

【補足説明資料】

6号機燃料取り出しに伴う構内用輸送容器 収納燃料(9×9燃料)の追加

2022年5月

東京電力ホールディングス株式会社

変更申請(1)

<変更なし>

6号機燃料取り出しに伴い、以下を変更申請する。

■ 変更申請箇所

実施計画Ⅱ 2.31 5・6号機 構内用輸送容器

■ 変更内容(次のスライドで説明)

以下の2点を新たに記載する。

- ① 構内用輸送容器NFT-12B型及びNFT-32B型で9×9燃料を輸送すること。 ※:原子炉運転中に燃料被覆管にピンホールが発生し、FPガスが漏えいした燃料
- ② NFT-12B型で漏えい燃料※を輸送すること。

■ 背景

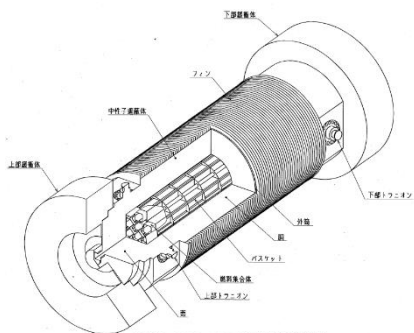
- 現在の使用可能な輸送容器を表の「現行実施計画」に記載する。実施計画初回申請時に引用可能な工事計画認可申請書(以下工認)と核燃料輸送物設計変更承認申請書(以下SAR)にて燃料タイプに対し使用可能な輸送容器が記載されている。
- 6号機使用済燃料は多くが9×9燃料であるが、現行実施計画では9×9燃料は22B型の輸送容器しか使用できないため、12B型、32B型を追記する。
- また6号機には漏えい燃料が1体存在するが、現行実施計画では輸送ができないため、4号機漏えい燃料取り出し時に使用実績があるNFT-12B型を追記する。

表 6号機使用済燃料体数と輸送容器

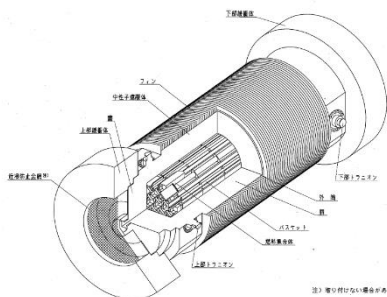
燃料タイプ	体数	輸送容器(NFT-〇〇型)	
		現行実施計画	今回追加
8×8	14	12B,22B,32B	—
8×8BJ	130	12B,22B,32B	—
高燃焼度 8×8	316	12B,22B,32B	—
9×9	995	22B	12B,32B
9×9 (漏えい)	1	無し	12B
合計	1456		

【参考】構内用輸送容器の概略

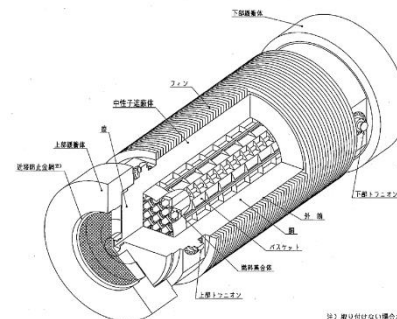
<変更なし>



NFT-12B型
外観図



NFT-22B型
外観図



NFT-32B型
外観図

		NFT-12B型	NFT-22B型	NFT-32B型
総重量		約73 トン	約97 トン	約106 トン
外形寸法	外径	約2.3 m	約2.6 m	約2.4 m
	長さ	約6.4 m	約6.3 m	約6.4 m
収納体数		12 体	22 体	32 体

【参考】6号機漏えい燃料の状態

<変更なし>

6号機漏えい燃料の過去の点検結果

平成13年5月の中間停止時のシッピング検査において発見された漏えい燃料を、平成14年2・3月に詳細調査を実施した。

燃料タイプ:9×9B型(NFI製)

燃料番号:F6SN55

調査項目:

- (1)超音波(UT)装置による燃料棒の同定。
- (2)ファイバースコープ(FS)装置による漏えい燃料棒の確認。

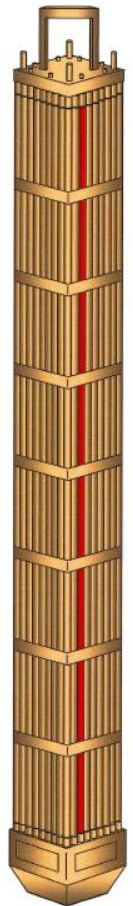
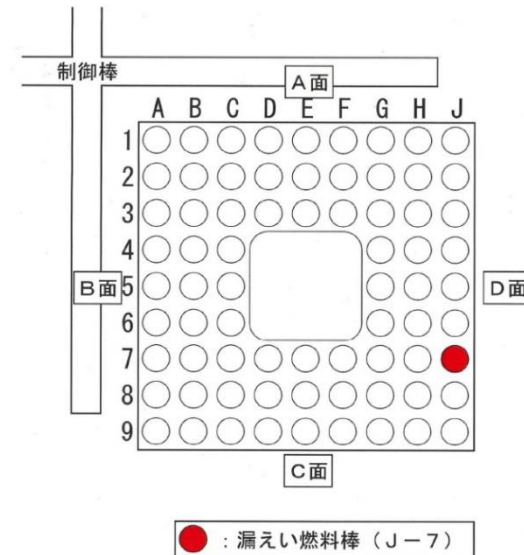
調査結果:

- 右図の燃料集合体の**J-7(赤)**の位置に**漏えい燃料棒**を確認。
- 第7スパン間(第6スペーサ上部から約330mm上の位置)まで浸水。
- 異物の混入, 変形, 腐食, 損傷等の異常は認められない。
- 第1スパン下部付近(燃料棒下部より約50 mm~90 mmの位置)にクラッドの付着ムラが見られた。
- 対称位置にある健全燃料棒(G-9)のほぼ同位置(第一スパン下部付近)にも, 漏えい燃料棒と同様のクラッド付着ムラを確認。

表 6号機漏えい燃料の仕様

燃焼度	1974 MWd/t
冷却期間	7504 日※1
最終炉停止日	2001.5.16

※1 炉停止日2001年5月16日から2021年12月1日までの日数



変更申請(2)

<記載の追加・修正>

■ 変更内容(詳細)

2.31.3 主要な機器を例に、記載の変更内容を示す。2.31.4 除熱から2.31.8 構造強度の各評価についても同様に記載を変更する。

① 構内用輸送容器NFT-12B型及びNFT-32B型で9×9燃料を輸送すること

- NFT-12B型及びNFT-32B型では、9×9燃料が評価されていない工認から9×9燃料が評価されているSARに変更する。
- NFT-22B型では、工認とSARが並記されているがNFT-12B型及びNFT-32B型の記載に合わせる形で実施計画上の工認の引用を削除する。
- SARの認可日
 - SAR(NFT-12B型):平成29年1月25日認可(原規規発第1701255号)
 - SAR(NFT-22B型):平成24年1月17日認可(平成22・10・28原第24号)
 - SAR(NFT-32B型):平成29年9月25日認可(原規規発第1709254号)

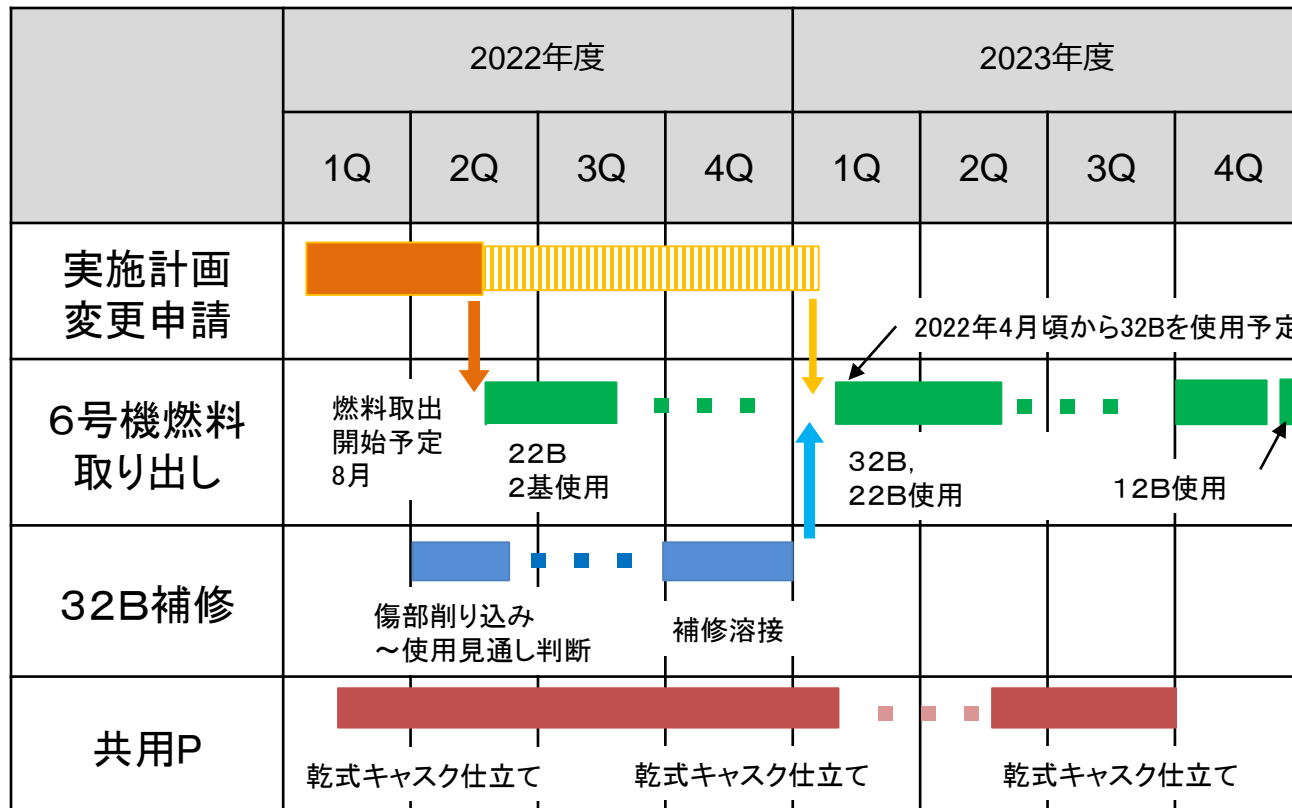
② NFT-12B型で漏えい燃料を輸送すること

- 6号機漏えい燃料については、現行実施計画では記載がない。そこで、4号機漏えい燃料取り出し時にNFT-12B型を使用した実績があり、その際の評価(実施計画Ⅱ 2.11)を6号機漏えい燃料取り出しに適用可能であるか検討した。
- NFT-12B型による6号機漏えい燃料輸送については、4号機漏えい燃料取り出し時の評価※1を適用している。適用可能性について、今回申請の添付資料ー1で説明している。評価の詳細については後のスライドに記載する。
 - ※1 実施計画Ⅱ 2.11使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付資料2-1-3構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書(4号機)
- 実施計画の認可日(初回申請時)
 - 実施計画Ⅱ 2.11使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付資料2-1-3構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書(4号機):平成26年10月16日認可(原規規発第1410163号)

6号機燃料取り出し 今後の予定

<記載の追加・修正>

- 輸送回数の削減と漏えい燃料輸送を実施するために、今回の変更申請をする。
- NFT-32B型の容器底部にPT指示を確認。今後、補修溶接を実施予定。使用開始は2023年度初めを予定。
- 2022年度はNFT-22B型のみ使用。輸送回数は10回以下を予定。
- 認可希望は2022.8(6号機燃料取り出し開始)。NFT-32B型補修後とした場合でも、2023年度初めまでには認可が必須。



NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価(1)

<変更なし>

■ NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価

4号機漏えい燃料輸送時の評価では、除熱、遮へい、臨界防止、構造強度、密封、構内用輸送容器の落下、の6項目について評価している。6号機漏えい燃料輸送についても、これらの評価の適用が可能か検討し、NFT-12B型による6号機漏えい燃料輸送が可能であるか確認した。

■ 4号機漏えい燃料輸送の除熱、遮へい、臨界評価の概要

輸送容器の取り扱い中に漏えい燃料棒が破損し、燃料棒内のペレットが構内用輸送容器中に放出された場合の評価を行っている。

• 除熱の評価結果

放出ペレットの発熱量は設計発熱量の0.1%未満であり、構内用輸送容器の構成部材及び燃料の健全性に影響はないとしている。

• 遮へいの評価結果

輸送容器の頭部、側部、底部の評価点の線量当量率が設計基準値を下回ることを確認している。

• 臨界防止の評価結果

輸送容器の実効増倍率が設計基準値を下回ることを確認している。

■ 4号機漏えい燃料輸送の構造強度、密封、構内用輸送容器の落下評価の概要

後のスライドで解説。

NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価(2)

<変更なし>

■ 6号機漏えい燃料輸送の除熱，遮へい評価

※実際の4号機燃料輸送では輸送容器の緩衝体を用いていないが、6号機燃料輸送への評価の影響はない

4号機と6号機の漏えい燃料仕様を比較した結果を以下に示す。

- ① 4号機漏えい燃料棒が2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本である。
- ② 4号機漏えい燃料2体いずれと比較しても6号機漏えい燃料は平均燃焼度が低く冷却期間が長い。
→6号機漏えい燃料棒1本分の崩壊熱量及び線量強度は4号機漏えい燃料棒2本分より小さくなる。したがって、4号機の除熱評価を6号機の除熱，遮へい評価に適用可能である。

表 4号機漏えい燃料及び6号機漏えい燃料の燃料仕様の比較

	4号機漏えい燃料 (F4UN4)	4号機漏えい燃料 (F4UN22)	6号機漏えい燃料 (F6SN55)
燃料タイプ	9×9B型	9×9B型	9×9B型
漏えい燃料棒数	1本	1本	1本
平均燃焼度	33212 MWd/t	22883 MWd/t	1974 MWd/t
冷却期間	2348日※ ¹	2891日※ ²	7504日※ ³
ペレット最高濃縮度	4.9 wt%		4.9 wt%

※1 炉停止日2008年3月28日から2014年9月1日までの日数

※2 炉停止日2006年10月2日から2014年9月1日までの日数

※3 炉停止日2001年5月16日から2021年12月1日までの日数

NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価(3)

<変更なし>

■ 6号機漏えい燃料輸送の臨界防止評価

4号機漏えい燃料棒が2本であるのに対して、6号機漏えい燃料棒は1本である。

→6号機漏えい燃料における臨界防止評価は4号機における評価に包含される。したがって、4号機の臨界防止評価を6号機の臨界防止評価に適用可能である。

表 4号機漏えい燃料及び6号機漏えい燃料の燃料仕様の比較

	4号機漏えい燃料 (F4UN4)	4号機漏えい燃料 (F4UN22)	6号機漏えい燃料 (F6SN55)
燃料タイプ	9×9B型	9×9B型	9×9B型
漏えい燃料棒数	1本	1本	1本
平均燃焼度	33212 MWd/t	22883 MWd/t	1974 MWd/t
冷却期間	2348日※1	2891日※2	7504日※3
ペレット最高濃縮度	4.9 wt%		4.9 wt%

※1 炉停止日2008年3月28日から2014年9月1日までの日数

※2 炉停止日2006年10月2日から2014年9月1日までの日数

※3 炉停止日2001年5月16日から2021年12月1日までの日数

■ 4号機漏えい燃料輸送の構造強度評価の概要

• 基本的な考え方

燃料輸送の一連の流れ(ハンドリングフロー)から設計事象を抽出し、これらを既存評価(SAR)の結果と比較することで、設計基準に適合していることを確認する。4号機燃料輸送のハンドリングフローは次のスライドに示す。評価部位は、容器本体、蓋、バスケット、トラニオン、大口格子用スツール。

• 評価結果

設計事象Ⅰについては、抽出された設計事象に当てはまる代表事象の荷重条件(SARに記載)と、SAR内の既存評価の荷重条件を比較している。

設計事象Ⅱについては、抽出された設計事象に当てはまる代表事象の荷重条件(衝撃加速度)を導出し、SAR内の既存評価の荷重条件と比較している。

• 設計事象Ⅱの衝撃加速度の導出

事象発生時に構内用輸送容器が有する運動エネルギーを被衝突物(輸送架台, 転倒防止台座, キャスクピット床面)の弾性により吸収するとして、発生する衝撃加速度を計算した。

- 取り扱いモードNo.2 輸送架台への衝突
- 取り扱いモードNo.6 構内用輸送容器を載せた輸送架台の搬送台車への衝突
- 取り扱いモードNo.8 転倒防止台座への衝突
- 取り扱いモードNo.9 キャスクピット床面への衝突

衝撃加速度の導出式

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}}$$

NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価(5)

<変更なし>

■ 6号機漏えい燃料輸送の構造強度評価

● 衝撃加速度の導出

6号機燃料輸送のハンドリングフローは、4号機燃料輸送と同様である。

設計事象Ⅰについては4号機燃料輸送の評価をそのまま適用する。

設計事象Ⅱについては、衝撃加速度の導出式のパラメータについて表1にまとめた。バネ定数K、クレーンの巻下げ速度V、重力加速度gは4号機と6号機で同様である。また、構内用輸送容器の質量mは、以下のように設定した。

- 4号機は、健全燃料9体+漏えい燃料2体+変形燃料1体を収納時の構内用輸送容器の質量
- 6号機は、漏えい燃料1体を収納時の構内用輸送容器の質量

衝撃加速度の導出式

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \cdot V^2}{m \cdot g^2}}$$

● 評価結果

導出した衝撃加速度を表2に示す。

4号機では導出された値を切り上げた値で、既存評価と比較している。6号機の値も4号機の切り上げた値に収まるため、4号機と同様に既存評価と比較することができる。

→したがって、4号機の構造強度評価を6号機の構造強度評価に適用可能である。

表1 衝撃加速度の導出式のパラメータ

	4号機	6号機
輸送架台後部支持脚の圧縮変形バネ定数K (No.2)	2.17 × 10 ¹⁰ N/m	
輸送架台前後部支持脚の圧縮変形バネ定数K (No.6)	4.54 × 10 ¹⁰ N/m	
転倒防止台座の圧縮変形バネ定数K (No.8)	8.81 × 10 ¹¹ N/m	
キャスクピット床面のバネ定数K (No.9)	4.33 × 10 ¹⁰ N/m	
原子炉建屋天井クレーンの巻下げ速度V (No.2)	0.025 m/s	0.025 m/s
共用プール天井クレーンの巻下げ速度V (No.6, 8, 9)	0.025 m/s	
構内用輸送容器の質量m	6.87 × 10 ⁴ kg	6.52 × 10 ⁴ kg
重力加速度g	9.8 m/s ²	

表2 設計事象Ⅱの衝撃加速度

	4号機	切り上げた値※1 (4号機の値)	6号機
衝撃加速度No.2	2.75 G	3.0 G	2.78 G
衝撃加速度No.6	3.30 G	4.0 G	3.36 G
衝撃加速度No.8	10.2 G	11.0 G	10.5 G
衝撃加速度No.9	3.26 G	4.0 G	3.31 G

※1 4号機実施計画では余裕をみて切り上げた値で評価している。

■ 4号機漏えい燃料輸送の密封評価

構造強度評価及び除熱評価の結果から、構内用輸送容器の密封性能が維持されることを確認している。

■ 6号機漏えい燃料輸送の密封評価

6号機の構造強度及び除熱評価については、それぞれ4号機の評価が適用可能であることを確認している。

→したがって、4号機の密封評価を6号機の密封評価に適用可能である。

NFT-12B型の漏えい燃料輸送の評価(7)

<変更なし>

■ 4号機漏えい燃料輸送の構内用輸送容器の落下評価

構内用輸送容器の取扱い中に何らかの原因で構内用輸送容器が落下して密封境界が破損し放射性物質が環境に放出されることを想定して、敷地境界外の実効線量を評価する。

構内用輸送容器が落下して、構内用輸送容器に収納された燃料集合体が破損するものと仮定する。

■ 6号機漏えい燃料輸送の構内用輸送容器の落下評価

6号機漏えい燃料輸送では4号機の評価と同様の手法で評価しているが、一部のパラメータを修正して評価している。

→核分裂生成物の大気中への放出量

→ 6号機の相対濃度及び相対線量

実効線量を評価した結果を以下の表に示す。4号機と同様、公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さいものと考えることができる。

表 構内用輸送容器の落下時の実効線量

	小児	成人
よう素のγ線による実効線量	7.8×10^{-4} mSv	1.5×10^{-3} mSv
希ガスのγ線による実効線量	4.4×10^{-4} mSv	4.4×10^{-4} mSv
希ガスのβ線による実効線量	1.6×10^{-3} mSv	1.6×10^{-3} mSv
実効線量(合計)	2.9×10^{-3} mSv	3.5×10^{-3} mSv

構内用輸送容器【NFT-32B】の溶接部の PT指示における輸送容器への影響について

TEPCO

2022年5月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 構内用輸送容器のPT指示について（概要）

- 6号機使用済燃料取り出しでは、NFT-32B型（1基）及び22B型（1基）の構内用輸送容器を使用する計画である。
- 2022年1月から実施したNFT-32B型の点検において、底板オーバーレイ部（溶接部）※の錆落としを実施しPTを実施したところ、PT指示模様が確認された。
※底板オーバーレイ部の厚さは約6mm
- PT指示の位置
図の90°- 0°- 270°の上下止端部にPT指示が発生。
PT指示は、長さ～2mm程度が数十箇所（最大5mm程度が数箇所）
- 表面の手入れ（磨き込み）で改善しないため、補修溶接が必要な傷と判断。
- 当該キャスクの使用の判断について
 - ・ 傷の深さの確認と補修溶接のため当該部の削り込みを実施する予定。削り込み後、傷の深さを測定。
 - ・ オーバーレイ部の傷の先端から母材（炭素鋼）までの厚さが3mm未満※となる場合、該当箇所の補修溶接時の熱影響が母材に達することから、補修溶接時にキャスク本体の熱処理が必要となるため、NFT-32B型の補修溶接は実施せず燃料輸送には使用しないこととし、燃料輸送ではNFT-22B型のみを使用する。
※オーバーレイ部の傷の先端から母材（炭素鋼）までの厚さ3mm未満はメーカーノウハウ。
- 補修溶接が可能な場合において、オーバーレイ部は腐食防止を目的とした溶接であり強度部材ではないことから、溶接検査は対象外である。



傷の長さ：2.0 mm（研磨後）

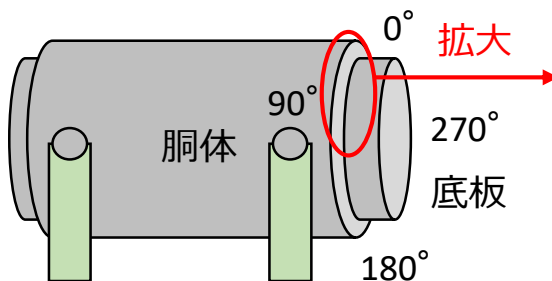
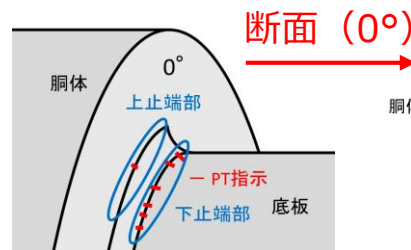
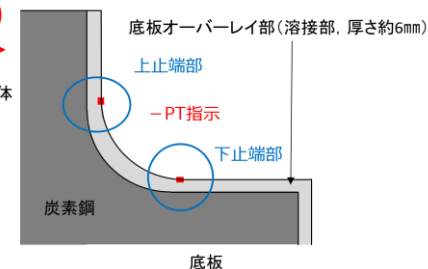


図 PT指示の位置（概要図）



拡大図



断面図（0°）

- オーバーレイ部：輸送容器の表面は、腐食防止のために厚さ約6mmのクラッド溶接がされている。この溶接部分のことをオーバーレイ部と呼ぶ。
- 材料：輸送容器は炭素鋼，溶接部はステンレス鋼。
- 位置：底板部におけるオーバーレイ部とは，下図の赤い位置の表面全体におけるクラッド溶接部分を指す。

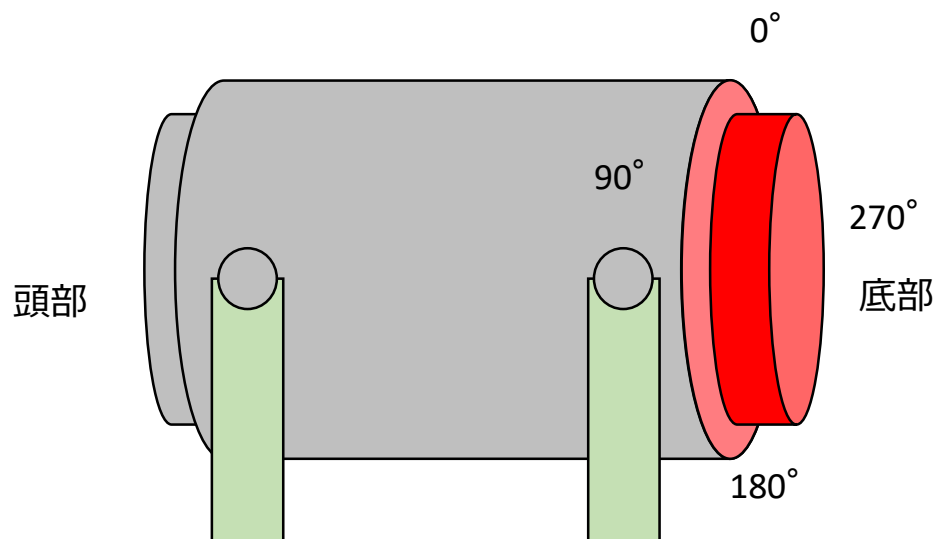


図 底板部におけるオーバーレイ部の位置

2. 設計承認 (SAR) の記載事項

- 実施計画では、SARを引用した記載としているため、SAR記載要件を満足する必要がある。
- 輸送容器の容器承認に関する定期点検保守の『外観検査』が満足できないことから、SARの記載に従い補修溶接が必要となる。
「検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール、スラグの巻き込み等の欠陥が発見され不具合と判定された溶接部は、グラインダ、機械加工等の機械的方法によるか、又はアークエアガウジングにより欠陥部を除去後グラインダ手入れを行い、補修溶接する。補修後は再検査を実施し合否を確認する。」(NFT32B_SAR(平成29年9月, 参-A-17, A.3.4 溶接欠陥の修理)より抜粋)
- 以下5項目の安全解析のうち熱、遮へい、臨界解析ではオーバーレイ部を含めた底板直径の寸法で評価をしている。また、SARに記載の「輸送容器本体の寸法測定箇所及び合格基準」では底板直径は $1774 \pm 1\text{mm}$ である。オーバーレイ部の傷による寸法の変化が安全解析の評価に与える影響は小さいと考えられるが、傷の深さによってはこの基準を満たすことができない可能性※がある。
 ※下止端部の傷の深さが底板直径に影響する

評価項目	設計承認(SAR)	実施計画	継続使用の影響有無
定期点検 【外観検査】	異常がないこと	設計承認申請書(SAR)を引用した記載としているため、SAR記載要件を満足する必要がある	有
構造解析	オーバーレイは含めていない		無
熱解析	オーバーレイを含めた寸法で解析		有
密封解析	オーバーレイは含めていない		無
遮へい解析	オーバーレイを含めた寸法で解析		有
臨界解析	オーバーレイを含めた寸法で解析		有

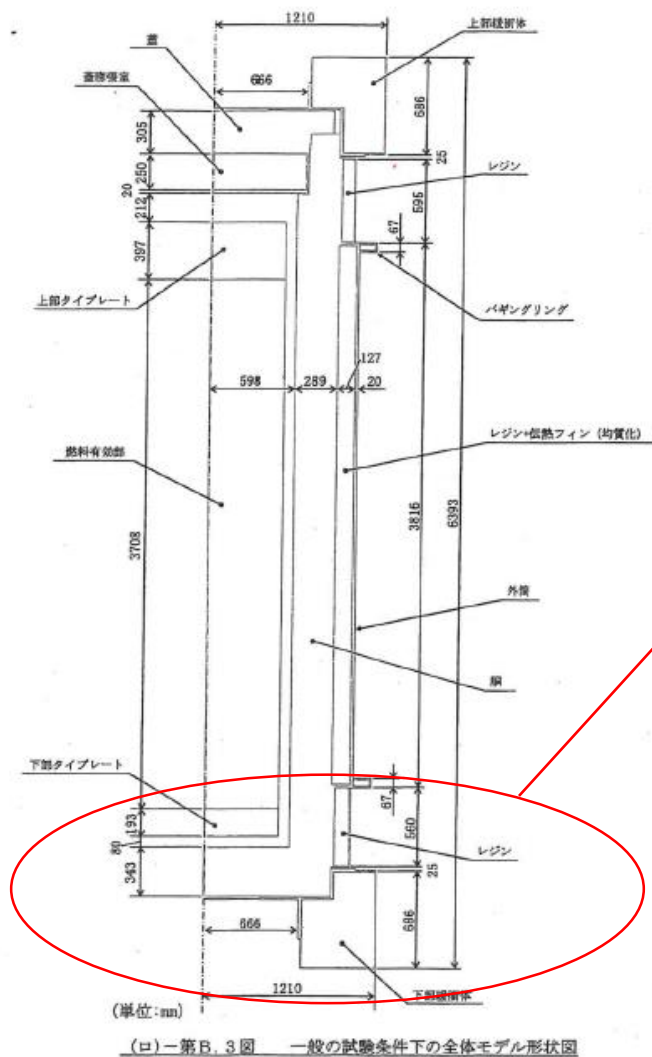


図1 熱解析のモデル

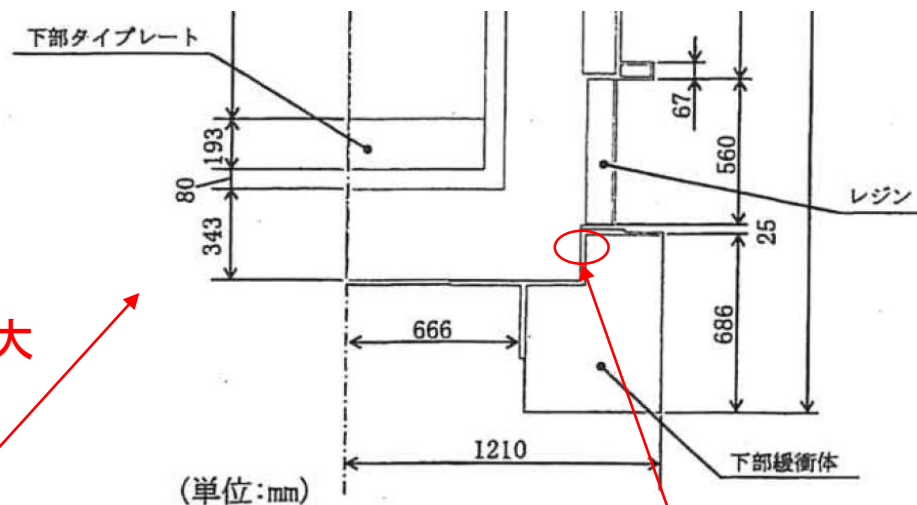
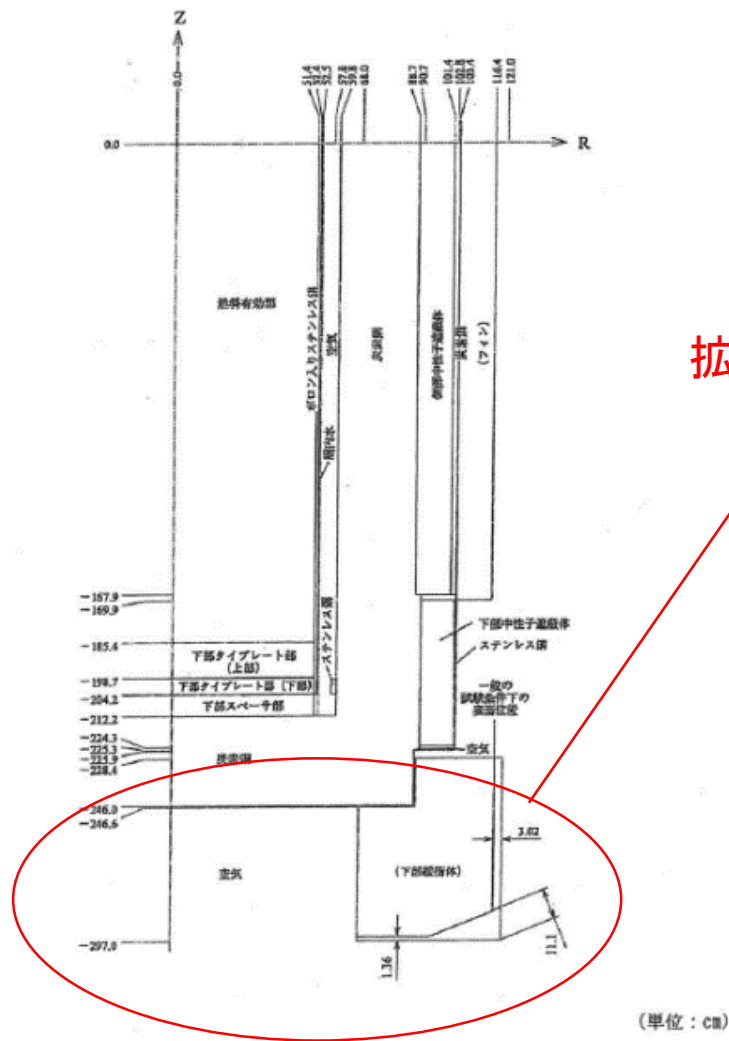


図2 底板部の拡大図

下止端部の傷により底板部の直径が小さくなる可能性がある

熱解析

- 底板部の直径寸法は未記載であるが下止端部のオーバーレイ部は考慮されている($\phi 1,774\text{mm}$)。
 - ※底板部本体の直径：1762mm
 - オーバーレイ部：6mm



(ロ) - 第D. 2 (e) 図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル

(底部水位方向: タイプ6)

図1 遮へい解析のモデル

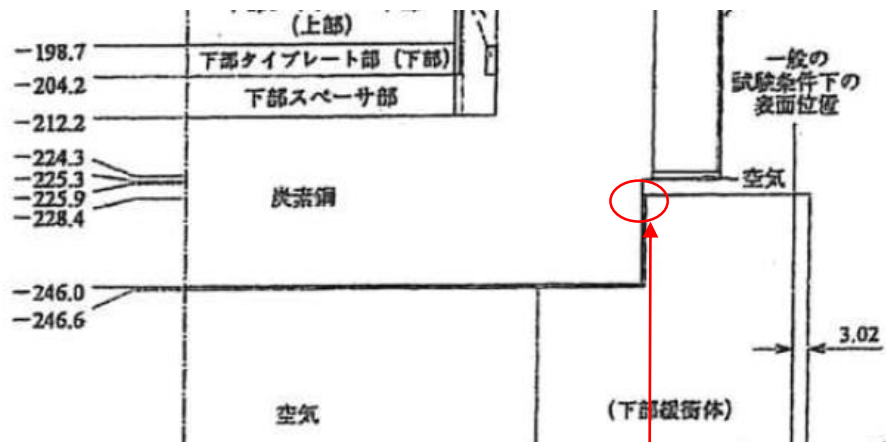
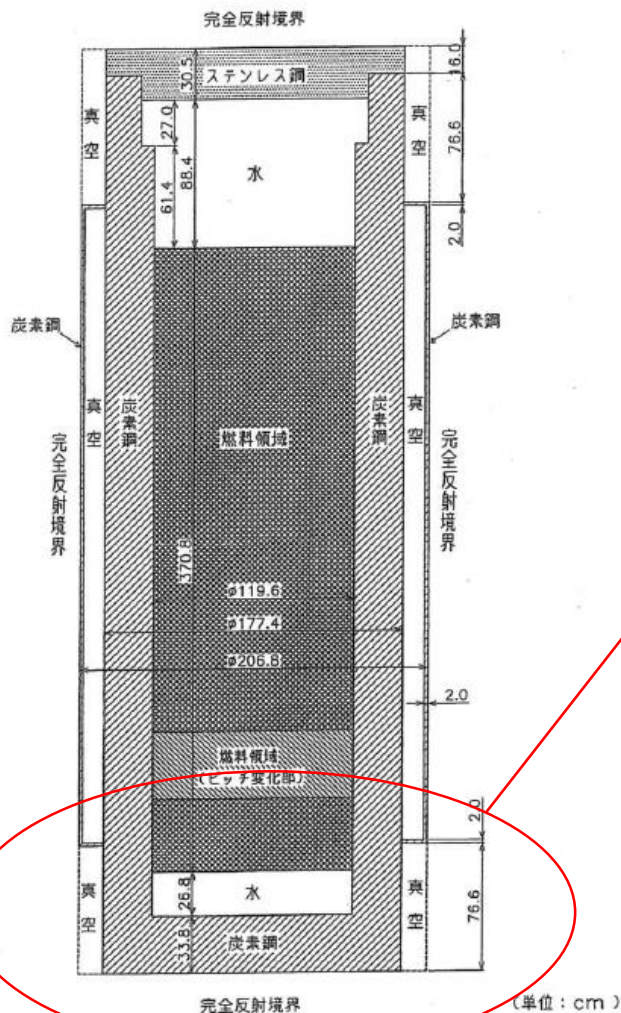


図2 底板部の拡大図

下止端部の傷により底板部の直径が小さくなる可能性がある

遮へい解析

- 底板部の直径寸法は未記載であるが下止端部のオーバーレイ部は考慮されている($\phi 1,774\text{mm}$)。
 - ※底板部本体の直径: 1762mm
 - オーバーレイ部: 6mm



(ロ)一第E. 2 (a)図 臨界計算モデル (縦断面図)

図1 臨界解析のモデル

拡大

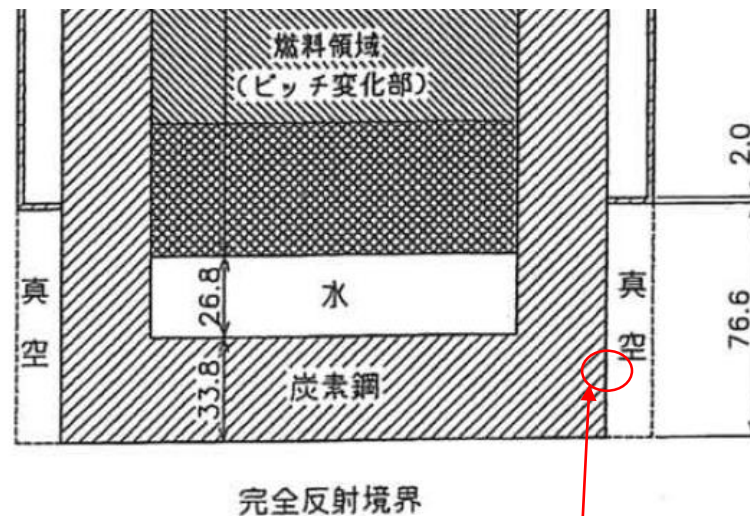


図2 底板部の拡大図

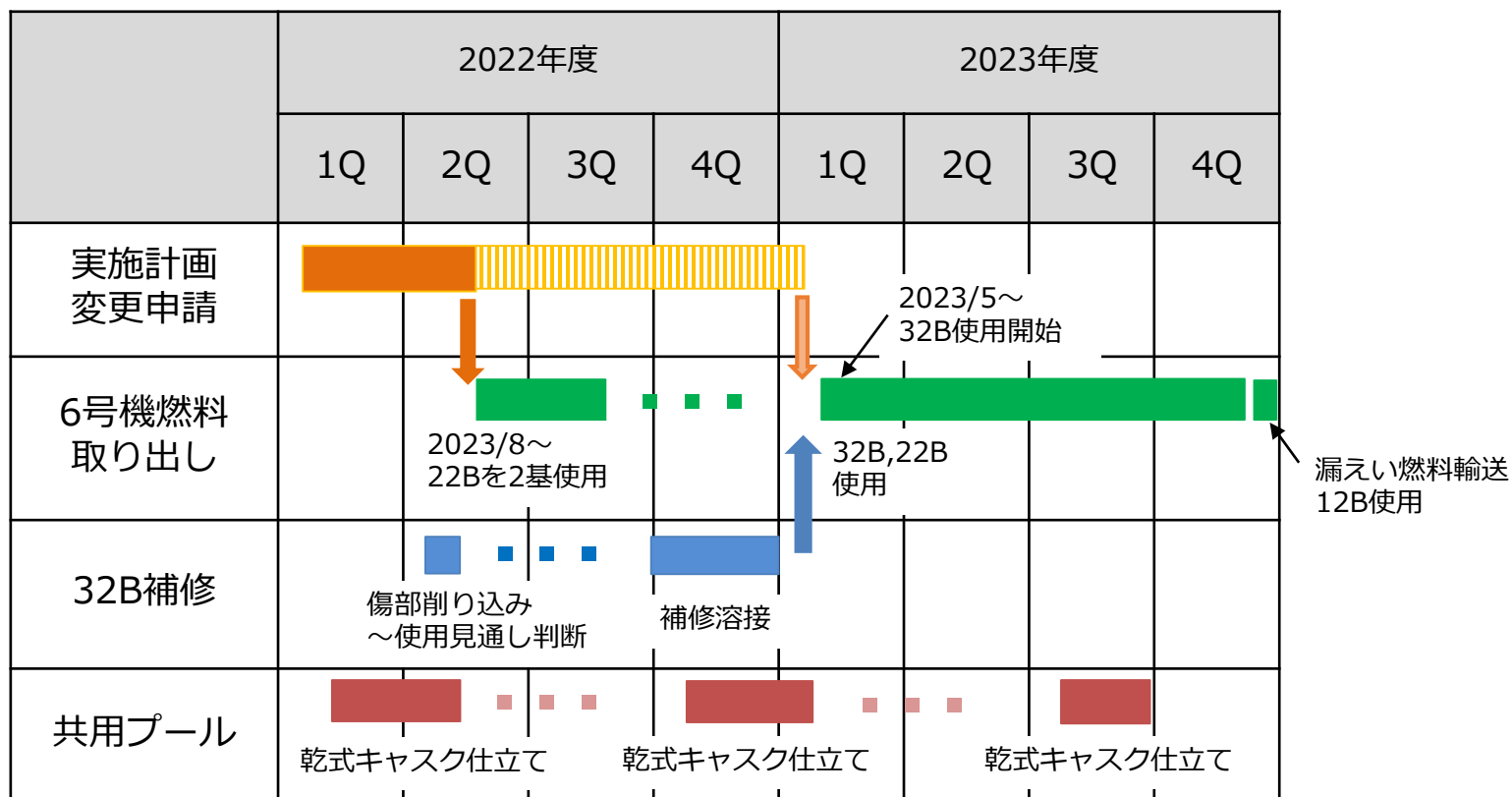
下止端部の傷により底板部の直径が小さくなる可能性がある

臨界解析

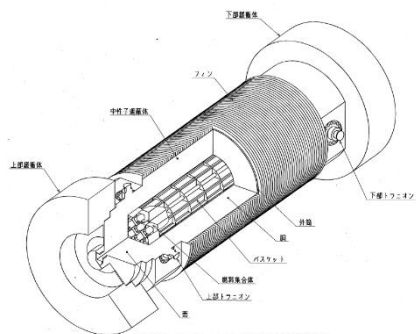
- 底板部の直径寸法の記載(Φ177.4cm)あり。下止端部のオーバーレイ部は考慮されている。
- ※底板部本体の直径：1762mm
オーバーレイ部：6mm
- 解析モデルではレジンカバーを考慮していないため、上止端部のオーバーレイ部は考慮されていない。

3. NFT-32B型の補修の今後の予定

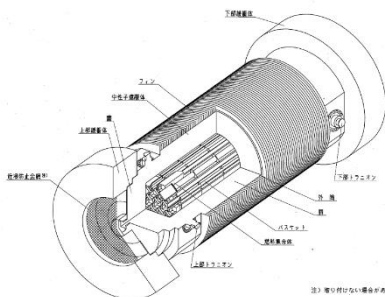
- 2022年度2Q：傷の深さの確認と補修溶接のため当該部の削り込みを実施し， NFT-32B型の使用の判断する。
- 2022年度4Q：使用決定とした場合， 補修溶接を実施。
- NFT-32B型の使用開始は2023年度初めを予定。
- 使用しない場合， NFT-22B型のみを使用。



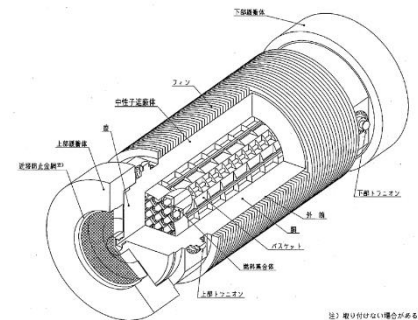
【参考】 構内用輸送容器の概略



NFT-12B型
外観図



NFT-22B型
外観図



NFT-32B型
外観図

		NFT-12B型	NFT-22B型	NFT-32B型
総重量		約73 トン	約97 トン	約106 トン
外形寸法	外径	約2.3 m	約2.6 m	約2.4 m
	長さ	約6.4 m	約6.3 m	約6.4 m
収納体数		12 体	22 体	32 体