップのイメージ (大型カバー設置～燃料取扱設備設置) **TEPCO**

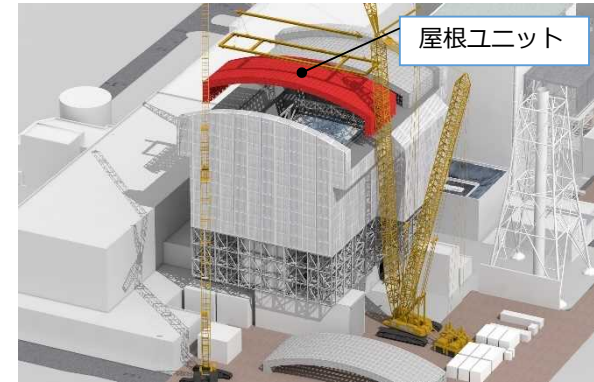
■ 主な作業ステップイメージを下図に示す。



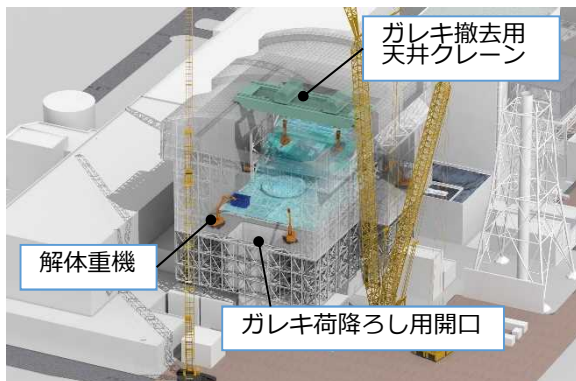
①R/B外壁アンカー工事・下部構台設置



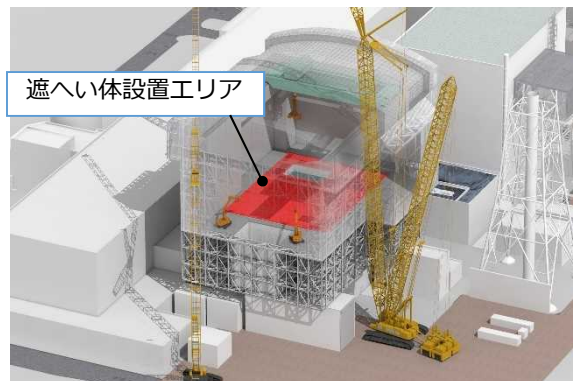
②上部架構設置



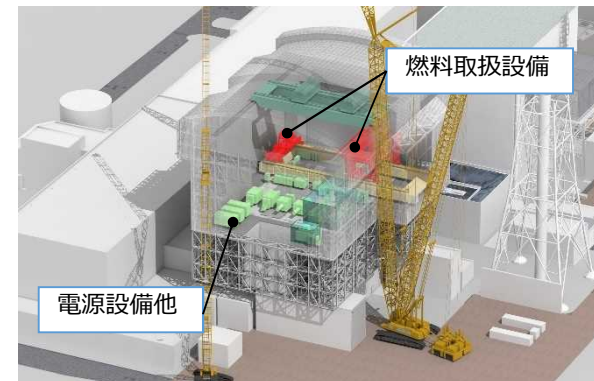
③屋根ユニット設置



④ガレキ撤去



⑤除染・遮へい

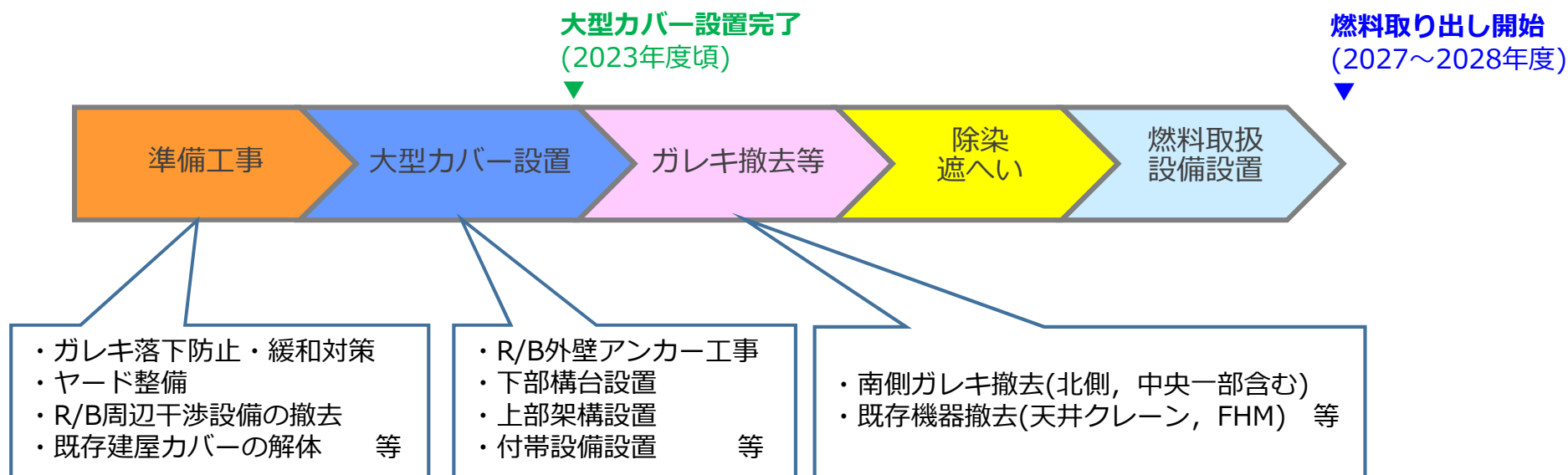


⑥燃料取扱設備設置

※現在、基本設計中のため、詳細は変更となる可能性有り

8. 燃料取り出し計画の全体工程

- 現在、ガレキ落下防止・緩和対策のための使用済燃料プール（以下、SFP）周辺小ガレキ撤去を実施中。
- 今後、SFP養生等のガレキ落下防止・緩和対策や大型カバー設置のためのヤード整備、R/B周辺干渉設備の撤去等の準備工事を進めていく。
- 大型カバーは2023年度頃に設置完了し、燃料取り出しは2027～2028年度に開始する。



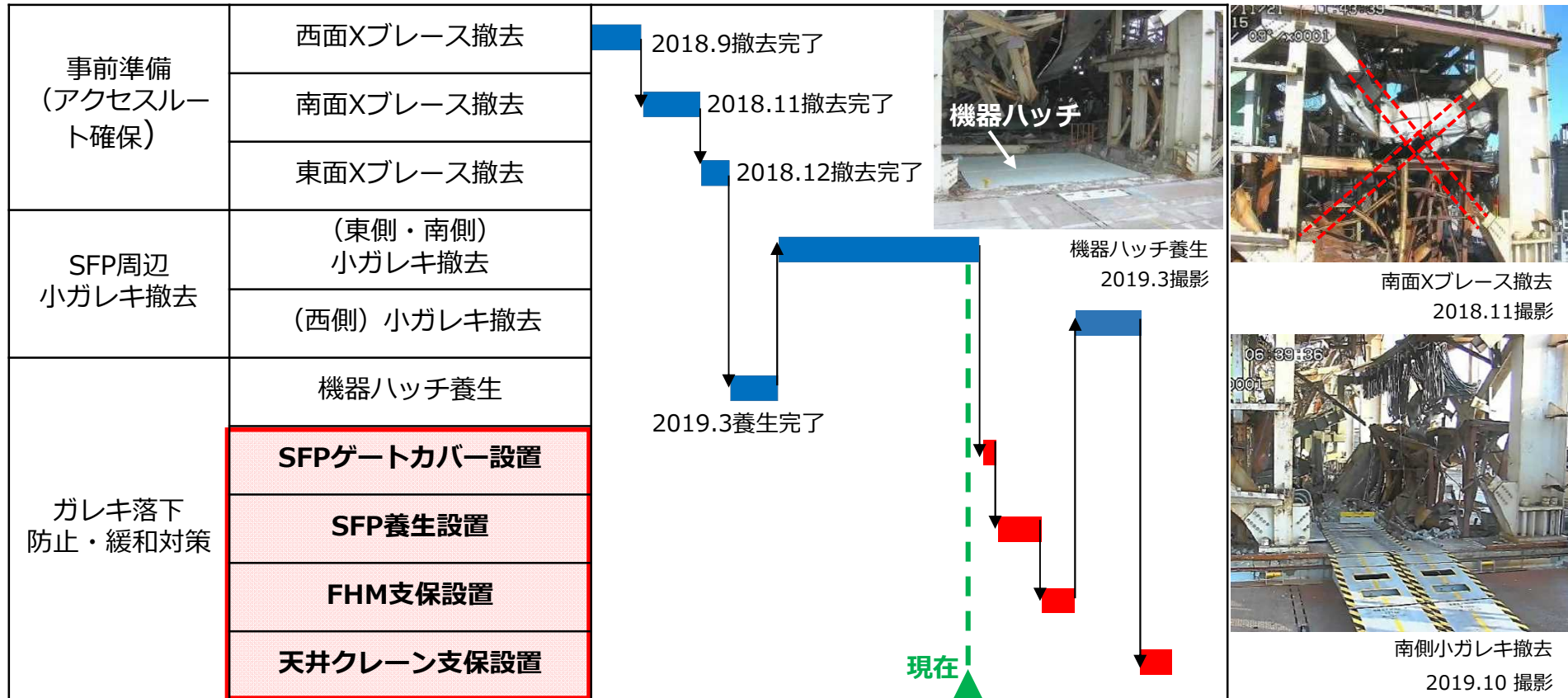
第一編 燃料取り出し工法

第二編 ガレキ撤去作業時のガレキ落下防止・緩和対策
(使用済燃料プール養生他)

1. ガレキ撤去及びガレキ落下防止・緩和対策の進捗状況

- 南側ガレキ崩落屋根の撤去に際し屋根鉄骨・ガレキ等が落下した際のリスクを可能な限り低減するため、崩落屋根下についてガレキ落下防止・緩和対策を実施する。

— 2018年度 ◀ — 2019年度 ▶ — 2020年度 —



2. ガレキ落下防止・緩和対策の全体概要

①SFP養生

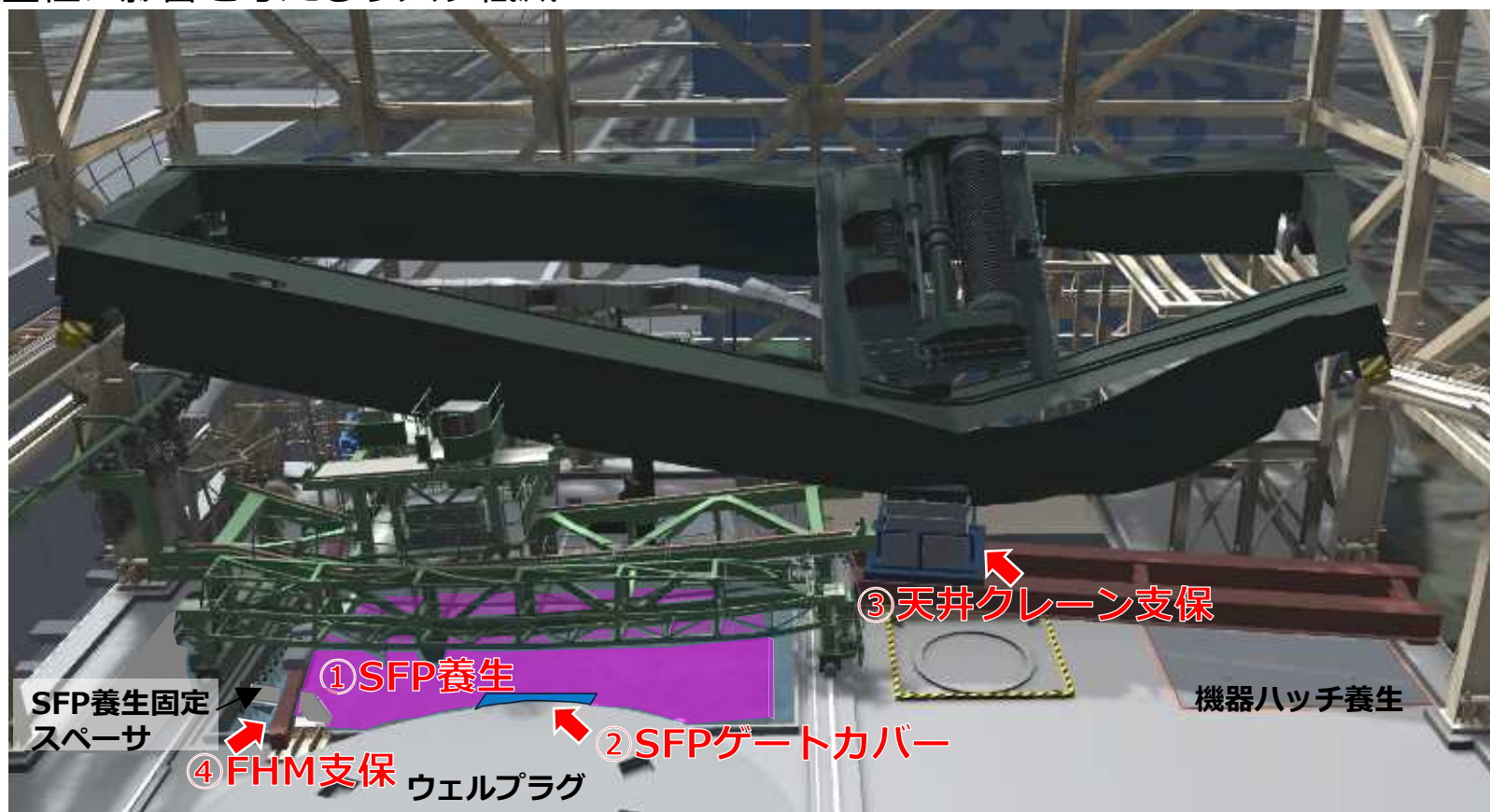
- 屋根鉄骨・小ガレキ等がSFPに落下した際に燃料等の健全性に影響を与えるリスク低減

②SFPゲートカバー

- 屋根鉄骨・小ガレキ等がプールゲート上に落下した際のプールゲートのずれ・損傷による水位低下リスクを低減

③天井クレーン支保, ④FHM支保

- 屋根鉄骨・小ガレキ等撤去により, 天井クレーン/燃料取扱機 (以下, FHM) の位置ずれや荷重バランスが変動し天井クレーン落下に伴うダスト飛散のリスク及び燃料等の健全性に影響を与えるリスク低減

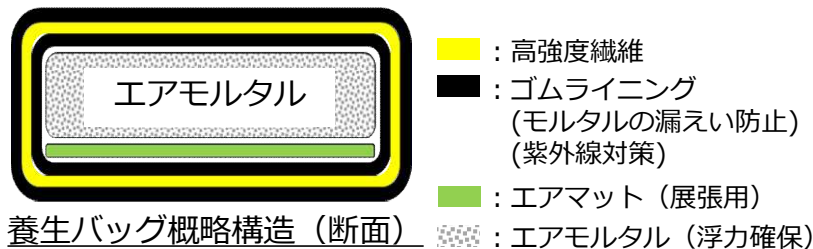


3. SFP養生バッグ・SFPゲートカバー概要

- 貯蔵している使用済燃料，プールゲートを保護するようにSFP上には養生バッグ，SFPゲート上にはゲートカバーの設置を実施する。

SFP養生バッグ※1	SFPゲートカバー
<p>東作業床から巻物状にした養生バッグをSFPに投入，展張する。展張後，エアモルタルを注入して設置完了</p> <p> □ : 養生バッグ ∨ : CRハンガー □ : FHM ■ : 燃料ラック </p>	<p>東作業床に設置したクレーンにより，プールゲートに接触しないようプールゲート上部に設置する。</p>

(※1)養生バッグの概略構造を以下に示す



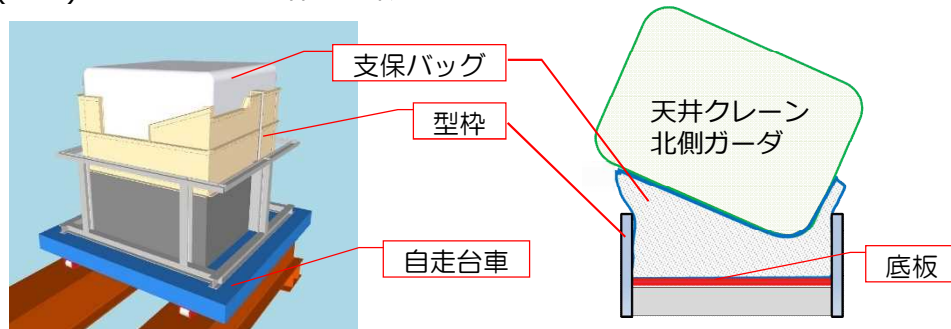
養生バッグ 仕様		
外形	W11000mm×L6000mm×H500mm	
材質	外装	高強度繊維 バッグ3層+保護シート (上面) 6層
	充填材	エアモルタル (セメント材+水+空気)

4. 天井クレーン支保, FHM支保概要

- 天井クレーン・FHM落下対策として、天井クレーンとFHMに対してアクセス可能で効果的な位置に支保材と支保梁の設置を実施する。

天井クレーン支保	FHM支保
西作業床から北側ガーダV字変形部の下部に支保材を設置する	南作業床から損傷程度の大きいFHM東側サドル部近傍のFHM下部に支保梁を設置する

(※1)天井クレーン支保材の概略構造を以下に示す



天井クレーン支保材概略構造

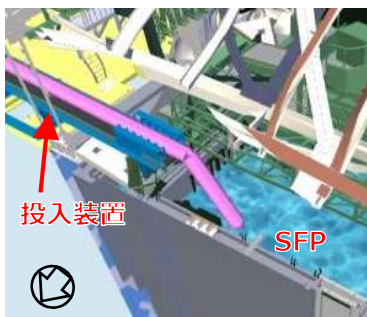
支保バッグ設置 断面イメージ

支保バッグ 仕様			
外形	W2000mm×L1850mm×H630mm		
材質	外装	天端面	ポリエステル (内袋1層+外袋2層)
		側面・底面	高強度ポリエステル (内袋1層+外袋1層)
	充填材	無収縮モルタル	

5-1. SFP養生設置における不具合対策 (1/3)

■ SFP養生設置における作業ステップごとの不具合事象を想定し、機器の二重化、予備品の準備、モックアップ及び設置訓練などを実施した上で作業に着手する。以下に不具合対策例を示す。

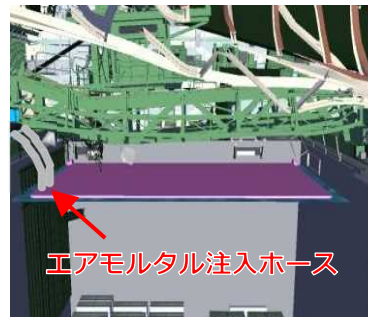
➤ SFP養生バッグ投入



【①想定不具合事象】
投入装置駆動部の故障により養生バッグを投入できない。

【対策】
駆動部が故障しても投入を継続できるように、予備の駆動部を搭載する。

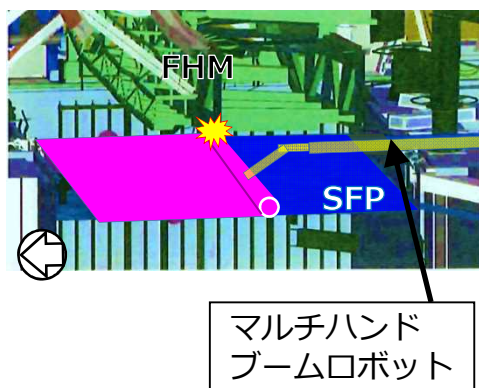
➤ SFP養生バッグエアモルタル注入



【②想定不具合事象】
エアモルタル注入時にホースが外れて、エアモルタルの注入ができなくなる。

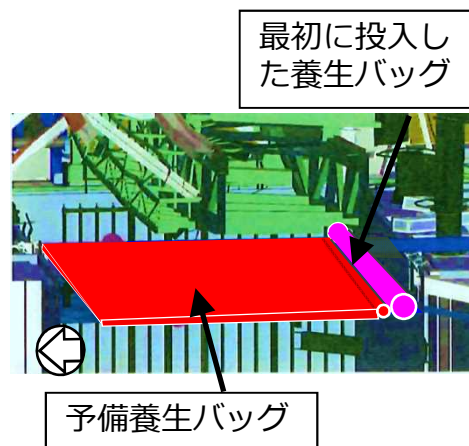
【対策】
ホースが外れてもエアモルタルの注入を継続できるように、注入システムを2重化する。

➤ SFP養生バッグ展張



【③想定不具合事象】
養生バッグが展張途中に壁面のCRハンガーに引っ掛かり展張できない。

【対策】
マルチハンドブームロボットを使用し、養生バッグの引っ掛かりを解除して展張を再開する。

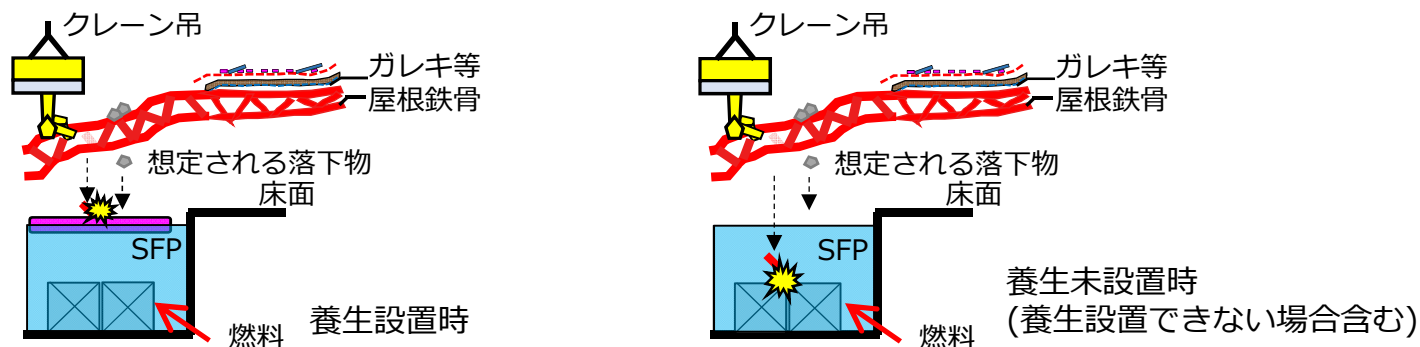


【④想定不具合事象】
巻物状の養生バッグが展張しない。

【対策】
マルチハンドブームロボットを使用し、養生バッグを南側に寄せた後、予備の養生バッグを投入・展張し、エアモルタルを注入する。

5-2. SFP養生設置における不具合対策 (2/3)

- SFP養生設置は、高線量のオペフロ上で遠隔操作による作業となる。不具合を想定した対策及び準備等は実施しているが、養生バグの投入後においては、作業環境からも重量物であるバグを引き上げることが困難であり、不具合の内容によっては、計画通りの養生の設置ができない。
- 養生設置が不具合等で設置できない場合は、ガレキ落下に伴い燃料等が損傷することで、工程及び環境（周辺公衆への放射線被ばく）への影響が考えられる。



分類	影響	養生バグ設置時	養生未設置時 (養生設置できない場合含む)	養生有無による影響
工程	ガレキ等が落下した際に燃料が損傷し工程延伸	ガレキ落下を防止できることから工程への影響小	ガレキ落下を防止できないことから工程への影響大	有
環境	ガレキ等が落下した際に燃料が損傷し、周辺公衆に与える放射線被ばく線量が増加	周辺公衆に与える放射線被ばくリスクは小さい	周辺公衆に与える放射線被ばくリスクは小さい※	設置時と未設置時では同等

※SFP内に保管されている全数（392体）の燃料が破損した場合でも周辺公衆に与える放射線被ばくリスクは小さい

- 工程に影響する要素として、「燃料取り出し期間」、「SFP内ガレキ撤去期間」、「燃料取り出し等装置設計期間」が考えられ、不具合の内容によっては工程延伸が懸念される。

5-3. SFP養生設置における不具合対策 (3/3)

- SFP養生設置作業において、万一不具合が発生した場合に工程へ与える影響は、以下のケース（例：養生バッグ展張作業～エアモルタル注入作業）が考えられる。

ケース	工程	評価
ケース① 不具合が発生しない		工程延伸期間：なし 作業継続
ケース② 展張作業時に 不具合が発生する		工程延伸期間：あり 後工程である支障物ガレキ撤去（西）等をリカバリー期間に実施することで、全体工程の延伸を可能な限り少なくする
ケース③ リカバリー後に 不具合が発生する		長期の工程延伸 作業環境からも技術的な課題が大きく、対策の検討や大幅な改良等が必要になると推測されることから、長期の工程延伸を要する。
ケース④ 展張後、エアモルタルの注入 途中で、注入できなくなる		工程延伸期間：なし エアモルタルを注入した養生バッグを回収すること及び予備の養生バッグを投入すること等は、作業環境からも技術的に困難。なお、養生がない場合と比較して、ガレキ落下防止・緩和効果は有する。

- 以上より、SFP養生設置時に不具合が発生した場合は、不具合の状況や工程延伸期間を考慮して、その後の作業の継続要否を判断する。
- 養生バッグの設置ができない場合でも、不具合の影響による工程延伸期間によっては、1F全体のリスクを低減するために早期の燃料取り出しを優先し、次のステップへ移行することも選択肢の1つとして検討する。

6. 天井クレーン支保/FHM支保/SFPゲートカバー設置における不具合対策

- 天井クレーン支保, FHM支保, SFPゲートカバー設置における作業ステップごと等の不具合事象を想定し, 機器の二重化, 予備品の準備, モックアップ及び設置訓練などを実施した上で作業に着手する。以下に不具合対策例を示す。

➤ 天井クレーン支保



【①想定不具合事象】
支保台車駆動部の故障により, 天井クレーン北側ガータ下へ支保台車を設定できない。

【対策】
支保台車の走行機構を前方駆動(2輪駆動)から前方/後方駆動(4輪駆動)にすることで, 支保台車の走行を可能にする。



【②想定不具合事象】
モルタル充填時にホースが外れて, モルタルの充填ができなくなる。

【対策】
ホースが外れてもモルタルの充填を継続できるように, モルタル充填システムを2重化する。

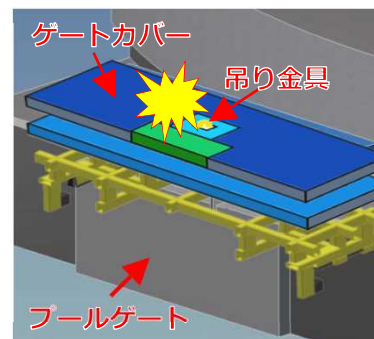
➤ FHM支保



【③想定不具合事象】
支保梁挿入装置の故障により, 挿入途中で支保梁を動かせなくなる。

【対策】
予め準備している機材により支保梁挿入装置と支保梁の固定箇所を開放した後, クレーンにより支保梁を引き抜く。

➤ SFPゲートカバー



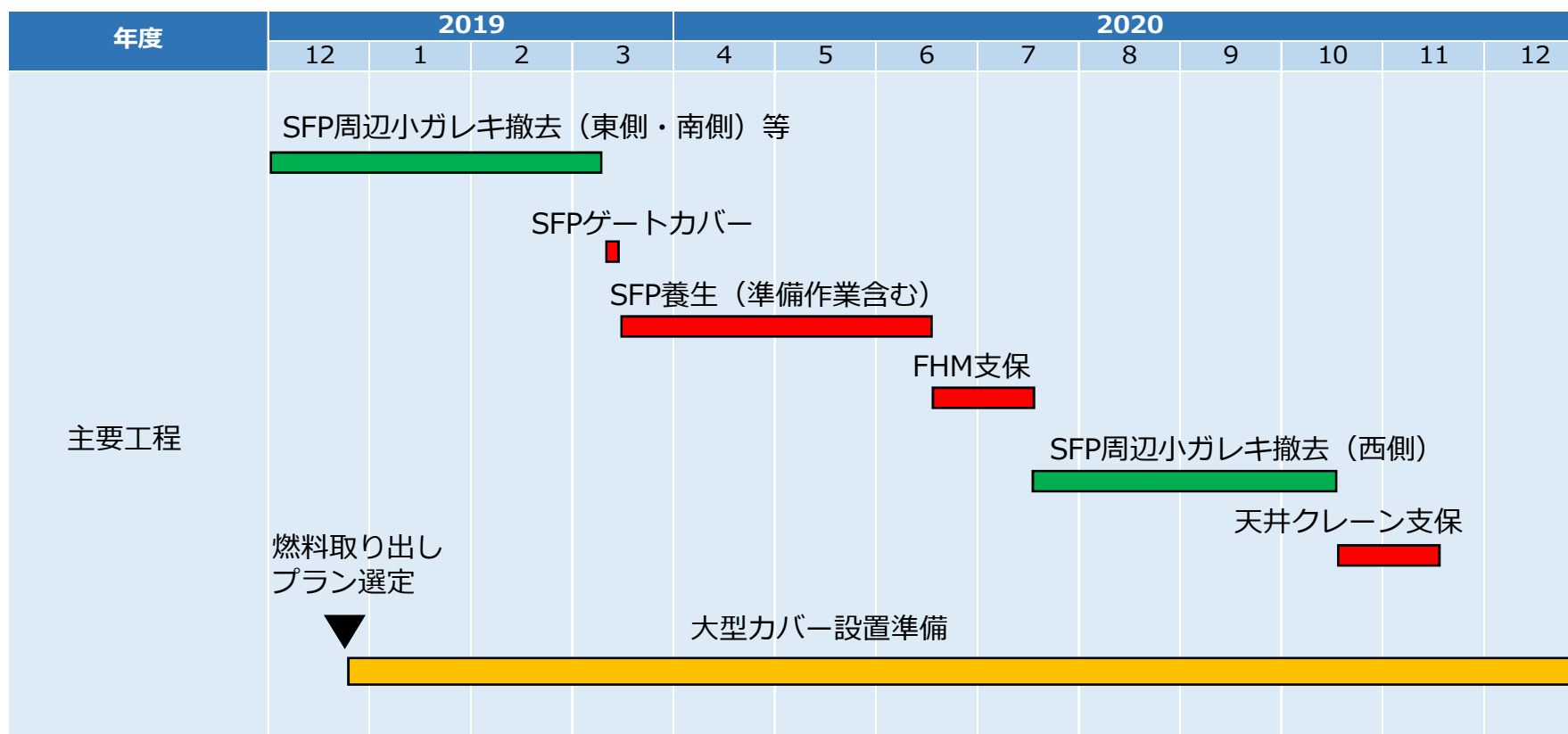
【④想定不具合事象】
屋根鉄骨・小ガレキ等の落下により, ゲートカバーの吊り金具が変形して回収できなくなる。

【対策】
吊り金具にばねを取り付けて上下に動く構造とし, 屋根鉄骨・小ガレキ等の落下による変形を防止する。

- 天井クレーン支保, FHM支保及びSFPゲートカバー設置については, 想定外の不具合が発生した場合においても地上に吊り降ろして修理を実施し再設定が可能である。

7. スケジュール

- SFP周辺小ガレキ撤去により必要な作業空間が確保でき次第、SFPゲートカバー、SFP養生、FHM支保及び天井クレーン支保を実施する予定。
- ガレキ落下防止・緩和対策の実施に向けて、事前にトレーニングを行い万全な体制を整えた上で安全最優先に作業を実施する。



※工事進捗などにより工程が変更する可能性がある

以下、参考資料

【参考】 SFP養生設置概要

- 原子炉建屋東側に設置した作業床に養生バッグ投入装置を設置し、巻物状にした養生バッグをSFPに投入（①～③）。投入完了後に養生バッグを空気で展張させ（④）、展張後にエアモルタルを注入して設置完了（⑤）。

<p>①養生バッグ設置</p>	<p>②バッグ投入 (開始)</p>	<p>③バッグ投入 (完了)</p>
<p>④バッグ展張</p>	<p>⑤エアモルタル注入・設置完了</p>	<p>配置イメージ</p>

【参考】 SFP養生バッグ設置作業モックアップ試験

- 投入作業性試験：投入装置を用いて養生バッグを模擬プールに投入(①～③)
- 展張試験：養生バッグを模擬プールに投入しエアにより展張(④, ⑤)
- 充填試験：養生バッグを展張させた状態からエアモルタルを充填(⑥)

①養生バッグ投入



②バッグ着水



③バッグ投入完了



④IAによる展張開始



⑤展張完了

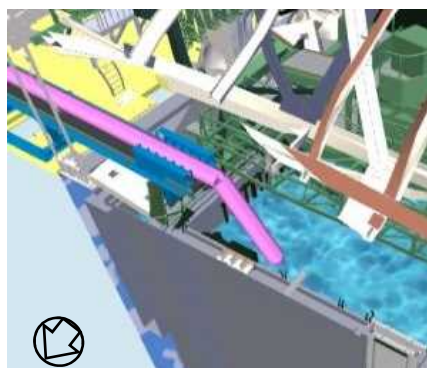


⑥IAモルタル注入後



【参考】 SFP養生設置作業におけるリスク対策（展張時不具合時）

- SFP養生バッグが展張しなかった場合，南作業床からマルチハンドブームロボットを用いて，養生バッグを南側へ介錯し，予備の養生バッグを投入，展張する計画である。



養生バッグ投入途中

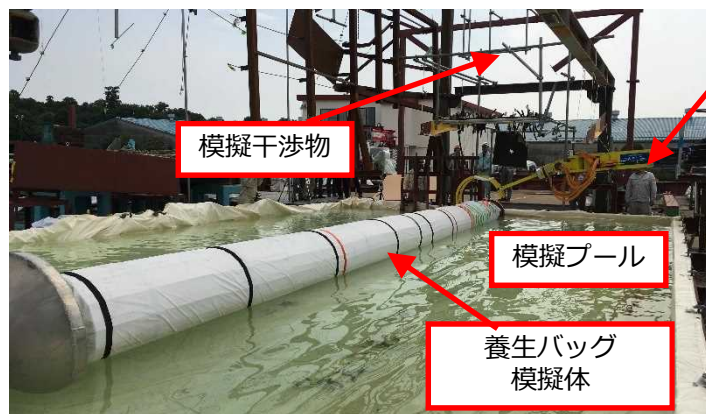


養生バッグ投入完了



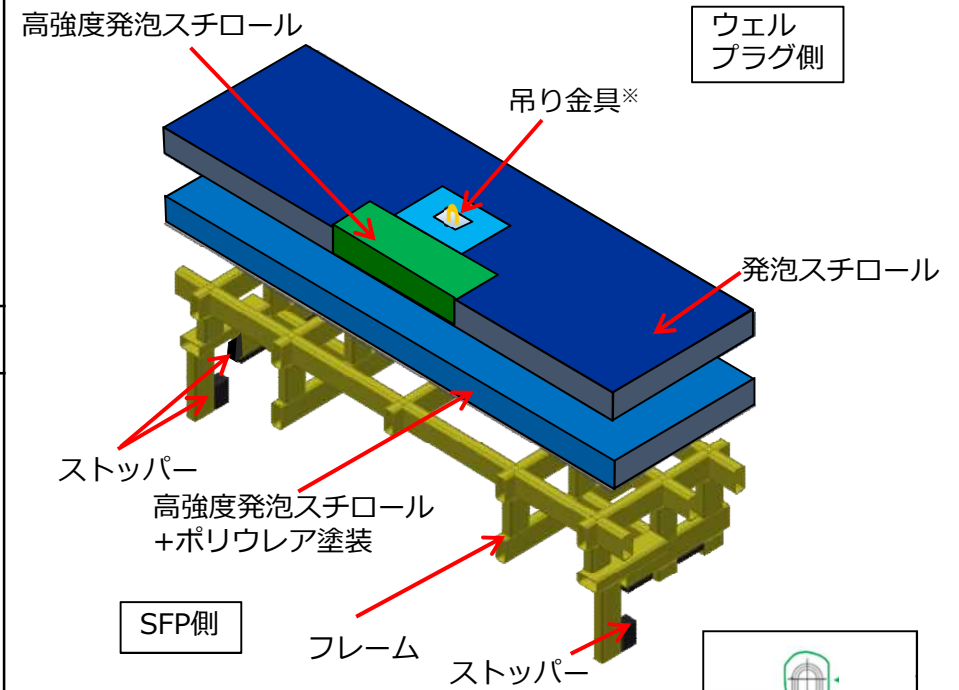
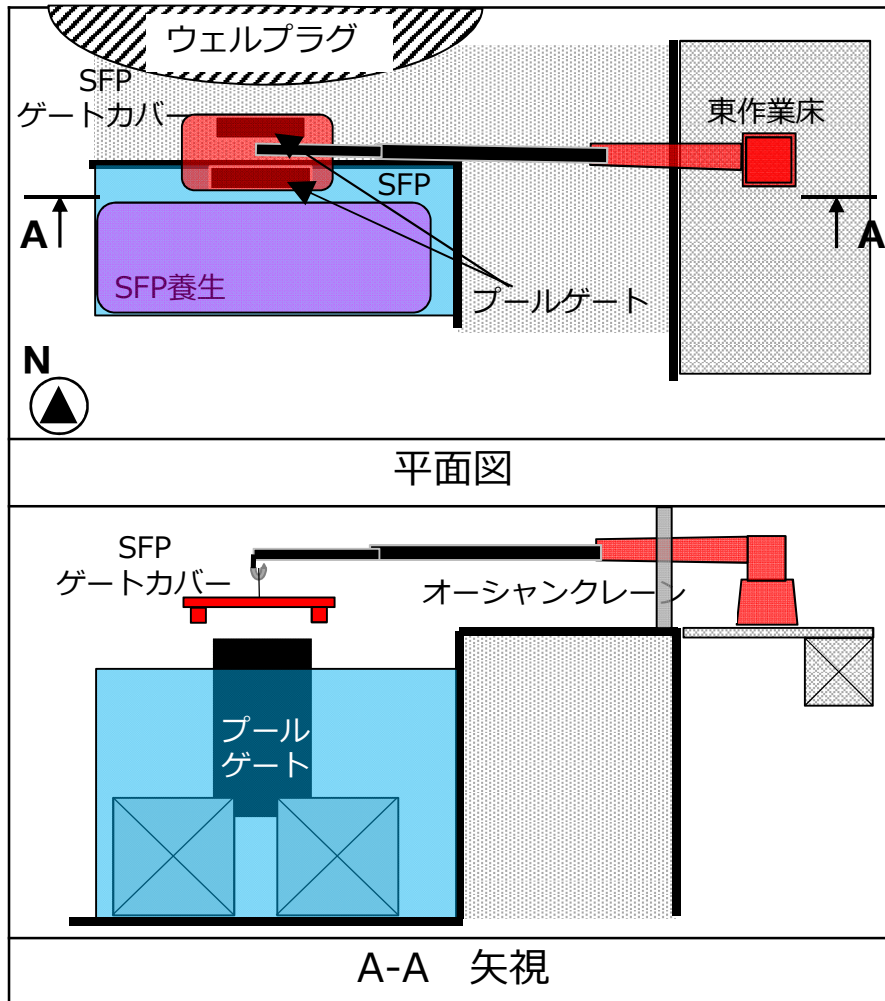
図：養生バッグ介錯イメージ

- SFP養生バッグ介錯作業モックアップ試験でSFP南側へ介錯できることを確認している。

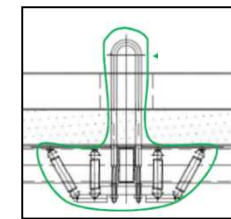


【参考】ゲートカバー設置概要

- 東作業床に設置したオーシャンクレーンにより，遠隔操作にてプールゲートに接触しないようプールゲート上部に設置する。



図：SFPゲートカバー概略図

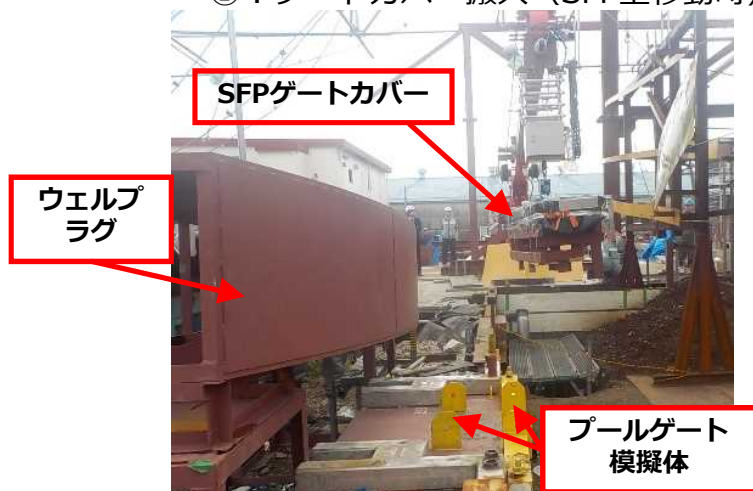


※吊り金具詳細図

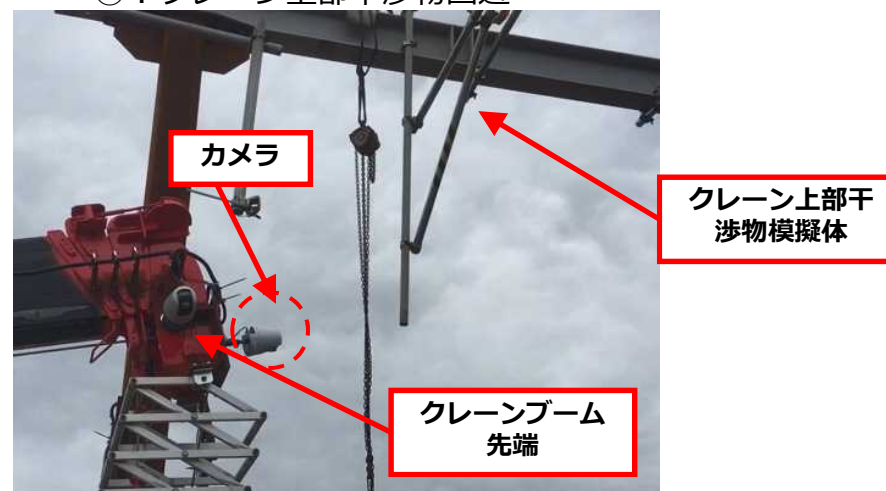
【参考】 SFPゲートカバー設置作業モックアップ試験

- 設置作業性試験：クレーン上部の干渉物に接触することなく搬入(①, ②)
プールゲートに接触することなく, SFPゲートカバーを設置する(③, ④)

①：ゲートカバー搬入（SFP上移動時）



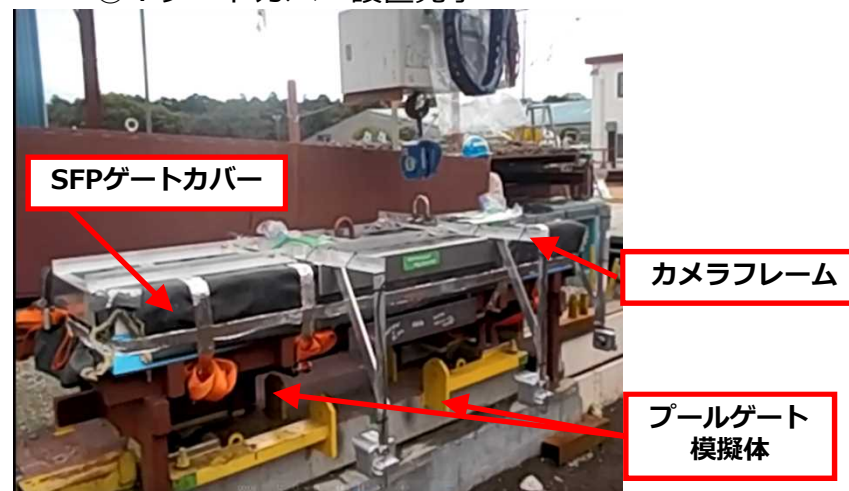
②：クレーン上部干渉物回避



③：ゲートカバー設置（途中）



④：ゲートカバー設置完了



【参考】天井クレーン支保設置概要

- 西作業床から支保材を挿入するためのレールを設置し（①～②）、レール上に支保材（自走台車+バッグ）を設置して北側ガーダのV字変形部下部まで自走させる（③～④）。その後、支保材のバッグに無収縮モルタルを充填し、ガーダ形状に倣った支保材を形成させる（⑤）。

①レール挿入	②レール設置	③支保材・台車設置
<p>西作業床</p>	<p>北側ガーダ</p>	<p>クレーン支保材（自走台車+バッグ）</p>
④台車自走完了	⑤モルタル充填・設置完了	配置イメージ
	<p>北側ガーダ</p> <p>FHM</p> <p>モルタル充填箇所</p>	<p>ウェルプラグ</p> <p>SFP</p> <p>天井クレーン</p> <p>西作業床</p> <p>東作業床</p> <p>南作業床</p>

【参考】天井クレーン支保設置作業モックアップ試験

- レール及び支保材設置作業性試験：レール及び支保材を吊り込み設置し，支保材を天井クレーンガーダの模擬体下部まで自走(①~③)
- 充填試験：支保材の型枠を上昇させ(④)，型枠に保持された支保バッグに無収縮モルタルを充填(⑤)

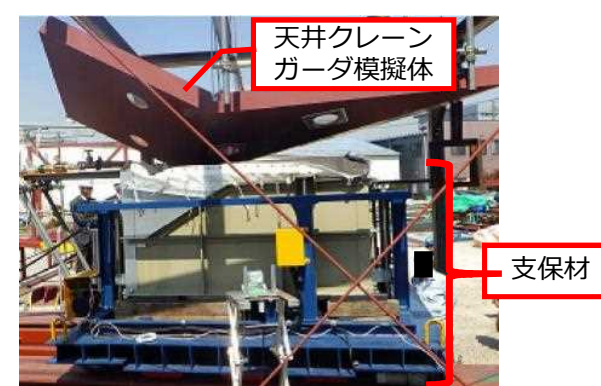
①レール吊り込み



②レール設定



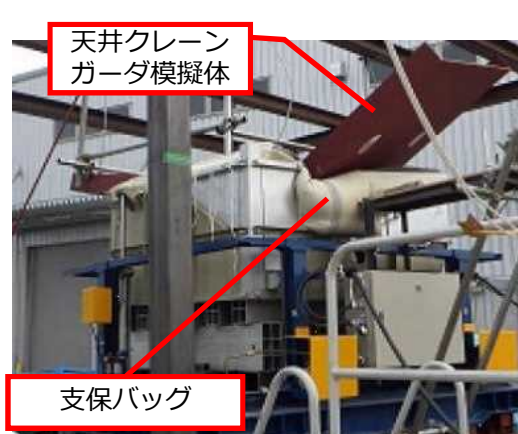
③支保材自走 (完了)



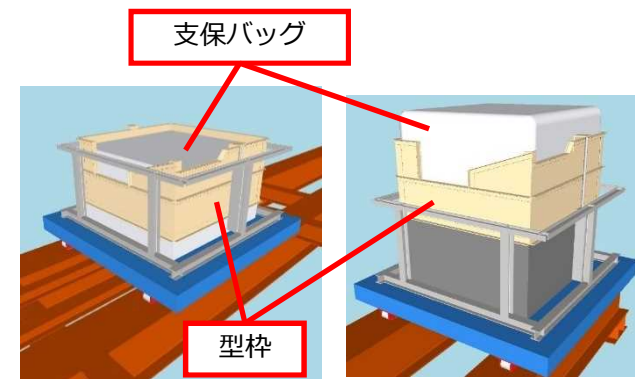
④支保材型枠上昇，モルタル充填



⑤モルタル充填完了



モルタル充填イメージ

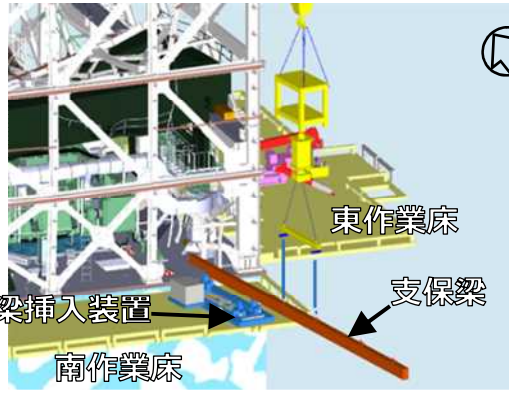
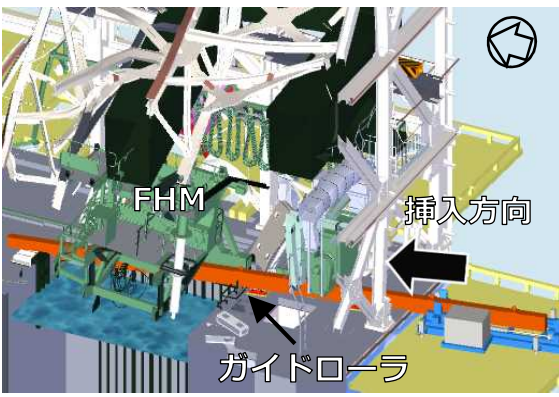

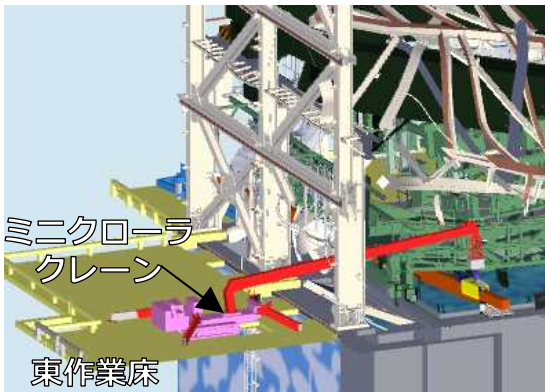
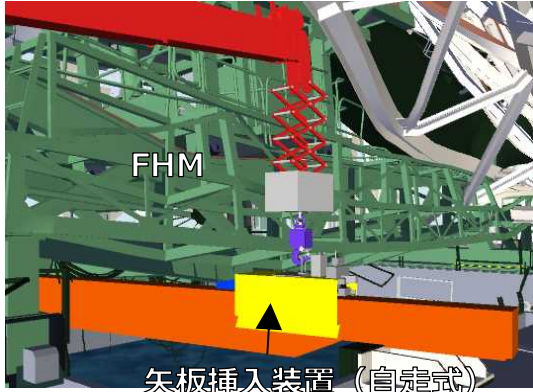
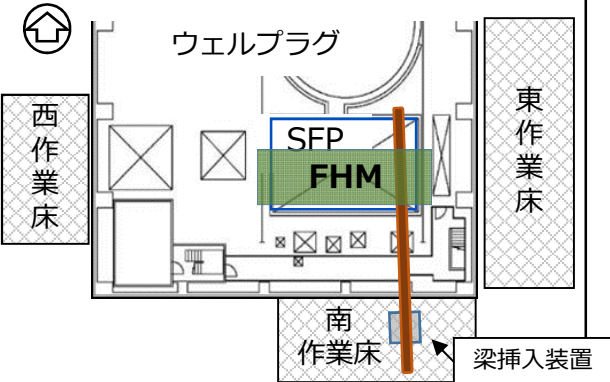


充填前

充填後

【参考】 FHM支保設置概要

- 南作業床に梁挿入装置及び支保梁を設置し (①), 梁挿入装置及びガイドローラを用いて支保梁をFHM下部に挿入する (②~③)。その後, 支保梁とFHMの隙間に矢板を設置して支保梁の固定を行う (④~⑤)。

①支保梁設置	②支保梁挿入	③支保梁挿入 (拡大図)
		
④矢板設置	⑤支保梁設置 (完了)	配置イメージ
		

【参考】 FHM支保設置作業モックアップ試験

- 支保梁設置作業性試験：支保梁挿入装置を用いて支保梁をFHM下部模擬体の下に挿入(①~③)
- 矢板挿入作業性試験：矢板挿入装置を支保梁に設定し，自走により支保梁とFHMの隙間に設置(④~⑤)

①支保梁挿入装置への支保梁搭載



②支保梁挿入



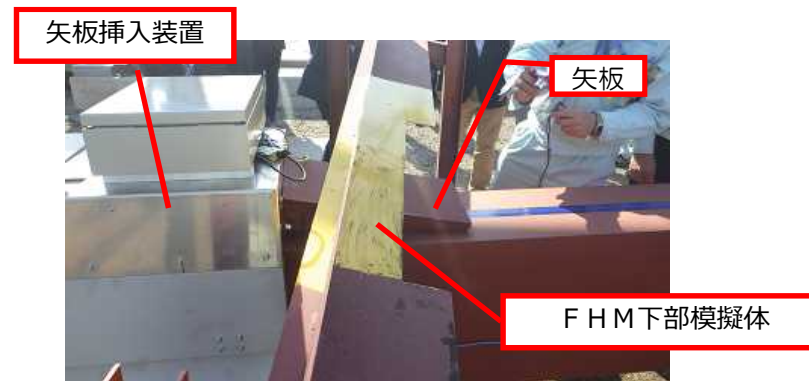
③支保梁挿入（完了）



④矢板挿入装置の支保梁への設定



⑤矢板挿入装置自走，挿入完了



【参考】 ガレキ落下防止・緩和対策の再設定可否について

	作業イメージ	対応	再設定
養生バ ッグ		<p>養生バッグをプール内に投入後、重量物であるバッグ（約1ton）を引き上げることは困難であり、不具合の内容によっては養生の設置ができない。</p>	△
ゲ カ バ ー		<p>ゲートカバーには吊り金具を設置しており、再設定が可能である。</p>	○
天 ク レ 支 保		<p>西作業床から支保材を挿入するためのレールを設置し、レール上に支保材（自走台車+バッグ）を設置させる。支保材は、後方走行が可能であり、再設定が可能である。</p>	○
F H M 支 保		<p>梁挿入装置及びガイドローラを用いて支保梁をFHM下部に挿入する。支保梁は、支保梁挿入装置により挿入・引抜が可能な構造であり、再設定が可能である。</p>	○

- 原子炉建屋屋根ガレキ撤去中に、ガレキが燃料上に落下した場合の影響評価した結果、敷地境界外の実効線量は下表の通りであり、本事象による周辺公衆に与える放射線被ばくのリスクは小さい。

表：使用済燃料プール内がれき落下時の実効線量※

	実効線量 (小児) [mSv]	実効線量 (成人) [mSv]	評価条件
1号	約 4.8×10^{-2}	約 4.8×10^{-2}	破損体数をSFP内に保管されている全数とする (392体)
3号 (参考)	約 1.5×10^{-1}	約 1.5×10^{-1}	破損体数をSFP内に保管されている全数とする (566体)

※希ガス及びよう素の放出量より評価