

3号機 燃料取り出しの状況について

2020年9月14日



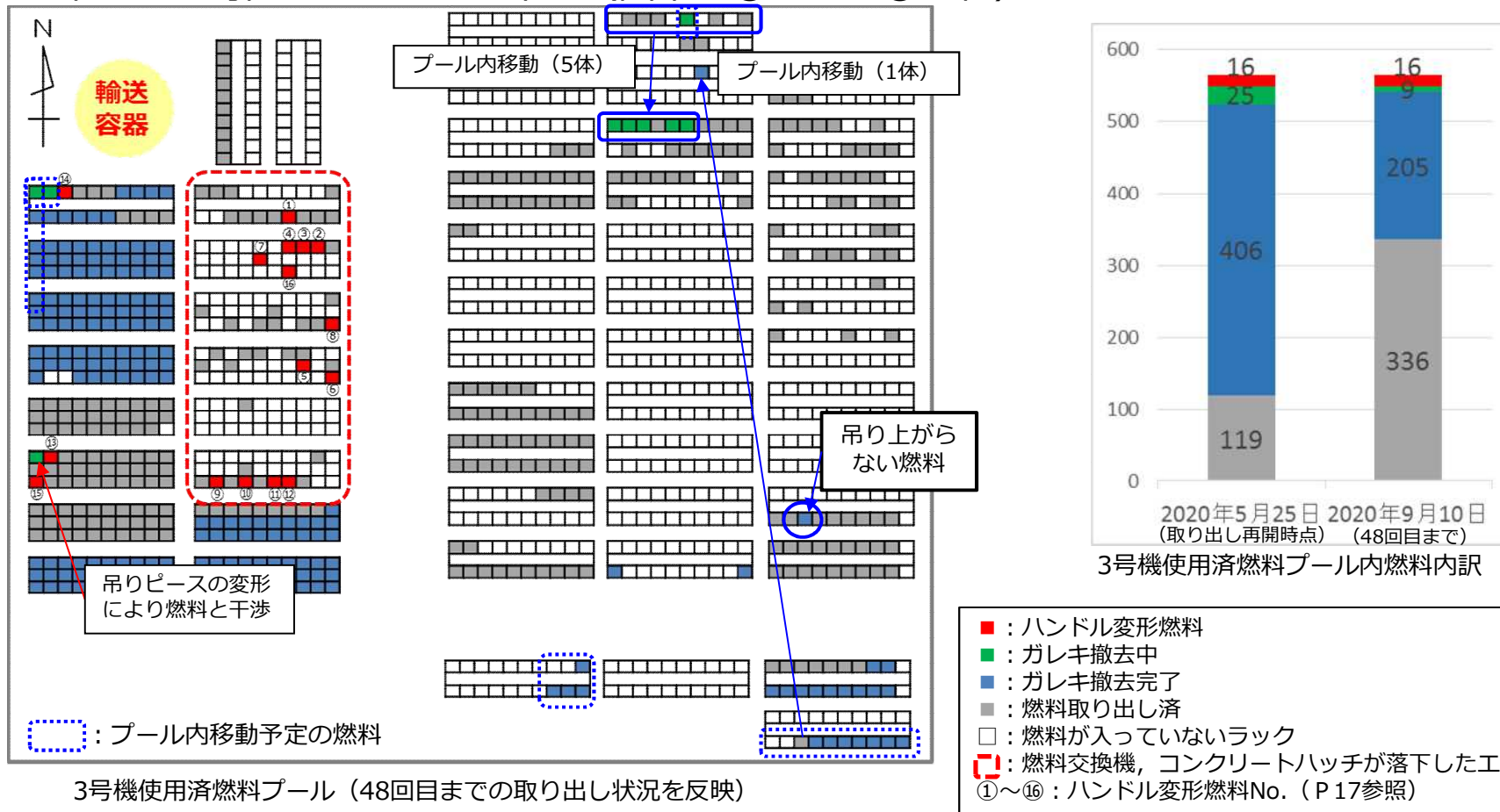
東京電力ホールディングス株式会社

1. 燃料取り出し・ガレキ撤去の状況

- 2020年9月11日時点,計336体/全566体の取り出しを完了している。
- 2020年9月2日,燃料上部のガレキ吸引のため,南端の燃料のプール内移動を実施中,マストのケーブルがプール壁面近傍の部材に引っ掛かり,ケーブルを損傷させた。

→次ページ参照

- 2020年8月24日, 吊り上げ試験未実施のハンドル変形燃料（2体）の吊り上げ試験を実施。吊り上げ可能であることを確認（図中の⑭および⑯燃料）。



1-2. マストケーブルの損傷

発生事象	マストケーブルの損傷
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 9月2日 15:30頃 プール内移動のため、プール南端の燃料を把持して西へ移動中、マストケーブルがプール南側の壁面近傍にある部材※に引っ掛かった。 ✓ 引っ掛かりを解消後、把持していた燃料を予定していた位置に着座させた。 ✓ つかみ具の開閉状態および着座状態を表示する信号の異常を確認。 ✓ 9月2日 18時頃 現場調査の結果、つかみ具開閉状態および着座状態を表示する信号のケーブルが損傷していることを確認した。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="472 608 1032 1027" style="text-align: center;"> <p>ITV110</p> <p>引っ掛かったケーブル</p> <p>引っ掛かった部材※</p> <p><small>9/2/2020 3:45:19 PM ITV 110 盤取機 南東角 (FHM1 SE Corner)</small></p> </div> <div data-bbox="1061 608 1576 1011" style="text-align: center;"> <p>マスト</p> </div> <div data-bbox="1585 608 2002 959" style="text-align: center;"> <p>ケーブル断線部</p> </div> </div> <p>※：引っ掛かった部材は、がれき吸引装置のホースの固定のために取り付けた部材</p>
<p>原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 操作員のカメラ画面監視不足
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 損傷したケーブルを予備品に交換する。 ✓ 再発防止対策として、マストが干渉物等に接触しないよう、運転範囲の見直しを行う。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃料を吊った状態では、メカニカルロックによりつかみ具閉状態が維持されるため、燃料の落下等につながる事象ではない。

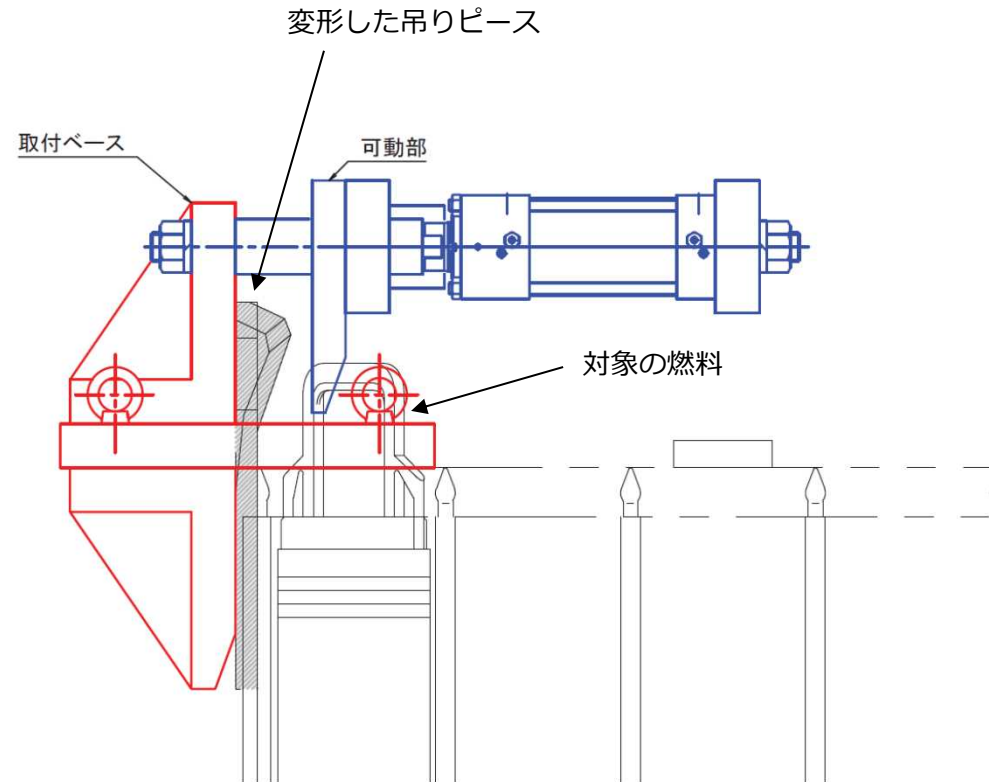
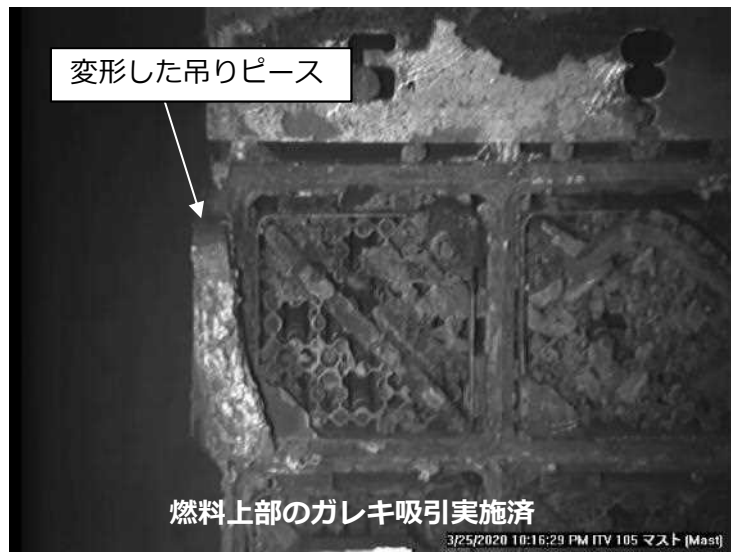
2. 燃料取扱い時の課題と対応

- ガレキ撤去中に確認した事項やハンドル変形燃料取扱いに関する課題について、下表のとおり対応を検討中。検討状況について次ページ以降に記載。

項目	課題	対策案	状況
① ガレキ撤去中に確認した事項	①-1 変形した燃料ラック吊りピースが燃料掴み具と干渉	燃料ラック吊りピースを曲げ戻す	<ul style="list-style-type: none"> ・周囲の燃料を取り出し済み ・装置設計検討中 →4ページ参照
	①-2 (済) 制御棒の再移動	制御棒を北に再移動させる	<ul style="list-style-type: none"> ・対策済
② 吊り上げ試験の結果を踏まえた対応	②-1 (済) 輸送容器洗浄配管とマストとの干渉	マストは無負荷時は南側に若干偏心しているため、マニピュレータ等の補助によりマストの偏心を解消し、取り出しを行う	<ul style="list-style-type: none"> ・対策済 →5ページ参照
	②-2 燃料とガレキまたはラックとの干渉解除	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬体によるハンドル強度試験を行い、吊り上げ荷重を増加 ・チャンネルボックスとラック上部の隙間に残っているガレキの掻き出し ・チャンネルボックスとラックの間に圧縮空気を注入 ・ラック切断、ラック押し広げによるチャンネルボックスとラックの隙間の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・強度試験実施済み ・新規装置について設計検討中 →6～12ページ参照
③ 規定荷重で取り出せない変形の無い燃料の対応	③-1 燃料とガレキまたはラックとの干渉解除	吊り上げ荷重の増加を除き、②-2と同一の対策を実施	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 →6～12ページ参照
④ ハンドル変形燃料の対応	④-1 ハンドル変形の角度が大きい燃料を把持できる掴み具	<ul style="list-style-type: none"> ・新規掴み具の導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・製作中 →13ページ参照
	④-2 ハンドル変形の角度が大きい燃料を収納できる収納缶	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドル変形燃料の構内輸送器に収納 ・内寸の大きい収納缶による輸送 ・収納缶の輸送に対応した輸送容器バスケット改造、収納缶を保管する共用プールラックの準備 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規バスケットおよび収納缶製造中 →14ページ参照 ・ラック設置完了

3. 燃料ラック吊りピース変形箇所の対応

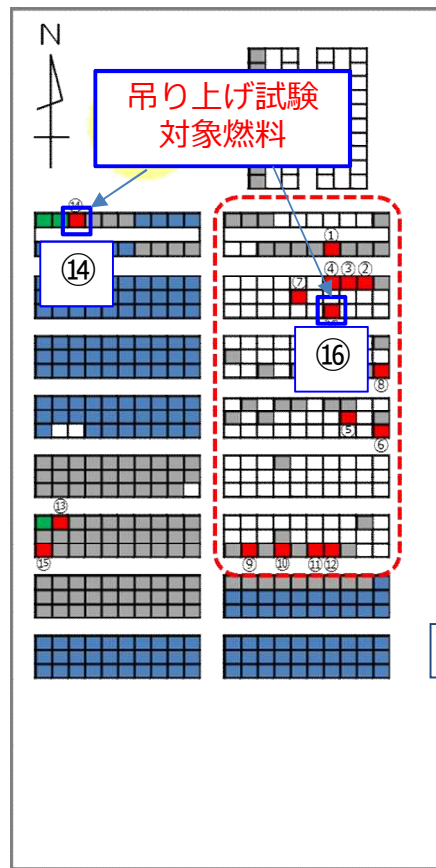
- 吊りピースをシリンダ等により押し付け曲げ戻し,燃料との干渉を解除する措置を準備中
- 現在装置の設計検討中であり, 2020年12月末までに干渉解除の措置を実施予定



シリンダによる曲げ戻しの概念図

4. ハンドル変形燃料吊り上げ試験

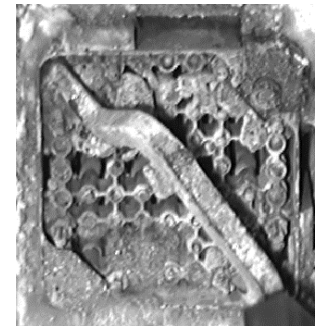
- 2020年8月24日 ハンドル変形燃料2体分の吊り上げ試験を実施。
 - ⑭燃料※マニピュレータの補助によりマストの偏心を解消する必要のある燃料
 - ⑯燃料※2020年5月25日に新たに確認した変形燃料
- 制限荷重（700kg）以内にて吊り上げ可能であることを確認した。



3号機使用済燃料プール内西側



マニピュレータによるマストの補助
撮影日 2020年8月24日



⑭燃料
撮影日 2020年5月22日



⑯燃料
撮影日 2020年5月25日

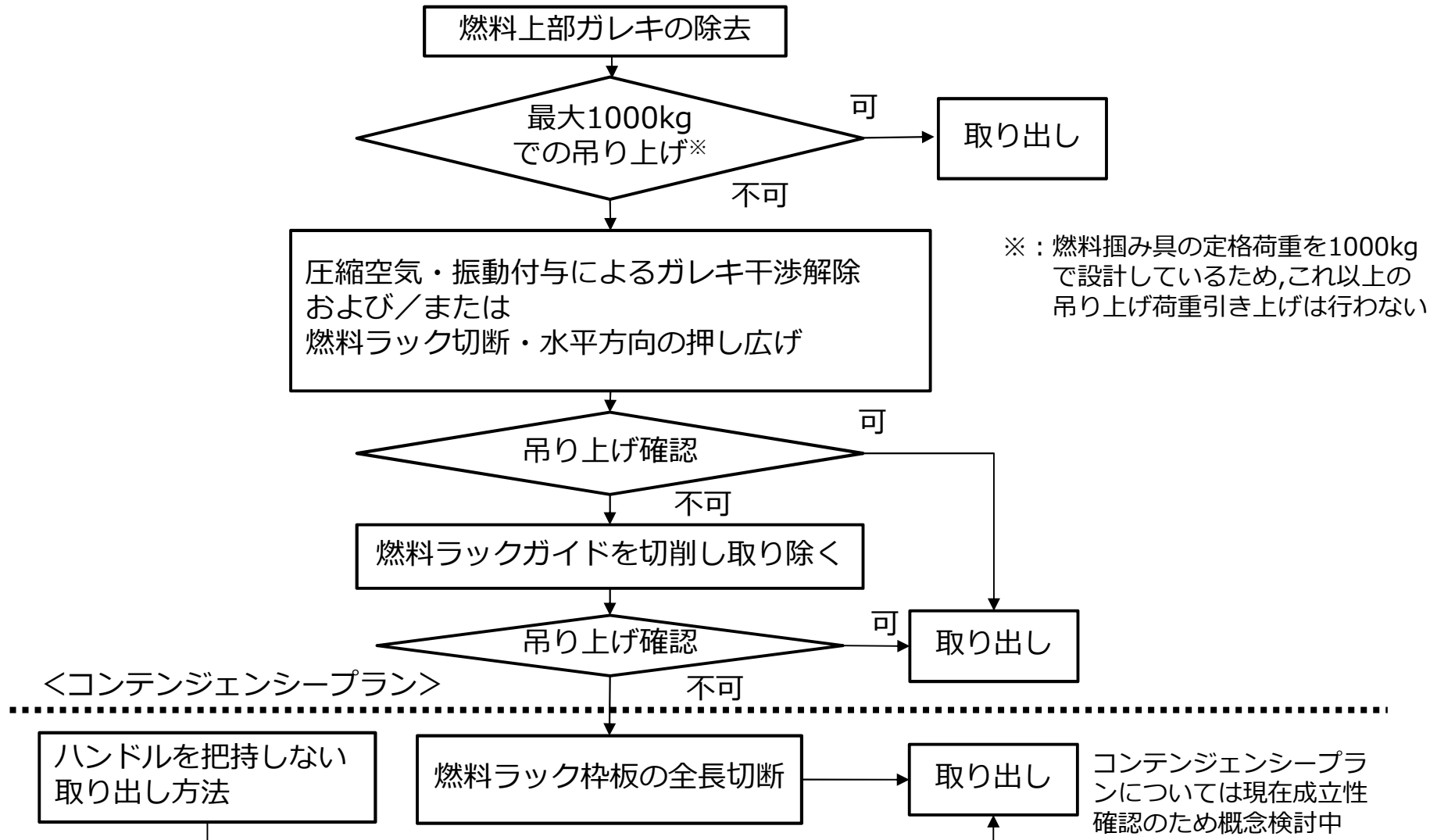


⑭燃料吊り上げ試験
撮影日 2020年8月24日

※：ハンドル変形燃料の通し番号。（P17参照）

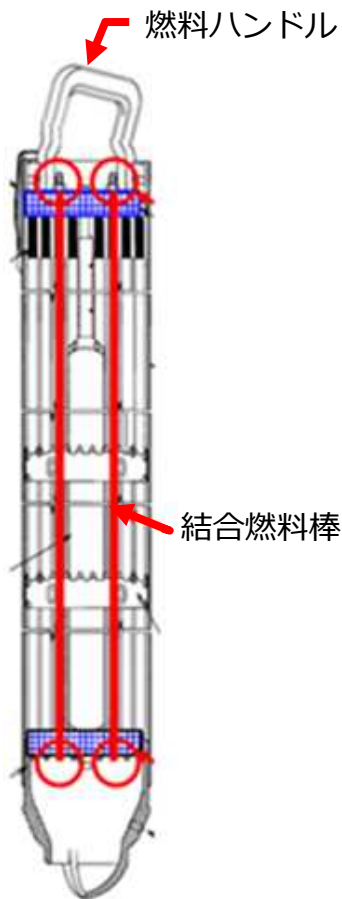
5. 燃料とラック・ガレキとの干渉解除について

- 干渉解除のフローを以下に示す。燃料取り出しを早期に完了できるように、段階的に対応を実施していく。また、コンテンジェンシープランを事前に検討し、燃料取り出し完了の長期化のリスクを抑えていく



6. 吊り上げ荷重の見直しについて (1)

- 当初,ガレキの堆積によりハンドル変形燃料の状況を確認できていなかったため,保守的な条件をもとにした解析結果に基づき吊り上げ荷重を700kgに制限。
- ガレキ撤去の進捗により,ハンドル変形燃料の状況を確認できたため,吊り上げ荷重を健全燃料と同様の1000kgにした場合であっても,燃料の強度に問題ないことを試験により確認した。



燃料吊上げ時の
荷重負担部材

■ 吊り上げ荷重設定の考え方

- ・ 燃料吊り上げ時は,結合燃料棒 (全 8 本) と燃料ハンドルが荷重を負担する

<結合燃料棒>

- ①ガレキ衝突解析および実燃料の外観観察の結果,ハンドル変形燃料は4本以上の結合燃料棒で吊り上げ荷重を負担できる状態であることを確認。
- ②燃料吊り上げ時は3本以上の結合燃料棒でバランスを保ち吊り上がる。
吊り上げ強度評価の結果,降伏応力に対する比率は約0.51^{※1},引っ張り強さに対する比率は約0.35^{※1}であり,1000kgの荷重を負担できる状態であることを確認。
- ③また,引っ張り試験の結果,燃料棒は1本あたり1000kg以上の耐荷重を有する

<燃料ハンドル>

- ①当初,吊り上げ荷重を700kg^{※2}を上限とし変形したハンドル模擬体の引っ張り試験を実施。ハンドルの強度に問題の無い事を確認。
- ②今回, **新たに変形したハンドルを模擬した引っ張り試験を実施。1000kgに余裕を見て約2000kgまで増加させた場合でもハンドルの強度に問題の無い事を確認**

※1: 燃料棒の材料であるジルカロイ2に対し,文献データによる降伏応力約380N/mm²,引っ張り強さ約546N/mm²を用い3本の結合燃料棒で荷重負担するとし算出

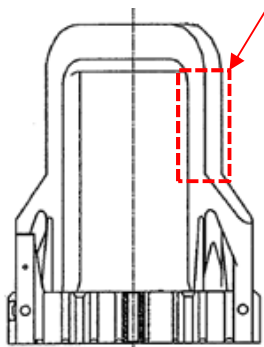
※2: 検討当初は瓦礫撤去を未実施であり燃料上部の状況が不明瞭のため,結合燃料棒が2本のみ吊り上げに寄与という想定を置いた。2本の場合,700kg以下に制限。

6. 吊り上げ荷重の見直しについて (2)

- ハンドル変形燃料を荷重1000kgで吊り上げた際に,ハンドル部が十分な耐荷重を有していることを試験によって確認した。

試験条件		条件設定の考え方	
初期変形角度	80°以上	<ul style="list-style-type: none"> 3号機SFP内のハンドル変形燃料のうち,最も変形が大きいもの(60°)に対して余裕のある角度を設定した。変形付与は片側部分模擬については動的・静的の2つの方法で実施した。燃料ハンドル模擬は,静的な変形付与のみ実施した。 	
引張試験	引張荷重	9.1kN(928kg)	<ul style="list-style-type: none"> 前回実施荷重
		13kN(1326kg)	<ul style="list-style-type: none"> 吊上げ荷重(1000kg)に対して,引張試験装置の荷重計の誤差,温度条件等を考慮して保守的に設定した
		26kN(2652kg)	<ul style="list-style-type: none"> 上記荷重の2倍を設定した
	引張回数	10回	<ul style="list-style-type: none"> 実機で想定される吊上げ回数から,保守的に10回と設定した。
破断試験	—	<ul style="list-style-type: none"> 試験片が破断するまで荷重を付与した(片側部分の模擬体のみ) 	

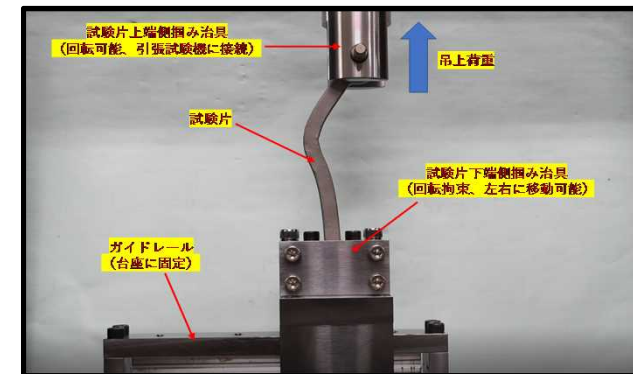
片側部分模擬範囲



上部タイププレート(UTP)の構造



引張試験外観



引張試験外観(片側部分模擬)

6. 吊り上げ荷重の見直しについて (3)

- 26kN (2652kg) の範囲において燃料ハンドルの破断は確認されなかった
- 片側模擬体による破断試験では, 83.4~91.5kN(8505~9331kg)※の範囲で破断を確認した

※: 4つの試験片で試験を実施。最小~最大破断荷重を記載



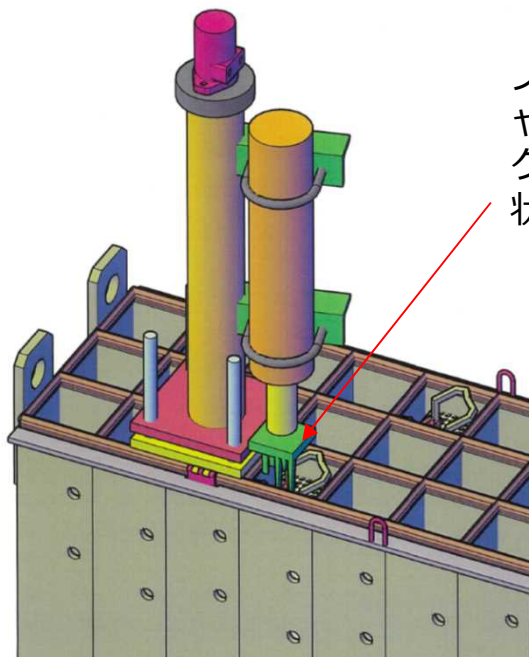
燃料ハンドル (上部タイププレート) の引っ張り試験後の状況

7. 燃料とラック・ガレキとの干渉解除方法について（1）

- 圧縮空気の注入案およびラックへの振動付与によりガレキの状態を変化させる案を検討中。
- 実機適用前に、ガレキを詰めた状態を模擬したモックアップを実施し性能を確認していく。

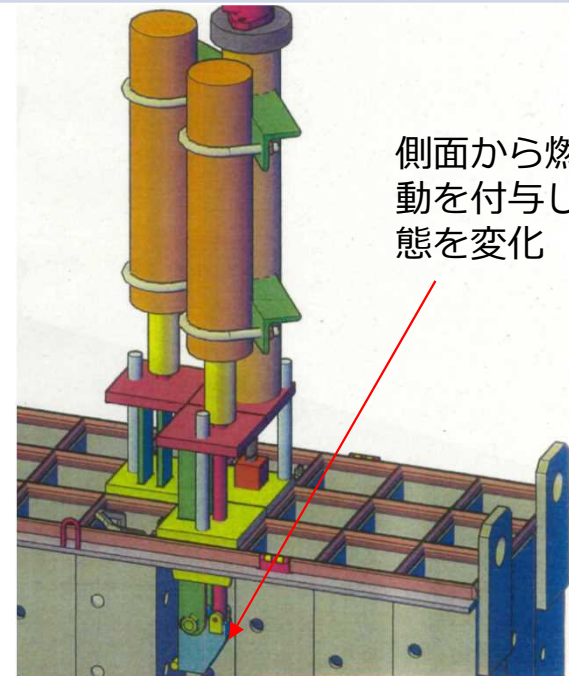
設計上の代表的な確認事項

	確認事項
安全上の要求	被覆管の密封性に影響を与えないこと
性能上の要求	ガレキの状態を変化させられること（モックアップで確認） プール内にて装置の固定が可能であること
操作上の要求	水中カメラ監視による遠隔操作が可能であること



ノズルから圧縮空気をチャンネルボックスとラックの間に注入し、ガレキの状態を変化

圧縮空気注入案



側面から燃料ラックへ振動を付与し、ガレキの状態を変化

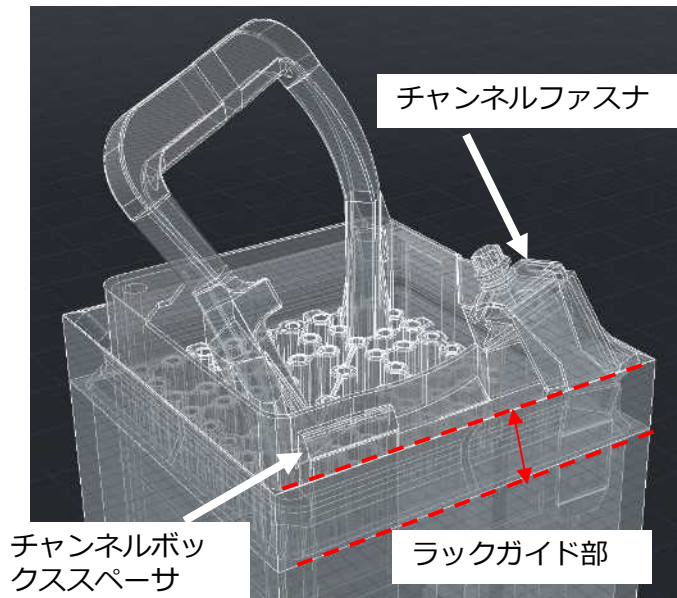
振動付与案

7. 燃料とラック・ガレキとの干渉解除方法について（2）

- 燃料上部の変形によるラック上部との干渉解除のため、ラック上部のラックガイド部の切削を検討中（チャンネルファスナ等とラックガイド部が干渉している可能性を考慮）。
- 実機適用前に、ラックガイド部が切削可能であることをモックアップで確認する。

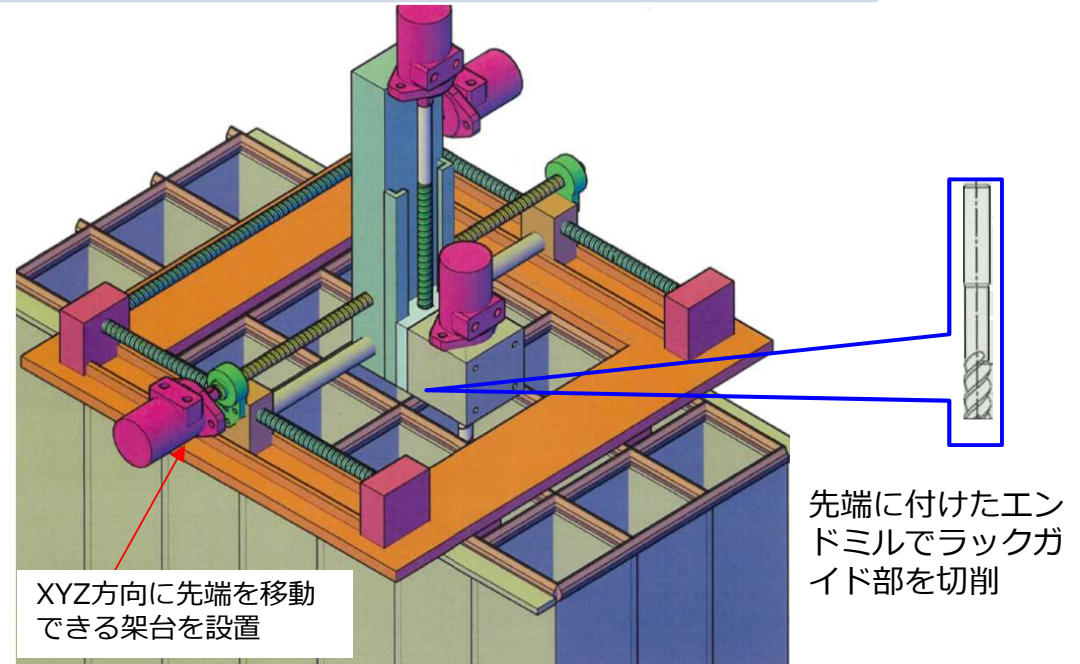
設計上の代表的な確認事項

	確認事項
安全上の要求	燃料集合体の強度部材および被覆管の密封性に影響を与えないこと
性能上の要求	ラックガイド部（アルミ材）を切削可能であること プール内にて装置の固定が可能であること
操作上の要求	水中カメラ監視による遠隔操作が可能であること



ラックと燃料上部の取り合い（④※燃料）

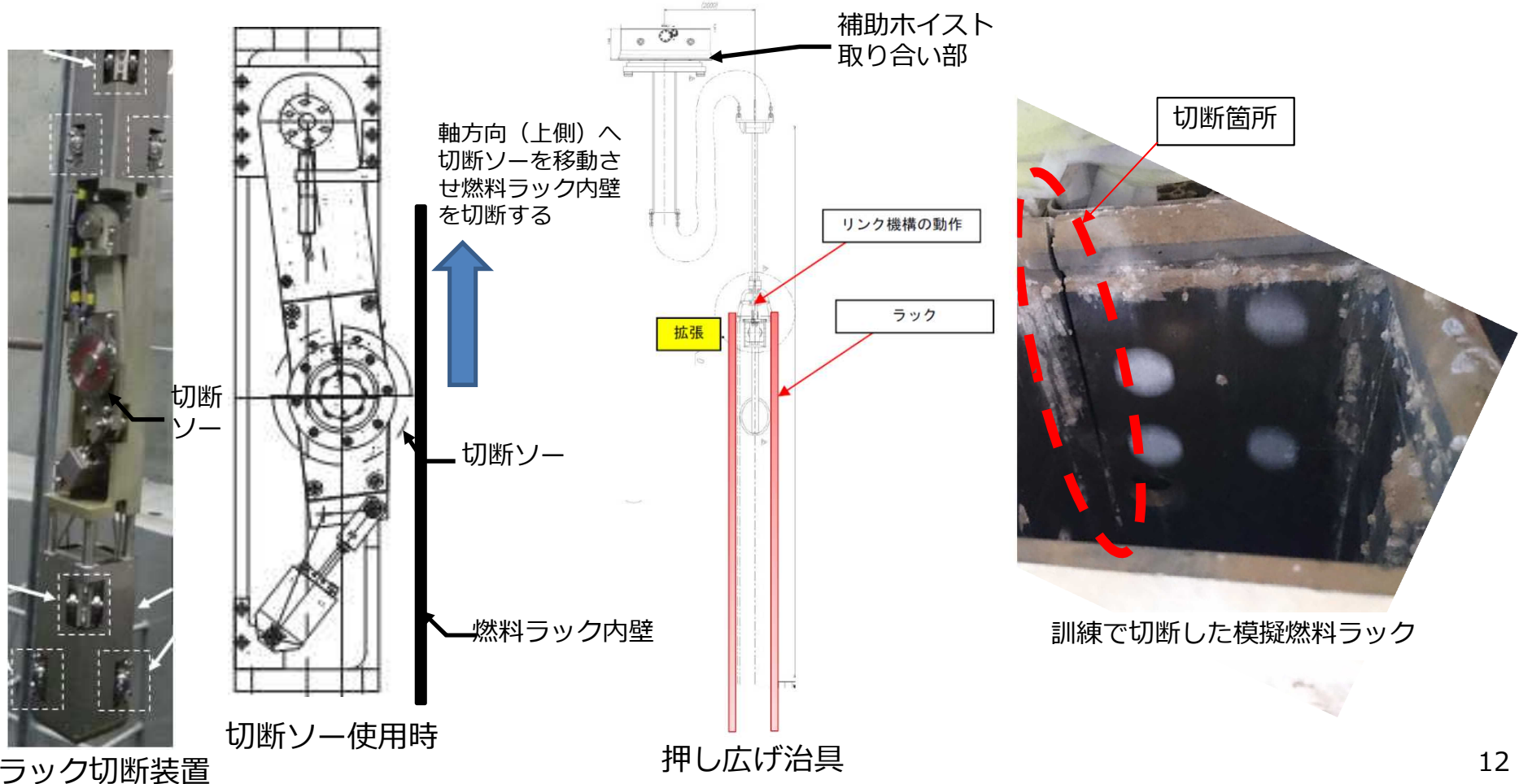
※：ハンドル変形燃料の通し番号。（P17参照）



ラックガイド切削案

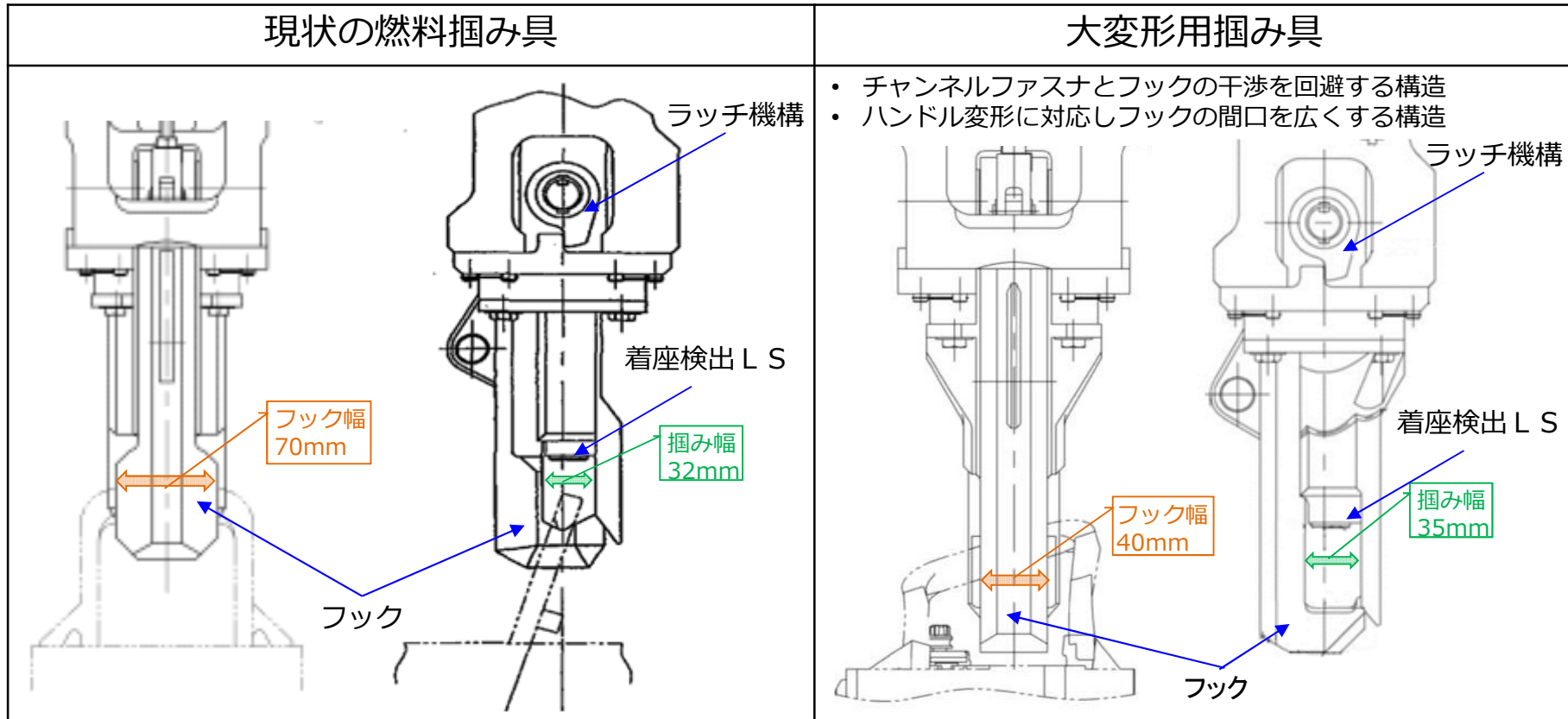
7. 燃料とラック・ガレキとの干渉解除方法について（3）

- 燃料ラックを内側から切断するラック切断装置，切断後に水平方向にラックを押し広げる押し広げ治具を製作済。3号機SFPにおいて燃料取り出し済の空ラックで実機検証を行う予定。
- 切断範囲は上部から1500mm程度，押し広げによるクリアランス増加は1~2mm程度。
- 燃料が隣接している箇所への適用可否，他の装置との適用順序等，現地適用にあたっての課題について実機検証準備と並行して検討を行っていく。



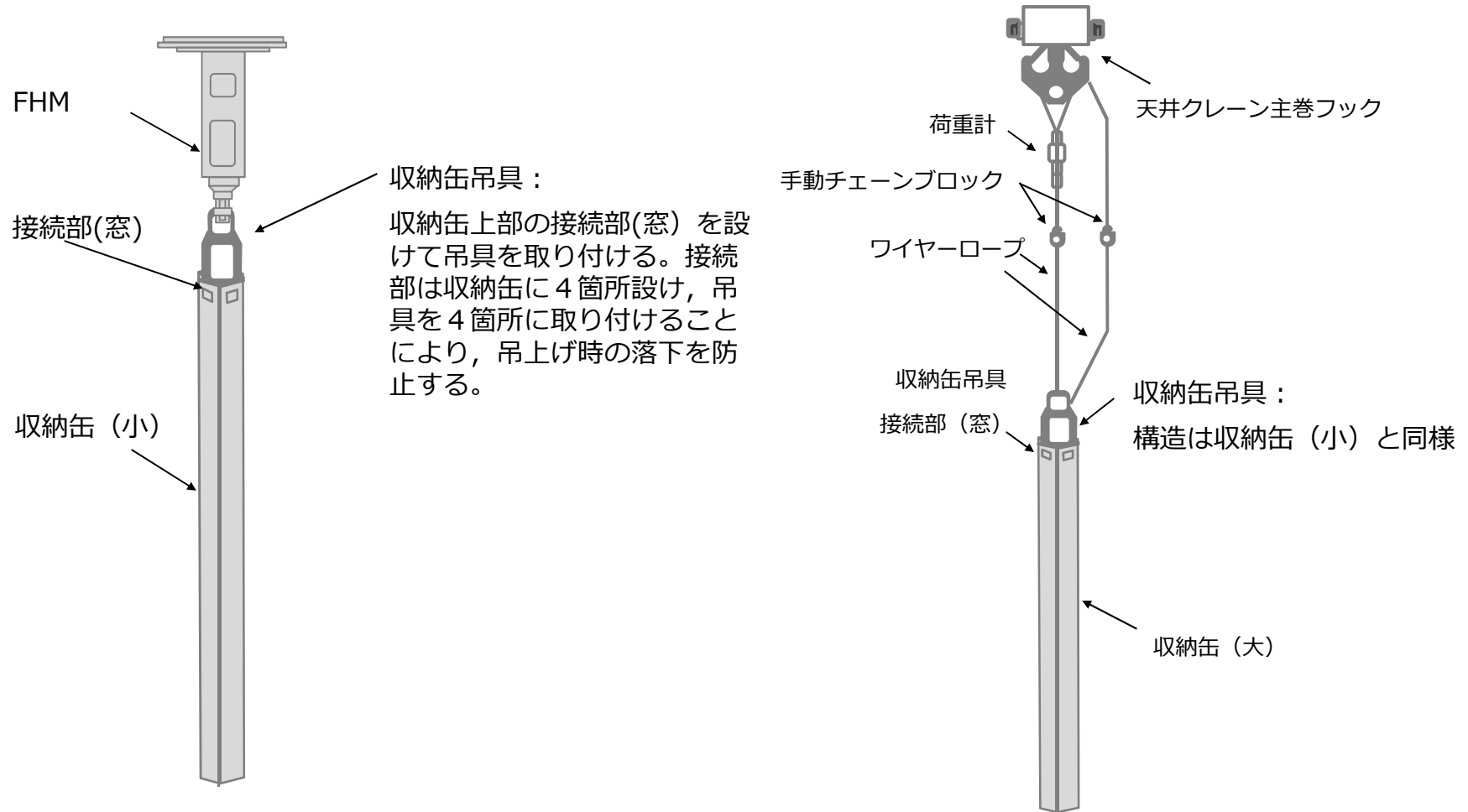
8. 新規掴み具の導入（大変形用掴み具）

- ハンドルがチャンネルファスナ側に大きく倒れている燃料の取り出しに対応するため、専用の大変形用掴み具を導入
- 大変形用掴み具は現状の掴み具から先端形状のみを変化させたものであり、落下防止等の安全機能に変更は無い



9. 共用プールでの収納缶の取り扱いについて

- ハンドル変形燃料は,共用プールでは収納缶ごと専用のラックで保管する
- ハンドル変形量に応じて収納缶（小）と（大）を使い分ける。（P17参考）
- 収納缶（大）は天井クレーンにチェンブロックを取り付け,取り扱いを行う。



収納缶（小） FHMでの取り扱い

収納缶（大） 天井クレーンでの取り扱い

10. 課題対応のスケジュール



- 燃料取り出しの課題について、下記に示すスケジュールで対応を進める。
- 最大1000kgでの吊り上げ試験は、10月頃を予定

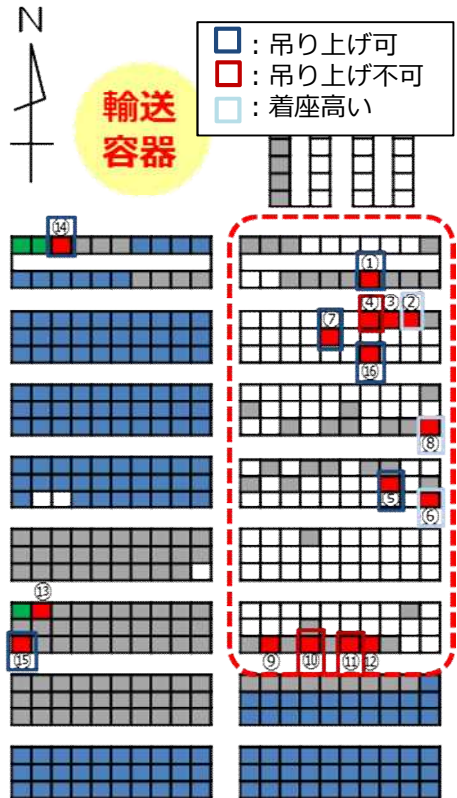
項目	課題	2020年						2021年			
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	
① ガレキ撤去中に確認した事項	①-1 変形した燃料ラック吊りピースが燃料掴み具と干渉	周囲の燃料を優先的に取り出し（済）									
		ラック吊りピース曲げ戻し装置の設計・製作・モックアップ						▽ 実機適用			
	①-2（済） 制御棒の再移動	手順確認▽現場作業									
② 吊り上げ試験の結果を踏まえた対応	②-1 輸送容器洗浄配管とマストとの干渉	手順確認・訓練						▽対象燃料の燃料吊り上げ試験 (16体目のハンドル変形燃料も合わせて実施完了)			
	②-2および③-1	ハンドル強度試験		評価		▽ラック上部ガレキ撤去,吊り上げ荷重見直しによる再吊り上げ試験					
③ 規定荷重で取り出せない変形の無い燃料の対応	燃料とガレキまたはラックとの干渉解除	ラック上部の細かいガレキ撤去ツールの製作									
		振動付与装置・圧縮空気注入装置の設計・製作						モックアップ		実機適用	
		ラックガイド切削装置の設計・製作						モックアップ		実機適用	
		ラック切断装置・押し広げ治具の実機検証準備						実機検証および実機適用※			
④ ハンドル変形燃料の対応	④-1 ハンドル変形の角度が大きい燃料を把持できる掴み具	大変形用掴み具の製作						現地据付・試験			
								▽ 使用前検査 ▽ 吊り上げ 試験（対象4体）			
	④-2 ハンドル変形の角度が大きい燃料を収納できる収納缶	輸送容器バスケットの設計・製作									
		大変形用収納缶の設計・製作		現地搬入		▽ 使用前検査					

※：時期検討中

【参考】 3号機SFP内燃料のハンドル状況の確認について

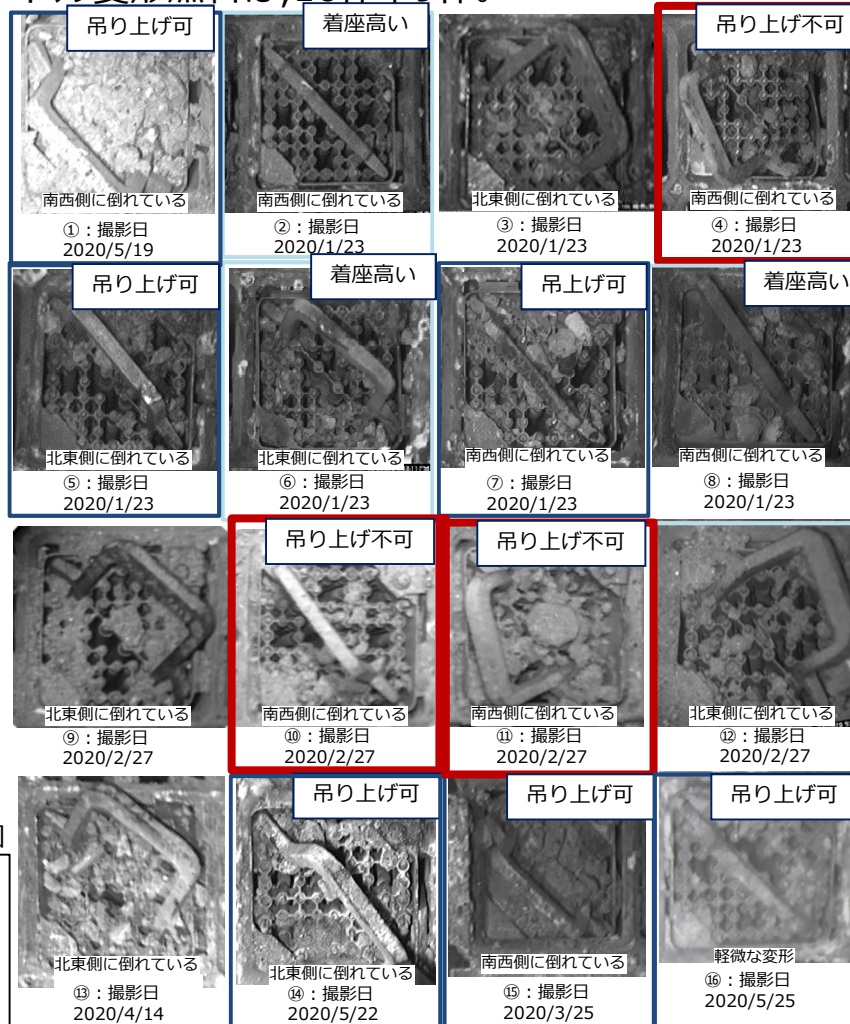
- 5月28日時点でハンドル変形を確認した燃料は16体。このうち既存FHM掴み具で把持角度を超過している可能性のあるハンドル変形燃料は4体（区分C分）。2020年12月頃に吊り上げ試験を実施予定。
- 8月24日に、ハンドル変形燃料2体分（⑭および⑯燃料）が吊り上げ可能であることを確認。現時点で吊り上げ可能が確認できたハンドル変形燃料は、16体中9体。

ハンドル変形燃料取扱い区分



3号機使用済燃料プール内西側拡大図

- : ガレキ撤去完了
- : 燃料ハンドル目視確認完了
- : ハンドル変形を確認【16体】
- : 燃料取出済
- : 燃料が入っていないラック
- : 燃料交換機、コンクリートハッチが落下したエリア



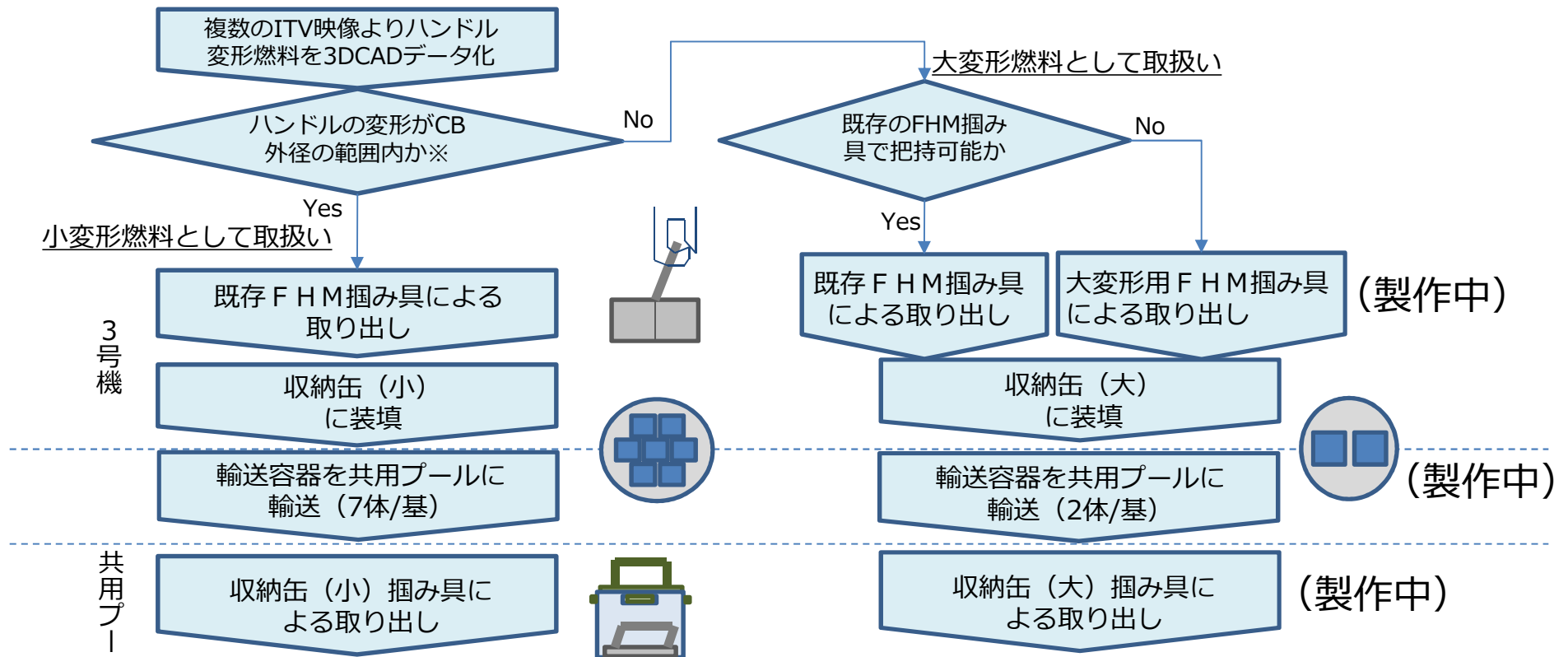
N o.	型式	ITVによる推定曲がり角度	変形方向	取扱い区分※1
①	STEP2	約10°	反CF側	A
②	9×9A	約10°	反CF側	A
③	9×9A	約40°	CF側	C
④	9×9A	約40°※2	反CF側	B
⑤	9×9A	<10°	CF側	A
⑥	9×9A	約10°	CF側	A
⑦	9×9A	約10°	反CF側	A
⑧	9×9A	約20°	反CF側	A
⑨	9×9A	約40°	CF側	C
⑩	9×9A	約10°	反CF側	B
⑪	9×9A	約60°※2	反CF側	B
⑫	9×9A	約60°	CF側	C
⑬	9×9A	約40°	CF側	C
⑭	9×9A	約20°	CF側	B
⑮	STEP2	<10°	反CF側	A
⑯	9×9A	<10°	-	A

※取扱い区分	A	B	C
収納缶	小	大	
掴み具	既存		大変形用

※1 : ハンドルが北東側に倒れている場合は、チャンネルファスナが掴み具と干渉するため、把持可能な角度が小さい。
 ※2 : 吊り上げ試験時に、ハンドルが数度程度曲がり戻ったことを確認している。

【参考】 ハンドル変形燃料の取扱い

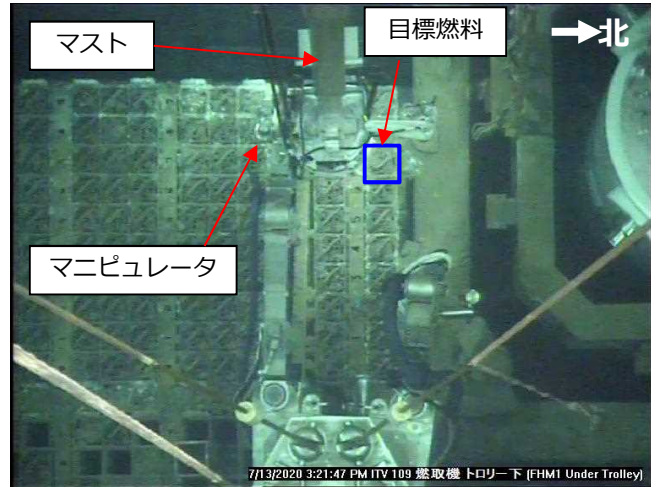
- ハンドル変形燃料については、以下の流れで取り出しを実施する。
 - ✓ 3号機では、変形したハンドルを既存FHM掴み具で把持する。なお、変形量が大きい場合は、新たに大変形用FHM掴み具を用意する。
 - ✓ 輸送時は、ハンドルの変形量に応じて、収納缶を使い分ける。
 - ✓ 共用プールでは、収納缶ごと専用ラックに保管する。



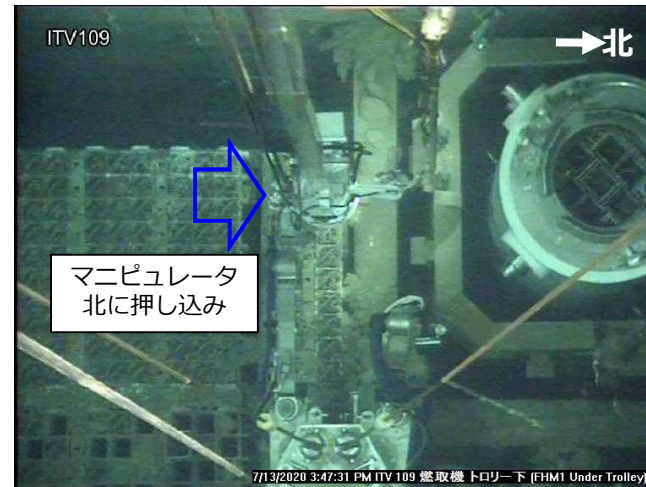
※CB：チャンネルボックス。変形したハンドルがCB外径の範囲内に収まっていれば収納缶（小）と干渉なく収納可。複数のITV映像より3DCAD化し上方から確認し判断する。18

【参考】 輸送容器洗浄配管近傍へのマストのアクセス確認

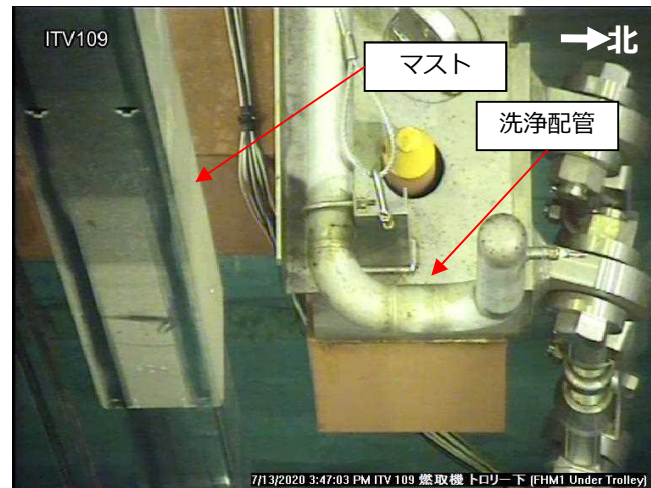
- マニピュレータでマストを北側に押し込んで傾けることで、輸送容器洗浄配管近傍の燃料を把持できることを確認した。また、マストを押し込んだ状態で燃料を問題なく引き抜き可能であることを模擬燃料で確認済み。



押し込み前



押し込み後



輸送容器洗浄配管との干渉状況 (押し込み後)

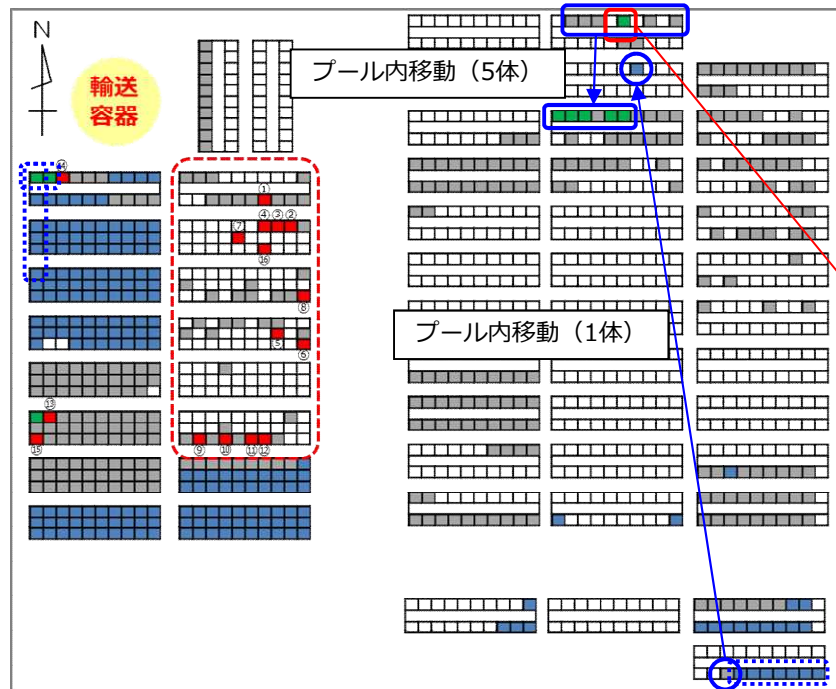


把持確認 (⑭※燃料)

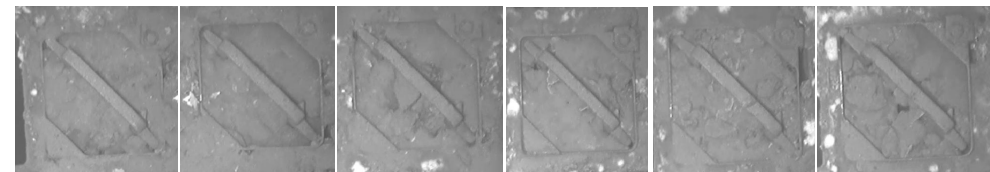
※：ハンドル変形燃料の通し番号。(P16参照)

【参考】一部燃料のプール内移動

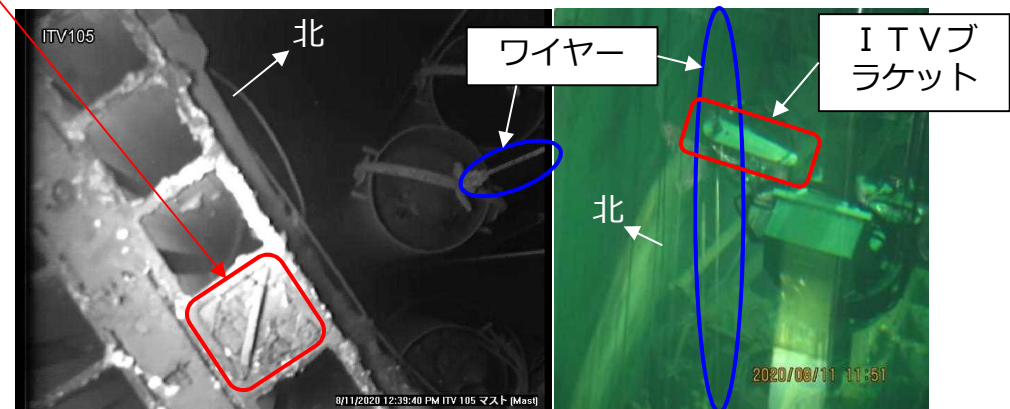
- プール端部に保管されている一部の燃料は、吸引装置を取り扱うFHM補助ホイスの運転範囲の制約のため、現在の位置ではガレキ吸引が十分にできない。そのため、プール内の別のラックに移動させた後、ガレキ吸引を行う。
- 2020年8月11日 プール北端に位置する6体のうち、5体を南へ移動させた。残りの1体について、ラックの北側に機材を吊り下げているワイヤー※とマストITVブラケットの干渉を解消後、南へ移動予定。
- 2020年9月2日 プール南端に位置する1体を移動中、マストケーブルを損傷させた。



3号機使用済燃料プール



プール内移動対象




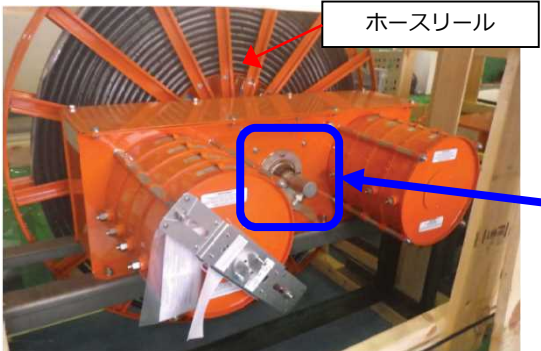
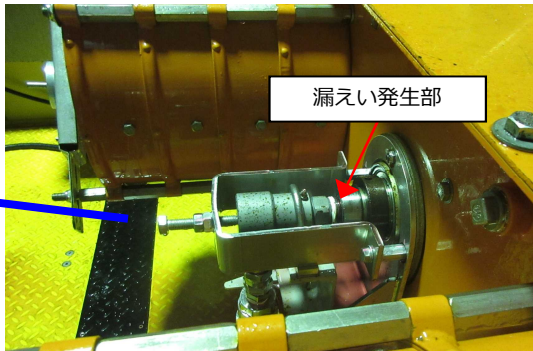
ワイヤーの干渉状況

マスト

⬡ : プール内移動予定の燃料

※中性子検出器やフィルタ等をバスケットに収納し、ワイヤーでプール壁面に吊り下げて保管している。

【参考】クレーン主巻からの作動流体の漏えい

発生事象	クレーン主巻からの作動流体の漏えい（その1）
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 7月29日 16:07 3号機使用済燃料が装填されたキャスクをオペフロから地上に吊りおろし中に、作動流体（水グリコール）の「漏えい警報」及びITVで作動流体（水グリコール）の滴下を確認。作業を一次中断。 ✓ キャスクの着座は完了。 ✓ 現場確認の結果、クレーン主巻の作動流体（水グリコール）ホース継手のねじ込み部に漏えいがあることを確認。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>クレーントロリ上</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ホースリール</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>漏えい発生部</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">ホース継手ねじ込み部</p>
<p>原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 継手用ベアリングの滑りが悪く、ホースリールの回転と差異が発生し、ネジ部が緩んだと推定する。
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 7月30日にシールテープの巻き直しにより復旧済（動作確認、漏えい確認異常なし）。 ✓ 類似箇所の確認及び定期的な外観確認を継続する。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 作動流体が喪失した場合でも、吊り荷の状態は維持されるため、吊り荷の落下等につながる事象ではない。

【参考】クレーン主巻からの作動流体の漏えい

発生事象	クレーン主巻からの作動流体の漏えい（その2）
<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 8月4日 18:19 3号機キャスク仕立て作業終了後、7月29日に発生したクレーン主巻からの作動流体（水グリコール）漏えいの監視強化対策の確認中において当該ねじ込み部より作動流体（水グリコール）の滴下を確認。 ✓ また、継手の一部がずれていることを確認。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>8月4日 再漏えい時</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>8月5日 継手交換是正後</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>クレーントロリ上</p> <p>ホース継手部</p> </div> </div>
<p>原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 継手用ベアリングの滑りが悪くなり回転動作を阻害し、ベアリングの損傷により、継手のずれに至ったと推定する。
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 8月5日に継手の交換、ねじ込み部のシールテープ巻き直し、緩み防止剤の塗布を実施済。 ✓ 類似箇所の確認及びベアリング部への定期的な潤滑油補給を実施する。 ✓ 定期的な外観確認を継続する。
<p>備考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 作動流体が喪失した場合でも、吊り荷の状態は維持されるため、吊り荷の落下等につながる事象ではない。