

【補足説明資料】
使用済燃料共用プールに係る実施計画Ⅱ章の変更について

2020年3月30日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

今回の変更申請範囲



■ 燃料の分類と実施計画の対応は以下のとおり。

状態	燃料の状態		実施計画		
			2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備		2.12 使用済燃料共用プール設備 (添付資料-9,10)
			燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書 (添付資料-1-3)	破損燃料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 (添付資料-2-2)	
健全燃料	被覆管は健全		既認可の範囲	既認可の範囲 (通常ラック)	
スペーサ部損傷燃料 (CB有り)	スペーサに損傷あるが燃料被覆管は健全				
スペーサずれ燃料 (CB有り)					
スペーサ部損傷燃料 (CB無し)	CB未装着のため、ガレキの影響で被覆管に影響を与える可能性を懸念		既認可の範囲	変更申請審査中 (破損燃料用輸送容器 (7体))	
漏えい燃料	SHIPPING検査により漏えいを確認済				
ハンドル部の変形が認められる燃料※3	小	これまでのSFP調査および今後のガレキ撤去後に発見されるハンドルが変形した燃料	記載を追加し、別途申請予定※2	変更申請審査中 (破損燃料用輸送容器 (2体))	今回の変更申請範囲 (25体ラック)
	大				

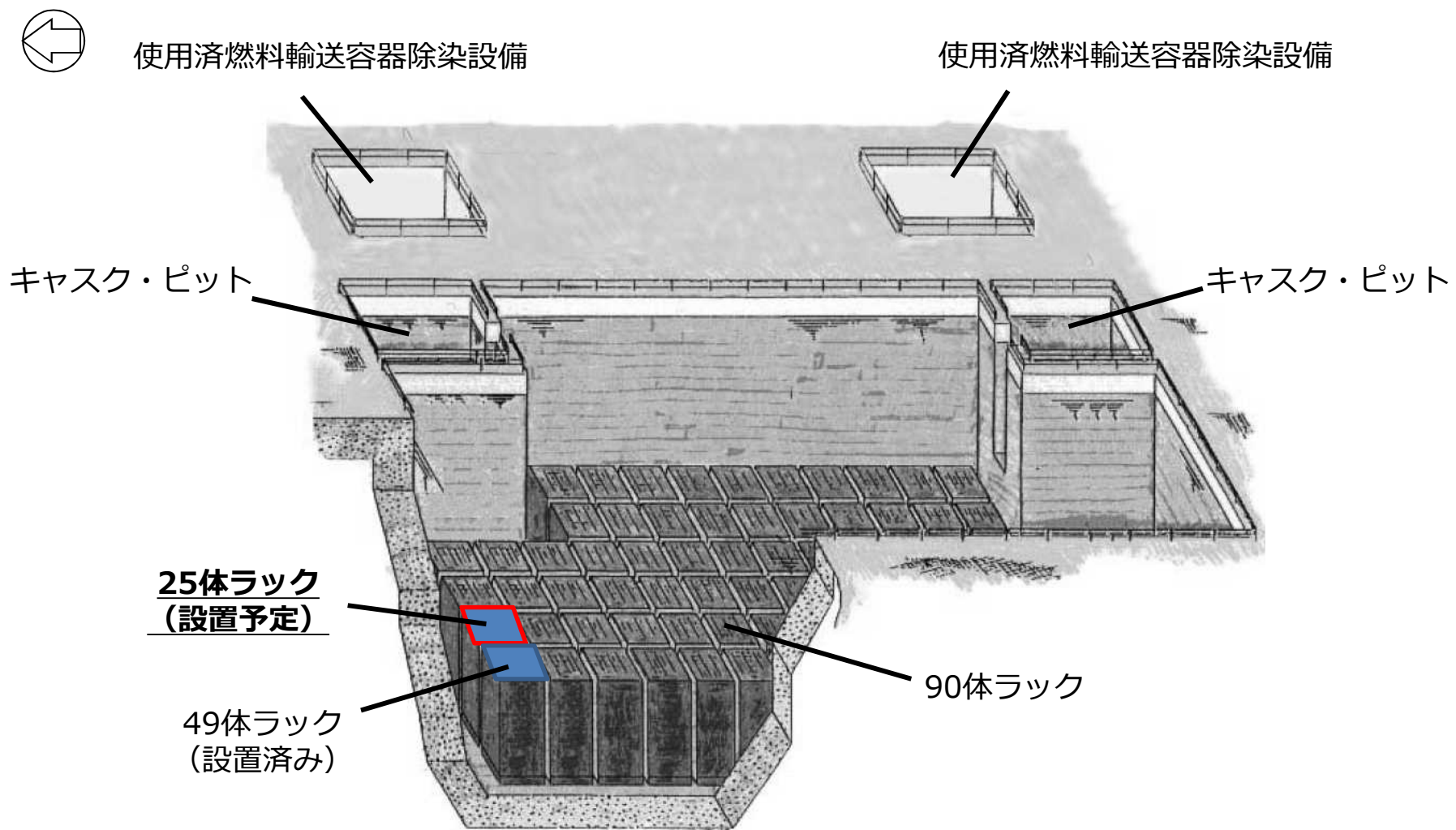
※1：添付資料-2-1「構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書」として認可済み

※2：添付資料-1-3「6.2. 3号機における燃料の取り扱い」を見直して対応することを検討中

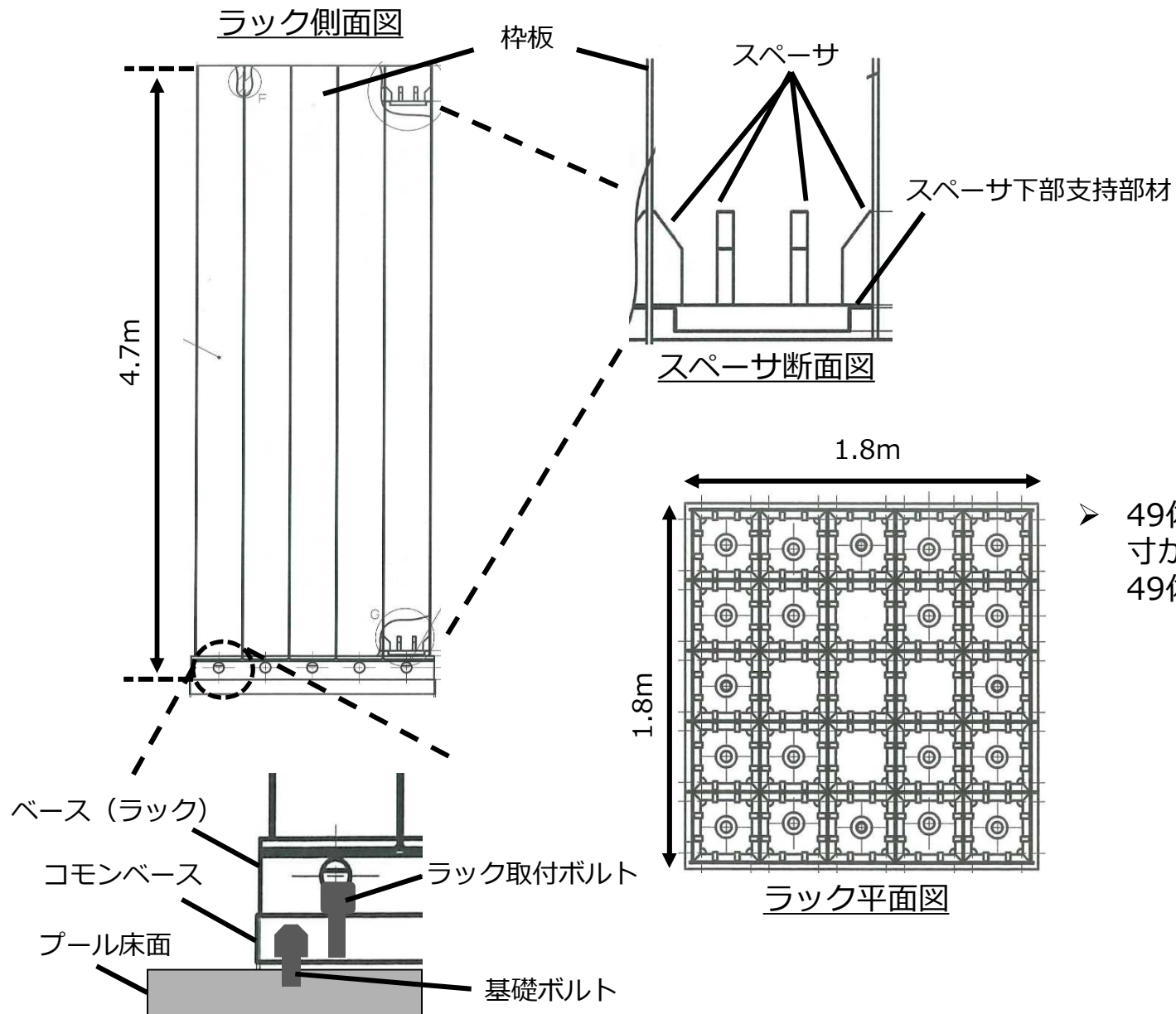
※3：燃料ハンドルが変形したスペーサ部損傷燃料や漏えい燃料も含む（現在確認されていないが、今後発見される可能性あり）
ハンドル部の変形量を水中カメラで確認し、幾何学的に使用済燃料収納缶（小）に収納可能な燃料を「小」、収納できない燃料を「大」として取り扱う。なお、判定しにくい燃料の場合は「大」とする。

※：上記以外の燃料が確認された場合は状況に応じて適切に対応する

共用プール概要図



使用済燃料貯蔵ラック (25体)



➤ 49体ラックよりも1格子の内寸が大きいため、貯蔵容量は49体から25体に減少

使用済燃料収納缶（大）の構造

- 使用済燃料収納缶（大）は、ステンレス鋼製の角缶構造であり、側面には中性子吸収材のボロン添加アルミニウム（B-Al）合金を取り付けた構造である。上部には吊具を取り付けるための接続部（窓）を設け、接続部に吊具を取り付けできる構造としている。



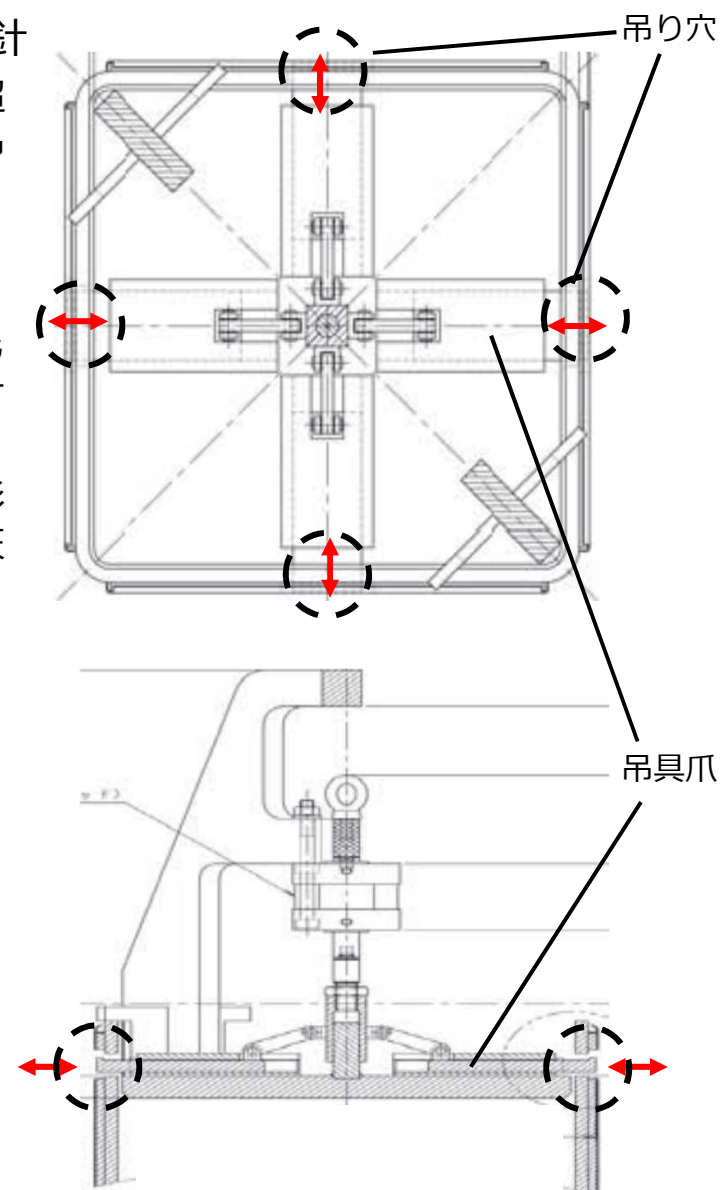
使用済燃料収納缶（大）吊具

■ 共用プールでの使用済燃料収納缶（大）の取り扱い方針

- 燃料を含む総重量が共用プール燃料取扱装置の定格荷重を超過するため、使用済燃料収納缶（大）の取り扱いを収納缶吊具を介して天井クレーンの主巻で行う。

■ 収納缶吊具の基本方針

- エア駆動により収納缶本体上部の吊り穴4箇所（図参照）に吊具爪をラッチさせて収納缶を把持する構造。（既設吊具と同様の落下防止機能）
- 収納缶上部に燃料の上部タイプレートハンドル部と同等の形状を有する吊具を取り付け、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。
- 仕様及び落下防止措置等の詳細については別途申請する。



吊具断面図

- 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601・補-1984）
- 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）
- 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1991 追補版）
- 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601-2008）
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（社団法人 日本建築学会（2005年9月））
- 日本産業規格（JIS）

安全評価における既認可からの変更点

- 臨界評価
 - 想定されるいかなる場合にも未臨界を確保しなければならないため、保守的に燃料被覆管が破損し、ペレットが収納缶内に放出されることを仮定して評価を実施
- 耐震評価
 - 地震荷重（固有周期，設計震度）が変わるため，25体ラックの評価を実施

評価項目		既認可（49体ラック）	変更申請（25体ラック）
臨界	評価条件	49体ラック，収納缶（小），燃料条件 （①燃料形状を維持したまま収納缶内で燃料棒が広がる，②燃料破損を仮定し，燃料粒子が収納缶内に放出される）	25体ラック，収納缶（大），燃料条件 （燃料破損を仮定し，燃料粒子が収納缶内に放出される）
	評価方法	燃料条件，製造公差，境界条件など最も保守的に設定して評価	同左
	新評価実施有無	－	要
耐震	評価対象	ラック部材，ラック取付ボルト，基礎ボルト，スペーサ，スペーサ下部支持部材	同左
	評価条件	49体ラックの質量（燃料，収納缶等の収納物を含む），内部構造及び地震荷重	25体ラックの質量（燃料，収納缶等の収納物を含む），内部構造及び地震荷重
	評価方法	評価対象ごとに地震荷重から応力計算	同左
	新評価実施有無	－	要

安全評価における既認可からの変更点

■ 遮へい評価

- 49体ラック設置時に保守的に評価された時の評価条件に包絡されるため、評価結果についても49体ラック設置時の評価に包絡される

評価項目		既認可（49体ラック）	変更申請（25体ラック）
遮へい	評価点	共用プール水面	同左
	評価条件	線源強度：保守的にすべて90体ラックとして貯蔵容量以上を設定 遮へい水深：90体ラックよりも49体ラックのほうが全高が高い（遮へい水深が小さい）ため、保守的にすべて49体ラックと同じ高さとして設定	線源強度：90体ラック1基を25体ラックに取り替えるため貯蔵体数は減少 遮へい水深：49体ラックと全高は同じ
	評価方法	線源強度及び遮へい水深から計算	同左
	新評価実施有無	—	不要

使用前検査確認項目

■ 使用済燃料貯蔵ラック（25体）

確認項目		確認内容	判定基準
材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画の通りであること。
構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
機能確認	使用済燃料貯蔵ラック容量確認	機器の容量，個数について確認する。	実施計画の通りであること。
	使用済燃料貯蔵ラック挿入確認	試験用収納缶を用いて貯蔵する箇所の試験用収納缶の挿入及び取出しが円滑に行え支障のないことを確認する。	試験用収納缶の挿入及び取出しが円滑に行えること。

■ 使用済燃料収納缶（大）

確認項目		確認内容	判定基準
材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画の通りであること。
構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

【補足説明資料】

使用済燃料共用プールに係る実施計画Ⅱ章の変更について

コメント回答

2020年3月30日

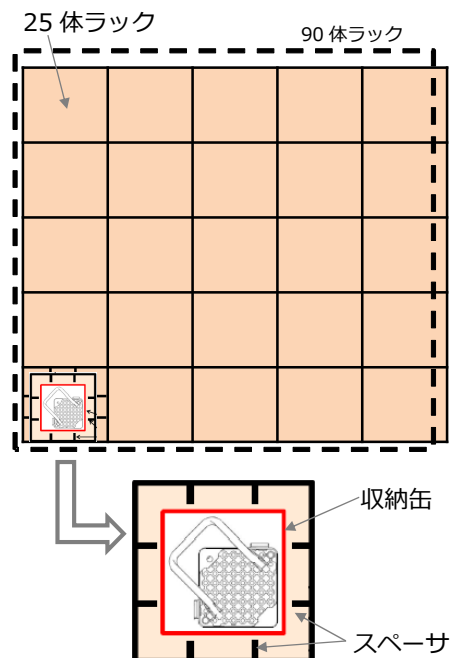
東京電力ホールディングス株式会社

【コメント1】25体収納の設定根拠を説明すること

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈本文〉

(収納体数の考え方)

- ・ 既設 90 体ラック 1 基分のスペースに貯蔵可能かつ未臨界を維持できる最大貯蔵容量として 25 体を設定。
- ・ 3 号機 SFP 内調査により、燃料ハンドルが確認できた体数（設計当初、総数約 600 体のうち約 100 体を調査）と、そのうちハンドル変形の大きい燃料が見つかった体数（ \blacksquare 体）の比例計算から、25 体ラックに貯蔵する燃料は \blacksquare 体 ($600 \times \blacksquare / 100$) と想定しており、12月2日現在で 377 体中、 \blacksquare 体見つっているため、 $566 \times \blacksquare / 377 = \blacksquare$ 体で、3 号機燃料取り出しにおいては十分な貯蔵容量と考えている。
- ・ また、1 号機 SFP 燃料にも 3 号機と同様の比率でハンドル変形の大きい燃料が見つかるかと仮定して算出された体数、及び震災前の破損燃料と合わせて \blacksquare 体と想定している。なお、2 号機 SFP 燃料については、ガレキ落下によるハンドル変形はないと考えていること、及び震災前の破損燃料は 49 体ラックに貯蔵可能と考えていることから 0 体と想定。
- ・ 今後の 1, 2 号機 SFP 内調査、検討により 25 体ラック、49 体ラックいずれも不足する場合は増設する。



(補足説明)

○ 収納缶等の検討経緯

1～4号機のSFPからの燃料取り出しにおいては、健全燃料の他、震災前から保管されている変形・破損等がある燃料や、震災時に落下したガレキによって破損した可能性がある燃料を取り出す必要がある。

表 変形・破損等がある燃料 (2011.3.11 時点)

号機	SFP 燃料	変形・破損等がある燃料 (震災前)
1F1	392	70
1F2	615	3
1F3	566	4
1F4	1,535	3
合計	3,108	80

これらの燃料の変形や破損等の状態により、共用プール燃料取扱機での取扱いが困難、または燃料被覆管から放射性物質が拡散するおそれがある場合は、燃料を収納缶に入れた状態で共用プールへ輸送し、共用プールでは収納缶ごと取扱い、貯蔵する計画とした。

収納缶の検討当時は1～3号機SFP内の調査前であり、燃料の状態がまだ把握できていなかったことから、ハンドル変形がない破損燃料やハンドル変形の程度が小さい燃料は既存ラックの格子と同じ寸法の収納缶（以下、収納缶（小）という）に入れ、収納缶（小）には入らないような変形の程度が大きい燃料は、より大きい寸法の収納缶（以下、収納缶（大）という）に入れることとした。収納缶（大）については、その後のSFP内の調査結果をふまえ、寸法等の詳細について検討することとした。

このため、まずは収納缶（小）の設計、製造を進めるとともに、収納缶（小）が収納できる仕様の構内用輸送容器、共用プールの燃料ラック（以下、49体ラックという）についても設計、製造、ラックの設置工事を行った。（実施計画については、49体ラックは2014年、輸送容器は2015年に認可済み）

その後、2015年の3号機SFP内調査の結果、ハンドルが変形した燃料が \blacksquare 体確認され、その内 \blacksquare 体はハンドルの変形が大きく、収納缶（小）に入らないため、収納缶（大）の詳細について検討することとした。

3号機SFP内の燃料ラック上はガレキが堆積しており、全ての燃料のハンドルが確認できず、ガレキ撤去後にハンドル変形がより大きい燃料が見つかる可能性もあったことから、収納缶（大）は、保守的に共用プールに貯蔵する燃料でハンドル高さが最大の燃料のハンドルが水平に倒れた状態でも入るような寸法に設定した。

構内用輸送容器については、収納缶（大）を収納できるバスケットを新たに設計、製造し、バスケット以外の容器本体は既存のものを使用することとした。また、収納缶（大）を収納できる

仕様の共用プール燃料ラック（以下、25体ラックという）についても新たに設計、製造を進めている。（実施計画について、25体ラックは2019年7月、輸送容器バスケットは2019年8月に申請）

○ ラックの収納体数

共用プール内の既存ラックは1基あたり90体である。変形・破損燃料用のラックの設置は既存ラックと入れ替えて設置するため、既存ラックと同程度の外形とするとともに、ラックの格子内に収納缶を収納でき、かつ未臨界を確保できるような設計を検討した結果、ラックの収納体数として、収納缶（小）用は49体、収納缶（大）用は25体となった。

49体ラックは2014年に設置し、4号機から取り出した変形燃料[※]を1体保管している。また25体ラックは2020年度に設置する予定である。

※ 4号機には震災前の取扱い中に変形させた燃料があり、その変形により既設ラックには保管できなかったため、4号機の燃料取り出しの間に49体ラックを設置し、保管した。

3号機SFP内ではハンドル変形の小さい燃料が \blacksquare 体、ハンドル変形が大きい燃料が \blacksquare 体確認されている。燃料ラック上に堆積したガレキによりハンドルが未確認の燃料があるため、確認／未確認の比率（ \blacksquare /566）から、変形が小さい燃料は \blacksquare 体、変形が大きい燃料は \blacksquare 体あると想定している。

現状の想定では、3号機のハンドル変形燃料を変形の程度に応じて49体ラック、25体ラックのそれぞれに保管できると考えている。

今後、1、2号機についても変形・破損等がある燃料を取り出す必要がある。1号機は震災前から保管している破損燃料の他、3号機と同様にSFP内にガレキが落下しているため、ハンドルが変形している燃料がある可能性がある。1号機はSFP内の調査がまだできていないため、3号機と同様の比率でハンドル変形燃料があると想定する。

2号機は震災前から保管している破損燃料が \blacksquare 体あり、収納缶（小）に収納することを検討している。なお、2号機は建屋が爆発しておらず、SFP内へのガレキ落下はないため、ハンドル変形燃料はないと推定している。

表 49 体ラック, 25 体ラックにて保管する燃料の体数 (暫定)

号機	49 体ラック	25 体ラック	備 考
4 号機	1	0	震災前破損燃料(保管済み)
3 号機			震災前破損燃料(2 体を 49 体ラックに収納)と過去の調査実績からの比例計算
2 号機			震災前破損燃料
1 号機			震災前破損燃料と変形燃料は 3 号機からの比例計算
合計			

上表は暫定値であり、今後の S F P 内のハンドル変形燃料の体数にもよるが、1, 2 号機の変形・破損等がある燃料の取り出しには、49 体ラック 1~2 基を追加する必要があると考えている。今後、1, 2 号機の燃料取り出しに支障のないよう、共用プール内の空き容量を確保し、ラック取替えの準備を進めていく。

2019 年 12 月 2 日現在、ガレキ撤去によりハンドルが確認できた燃料は 377 体/566 体であり、カメラ画像から、ハンドル変形が大きい燃料が 〇 体、ハンドル変形の小さい燃料が 〇 体確認されており、上表の範囲内に収まると考えている。

以上

【参考】震災前から保管されている破損燃料

○ 1号機使用済燃料プール内の特別な取り扱いが必要な燃料

燃料型式	体数	破損原因	破損状態
7×7		被覆管内部の水分により被覆管が水素脆化し、運転時に破損	外観点検した燃料の一部は被覆管にひび割れあり
8×8		漏えい燃料棒の検査中に燃料棒が落下、折損	燃料棒 1 本は折損した状態

* その他、1号機には計 体数の非健全燃料（燃料体落下により下部タイププレートが損傷した燃料 体、キャスク格子との接触によりスペーサが損傷した燃料 体、燃料棒が曲がっている（検査基準範囲内）燃料 体）が存在するが、過去の SHIPPING 検査により漏えいのないことが確認されており、特別な取り扱いは不要。

○ 2号機使用済燃料プール内の特別な取り扱いが必要な燃料

燃料型式	体数	破損原因	破損状態
7×7		燃料体落下	タイロッドの下部ネジ込み部で全てのタイロッドが折損。上部タイププレートおよびタイロッドとそれ以外とで分離。

* その他、2号機には計 体数の非健全燃料（漏えい燃料 体、下部タイププレート側面のフィンガスプリングが損傷した燃料 体）が存在するが、前者は通常の燃料と同様に過去にプール内で燃料取扱機にて取り扱っていること、後者は過去の SHIPPING 検査により漏えいのないことが確認されていることから、特別な取り扱いは不要。

○ 3号機使用済燃料プール内の特別な取り扱いが必要な燃料

燃料型式	体数	破損原因	破損状態
8×8	1	照射燃料検査の CB 取外し時に発生	スペーサ部損傷，被覆管は健全*
	1	同上	スペーサ部ずれ，被覆管は健全*
	1	同上	スペーサ部損傷，チャンネルボックスの装着なし
9×9	1	偶発的に発生	SHIPPING 検査により漏えい確認済

* 特別な取り扱いは不要

【コメント2】 収納缶のたわみ量について、設定根拠を説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備<添付資料-9-2 別添-1>

収納缶のたわみ量は、下記の2ケースの大きい方として、ケース2のたわみ量を使用している。

ケース1：ラック解析モデルの固有周期に基づく地震力（震度）が収納缶に作用した場合のたわみ量

ケース2：ラックとは別に、収納缶単体の固有周期に基づく地震力（震度）が収納缶に作用した場合のたわみ量

	固有周期(s)	適用震度	最大たわみ量(mm)
ケース1		0.70	
ケース2		0.89	

(ケース2, 計算例)

ラック内の収納缶の貯蔵状態を、両端ピン支持の等分布荷重の梁として置き換える。

等分布荷重 $\omega = \text{■} \times 0.89 / \text{■} \approx \text{■} \text{ kg/mm}$

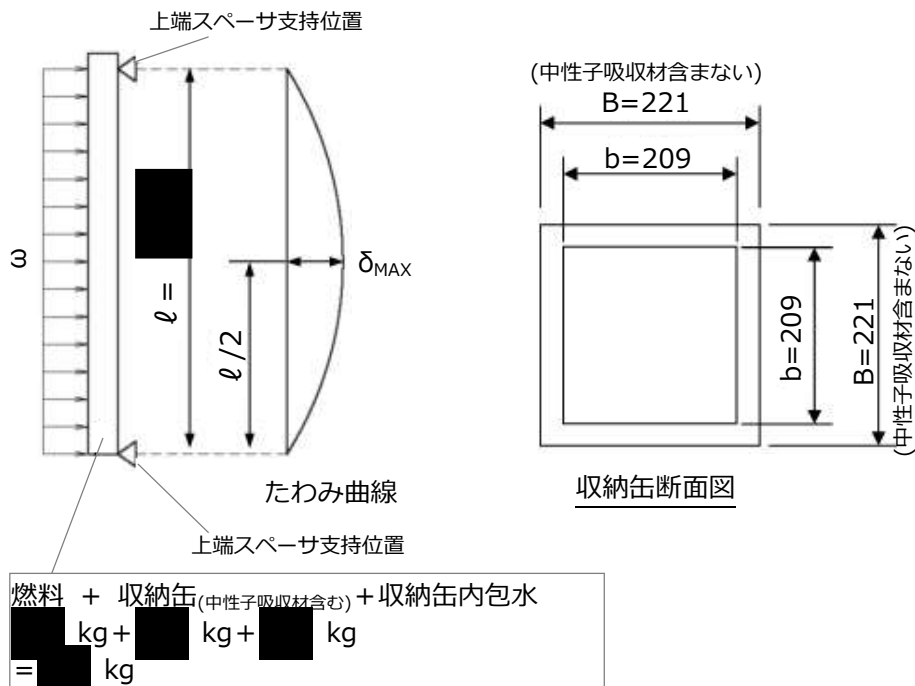
最大たわみ $\delta_{MAX} = 5 * \omega * g * \ell^4 / (384 * E * I)$

ここで、

縦弾性係数 $E = 1.92 \times 10^5 \text{ N/mm}$

断面二次モーメント $I = (B * H^3 - b * h^3) / 12 = \text{■} \text{ mm}^4$

最大たわみ量 $\delta_{MAX} = \text{■}$



【コメント 3】 49 体ラックと 25 体ラックの臨界評価で製造公差の取り方が異なる理由を説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備<添付資料-9-2 別添-1>

49 体ラックと 25 体ラックのそれぞれの製造公差の取り方はともに、臨界上厳しくなるように設定している。

- ・ 貯蔵ラックに収納する収納缶は、中性子吸収材の設置等の設計が違いため、解析条件が異なっている。
- ・ 貯蔵ラックは、燃料間隔が近くなるように、製造公差を考慮した最小値としている。
- ・ 使用済燃料収納缶（大）については、板厚は製造公差を考慮した最大値とする。（板厚を厚くすると、板の外側にある中性子吸収材が燃料領域の中心から遠ざかるため keff は大きくなるので保守的な条件となる。）また、内寸は製造公差を考慮した最大値とする。（2 次元モデルなので燃料物質が増加し、keff が大きくなるため保守的な条件となる。）たわみ量は、製造公差を考慮した最大値とする。（燃料間隔が近くなるため keff は大きくなるので保守的な条件となる。）
- ・ 使用済燃料収納缶（小）については、板厚は製造公差を考慮した最小値とする。（板厚を薄くすると、収納缶外からの中性子が増えるため keff は大きくなるので保守的な条件となる。）また、内寸は製造公差を考慮した最大値とする。（2 次元モデルなので燃料物質が増加し、keff が大きくなるため保守的な条件となる。）たわみ量は、製造公差を考慮した最大値とする。（燃料間隔が近くなるため keff は大きくなるので保守的な条件となる。）

【解析条件】

表 1 貯蔵ラックの解析条件

項目	25 体ラック	49 体ラック
板厚	公称値	製造公差を考慮した最小値
貯蔵ピッチ	製造公差を考慮した最小値	同左
内のり	製造公差を考慮した最小値	板厚と貯蔵ピッチの製造公差を優先して設定した値

表 2 収納缶の解析条件

項目	収納缶（大）	収納缶（小）
板厚	製造公差を考慮した最大値	製造公差を考慮した最小値
内寸	製造公差を考慮した最大値	同左
たわみ量	最大値	同左

【コメント4】ラックの板厚, 貯蔵ピッチ, 内のりのうち, 解析使用値に製造公差を考慮する組合せとその理由を記載すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備<添付資料-9-2 別添-1>

「貯蔵ピッチ=内のり+板厚」の関係があり, パラメータのうち2つを決めると3つ目がおのずと決まる関係にある。ここで, 「貯蔵ピッチと内のりの製造公差」と「板厚の製造公差」では1桁異なることから, 「貯蔵ピッチと内のりの製造公差」を優先して解析使用値に決定した。この結果として, 板厚の解析使用値は公称値としている。

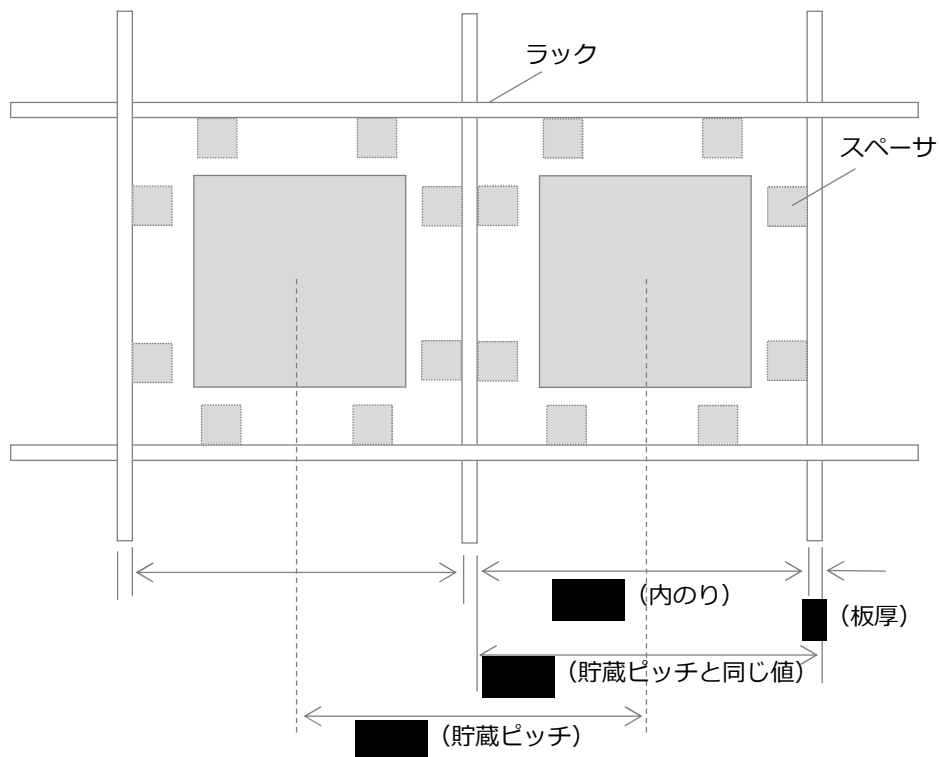


図 ラックの板厚, 貯蔵ピッチ, 内のりの関係

(ラックの板厚, 貯蔵ピッチ, 内のりの関係 例)

単位：mm

組合せ(例)	ラックの板厚	内のり	貯蔵ピッチ
例①：板厚:公称値			
例②：板厚:最小値			
例③：板厚:最大値			

(公差の感度解析)

目的： 解析条件であるラック貯蔵ピッチ、ラック内のり、ラック板厚の 3 点のうち 2 点が決まると、残りの 1 点が決まる。先述の 3 点のパラメータのうちどのパラメータが臨界性に影響するのか、優先度をつけるため傾向分析を実施した。計算モデルは、公称値・偏心なしモデルをベースとして、±公差の感度を確認した。

A) ラック貯蔵ピッチの感度解析

貯蔵ピッチは小さい方が keff 大きくなる。したがってピッチは小さい方の値 [REDACTED] を使用する。

B) ラック内のりの感度解析

内のりは小さい方が keff 大きくなる。したがって内のりは小さい方の値 [REDACTED] を使用する。

C) ラック板厚の感度

[REDACTED] 程度ではほとんど差はない。(統計誤差 0.05%と同程度)
貯蔵ピッチ、内のりの感度の方が大きいいため、板厚は公称値としてピッチ／内のりの公差で安全側に設定する。



図 A) ラック貯蔵ピッチの感度解析

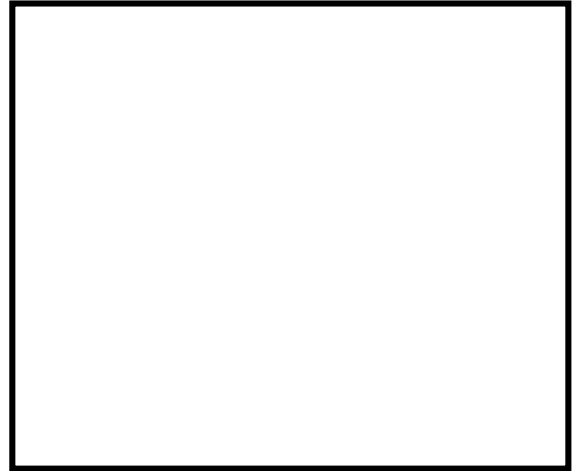


図 B) ラック内のりの感度解析



図 C) ラック板厚の感度

【コメント 5】使用済燃料収納缶（大）に中性子吸収材が必要な理由は何か。収納缶(小)と49体ラックには必要なかったのに、なぜ、必要となったのか。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-2 別添-6〉

当初、収納缶（大）を貯蔵するラック容量を3号機 〇体、1号機で 〇体の計 〇体以上必要と想定し、25体ラックを検討した。

ラック及び収納缶が中性子吸収能力を持たないように設計するためには、未臨界確保として燃料ピッチを大きくとる必要がある。90体ラックの取替えを考えた場合、中性子吸収材なしでは25体(5×5)ラックは成立しなかった。このため、中性子吸収能力を収納缶に持たせることにより、25体ラックが成立することとなった。

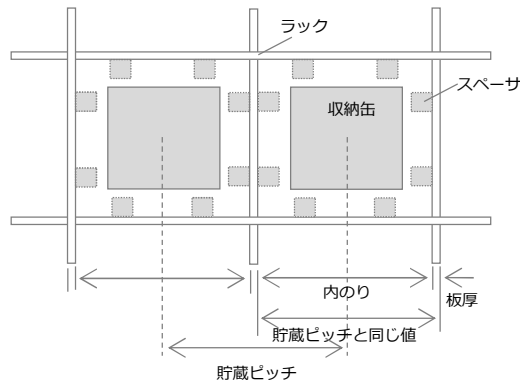
【参考：収納缶貯蔵ピッチの概念検討】

1. 90体ラックの寸法からの概略評価

既設の90体ラックから、5×5ラック等に変更した場合の貯蔵ピッチを算出。

90体ラック寸法	⇒	5×5ピッチ*	4×4ピッチ*	4×3ピッチ*

*：90体ラック寸法から各ラックの設置可能ピッチを算出



2. 収納缶（大）を共用プールに貯蔵した場合の必要最小貯蔵ピッチの概略評価
(評価条件)

- ・ 燃料状態；破損状態を考慮し、二酸化ウランと水が混合した状態
- ・ 燃料の濃縮度；5.0wt%，核分裂生成物及びアクチニドは考慮しない
- ・ プール水温；100℃
- ・ ラック；SUS格子型と [redacted] 格子型の2ケース
- ・ ラック内の燃料配置；偏心を考慮しない
- ・ 収納缶，ラックの解析条件を下表に示す。

項目		解析設定値(注1)
収納缶（大）	板厚(mm)	
	内幅(mm)	
ラック	板厚(mm)	
	貯蔵ピッチ(mm)	

(注1)これまでの実績から暫定的に製造公差を考慮

(注2)概略評価のために暫定的に設定

(評価結果)

貯蔵ピッチに対する実効増倍率の変化を図1, 2に、必要最小貯蔵ピッチを表1に示す。SUSラックは [redacted] mmで上表の5×5ピッチに収まらないが、 [redacted] ラックは [redacted] mmまで縮小できる見込みである。また、 [redacted] ラックは二重板構造等で収納缶とラック板の間隔を縮めることで、貯蔵ピッチを縮小できることが可能である。これにより収納缶(大)の貯蔵ピッチは [redacted] mmから [redacted] mm以下に縮小できる見込みである。

表 1 共用プール貯蔵時の必要貯蔵ピッチ

項目	収納缶(大)
SUS 格子型ラック	
格子型ラック	

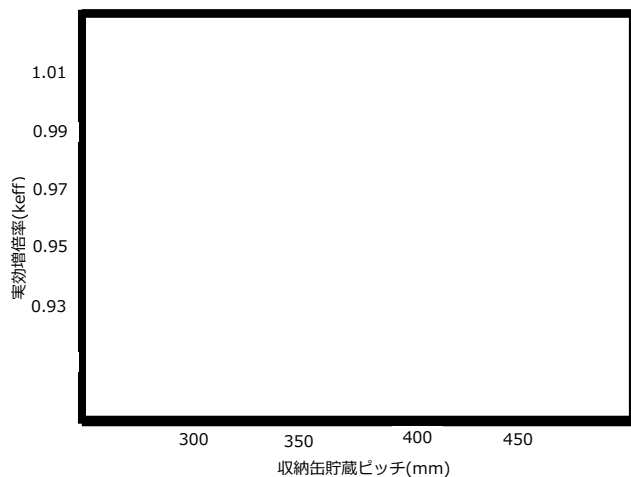


図 1 収納缶貯蔵ピッチに対する実効増倍率の変化 (SUS ラック)

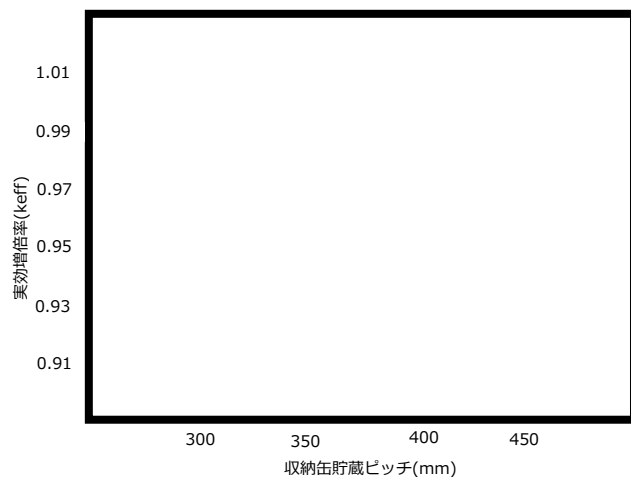


図 2 収納缶貯蔵ピッチに対する実効増倍率の変化 (ラック)

3. まとめ

既存 90 体ラックを破損燃料用の収納缶 (大) を貯蔵するラックに置き換える場合、中性子吸収能力を持たないステンレス製ラックでは 25 体ラックは成立しないが、中性子吸収能力を持たせることにより、25 体ラックの成立の可能性はある。

以上

【コメント6】25体ラックとして評価した結果と、周囲を実態に合わせて49体や90体で評価したときとどちらが厳しい評価か説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料－9-2 別添－1〉

25体ラックに収納する収納缶（大）には、収納缶の周りに中性子吸収材を設置していることから、外部からの中性子の影響はほとんどない。

また、25体ラックは下図に示すとおり、プール北側の端に設置されていることから、実際には北側からの中性子の影響はないが、解析上はラックが無限に並んだ状態、高さ方向無限、ラック周囲での境界条件を完全反射としていることから、本解析モデルは実際のラック配置よりも保守的な条件で解析を行っている。

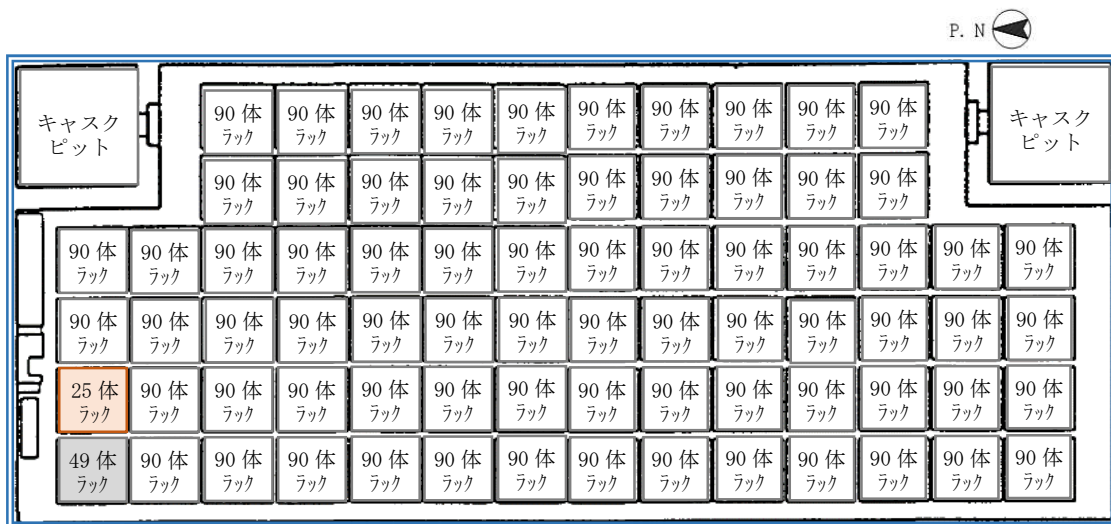


図1 使用済燃料共用プール ラック配置

【コメント7】ラック取替に伴う廃棄物量とその保管場所を説明すること。また、ラック取替で発生する廃棄物の撤去方法およびラックの移動ルートを説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-2〉

2015年の49体ラック取替時に発生した廃棄物量は、90体ラック1基分で、取り外したラックは減容し6m³コンテナ3基合計18m³を一時保管エリア*¹に保管した。

25体ラック取替時に発生する廃棄物量は、前回の取替実績と同様に、90体ラック1基分で18m³と想定しており、線量測定結果に応じて適切な廃棄物一時保管エリアに保管する予定である。

*1：表面線量率が、0.1mSv/h又は1.0mSv/h以下であったため、受入線量率に応じた一時保管エリアに保管

また、今後実施予定の25体ラックの取替作業については、現在検討中である。

ラック取替で発生する廃棄物の撤去方法については、3号機燃料取出作業と並行して減容するため、干渉しないキャスク除染ピット内にラックを搬入し、汚染拡大防止用ハウスを設置したうえでバンドソー（図1参照）または溶断での減容を計画している。取替ラックをキャスクピットにて散水除染し、減容作業はハウス内で行い局所排風機を設置して汚染拡大防止を図ることにより、被ばく低減を考慮する。

ラックの取替作業については、落下防止対策を施した専用の吊り具にてラックの吊り上げ・吊り降ろしを行い移動させる予定である。ラックの移動ルートを図2に示す。



図1 バンドソー

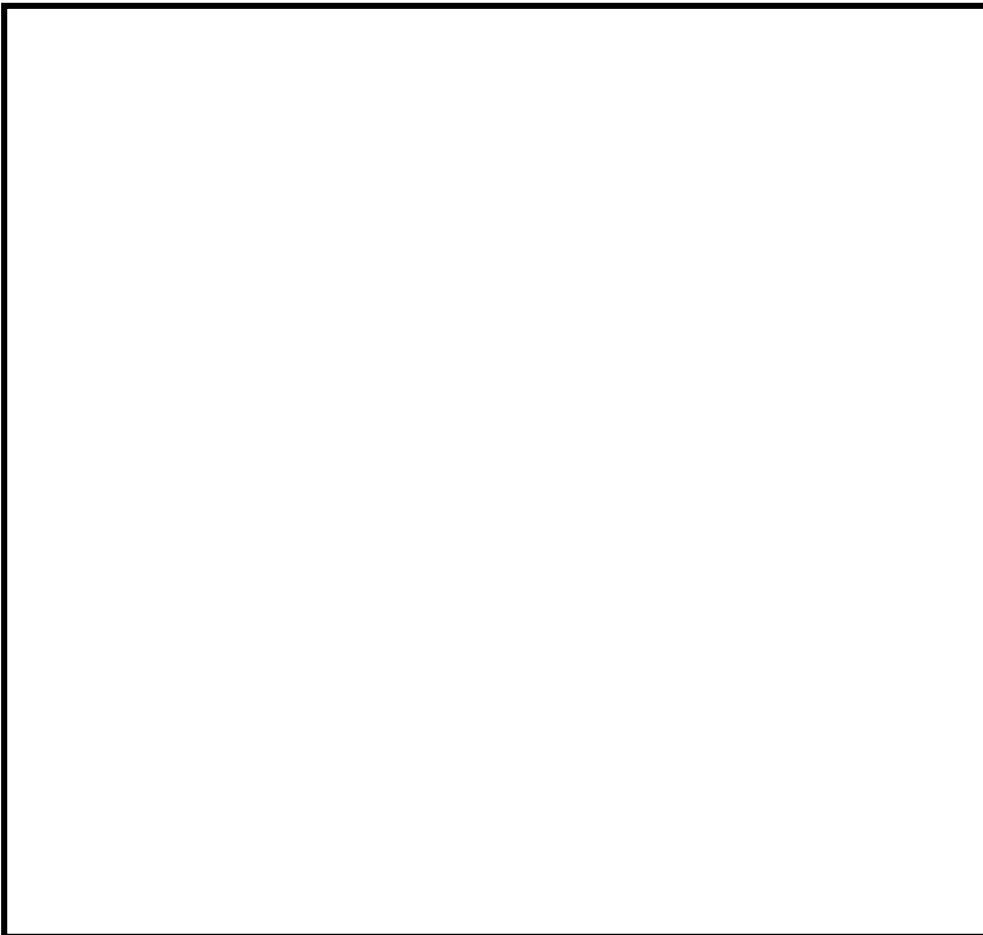


図2 ラック取替工事の移動ルート

【コメント 8】 収納缶移動時の落下影響について説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-1 及び 9-2〉

■ 収納缶移動時の落下の可能性

- 共用プールにおける収納缶の移動ルートを図 1 に示す。

(キャスクピット A からの移動ルート)

- 収納缶を移動中、仮に吊り具が外れて各ラック間に収納缶が落下した場合に、プールライニングに衝突することが想定される。
- 共用プールの最大ラック間隔は、 mm となる (図 1 参照)。
- 収納缶 (大) は底面の 1 辺が 221mm の直方体及び収納缶 (小) は 1 辺が 163mm の直方体であるため、プール底面のライニングに直接落下しない。

(キャスクピット B からの移動ルート)

- 共用プールの最大ラック間隔は、 mm となり (図 1 参照)、キャスクピット A と同様に、仮に吊り具が外れて各ラック間に収納缶が落下した場合でもプール底面のライニングに直接落下することはない。

■ 収納缶移動時の落下影響

- 現在の収納缶移動ルート上では、直接プールライニングに落下する箇所はないため、収納缶落下によるプールライニングへの影響はないと考えている。

■ 収納缶移動時の管理について

- ラック間隔が収納缶より広い場合、収納缶がプールライニングに直接落下する可能性があるため、収納缶移動ルートはラック間隔を確認してから移動作業を行う。
- また、本事項については、収納缶移動に係る手順書に反映することとしている。

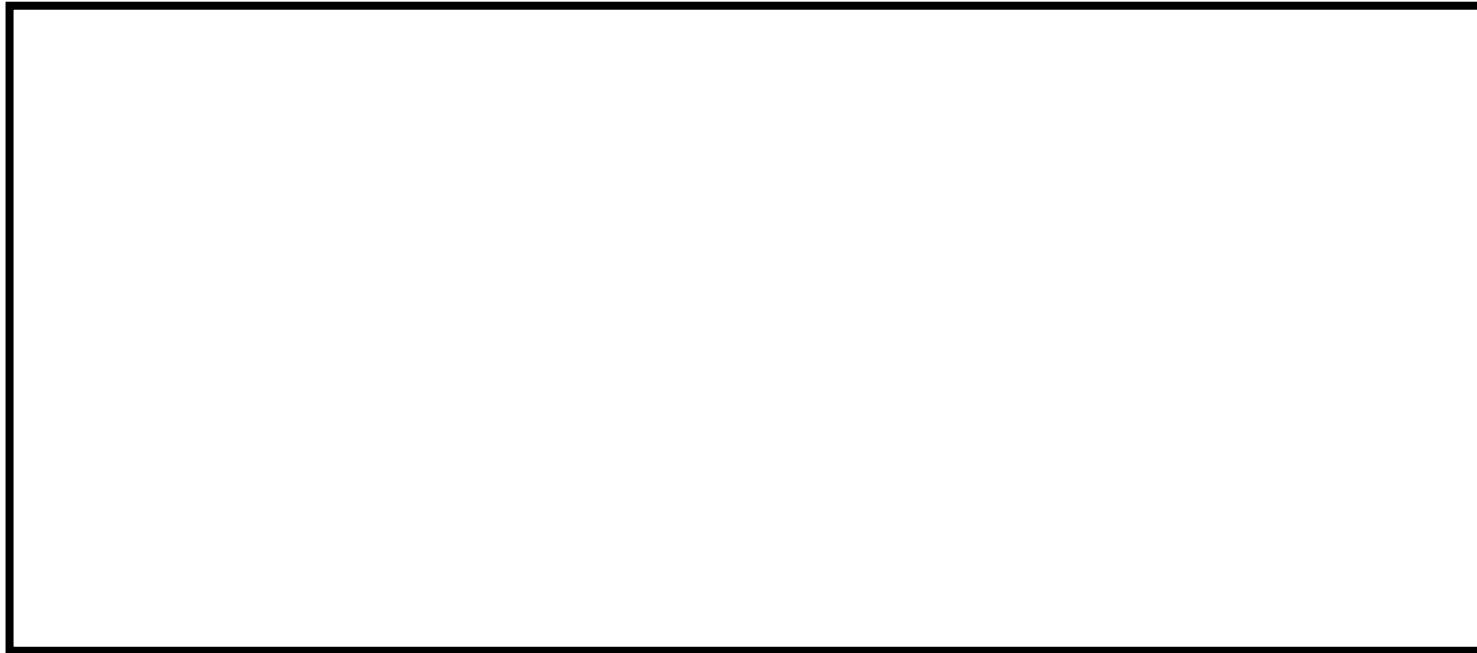
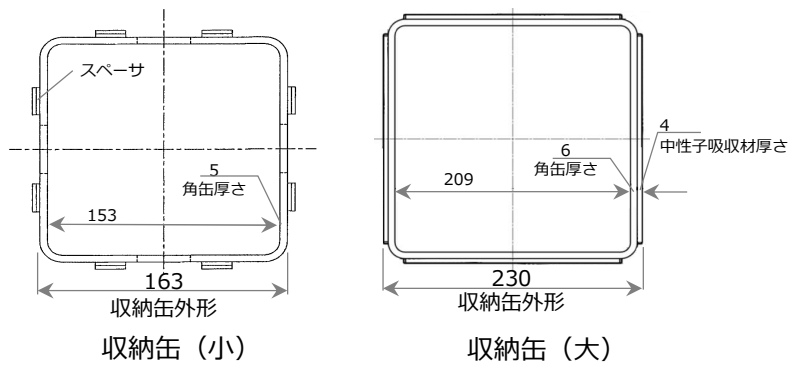


図1 収納缶移動ルート



(補足説明)

■ 最大ラック間幅の設定

- 下図の左側は、共用プールの燃料ラック設置図であり、図面上ではラック間隔が [REDACTED] mm となっているが、これは下図の右側の下部ラックのベース長 ([REDACTED] mm) から算出したものである。
- ラック上部の補強板([REDACTED] mm)から算出すると、 [REDACTED] mm となる。



図 3 共用プールの燃料ラック間隔

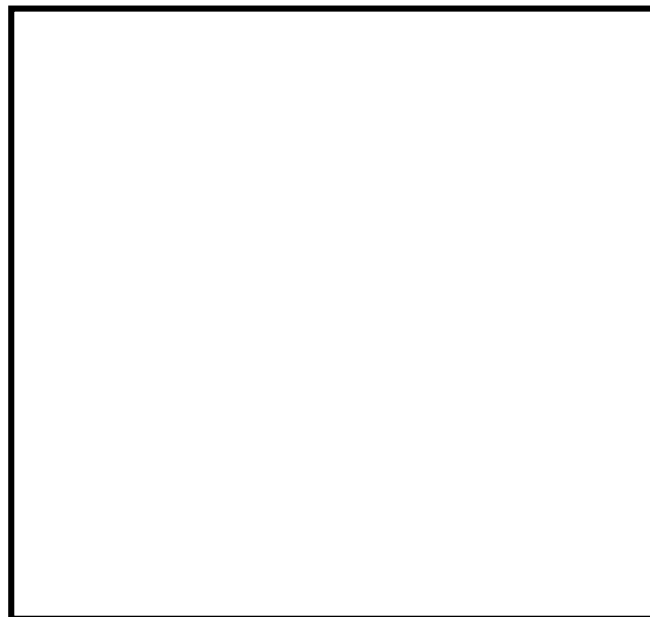


図 4 90体ラック構造

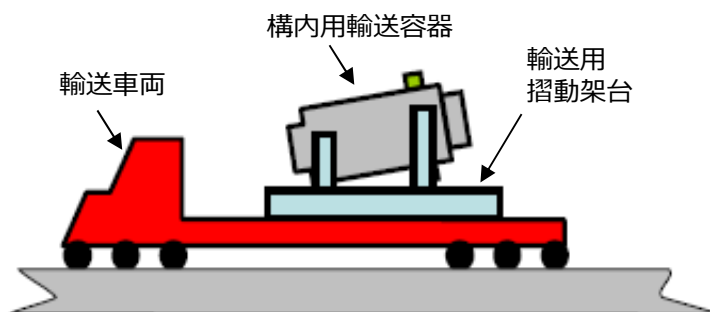
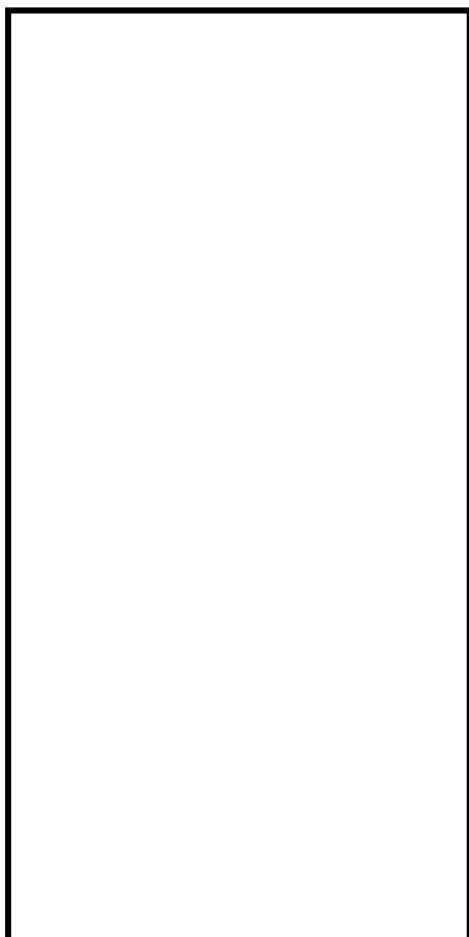
【コメント9】 収納缶の放射性物質の拡散抑制とは何か。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備<本文 2.12.1.5(1)b.項>

収納缶は燃料集合体を収納する缶体であり、蓋はなく、また、缶体にはフィルタや貫通孔を設けていない。

収納缶は水および気体に対する密封機能や耐圧性能は有していないが、缶体に貫通孔が無いことから、輸送中に構内用輸送容器内の収納缶外に燃料物質が拡散することを抑制している。

また、共用プールでは、構内用輸送容器を立てた状態から収納缶を取り出し、その状態にて貯蔵ラックに装荷するため燃料物質の拡散を抑制している。



輸送車両積載時の概念図

使用済燃料収納缶(大) 概念

【コメント10】49体ラックまたは25体ラックに健全燃料を単体で貯蔵した場合の未臨界性を説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-1 別添-1 及び添付資料-9-2 別添-1〉

○49体ラック

これまでの評価実績から貯蔵ピッチや燃料条件が実効増倍率に影響し、貯蔵ピッチよりも燃料条件のほうが支配的であることがわかっている。49体ラックで、燃料条件を健全と保守的に形状維持されていないとした場合の臨界評価結果は以下の通り。

評価ケース	燃料条件		評価結果 (実効増倍率)
①燃料棒の形状が維持されているが、取扱いを考慮して使用済燃料収納缶(小)を用いる場合	収納缶に収納されていない燃料(1体)	ラック格子内で燃料棒間隔を最適間隔に広げた評価	0.84
	収納缶に収納された燃料(48体)	使用済燃料収納缶(小)内で燃料棒が最適な状態に広がった配列	
②燃料棒の形状が維持されていないと仮定した場合	収納缶に収納されていない燃料(1体)	ラック格子内で燃料棒間隔を最適間隔に広げた評価	0.93
	収納缶に収納された燃料(48体)	燃料被覆管が破損しペレットが使用済燃料収納缶(小)内に放出されたことを仮定し、使用済燃料収納缶(小)内にペレットと水が非均質に混ざった状態。 また、水/ウラン比、ペレット粒径が最適な状態。	

したがって、49体ラックに健全燃料を収納缶なしで貯蔵した場合の実効増倍率は、ケース①で貯蔵ピッチを短くした条件での評価に相当するが、ケース②の形状が維持されていない場合の評価結果0.93よりも小さくなり、未臨界は維持される。

○25体ラック

形状維持されていない条件での、49体ラックと25体ラックの臨界評価結果は以下の通り。

ラック種類	燃料条件		貯蔵ピッチ (解析使用値)	評価結果 (実効増倍率)
49体ラック	収納缶に収納されて いない燃料(1体)	ラック格子内で燃料棒間隔を最適 間隔に広げた評価	-	0.93
	収納缶に収納された 燃料(48体)	燃料被覆管が破損しペレットが使用済燃料収納缶(小)内に放出されたことを仮定し、使用済燃料収納缶(小)内にペレットと水が非均質に混ざった状態。 また、水/ウラン比、ペレット粒径が最適な状態。	■	
25体ラック	収納缶に収納された 燃料(25体)	燃料被覆管が破損しペレットが使用済燃料収納缶(大)内に放出されたことを仮定し、使用済燃料収納缶(大)内にペレットと水が非均質に混ざった状態。 また、水/ウラン比、ペレット粒径が最適な状態。	■	0.91

25体ラックに健全燃料を収納缶なしで貯蔵した場合は、貯蔵ピッチ■mmのラックに健全燃料を貯蔵することに相当する。貯蔵ピッチが■mmで実効増倍率が大きくなる条件の49体ラックのケース①でも評価結果は0.84である。

25体ラックすべてに健全燃料を貯蔵した場合の実効増倍率は0.84未満となる。そのため、25体ラックに1本の健全燃料を収納缶なしで貯蔵した場合は、0.91より小さくなり未臨界は維持される。

【参考】

「①燃料棒の形状が維持されている場合」と「②燃料棒の形状が維持されていない場合」の評価を比較し、②の評価が保守的であることを説明すること。

「①燃料棒の形状が維持されている場合」は、新燃料を仮定し（平均濃縮度 3.9wt%）、かつ中性子吸収体であるG dを無視した評価である。BWRの燃料は、図1に示すように燃焼初期の反応度を抑えるため中性子を吸収するG dを添加している（図中の斜線）。一般に使用済燃料貯蔵ラックで用いる燃料の条件（共用プールの既設の90体ラックでも同様）は、図1中のUpper Limit と記載されている無限増倍率 1.3 の条件であり、この条件は新燃料および1サイクル照射程度の燃料（燃焼度～10Gwd/t程度）はG dの効果を考えて保守的、また2サイクル照射以降の燃料（燃焼度10Gwd/t程度以降）は燃焼が進むにつれ臨界になりにくくなる（無限増倍率が小さくなる）ため保守的と言える条件である。今回の「①燃料棒の形状が維持されている場合」は新燃料仮定かつG d無しであるため、図1に示す斜線のG dによる反応度の抑制を無視した燃料条件であり、共用プールの既設の90体ラック等の無限増倍率 1.3 の条件よりさらに保守的と想定される。

また「②燃料棒の形状が維持されていない場合」では、用いている濃縮度がペレット最高濃縮度（4.9wt%）であり、「①燃料棒の形状が維持されている場合」の平均濃縮度より高い。図2に示すように、一般に臨界評価において燃料の濃縮度が高いほど臨界になりやすい傾向であるため、「②燃料棒の形状が維持されていない場合」の評価は「①燃料棒の形状が維持されている場合」よりさらに保守的であると言える。

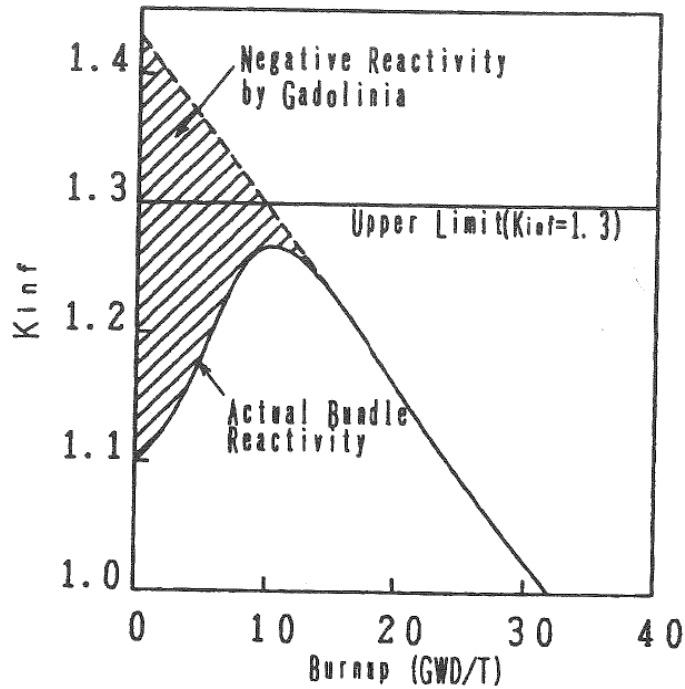


図1 「出典：日本原子力学会標準 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準：2006 付属書34図1 BWR燃料の反応度特性」

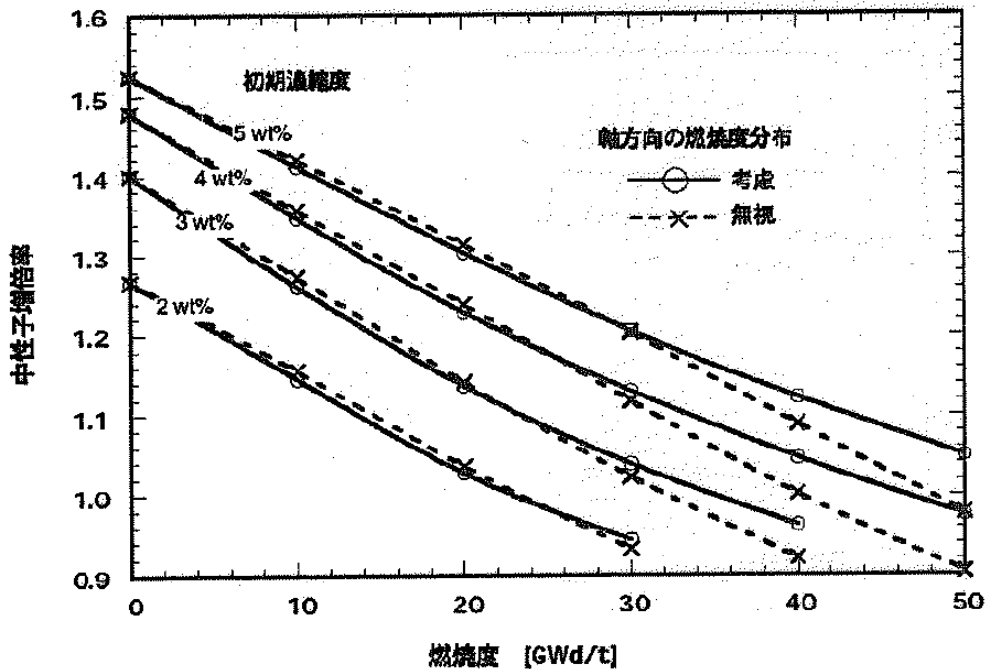


図2 「出典：臨界安全ハンドブック第2版 図3.19 燃焼に伴うPWR燃料集合体無限配列の中性子増倍率の変化」

【コメント 11】 破損燃料を共用プールに貯蔵するが、共用プールの水質への影響を説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-2 別添-6〉

共用プールに、3号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料の受け入れを計画している。その中には、震災前から使用済燃料プールに貯蔵されている変形燃料や漏えい燃料、震災時に破損した可能性のある燃料が含まれている。

破損燃料の貯蔵にあたっては、破損形態に応じて、使用済燃料収納缶に収納することにより放射性物質の拡散を抑制することとしている。

破損燃料から溶出・放出する可能性のある放射性物質としては、セシウム (Cs-134, Cs-137), コバルト (Co-60), 希ガス (Kr-85, I-129) が想定され、気体状の物質による被ばくとプール水質への影響が考えられる。なお、想定核種は半減期を考慮して選定した。

気体状の物質による周辺公衆への影響評価については、「3号機がれき落下時の影響評価」(実施計画Ⅱ-2-11 添付資料-3-2-1), 「1.8. 構内用輸送容器の落下」(Ⅱ-2-11-添付資料-2-1-2) の評価結果より、周辺公衆に対し、著しい被ばくのリスクは小さいものとする。

また、共用プールでの作業員の被ばく影響については、気相に移行する希ガスが共用プール内での輸送容器の蓋開け作業時に放出される可能性があるが、作業はマスクを着用し、放射線監視を行いながら実施し、作業員の被ばく影響を極力低減するように管理している。

一方、プール水質への影響については、輸送容器内部水により液相に存在するセシウムとコバルトが持ち込まれ、一時的に放射能濃度が上昇するがプール冷却浄化系(ろ過脱塩装置を含む)により、放射能濃度は徐々に低減される。また、共用プールの水質監視は、定常時は1ヶ月に1度のサンプリング(PH, 導電率, 塩化物イオン, プール水放射能濃度)で測定しているが、3号機燃料取出期間中は、頻度を上げて輸送の都度サンプリングして測定を行っている。また、放射線の監視は、エリア放射線モニタ等にて常時監視を行っている。

その他の燃料取出に伴う不純物として、塩素とガレキの影響により、塩素濃度とPHが上昇することが考えられる。仮に塩素濃度、PHが上昇した場合にはろ過脱塩装置のイオン交換樹脂を交換することにより低減可能である。

【コメント 12】使用済燃料収納缶（大）の中性子吸収材について説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-2 別添-6〉

○ 収納缶の構造評価について

使用済燃料収納缶（大）はステンレス鋼製の角缶構造であり、未臨界確保のため側面に中性子吸収材としてボロン添加アルミニウム合金板（B-Al）を設置している。構造概念を図 1 に示す。

収納缶本体は、ラック貯蔵等において、燃料集合体を所定の位置に保持するための構造物であり、ステンレス鋼製の胴、底板から構成され、胴と底板は溶接されている。収納缶では胴と底板を構造部材としている。

また、中性子吸収材は、中性子吸収材カバー、中性子吸収材カバー固定ねじにより位置を保持する形で収納缶側面に配置している。

したがって、中性子吸収材は構造部材ではないことから、収納缶の構造強度は収納缶本体の胴と底板を対象部位として評価を行う。なお、中性子吸収材の位置保持として、中性子吸収材カバー、中性子吸収材カバー固定ねじを対象部位として、参考に評価を行う。

収納缶は JSME 規格で規定されるいずれの機器区分にも該当しないと考えられるが、密封容器のバスケットと同様に「炉心支持構造物」に関する規定に準じた評価を行う。この際、供用状態 Ds における応力評価の結果、塑性変形が生じる場合は、変形量を考慮した臨界防止設計を行うことと金属キャスク構造規格に規定されているが、塑性変形が生じるような応力値ではないため収納缶の変形を考慮せず臨界評価を行う。

○ 中性子吸収材について

中性子吸収材は、3号機構内用輸送容器のバスケットに使用した実績があり、また、海外キャスクに使用した実績のある MAXUS[®]を使用している。

MAXUS[®]は、日本では3号機構内用輸送容器のバスケットに使用した実績があり、海外では米国の貯蔵キャスクや使用済燃料プール用ラックに使用実績がある。使用済燃料プール用ラックでは、エクセロンのラサール、ピーチボトム、クオード・シティに導入^{*1}されている。

MAXUS[®]は、炭化ホウ素を純アルミニウム中に均一に分散させたコアを耐食性^{*3}に優れたアルミニウム合金の皮材で挟んだ構造である。中性子吸収材の構造を図 2 に示す。

使用済燃料貯蔵ラック（25 体）の未臨界評価に使用している使用済燃料収納缶（大）のボロン添加量（¹⁰B 面密度）については、評価条件以上含まれていることを、米国の ASTM 規格 C1671^{*2}に基づく中性子透過試験により確認する。

なお、MAXUS[®]のボロン添加量や使用材料であるアルミニウム合金については使用前検査においてミルシートで確認する。

*1：NRC 審査資料(Palo Verde 1,2,3 号機臨界安全解析ライセンス要求)：

ML15336A084-NET-300047-07 Revision 1, "Material Qualification Report of MAXUS[®] for Spent Fuel Storage.", November 2015

*2：ドライキャスクおよび使用済燃料プールラック向け新規中性子吸収材の開発，軽金属第 66 巻第 3 号(2016)

*3 : 日軽金による腐食試験において, 5年間の腐食加速試験の結果, 腐食, 膨れ, 層形成はなく, 90年相当のプール貯蔵でも問題ないことが確認されている。” 5-Year Accelerated Corrosion Testing of MAXUS® for Spent Fuel Pool and Dry Cask Performance” PATRAM 2019

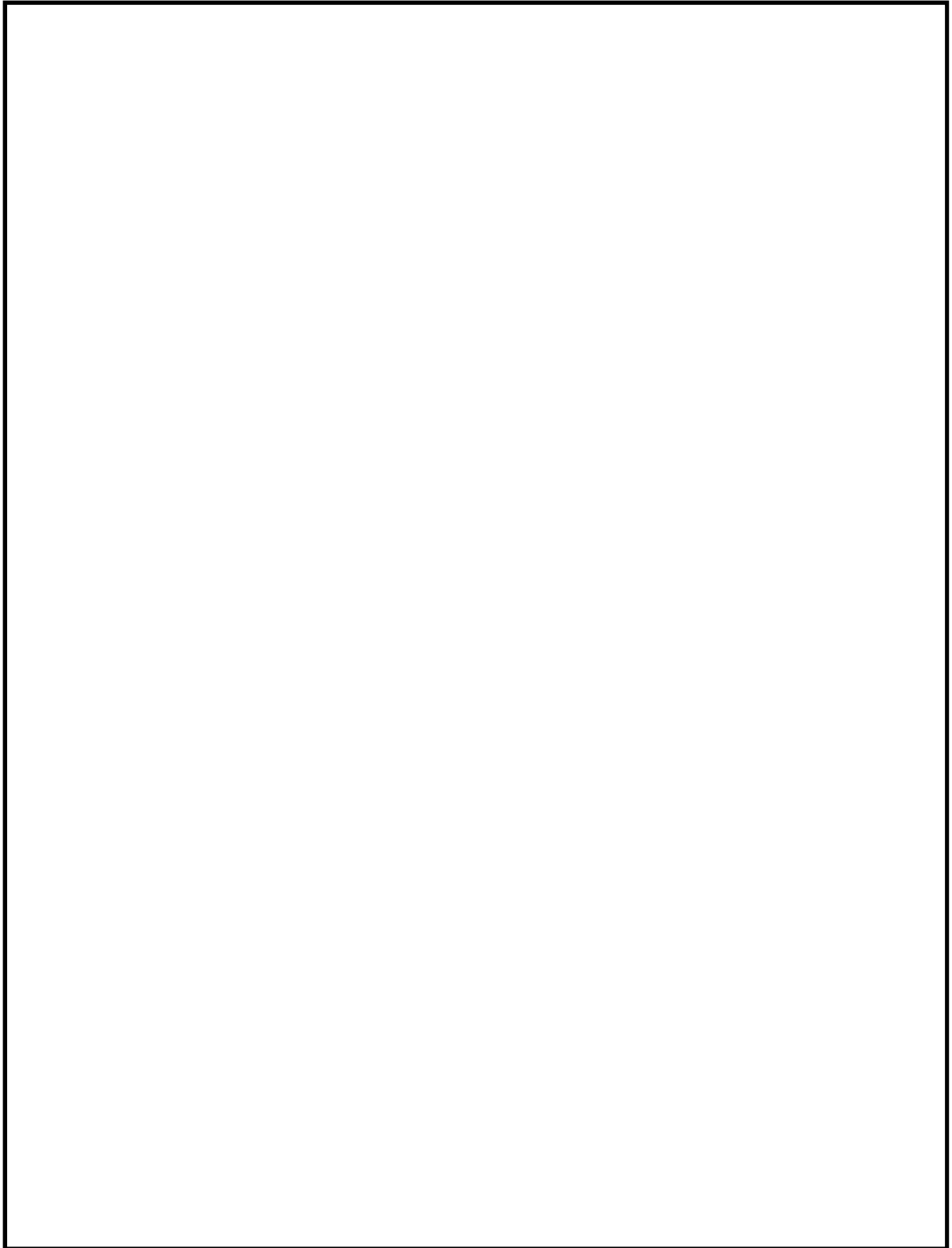


図 1 使用済燃料収納缶（大）構造概念図

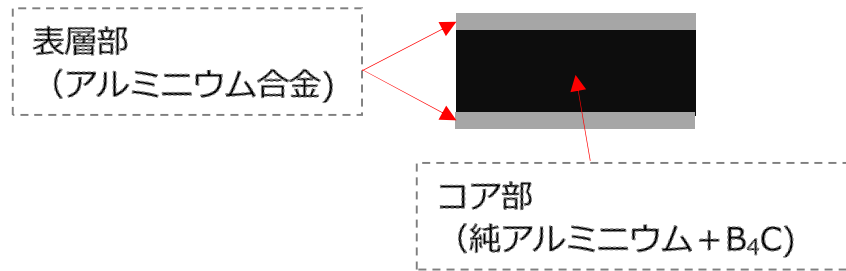


図2 中性子吸収材構造概念図

【コメント 13】 共用プール貯蔵時の収納缶の冷却性を説明すること。

関連記載：2.12 使用済燃料共用プール設備〈添付資料-9-2 別添-6〉

使用済燃料貯蔵ラック（25 体）（以下、ラックという）に貯蔵する変形燃料、および破損燃料は、燃料の取扱いを可能にするため、また破損燃料については放射性物質の拡散を抑制するとともに、燃料の形状が維持されていない場合でも臨界を防止するため、使用済燃料収納缶（大）（以下、収納缶という）に収納した状態で貯蔵する。図 1 に、ラックの構造を示す。プール水温度は底の方が低いため自然対流により、プール水はラック下部ベースの冷却孔より入り、燃料支持板の冷却孔から収納缶外面を上昇し、収納缶を冷却する。

以下に、収納缶内燃料の冷却評価を説明する。

(1) 目的

燃料貯蔵時に収納缶内の燃料が設計基準温度を超えないことを確認する

(2) 評価条件

- ・ 燃料条件を表 1 に示す。冷却期間が短い 4 号機を想定し、最も発熱量の高い 9 × 9 燃料を条件とする。
- ・ 燃料が収納缶内に偏って配置されることを想定する。配置条件を表 2 に示す。
- ・ プール水温度は、共用プールの最高温度の 65℃とする。
- ・ 燃料温度を保守的に高く評価するように収納缶内部の冷却水は、自然対流による伝熱は考慮せず、熱伝導のみで伝熱するものとし、さらに燃料軸方向は断熱とする。

(3) 評価結果

評価結果を表 3 に示す。収納缶内の燃料が設計基準温度を超えないことを確認した。

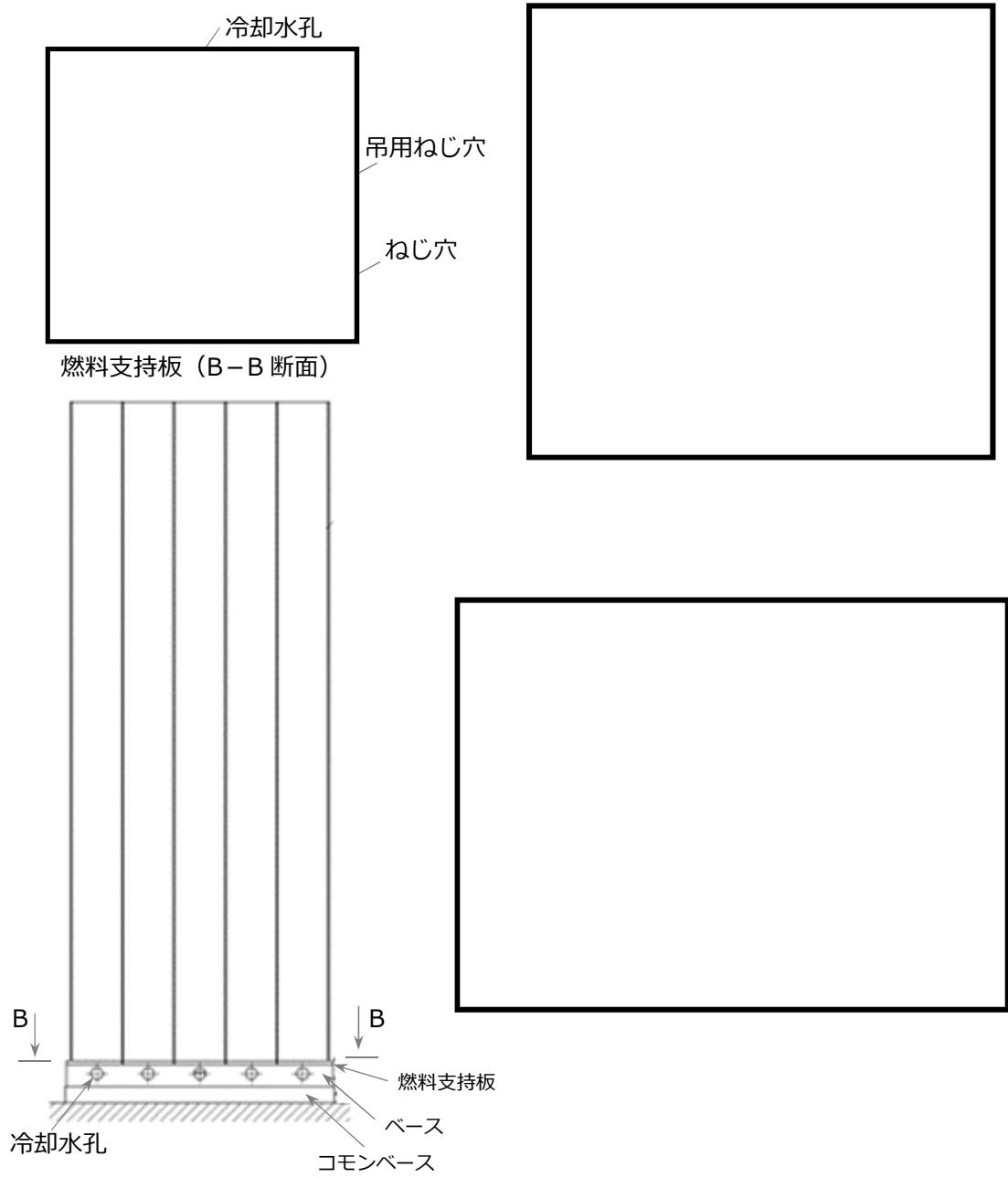


図1 使用済燃料貯蔵ラック (25 体) 構造

表 1 燃料条件

	1 体あたり
燃料タイプ	9×9 燃料
燃焼度(GWd/t)	50.6
冷却期間(日)	1035
発熱量 (W)	1145

表 2 燃料配置




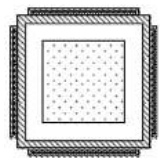
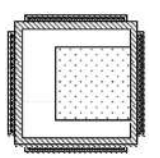
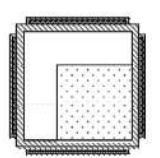
	中央配置	一方位偏り配置	二方位偏り配置
収納缶 :  中性子吸収材 :  燃料 : 			

表 3 評価結果

燃料配置	評価対象	解析結果	設計基準温度[°C]
中央配置	燃料被覆管		200 ^{*1} (300 ^{*2})
一方位偏り配置			
二方位偏り配置			

* 1:ライナ無し燃料被覆管の設計基準温度
 * 2:ライナ有り燃料被覆管の設計基準温度

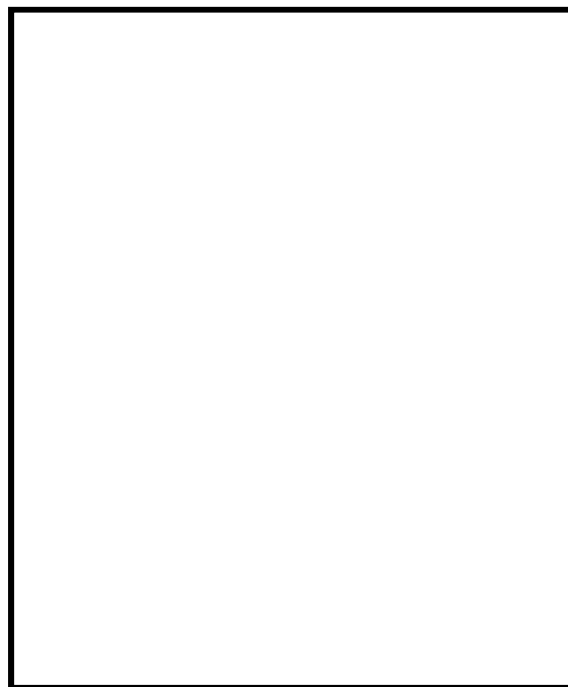
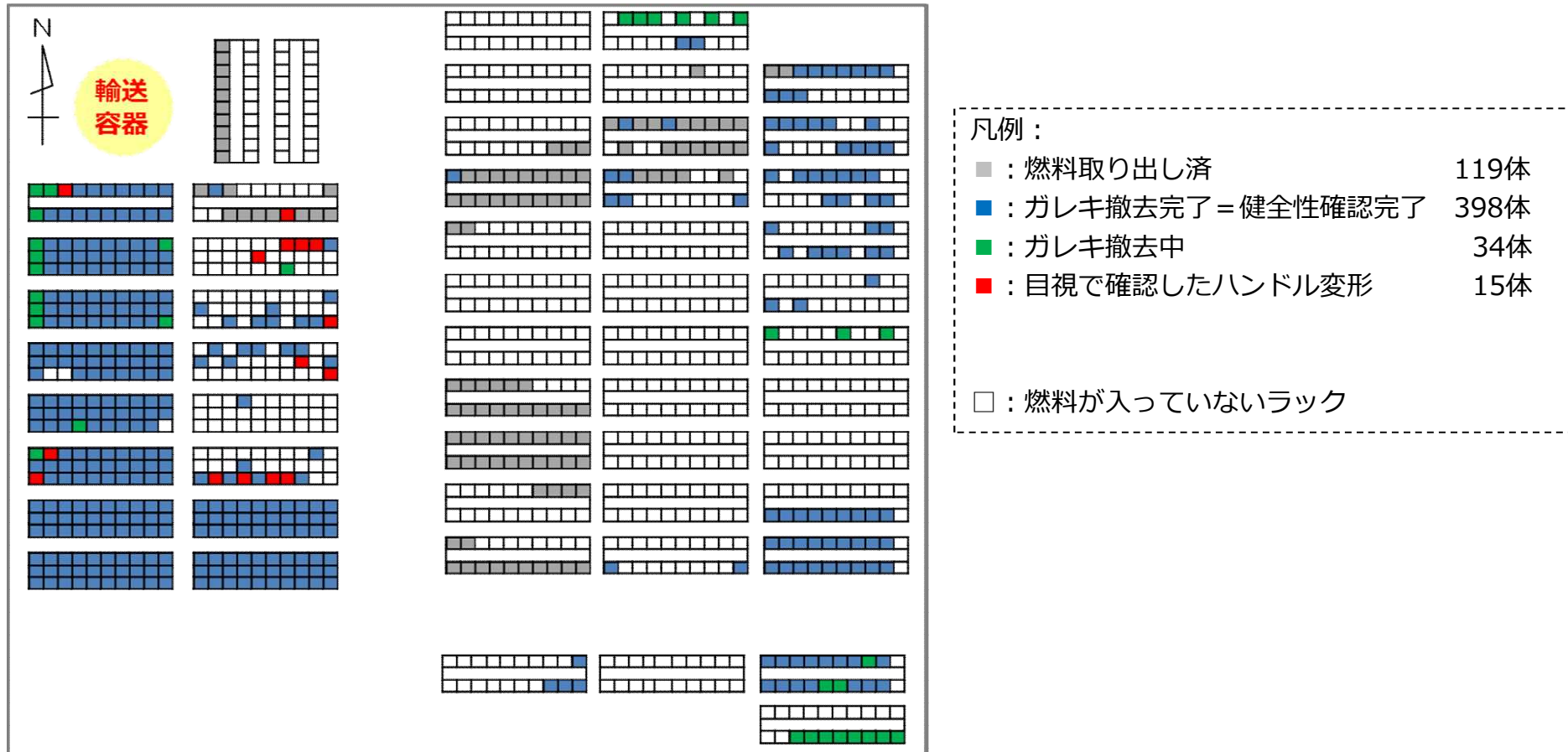


図 2 収納缶内の温度分布 (中央配置)

破損燃料用輸送容器で輸送する3号機の破損燃料（損傷・変形等燃料）

- これまでに実施したガレキ落下衝撃試験では、燃料上部の上部タイプレートや被覆管が大きく変形したが、被覆管の損傷は見られなかった（実施計画2.11添付1-3）。
- 3号機の燃料取り出しでは、ガレキ落下時、吊上げ時、輸送時の3か所で燃料が破損する可能性がある。
 - ① ガレキ落下時：ガレキ落下衝撃試験後の状態よりも、確認されている燃料上部の変形は小さいため、被覆管の大きな損傷はないと考えているが、燃料上部が小さく損傷している可能性がある。
 - ② 吊上げ時：解析や試験を元に、被覆管に影響を与えないよう吊上げ荷重を制限する。（今後実施計画申請）
 - ③ 輸送時：ガレキが燃料に混入しているが、コンクリートやR/Bで通常使用される金属よりも被覆管の方が固いため、影響はない。
- そのため、破損燃料用輸送容器で運ぶ3号機の破損燃料（損傷・変形等燃料）は、SFP内で被覆管からペレットが出ない程度に損傷している状態を想定して遮蔽及び除熱評価を実施する。また、ハンドル変形燃料については別途、吊上荷重や高さを制限した吊上試験を実施し、燃料の状態を確認することとしている。
- なお、臨界評価については、万一臨界になった後の影響緩和は難しいため、発生防止の観点で保守性を確保するため収納する全ての燃料が被覆管から出てきてさらに粉々になった状態を想定する。
- 遮蔽や除熱評価に関して、万一、想定外の事象となった場合においても、線量や温度を測定できることから異常を検知でき、遮蔽の追加等の対策により影響緩和が可能と考えている。これまでの使用済燃料の輸送で異常な値は確認されていない。

- 燃料上部のガレキ撤去ならびに治具による燃料健全性確認を進めている。
 - ハンドル変形の目視確認は全燃料について完了。目視確認が難しい軽微な変形の有無は治具により最終判断するため、ガレキを撤去し、治具での判断後にガレキ撤去完了となる。
 - これまでにハンドル変形を確認した燃料は、15体



3号機燃料取り出しに伴う破損燃料貯蔵ラックの容量 (2020/3/27時点)

■ 破損燃料貯蔵ラック (49体又は25体) の設置により, 3号機の変形燃料は貯蔵可能

- 破損燃料貯蔵ラックに保管する燃料
 - ハンドル変形燃料 15体
 - 漏えい燃料, スペーサ損傷燃料 (CBなし) 2体

- 保管ラックが決定していない燃料 (目視から収納缶 (大) より変形は小さい)
 - 健全性確認治具による確認未完了の燃料 34体

対象 = 51体

- 破損燃料貯蔵ラックの空き容量
 - 破損燃料貯蔵ラック (49体) 47体
 - 破損燃料貯蔵ラック (25体) (今後設置) 25体

保管容量 = 72体