

高性能容器(HIC)のβ線放射線劣化について

2021/4/15

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- 高性能容器（HIC）について、ボックスカルバート外面からの線量当量率の測定結果から見れば状態変化していることが分かり、寿命（HIC内表面の吸収線量が5000kGyに到達する期間）に対してかなり時間が迫ってきている現状
- 現状、メカニズムも分かっていないところもあり、そういったことも踏まえ、特に注意すべきHICが何なのか、整理した上で、議論したい。
- 東京電力と原子力規制庁殿との情報にずれがあるため、きちんと議論する上で、確かなデータを共有して頂きたい。
 - 東京電力では、いろいろなSr-90濃度を使用して吸収線量を評価しており、どのHICを評価しているのか不明
 - 東京電力と原子力規制庁殿との評価で1年以上の差異があるものがある



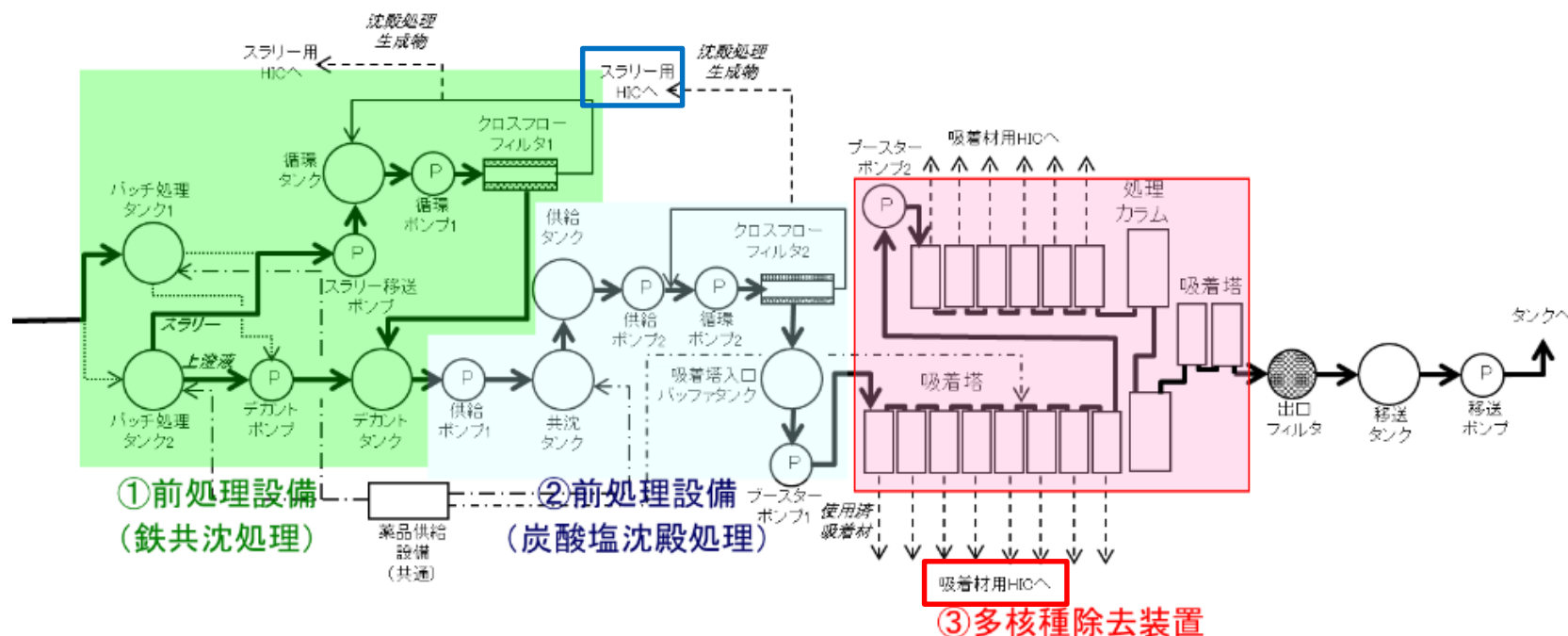
- 東京電力における吸収線量の評価方法について今回ご説明
- また、今後の対応として、原子力規制庁殿と同様に外部線量当量率からHIC内面の吸収線量率を評価する手法を構築するとともに、継続監視していく

- ① HIC材料であるポリエチレンのβ線の照射影響を確認するため、ポリエチレン試験片を用いて電子線照射を行った後、材料試験により照射後の材料物性値を取得
 - ⇒有意な物性値変化として、高速曲げ試験における照射面側のひずみの低下を確認（添付資料参照）

- ② ①で得られた材料物性値を用いて、HIC落下解析を実施し構造健全性を評価
 - ⇒吸収線量5000kGyの試験片物性値を用いて評価した結果、HIC落下時においても健全性を維持できると評価（添付資料参照）

- ③ β線の放射線劣化が懸念される炭酸塩スラリーを収容したHIC及びSr吸着材を収容したHICについて、HIC内面の吸収線量が5000kGyに到達する期間を評価
 - HIC内のSr-90濃度を運転データ等から評価し、その濃度における吸収線量率を求めて5000kGy到達期間を算出（原子力規制庁殿のように線量当量率測定結果からの算出ではない）

- ALPSはRO濃縮塩水（SARRY・KURION等でセシウムを除去した水）を処理対象として設計しており、主な除去対象核種としてSr-90（β線放出核種）があり、放射能濃度として当初は 10^8 Bq/Lオーダーと高いものが存在
- ALPSでは、②前処理設備（炭酸塩沈殿処理）と③多核種除去装置（Sr吸着塔3塔）によりSr-90を除去
- ②前処理設備（炭酸塩沈殿処理）で生じた炭酸塩スラリー、③多核種除去装置（Sr吸着塔3塔）で使用したSr吸着材は、HICに収容して使用済セシウム吸着塔一次保管施設のボックスカルバート内で貯蔵



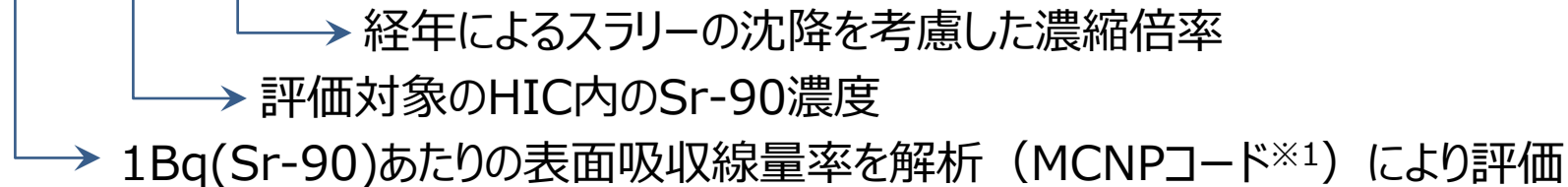
既設ALPS系統構成（A,B,C系統共に同様の構成）

炭酸塩スラリーを収容したHICの評価

- 5,000kGy到達期間 = HIC内表面の吸収線量率 [Gy/h] × 時間 [h]
- HIC内表面の吸収線量率の評価方法
HIC内表面の吸収線量率 (A) は、基準とするHIC内表面吸収線量率解析結果 (B) を基準として、以下の式で算出

$$A = B / C \times D \times E$$

A : 評価するHICの表面吸収線量率 [Gy/h]
B : 基準とするHIC表面吸収線量率解析結果 [Gy/h]
C : 基準とするHIC表面吸収線量率解析に用いたSr濃度 [Bq/m³]
D : 評価するHIC内のSr-90濃度 [Bq/m³]
E : 経年によるスラリーの沈降を考慮した濃縮倍率



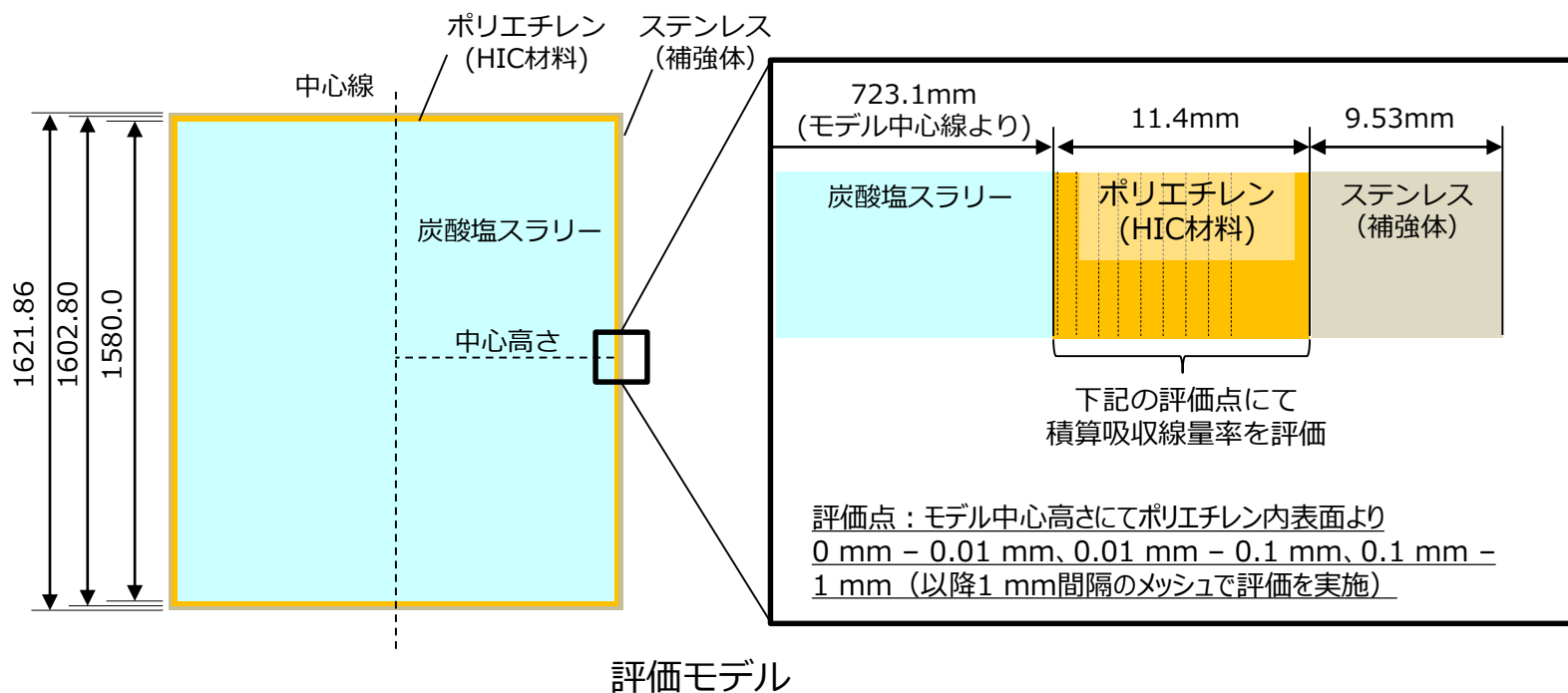
- さらに、上記で評価したHICの表面吸収線量率からSr-90の半減期を考慮し (0.1年単位で表面吸収線量率を半減期補正、5000kGy近くでは0.01年単位で半減期補正)、5,000kGy到達までの期間を評価

※1 モンテカルロ法を用いた解析コード

【参考】基準とするHIC内表面の吸収線量率解析条件

収容物	炭酸塩スラリー (収容物は均一に分布するものとして評価)
密度 g/cm ³	<ul style="list-style-type: none"> 炭酸塩スラリー : 1.2^{※1} ポリエチレン (HIC材料) : 0.942^{※2} ステンレス (補強体) : 7.98^{※3}
考慮する核種	Sr-90, Y-90
評価線種	β線 (電子線) 及び制動X線
解析コード	MCNP5

※1 p.7の計算により算出
 ※2 メーカー提示値
 ※3 SUS316Lの密度(JIS G 3446)



➤ スラリー密度の算出方法

試験装置を用いた模擬スラリー濃縮試験から得られた炭酸塩スラリー濃度を用い以下の式により炭酸塩スラリー密度を算出

$$m = (\rho - \rho_W) \cdot 1000 \cdot \rho_s / (\rho_s - \rho_W)$$

上記を整理し

$$\rho = \rho_W + m \cdot (\rho_s - \rho_W) / 1000 / \rho_s$$

$$\rho_s = \rho_{MgCO_3} + (\rho_{CaCO_3} - \rho_{MgCO_3}) \cdot \frac{m_{CaCO_3}}{m_{MgCO_3} + m_{CaCO_3}}$$

$$\rho = 1.2 \text{ g/cm}^3$$

炭酸塩スラリー密度: ρ

炭酸塩スラリー濃度 m : 305g/L^{※1}

炭酸マグネシウムの密度 ρ_{MgCO_3} : 3.04 g/ml(ブリタニカ百科辞典)

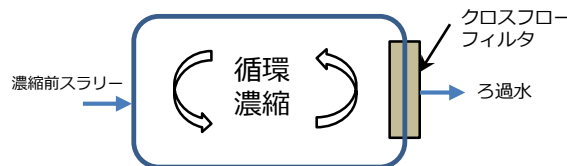
炭酸カルシウムの密度 ρ_{CaCO_3} : 2.71 g/ml(化学便覧)

炭酸マグネシウム濃度 m_{MgCO_3} : 1.51 g/L^{※2}

炭酸カルシウム濃度 m_{CaCO_3} : 0.85 g/L^{※3}

水の密度 ρ_W : 1.0g/ml

※1 模擬スラリーを用いたスラリー循環濃縮試験時の濃度。
下に示す系による循環濃縮後の比較的高いスラリー濃度



※2 Ca 340ppmの時のCaCO₃濃度 [g/L] ←Ca とCaCO₃の質量比から換算

※3 Mg 630ppmの時のMg(OH)₂濃度 [g/L] ←MgとMg(OH)₂の質量比から換算

- スラリー濃度は、処理対象水のCa, Mg濃度及びクロスフローフィルタでの循環濃縮の状況によって変化するものであり、その変化までは模擬できていない
- 例えば、第35回特定原子力施設監視・評価検討会では、HICからの溢水発生時の評価の中で通常運転時のスラリー濃度の実績150 g/Lからスラリー密度を $\rho = 1.1 \text{ g/cm}^3$ と算出

スラリー内のガス滞留による体積膨張・液位上昇の上限の推定

- スラリーの性状

炭酸塩スラリーの主要成分は炭酸カルシウム (CaCO_3) 及び水酸化マグネシウム ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
その比重を 2.71g/cc とする。(比重が大きい炭酸カルシウムが100%とみなした)

- スラリーの初期密度：通常運転時の実績として 150g/l とする

- スラリーの平均密度： $(1000-150/2.71+150) / 1000 = 1.095\text{g/cc} \rightarrow 1.1\text{g/cc}$ とする

- 対流が発生するガス保有量の推定

スラリーが対流を始めるのは、スラリーの平均嵩密度が、上澄み水の密度を下回る時であると想定されるため、**体積が1.1倍、すなわち、容積が10%以上に増えた状態と推定できる。**

- HIC内の必要空間容積

保有するスラリー量に対して、10%以上の空間容積を確保しておけば、HICの溢水は防止できると考えられる。

現在、HIC液位を、最大で蓋下端より4インチであった運用から、**蓋下端より8インチへ変更済み。**
その時のHIC内のスラリー保有量、必要な空間容積、確保できている空間容積は下表のとおり

	既設ALPS	増設ALPS
スラリー保有量	2524 l	2508 l
必要な空間容積	253 l	251 l
確保されている空間容積	254 l → OK	270 l → OK

- 上記の考え方および推定の妥当性については、実機の試験等によっても確認することとし、必要に応じて、保管中HICの水抜き基準へ反映する。

- また、HICによってスラリー密度は異なるため、全てのHICを網羅した水抜き基準の設定を今後実施。

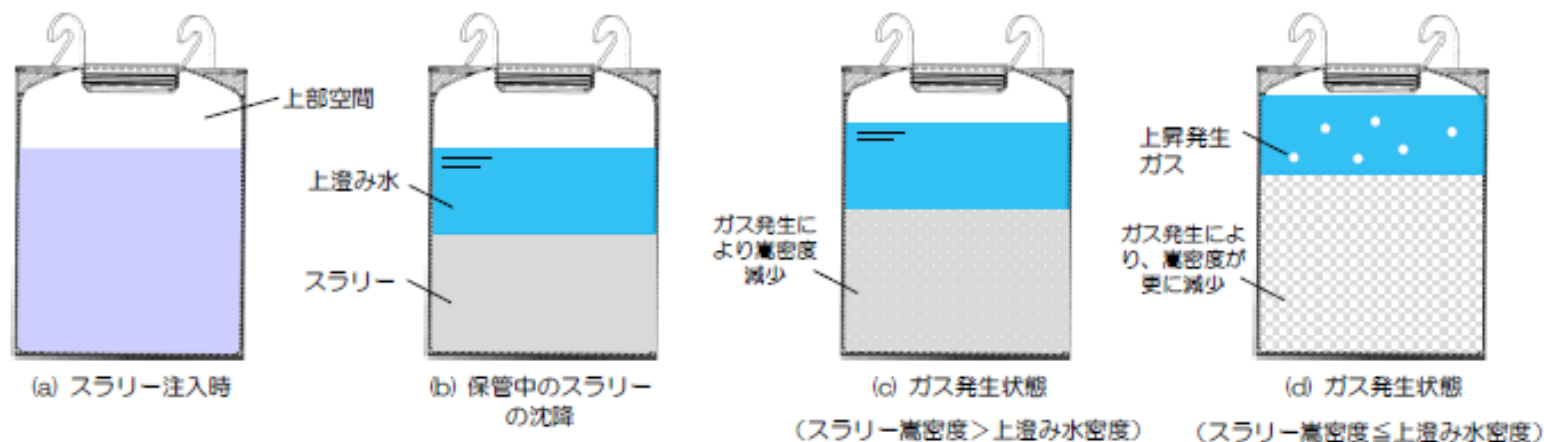
スラリー内のガス滞留による体積膨張・液位上昇の上限の推定

■ スラリーの体積膨張・液位上昇のメカニズム（推定）

- スラリー内の水の放射線分解によって発生した水素ガスが、スラリー内に滞留・蓄積してスラリー部の体積を膨張させた結果、液位上昇が発生

■ 体積膨張・液位上昇の上限値に対する考え方

- ガスが、スラリー内部に留まるメカニズムは明確になっていないものの、ガスの蓄積に伴い嵩密度が減少することにより、スラリーは浮力によって対流し易くなると予測される
- ガスの蓄積によりスラリーの嵩密度が減少して、上澄み水の密度を下回ったときに、ガスは上部に放出されるため、体積膨張・液位上昇には上限があると考えられる
- この上限液位が蓋下面に到達しないだけの上部空間を確保できるように、HIC注入量を制限することにより、たまり水発生の再発は抑制できると考えられる



スラリーの体積膨張・液位低下の推定挙動

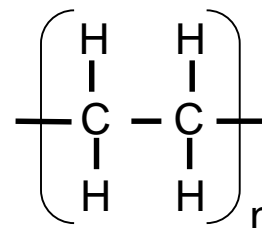
➤ 材料組成

物質	元素	質量割合
炭酸塩沈殿スラリー	Ca	0.057991
	Mg	0.107454
	C	0.071124
	O	0.710217
	H	0.053215

←ALPS処理対象水（Ca濃度：340 ppm、Mg濃度：630 ppm）から生成される炭酸塩スラリー（CaCO₃、MgCO₃、及び水を含む）の設計上の質量割合【設計メーカー提示値】

物質	元素	原子個数比
ポリエチレン (HIC材料)	H	2
	C	1

←ポリエチレンの構造より設定



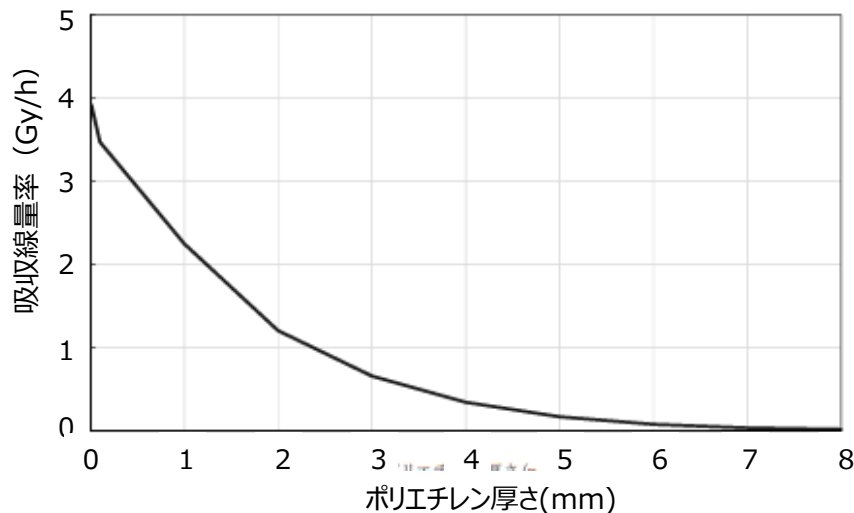
物質	元素	重量割合(%)
ステンレス	Fe	100

炭酸塩スラリー/Sr吸着材のSr90/Y90濃度を以下の濃度で評価した場合のHIC内表面の吸収線量率は以下の通り

	Sr90/Y90濃度 (Bq/m ³)	HIC内表面の吸収線量率 (Gy/h)
炭酸塩スラリー	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sr-90:1.34E+13 ・ Y-90:1.34E+13 	3.9

B : HICの表面吸収線量率解析結果(Gy/h)

C : HICの表面吸収線量率解析に用いたSr濃度(Bq/m³)



炭酸塩スラリー

- 評価するHIC内のSr濃度 (D) は、HICからの溢水が初めに確認された『PO646393-172』のSr-90濃度と、HIC『PO646393-172』と評価するHICがALPSに装荷されていた時のALPS処理対象水の全β濃度比から算出

評価するHIC内のSr濃度 (D) [Bq/m³]

$$= \frac{\text{【PO646393-172HIC内のSr濃度】} \times \text{【評価するHICがALPSに装荷されていたときの処理対象水の全β放射能量※1】}}{\text{【PO646393-172HICがALPSに装荷されていた時の処理対象水の全β放射能量】}}$$

※1 既設ALPSから発生したHICでは、鉄共沈処理における除去率を考慮し全β放射能量を2/3とした値を用いる

- ・ 評価するHICの全β放射能量 = 評価するHIC装荷時のALPS処理対象水全β濃度 × HIC交換までの処理量
- ・ PO646393-172の全β放射能量 = PO646393-172HIC装荷時のALPS処理対象水全β濃度 × HIC交換までの処理量
- ・ PO646393-172のSr-90濃度 = (ALPS処理対象水のSr-90濃度 - 炭酸塩沈殿処理後のSr-90濃度) × HIC交換までの処理量 / HIC容量

ALPS処理対象水のSr-90濃度 : 4.1E+11 Bq/m³

炭酸塩沈殿処理後の水のSr-90濃度※2 : 9.1E+08 Bq/m³

HIC交換までの処理量 : 330m³

HIC容量 : 2.61m³※3

HIC『PO646393-172』のSr-90濃度 : 5.2E+13Bq/m³

※2 炭酸塩沈殿処理後の水の全β濃度の1/2の値とする

※3 HICタイプ2の容量

- 『経年によるスラリー沈降を考慮した濃縮倍率』は、以下の式にて算出

$$m_{\text{con}} / m_{\text{ave}}$$

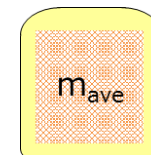
m_{ave} : 沈降前スラリー濃度[g/L] m_{con} : 沈降後スラリー濃度[g/L]
--



- 沈降前のスラリー濃度： m_{ave} の算出方法

ALPS処理対象水のCa,Mgすべてが炭酸塩($\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2$)になり、HIC内で一様に分布している場合のスラリー濃度 m_{ave} を以下の式により算出

$$m_{\text{ave}} \text{ [g/L]} = (\text{CaCO}_3 \text{濃度 [g/L]} \times \text{※1} + \text{Mg}(\text{OH})_2 \text{濃度 [g/L]} \times \text{※1}) \times \text{HIC交換までの処理量 [m}^3\text{]} / \text{HIC容量 2.61 [m}^3\text{]}$$



※1 CaCO_3 濃度と $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 濃度は、処理対象水中のCa,Mg全量が $\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2$ となるものとし、処理対象水中のCa,Mg濃度と以下のCa,Mg濃度と $\text{CaCO}_3, \text{Mg}(\text{OH})_2$ の濃度の関係から算出

- Ca100ppmの時、 CaCO_3 の濃度0.25[g/L] ← Ca と CaCO_3 の質量比から換算
- Mg100ppmの時、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の濃度0.24[g/L] ← Mgと $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の質量比から換算

➤ 沈降後のスラリー濃度 m_{con} の算出方法

- 1000日以上保管経過したHIC11基からの炭酸塩スラリーのサンプリング結果から、最も高い密度(1.36g/mL)を用いて、沈降後のスラリー濃度 m_{con} [g/L] を算出
- HIC中で水と分離、沈降したスラリー部の濃度 m_{con} について、実スラリーの測定密度を用いて下記の考え方で導出

: 沈降スラリー部



※1 スラリーは炭酸塩と水の混合体であるが、分割して考えることで m_{con} を導出する

※2 ρ は炭酸塩スラリーサンプリング測定結果の内、最も高かった密度を引用

$$\begin{aligned} \rho &= (\text{炭酸塩の重量 } W_s \text{ [g]} + \text{水の重量 } W_w \text{ [g]}) / 1000 \text{ [mL]} \\ &= (W_s (= m_{con}) \text{ [g/L]} + 1000 \cdot \rho_w \text{ [g/mL]} - (m_{con}/\rho_s) \cdot \rho_w) / 1000 \\ &= \rho_w + m_{con} \cdot (\rho_s - \rho_w) / (1000 \cdot \rho_s) \end{aligned}$$

以上を整理し、 $m_{con} = (\rho - \rho_w) \cdot 1000 \cdot \rho_s / (\rho_s - \rho_w)$

$$W_s = m_{con} (\times 1L), \quad W_w = V_w \times \rho_w = (1000 - W_s/\rho_s) \times \rho_w = (1000 - m_{con}/\rho_s) \times \rho_w$$

また炭酸塩の濃度 ρ_s は、 $\rho_s = \rho_{Mg(OH)_2} + (\rho_{CaCO_3} - \rho_{Mg(OH)_2}) \cdot \frac{m_{CaCO_3}}{m_{Mg(OH)_2} + m_{CaCO_3}}$

水酸化マグネシウムの密度 $\rho_{Mg(OH)_2}$: 2.36g/ml(化学辞典(森北出版)2009年)

炭酸カルシウムの密度 ρ_{CaCO_3} : 2.71g/ml(化学便覧よりCaCO₃ (カルサイト)の密度)

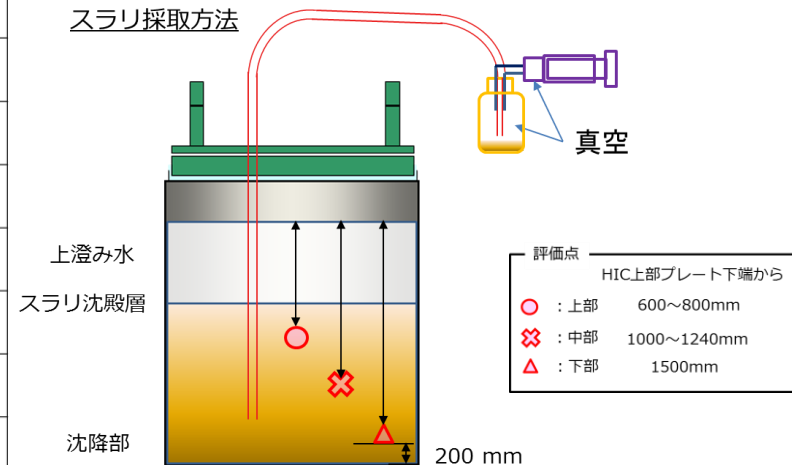
水酸化マグネシウム濃度 $m_{Mg(OH)_2}$, 炭酸カルシウム濃度 m_{CaCO_3} ←前頁のCa,Mg濃度とCaCO₃,Mg(OH)₂の濃度の関係から算出

水の密度 ρ_w : 1.0g/ml

■ スラリー密度の採取方法、取得データ(2018年3月)

HIC内にスラリーを収容してから1,000日以上経過した11基を対象にHIC内にチューブを挿入し、底部のスラリーを吸引によりスラリーを採取。採取したスラリーの重量を測定し、密度を算出。

No.	HIC No.	密度 (g/mL)			発生設備
		上部	中部	下部	
1	PO625899-211	—	1.06	1.13	既設
2	PO641180-152	1.11	1.26	1.30	既設
3	PO625899-210	—	1.12	1.31	既設
4	PO637802-027	1.07	1.11	1.31	既設
5	PO625899-249	1.09	1.21	1.30	既設
6	PO625899-048	1.14	1.27	1.27	既設
7	PO637802-071	—	1.09	1.29	既設
8	PO641180-144	—	—	1.23	既設
9	PO625899-236	—	—	1.36	既設
10	PO646393-172	1.14	1.12	—	増設
11	PO625899-137	—	—	1.27	既設



現在の5,000kGy到達期間評価では、2018年に実施した密度測定結果の最大値[1.36g/ml]を用いて評価を実施

● 5,000kGy到達時間の評価に用いた物性値

到達時間の短い17基

HIC シリアルNo.	ALPS処理対象水の全β濃度[Bq/cm ³]	処理量【m ³ 】	Ca【ppm】	Mg【ppm】
PO646393-190	8.5E+05	3.3E+02	222	266
PO646393-183	8.5E+05	2.5E+02	222	266
PO646393-185	8.5E+05	3.6E+02	222	266
PO646393-194	8.5E+05	5.9E+02	222	266
PO646393-172	8.5E+05	3.3E+02	222	266
PO646393-182	8.5E+05	3.9E+02	222	266
PO646393-197	8.5E+05	3.2E+02	222	266
PO646393-213	8.5E+05	2.5E+02	222	266
PO641180-237	8.5E+05	2.5E+02	222	266
PO646393-177	8.5E+05	2.3E+02	222	266
PO646393-186	8.5E+05	5.4E+02	222	266
PO646393-176	8.5E+05	5.5E+02	222	266
PO646393-184	8.5E+05	2.8E+02	222	266
PO646393-187	8.5E+05	2.8E+02	222	266
PO646393-180	8.5E+05	2.4E+02	222	266
PO646393-192	8.5E+05	2.1E+02	222	266
PO646393-174	8.5E+05	8.8E+01	222	266

17基の次に到達時間の短い20基

HIC シリアルNo.	ALPS処理対象水の全β濃度[Bq/cm ³]	処理量【m ³ 】	Ca【ppm】	Mg【ppm】
PO646393-195	5.3E+05	5.5E+02	210	256
PO646393-173	5.3E+05	4.9E+02	210	256
PO646393-209	5.3E+05	4.3E+02	210	256
PO641180-229	5.3E+05	3.5E+02	210	256
PO646393-181	5.3E+05	3.2E+02	210	256
PO641180-230	5.3E+05	3.1E+02	210	256
PO641180-242	5.3E+05	3.1E+02	210	256
PO646393-211	5.3E+05	3.0E+02	210	256
PO641180-240	5.3E+05	2.8E+02	210	256
PO641180-227	5.3E+05	2.8E+02	210	256
PO641180-239	5.3E+05	2.6E+02	210	256
PO641180-248	5.3E+05	2.6E+02	210	256
PO646393-212	5.3E+05	2.6E+02	210	256
PO646393-228	5.3E+05	2.5E+02	210	256
PO646393-230	5.3E+05	2.2E+02	210	256
PO641180-228	5.3E+05	2.1E+02	210	256
PO646393-229	5.3E+05	2.0E+02	210	256
PO646393-233	5.3E+05	2.0E+02	210	256
PO641180-243	5.3E+05	1.5E+02	210	256
PO646393-188	5.3E+05	5.7E+01	210	256

積算吸収線量5,000kGy到達期間の評価結果

5,000kGy到達時間の評価結果（到達時間の短い17基）

HIC シリアルNo.	保管施設への格納日時	HIC表面線量(最大)mSv/h	5,000kGy到達時間の評価			
			スラリー沈降後のSr濃度(Bq/m ³)	沈降後のスラリーによるHICの表面吸収線量率(Gy/h)	積算吸収線量5,000kGy到達期間	積算吸収線量5,000kGy到達年月
PO646393-190	2014/11/2	12.370	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-183	2014/11/3	11.350	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-185	2014/10/29	9.341	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-194	2014/11/3	11.100	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-172	2014/10/31	12.800	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-182	2014/11/1	13.240	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-197	2014/10/30	9.289	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-213	2014/11/4	11.100	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO641180-237	2014/11/6	6.170	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-177	2014/11/4	8.834	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-186	2014/10/26	3.089	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-176	2014/10/26	1.970	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-184	2014/11/1	4.946	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-187	2014/10/28	6.945	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-180	2014/11/3	8.846	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-192	2014/11/4	7.498	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月
PO646393-174	2014/10/31	8.726	2.1E+14	60	10年9ヶ月	2025年7月

5,000kGy到達時間の評価結果（次に到達時間の短い20基）

HIC シリアルNo.	保管施設への格納日時	HIC表面線量 (最大)mSv/h	5,000kGy到達時間の評価			
			スラリー沈降後のSr濃度(Bq/m ³)	沈降後のスラリーによるHICの表面吸収線量率(Gy/h)	積算吸収線量5,000kGy到達期間	積算吸収線量5,000kGy到達年月
PO646393-195	2014/11/13	3.490	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-173	2014/11/13	3.428	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-209	2014/11/6	8.274	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO641180-229	2014/11/9	8.669	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-181	2014/11/5	9.547	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO641180-230	2014/11/7	8.047	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO641180-242	2014/11/8	7.873	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO646393-211	2014/11/10	9.386	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO641180-240	2014/11/6	7.544	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO641180-227	2014/11/9	7.703	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO641180-239	2014/11/8	6.426	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO641180-248	2014/11/5	6.519	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO646393-212	2014/11/9	6.983	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-228	2014/11/10	7.323	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-230	2014/11/10	5.049	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO641180-228	2014/11/7	6.278	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年9月
PO646393-229	2014/11/10	6.432	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-233	2014/11/11	3.416	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO641180-243	2014/11/11	4.930	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月
PO646393-188	2014/11/12	2.374	1.3E+14	39	17年11ヶ月	2032年10月

積算吸収線量5,000kGy到達期間の評価結果（原子力規制庁殿試算結果との比較）



HICシリアルNo	収容物	発生場所	格納日	HIC表面線量率 (mSv/h)	規制庁殿試算						東京電力評価		
					収納時推定濃度 Bq/cm ³	HIC表面吸収線量				5000 kGy 到達時期※1	評価に用いたSr濃度 Bq/cm ³	HIC表面吸収線量 kGy/y (減衰補正前)	5000 kGy 到達時期
						kGy/y	2021/11 (kGy)	2023/11 (kGy)	2024/11 (kGy)				
PO646393-182	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/1	13.24	7.10E+07	531	3,718	4,780	5,312	2024年3月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-172	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/31	12.8	6.86E+07	514	3,595	4,622	5,135	2024年7月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-190	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/2	12.37	6.63E+07	496	3,474	4,466	4,963	2024年11月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-183	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/3	11.35	6.09E+07	455	3,187	4,098	4,553	2025年10月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-194	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/3	11.1	5.95E+07	445	3,117	4,008	4,453	2026年1月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-213	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/4	11.1	5.95E+07	445	3,117	4,008	4,453	2026年1月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-181	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/5	9.547	5.12E+07	383	2,681	3,447	3,830	2027年11月	1.3E+08	343	2032年9月
PO646393-211	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/10	9.386	5.03E+07	377	2,636	3,389	3,765	2028年2月	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-185	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/29	9.341	5.01E+07	375	2,623	3,373	3,747	2028年2月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-197	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/30	9.289	4.98E+07	373	2,609	3,354	3,727	2028年3月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-180	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/3	8.846	4.74E+07	355	2,484	3,194	3,549	2028年11月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-177	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/4	8.834	4.74E+07	354	2,481	3,190	3,544	2028年12月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-174	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/31	8.726	4.68E+07	350	2,450	3,151	3,501	2029年2月	2.1E+08	527	2025年7月
PO641180-229	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/9	8.669	4.65E+07	348	2,434	3,130	3,478	2029年3月	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-209	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/6	8.274	4.44E+07	332	2,324	2,987	3,319	2029年11月	1.3E+08	343	2032年9月
PO641180-230	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/7	8.047	4.32E+07	323	2,260	2,905	3,228	2030年4月	1.3E+08	343	2032年9月
PO641180-242	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/8	7.873	4.22E+07	316	2,211	2,843	3,158	2030年8月	1.3E+08	343	2032年9月
PO641180-227	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/9	7.703	4.13E+07	309	2,163	2,781	3,090	2031年1月	1.3E+08	343	2032年10月
PO641180-240	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/6	7.544	4.05E+07	303	2,119	2,724	3,026	2031年5月	1.3E+08	343	2032年9月
PO646393-192	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/4	7.498	4.02E+07	301	2,106	2,707	3,008	2031年6月	2.1E+08	527	2025年7月

※原子力規制庁殿の試算をもとに当社にて計算

 : 原子力規制庁殿試算の方が5000kGy到達期間が短いもの

積算吸収線量5,000kGy到達期間の評価結果（原子力規制庁殿試算結果との比較）



HICシリアルNo	収容物	発生場所	格納日	HIC表面線量率 (mSv/h)	規制庁殿試算						東京電力評価		
					収納時推定濃度 Bq/cm3	HIC表面吸収線量				5000 kGy 到達時期※1	評価に用いたSr濃度 Bq/cm3	HIC表面吸収線量 kGy/y (減衰補正前)	5000 kGy 到達時期
						kGy/y	2021/11 (kGy)	2023/11 (kGy)	2024/11 (kGy)				
PO646393-228	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/10	7.323	3.93E+07	294	2,056	2,644	2,938	2031年11月	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-212	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/9	6.983	3.74E+07	280	1,961	2,521	2,801	2032年9月	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-187	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/28	6.945	3.72E+07	279	1,950	2,508	2,786	2032年9月	2.1E+08	527	2025年7月
PO641180-248	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/5	6.519	3.50E+07	262	1,831	2,354	2,615	2033年11月	1.3E+08	343	2032年9月
PO646393-229	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/10	6.432	3.45E+07	258	1,806	2,322	2,580	2034年3月	1.3E+08	343	2032年10月
PO641180-239	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/8	6.427	3.45E+07	258	1,805	2,321	2,578	2034年3月	1.3E+08	343	2032年10月
PO641180-228	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/7	6.278	3.37E+07	252	1,763	2,267	2,519	2034年9月	1.3E+08	343	2032年9月
PO641180-237	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/6	6.17	3.31E+07	248	1,733	2,228	2,475	2034年12月	2.1E+08	527	2025年7月
PO646393-230	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/10	5.049	2.71E+07	203	1,418	1,823	2,026	2039年6月	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-184	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/1	4.946	2.65E+07	198	1,389	1,786	1,984	2040年1月	2.1E+08	527	2025年7月
PO641180-243	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/11	4.93	2.64E+07	198	1,384	1,780	1,978	2040年2月	1.3E+08	343	2032年10月
625899-342	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/8/29	4.259	2.28E+07	171	1,196	1,538	1,709	2042年11月	5000kGy到達まで20年以上		
625899-133	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2013/6/4	4.25	2.28E+07	170	1,193	1,534	1,705	2042年10月	-	-	-
PO641180-45	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/8/12	4.005	2.15E+07	161	1,125	1,446	1,607	2045年8月	5000kGy到達まで20年以上		
625899-053	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2013/11/3	4	2.15E+07	160	1,123	1,444	1,605	2045年1月	-	-	-
625899-030	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/7/23	3.95	2.12E+07	158	1,109	1,426	1,585	2045年3月	5000kGy到達まで20年以上		
PO637802-38	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/5/9	3.797	2.04E+07	152	1,066	1,371	1,523	2047年3月	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-246	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/20	3.669	1.97E+07	147	1,030	1,325	1,472	2048年11月	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-195	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/13	3.49	1.87E+07	140	980	1,260	1,400	2050年以降	1.3E+08	343	2032年10月
PO646393-231	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/21	3.4	1.82E+07	136	955	1,228	1,364	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-205	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/8/16	3.251	1.74E+07	130	913	1,174	1,304	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-243	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/20	3.161	1.70E+07	127	888	1,141	1,268	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-130	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2013/5/27	3.15	1.69E+07	126	885	1,137	1,264	2050年以降	-	-	-
PO646393-71	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/10/19	3.114	1.67E+07	125	874	1,124	1,249	2050年以降	-	-	-
PO641180-93	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/7/30	2.982	1.60E+07	120	837	1,077	1,196	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-178	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/14	2.775	1.49E+07	111	779	1,002	1,113	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-82	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/11/11	2.716	1.46E+07	109	763	981	1,090	2050年以降	-	-	-

：原子力規制庁殿試算の方が5000kGy到達期間が短いもの

※原子力規制庁殿の試算をもとに当社にて計算

積算吸収線量5,000kGy到達期間の評価結果（原子力規制庁殿試算結果との比較）



HICシリアルNo	収容物	発生場所	格納日	HIC表面線量率 (mSv/h)	規制庁殿試算					東京電力評価			
					収納時推定濃度 Bq/cm ³	HIC表面吸収線量			5000 kGy 到達時期※1	評価に用いたSr濃度 Bq/cm ³	HIC表面吸収線量 kGy/y (減衰補正前)	5000 kGy 到達時期	
						kGy/y	2021/11 (kGy)	2023/11 (kGy)					2024/11 (kGy)
PO637802-20	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/8/22	2.65	1.42E+07	106	744	957	1,063	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-259	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/12/8	2.288	1.23E+07	92	643	826	918	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-74	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/11/15	2.272	1.22E+07	91	638	820	911	2050年以降	-	-	-
PO641180-238	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/10/15	2.181	1.17E+07	87	612	787	875	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-133	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/15	2.135	1.14E+07	86	600	771	857	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-102	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/7/19	2.115	1.13E+07	85	594	764	848	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-121	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/13	2.061	1.11E+07	83	579	744	827	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-77	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/11/19	2.058	1.10E+07	83	578	743	826	2050年以降	-	-	-
PO646393-88	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/9/19	2.015	1.08E+07	81	566	728	808	2050年以降	-	-	-
625899-368	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/1/10	1.983	1.06E+07	80	557	716	796	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-130	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/17	1.936	1.04E+07	78	544	699	777	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-13	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/4/18	1.825	9.79E+06	73	512	659	732	2050年以降	-	-	-
PO641180-88	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/9/22	1.695	9.09E+06	68	476	612	680	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-159	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/17	1.63	8.74E+06	65	458	589	654	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-214	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/20	1.617	8.67E+06	65	454	584	649	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-43	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/9/24	1.608	8.62E+06	65	452	581	645	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-021	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/20	1.567	8.40E+06	63	440	566	629	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-123	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/15	1.52	8.15E+06	61	427	549	610	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-146	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/11/17	1.474	7.90E+06	59	414	532	591	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-373L	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/3/3	1.31	7.02E+06	53	368	473	526	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-159	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/6/30	1.205	6.46E+06	48	338	435	483	2050年以降	-	-	-
625899-088	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/6/4	1.18	6.33E+06	47	331	426	473	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-137	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/13	1.178	6.32E+06	47	331	425	473	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-272	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/12/7	1.094	5.87E+06	44	307	395	439	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-180L	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/23	1.035	5.55E+06	42	291	374	415	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		

※原子力規制庁殿の試算をもとに当社にて計算

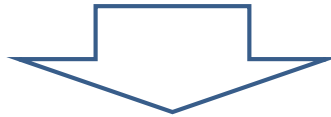
積算吸収線量5,000kGy到達期間の評価結果（原子力規制庁殿試算結果との比較）



HICシリアルNo	収容物	発生場所	格納日	HIC表面 線量率 (mSv/h)	規制庁殿試算						東京電力評価		
					収納時 推定濃度 Bq/cm ³	HIC表面吸収線量			5000 k Gy 到達時期※1	評価に用 いたSr濃 度 Bq/cm ³	HIC表面 吸収線量 kGy/y (減衰補正前)	5000 k Gy 到達時期	
						kGy/y	2021/11 (kGy)	2023/11 (kGy)					2024/11 (kGy)
PO646393-273	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/12/7	1.015	5.44E+06	41	285	366	407	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-086	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/1/14	1.01	5.42E+06	41	284	365	405	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-235	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/25	1.008	5.41E+06	40	283	364	404	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-361	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/6	0.997	5.35E+06	40	280	360	400	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-253	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/25	0.96	5.15E+06	39	270	347	385	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-204	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/15	0.841	4.51E+06	34	236	304	337	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-371	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/14	0.67	3.59E+06	27	188	242	269	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-146L	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/3/2	0.587	3.15E+06	24	165	212	235	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-050	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/2	0.584	3.13E+06	23	164	211	234	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-073	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/1/3	0.562	3.01E+06	23	158	203	225	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-036	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/29	0.468	2.51E+06	19	131	169	188	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-197	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/1/1	0.381	2.04E+06	15	107	138	153	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-134L	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/3/7	0.308	1.65E+06	12	86	111	124	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-020	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/31	0.275	1.47E+06	11	77	99	110	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO646393-198	炭酸塩スラリー	増設ALPS	2014/11/14	0.265	1.42E+06	11	74	96	106	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
PO641180-218	鉄共沈スラリー	既設ALPS	2014/6/4	0.163	8.74E+05	7	46	59	65	2050年以降	-	-	-
625899-135	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/21	0.135	7.24E+05	5	38	49	54	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-338	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/30	0.101	5.42E+05	4	28	36	41	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-307	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/24	0.095	5.09E+05	4	27	34	38	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-041	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/25	0.09	4.83E+05	4	25	32	36	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-369	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/18	0.045	2.41E+05	2	13	16	18	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-044	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2013/12/25	0.02	1.07E+05	1	6	7	8	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-087	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/2/2	0.01744	9.35E+04	1	5	6	7	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		
625899-070	炭酸塩スラリー	既設ALPS	2014/1/31	0.01171	6.28E+04	0	3	4	5	2050年以降	5000kGy到達まで20年以上		

※原子力規制庁殿の試算をもとに当社にて計算

- 原子力規制庁殿試算結果との差異理由（当社試算結果の方が到達期間が長い理由）
 - 当社試算では吸収線量率の算定において、Sr-90の半減期補正を実施しており、規制庁殿試算結果と比べて5000kGy到達時期が遅いと推定
 - 当社試算において半減期を無視すると、5000kGy到達期間は10年7ヶ月が9年6ヶ月まで低減
 - MCNPによる吸収線量率の評価において用いた物性値等は、ALPS導入前のコールド試験データのものだが、実際は処理対象水の性状によって変化するものであり、その変化までは模擬できていない



- スラリー安定化処理設備の供用開始が2022年度末であり、原子力規制庁殿の評価結果を踏まえても、スラリー安定化処理設備稼働後にスラリーの処理を行えば5000kGyには達しない
- ただし、スラリー沈降による経時的変化を踏まえて、HIC表面の線量率から内部のSr-90濃度、吸収線量率を算出する手法を構築し、5000kGy到達期間を都度評価していく
 - 手法構築にあたっては、既存のIRID取得データ（スラリーのSr-90濃度データ、HIC表面線量当量率データ）を用いてベンチマークを実施

- 2/22の特定原子力施設監視・評価検討会における『経年による変化を追えていない』とのご指摘を踏まえ、HIC内でのスラリーの経時的な沈降（濃縮）の知見拡充のため、以下の調査を今後継続して実施

対応①：ボックスカルバート外面からの線量測定【2021年3月16日実施済】

- 2017/2018年に原子力規制庁殿が実施したボックスカルバート外面からの線量測定の追跡調査を実施し、スラリー沈降に伴う底部の線量上昇の有無を確認
- 今後、年1回の頻度で測定を実施

対応②：HIC外表面からの線量測定【今後実施】

- 保管施設へのHIC受入れ時に、外表面の線量測定を実施していることから、追跡調査として代表HICを数基選定して外表面の線量測定を行い、スラリー沈降に伴う底部の濃縮倍率を評価
- 今後、年1回の頻度で測定を実施

対応②：HIC内スラリーの密度測定【今後実施】

- 2018年に当社が実施したHIC内スラリーの密度測定（スラリーを収容してから1000日以上経過したHICの上層・中層・低層からスラリーを採取し密度を測定）の追跡調査を実施し、スラリー沈降に伴う密度上昇の有無を確認
- 今後、年1回の頻度で測定を実施

対応③：HIC内スラリーの移替え（試験的に2基を対象として実施）【今後実施】

- 既に吸収線量が5000kGyに到達している可能性があることを踏まえ、スラリーの移替えを試験的に実施
- 移替えは、ALPSのスラリー払出し装置（既存の装置）を活用
- HIC底部（数cm）にスラリーが残る可能性あり、残ったスラリーの処理およびHIC内面調査は、スラリーの抜取り状況を踏まえ検討

- 対応②、③については、高濃度のスラリーを取り扱うことから、Sr-90の内部取り込み防止等の安全対策を検討し、原子力規制庁殿と調整の上実施していく

Sr吸着材を収容したHICの評価

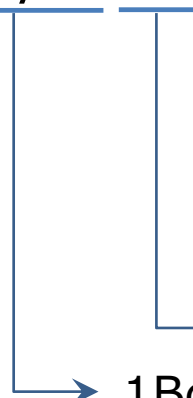
■ 5,000kGy到達期間 = HIC内表面の吸収線量率 [Gy/h] × 時間 [h]

➤ HIC内表面の吸収線量率の評価方法

HIC内表面の吸収線量率 (A) は、基準とするHIC内表面吸収線量率解析結果 (B) を基準として、以下の式で算出

$$A = B / C \times D$$

A : 評価するHICの表面吸収線量率 [Gy/h]
B : 基準とするHIC表面吸収線量率解析結果 [Gy/h]
C : 基準とするHIC表面吸収線量率解析に用いたSr濃度 [Bq/m³]
D : 評価するHIC内のSr-90濃度 [Bq/m³]



→ 評価対象のHIC内のSr-90濃度
→ 1Bq(Sr-90)あたりの表面吸収線量率を解析 (MCNPコード※1) により評価

➤ さらに、上記で評価したHICの表面吸収線量率からSr-90の半減期を考慮し (0.1年単位で表面吸収線量率を半減期補正、5000kGy近くでは0.01年単位で半減期補正)、5,000kGy到達までの期間を評価

※1 モンテカルロ法を用いた解析コード

【参考】基準とするHIC内表面の吸収線量率解析条件

収容物	吸着材 (収容物は均一に分布するものとして評価)
密度 g/cm ³	<ul style="list-style-type: none"> ・Sr吸着材：0.84※ ・ポリエチレン（HIC材料）：0.942 ・ステンレス（補強体）：7.98
考慮する核種	Sr-90, Y-90
評価線種	β線（電子線）及び制動X線
解析コード	MCNP5

※吸着材かさ密度の測定結果

➤ 材料組成

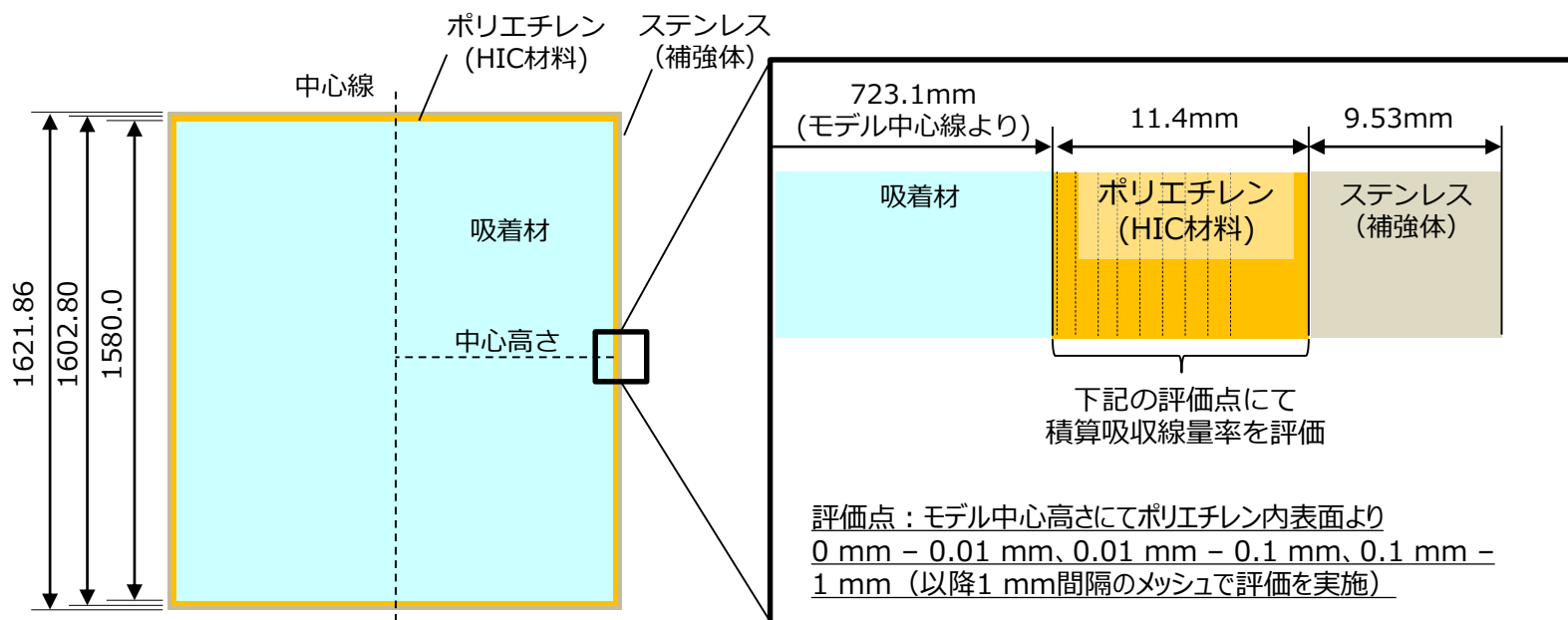
物質	元素	原子個数比
Sr吸着材 (チタン酸ナトリウム)	H	1
	O	5
	Na	1
	Ti	2

←【メーカー提示値】

物質	元素	原子個数比
ポリエチレン (HIC材料)	H	2
	C	1

←【メーカー提示値】

物質	元素	重量割合 (%)
ステンレス	Fe	100



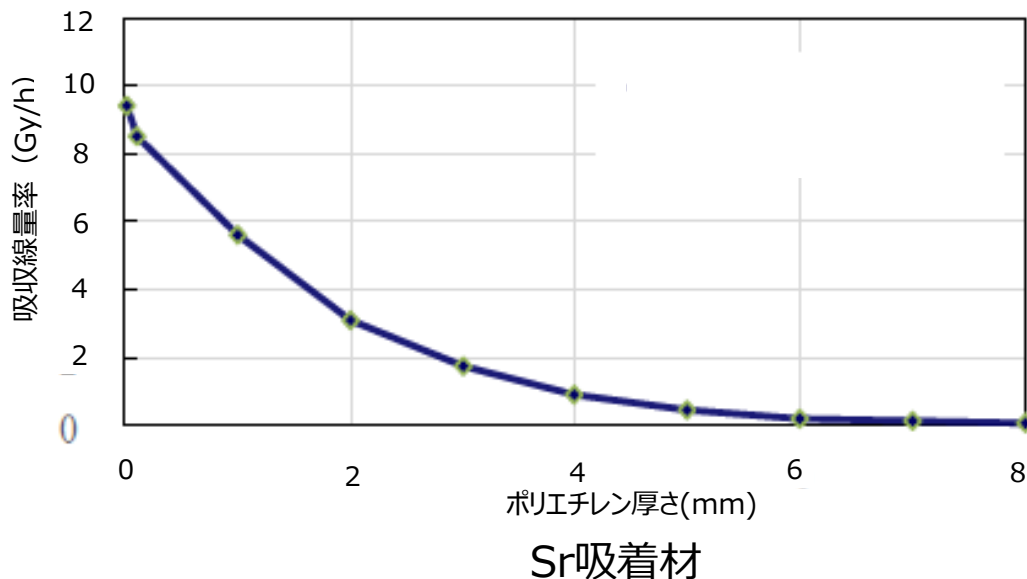
評価モデル

Sr吸着材のSr90/Y90濃度を以下の濃度で評価した場合のHIC内表面の吸収線量率は以下の通り

	Sr90/Y90濃度 (Bq/m ³)	HIC内表面の吸収線量率 (Gy/h)
Sr吸着材	<ul style="list-style-type: none"> • Sr-90: 2.2 E+13 • Y-90: 2.2E+13 	9

B : HICの表面吸収線量率解析結果(Gy/h)

C : HICの表面吸収線量率解析に用いたSr濃度(Bq/m³)



評価するHIC内のSr濃度 (D) の算出方法

➤ Sr吸着材を収容するHICのSr-90濃度は、収容するSr吸着材が処理した水の全β濃度※1と通水量から算出

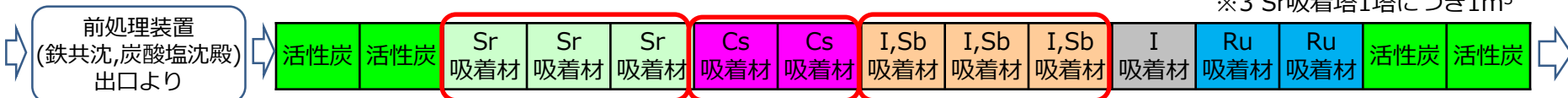
- Sr吸着材は、3塔によるメリーゴーラウンド運用を行っており、通水順序で1塔目の吸着塔で除去できなかったSr-90を2塔目、3塔目で除去するが、本評価では1塔目で全てのSr-90を除去するものとする
- 評価対象とするSr吸着材が通水順序で1塔目となってからHICに排出するまでの日々の通水量×処理した水の全β濃度※2/吸着材充填量※3から吸着材中のSr-90濃度を算出

※1 Sr-90濃度=全β濃度として評価

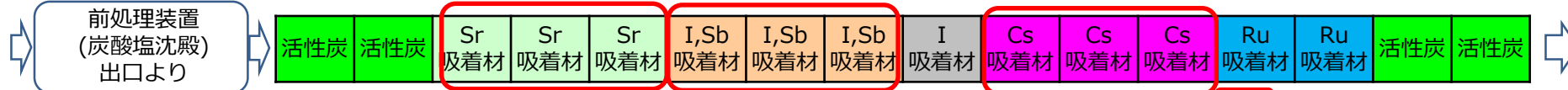
※2 前処理装置出口の全β濃度

※3 Sr吸着塔1塔につき1m³

既設ALPS 吸着塔構成(2021.4現在)

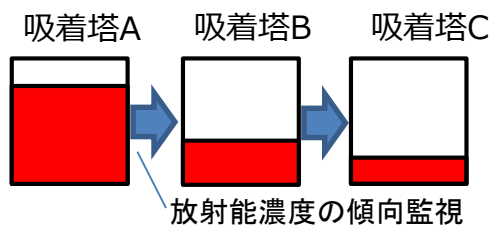


増設ALPS 吸着塔構成(2021.4現在)

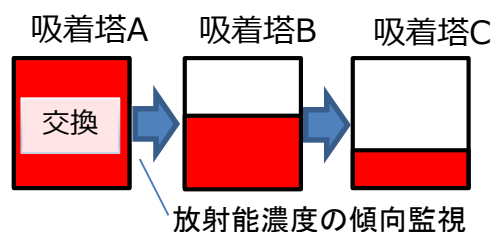


メリーゴーラウンド運用

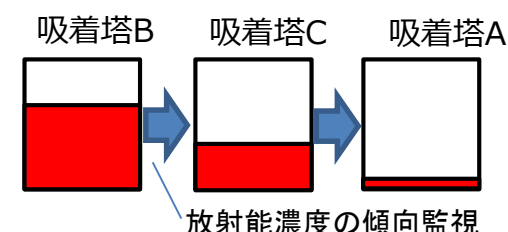
(参考) 吸着材の交換・運用 (メリーゴーラウンド運用) イメージ (Sr吸着材を充填した吸着塔3塔の場合)



①核種吸着により先頭の吸着塔から吸着性能が低下 (■ は吸着材の吸着量を示す)



②吸着塔出口の放射能濃度の傾向監視により、放射能濃度の上昇傾向が確認された場合、先頭の吸着材が破過 (吸着能力が失われた) したものと見なし吸着材を交換



③先頭塔の吸着材交換後、バルブ操作により通水順序を切替え (以降、①⇒②⇒③の繰返し)

■ HIC保管開始時に最も表面線量当量率が高いHIC PO641180-146について5000kGy到達期間を評価

- PO641180-146が受入れた吸着材

	収容物/ 発生設備	1塔目での使用開始 /HIC排出日 上段：使用開始日 下段：HIC排出日	通水量[m ³]	Sr-90濃度 (吸着材1m ³ あたりの Sr-90吸着量)
①	Sr吸着材 /既設ALPS(A系)	2015/1/22	14,142	7.8E+13
		2015/4/29		
②	Sr吸着材 /既設ALPS(B系)	2014/12/6	13,474	1.2E+14
		2015/3/3		

- 吸着材は吸着塔から水圧によりHICに排出されるため、上記の2つの吸着材はHIC内で混合される。よって、HIC内のSr-90濃度は平均値の1.0E+14Bq/m³となり、その際の5000kGy到達時期は以下の通り

HICシリアル No	収容物	発生場 所	格納日	HIC表面 線量率 (mSv/h)	評価に用い たSr濃度 Bq/cm ³	HIC表面 吸収線量 kGy/y (減衰補正前)	5000 k Gy 到達期間	5000 k Gy 到達時期
PO641180- 146	Sr吸着材	既設 ALPS	2015/4/29	22.56	1.0E+8	43	15年9ヶ月	2031年4月

【参考】PO641180-146が受入れた吸着材①の吸着量評価

	通水量 m ³	既設ALPS(A) 前処理出口 全β ^{※1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]		通水量 m ³	既設ALPS(A) 前処理出口 全β ^{※1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]		通水量 m ³	既設ALPS(A) 前処理出口 全β ^{※1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]
2015/1/22	106	6.8E+03	7.2E+11	2015/2/25	262	4.4E+03	1.1E+12	2015/3/29	0	6.9E+03	0.0E+00
2015/1/23	229	8.2E+03	1.9E+12	2015/2/26	198	4.4E+03	8.7E+11	2015/3/30	200	6.9E+03	1.4E+12
2015/1/24	228	8.2E+03	1.9E+12	2015/2/27	0	4.4E+03	0.0E+00	2015/3/31	205	6.9E+03	1.4E+12
2015/1/25	172	8.2E+03	1.4E+12	2015/2/28	0	4.4E+03	0.0E+00	2015/4/1	183	6.9E+03	1.3E+12
2015/1/26	202	8.0E+03	1.6E+12	2015/3/1	0	4.4E+03	0.0E+00	2015/4/2	16	6.9E+03	1.1E+11
2015/1/27	192	8.0E+03	1.5E+12	2015/3/2	0	4.4E+03	0.0E+00	2015/4/3	239	1.8E+03	4.3E+11
2015/1/28	187	1.1E+04	2.1E+12	2015/3/3	144	4.4E+03	6.3E+11	2015/4/4	163	1.8E+03	2.9E+11
2015/1/29	190	1.1E+04	2.1E+12	2015/3/4	217	4.5E+03	9.7E+11	2015/4/5	197	1.8E+03	3.5E+11
2015/1/30	157	7.9E+03	1.2E+12	2015/3/5	207	4.5E+03	9.3E+11	2015/4/6	153	1.8E+03	2.7E+11
2015/1/31	112	7.9E+03	8.8E+11	2015/3/6	252	5.1E+03	1.3E+12	2015/4/7	152	1.8E+03	2.7E+11
2015/2/1	137	7.9E+03	1.1E+12	2015/3/7	203	5.1E+03	1.0E+12	2015/4/8	208	4.8E+02	1.0E+11
2015/2/2	118	1.2E+04	1.4E+12	2015/3/8	225	5.1E+03	1.2E+12	2015/4/9	59	4.8E+02	2.9E+10
2015/2/3	83	1.2E+04	9.6E+11	2015/3/9	221	1.1E+03	2.5E+11	2015/4/10	250	2.5E+03	6.1E+11
2015/2/4	0	1.2E+04	0.0E+00	2015/3/10	160	1.1E+03	1.8E+11	2015/4/11	54	2.5E+03	1.3E+11
2015/2/5	194	1.2E+04	2.2E+12	2015/3/11	186	1.1E+03	2.0E+11	2015/4/12	180	2.5E+03	4.4E+11
2015/2/6	158	1.1E+04	1.8E+12	2015/3/12	151	1.1E+03	1.6E+11	2015/4/13	220	8.1E+03	1.8E+12
2015/2/7	227	1.1E+04	2.6E+12	2015/3/13	80	1.1E+03	8.6E+10	2015/4/14	103	8.1E+03	8.3E+11
2015/2/8	206	1.1E+04	2.4E+12	2015/3/14	0	1.1E+03	0.0E+00	2015/4/15	91	8.1E+03	7.4E+11
2015/2/9	113	1.1E+04	1.3E+12	2015/3/15	183	1.1E+03	2.0E+11	2015/4/16	0	8.1E+03	0.0E+00
2015/2/10	0	1.1E+04	0.0E+00	2015/3/16	250	1.1E+03	2.7E+11	2015/4/17	6	8.1E+03	4.9E+10
2015/2/11	139	7.2E+03	1.0E+12	2015/3/17	242	1.1E+03	2.6E+11	2015/4/18	0	8.1E+03	0.0E+00
2015/2/12	231	7.2E+03	1.7E+12	2015/3/18	106	1.1E+03	1.1E+11	2015/4/19	172	8.1E+03	1.4E+12
2015/2/13	201	6.9E+03	1.4E+12	2015/3/19	0	1.1E+03	0.0E+00	2015/4/20	217	1.1E+04	2.4E+12
2015/2/14	150	6.9E+03	1.0E+12	2015/3/20	180	6.7E+03	1.2E+12	2015/4/21	212	1.1E+04	2.3E+12
2015/2/15	113	6.9E+03	7.8E+11	2015/3/21	244	6.7E+03	1.6E+12	2015/4/22	166	3.5E+03	5.8E+11
2015/2/16	36	9.2E+03	3.3E+11	2015/3/22	231	6.7E+03	1.5E+12	2015/4/23	193	3.5E+03	6.7E+11
2015/2/17	109	9.2E+03	1.0E+12	2015/3/23	249	7.3E+03	1.8E+12	2015/4/24	182	1.2E+03	2.2E+11
2015/2/18	62	9.2E+03	5.7E+11	2015/3/24	228	7.3E+03	1.7E+12	2015/4/25	171	1.2E+03	2.0E+11
2015/2/19	0	9.2E+03	0.0E+00	2015/3/25	222	6.9E+03	1.5E+12	2015/4/26	180	1.2E+03	2.1E+11
2015/2/20	153	3.6E+03	5.4E+11	2015/3/26	90	6.9E+03	6.2E+11	2015/4/27	169	5.1E+02	8.6E+10
2015/2/21	160	3.6E+03	5.7E+11	2015/3/27	0	6.9E+03	0.0E+00	2015/4/28	186	5.1E+02	9.5E+10
2015/2/22	207	3.6E+03	7.4E+11	2015/3/28	19	6.9E+03	1.3E+11	2015/4/29	26	5.1E+02	1.3E+10
2015/2/23	7	3.6E+03	2.5E+10								
2015/2/24	260	3.6E+03	9.2E+11								

計7.8E+13Bq

※1 黄色塗りつぶし箇所は当該日の分析値、それ以外の箇所は至近の分析値を記載

【参考】PO641180-146が受入れた吸着材②の吸着量評価

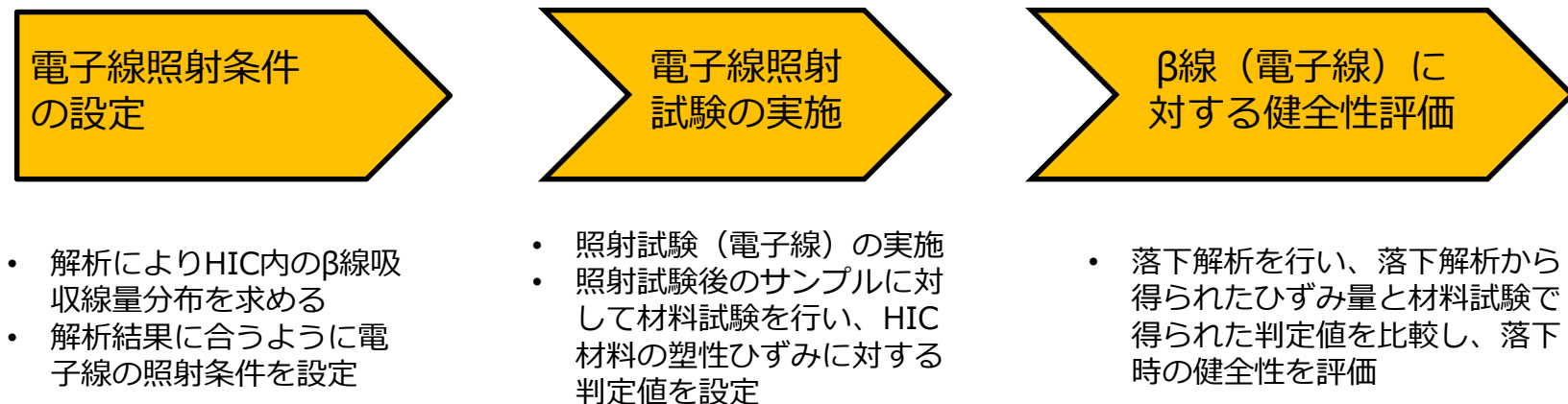
	通水量 m ³	既設ALPS(B) 前処理出口 全β ^{*1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]		通水量 m ³	既設ALPS(B) 前処理出口 全β ^{*1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]		通水量 m ³	既設ALPS(B) 前処理出口 全β ^{*1} [Bq/cm ³]	吸着量 [Bq]
2014/12/6	0	1.2E+03	0.0E+00	2015/1/4	179	7.0E+03	1.3E+12	2015/2/3	205	5.3E+03	1.1E+12
2014/12/7	143	1.2E+03	1.7E+11	2015/1/5	202	1.1E+04	2.3E+12	2015/2/4	204	1.5E+04	3.2E+12
2014/12/8	171	5.5E+03	9.3E+11	2015/1/6	184	1.1E+04	2.0E+12	2015/2/5	237	1.5E+04	3.7E+12
2014/12/9	200	5.5E+03	1.1E+12	2015/1/7	166	1.4E+04	2.3E+12	2015/2/6	153	1.5E+04	2.4E+12
2014/12/10	85	5.5E+03	4.6E+11	2015/1/8	101	1.4E+04	1.4E+12	2015/2/7	220	1.5E+04	3.4E+12
2014/12/11	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/9	0	1.4E+04	0.0E+00	2015/2/8	233	1.5E+04	3.6E+12
2014/12/12	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/10	219	1.4E+04	3.0E+12	2015/2/9	234	1.3E+04	3.1E+12
2014/12/13	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/11	248	1.4E+04	3.4E+12	2015/2/10	122	1.3E+04	1.6E+12
2014/12/14	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/12	241	1.4E+04	3.3E+12	2015/2/11	137	8.4E+03	1.1E+12
2014/12/15	85	5.5E+03	4.6E+11	2015/1/13	213	1.4E+04	3.0E+12	2015/2/12	166	8.4E+03	1.4E+12
2014/12/16	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/14	144	9.5E+03	1.4E+12	2015/2/13	147	9.8E+03	1.4E+12
2014/12/17	0	5.5E+03	0.0E+00	2015/1/15	216	9.5E+03	2.1E+12	2015/2/14	133	9.8E+03	1.3E+12
2014/12/18	186	5.5E+03	1.0E+12	2015/1/16	198	9.3E+03	1.8E+12	2015/2/15	63	9.8E+03	6.2E+11
2014/12/19	197	1.2E+04	2.5E+12	2015/1/17	230	9.3E+03	2.1E+12	2015/2/16	0	9.8E+03	0.0E+00
2014/12/20	123	1.2E+04	1.5E+12	2015/1/18	218	9.3E+03	2.0E+12	2015/2/17	153	9.8E+03	1.5E+12
2014/12/21	233	1.2E+04	2.9E+12	2015/1/19	188	7.1E+03	1.3E+12	2015/2/18	238	9.2E+03	2.2E+12
2014/12/22	216	9.5E+03	2.0E+12	2015/1/20	206	7.1E+03	1.5E+12	2015/2/19	227	9.2E+03	2.1E+12
2014/12/23	225	9.5E+03	2.1E+12	2015/1/21	198	8.2E+03	1.6E+12	2015/2/20	86	9.2E+03	7.9E+11
2014/12/24	144	4.9E+03	7.1E+11	2015/1/22	161	8.2E+03	1.3E+12	2015/2/21	0	9.2E+03	0.0E+00
2014/12/25	170	4.9E+03	8.4E+11	2015/1/23	169	9.9E+03	1.7E+12	2015/2/22	140	9.2E+03	1.3E+12
2014/12/26	203	4.9E+03	1.0E+12	2015/1/24	167	9.9E+03	1.7E+12	2015/2/23	11	9.2E+03	1.0E+11
2014/12/27	179	4.9E+03	8.8E+11	2015/1/25	124	9.9E+03	1.2E+12	2015/2/24	257	9.2E+03	2.4E+12
2014/12/28	257	4.9E+03	1.3E+12	2015/1/26	3	9.9E+03	3.0E+10	2015/2/25	266	4.3E+03	1.1E+12
2014/12/29	76	4.9E+03	3.8E+11	2015/1/27	150	9.9E+03	1.5E+12	2015/2/26	192	4.3E+03	8.2E+11
2014/12/30	148	4.9E+03	7.3E+11	2015/1/28	180	1.4E+04	2.6E+12	2015/2/27	233	5.0E+03	1.2E+12
2014/12/31	233	1.1E+04	2.5E+12	2015/1/29	148	1.4E+04	2.1E+12	2015/2/28	258	5.0E+03	1.3E+12
2015/1/1	219	1.1E+04	2.3E+12	2015/1/30	106	5.3E+03	5.6E+11	2015/3/1	191	5.0E+03	9.6E+11
2015/1/2	296	7.0E+03	2.1E+12	2015/1/31	84	5.3E+03	4.5E+11	2015/3/2	214	5.0E+03	1.1E+12
2015/1/3	191	7.0E+03	1.3E+12	2015/2/1	0	5.3E+03	0.0E+00	2015/3/3	131	5.0E+03	6.6E+11
				2015/2/2	0	5.3E+03	0.0E+00				

※1 黄色塗りつづし箇所は当該日の分析値、それ以外の箇所は至近の分析値を記載

添付資料

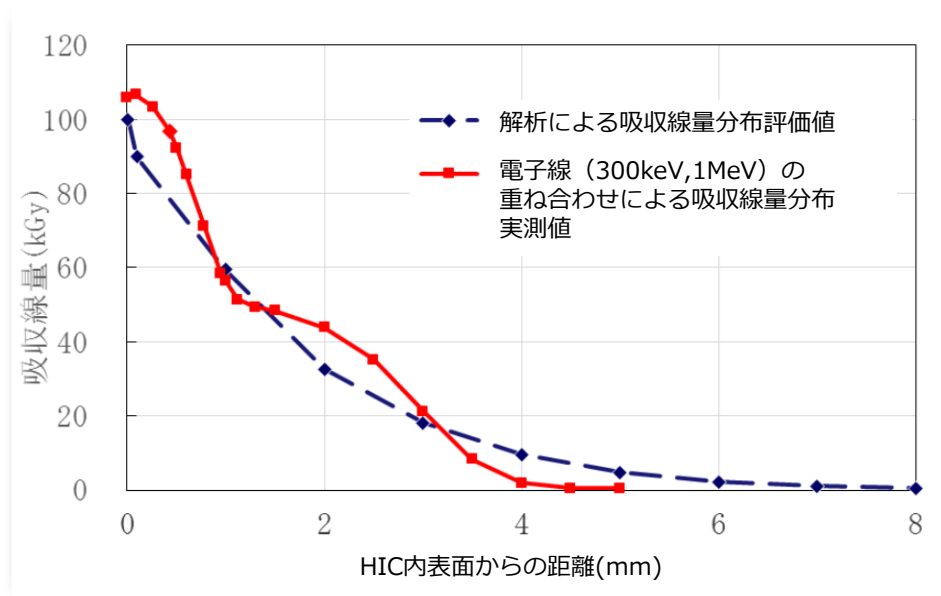
- HIC材料（ポリエチレン）への影響が大きいβ線に対する影響評価として、照射影響を受けたHICの落下に対する健全性評価を以下のフローにて実施
- 照射試験では、電子線によりβ線の照射条件を模擬

β線（電子線）に対する健全性確認のフロー



- HIC収容物の主要なβ核種は、Sr-90及びSr-90の娘核種であるY-90
- β線（電子線）は、透過性が低くHIC内のSr-90、Y-90から発生するβ線のHIC内での吸収線量はHIC内表面近傍で高く、HIC内表面からの距離に応じて低くなる
- よって、電子線の照射試験条件を設定するにあたり、解析※¹によりHICの内容物からβ線と制動X線によるHIC内部の吸収線量分布を評価し、吸収線量分布の解析結果をフィットするように300keVと1MeVのエネルギーの電子線の重ね合わせによる照射条件を設定

※1 解析条件はp12参照



厚さ0mmの吸収線量を100kGyとした際の解析結果と実測値の比較

- 前頁の照射条件にてHICポリエチレンから切出した試験片に電子線を照射し、照射後の試験片に対し材料試験を実施
- 照射後の材料試験
 - 材料試験を行い、引張り・曲げに対してHIC材料（ポリエチレン）に破断が生じないと判断し得る塑性ひずみを求める。
 - 上記より求めた塑性ひずみを落下解析において算出されるHIC材料の引張り、曲げの塑性ひずみに対して、HIC材料が健全であるか評価するための判定値とする。
 - 落下解析は、HIC材料（ポリエチレン）が収容する放射性物質によりHIC内表面において5,000kGyの照射影響を受けた場合の材料特性の変化を解析上考慮して実施するため、材料試験においても5,000kGyの照射を行った試験片を用いて試験を実施。

✓ 高速引張り試験

＜試験の目的＞

落下を想定したひずみ速度で試験片に引張りの力を加え、破断時の塑性ひずみから判定値を設定する

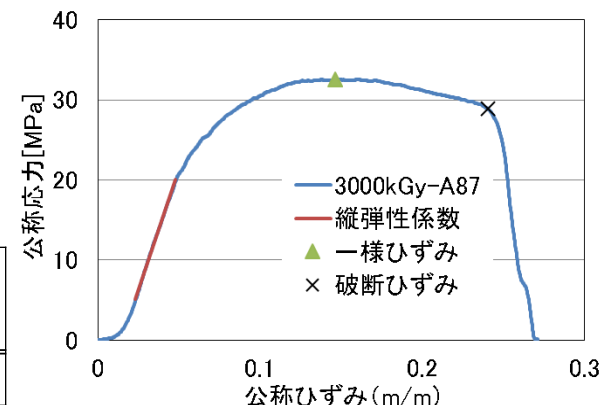
＜試験条件＞

- 試験装置 : オリエンテック社製 テンシロン計装化衝撃試験機 (MODEL UTM-5)
- 試験片形状 : ダンベルJIS K 7162 1BA形
- 試験速度 : 1.0m/sec (ひずみ速度20/sec)

＜引張り試験結果＞

試験の結果、各積算吸収線量における破断時の許容値は以下の通り。

照射面における積算吸収線量	未照射(参考)	3,000kGy	4,000kGy	5,000kGy
許容値(一様ひずみ)	9.2%	8.2%	9.6%	8.2%



電子線照射試験の実施

●照射後の材料試験

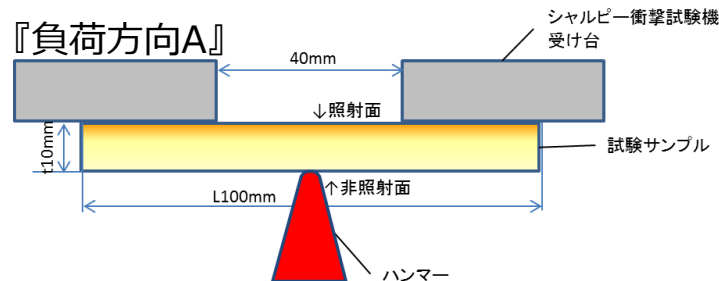
➤ 高速曲げ試験

<試験の目的>

落下を想定したひずみ速度で試験片に曲げの力を加え、破断時の塑性ひずみから判定値を設定する

<試験条件>

- 試験装置 : 東京衡機製 シャルピー衝撃試験機
- 試験片形状 : L100×W12×t10mm
- 持ち上げ角度 : 30°
- 荷重負荷方向 : 下記の2ケースで試験を実施

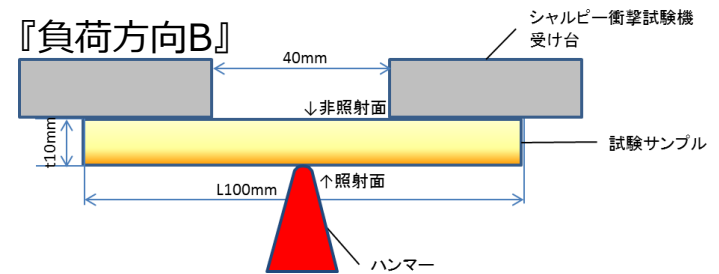


HIC外面（非照射面）から力が加わり照射面が曲げにより周方向に引っ張られる。試験後の照射面のひずみ量を測定

<試験結果>

○負荷方向Aの試験結果：いずれの条件において、照射面に割れが発生した。

○負荷方向Bの試験結果：いずれの条件において、非照射面に割れは発生しなかった。



HIC内面（照射面）から力が加わり非照射面が曲げにより周方向に引っ張られる。試験後の非照射面のひずみ量を測定

	未照射(参考)	3,000kGy	4,000kGy	5,000kGy
照射面のひずみ(負荷方向A)	41.6%	19.2%	12.2%	11.0%
非照射面のひずみ(負荷方向B)	41.6%	54.0%	40.3%	42.2%

安全側に負荷方向Aのひずみを許容値

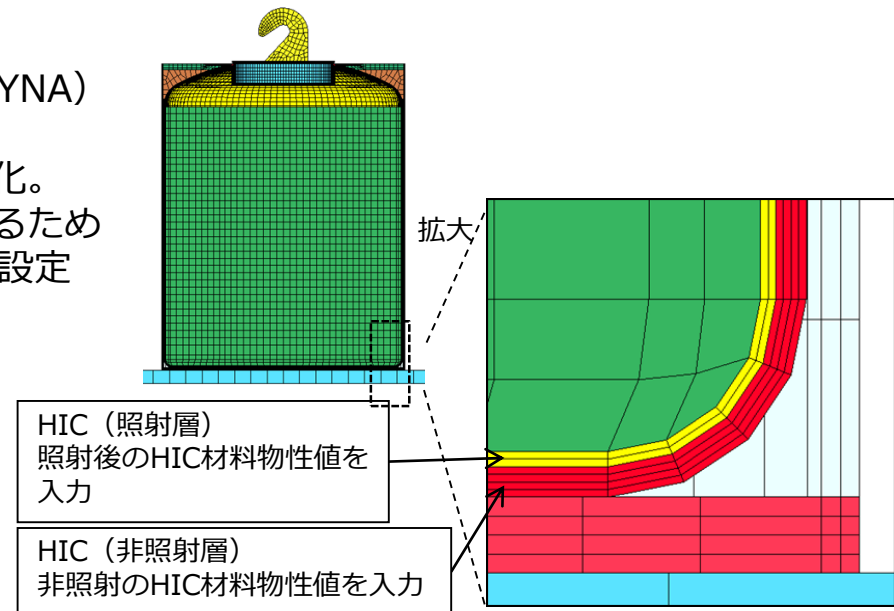
HICの健全性評価

● 落下解析の実施

HICに関し、長期保管後（照射劣化後）の輸送・取り出しの際に万一落下することを想定した落下解析を実施。

➤ 解析条件

- ✓ 解析コード：汎用有限要素法解析コード（LS-DYNA）
- ✓ 解析モデル：
 - 右図に示すようにHIC容器・補強体等をモデル化。
 - HIC容器の材料物性値は照射後の状況を反映するため照射層・非照射層に分け、それぞれ材料物性を設定



➤ 評価ケース

HICの想定される落下ケースとしては、垂直落下、角部落下、傾斜落下が挙げられる。傾斜落下については、傾斜落下防止対策を実施済みであり、垂直落下、角部落下のうち最も厳しい条件を設定。

評価条件	落下高さ [m]	落下対象	備考
垂直落下	9.5	緩衝体 (ゴム80mm)	<ul style="list-style-type: none"> • 垂直落下における最も厳しい条件 • セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）
角部落下	3.1	コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> • 角部落下における最も厳しい条件 • セシウム吸着塔一時保管施設（第二施設）

HICの健全性評価

● 落下解析結果

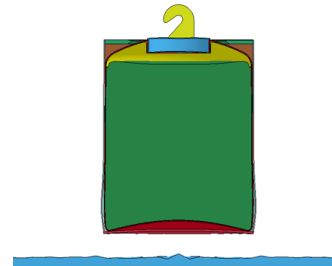
- 落下解析により得られた最大ひずみがβ線を5,000kGy照射した材料の許容ひずみ未満であるため、落下によりHICが破損しないと評価。

ケース	部位		ひずみ %				応力種
			未照射		5,000 kGy		
			解析値	許容値	解析値	許容値	
垂直 落下	一般胴部	内表面	2.0	9.2	2.2	8.2	膜
		外表面	1.9		1.9		
	底面コーナ一部	内表面	5.1	41.6	4.3	11.0	曲げ
		外表面	4.1		3.2		
	底面中央部	内表面	2.7	41.6	2.1	11.0	曲げ
		外表面	8.7 *1		7.3 *1		
角部 落下	一般胴部	内表面	0.1	9.2	0.2	8.2	膜
		外表面	0.1		0.1		
	胴下部	内表面	4.6	41.6	4.4	11.0	曲げ
		外表面	4.5		4.5		
	底面コーナ一部	内表面	8.4	41.6	7.8	11.0	曲げ
		外表面	7.0		7.3		

2.2 膜ひずみの最大値
7.8 曲げひずみの最大値

*1:圧縮方向のひずみのため評価対象外

垂直落下
 落下高さ:9.5m
 初速:13.7m/s
 落下対象:緩衝体



角部落下
 落下高さ:3.1m
 初速:7.8m/s
 落下対象:カルバート

