

# 高性能容器(HIC)の長期健全性確認について

2018年3月23日

**TEPCO**

---

東京電力ホールディングス株式会社

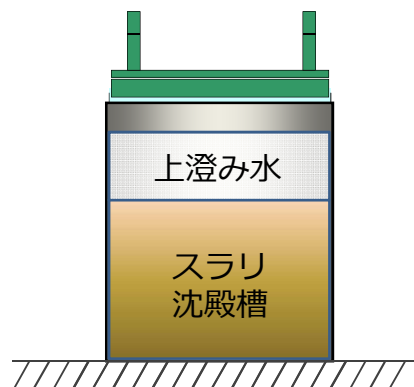
- 2月20日に実施した原子力規制庁殿との、「高性能容器の使用状況等を考慮した健全性の確認に係る面談」を受け、HICのβ線照射劣化に対し以下について報告する。
  1. 静置時に健全性評価について
  2. 落下時の健全性評価及び加速照射の影響について
  3. 線源強度の妥当性及び健全性を保てるHIC保管期間について

# HIC静置時及び落下時の健全性評価について

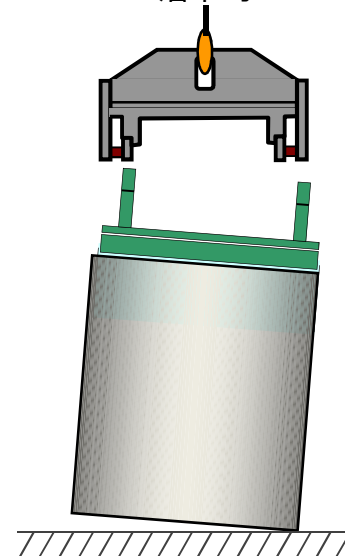
- HIC静置時及び落下時の破壊要因を想定し、各々の要因に対する健全性評価を実施。
- 評価の結果、いずれの状態においても5000kGyのβ線照射により破損しないことを確認。

状態	要因	概要	頁
通常保管時	スラリ自重	発生応力が弾性域にあることを確認	P3
	クリープ	クリープが発生しても、破断に至る前にひずみが鋼製容器に拘束	P4
	クラック	スラリ自重及びクリープ評価の結果より発生しないと評価	P4
落下時	衝撃荷重	解析の結果、HICが破壊しないことを確認	P5
	クラック	落下時はクラックが発生していないためクラックを考慮した評価は不要であり、また落下したHICは未使用HICに取替えるため、落下により発生するクラック評価も不要	P5

通常保管時  
(スラリが上澄み水と沈殿槽に分離)



落下時



# 通常保管時における健全性確認について(スラリ自重)

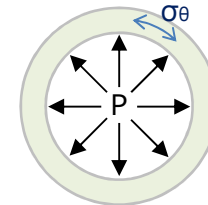


## ■ 静置時の健全性確認について

### スラリ自重

- スラリ自重によりHICに発生する円周応力 $\sigma_\theta$ を算出。

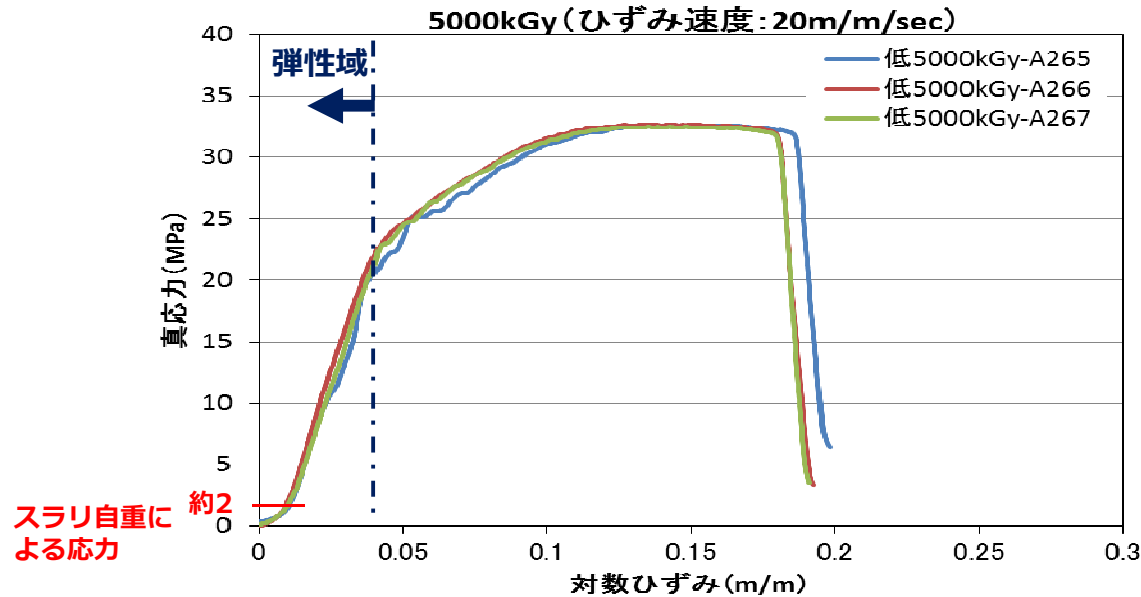
$$\sigma_\theta = \frac{RP}{t} \quad R: \text{半径 [m]} \quad P: \text{圧力 [MPa]}, \quad t: \text{板厚 [m]}$$



HICに発生する円周応力

ここで、 $R=0.73$  [m]  $P=0.024$  [MPa],  $t=0.011$  [m]であり、 $\sigma_\theta$ は約2 [MPa]となる。

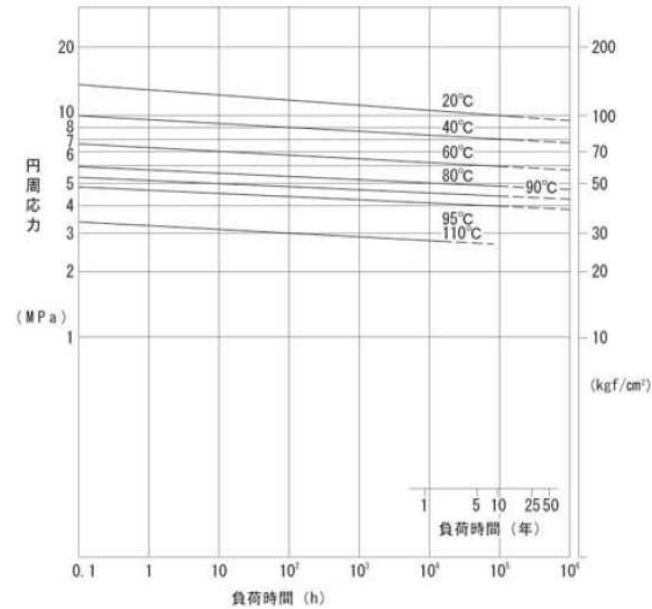
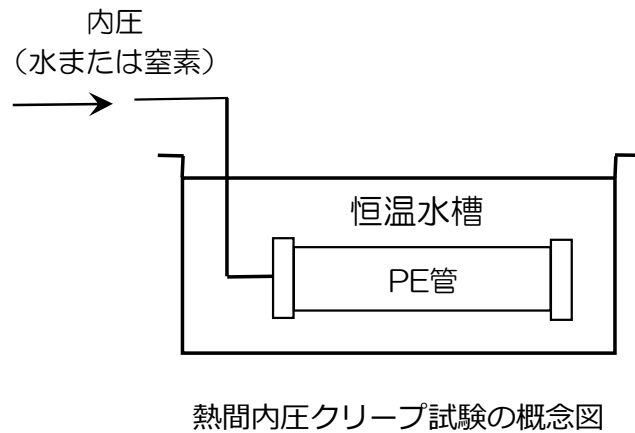
- $\beta$ 線5000 kGy照射した試験片の応力-ひずみ曲線より、スラリ自重による応力は**弾性域**にあるため、スラリ自重に対し静置時は健全性を維持。



照射試験片の応力ひずみ線図

## クリープ

- HIC保管条件（発生円周応力約2MPa、40℃）ではクリープ破壊は発生しないと評価。また、クリープによりひずみが増大しても、HICの変形は外側の鋼製容器に拘束されるため問題無いと評価。



クリープ試験結果

架橋ポリエチレン管工業会技術資料より

## クラック

- スラリ自重、クリープ評価より、クラックが発生しないと評価。
- また、HICの製造は高温の型に材料を流し込み冷却させて成形するモールド方式を採用しており、製造に起因するクラックは発生しないと推定。また、目視にてクラックが発生していないことを確認。

# 落下時における健全性評価について

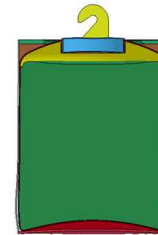
- 落下解析により得られた最大ひずみがβ線を5000kGy照射した材料の許容ひずみ未満であるため、落下によりHICが破損しないと評価。
- 落下時はクラックが発生していないためクラックを考慮した評価は不要。
- なお、万が一落下した際は念のためHICを未使用のものに変更→**落下により発生するクラック評価は不要**

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		
	底面コーナー部	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 <sup>*1</sup>		7.3 <sup>*1</sup>		
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		
	底面コーナー部	内表面	8.4	41.6	7.8	11.0	曲げ
		外表面	7.0		7.3		

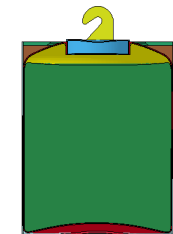
2.2 膜ひずみの最大値  
7.8 曲げひずみの最大値

\*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



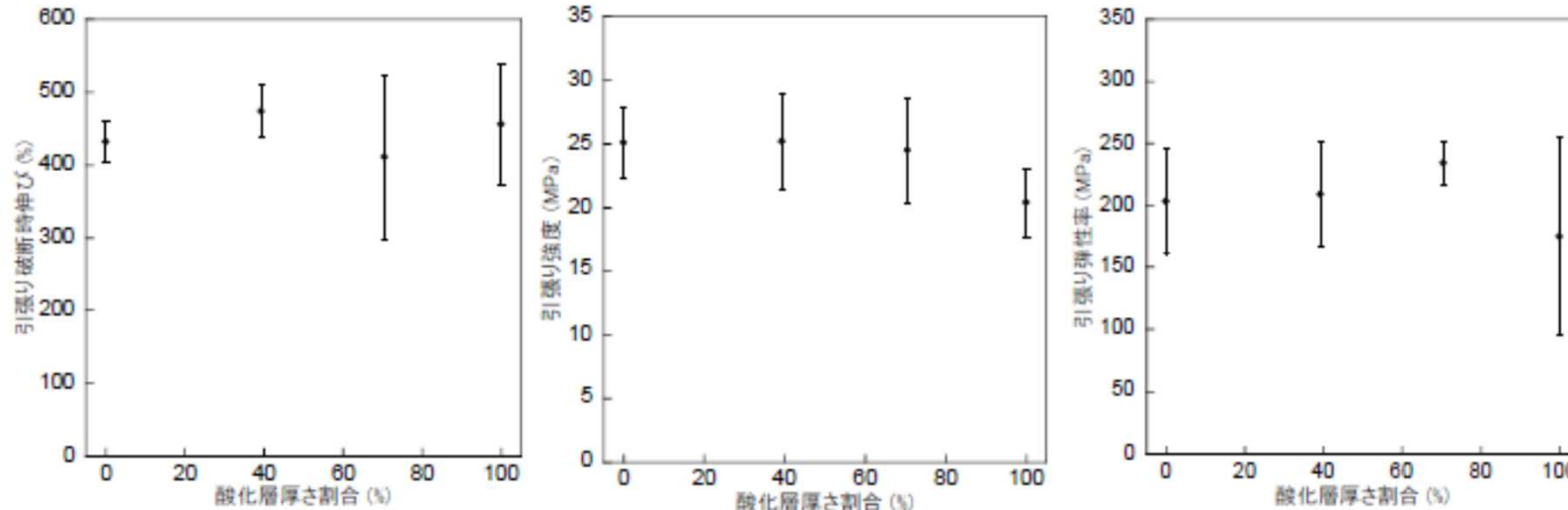
角部落下  
 落下高さ:3.1m  
 初速:7.8m/s  
 落下対象:カルバート



# 加速照射による影響について

- 本評価の試験片は電子線を加速照射して実機HICの劣化状況を再現した上で材料試験を実施し、材料の許容値を設定している。
- ポリエチレンの放射線劣化は主に酸化に起因している(スライド12参照)
- 加速照射により、HIC表面の酸化層厚さは薄くなる結果となるが、下図に示す通りポリエチレンを使用した試験で、引張り特性に対する酸化層厚さの影響は小さいことを確認した。
- 以上より、加速照射された試験片を用いて許容値を評価しても、問題ないと考えられる。

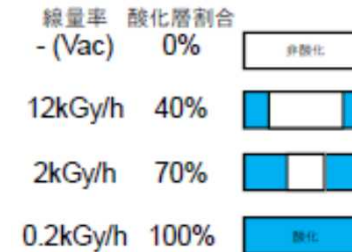
## 酸化層厚さ割合に対し、各引張り特性に顕著な違いは見られない



照射条件

照射線量率	0.2kGy/h	2kGy/h	6kGy/h	12kGy/h
酸化層厚さ×2 (mm)	1.163	0.671	0.404	0.379
シート平均厚さ (mm)	0.94	0.95	0.94	0.97
酸化層割合 (%)	124*	71	43	39

\*完全酸化とする

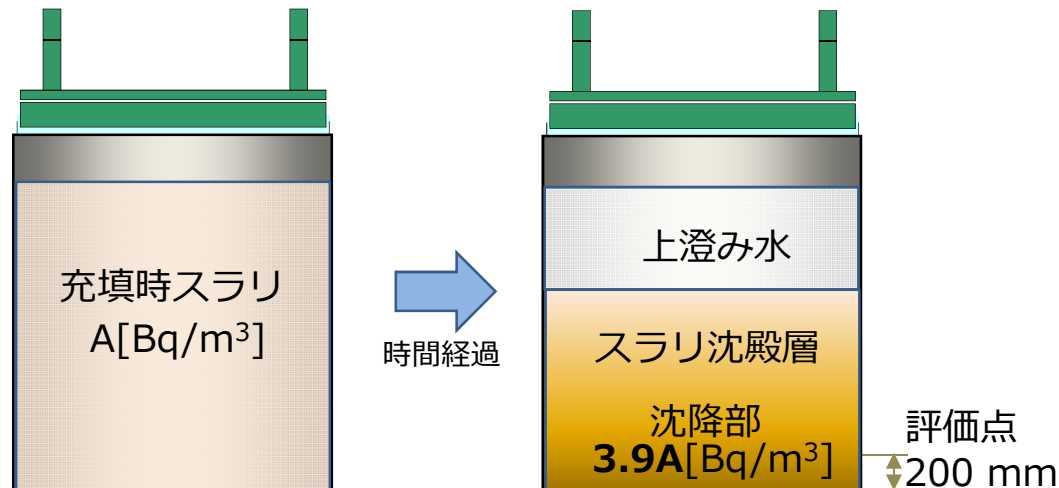


量子科学技術研究開発機構の「ポリエチレンの放射線劣化に関する試験結果について」より引用  
架橋高密度ポリエチレンを使用

# β線吸収線量5000kGyに対するHIC保管期間について

- 炭酸塩スラリ沈降を考慮した線源強度を採用
  - HICに充填された炭酸塩スラリは、保管後上澄み水とスラリ沈殿層に分離され、かつスラリ沈殿層の線源強度は沈降の影響により下層部の方が高くなる。
  - 実機の下層部より採取したスラリから線源強度を求め、HICが吸収線量5000KGyに到達する保管期間を評価した結果、Sr-90濃度が最大の炭酸塩スラリHICは、約10年の保管期間で吸収線量5000kGyに到達することを確認した。→**落下に対し10年間健全性を有することを確認。**
  - なお、5000kGyの到達年数が保管期間10年の約20基に対しては、H32年より実施予定の安定化処理を優先的に実施検討

Sr-90濃度 最大HIC	Sr-90濃度 (3.9A)	吸収線量5000kGy に達する保管期間
PO646393-190	2.0E+14Bq/m <sup>3</sup>	10年





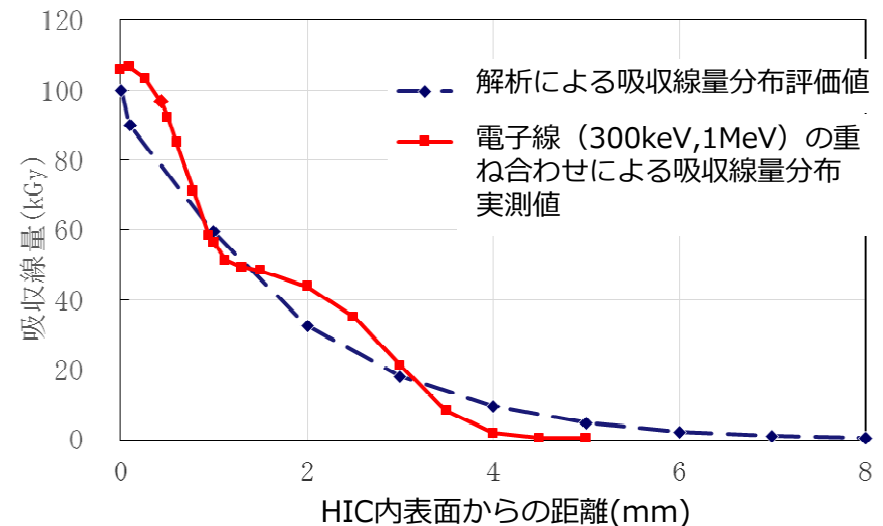
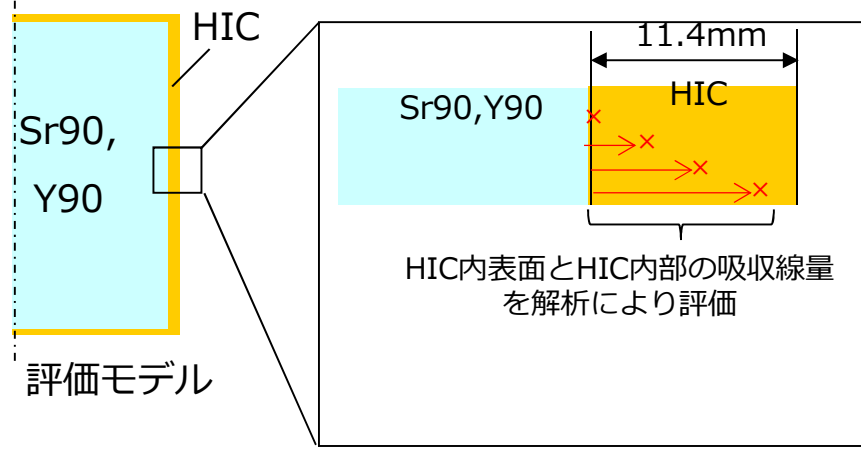
## <参考>電子線照射条件

### ■ 電子線照射試験条件の設定

- RO濃縮塩水に含まれるβ核種のうち、主要なβ核種は、Sr90及びSr90の娘核種であるY90である
- β線（電子線）は、透過性が低くHIC内のSr90、Y90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っては、解析により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

#### <HIC内部の吸収線量分布の評価条件>

考慮する核種	Sr90、Y90
評価線種	β線（電子線）及び制動X線
解析コード	MCNP5



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

## <参考>電子線照射後の材料試験① -高速引張り試験-

- 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。
- 上記に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5000kGy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5000kGy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

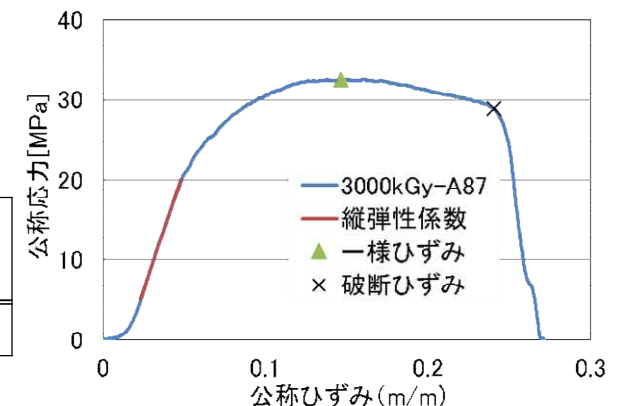
#### <試験条件>

- 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%



## <参考>電子線照射後の材料試験② -高速曲げ試験-

### ■ 照射後の材料試験

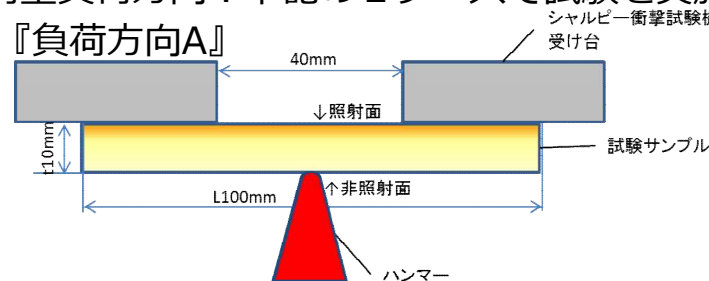
#### ➤ 高速曲げ試験

##### <試験の目的>

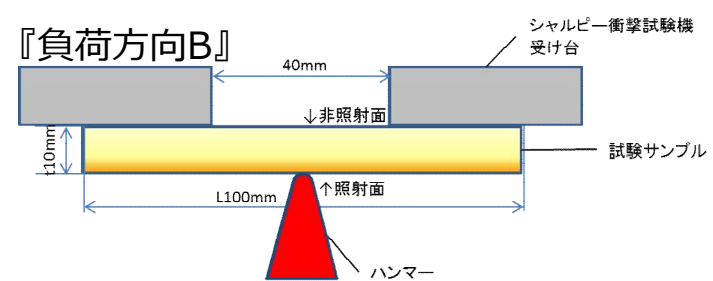
落下を想定したひずみ速度で試験片に曲げの力を加え、破断時の塑性ひずみから判定値を設定する

##### <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



『**荷重方向A**』  
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



『**荷重方向B**』  
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

##### <試験結果>

- 荷重方向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。
- 荷重方向Bの試験結果 : いずれの条件において、非照射面に割れの発生は無かった。

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

安全側に荷重方向Aのひずみを許容値

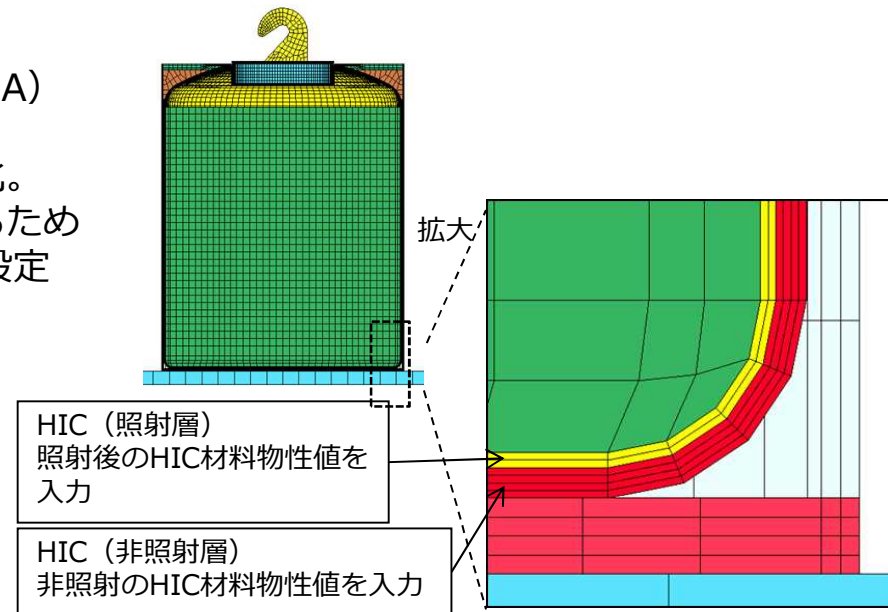
## <参考>落下解析試験条件

### ■ 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

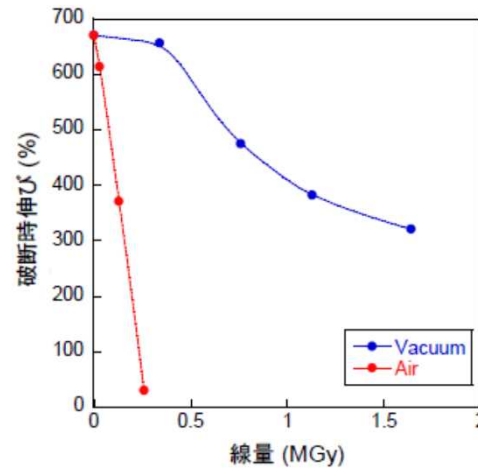
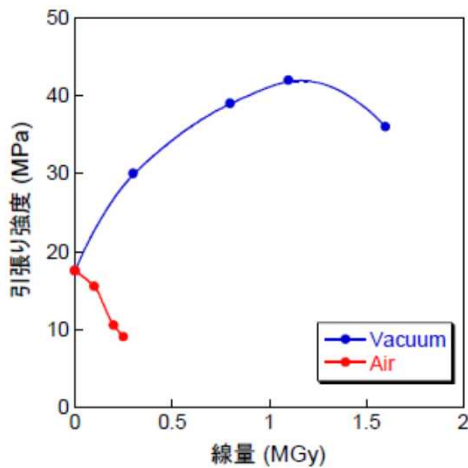
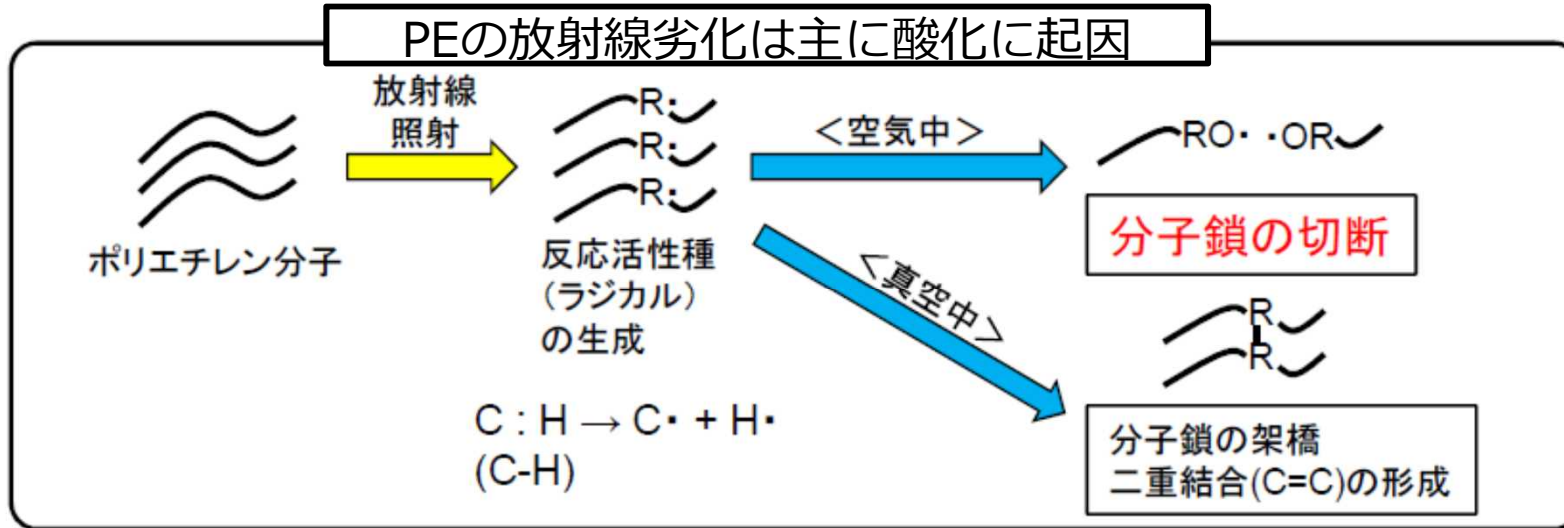
- 解析コード：汎用有限要素法解析コード（LS-DYNA）
- 解析モデル：
  - 右図に示すようにHIC容器・補強体等をモデル化。
  - HIC容器の材料物性値は照射後の状況を反映するため照射層・非照射層に分け、それぞれ材料物性を設定



#### ➤ 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"> <li>• 垂直落下における最も厳しい条件</li> <li>• セシウム吸着塔一時保管施設(第三施設)</li> </ul>
角部落下	3.1	コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 角部落下における最も厳しい条件</li> <li>• セシウム吸着塔一時保管施設(第二施設)</li> </ul>



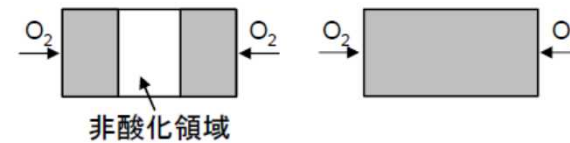
空气中では放射線劣化の影響大

■PEの放射線酸化

・放射線照射によりラジカルは均一に生成



・酸素は表面から供給され、ラジカルと反応



酸素の供給が追付かず  
ラジカル同士が再結合  
(≒真空中での照射)

量子科学技術研究開発機構の「ポリエチレンの放射線照射試験について」より引用

# 高性能容器(HIC)の長期健全性確認に係る コメント回答

2018.4.24

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, uppercase letters. It is positioned on the right side of the page, above a horizontal red line that spans the width of the page.

東京電力ホールディングス株式会社

## コメント1

線源強度を決めるために採取したスラリーについて、以下を説明すること。

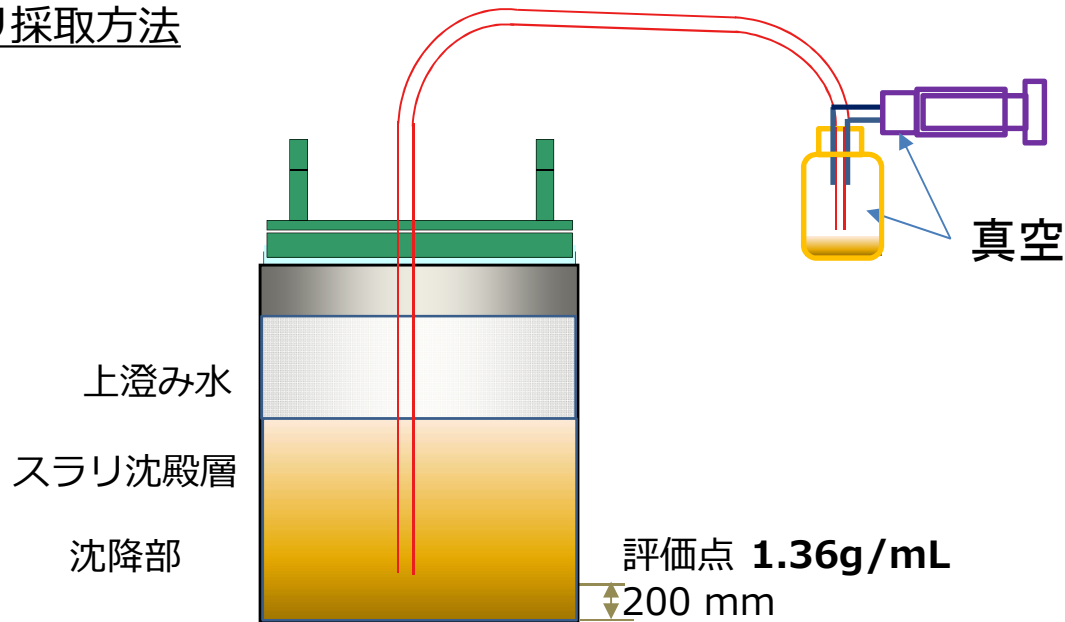
### ①スラリー採取方法、取得データ

#### ①採取方法、取得データについて

HIC内にチューブを挿入し、底部のスラリーを吸引により採取。採取したスラリーの重量を測定し、密度を算出。

複数のHICに対し、評価点の密度が1.23~1.36g/mLであることを確認。

#### スラリー採取方法





コメント1

線源強度を決めるために採取したスラリーについて、以下を説明すること。

②線源強度設定方法

②線源強度設定方法について

手順	評価例
<p>1 採取した底部の炭酸塩スラリーの密度から、沈降による濃縮倍率を算出。  <math>C = A \div B</math>                      A : 実測密度 (1.36g/mL) から求めた炭酸塩スラリー濃度(g/L)                      B : 汚染水のCaおよびMg濃度から求めたHIC内均一時の炭酸塩スラリー濃度(g/L)                      C : 濃縮倍率</p>	<p>A : 約600(g/L)                      B : 約155(g/L)                      C : 約3.9</p>
<p>2 炭酸塩スラリーによるHICの表面吸収線量率解析結果※から、HIC内受入時のSr濃度、濃縮倍率を考慮して線源強度を算出。  <math>G = D \times E \div F \times C</math>                      D : 炭酸塩スラリーによるHICの表面吸収線量率解析結果(Gy/h)                      E : 入口全ベータと処理量によるHIC内のSr濃度(Bq/m<sup>3</sup>)                      F : HICの表面吸収線量率解析に用いたスラリーSr濃度(Bq/m<sup>3</sup>)                      G : HICの表面吸収線量率 (線源強度) (Gy/h)                      ※ : 2018.3.23面談資料p9&lt;参考&gt;電子線照射条件</p>	<p>D : 約3.9(Gy/h)                      E : 5.2E+13(Bq/m<sup>3</sup>)                      F : 1.34E+13(Bq/m<sup>3</sup>)                      G : 約59(Gy/h)</p>



### コメント1

線源強度を決めるために採取したスラリについて、以下を説明すること。

③沈殿槽の濃度勾配評価方法

④沈降速度データ

### ③濃度勾配評価方法、④沈降速度データについて

濃度勾配、及び沈降速度データを用いて評価はしていない。

ただし、保管期間が1000日以上のHIC底部のスラリを採取することで十分沈降した状態のスラリが採取できると考えている。

## 2. 線源強度が高いHICについて

### コメント2

線源強度が高い約20基のHICの特定方法を示すこと。

各HICに対して、コメント1-②の回答（P2）の方法で線源強度を評価した結果、保管期間が約10年で5000kGyに到達するものが約20基である。

### 3. HICの測定データについて

#### コメント3

スラリをHICに充填する際に、個別に測定したデータを示すこと。

- HICの長期健全性に関連して、以下について測定している。
  - 事前データ
    - 処理対象水の全ベータ濃度 (Bq/L)
    - 処理対象水のCaおよびMg等、水溶物質の濃度 (ppm)
  - HIC充填後確認データ
    - 対象HIC発生時の処理対象水の処理量 (m<sup>3</sup>)
    - サンプルング採取によるスラリー密度 (g/mL)

## 4. 漏えい対策について

### コメント4

HICの漏えい対策について、以下を説明すること。

- ①漏えい検知方法（微小漏えいの検知可否）
- ②万一漏えいした場合の対策
- ③ステンレス容器の水密性
- ④ステンレス容器の腐食

#### ■ 漏洩検知及び漏えい水回収運用について

- 巡視点検及び漏えい検知器により漏えいを早期検知を可能としている
- 汚染水であると判断した場合、漏えいHICを安全な場所まで移動した後、水中ポンプによりボックスカルバート内の漏えい水を空HICへ移送し、拭き取りにより除染を実施

#### ■ HICのステンレス補強体について

- HIC落下時の健全性確保のために、側面および下部を覆っているもので、水密性を要求しているものではない。そのため、腐食の評価はしていない

# 高性能容器(HIC)からの漏えい発生時における対応について

2018.6.15



東京電力ホールディングス株式会社

# 1. HIC破損要因に対する健全性評価

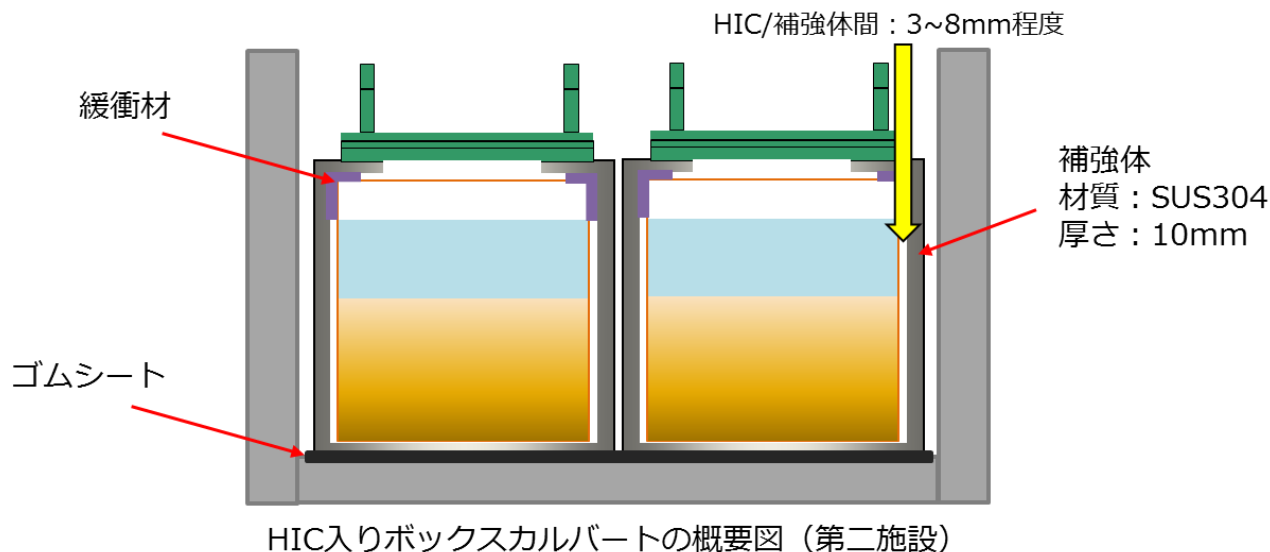
- 高性能容器（HIC）静置時及び落下時における破損要因に対して健全性評価を実施し、いずれの状態においても5000kGyのβ線照射により破損しないことを確認。

状態	要因	概要	頁(参考)
静置時	スラリ自重	発生応力が弾性域にあることを確認	P.5
	クリープ	HIC保管条件ではクリープ破壊は発生しないと評価 クリープが発生しても、破断に至る前にひずみが鋼製容器に拘束	P.6
	クラック	スラリ自重及びクリープ評価の結果より発生しないと評価	P.6
落下時	衝撃荷重	解析の結果、HICが破壊しないことを確認	P.7

- 上記評価結果より、通常保管中（静置時）におけるHICの破損はないと考えるが、一時保管施設（第二施設）にて保管中の特に放射能濃度の高い17基のHICに対して、破損により漏えいが発生した場合の対応方針について検討を実施。

## 2. 漏えい発生時の早期検知性

- 以下の理由から、HICから補強体内の微小漏えいを検知することは困難である。
  - HICから漏えいが発生した場合、漏えい物は補強体内に留まる。しかし、HICと補強体の間には3~8mmの空間しか存在しないため、漏えい量は微小となる。
  - HICと補強体間に溜まった漏えい物からはSr90を起因とするβ線を放出するが、β線は補強体を透過しない。また、補強体からは制動X線が放出されるが、HIC内のポリエチレン容器、スラリー、水から放出される制動X線の量よりも微小であることから、漏えいの発生による線量変化を感知することは困難である。
  - 補強体は取り外しができないため HIC/補強体間には検知器を取り付けられない。



- 基本的にHICからの漏えいは補強体内で留まるが、補強体外への漏えいが発生していないことをクレーンカメラによる目視確認にて定期的に監視する。
  - ボックスカルバートは壁と底板を一体とした構造であり、防水塗装も施していることから、補強体外への漏えいが発生しても漏えい物はボックスカルバート内に留まる。
- 一時保管施設においてボックスカルバート内で漏えいが発生した場合の対応手順書は制定済み。なお、漏えいの程度によっても回収手順は変わらない。（手順概要は次頁）



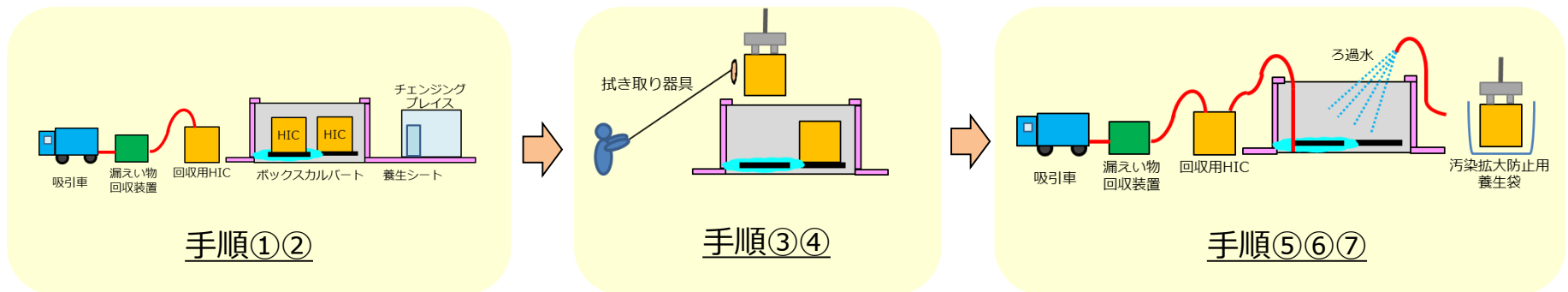
### 3. 漏えい発生時における対応手順

■ ボックスカルバート内でHICからの漏えいが発生した場合の対応手順は以下の通り。

手順	概要
①	漏えい箇所近傍にチェンジングプレイスを設け、周囲を養生する。
②	漏えい物回収装置、回収用HIC、吸引車、回収用ホースを所定の位置に配置する。
③	漏えいしたHICを遠隔操作にて吊り上げ、漏えいが止まっていることを確認する。漏えい継続中である場合はHICを降ろし、漏えい水の回収を行い当日作業は終え、翌日再度確認する。
④	HIC表面を遠隔で拭き取る。
⑤	HICを汚染拡大防止用養生袋で養生する。
⑥	HICを抜き取ったボックスカルバート内に回収用ホースを挿入し、漏えい物を回収する。スラリーの堆積量に応じてろ過水を補充し、洗浄および希釈を行いながら回収作業を行う。
⑦	ボックスカルバート内にろ過水を散水し回収した後、ボックスカルバート内のゴムシートを回収し、床面を養生する。

■ 手順書に基づいた漏えい物回収訓練を年に1度実施している。(P.8参考)

#### <漏えい物回収手順概要>



## 【参考】静置時における健全性確認について(スラリ自重)

### ■ 静置時の健全性確認について

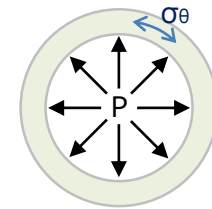
#### スラリ自重

- スラリ自重によりHICに発生する円周応力 $\sigma_\theta$ を算出。

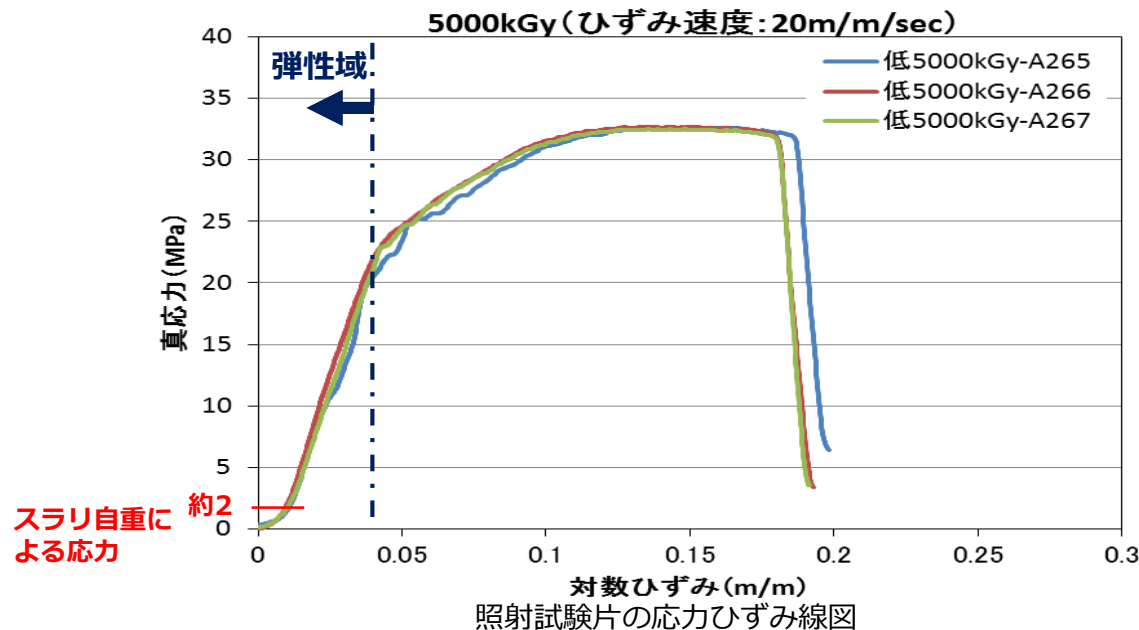
$$\sigma_\theta = \frac{RP}{t} \quad R: \text{半径 [m]} \quad P: \text{圧力 [MPa]}, \quad t: \text{板厚 [m]}$$

ここで、 $R=0.73$  [m]  $P=0.024$  [MPa],  $t=0.011$  [m]であり、 $\sigma_\theta$ は約2 [MPa]となる。

- $\beta$ 線5000 kGy照射した試験片の応力-ひずみ曲線より、スラリ自重による応力は**弾性域**にあるため、スラリ自重に対し静置時は健全性を維持。

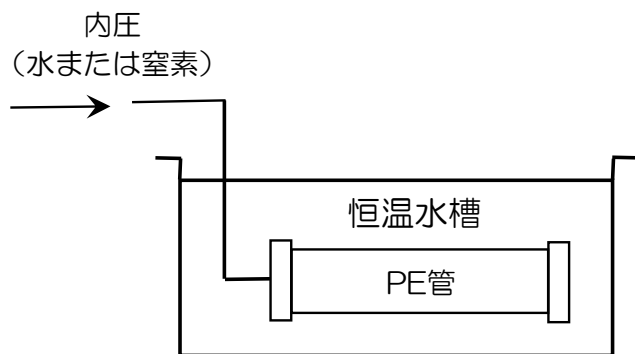


HICに発生する円周応力

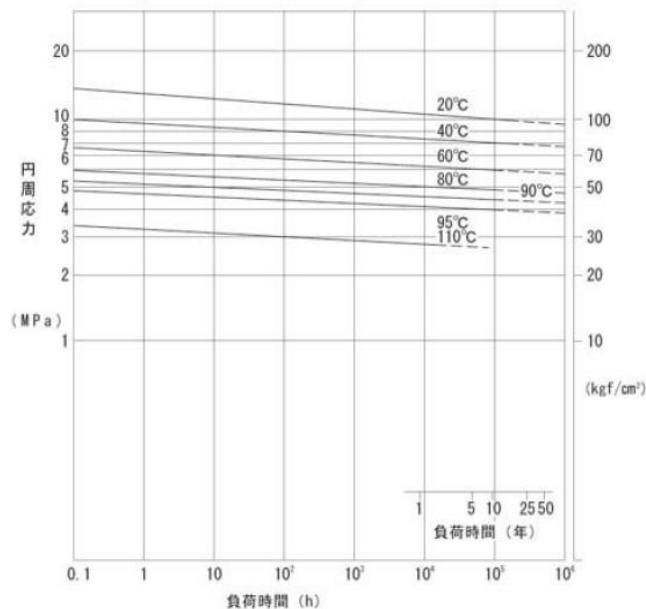


## クリープ

- HIC保管条件（発生円周応力約2MPa、40℃）ではクリープ破壊は発生しないと評価。また、クリープによりひずみが増大しても、HICの変形は外側の鋼製容器に拘束されるため問題無いと評価。



熱間内圧クリープ試験の概念図



クリープ試験結果

架橋ポリエチレン管工業会技術資料より

## クラック

- スラリ自重、クリープ評価より、クラックが発生しないと評価。
- また、HICの製造は高温の型に材料を流し込み冷却させて成形するモールド方式を採用しており、製造に起因するクラックは発生しないと推定。また、目視にてクラックが発生していないことを確認。

# 【参考】落下時における健全性評価について

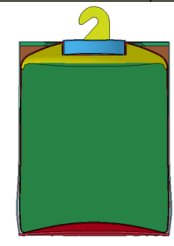
- 落下解析により得られた最大ひずみがβ線を5000KGy照射した材料の許容ひずみ未満であるため、落下によりHICが破損しないと評価。
- 落下時はクラックが発生していないためクラックを考慮した評価は不要。
- なお、万が一落下した際は念のためHICを未使用のものに変更→**落下により発生するクラック評価は不要**

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		
	底面コーナー部	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		
	底面コーナー部	内表面	8.4	41.6	7.8	11.0	曲げ
		外表面	7.0		7.3		

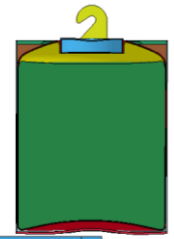
2.2 膜ひずみの最大値  
7.8 曲げひずみの最大値

\*1:圧縮方向のひずみのため評価対象外

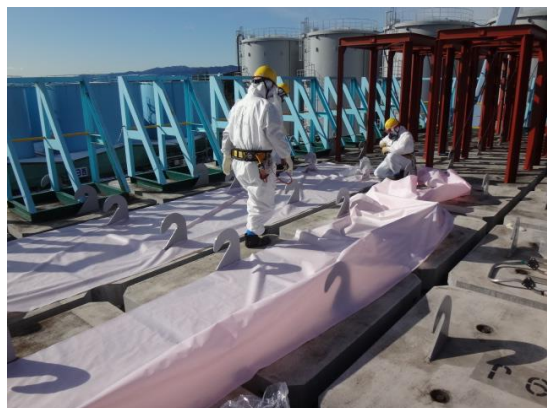
垂直落下  
 落下高さ:9.5m  
 初速:13.7m/s  
 落下対象:緩衝体



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



- 一時保管施設（第三施設）を代表として年に1度漏えい物回収訓練を実施している。
- 第二施設を対象とした場合でも対応手順に大きな違いはない。



周囲の養生

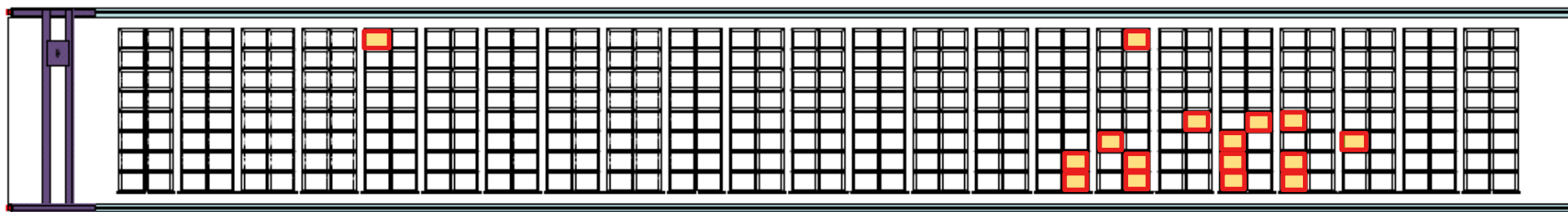


漏えい発生HICの養生



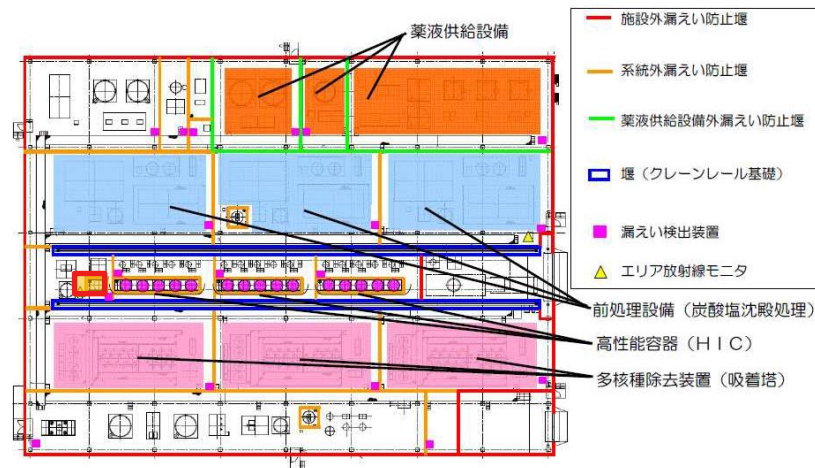
回収装置の設置

放射線照射耐用年数が短いHIC17体の配置場所



第2施設に16体（ボックスカルバート2体收容可のうち1体）

増設ALPS建屋HIC仮置き場に1体  
（水位常時監視中）



# 高性能容器(HIC)スラリーの温度について(コメント回答)

2018.6.15

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in a bold, red, sans-serif font. It is positioned in the upper right area of the page, above a horizontal red line that spans the width of the page.

東京電力ホールディングス株式会社



(1) 下層部に炭酸塩スラリーが沈殿した場合、スラリー中の崩壊に伴う発熱が上部の水で除熱出来るのか。

<回答1>

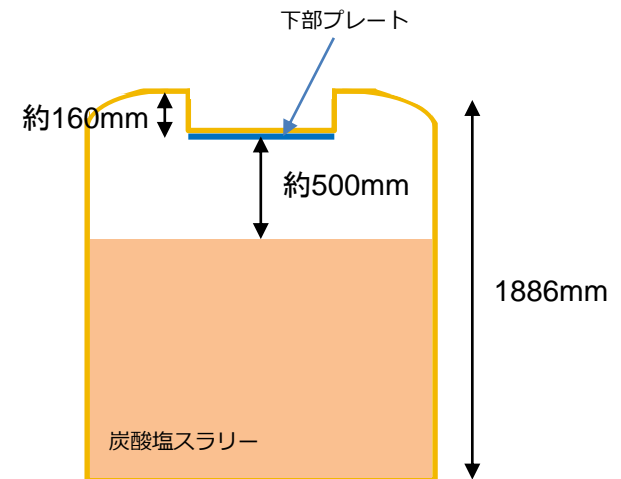
- 過去に、特に放射能濃度が高い17基のHICの内の1基に対して、水温測定を実施。
- 測定の結果は以下の通りであり、有意な温度上昇は認められていない。
- 従って、HIC内の炭酸塩スラリーは現保管方法で除熱できていると判断している。

表：炭酸塩スラリーの温度測定結果

測定位置※	温度
500mm(水面付近)	13.2°C
1000mm	14.1°C
1500mm	14.0°C
底面付近	14.1°C

※：下部プレートからの距離

格納日 2014.11.1  
 測定日 2015.4.10  
 外気温 13.9°C





(2) 除染装置スラッジの場合、「崩壊熱集中化防止のため、底部から圧縮空気でスラッジを攪拌」し、「崩壊熱除去用の熱交換器を貯槽内に設置」しているようであるが、HICの場合、除熱対策は必要ないのか。

### <回答2>

- 当初、建屋滞留水の処理は、除染装置、セシウム吸着装置の順で運用する計画であった。そのため、除染装置スラッジは高濃度になることを想定し、熱交換器、攪拌装置を設置した。
- しかし実運用ではセシウム吸着装置、除染装置の順で運用したため、除染装置スラッジの濃度が下がり、熱交換器は不要となった。また、Dピット内の温度は監視しており、熱交換器を用いずとも10℃から25℃間で推移している。
- HIC内炭酸塩スラリーのSr90濃度は濃縮を考慮しても除染装置スラッジのSr90濃度より低く、また回答1の通りスラリーの温度上昇が認められていないため除熱対策は不要と判断している。

### <参考>

対象物	放射能濃度(Sr90)	出典
除染装置スラッジ	$3 \times 10^8 \text{Bq/cm}^3$	最新評価結果
炭酸塩スラリー	$4 \times 10^7 \text{Bq/cm}^3$	特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(第6回)資料
炭酸塩スラリー(濃縮率4倍考慮)	$1.6 \times 10^8 \text{Bq/cm}^3$	上記濃度より算出

(3) 除熱しなくても、HICの温度が上昇しない根拠と除染装置スラッジの場合との違いは。

<回答3>

- 回答1, 2の通り。

# 高性能容器（H I C）の長期健全性の確認について

2018.8.30

**TEPCO**

---

東京電力ホールディングス株式会社

## 1. 前回コメント内容（議事録より抜粋）

- 漏えい発生時の対応については大漏えいを想定した手順となっているが、 微少漏えいの段階で検知できれば、早期に対策を講じることができると考えられることから、 その必要性も含めて微小漏えい時の対応手順を検討すること。

⇒ P.2~P.4

- 前回面談時にスラリーを採取する際に沈殿層の下部が固くなっている状況が確認されているとの説明あったが、当初想定していなかった状況であることから、 慎重に確認する必要があるとされており、 熱計算や温度測定など、安全な方法での確認について検討すること。

⇒ P.6

- H I Cからの漏えい発生時における対応方針
  - HICから漏えいが発生した場合、ボックスカルバート内に施された防水塗装により、漏えい物が系外に漏れることはない。
  - 漏えいリスクの観点から、特に放射能濃度が高いと想定される17基のHICに対し、定期的なボックスカルバートの内部確認を行うことで、漏えい確認を行う。
  - 漏えい物が確認された場合、既存の対応手順に則り速やかに回収を行う。
  - HICからの漏えいが微少である場合における対応手順を新たに検討した。(P.4)
  
- なお、ALPSで生成されたスラリーは2021年以降に脱水による処理を行う予定である。そのため、脱水処理実施までは、本対応を実施する。

## 2. ボックスカルバート内の防水塗装の健全性について

- 特に放射能濃度が高い17基のHICの内の1基を保管していたボックスカルバート内の防水塗装の健全性について、目視による塗布面の劣化状況確認および散水による壁面・床面の防水性能の確認を実施した。
- その結果、塗膜の劣化は確認されず、防水性も健在であった。（下図参照）
- 防水塗装はHIC 2 基の全量漏えいを想定した高さまで実施しており、万が一HICからの微小漏えいが発生しても漏えい物はボックスカルバート内に留まり、ボックスカルバート内で処理が可能である。



全体図



床面状況



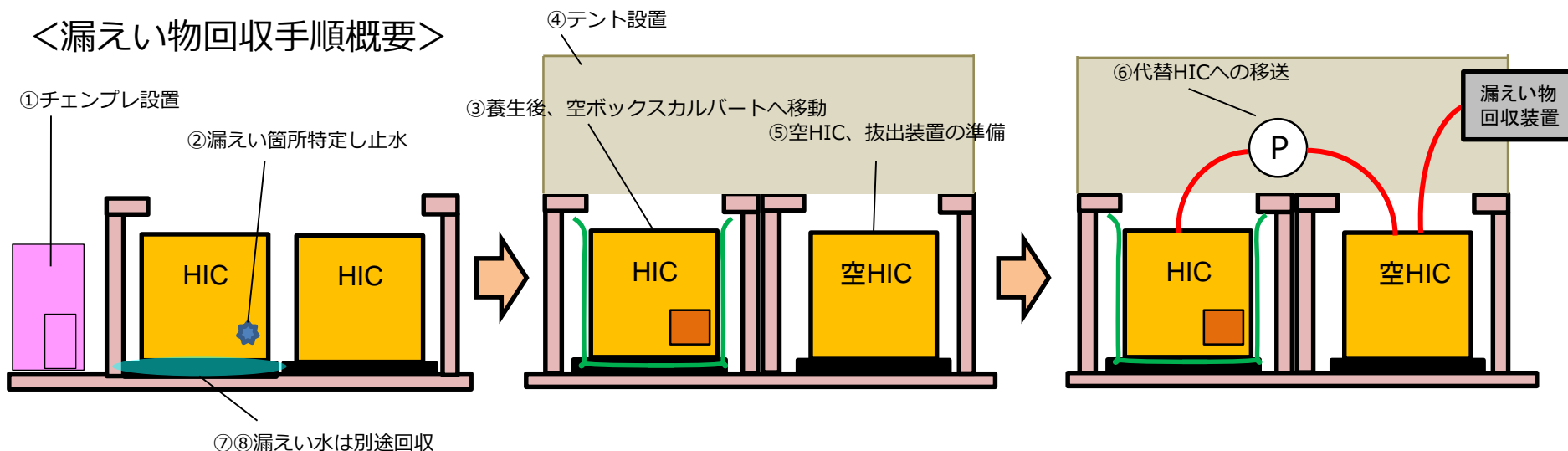
側面散水時

### 3. H I Cからの微少漏えい発生時における対応手順

#### ■ ボックスカルバート内でHICからの微少漏えいが発生した場合の対応手順は以下のとおり

手順	概要
①	漏えい箇所近傍にチェンジングプレイスを設け、周囲を養生する。
②	微少漏えいが発生したHIC（当該HIC）の微少漏えい箇所を速やかに特定し、シール材等で止水する。
③	止水確認後、当該HICを吊り上げ養生袋で養生し、空ボックスカルバートに移動。
④	HIC格納後、ダスト飛散防止のためのテントを設置する。
⑤	漏えい物回収装置、回収用HIC、回収用ホース、吸引車（必要に応じて）を所定の位置に配置する。
⑥	当該HICおよび空HICにホースを挿入し、内包物を空HICに移し替える。 内包物のスムーズな移し替えのため、必要に応じてろ過水を補充し、洗浄、希釈、攪拌を行いながら回収作業を行う。
⑦	HICを抜き取ったボックスカルバート内に回収用ホースを挿入し、ボックスカルバート内の残水を回収する。スラリーの堆積が確認された場合は必要に応じてろ過水を補充し、洗浄および希釈を行いながら回収作業を行う。
⑧	ボックスカルバート内にろ過水を散水し回収した後、ボックスカルバート内のゴムシートを回収し、床面を養生する。

#### <漏えい物回収手順概要>



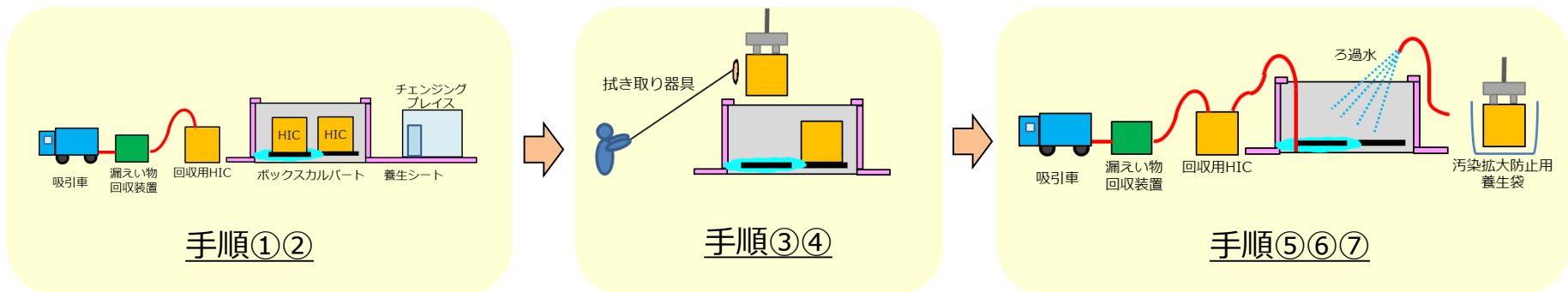
## 【参考】漏えい発生時における対応手順

- ボックスカルバート内でHICからの漏えいが発生した場合の対応手順は以下の通り。

手順	概要
①	漏えい箇所近傍にチェンジングプレイスを設け、周囲を養生する。
②	漏えい物回収装置、回収用HIC、吸引車、回収用ホースを所定の位置に配置する。
③	漏えいしたHICを遠隔操作にて吊り上げ、漏えいが止まっていることを確認する。漏えい継続中である場合はHICを降ろし、漏えい水の回収を行い当日作業は終え、翌日再度確認する。
④	HIC表面を遠隔で拭き取る。
⑤	HICを汚染拡大防止用養生袋で養生する。
⑥	HICを抜き取ったボックスカルバート内に回収用ホースを挿入し、漏えい物を回収する。スラリーの堆積量に応じてろ過水を補充し、洗浄および希釈を行いながら回収作業を行う。
⑦	ボックスカルバート内にろ過水を散水し回収した後、ボックスカルバート内のゴムシートを回収し、床面を養生する。

- 手順書に基づいた漏えい物回収訓練を年に1度実施している。(P.8参考)

### <漏えい物回収手順概要>





## 4. H I Cの温度測定について

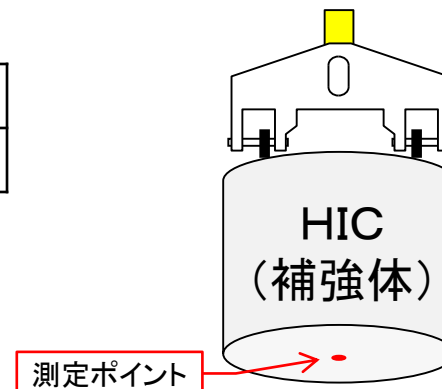
- スラリーを採取する際に沈殿槽の下部が固くなっている状況が確認されており、放射能濃度が高いと想定される沈殿槽下部の温度が上昇している恐れがあることから、特に放射能濃度が高いと想定されるHIC17基のうち1基を補強体ごと吊り上げ、放射温度計で補強体表面の底面温度測定を実施した。
  - 測定結果、底面温度は約28℃であった。
- 過去に実施したHIC温度評価結果（実施計画Ⅱ-2-16）より、補強体表面とHIC内表面の温度差は約1℃となることから、本測定に基づくHIC内表面の温度は約29℃と推定。
- HIC容器設計温度76.6℃> 推定温度約29℃であり、健全性に問題はないものとする。

### 吊上げHICの底面温度測定結果

測定位置	温度
補強体表面の底面	28.1℃

測定日 2018.6.26

外気温 24℃



【参考】HICスラリーの温度について コメント1

(1) 下層部に炭酸塩スラリーが沈殿した場合、スラリー中の崩壊に伴う発熱が上部の水で除熱出来るのか。

<回答1>

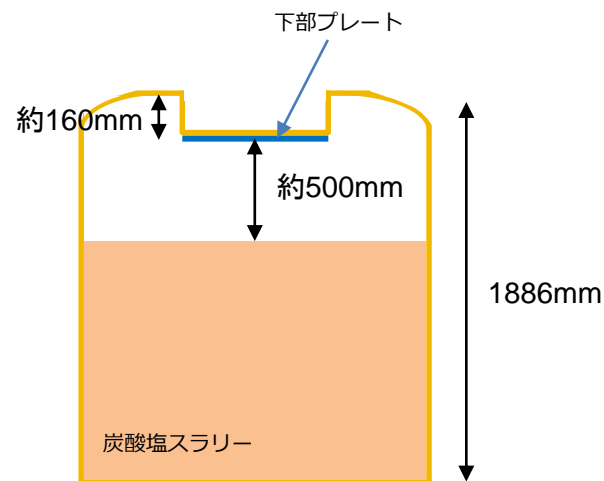
- 過去に、特に放射能濃度が高い17基のHICの内の1基に対して、水温測定を実施。
- 測定の結果は以下の通りであり、有意な温度上昇は認められていない。
- 従って、HIC内の炭酸塩スラリーは現保管方法で除熱できていると判断している。

表：炭酸塩スラリーの温度測定結果

測定位置※	温度
500mm(水面付近)	13.2°C
1000mm	14.1°C
1500mm	14.0°C
底面付近	14.1°C

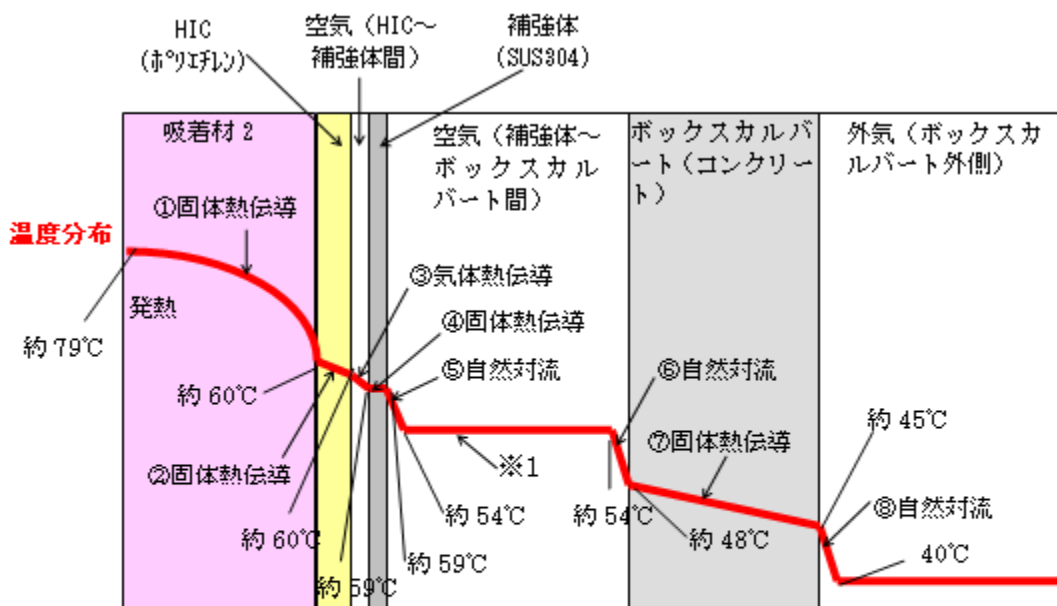
※：下部プレートからの距離

格納日 2014.11.1  
測定日 2015.4.10  
外気温 13.9°C

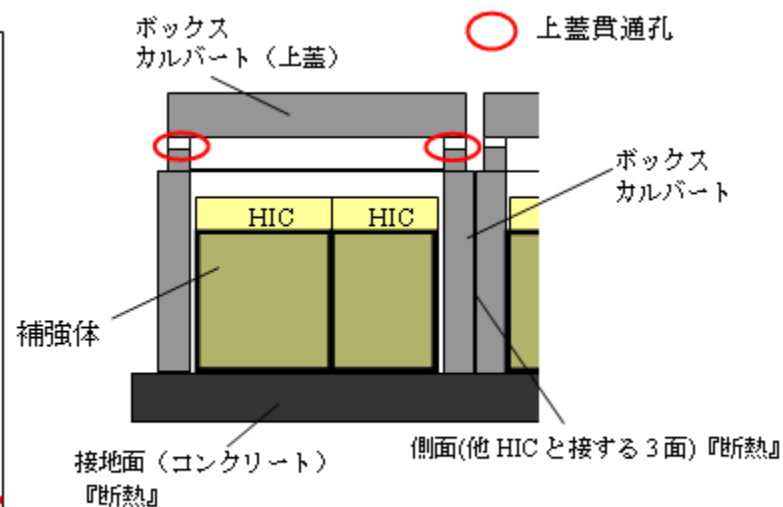


<概要>

- HICの収容物である吸着材からの発熱を入熱条件とし、一次元の定常温度評価によりHIC容器温度を算出したうえで、太陽光から入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合のHIC容器温度が設計温度76.6℃以下となることを確認
- 外気温度を40℃とし、また、発熱量が最大となる吸着材2を充填したHICを発熱体とし評価した結果、HIC容器温度は約60℃と評価
- 太陽光からの入熱による温度上昇 約13℃を考慮すると、HIC容器温度は約73℃
- 従って、HIC容器設計温度76.6℃ > HIC容器温度約73℃となり、安全上の問題はないと判断



評価体系の概念図 (1次元定常温度評価モデル)



温度評価条件 (ボックスカルバート)