

【補足説明資料】

3号機ハンドルの変形燃料及び使用済燃料収納缶取り扱いに係る実施計画Ⅱ章の変更について

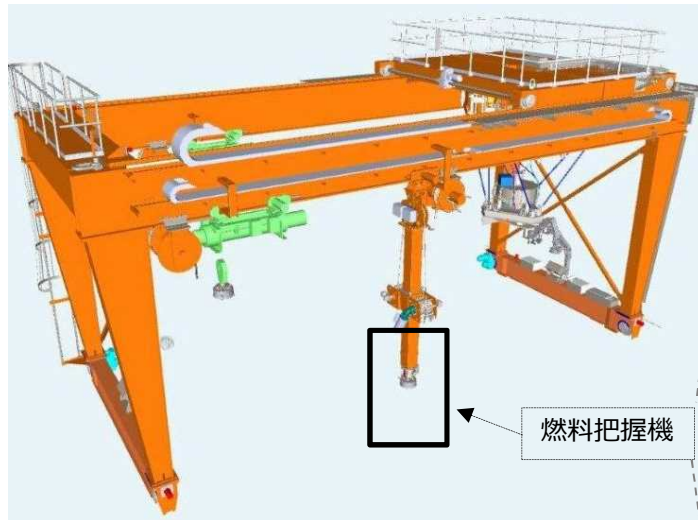
2020年10月20日

TEPCO

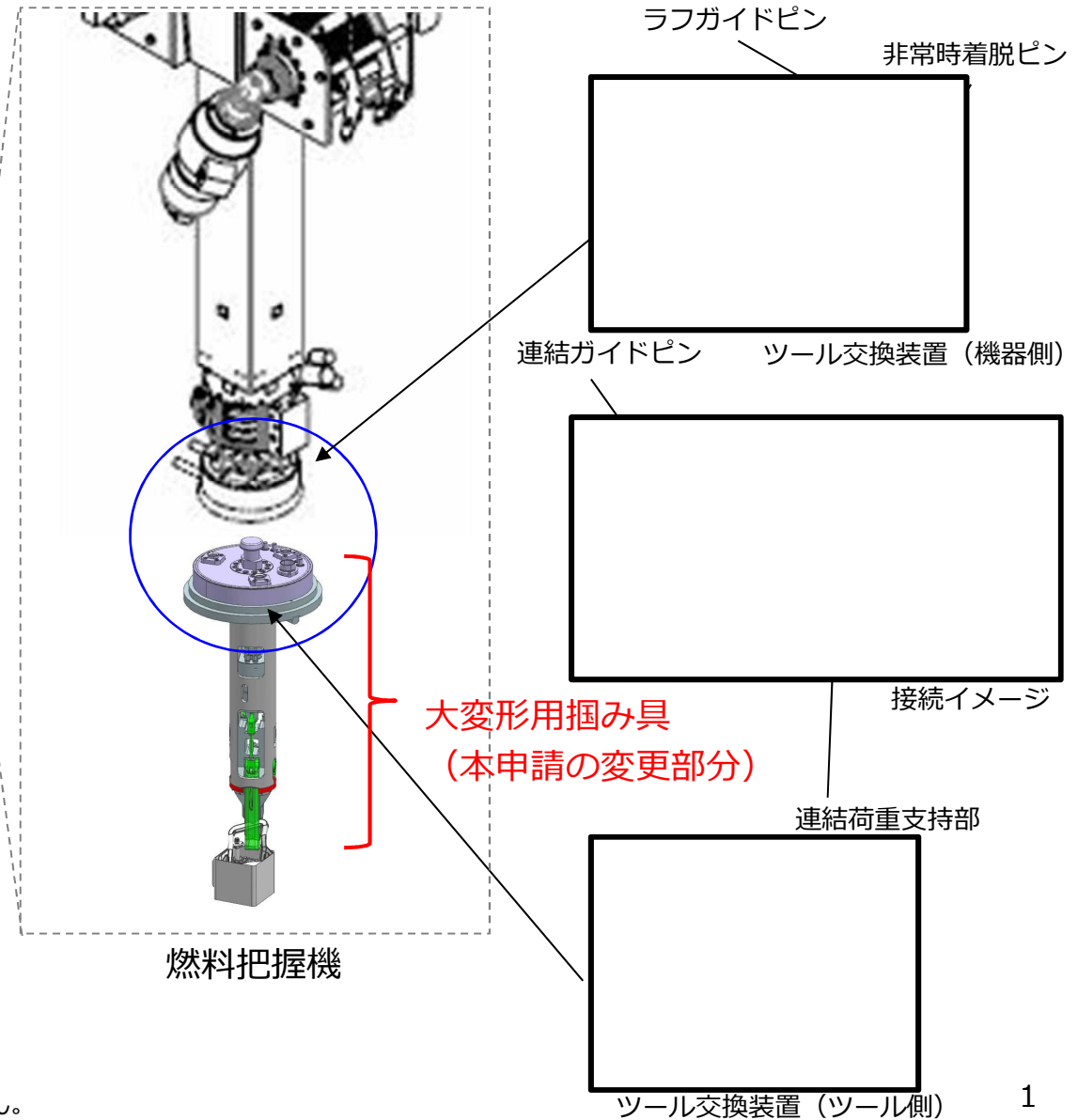
東京電力ホールディングス株式会社

3号機燃料取扱設備の燃料把握機

- 3号機の燃料取扱機のうち燃料把握機は、ツール交換装置で大変形用掴み具と接続する。



燃料取扱機



- ツール交換装置
 - 各ツールと機器（燃料取扱機）側の取り合いのカップリング部分
 - 形を統一することで遠隔での交換を可能
 - 落下防止：機械的（着脱クサビ）と電氣的（動作インターロック2重）の2種類

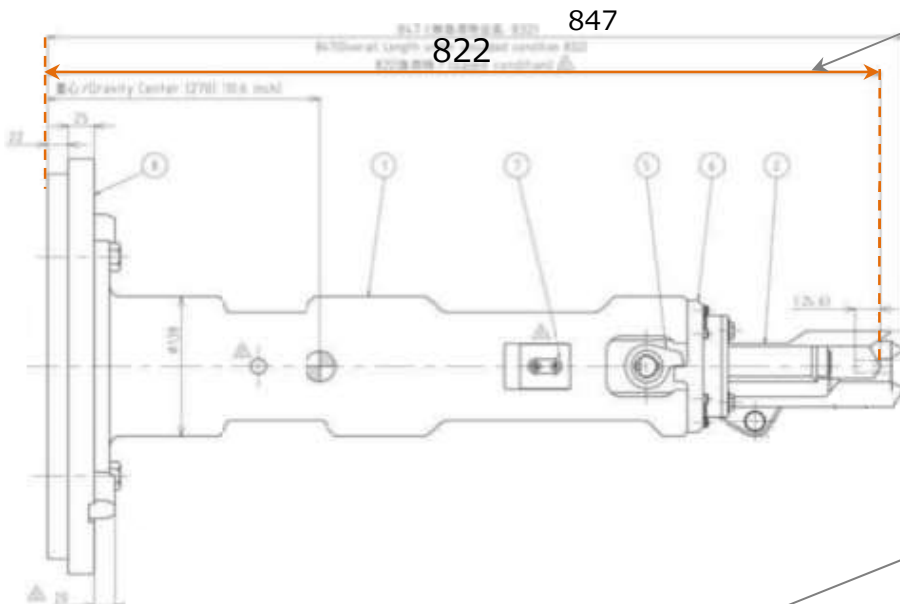
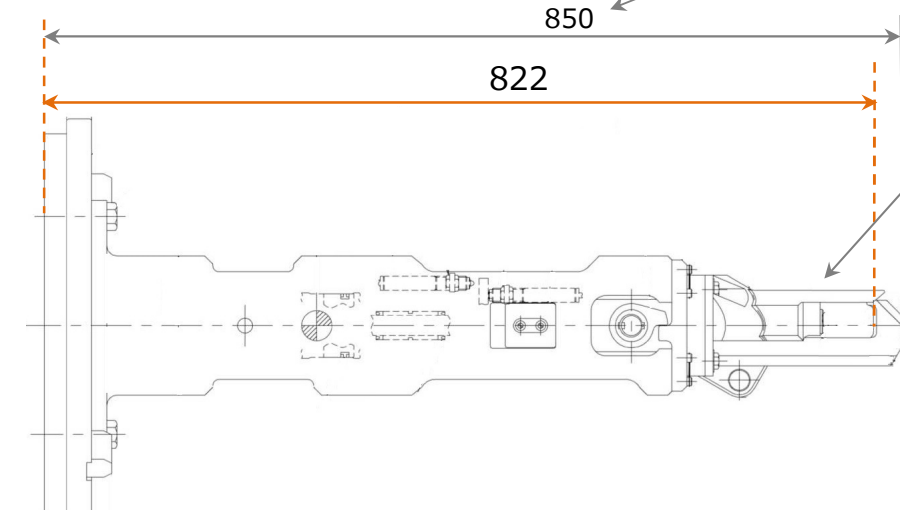
☐ : 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

現状の燃料掴み具からの変更点（1 / 2）

- 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、先端形状を変更。
- 現状の燃料掴み具の設計を踏襲し、ツール交換装置接続、ラッチ機構による落下防止、駆動源（水圧）、電気的な制御、最大吊り上げ荷重（1t）は変更しない。

現状の燃料掴み具	大変形用掴み具
	<ul style="list-style-type: none"> • チャンネルファスナとフックの干渉を回避する構造 • ハンドル変形に対応しフックの間口を広くする構造

現状の燃料掴み具からの変更点 (2 / 2)

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">既設の掴み具</p>	 <p>② フック内側までの寸法を既設と同じにしたことから、遮へい水深評価に変更なし</p> <p>③ 寸法変更 ・フックの強度を確保するため、材料変更に加えてフックの厚みを大きくした (847→850)</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">大変形用掴み具</p>	 <p>④ ガイド ・形状変更；ハンドル変形燃料を輸送容器の収納缶に収納する際に、ガイド部分と収納缶が干渉しないよう根元部をテーパ形状にした</p> <p>① フック部 ・小型化 ・強度を高めるため材質をSUS304からSUS304N2に変更</p>

大変形用掴み具の強度評価（1 / 3）

■ 評価対象部位

大変形用掴み具にかかる荷重を考慮し、評価対象部位を選定した。（図1参照）

■ 評価荷重

➤ クレーン構造規格第11条により、設計荷重は以下の通り。

$$\begin{aligned} \text{設計荷重 (FL')} &= \text{定格荷重 (1000kg)} \times \text{衝撃係数 (1.10)} \times \text{作業係数 (1.00)} \\ &= 1100\text{kg} \end{aligned}$$

また、過荷重試験※の荷重は、定格荷重の1.5倍であることから、荷重試験の計算荷重 (FL) = 定格荷重 (1000kg) × 1.5 = 1500kg

FL > FL'より、発生応力を求める際に使用する計算荷重をFLとする。

※：過荷重試験は、クレーン構造規格では要求されないが社内検査にて実施し、既設と同様に定格荷重の1.5倍を試験荷重としている。なお、掴み具の使用状態において、衝撃荷重は発生しない。

■ 許容応力

➤ 材料の許容応力は、クレーン構造規格第3条に定める式を用いる。

- | | |
|-------------------------------------|--|
| (a) 許容引張応力 (σ_{ta}) | : $\sigma_{ta} = \sigma_e / 1.5$ 又は $\sigma_t / 1.8$ のいずれか小さい値 |
| (b) 許容圧縮応力 (σ_{ca}) | : $\sigma_{ca} = \sigma_{ta} / 1.15$ |
| (c) 許容曲げ応力 (引張側) (σ_{bat}) | : $\sigma_{bat} = \sigma_{ta}$ |
| (d) 許容曲げ応力 (圧縮側) (σ_{bac}) | : $\sigma_{bac} = \sigma_{ta} / 1.15$ |
| (e) 許容せん断応力 (τ) | : $\tau = \sigma_{ta} / \sqrt{3}$ |

大変形用掴み具の強度評価（2 / 3）

- 強度計算結果を下表に示す。評価対象部位は、許容応力以下となることを確認した。

評価部位	応力分類	応力値 [N/mm ²]	許容値 [N/mm ²]
フック根元 1	曲げ応力	42.5	200
	せん断応力	14.7	132
	組合せ応力	49.5	230
フック根元 2	引張応力	14.5	230
	曲げ応力	79.6	200
	組合せ応力	94.1	230
フック用シャフト	せん断応力	12	320
ストッパ	せん断応力	4.2	320
取付ボルト	引張応力	24.8	136

大変形用掴み具の強度評価（3 / 3）

- 荷重伝達のロードパスより、評価対象部位を選定した。

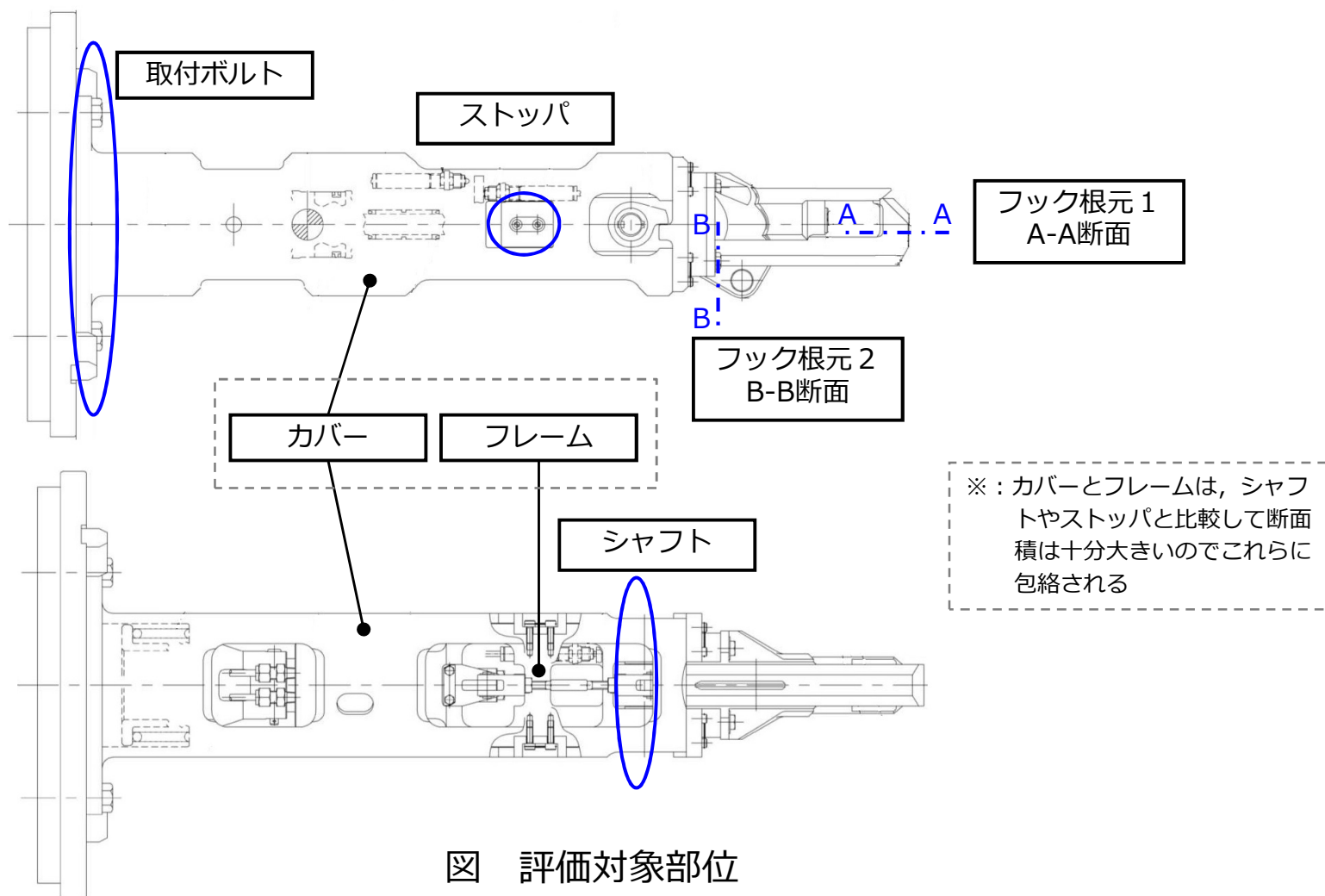
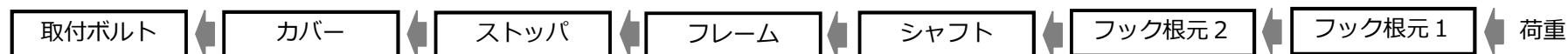
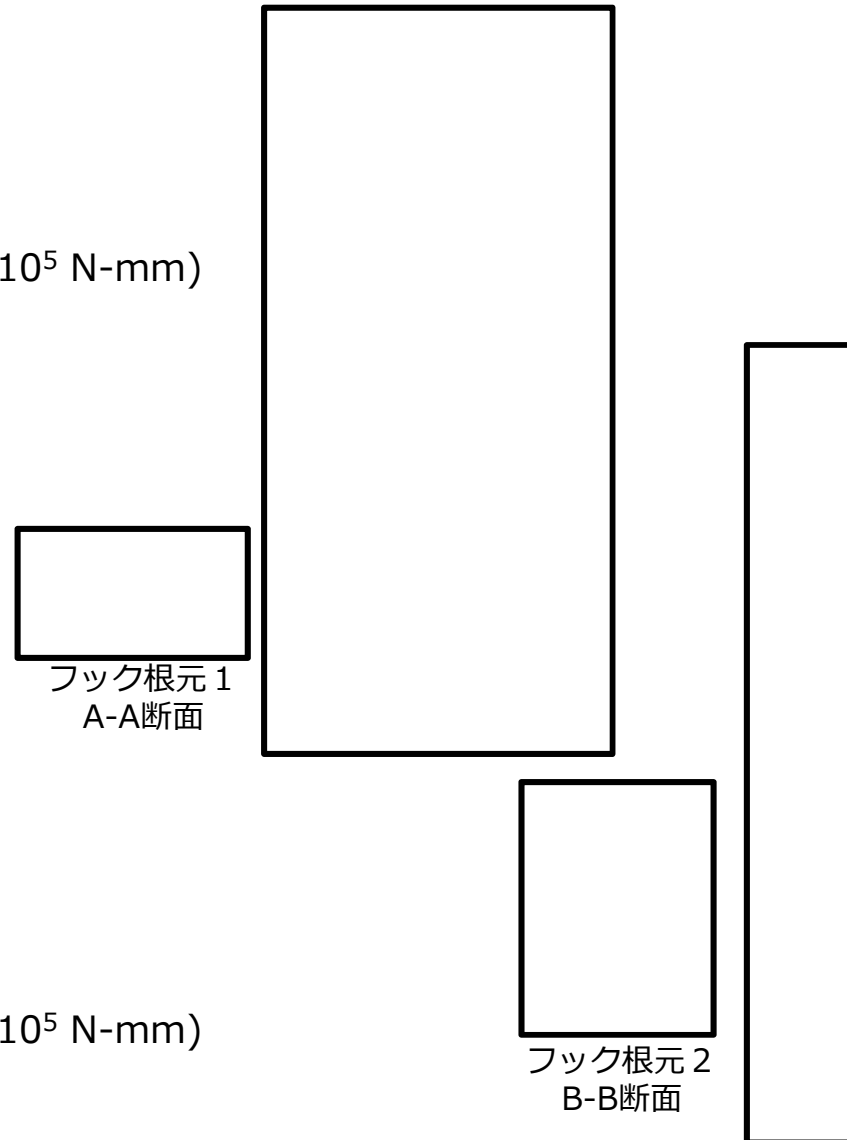


図 評価対象部位

大変形用掴み具の強度計算（1 / 2）

- フック根元 1
 - ① せん断応力： $\tau_1 = FL \times g / s_1$
 - ② 曲げ応力： $\sigma_{1b} = M_1 / Z_1$
 - ③ 組合せ応力： $\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_{1b})^2 + 3\tau_1^2}$ここで、
 - 曲げモーメント： $M_1 = FL \times g \times L_1$ (1.77×10^5 N-mm)
 - 断面積： s_1 (1000mm^2)
 - 断面係数： Z_1 (4166.7mm^3)

- フック根元 2
 - ① 引張応力： $\sigma_{2t} = F_2 / S_2$
 - ② 曲げ応力： $\sigma_{2b} = M_2 / Z_2$
 - ③ 組合せ応力： $\sigma_2 = \sigma_{2t} + \sigma_{2b}$ここで、
 - 引張応力： $F_2 = FL \times g$ (1.48×10^4 N)
 - 断面積： s_2 (1020mm^2)
 - 断面係数： Z_2 (4625mm^3)
 - 曲げモーメント： $M_2 = FL \times g \times L_2$ (3.68×10^5 N-mm)



: 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

図1 フック評価断面位置

大変形用掴み具の強度計算（2 / 2）

○ フック用シャフト

① せん断応力： $\tau_3 = FL \times g / (2 \times s_3)$

ここで、

断面積： s_3 (615.7mm²)

○ ストツパ

① せん断応力： $\tau_4 = FL \times g / (2 \times s_4)$

ここで、

断面積： s_4 (1766mm²)

○ 取付ボルト

① 引張応力： $\sigma_{5t} = W_5 / (n_5 \times S_5)$

ここで、

垂直荷重： $W_5 = FL \times g + \text{掴み具質量}$ (1.56 × 10⁴ N)

ボルト本数： n_5 (4本)

ねじ部有効断面積： S_5 (157mm²)



図2 フック用シャフト評価断面

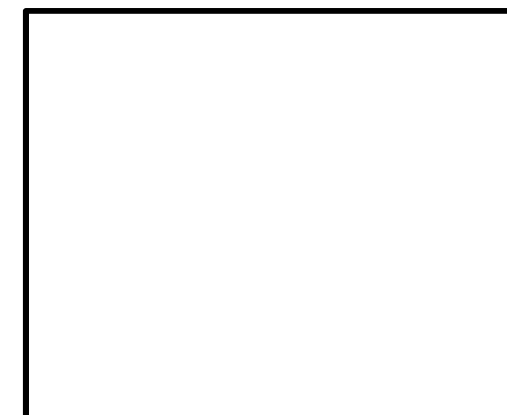


図3 ストツパ評価用断面積

大変形用掴み具の強度計算 – パラメータサーベイ結果

- ハンドル変形燃料は、右図に示す方向からハンドル変形燃料つかみ具を入れ、フック（下記図の緑色の部分）で把持する。また燃料のハンドル断面は右図に示す形状であるため、ハンドル変形燃料つかみ具のフックとハンドルの接触位置は、フックの根元に近い位置となる。
- ハンドル変形の考慮および計算荷重の設定を変更した場合の評価を実施し、強度評価への影響を確認した。計算条件の変更および計算結果を下記に示す。
パラメータサーベイの結果、許容応力以下となり、ハンドル変形および計算荷重を変更しても許容荷重を満足することを確認した。

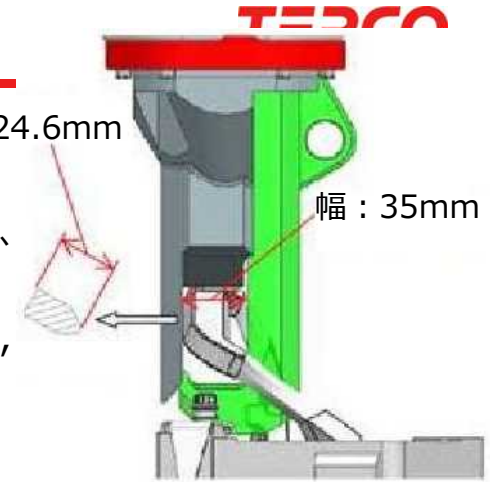


図 ハンドル燃料の把持

【計算条件の変更】

- ・ ケース1：ハンドル変形の考慮

条件変更； L_1 ：[]， L_2 ：[]

- ・ ケース2：計算荷重の変更（+ケース1）

条件変更；FL:1500→1650， L_1 ：[]， L_2 ：[]

【パラメータサーベイ結果】

評価部位	応力分類	応力値 [N/mm ²]	ケース1	ケース2	許容値 [N/mm ²]
フック根元1	曲げ応力	42.5	113.1	124.4	200
	せん断応力	14.7	14.7	16.2	132
	組合せ応力	49.5	116.0	127.6	230
フック根元2	引張応力	14.5	14.5	15.9	230
	曲げ応力	79.6	143.2	157.7	200
	組合せ応力	94.1	157.7	173.6	230

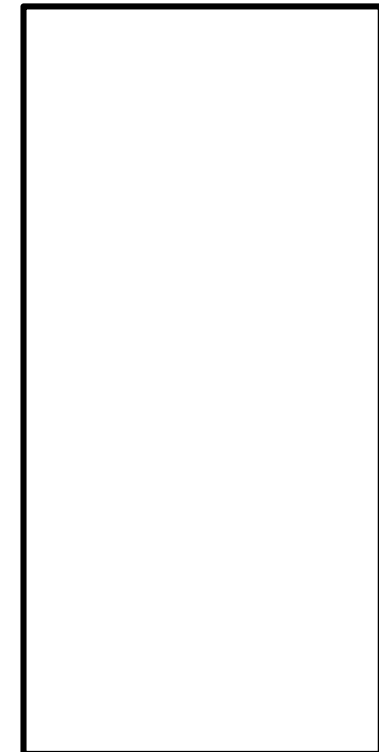


図 フック評価寸法 9

[]：黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

大変形用掴み具の使用前検査項目

- 安全機能上、重要な機能として下表の検査を実施する。

現地検査

検査事項	検査項目		検査内容	判定基準
構造強度・耐震性	構造確認	外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	駆動水圧喪失時にフックが開かない構造であること。
				動力源が喪失した場合においても燃料集合体を保持し続ける構造であること。

工場検査

試験・検査項目		試験・検査内容／判定基準
材料検査		外形構造図または強度計算書に記載されている主要部材が相違ない材料であること及びJIS等に規定された値を満足することをミルシートにて確認する。
外観検査		外形構造図と相違ないこと、使用上有害な変形・損傷・汚れがないこと及びボルト・ナット類の締結部に緩みがないことを目視にて確認する。
寸法検査		外形構造図に記載されている主要寸法が規定値内にあることを確認する。
重量検査		重量を測定し規定値内にあることを確認する。
過荷重試験		設計荷重の1.5倍（1500kg）の荷重を負荷し、損傷がないことを確認する。
電気試験	導通試験	ツール交換装置のコネクタ部よりリミットスイッチ回路が取扱説明書通りの配線であることを目視及びテスターにて確認する。
	絶縁抵抗試験	ツール交換装置のコネクタにて、リミットスイッチ全回路一括と対地間の絶縁抵抗値を測定し、絶縁性能に問題がないことを確認する。
	耐電圧試験	ツール交換装置のコネクタにて、リミットスイッチ全回路一括と対地間に電圧を印加し、絶縁破壊等の異常がないことを確認する。

工場検査

試験・検査項目		試験・検査内容／判定基準
漏えい試験		大変形用掴み具とツール交換装置を組み合わせた状態で、水グリコールを用いてハイドロ系統を加圧・保持し、大変形用掴み具のハイドロ系統が試験圧力に耐え、各継手から漏えいがないことを確認する。
単体機能試験	フック動作確認	大変形用掴み具とツール交換装置を組み合わせた状態で、ハイドロ系統に水グリコールを用いて動作圧力まで加圧し、掴み／放し動作を行い、フックの動作が滑らかであることを確認する。
	リミットスイッチ動作確認	大変形用掴み具とツール交換装置を組み合わせた状態で、ハイドロ系統に水グリコールを用いて動作圧力まで加圧し、操作盤及びクレーン操作にてリミットスイッチが動作することを確認する。
	メカニカルロックの機能確認	大変形用掴み具とツール交換装置を組み合わせた状態で、フックに荷重を加えた時に、操作盤にて放しを指示しても、フックが開かないことを確認する。
把持確認試験		大変形用掴み具とツール交換装置を組み合わせた状態で、模擬変形ハンドルを吊り上げられることを確認する。
組合せ試験		大変形用掴み具を燃料取扱機に据え付けた後、使用済燃料プール内で模擬燃料を取扱えることを確認する。

現地検査

試験・検査項目		試験・検査内容／判定基準
組合せ試験		大変形用掴み具を燃料取扱機に据え付けた後、使用済燃料プール内で模擬燃料を取扱えることを確認する。

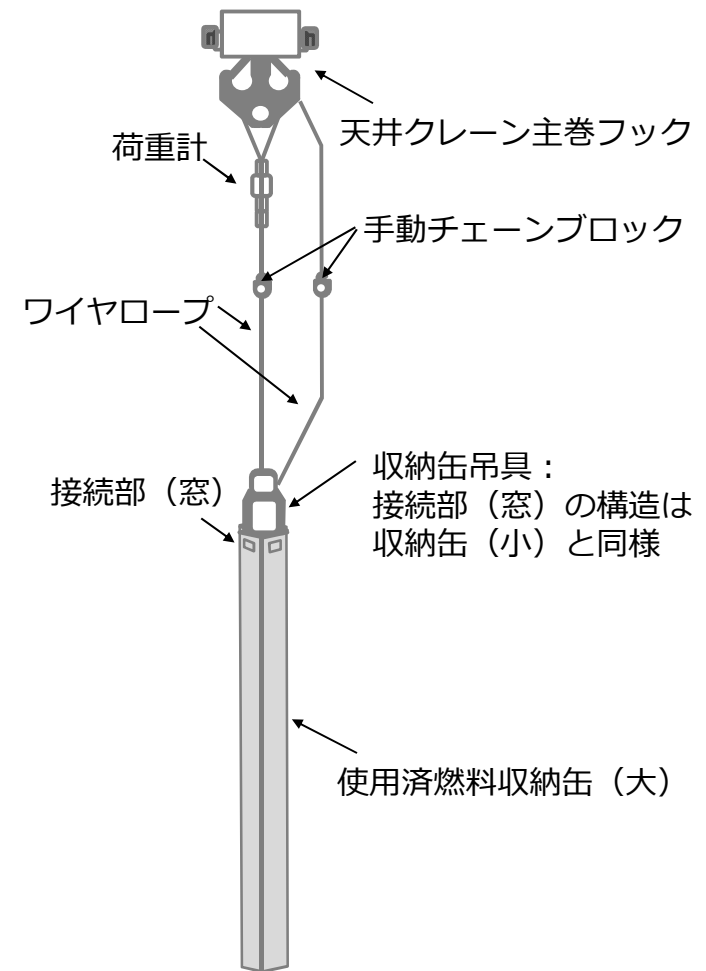
収納缶吊具の動作機構

- 収納缶吊具のハンドル部（燃料ハンドルと同様の形状）と天井クレーンの主巻フックをワイヤロープ等により取り付ける。
- 手動チェーンブロックにより吊具を巻き下げ、ガイドブロックが収納缶上に着座すると、収納缶接続部に爪が適切に入る位置に調整される。
- 燃料取扱装置から供給されたエアにより、エアシリンダが作動し、シャフトが上下する。シャフトが下がることにより爪（4本）が外側に押し出され、また、シャフトが上がることにより爪が内側に戻る。
- 押し出された爪が収納缶接続部（4箇所）にはまり、収納缶吊具を吊り上げると、収納缶も同時に吊り上げられる。

: 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

収納缶吊具取扱い時の落下防止措置

- 天井クレーン主巻フックと収納缶吊具は、二重化されたワイヤロープ等で接続する。
- 収納缶吊具は、エアシリンダにエアを供給しない限り爪は作動しない構造のため、エア喪失時でもラッチ状態を維持し、荷重を保持することができる。
- また、エア喪失時に何らかの原因で爪が動いた場合に、爪が抜けないように爪先端に突起を設けてある。
- インジケータ及び水中カメラ映像により、確実にラッチ状態であることを確認し巻き上げ操作を行う。
(爪の出し入れに連動してインジケータが上下)
- なお、幾何学的に4本すべての爪が接続部に挿入されない限りラッチ状態にならない構造。(吊具が傾くなどし、爪が1本でも挿入できなければ残りの爪も挿入されず、インジケータも下がりきらない(アンラッチ状態))



使用済燃料収納缶（大）取扱い概念図

収納缶吊具の強度評価（1 / 3）

■ 評価対象部位

評価対象部位を図1に示す。

■ 評価荷重

➤ クレーン構造規格第11条により，設計荷重は以下の通り。

設計荷重（F）＝ 定格荷重×Z方向の加速度

■ 許容応力

材料の許容応力は，クレーン構造規格第3条を準用して算出する。但し，「降伏点又は耐力」及び「引張強さ」は，「設計建設規格（JSME S NC-1-2005/2007）の付録材料図表に記載されている値から算出した（設計温度66℃における値を用いた）。

- (a) 許容引張応力 (σ_{ta}) : $\sigma_{ta} = \sigma_e / 1.5$ 又は $\sigma_t / 1.8$ のいずれか小さい値
- (b) 許容圧縮応力 (σ_{ca}) : $\sigma_{ca} = \sigma_{ta} / 1.15$
- (c) 許容曲げ応力（引張側） (σ_{bat}) : $\sigma_{bat} = \sigma_{ta}$
- (d) 許容曲げ応力（圧縮側） (σ_{bac}) : $\sigma_{bac} = \sigma_{ta} / 1.15$
- (e) 許容せん断応力 (τ) : $\tau = \sigma_{ta} / \sqrt{3}$

収納缶吊具の強度評価（2 / 3）

- 強度計算結果を下表に示す。評価対象部位は、許容応力以下となることを確認した。

評価部位	応力分類	応力値 [MPa]	許容値 [MPa]
評価点①	引張応力	26.1	125
	せん断応力	52.2	72
評価点②	曲げ応力	58.4	108
	せん断応力	16.2	72

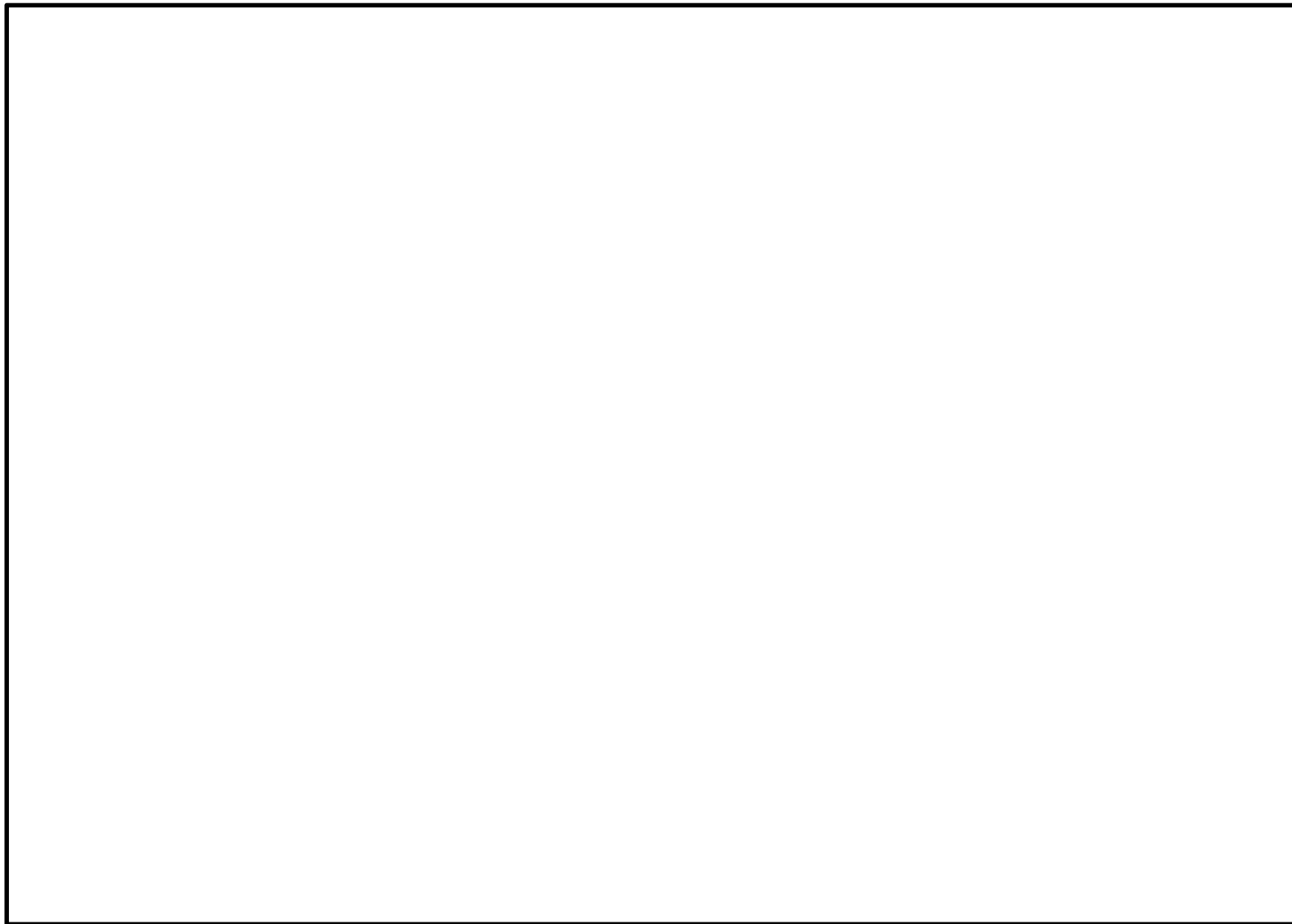



図 収納缶吊具の応力評価部位

 : 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

収納缶吊具の強度計算

○ 評価点①

① 引張応力： $\sigma_{1t}=F/A_{1t}$

② せん断応力： $\tau_1=F/A_{1s}$

ここで、

収納缶吊具に作用する荷重： F [N]

$$F=(m_{\text{can}}+m_{\text{fuel}}+m_w+m_j)\times G_z$$

m_{can} ：収納缶1体の質量 () , m_{fuel} ：燃料体1体の質量 ()

m_w ：収納缶1体に含まれる内部水の質量 () ,

：収納缶吊具の質量 ()

：Z方向の加速度 (衝撃係数1.6×作業係数1.2；1.92G=18.83m/s²)

評価点①の引張荷重支持面積： A_{1t} ()

評価点①のせん断荷重支持面積： A_{1s} ()

○ 評価点②

① 曲げ応力： $\sigma_{2b}=M_2/Z_2$

曲げモーメント： $M_2=F\times l_2/4$

② せん断応力： $\tau_2=F/A_{2s}$

ここで、

収納缶吊具に作用する荷重： F [N]

評価点②に作用する曲げモーメント： M_2 [N・mm]

評価点②の断面係数： Z_2 ()

爪支持部と収納缶内面との距離 ()

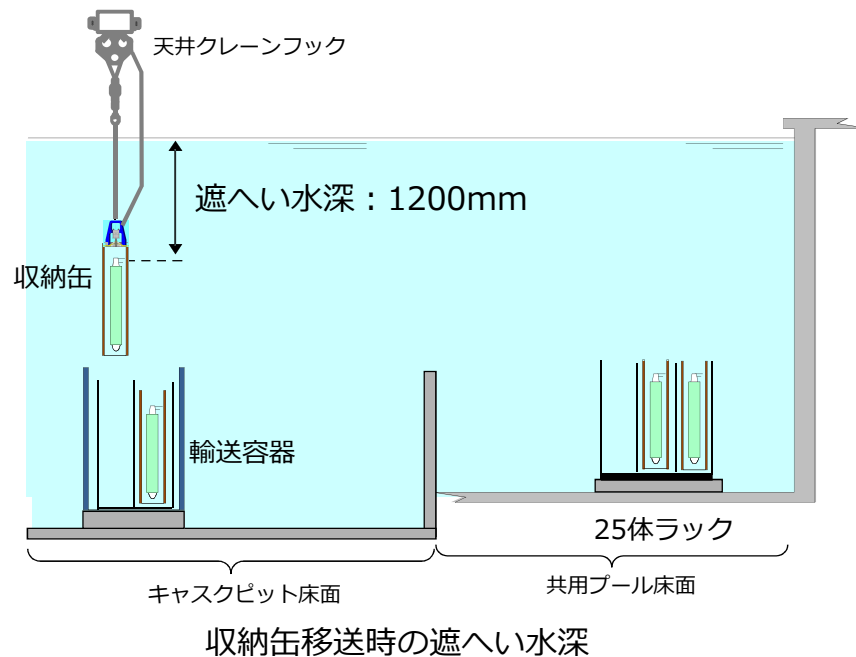
評価点②のせん断荷重支持面積： A_{2s} ()

: 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

収納缶取扱い時の遮へい水深について

- 右図のように、ワイヤロープ等により吊具と天井クレーンの主巻フックを取り付ける。
- 天井クレーン主巻は常用上限位置で固定し、チェーンブロックで高さ調整を行う。
- チェーンブロックは最大巻き上げ時でも遮へい水深※ 1200mm以上が確保されるよう調整し、収納缶移送時の線量評価より作業員への被ばく管理上問題ないことを確認している。
- 設計通り遮へい水深が確保されることを社内検査にて確認する。

※：プール水面から燃料ハンドル下面までの距離と定義



天井クレーンと収納缶の取付け概念図

☐：黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

収納缶移送時の線量評価

- 放射線業務従事者等の立入る可能性のある区域の線量率については、表-1の設計基準が達成されるように遮へい設計を実施している。
- 使用済燃料の線源強度を表-2に示す。
- 収納缶移送時の計算モデルを図1に示す。線源は使用済燃料1体とし、線源形状は燃料有効長より算出した直方体モデルとする。評価点は、燃料取扱装置における作業員の立ち位置であり、遮へい水深は1200mmに設定する。
- 収納缶移送時の線量率を表-3に示す。評価点における線量率は、当該区分に対する基準線量を満足する。また、現状予定している収納缶移送は4体であることから作業員への被ばくは小さく、被ばく管理上問題ない。

表-3 収納缶移送時の線量率

評価点	区分	線量率(mSv/h)
燃料取扱装置 作業員立ち位置	F	9.0E-02

表-1 基準線量率

区分		設計基準線量率
非管理区域	A	0.006mSv/h以下
管理区域	B	0.01mSv/h以下
	C	0.06mSv/h以下
	D	0.12mSv/h以下
	E	0.5mSv/h以下
	F	0.5mSv/hより大

表-2 使用済燃料の線源強度

ガンマ線エネルギー (MeV)	線源強度 (MeV/(W・s))
1.0	1.2×10^9
2.0	3.6×10^6
3.0	6.4×10^6

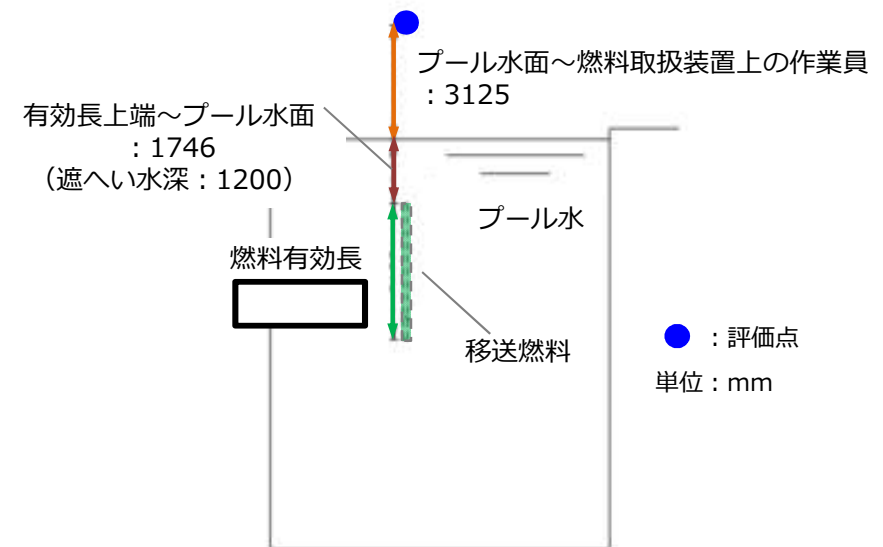


図1 計算モデル

収納缶移送作業について（1 / 2）

【作業前準備】

- 収納缶吊具の準備
 - ・ 収納缶吊具にエアホースを取付ける。
 - ・ 収納缶吊具の操作盤にて「アンラッチ」及び「ラッチ」を操作し、動作に異常がないことを確認する。
- 取付け冶具の準備
 - ・ 収納缶吊具と天井クレーンフックにチェンブロック等の機器を取付ける。
 - ・ チェンブロックを完全に巻き上げた状態で取付ける。
- 荷重計の準備
 - ・ 荷重計に何も吊っていない状態で、ゼロ調整を行う。

収納缶吊具（アンラッチ）

収納缶吊具（ラッチ）

天井クレーンと収納缶の取付け概念図

 : 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

収納缶移送作業について（2 / 2）

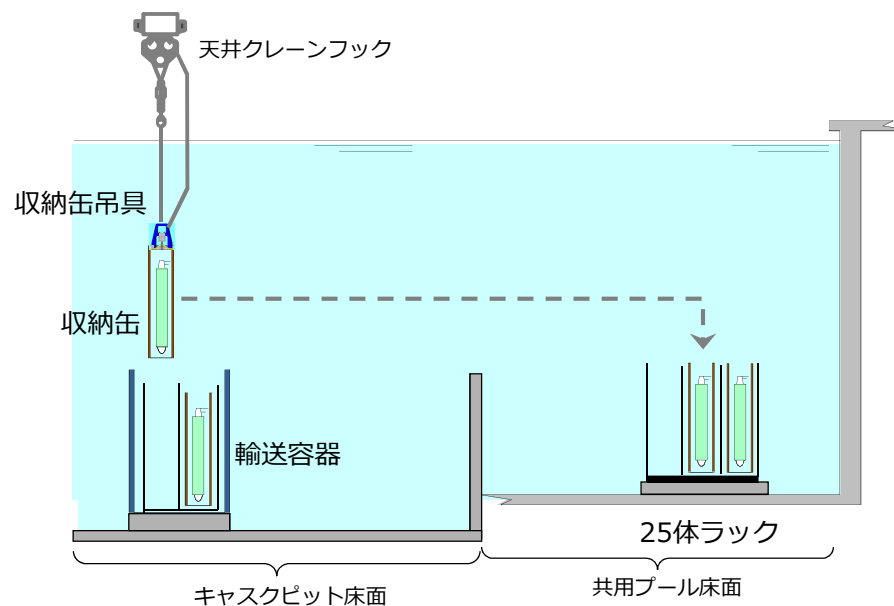
【 収納缶移送 】

■ 収納缶の吊上げ

- 天井クレーンで収納缶吊具を収納缶の直上に移動する。
- チェーンブロックを巻き下げ、収納缶吊具を収納缶に挿入する。なお、操作は水中カメラで監視しながら行う。
- 収納缶吊具が着座したことをワイヤロープのたるみ、水中カメラで確認する。
- 収納缶吊具の着座を確認後、収納缶をラッチする。ラッチは、インジケータの状態にて確認する。
- 収納缶のラッチを確認後、チェーンブロックを巻き上げ、収納缶を吊り上げる。チェーンブロックの巻き上げ中は荷重計の荷重を常時監視し、過大な荷重が発生していないことを確認する。

■ 収納缶を25体ラックへ移動

- チェーンブロックを完全に巻き上げる。
- 天井クレーンで収納缶を25体ラックの所定の位置に移動する。
- チェーンブロックを巻き下げ、収納缶を着座させる。収納缶が着座したことをワイヤロープのたるみ、水中カメラで確認する。
- 収納缶の着座を確認後、収納缶吊具をアンラッチし、収納缶吊具を収納缶から引き抜く。アンラッチは、インジケータの位置で確認する。



収納缶移送作業

収納缶吊具の使用前検査要否

- 収納缶吊具は、使用済燃料収納缶（小）吊具と同じ扱いのため使用前検査対象外と考える。
- なお、社内試験・検査では下表について確認する。

試験・検査項目		試験・検査内容／判定基準
材料確認		使用材料が要求仕様と相違ない材料であることをミルシートにより確認する。
構造検査	寸法確認	各部の寸法が要求仕様を満たすことを確認する。
	外観確認	肉眼による外観検査の結果、機能・性能に影響を及ぼす恐れのある欠陥がないこと（錆・亀裂等）。
取扱確認試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ 収納缶の吊り穴にラッチでき、収納缶を吊上げられること。 ・ エア喪失時に収納缶を保持できること。
機能検査	収納缶挿入検査	収納缶の代表 1 本を破損燃料用輸送容器（2体）及び使用済燃料貯蔵ラック（25体）内に挿入し、異常の無いことを確認する。
	遮へい水深確認検査	遮へい水深を確保した状態で収納缶を取り扱えることを確認する。