

HIC上のたまり水発生の 原因と対策の検討・実施状況

2015年7月1日
東京電力株式会社



東京電力

概要

① HIC上のたまり水

- 点検状況：優先順位付けに基づく、リスクの高いHICの点検がほぼ終了
- 原因調査：各試験（スラリー拳動試験、メスシリンダー試験）の進捗
- 対策状況：水抜き装置を用いたHICの水位低下を継続実施中

② HIC蓋のベント孔不足

- 点検状況：製造時の記録等でベント孔の個数確認ができないHIC蓋 506個の点検が完了
- 原因調査：製造プロセスにおける検査内容等を踏まえ、ベント孔不足HICの原因調査・対策の検討
- 対策状況：ベント孔がゼロであったHIC蓋は、交換済み。
それ以外の孔が不足した5個のHIC蓋は、構内で追加工する。
(7月中予定)

③ 原子力規制委員会で示された『多核種除去設備の課題』に対する検討状況

- 一時保管施設における屋根の設置に関する検討
- HICの保管に関する中長期シナリオ
- β 線に対するHIC健全性評価

点検対象HICの基数内訳

■ HICの保管数、点検対象数の内訳は以下のとおり

- 保管数：合計1,610基
- たまり水の点検対象：合計1,583基
 - 第二施設については、全684基の点検を実施し、完了（H27.6.15）
 - ◆ 鉄共沈スラリー入りHIC、吸着材入りHIC（脱水済み）は優先度が低いことを確認※
 - 第三施設については、炭酸塩スラリー入りHICを優先して、引き続き点検を実施中。
- ベント孔点検対象蓋：合計506個（ベント孔数に関する記録に不足があったもの）
 - 全数点検完了（H27.6.25）

H27.6.25時点

保管施設	内容物	保管HIC		たまり水点検			ベント孔点検			
		基数	合計	点検対象	合計		点検対象	合計		
第二施設	鉄共沈	146	684	1,610	146	684	1,583	104	478	506
	炭酸塩	481			481			328		
	吸着材	57			57			46		
第三施設	鉄共沈	104	926	(104)	(899)	1,583	1	28	506	
	炭酸塩	795		(795)			27			
	吸着材	27		0			0			

第三施設のスラリー入りHIC（括弧付き表示部）の点検数は検討中

※：脱水処理がされた吸着材入りHICは、第二施設のHICの点検結果で問題ないことを確認したことから、第三施設では点検対象から除外。

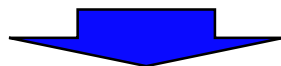
① HIC上のたまり水（点検状況）

- リスクが高いHICから優先的に、たまり水に関するHICの点検を実施
- 第二施設の点検は終了し、現時点で30基のHICにたまり水を確認

単位：基

H27.6.25時点	保管基数	点検実施数	たまり水が確認されたHIC
第二施設	684 (683)	684 (278)	30 (26)
第三施設	926 (833)	70 (6)	0 (0)

カッコ内は前回検討会（5.20時点）の報告基数



- 前回の検討会報告以降、たまり水発生HICの確認割合が大きく低下（4/470基）したことを確認。
- 想定（評価）と点検結果の相違点については、継続して検討・調査を実施し、HIC水抜き優先順位付けに反映。

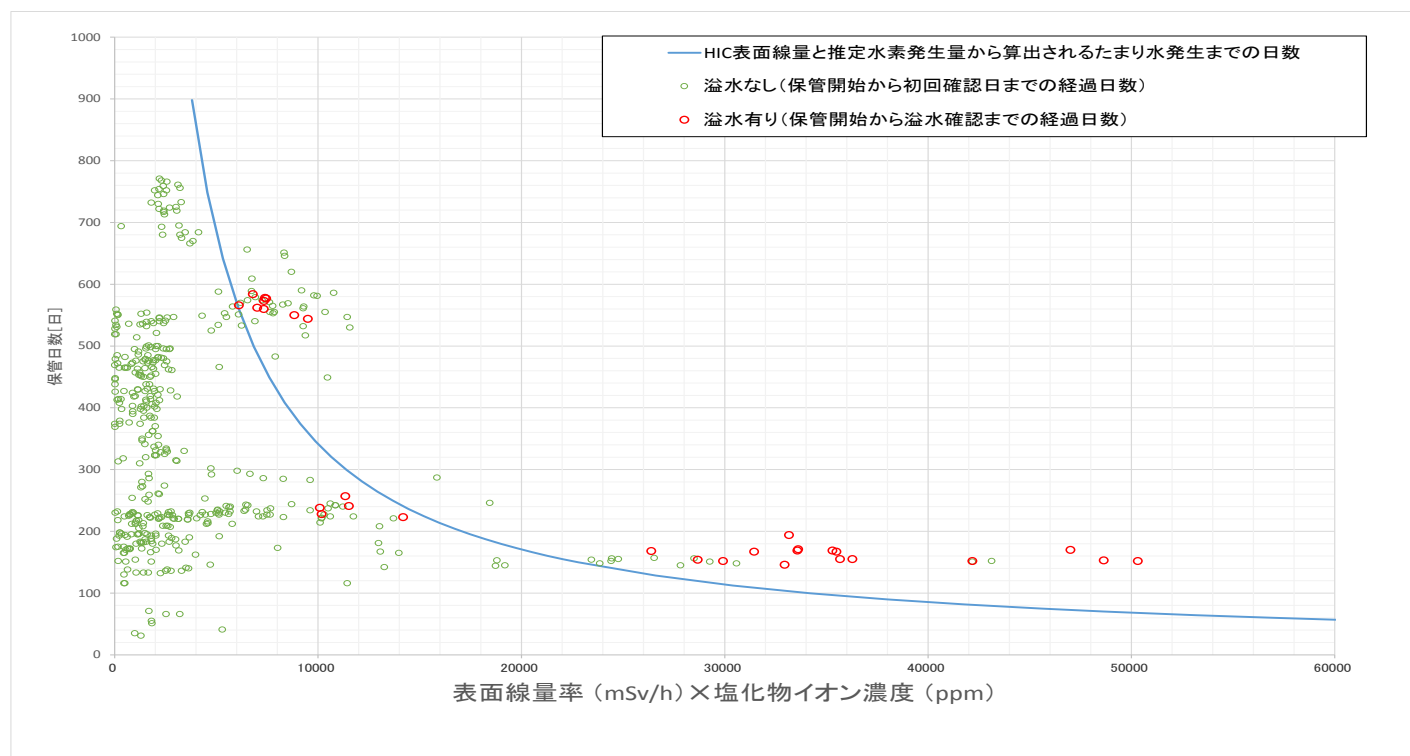
【参考】優先順位付けの考え方

- HIC表面線量当量率、塩化物イオン濃度と保管日数から推定される水素発生量を液位上昇量とみなす。
- HIC液面の上部空間の体積と比較し、たまり水発生までの日数を評価（次ページ図の青線）
- 青線を超えるものは、たまり水発生の可能性がある領域、青線を下回るものは、現時点でまだ可能性が低い領域と評価。
- 未点検HICのうち、青線を超えているHIC、超えそうなHICから優先的に点検を実施

① HIC上のたまり水（点検の優先順位の考え方）

■ HIC内における水素ガス発生・滞留による炭酸塩スラリーの膨張により、スラリー上部の空間が上澄み水に満たされるまでの保管日数を評価（前回検討会※1と考え方は同じ）

● 水素ガスの発生量の指標として「表面線量率（mSv/h）×塩化物イオン濃度（ppm）」を導入



※1：P.35参照

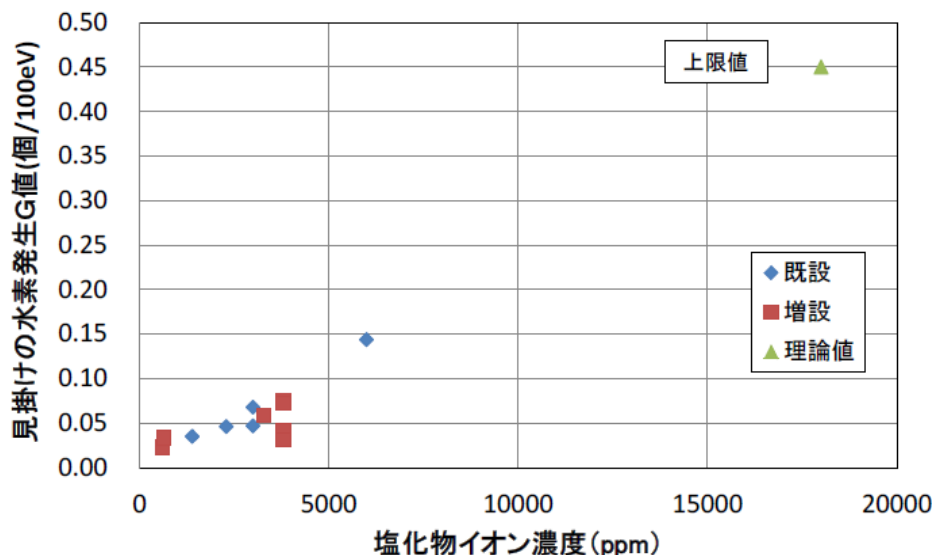
- 第二施設の点検と合わせ、水素発生速度と塩化物イオン濃度との関係について検討を実施
- 上記の検討内容を第二施設の点検結果に当てはめると、より良い相関性を確認。
- 第三施設の点検に関する優先順位付けへ、今後反映

① HIC上のたまり水（点検の優先順位の考え方）

■水素発生速度と塩化物イオン濃度との関係

- 海水系の水の放射線分解では、塩化物イオン等の影響により、見かけの水素のG値が上限値のまま減少しないとの見解が知られている※
- 今回、蓋を解放して点検した炭酸塩スラリー用HIC（12基）について、攪拌前後の体積減少による水位変化分を水素発生量と仮定し、見かけの水素のG値と塩化物イオン濃度を比較
- その結果、見かけの水素のG値は、塩化物イオン濃度の減少に伴い、直線的に減少傾向にあることを確認

※：p.36参照



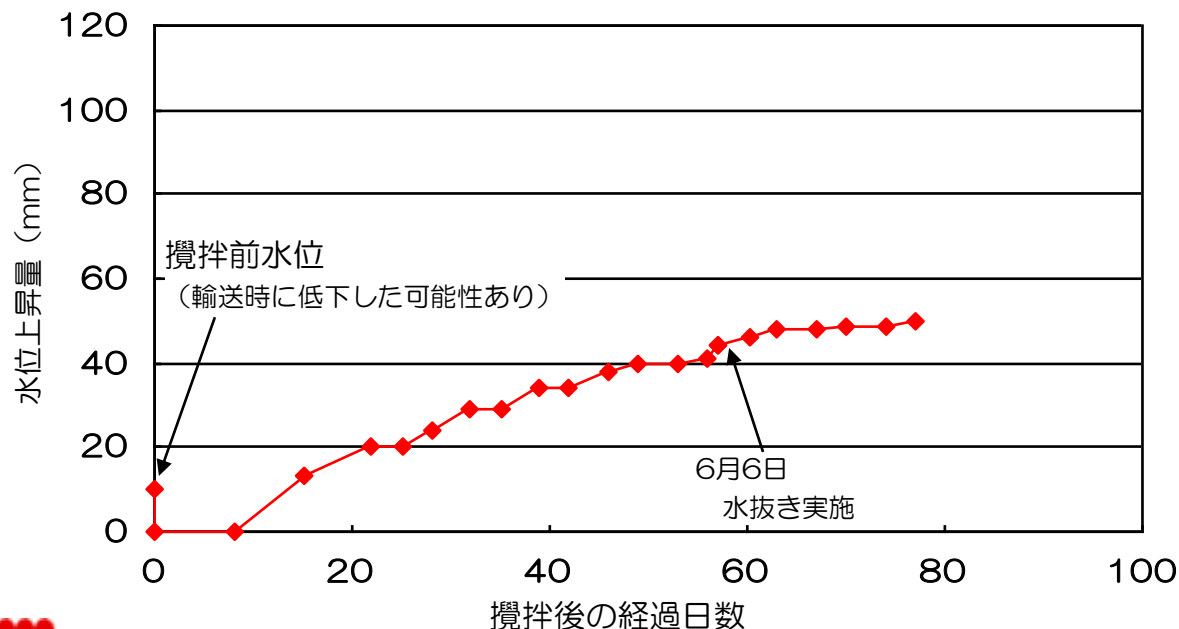
- HIC表面線量当量率（放射線分解反応の量と相関）×塩化物イオン濃度（体積膨張に寄与する見かけの水素のG値と相関）を指標として再評価

$$\text{水素発生量 (mol)} = \text{吸収線量率 (Gy/h)} \times \text{比重 (kg/L)} \times \text{保有水量 (L)} \times \text{照射時間 (h)} \times \text{見かけの水素のG値 (mol/J)}$$

① HIC上のたまり水（原因調査状況：スラリー挙動確認試験）

■ 液位上昇の経過確認

- 増設ALPS建屋内に移送したHIC（No.182）について、内部攪拌終了後に静定した液位がどのように再上昇してくるか、液位が飽和するかに着目して監視中（液位計による連続監視化を図った）
- 攪拌後の10日程度は液位変化無し（水素が飽和濃度に達するまでの期間と推定）
- 75日間で49.8mm液位上昇（液位が高まったため6/6に上澄み水約460ℓを水抜き）。液位は単調に上昇しているが、当初より傾きは減っている（最初の1ヶ月で約1.8ℓ/日、至近の1ヶ月で0.6ℓ/日）。

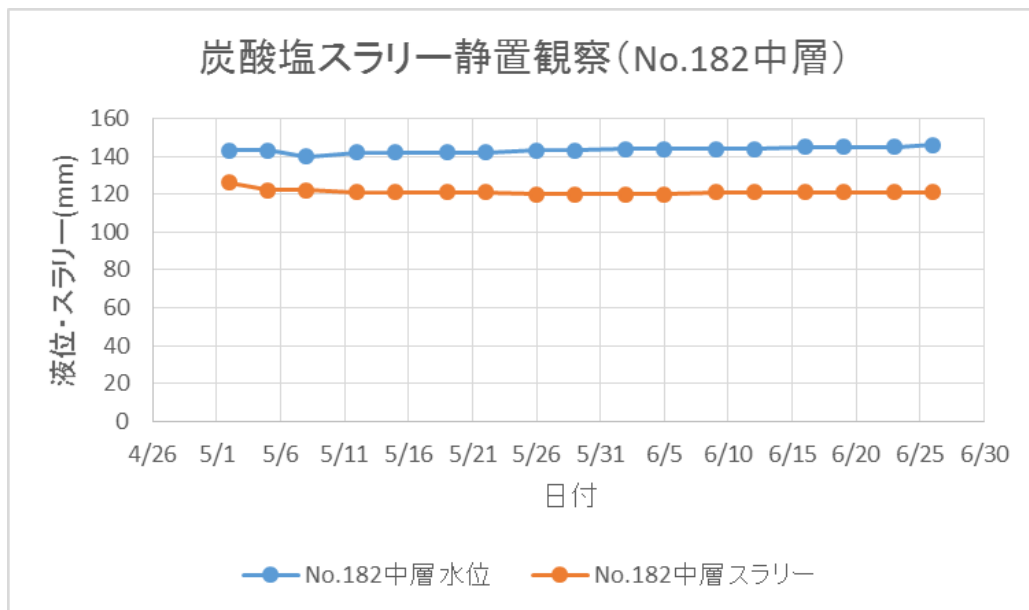


液位計による液位観察状況

① HIC上のたまり水（原因調査状況：メスシリンダー試験）

■スラリー内でのガスの保持性確認

- No.182の中層およびNo.172の上・中・下層のスラリーを採取してメスシリンダーに静置し、スラリー/上澄み水境界面および水面の変動、気泡の発生・滞留状況を観察中。
- 静置後約10日間でスラリー層は低下して静定、水位は1～5mm上昇。No.182の実HICでの上昇量から推測される上昇量と同程度。
- 初期の1週間で最大2mm程度まで成長した気泡が観察されたが、以降安定。インターバルカメラによる1時間ごとの定点撮影からもスラリー面・液面の変動気泡の成長や集合、上昇等の動きは未確認。引き続き、観察継続予定。



No.182中層

① HIC上のたまり水（原因調査状況：JAEAによる実験計画）

目的：水素発生量に対するイオン等の影響確認、水素ガス滞留の原因追求

(1) 実スラリーの分析

- 既設スラリーについて、 α 放射能や金属元素濃度等を分析中
- 増設スラリーについて、継続して進める

(2) 塩分を含む模擬炭酸塩での水素発生試験、計算

- H_2 酸化に関与するOHラジカル ($OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$) を捕捉する塩化物イオン、臭化物イオン、スラリーに多く含まれる炭酸イオン等の影響を考慮した水素発生量の計算
- 純水、模擬炭酸塩、模擬スラリーの γ 線照射による H_2 等のガス発生量測定

(3) 実スラリーを使用した水素発生量の測定

- 容器に10mℓ程度のスラリーを充填、密閉して静置、水素濃度を測定

(4) 模擬スラリー（右写真）による水素ガス保持挙動確認試験

- メスシリンダーに模擬スラリーを充填し γ 線を照射。水位変動、気泡発生、滞留状況を観察



調整した試験用
模擬炭酸塩スラリー

項目	6月	7月	8月	9月
実スラリーの分析	既設スラリーの分析		分析値の確認・評価	
	増設スラリーの分析		* 輸送、分析等の計画を検討中*	
模擬炭酸塩水素発生試験、計算	予備試験、資材手配	γ 線照射試験、評価、計算	水素発生量評価	評価
	実験計画、資材手配			水素発生量測定
実スラリー水素発生量測定	実験計画、資材手配			水素発生量測定
模擬スラリーによる水素ガス保持挙動確認試験	予備試験、資材手配	γ 線照射試験、観察		評価

継続

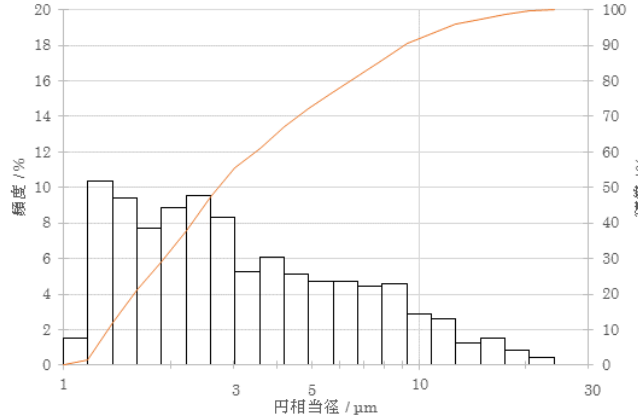
*：試験実施ホットラボに「1F事故由来核燃料汚染物」を搬入する手続きを照会中

① HIC上のたまり水（スラリー分析、 γ 線照射）

- 多核種除去設備（既設）の前処理スラリーの分析を進めており、下記が明らかとなっている。
 - スラリーの固形分（粒子）は、小径の物が多い。
 - ^{90}Sr 濃度は炭酸塩が鉄共沈に対して一桁ほど高い。遷移金属核種は鉄共沈が高い。



炭酸塩スラリーの外観（上）と
粒子の形状（下）



炭酸塩スラリーの粒径分布
（個数基準）

濃度の分析値 (Bq/ml) *

核種	鉄共沈	炭酸塩沈殿
Co-60	$(8.4 \pm 0.1) \times 10^2$	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^2$
Nb-94	$< 8 \times 10^0$	$< 6 \times 10^1$
Cs-137	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^2$	$(2.4 \pm 0.3) \times 10^2$
Eu-152	$< 2 \times 10^1$	$< 2 \times 10^2$
Eu-154	$< 2 \times 10^1$	$< 2 \times 10^2$
Mn-54	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	-
Sb-125	$(9.0 \pm 0.2) \times 10^2$	-
H-3	$(3.0 \pm 0.2) \times 10^2$	$(3.3 \pm 0.3) \times 10^2$
Sr-90	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^6$	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^7$

* 原スラリーの体積当たりの濃度。アルファ核種と金属元素濃度を分析中。

- 模擬炭酸塩の水素発生試験に向けた予備試験に着手
 - 炭酸塩試料、比較試料（海水、純水）を照射し、水素生成の傾向を調べ、本試験の計画を検討している。
 - 照射はJAEA高崎研のコバルト60ガンマ線照射施設にて実施している。



炭酸塩試料のガンマ線照射の様子

① HIC上のたまり水（対策実施状況－上澄み水抜き）

■ HIC上澄み水の抜き取り

- HIC内の液位上昇は継続的に発生することから、緊急対応用としての簡易水抜き装置による上澄み水の抜き取りを実施中（H27.6.30時点で40基の水抜きを実施）

■ 水抜きHICの優先順位付け

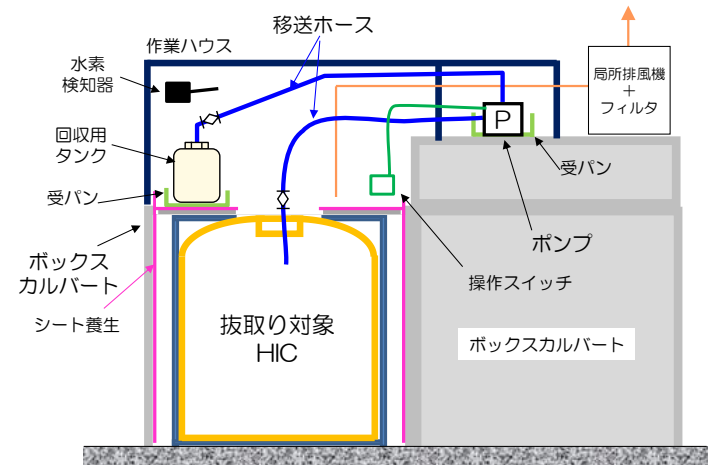
- これまでは、表面線量×保管日数の高いHICから水抜きを実施。（塩素濃度の考慮が不十分。）
- 今後は、点検の結果、たまり水が確認された30基を優先する（6/30時点で10基完了）。その後、たまり水が確認されなかったものの、塩化物イオン濃度の考慮を踏まえ、優先順位が高いHICから水抜きを実施していく計画。

なお、第二保管施設のボックスカルバートには原則2基のHICが保管されており、作業の効率性を考慮し、同じボックスカルバートに保管されている他方のHICも連続して水抜きを実施。

回収用タンク



作業ハウス全景



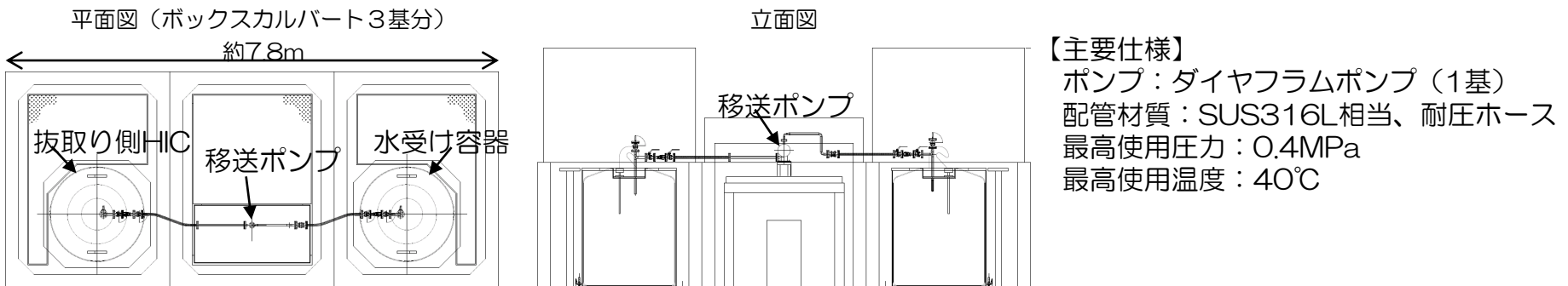
簡易水抜き装置概要図

① HIC上のたまり水（本格水抜き装置の導入）

- スラリー入りHICからの上澄み水抜取りの加速化、作業安全水準の向上を期する

	簡易水抜き装置 (対象HIC上にて水抜き)	評価	本格水抜き装置 (常設しHICを持込み水抜き)	評価
作業水準	人の目、注意力に依存	△	漏えい検知、水位計等の機械監視を追加	○
作業効率	作業ハウス・養生を毎日設営・撤収 (正味の水抜き以外の作業物量が多い)。作業実施は、天候に大きく影響を受ける。	△	装置設置位置での常設化(正味の水抜き作業に多くの時間を割ける)。雨天時における作業物量を削減。	○
水受け容器	ポリタンクに受けて人手で移送	△	HIC(取扱い、構内移送の手順が確立済)	◎
被ばく軽減	対象HIC上での近接作業が主 (設営・撤収関連作業を含む)	△	対象HICへの接近作業は蓋開閉、機器着脱のみに削減	○

- 実施計画の変更申請を実施し、8月中旬に運用開始予定



本格水抜き装置概念図

② HIC蓋のベント孔不足（点検状況）

- たまり水有無の調査の過程で、HIC蓋のベント孔が加工されていないものを発見
- 水素換気への影響があることから、他に同様のものがないかの点検を集中的に実施
- 調達時の検査記録等を確認し、蓋に加工されるベント孔の数について記録がない蓋506個を確認対象として抽出
- 6月24日、全506個の確認を完了。点検の結果、ベント孔過不足HIC蓋は7個
(不足品は6個)

蓋ベント孔の数の記録がないHIC蓋の点検状況（過不足品数／確認数）

カテゴリ	製造段階における確認・記録	第二施設保管数		第三施設保管数	合計
		タイプ1	タイプ2		
I	ベント孔の確認未実施。 記録なし	3/102	1/136	0/24	4/262
II	ベント孔の確認は実施。 記録なし	3/143	0/97	0/4	3/244
合計		7/478		0/28	7/506

注・第三施設保管品は全てタイプ2である。

・前回検討会（第35回）で対象数を334個と報告したが、その後のデータ精査・点検履歴の再確認を実施した結果、計506個に訂正。

② HIC蓋のベント孔不足（点検結果・対策状況）

■ 点検結果

- 合計7個のHICについて、ベント孔の過不足を確認。ベント孔が0以外のHICはベント機能としては問題ない※が孔を追加する。

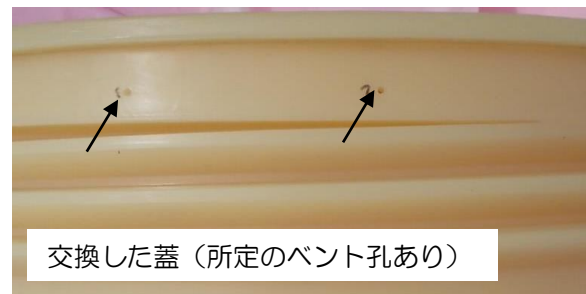
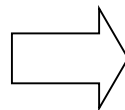
設計孔数	確認孔数※	蓋の個数	対策
16	0	1	蓋交換（実施済み）
	15	2	孔を追加
32	29	1	孔を追加
	31	2	孔を追加
	33	1	継続使用

単位：個

※：水素濃度を可燃限界以下に抑制するのに必要なベント孔個数は、16個（設計）で4個以上、32個（設計）で14個以上と評価。

■ 対策状況

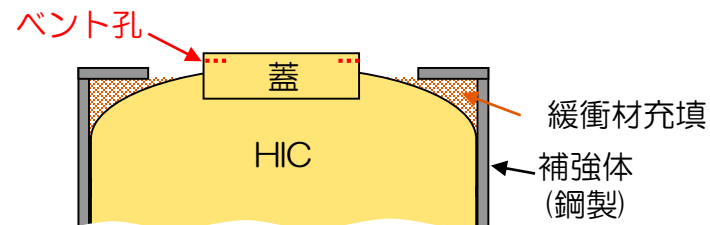
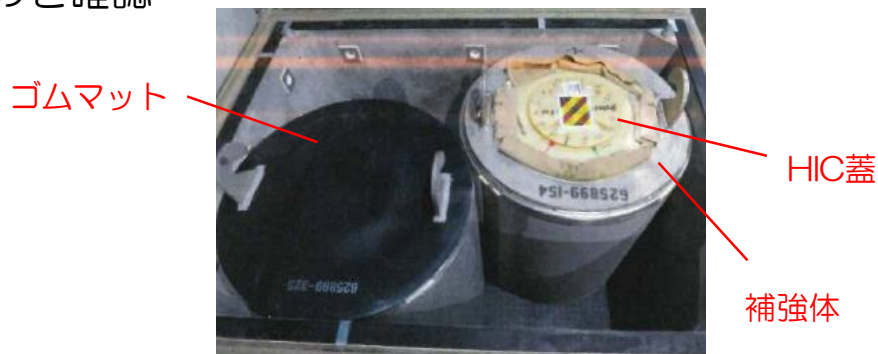
- ベント孔のないもの：蓋を交換（済み。後日、孔を追加した元の蓋に戻す）



- ベント孔不足のもの（5個）：所定数となるよう孔を追加（7月中予定）
 - ・ 蓋を取り外し、追加加工のうえ、復旧する。

② HIC蓋のベント孔不足（点検結果・対策状況）

- HIC蓋のベント孔個数確認の点検において、HICの上にゴムマットが付いていて、ベント孔の個数を確認できないものを確認



HIC概要図（通常状態）

S/N	: PO625899-325
内容物	: Sr吸着材（脱水済み）
表面線量	: 0.09mSv/h

- 調査の結果、当該HICは、平成26年4月16日、ALPS建屋内で吸着材移送水をHICに移送中、HIC上部から逸水させ*1、汚染したHICであることを確認

⇒ ゴムマットは、除去しきれなかった汚染・ダスト対策として設置したもの

（類似HICがないことを確認済み）

※1：第21回監視評価検討会報告案件

- ゴムマットは、HIC補強体上面およびHIC蓋に接着剤で貼付されており（当時の作業員への聞き取り）、蓋ベント孔の機能を阻害するものであることから、ゴムマットによる汚染・ダスト対策の機能は残しつつ、ベント経路を確保するため、ゴムマットを一部切除済み



- なお、当該HIC内の水素濃度は約0.1%と評価され、可燃限界（4%）を十分下回ることを確認*2

※2：ゴムマット切除作業時の測定で0.02%であったことを確認

ゴムマット一部切除後のHIC

② HIC蓋のベント孔不足（原因調査・調査結果）

■ 原因調査

HIC蓋にベント孔不足が確認された事象を受け、以下の調査を実施。

- 製造プロセスにおける検査・確認状況
- 検査要領・記録
- 発注関係図書
- 受注者、ベンダーへの聞き取り

上記調査を踏まえ、要因分析表（参考資料P.40参照）に基づいて、原因・対策を立案

■ 調査結果

ベント孔が設計通りに加工されず、これまで気付かずに使用していたことの主要因として、以下2点（4つの原因）が挙げられる。

➤ ベント孔過不足HIC蓋の見落とし

原因①：受注者／ベンダーの当時の検査記録にベント孔個数を確認する明確な記載がなかった。

原因②：当社の受入検査の中で、ベント孔の個数に関する確認（記録確認、受入時確認）を実施していなかった。

➤ ベント孔過不足HIC蓋の発見遅れ／ベント孔数未確認HIC蓋の放置

原因③：社内検査を実施するための検査要領書制定時、水素滞留防止等の安全機能に関する部分を考慮すべきところ機能検査としてはHICの外観検査のみを実施しており、ベント孔の個数確認までは明確に確認しなかった。

原因④：受注者から工場での受入れ検査時にベント孔の数不足（32個中1個の孔が不足）確認の報告を受けた際、速やかな水平展開調査および是正対策を講じることができなかった。

② HIC蓋のベント孔不足（対策）

- 要因分析から抽出された反省点に対する対策の詳細は以下の通り。

対策① 受注者／ベンダー検査

受注者に対してベント孔に対する検査の実施および記録への明示を行うよう、当社の仕様書に明記する。

対策②-1 当社検査

ベント孔の個数確認について、社内による確認または受注者から提出される品質記録の確認等により、検査がなされていることを確認する。

対策②-2 協力企業による確認

協力企業のHIC受入確認の中でベント孔に対する個数確認の実施を行う。
また、当社の仕様書に明記する。

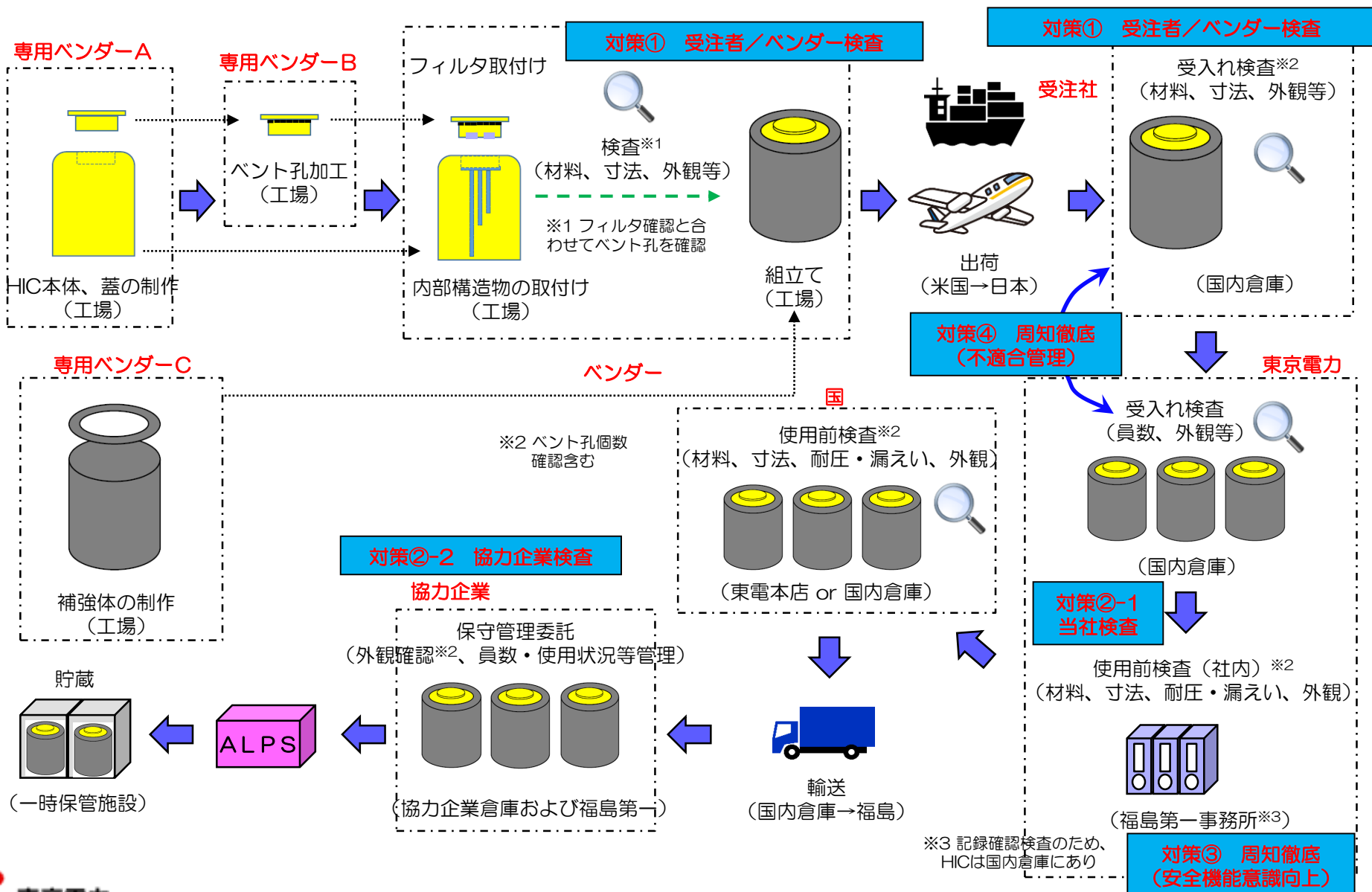
対策③ 周知徹底（安全機能向上）

本事象の周知徹底を行い、水素滞留防止等の安全機能に関する部分の確認を行うこと、常に最悪のケースを想定して行動することの意識を高める。

対策④ 周知徹底（不適合管理）

当社の要求機能に関わる不適合が確認された場合、当社への納品前であっても、既に当社へ納品された類似設備への影響有無がエビデンス等で確認できない場合は、当社へ不適合報告書を提出するよう、当社から受注者へ指導する。

② HIC蓋のベント孔不足（製造～保管までの流れと対策）



③多核種除去設備の課題に対する検討状況

一時保管中の漏えいの拡大防止、より良い堰の設置、漏えい検出器の設置に関する検討が必要

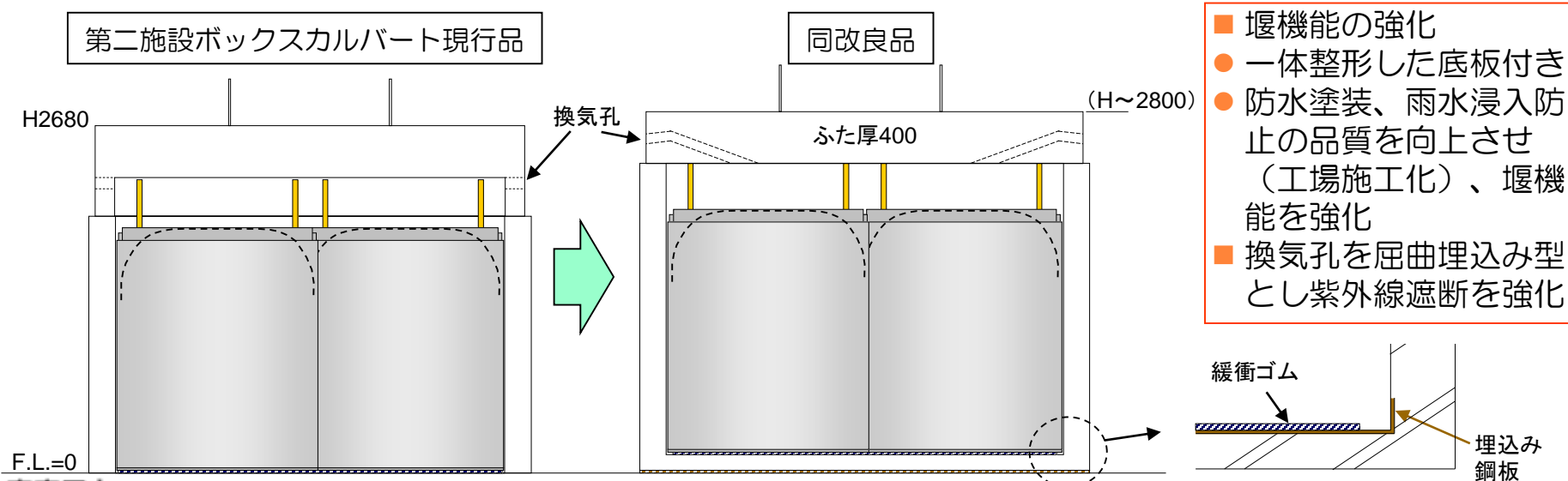
■ HICの保管に関する短期的対応

- 炭酸塩スラリー：HICへの排出量低減、上澄み水の抜取りによる漏えいリスク抑制
 - ◆ 緊急的水抜き装置 → 本格水抜き装置化、第三施設への水抜き装置追設
- 鉄共沈スラリー：高線量品に対する定期的な漏えい確認（実施中）を継続
- メディア入りHIC（水抜き後保管）：現状維持

■ 第二施設に格納中のタイプ2HIC（＝第三施設へ収納可能）については、使用前検査完了後に順次**第三施設へ移送** ⇒ 漏えい防止と遮蔽に対して堅牢な状態で保管

- 第三施設については、長期保管中の吸気孔からボックスカルバート外への系外漏洩防止を狙いとした漏洩検知器を追設（各堰に設置、計36個）

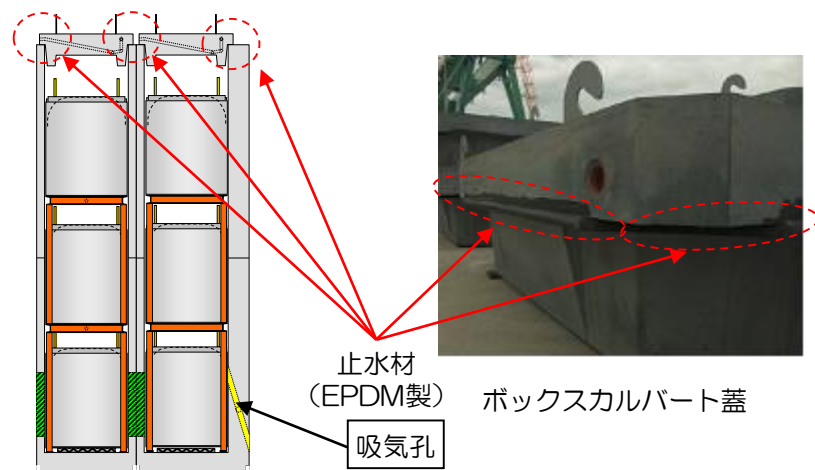
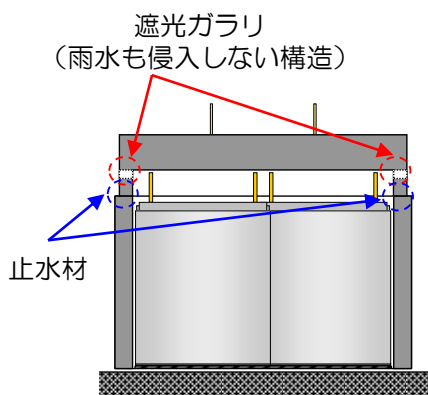
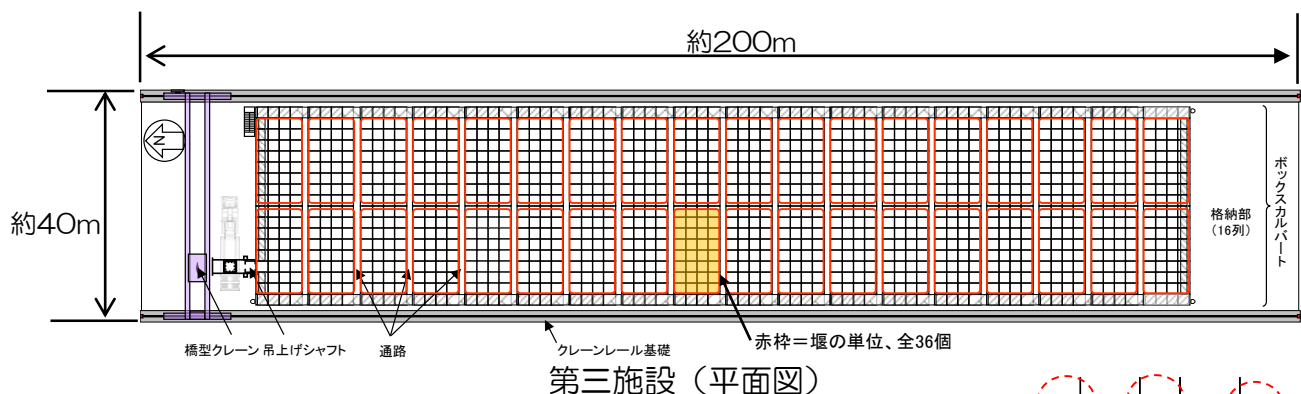
■ 第二施設に残すタイプ1HIC（＝第三施設への格納不可）は、ボックスカルバートを**第三施設相当の漏えい防止能力を有する改良型に交換**（下図）して保管を継続。



③多核種除去設備の課題に対する検討状況

漏えいの拡大防止及び外部飛散防止のため、設置エリアを覆う建屋の設置の検討

- 使用済みセシウム吸着塔一時保管施設については、施設全体を建屋化することが困難であることから、ボックスカルバートに雨水が侵入しない設計としており、ボックスカルバート蓋が屋根の役割を果たしている。
- 万一のHIC漏えい時も、内面に防水塗装を施したボックスカルバートが堰機能を果たすことから、ボックスカルバート外の雨水とは隔離がなされている。



第二施設ボックスカルバート

第三施設ボックスカルバート

③多核種除去設備の課題に対する検討状況

■HICの保管に関する中長期シナリオ

■ 中長期的対応

- ALPSスラリーは含水率が高いため、長期安定保管中の放射性物質の飛散・漏えいリスクを低減させるべく、安定化処理を図る。
 - ◆スラリーの脱水処理（乾燥、ろ過、遠心分離等）について、IRIDと共に研究開発を進める。
 - ◆脱水物を取り扱う上で飛散が懸念される場合に備え、実績があり、適用可能な固型化技術を調査し、技術選定のための研究開発を進める（セメント固化等）

■実現までの課題

- スラリーの粒度分布・核種組成などの性状把握
- 実現まで現行HICが健全性を維持するかの確認
 - ◆現在のHICの劣化が無視し得ない場合でも、スラリーを既設・増設ALPSで同型のHICへ詰め替えることは可能。
 - 沈殿が進んだ炭酸塩スラリーも容易に攪拌可能であることが判明し、既存設備（HICへの廃棄物排出装置兼（廃吸着材からの）脱水装置）で移送可能。
 - 既設・増設ALPSとも、遮蔽ボックス数に予備があり、移送先HICを配置可能。
 - 劣化が進み得ると考えられる高線量HICの数は限定的（p.50参照）

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 中長期的な対策について

水処理二次廃棄物を含む放射性廃棄物の処理・処分に向けた研究開発は、主にIRIDと共に実施中であり、ALPSスラリーについても素案段階であるが、廃棄体化处理、処分までのプロセスを視野に入れて基本的な考え方を検討している。

また、ALPSスラリーは含水率が高いため、長期安定保管中の放射性物質の飛散・漏えいリスクを低減させるべく、安定化处理（脱水処理）について検討を進めているところ。

性状把握

安定化处理

長期安定化 保管

廃棄体化处理

処分

○スラリー性状把握

- 実スラリー分析
(既設ALPSの鉄共沈、及び炭酸塩スラリーを採取し分析中)
 - 粒度分布測定
 - 放射能測定(核種分析)
- インベントリ評価
 - 前処理の入口水、出口水の分析結果から推定

○安定化处理(脱水処理)の検討

- 安定化处理(脱水処理)方法の調査・検討
- 模擬スラリーを用いた脱水処理試験
(乾燥、ろ過、遠心分離)
- HICからのスラリー取出し方法の調査・検討
- 脱水物の廃棄体化处理を踏まえた目標含水率の検討
- 脱水物の保管方法の調査・検討

○廃棄体化处理(固型化)の検討

- 廃棄体化基礎試験
(セメント、ジオポリマー、ガラス等)
 - 機械的強度
 - 閉込め性、等

○処分 方策 の検討

検討課題、判断要素

- 安定化处理(脱水処理)の成立性
- 廃棄体化处理、処分への影響、成立性
- HIC容器保管による長期健全性*

現地での
スラリー
採取状況



鉄共沈(左) / 炭酸塩(右) スラリー

※β線に対する健全性等

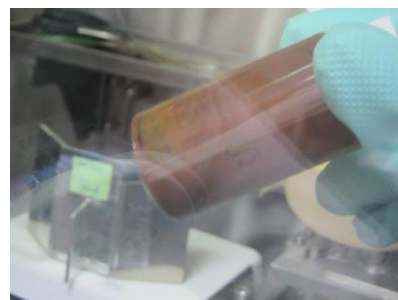
③多核種除去設備の課題に対する検討状況 スラリー安定化に向けた分析

- 多核種除去設備のスラリー（鉄共沈、炭酸塩沈殿）については、IRID/JAEA等において平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」において、廃棄物の処理・処分の安全性の見通しを得る上での分析を行った。

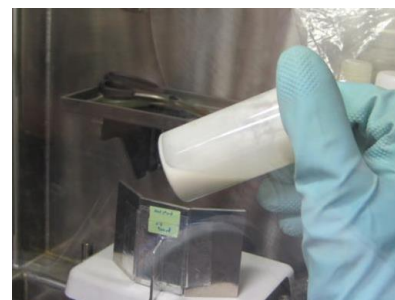
主な分析結果は以下の通り

- 鉄共沈スラリー、炭酸塩沈殿スラリーともに ^{90}Sr が主要核種。鉄共沈スラリーで $(1.2 \pm 0.1) \times 10^9$ (Bq/L)、炭酸塩沈殿スラリーで $(1.4 \pm 0.1) \times 10^{10}$ (Bq/L)。
- スラリーの外観観察から、炭酸塩沈殿よりも鉄共沈スラリーの方が粘性が高い様子が観察された。
- 鉄共沈スラリーは粒子を形成しない軟泥状。炭酸塩沈殿スラリーは平均粒子径は $3.6 \mu\text{m}$ 、最大粒子径は $23.2 \mu\text{m}$
- 固液比

	質量比 (%)		体積比 (%)	
	固体	液体	固体	液体
鉄共沈	10	90	3	97
炭酸塩	14	86	6	94



鉄共沈スラリー

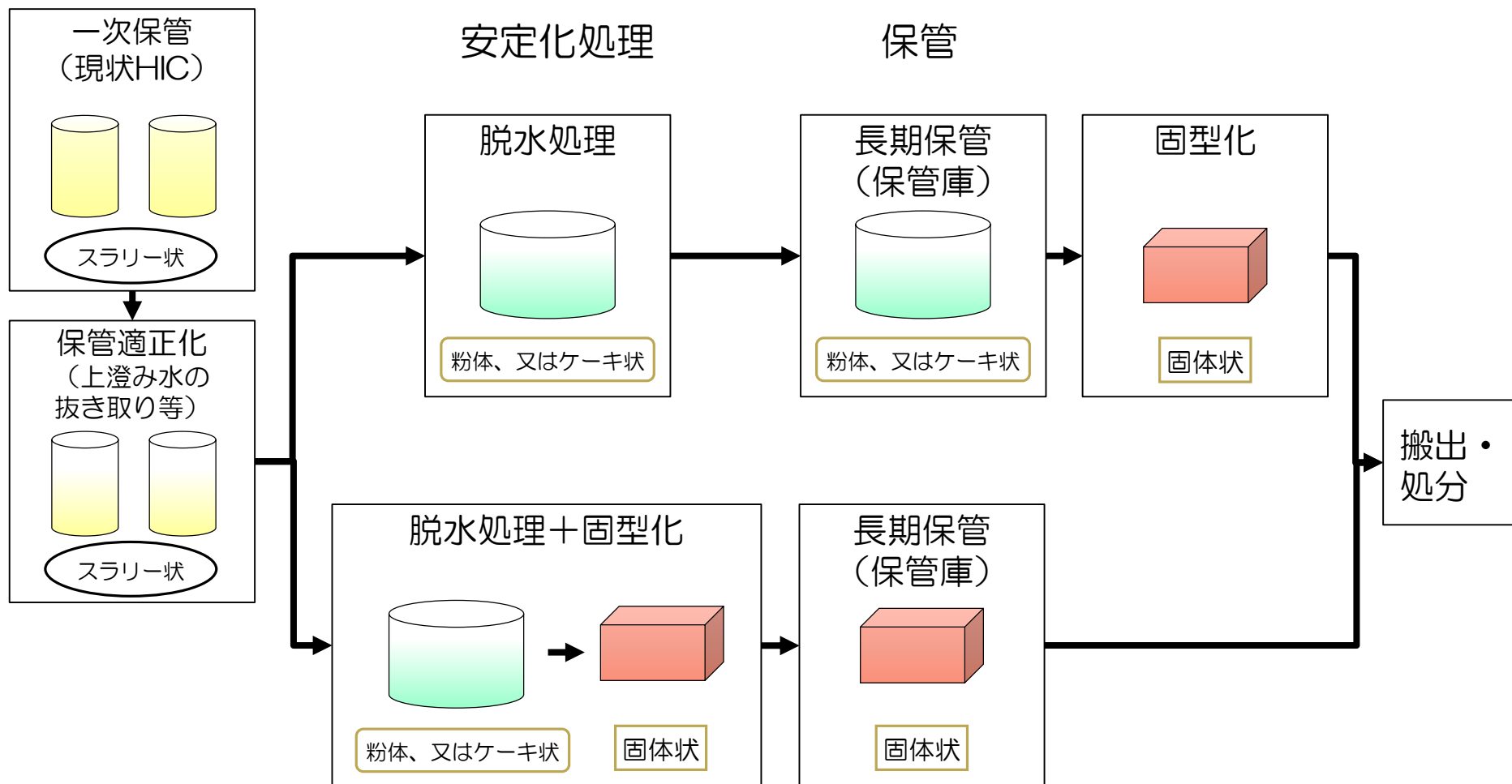


炭酸塩沈殿スラリー

- 水位上昇に着目したJAEAでのホット試験（実スラリー及び模擬スラリーへのガンマ線照射）を検討中（粒径分布測定、放射能測定、目視観察等）。
- JAEAへスラリー搬出予定



③多核種除去設備の課題に対する検討状況 スラリー安定化のシナリオ（イメージ）

安定化には脱水・固型化後に保管するシナリオと脱水後に保管するシナリオの二通り考えられる。
安定化物（脱水物や固化体）の安定性、処理技術の成熟性、被ばく、経済性等の観点を踏まえてシナリオや処理方法の選定を行う。



③多核種除去設備の課題に対する検討状況 スラリーの脱水処理による安定化の検討状況




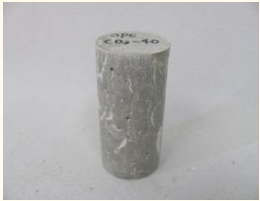


模擬スラリーを用いて、乾燥、ろ過、遠心分離方法による脱水処理試験を実施。
遠心分離は分離性能が不足し上澄み水が発生する状況であった。

処理方法	試験結果（脱水物）		試験結果
	鉄共沈スラリー	炭酸塩スラリー	
① 乾燥（減圧式） 加温条件下で蒸発乾燥し、蒸留水と残留固形物とに分離する。			<ul style="list-style-type: none"> 分離回収水はほぼ蒸留水となり、清浄な水を得た。含水率数%まで脱水可能であった。 ➤ 鉄共沈スラリー 約5%未滿 ➤ 炭酸塩スラリー 約5%未滿 残留固形物が固着し排出が困難。排出機構に対策が必要。（固着は鉄共沈が顕著）
② ろ過（フィルタープレス式） ろ布によりスラリーをろ過する。ろ過終了後に圧縮（プレス）し、脱水後に排出する。			<ul style="list-style-type: none"> 比較的、濁度の低い分離回収水を得た。含水率40～50%まで脱水可能であった。 ➤ 鉄共沈スラリー 約50% ➤ 炭酸塩スラリー 約40%
③ 遠心分離（デカンタ式） 高速回転による遠心力により脱水物と水分に分離、自動排出する。			<ul style="list-style-type: none"> 分離性能が不足し、回収水側に固形物が多く混入し、濁度の低い分離回収水を得られていない。 ➤ 鉄共沈スラリー 約70～75% ➤ 炭酸塩スラリー 約60～85% 脱水物排出口付近の汚染防止対策が必要。

平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」にて実施

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 スラリーの固型化に係る検討状況

- 二種類のセメント（OPC：普通ポルトランドセメント、BB：高炉スラグセメント）および、ジオポリマーを用いた固型化方法について、模擬スラリー脱水物の固型化試験を実施
- 固化体の強度、残留水、含有する化学物質の影響、浸出特性など処分時に考慮が必要な事項についても検討した上で固型化技術の適用性を評価する

固型化材	OPC	BB	GP
鉄共沈スラリー			
炭酸塩スラリー			

OPC：普通ポルトランドセメント

BB：高炉スラグセメント

GP：ジオポリマー

スラリー脱水物の混練固化体作製例（充填率40%）

平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」にて実施

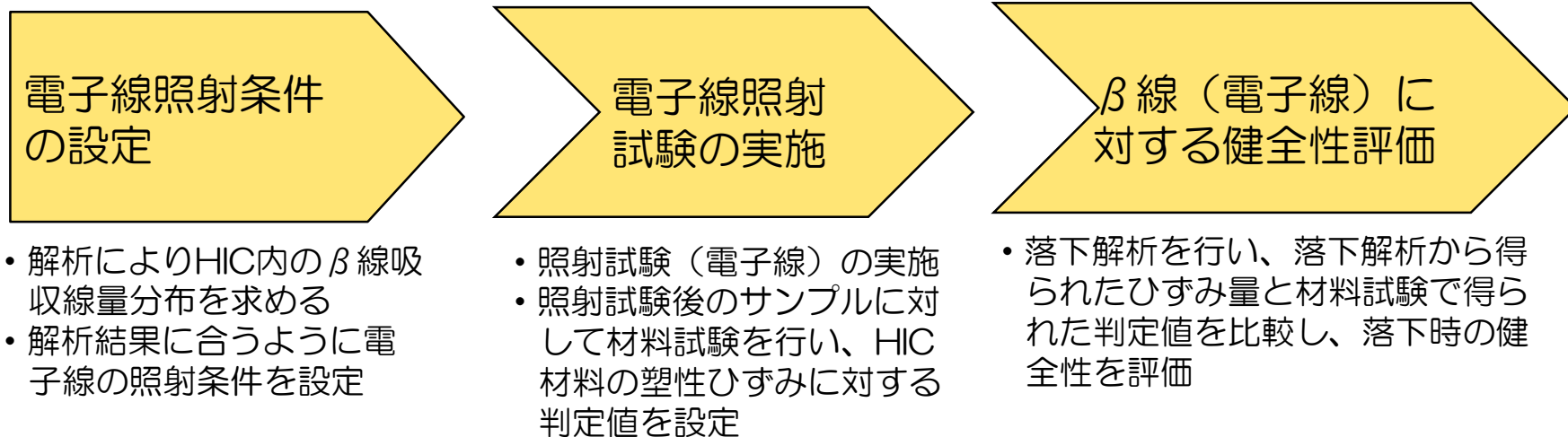
③多核種除去設備の課題に対する検討状況

β線に対するHICの健全性確認

■ β線に対するHICの健全性確認について

- ポリエチレン製のHICは、γ線、β線（電子線）による劣化を評価しておく必要がある
- γ線については、過去の評価において20年間における健全性を評価済み。
- これまで知見がなかったβ線（電子線）に対するHICの健全性について、今回、下記に示すフローにより評価を実施
 - ✓ HICは、使用済みセシウム吸着塔一時保管施設からの移動時にクレーンによる取扱いが発生するため、β線（電子線）照射後の落下に対する健全性を評価

β線（電子線）に対する健全性確認のフロー



③多核種除去設備の課題に対する検討状況

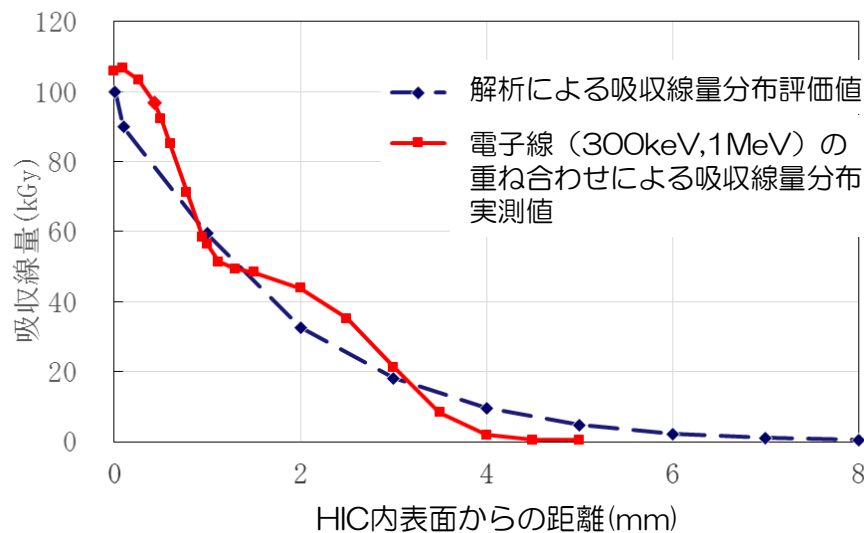
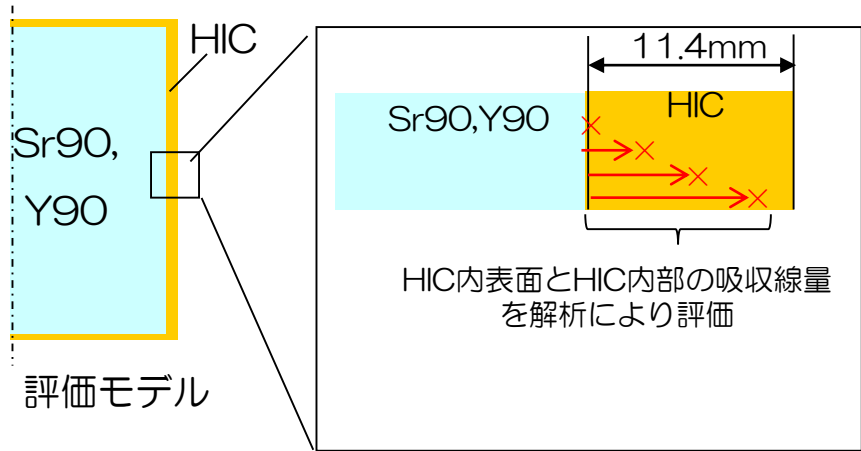
β線影響評価（電子線照射条件の設定）

■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

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 β線影響評価（電子線照射試験の実施）

■ 電子線照射試験の実施

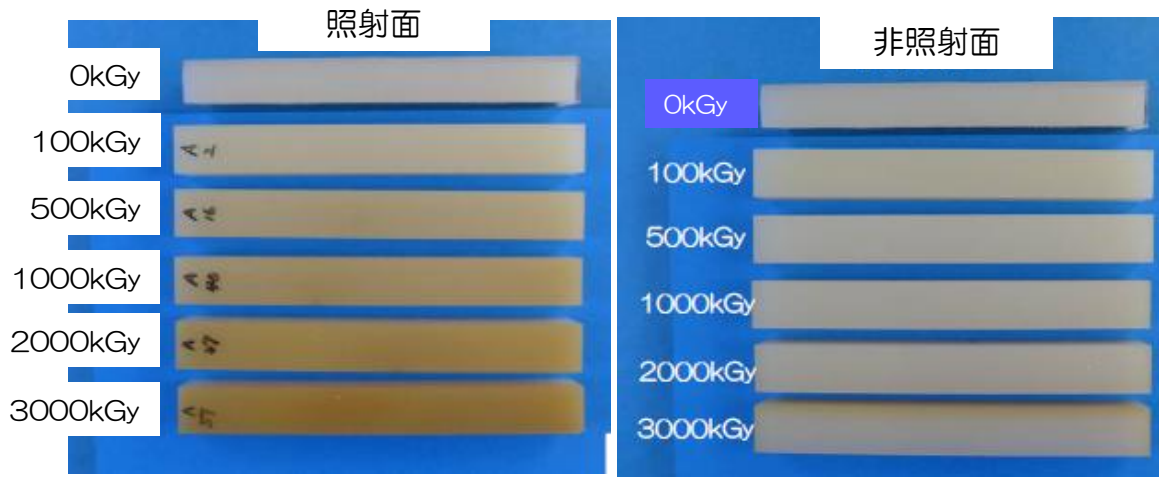
前項にて設定した照射条件に基づき、HIC試験片の照射面表面における積算吸収線量が以下の条件となるよう電子線の照射を実施。

照射条件：照射面表面における積算吸収線量

100kGy、500kGy、1000kGy、1500kGy、1800kGy、2000kGy、2500kGy、3000kGy

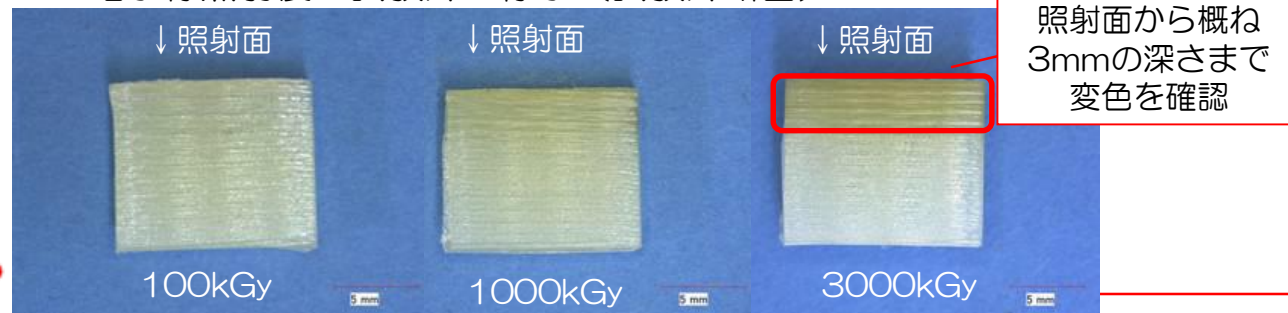
■ 電子線照射後の試験片の様子

➤ 試験片表面の様子



- 試験片の外面観察の結果、照射によるひび等は確認されなかった。
- 試験片は積算吸収線量が高いほど表面の変色の度合いが大きく、電子線の影響により硬化が進んでいるものと推定。
- 断面の観察からHICの厚さ11.4mmに対して変色の深さは、照射面から概ね3mm程度（積算吸収線量3000kGy）、電子線の影響は限定的。

➤ 電子線照射後の試験片の様子（試験片断面）



③多核種除去設備の課題に対する検討状況 β線影響評価（電子線照射後の材料試験）

- 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2000kGy～3000kGy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（3000kGyの解析については今後実施予定）ため、材料試験においても2000kGy～3000kGy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)

＜試験結果＞

試験の結果、各積算吸収線量における破断時の塑性ひずみは以下の通り。

照射面における積算吸収線量	未照射(参考)	2000kGy	2500kGy	3000kGy
塑性ひずみ	25.1%	16.8%	18.8%	14.1%

照射面における積算吸収線量が2000～3000kGyの範囲において、塑性ひずみが14.1%となるまではHIC材料が破断しないと判断できることから、**引張りに対する塑性ひずみの判定値を14.1%とする。**

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 β線影響評価（電子線照射後の材料試験）

■照射後の材料試験

➤高速曲げ試験

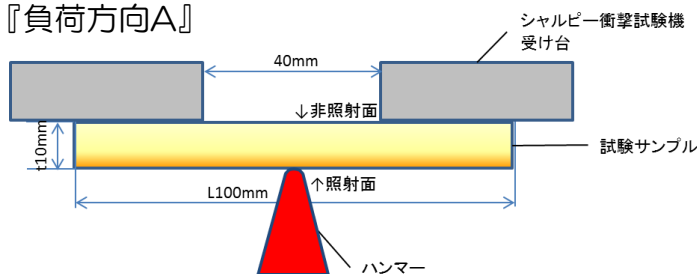
＜試験の目的＞

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＞

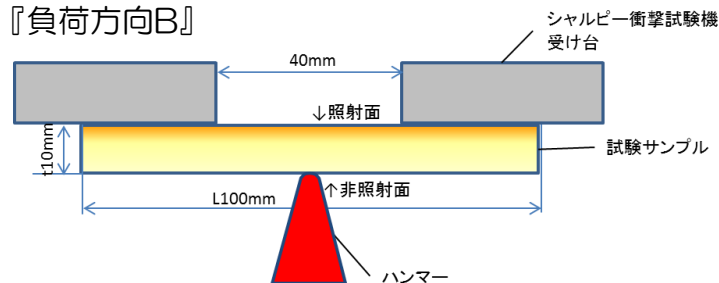
- 試験装置 : 東京衡機製 シャルピー衝撃試験機
- 試験片形状 : L100×W12×t10mm
- 持ち上げ角度 : 30° ※
- 荷重荷方向 : 下記の2ケースで試験を実施

『荷荷方向A』



HIC内面（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。試験後の非照射面のひずみ量を測定

『荷荷方向B』



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

※高速曲げ試験の結果が、落下解析より厳しい評価となるように高速曲げ試験後のひずみが、落下解析におけるひずみ量を上回るように持ち上げ角度を設定。

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 β線影響評価（電子線照射後の材料試験）

<試験結果>

○負荷方向Aの試験結果

- ・ 積算吸収線量2000kGy～3000kGyのいずれの条件においても試験片に破断は発生せず、非照射面に割れは発生しなかった。
- ・ 試験前後の非照射面の基準長さの変化から塑性ひずみを算出。

○負荷方向Bの試験結果

- ・ 積算吸収線量2000kGy～3000kGyのいずれの条件において、試験片は破断しなかったものの照射面表面に割れが確認された。
- ・ 照射面に貼り付けたひずみゲージの読み値から塑性ひずみを算出

	未照射(参考)	2000kGy	2500kGy	3000kGy
非照射面の塑性ひずみ(負荷方向A)	35.0%	47.6%	48.2%	47.2%
照射面の塑性ひずみ(負荷方向B)	35.0%	13.0%	12.8%	17.5%



高速曲げ試験の結果、負荷方向A、Bいずれの方向からの曲げに対しても得られた塑性ひずみの最小の値である12.8%までは、HIC材料に割れが発生しないと判断できることから、**曲げに対する塑性ひずみの判定値を12.8%とする**

③多核種除去設備の課題に対する検討状況

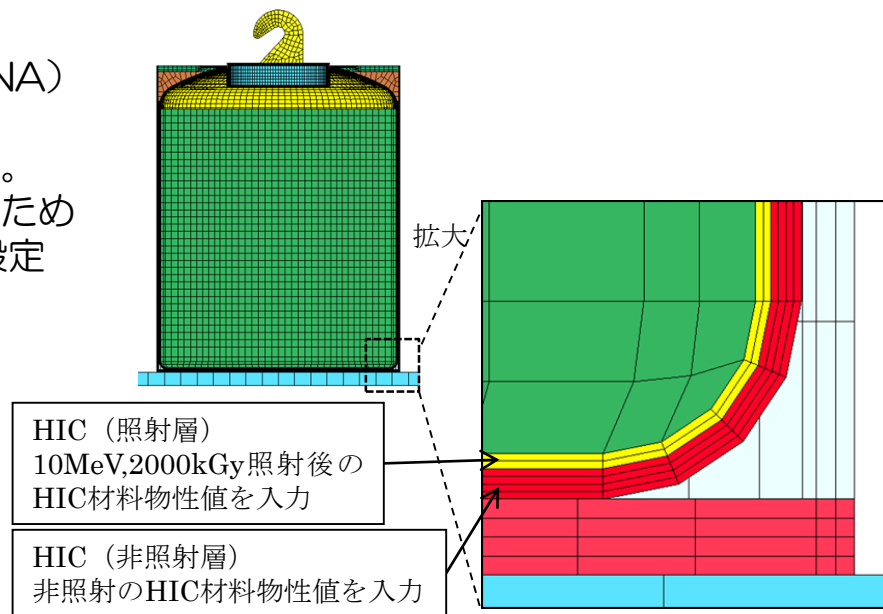
β線影響評価（落下解析）

■ 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の想定されう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）

③多核種除去設備の課題に対する検討状況

β線影響評価（落下解析）

■ 落下解析の実施

➤ 解析結果

解析の結果を以下に示す。

- 膜ひずみの最大値は<1%（下表 箇所）
- 曲げひずみの最大値は5.3%（下表 箇所）

評価条件	落下解析結果		ひずみの種類	
	部位	塑性ひずみ		
垂直落下	胸部	照射層	<1%	膜ひずみ
		非照射層	<1%	
	底面中央部	照射層	<1%	曲げひずみ
		非照射層	5.3%	
角部落下	胸部	照射層	≒0%	膜ひずみ
		非照射層		
	底面コーナ部	照射層	3.2%	曲げひずみ
		非照射層	3.9%	

➤ 解析結果の評価

得られた照射面の膜ひずみ・曲げひずみの最大値と照射後の材料試験から設定した膜ひずみと曲げひずみの判定値を比較し、いずれも判定値を満足していることを確認

	解析結果	判定値	判定結果
膜ひずみ	<1%	14.1%	○
曲げひずみ	5.3%	12.8%	○

③多核種除去設備の課題に対する検討状況 β線影響評価（健全性確認結果のまとめ）

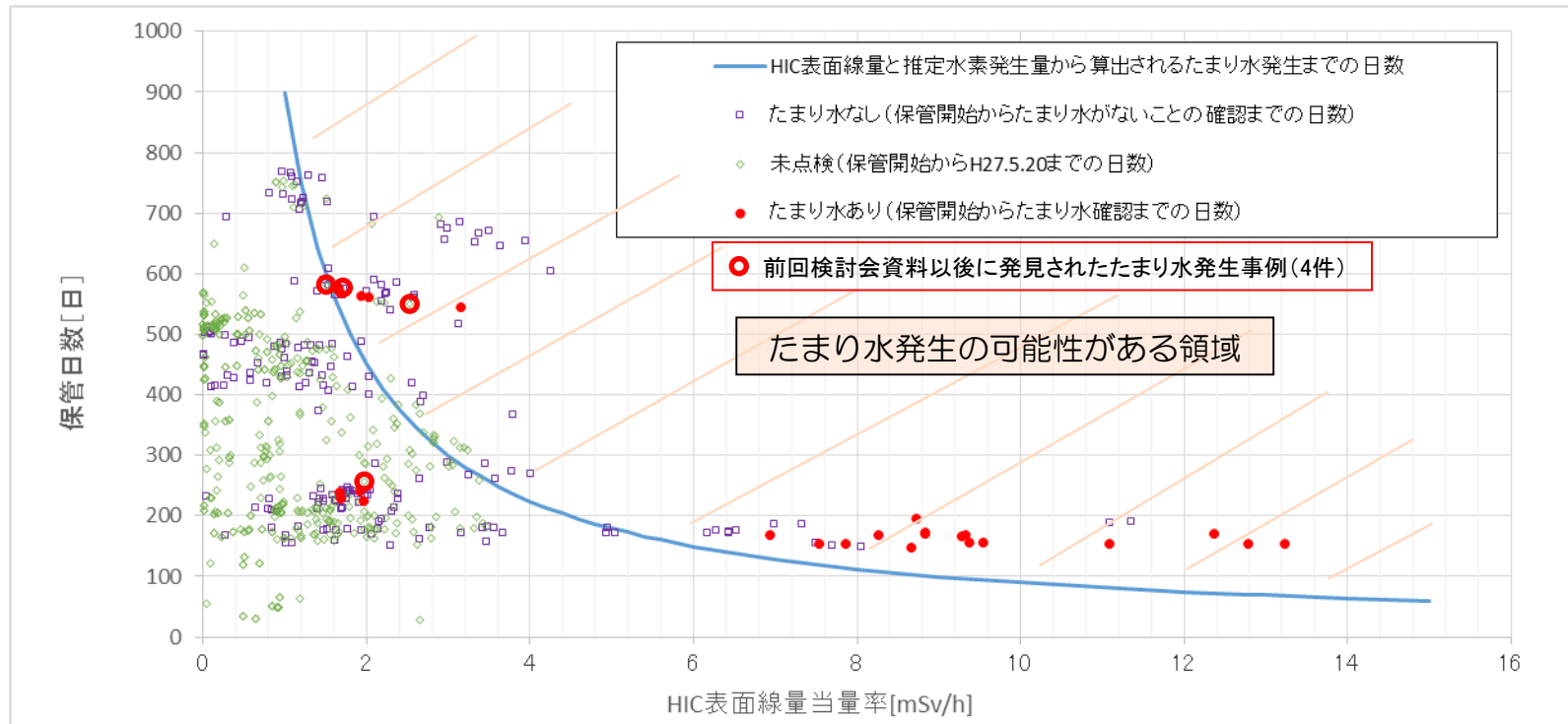
■ HICのβ線（電子線）に対する健全性確認結果のまとめ

- これまで、HIC表面の積算吸収線量2000kGyまでの電子線照射に関するHICの健全性評価を行い、落下解析により得られた塑性ひずみの最大値と電子線照射試験後の材料試験により得られた塑性ひずみの判定値との比較を行い、いずれも判定値を満足することを確認
⇒HIC表面の積算吸収線量2000kGyまでは落下に対する健全性を有することを確認
- なお、積算線量2000kGyは炭酸塩沈殿スラリーを収容するHICのうち、最も内包する放射能濃度が高いHICの想定吸着量から評価すると約10年間における積算吸収線量に相当。
- 今後、積算吸収線量3000kGy以上における解析評価を行い、健全性確認を行う予定

	想定吸着量	HIC表面における積算吸収線量が 2000kGyに到達する期間
炭酸塩沈殿スラリーを収容するHICのうち、最も放射能濃度が高いHICの想定吸着量	Sr90 : 7.8E+13 Bq/m ³ Y90 : 7.8E+13 Bq/m ³	約10年後（今後、3000kGy以上における解析評価を行い、健全性確認を行う予定）

■ 前回監視・評価検討会における考え方

- HIC表面線量当量率と保管日数から推定される水素発生量を液面上昇量とみなし、液面の上部空間の体積と比較して、たまり水発生までの日数を評価



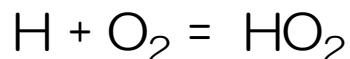
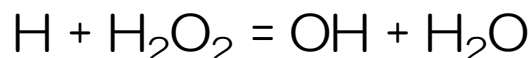
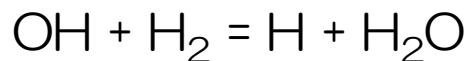
■ 課題

- 境界線より大幅に低い点でたまり水発生例がある

(参考) HICにおける水素発生量の想定について

- 水の放射線分解では、放射線のエネルギーの一部が水に吸収され、水の分解に使用される。このとき、生成する分解生成物（ e^- 、 H 、 H_2 、 OH 、 H_2O_2 等）の吸収エネルギー100eVあたりの個数をG値（個/100eV）といい、一般的に、分解初期の水素のG値は、0.45程度であることが知られている。

- 純水系では、分解生成物のOHラジカルが水素と反応し、水への再結合反応が生じて、見かけの水素のG値は0.45よりも低下する。



- 海水系では、OHラジカルを捕捉する成分（スカベンジャー）として、塩化物イオン（ Cl^- ）や臭化物イオン（ Br^- ）が含まれており、OHラジカルの水へ再結合反応が阻害されるため、見かけの水素のG値は0.45から低下しにくい。

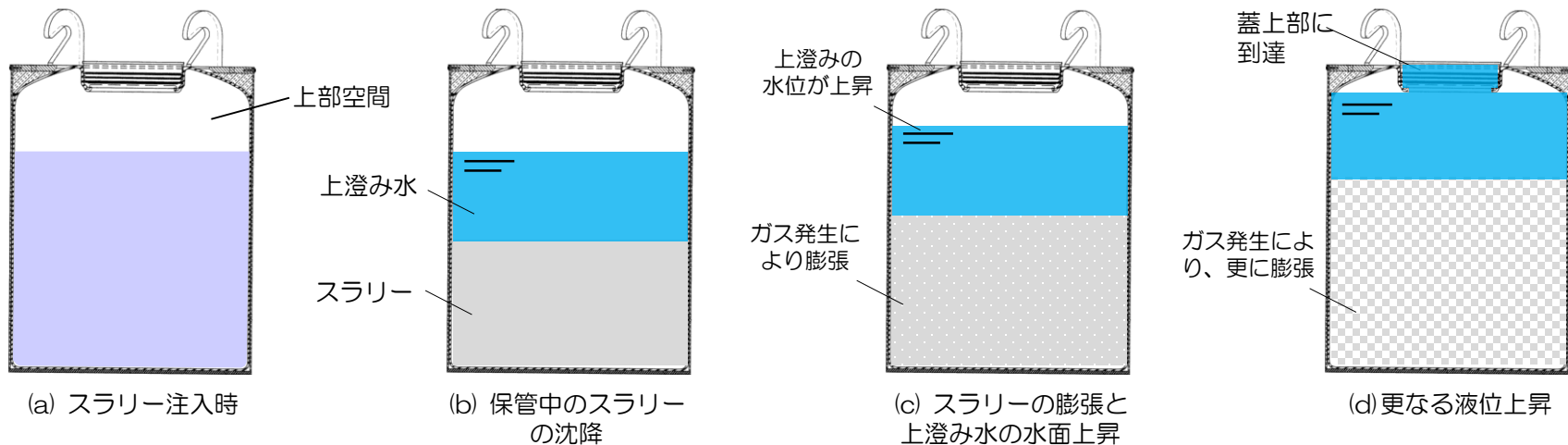


- HICからの水素発生量評価においては、内容物の炭酸イオンや海水成分、pH等の影響を考慮せず、吸着した核種の崩壊エネルギーが、全て容器内に残留する水に吸収されるとし、水素発生量のG値を0.45と評価していることから、保守的な評価となっている。

(参考) HIC上にたまり水が発生した推定メカニズム

■スラリーの体積膨張・液位上昇のメカニズム（推定）

- ◆ ALPSで発生する炭酸塩沈殿物は、均質なスラリー状でHICに排出される
- ◆ HICの保管後、静置されている間にHIC内で徐々にスラリー成分が沈降。平行して放射線により水が放射線分解されて発生した水素等のガス成分が生成
- ◆ 沈降して密度を増したスラリー内で、ガス成分が抜け切らず、体積が膨張したと推定
- ◆ この結果、HIC内の上澄みの水面が上昇し、HIC上部から押し出されたと推定



スラリーの体積膨張・液位上昇の推定挙動

- スラリーがガス成分を保持するメカニズムや、発生したガスのうち液位上昇に寄与する割合など、未解明な部分は残るものの、保管中のHICの点検を、優先度をつけて計画するための考え方として採用

(参考) 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

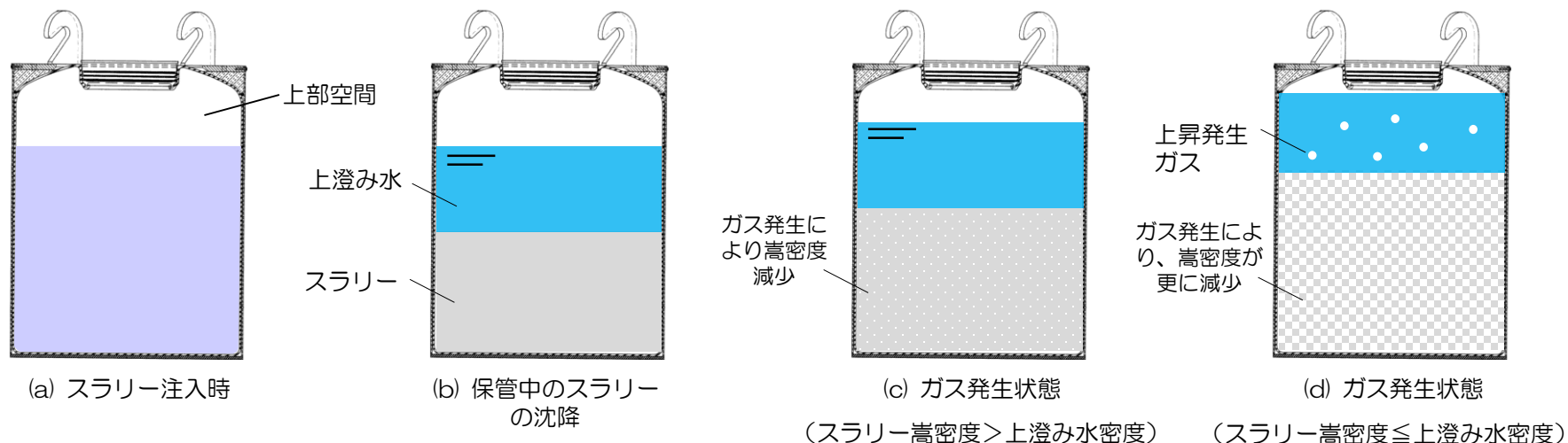
■ スラリーの体積膨張・液位上昇のメカニズム (推定)

第35回監視・評価検討会資料より再掲

- 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、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

(参考) スラリー挙動確認試験

■ コールド試験

視点：スラリーによるガス保持特性の把握

ガス発生方法は下記の通り（スラリーは模擬スラリー）

(1) 加圧した空気の圧力開放による方法

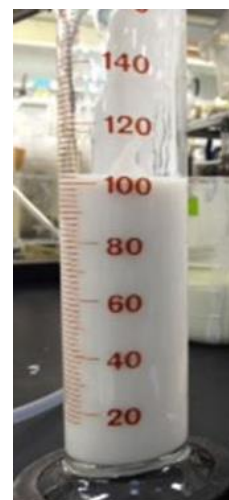
- ・スラリー中に空気が滞留したが、水位上昇は再現できず。

(2) 過酸化水素添加による方法

- ・スラリー中の酸素滞留及び水位上昇を確認
- ・粘度の低いスラリーでは水位上昇は見られず

(3) マイクロバルブ発生による方法

- ・スラリーと空気がうまく注入できていない



⇒
1時間
計画後



今後実機に近いスラリーを作成し、過酸化水素添加による水位挙動確認実験を実施

(参考) 簡易水抜き装置の安全対策

- 保管中HIC用の簡易水抜き装置の主な安全対策実施状況は以下の通り。
- 現在までの作業で汚染・漏えいの拡大や有意な水素濃度上昇などの問題は確認されていない。

汚染・漏えい 拡大防止対策	ボックスカルバート内外の作業エリアは十分な汚染防止養生を実施
	気泡が発生しないよう、慎重に水抜きを実施するものの、万が一気泡が発生し、ダストが上昇しても問題ないよう、作業ハウスを設置し、局所排風機も設ける
	回収用タンクおよびポンプには受けパンを設ける
	回収用タンクには水位の専任監視員を配置し、ポンプを緊急停止できるスイッチを近傍に設ける
	吸い込みノズル及び回収用タンク入口には緊急停止用の弁を設ける
水素対策	ハウスには水素滞留防止も目的として、局所排風機を設ける
	作業実施前および作業中は水素検知器によって、水素濃度が可燃限界以下であることを確認する。万が一、可燃域に達した場合は速やかに作業を中断し、換気を行う。
	作業員は静電気除去を行ったうえ、ハウス内に立ち入る
	ポンプは水素発生リスクのある作業エリアと区画した場所に設置する
その他	一酸化炭素検知器を設置
	熱中症対策としてスポットクーラーを設置
	WBGT値を測定し、状況に応じて、こまめな休憩をとる
	天気予報を確認し、悪天候が想定される場合は早めの作業中断を判断する

(参考) HIC蓋ベント孔過不足に関する要因分析

主要因	要因1	要因2	要因3	反省点	対策
ベント孔過不足 HICの見落とし	受注社／ベンダーの当時の記録に明確にベント孔に関する記載がなかった	海外ベンダーであり、国内でのHIC使用は初めてであったものの、国外での実績が十分にあり、米国NRCから権限を委譲されたサウスカロライナ州健康環境局 (SC DHEC) の認可を受けているため、QMS体制がしっかりしていると思いついでいた	—	国内外を問わず、過去の使用実績にとらわれることなく、水素滞留防止などの重要な機能要求が満たされていることを明確に確認するべきだった	対策① 受注社／ベンダー検査 受注社に対してベント孔に対する検査の実施及び記録への明示を行うよう、当社の仕様書に明記する。
	当社の受入検査の中でベント孔に関する確認(記録確認、受入時確認)を実施していなかった	受注社／ベンダーの出荷前外観検査の中にベント孔確認が包絡されるものと思っていた	—	水素滞留防止の機能要求を強く認識し、受注社／ベンダーに対して検査の実施および記録の明記を要求するべきだった	
		受注社への仕様書の中で、水素滞留防止機能の要求はあったものの、ベント孔有無の受注者検査および記録の提出まで明確に要求していなかった	漏えい防止機能に着目した外観目視検査は要求していたが、水素滞留防止の機能に着目した検査の要求まで考えが至らなかった。		
		初期の数基はベント孔の確認を実施していたものの、記録を作らず、かつルーチン化しなかった	受注社／ベンダーの検査でベント孔の確認が実施されていると思いついでおり、受入時の再確認まで考えが至らなかった		
ベント孔過不足 HICの発見遅れ ／ベント孔未確認 HICの放置	社内検査を実施するための検査要領書制定時、水素滞留防止等の安全機能に関する部分を考慮すべきところ機能検査としてはHICの外観検査のみを実施しており、ベント孔の個数確認までは明確に確認しなかった。	漏えい防止機能にのみ着目し、容器に有意な欠陥がないことの確認を実施。水素滞留防止の機能に着目した検査の実施まで考えが至らなかった。	水素滞留防止機能についての認識が弱かった	水素滞留防止等、安全機能に関する部分の確認を徹底して行う意識が欠如していた	対策②-1 当社による確認 ベント孔の個数確認について、社内による確認または受注者から提出される品質記録の確認等により、検査がされていることを確認する。
		類似設備の使用前検査の先行例 (SARRY 吸着塔等) に倣ってしまった	—	先行例の吸着塔はHICと構造が違ううえ、使用後に脱水をしており、水分と放射能を多く含んだスラリー内包HICと水素滞留のリスクの大きさが異なる。先行例にとらわれず、HICに関しては水素滞留防止の観点で検査方針を見直すべきだったが、そこまでの考えに至らなかった	
	受注者から工場での受入れ検査時にベント孔の数不足(32個中1個の孔が不足)確認の報告を受けた際、速やかな水平展開調査および是正対策を講じることができなかった	今後についてはベント孔の確認を行う旨の報告を受けていたが、過去分の調査を実施することを指示しなかった	実施計画上の安全評価には安全率が見込まれており、数個のベント孔不足はあったとしても安全上の重大な問題にならないと思いついでいた	安全評価への影響を軽微なものと勝手に判断し、それ以上の深堀検討を実施しようとしなかった	対策③ 周知徹底(安全機能意識向上) 本事象の周知徹底を行い、水素滞留防止等の安全機能に関する部分の確認を行うこと、常に最悪のケースを想定して行動することの意識を高める。
		当社設備で受入時に確認された場合、当社のマニュアルに従って不適合報告を行い、不適合委員会での審議を受けたうえ、必要な是正処置、水平展開調査がなされるが、受注社設備で受注者が確認した不適合の報告は受注社に委ねられており、受注社から当社へ、不適合報告がなされなかった。	受注者は、当社の仕様書で要求している受注者作成の品質保証計画書の記載に基づいた対応を実施していたものの、不適合が確認された時点で、すでに当社へ納品された設備への影響有無については、確認可能な範囲のみの確認としていた。	リスクの想定が甘く、最悪のケースを想定して行動することが出来なかった	

(参考) ベント孔不足HICを受けた対策一覧

■ ベント孔不足HICの事象を受け、以下の対策を実施

	ベント孔に関する確認	変更前	変更後	改訂内容	備考
東京電力	HIC受入時の外観確認（受入管理表）	×	○	ベント孔・フィルタの個数確認を実施	対策②-2
	使用前検査（社内）要領書・成績書	×	○	ベント孔・フィルタの個数確認を外観検査で実施	対策②-1
	仕様書	×	○	ベント孔・フィルタの個数確認検査を要求	対策①
	社内周知文書	×	○	水素滞留防止等の安全機能に関する部分の確認を徹底	対策③
受注者	受入検査要領書・記録	×	○	ベント孔・フィルタの個数確認を実施	H26.8より実施済み
	品質保証基本計画書	×	○	ベント孔に限らず、同様事象があった場合でも、不適合として報告を実施する	対策④
ベンダー	出荷前検査要領書・記録	△	○	ベント孔の個数確認を実施	対策①

○：ベント孔の個数確認に関する記載あり、 ×：ベント孔の個数確認に関する記載なし

△：ベントフィルタの個数確認に関する記載あり（ベント孔は合わせて確認を実施）

(参考) ベント孔なしHICに対する受注者の問題点と対策について

問題点	原因	対策
<p>ベンダーが制定した福島第一用HICの検査要領書に、ベント孔の数を確認するよう求めず。</p>	<p>ベント孔の重要性については認識していたものの、HICは、米国で認可された十分な実績がある規格品であり、個数確認検査の必要性を想定できず。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ベンダーの検査要領書で、ベント孔の個数確認の記載を明確化することについて、改訂するよう指示。 同種問題の再発防止として、一般汎用品として分類される機器類であっても、当該設備、機器の安全機能に係る要求仕様が、適切に検査要領書に反映されていることの確認を行うものとし、定期的実施している社内教育にて本事例、改善事項を周知する。
<p>2015年2月の受注者受入れ検査において、ベント孔の数が不足（32個あるべきところ31個）したHICを確認したが、同様事象の調査について、記録等で確認可能な範囲のみしており、確認が不十分。</p>	<p>以下の理由から、偶発的な事象であると判断。</p> <ul style="list-style-type: none"> 受注者がベントの孔の個数を確認するようになった2014年8月以降における約700基では、同様の事象はない。 2014年8月以前に納入した約600基において、同様の報告がない。 この時期は、HICの枯渇による受注者の製造負荷が高い時期であったこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 受注者に検査方法、記録の残し方について指導を実施（詳細は事項「ベンダーの対策」参照） 受注者の受入検査で、ベント孔数を確認（2014年8月より実施済み。）
<p>上記発見後、当社に不適合報告せず（ただし、担当者には口頭で説明）</p>	<p>受注者の品質保証基本計画書および当社購入共通仕様書に記載の報告が必要となる不適合に非該当。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 発注者への納品前であっても、既に納品された設備への影響有無が、エビデンス等で確認できない場合は、発注者へ不適合報告を行うよう、品質保証基本計画書を改訂

(参考) ベント孔なしHICに対するベンダーの問題点と対策について

問題点	原因	対策
<p>米国その他用と福島第一用のHICでは、ベントフィルタ、ベント孔数が異なるが、組立要領書、検査要領書の変更を実施せず</p>	<ul style="list-style-type: none">• 契約手続き遅延によるスケジュールの過密化のため、新たな生産設備の開設、熟練工の分散、新たな人員の雇用・訓練等が発生し、計画が不十分となった。• 熟練度の低い人員で製作・検査したため、熟練工では問題とならない要領書類の情報不足をカバーできず。• HICの組立・検査手順は既に確立されたものと考え、設計変更の影響を過小評価	<ul style="list-style-type: none">• 生産能力、品質確保を考慮した生産工程の調整• 福島第一向けHIC用の組立要領書、検査要領書にベント孔数の確認を反映• HIC用ポリエチレン容器・補強体の製作ラインの強化、品質管理強化を実施• サブベンダーへの管理強化とベンダーの検査員への指導強化

(参考) HICの調達に関連した当社QMSの確認結果

- ベント孔に過不足が確認された事象を踏まえ、HICの調達に関連したQMSについて、一連で確認を実施。
- 確認の結果、改善すべき点については、対策を実施。

主な確認対象	確認した内容・改善が必要であった内容	対策への反映	備考※
マニュアル	震災(3.11)当初から、組織替えによるマニュアルの変更はあるものの、調達要求事項に関する大きな変更はなし。	なし	
発注仕様書	<ul style="list-style-type: none"> ● 国外での実績が十分であったため、ベンダー、受注者の製造段階におけるプロセスで、製品の品質は確保されていると思込み、ベント孔の個数確認等の検査は、要求していなかった。 ● ベント孔の個数の違いなど、HICの型式は数種類あるが、発注前に、受注者との個別の書面によるやり取りで明確化しており、仕様書上で明確化されていなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 受注者に対して、ベント孔に対する検査の実施および記録への明示を行うよう、仕様書で要求する。 ● 仕様書上でHIC型式を明確化する。 	対策①
受け入れ検査、社内検査	ベント孔の個数確認に関する検査は実施していなかった。	<ul style="list-style-type: none"> ● 社内による確認または受注者から提出される品質記録の確認等により、検査がされていることを確認する。 ● 協力企業のHIC受け入れ(委託)において、ベント孔の確認を実施する。 	対策②-1 対策②-2
不適合対応	H27.2月に、受注者の受け入れ検査の中で、ベント孔不足HICが確認されたが、当社へ納品前であったことから、受注者内の不適合としてのみ扱われ、当社への不適合報告がなかった。その際、当社へ納品済みHICへの影響有無については、記録での確認可能な範囲のみとしており、確認が不十分であった。	<ul style="list-style-type: none"> ● 本事象の周知徹底を実施し、安全機能に関する意識徹底を図る。 ● 当社への納品前であっても、既に納品された設備への影響有無が、エビデンス等で確認できない場合は、当社への不適合報告を提出するよう指導する。 	対策③ 対策④

(参考) ベンダーによるベント孔空け作業／確認について

- ベント孔不足事象を受け、ベンダーは、ベント孔の数確認の方法を改善。
- 孔空け作業については、本事象の確認前から、作業効率改善等の観点で変更済み

	変更前	変更後
孔空け作業	<p>所定の数について、蓋を等間隔に測定・マーキングし、マーキング箇所に孔空けを実施</p> <p>所定の数の穴があいた治具をHIC蓋に被せ、穴があいた箇所に孔空けを実施。 (H24.8頃より試験的に運用開始)</p>	<p>所定の数の穴があいた治具をHIC蓋に被せ、穴があいた箇所に孔空けを実施。 治具を固定しない場合、穴あけ箇所がずれる可能性があることから、最初の穴にガイドピンを差し込んで治具を固定。</p> <p>(本事象発覚 (H27.5) 以降、運用開始)</p>
数確認	<p>ベントフィルタの個数確認と合わせ、穴があいた箇所の個数をカウント</p>	<p>穴があいた箇所1つ1つに附番 (マーキング) し、個数確認を実施</p> <p>(H27.3から上記運用を開始) (H27.6から同運用を手順書に反映)</p>

- 過不足が確認された7個のHICについては、いずれも変更前の手順で実施されたものであることを確認

(参考) HICの検査項目に関する調査

- ベンダー制定のHICの取扱いガイド（以下、「Operating Guideline」という。）において、HIC蓋のベント（フィルタおよび孔）の確認に関する記述があるものの、福島第一用HICの検査で使用されたベンダー検査要領書では、ベントフィルタに関する記載となっており、ベント孔に関する記述として明確化されていなかった。
- 上記を受け、ベント孔以外で同様の事象がないかを確認するため、福島第一用HICが国内認可要件、米国認証要件について、漏れなく検査されているかを確認した結果、問題ないことを確認。

【参考】 Operating Guidelineの位置づけ

- HICは、米国において、低レベル放射性廃棄物の最終処分に使用されている容器であり、NRCから権限を委譲されたサウスカロライナ州健康環境局（S.C. DHEC）の承認を得ている
- Operating Guidelineは、米国において、認証されたHICを使用する際、ユーザーが、守る必要があるHICの取扱マニュアル。（守らない場合、最終処分場で受け取りを拒否される。）
- 福島第一用のHICは、福島第一用に設計されているものであり、使用・保管方法は、日本で取り扱われることから、直接的に適用はされない。
- Operating Guidelineでは、ベント用の孔が、障害物で塞がっていないことをユーザーが確認することとしているため、日本での取扱にあたっては、参考にするべきであったと考える。

(参考) HIC蓋のベント孔不足 (点検結果・対策状況)

- ゴムマット設置に関する確認状況 (聞き取り調査結果等)
 - 汚染したHICにゴムマットを設置する際、メーカ (設計者) からメーカ (現地作業員) へ汚染・ダスト対策としてゴムマットを取り付ける旨の作業指示が出されたが、ベント機能を維持・確保する旨の作業指示が出ていなかった
 - 当社への工事の説明時、汚染・ダスト対策としてゴムマットを取り付ける旨の計画のみ説明を受け、ベント機能に関する議論がなかった
 - 現場へは、工場で当該形状に製作されたゴムマットが搬入され、現場作業は張り付けるだけの手順となっており、現地作業員は極力、目的に照らした施工 (汚染低減、ダスト対策をできるだけ封じ込める) を実施した
 - 工場で製作されたゴムマットには、孔等が施工されておらず、HICから発生するガスを逃がす機能がなかった
 - 現地作業時および作業終了後、当社監理員およびメーカ設計者が、当該HICを現地で確認しておらず、現場でベント機能が阻害された状態になったことを気付かなかった (当該作業時は、増設多核種除去設備と高性能多核種除去設備の建設作業があったこともあり、当該作業を現場で確認しなかった)

- 原因
 - メーカ設計者はHICベント機能の認識はあったものの、ゴムマット取付時にその機能を喪失させないよう留意するところまで考えが至っていなかった
 - 当社監理員もHICのベント機能を認識していたものの、その機能が維持・確保されていることの確認をするところまで考えが至らなかった

(参考) HIC蓋のベント孔不足 (点検結果・対策状況)

■ 対策 (検討中)

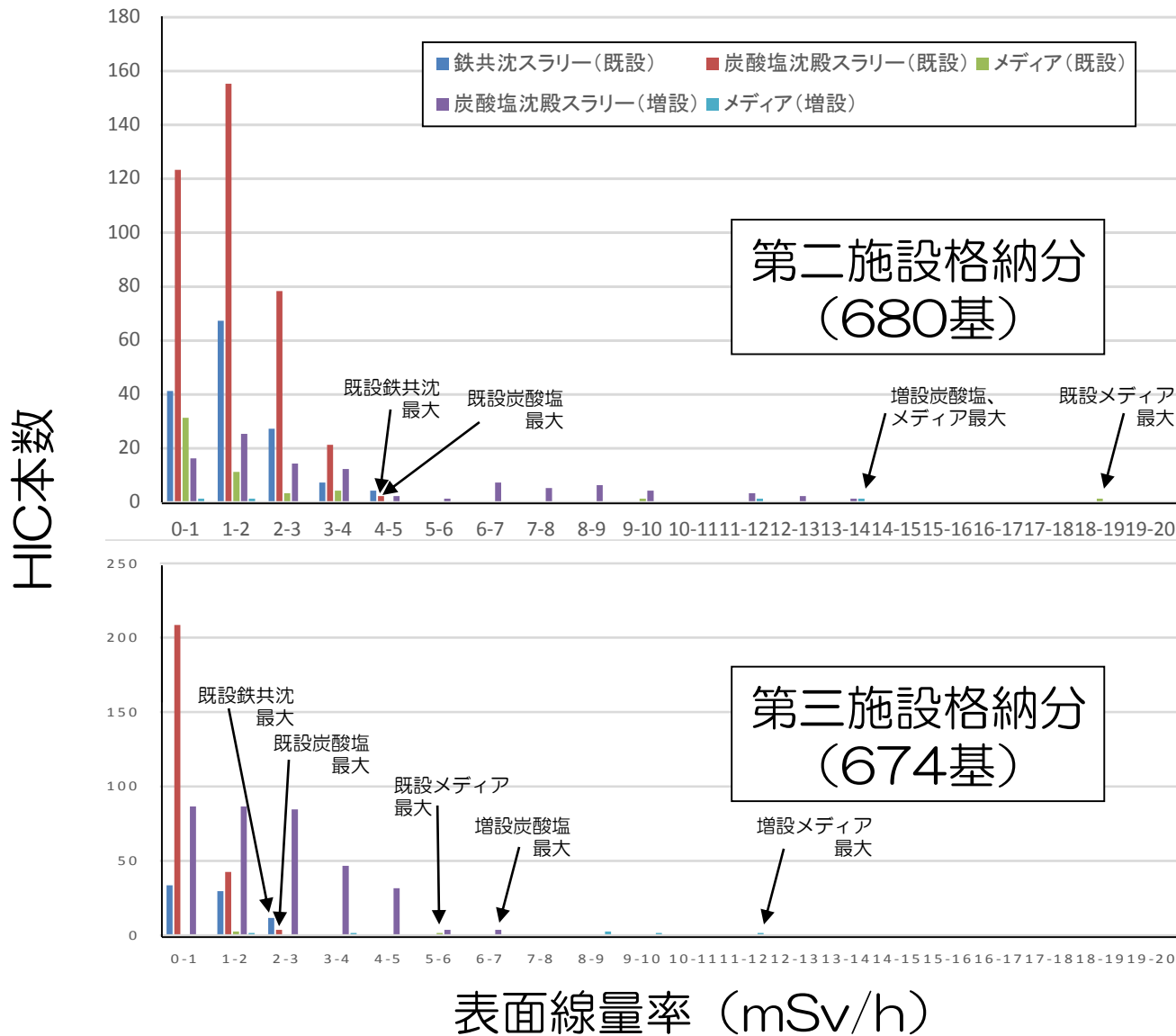
【当社の対策】

- 本事象の周知徹底を行い、水素滞留防止等の安全機能に関する部分の確認を行う意識を高める。
- 通常ルーチンと異なる作業を実施する際、作業時または作業後の状態を確認する。
(他作業がある場合は、人手を分けて、現場確認する)

【メーカーの対策】

- 今回の事例を、定期的にも実施している教育の場で周知し、実施計画で規定しているような安全機能を阻害することのないよう、指示徹底を行う。

(参考) 第二／第三施設格納HICの線量率分布



(参考) 多核種除去設備の課題(規制委員会文書)

2.本格運転後の課題

1)HICの強度の劣化

放射線によるHICの強度の劣化について、東京電力は、米国における照射試験データに基づき、貯蔵期間20年における照射劣化は軽微であるとしている。しかし、米国の照射試験はその実施時期が古く、また、HICの強度の劣化は始まると急激に進展することから、改めて照射後の試料を用いた材料強度試験等を実施し、再評価することが必要である。

また、紫外線によるHICの強度の劣化について、東京電力は米国での試験結果に保守性を加味して、HICの寿命を1年未満としているが、紫外線による経年劣化に関するデータの蓄積が少ないため、新たに紫外線による劣化試験を実施し、その健全性を評価していくことが必要である。

長期間使用するHICの健全性の維持及び管理する方法については、上記健全性評価の結果を踏まえ、早期取替も念頭に入れた管理計画を検討する必要がある。その際には、HICの取替（内容物の詰替）方法や、HIC以外の保管方法（金属製容器、移送配管・廃棄物保管タンク設置等）についても検討していく必要がある。

2) 一時保管施設の漏えい

東京電力は、ALPSで発生する廃棄物を収容したHICは、一時保管施設へ輸送し、ボックスカルバート内に貯蔵することとしている。しかし、HICをボックスカルバートに20年間貯蔵する計画となっていることから、ボックスカルバートからの漏えいを早期に検知可能な検出器が必要である。しかし、ボックスカルバートは屋外に設置されており、雨水の影響排除が困難なことから、ボックスカルバートからの漏えいを検出するための漏えい検知器は設置されていない。

今後、ボックスカルバートの設置エリアにおける漏えいの拡大防止及び外部飛散防止を確実にするため、設置エリアを覆う建屋の設置、上屋根を踏まえたより良い堰の設置、漏えい検出器の設置を検討する必要がある。

(参考) 一時保管施設の雨天時の運用性

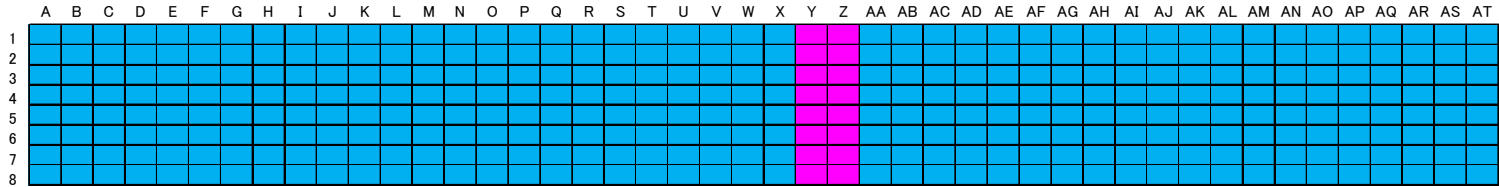
■ 雨天時の対応可能性

- 通常の降雨時※には、一旦雨天時受入れ用のロケーションに格納の上、降雨終了後にHICを保管用のロケーションに移動させる運用としている。
- これにより、降雨時であっても、HIC格納を滞らせない運用と、雨水を保管用ボックスカルバート内に入れない運用の両立を可能としている。

※： 警報レベルの荒天時には、万一の汚染発生時の汚染拡大防止・回収性の観点から、予め作業を中止することとしている



保管用ボックスカルバート上に設営中の簡易水抜き装置用ハウス

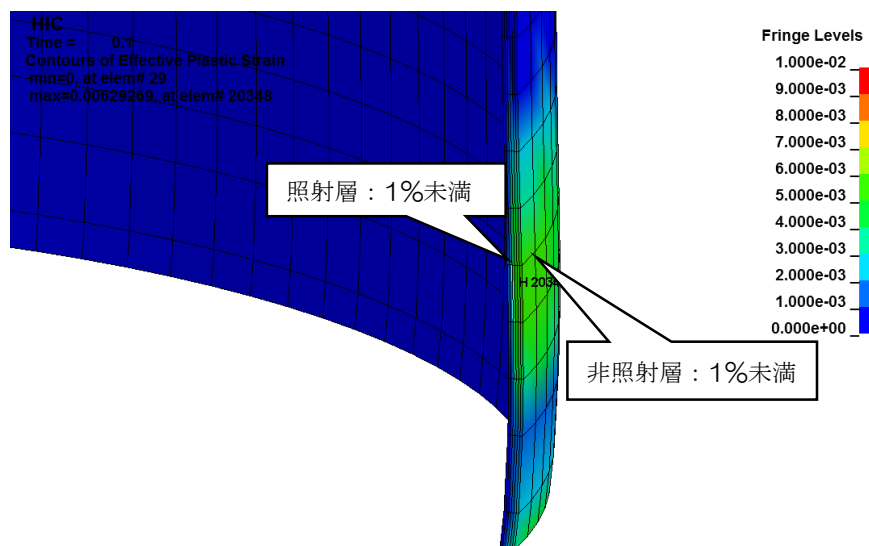


■ 通常保管用ボックスカルバート ■ : 雨天時一時受入れ用 (第二施設の例)

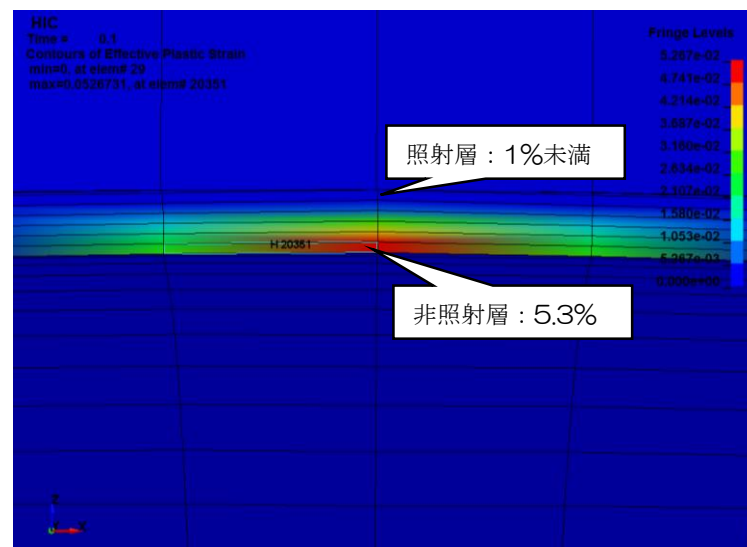
- 本格水抜き装置を運用する場合も、降雨が予想される際の作業対象HICを予め雨天時用ロケーションに移動させておく等により、降雨時も作業を進めることが可能である。

(参考) 落下解析結果コンター図

■ 落下解析結果コンター図



<HIC胴部>

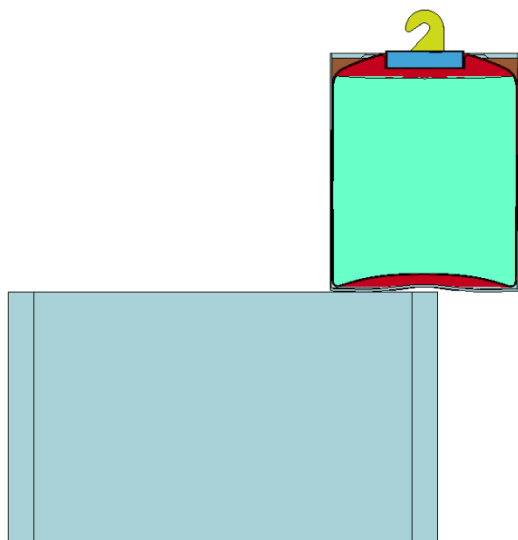


<HIC底面中央部>

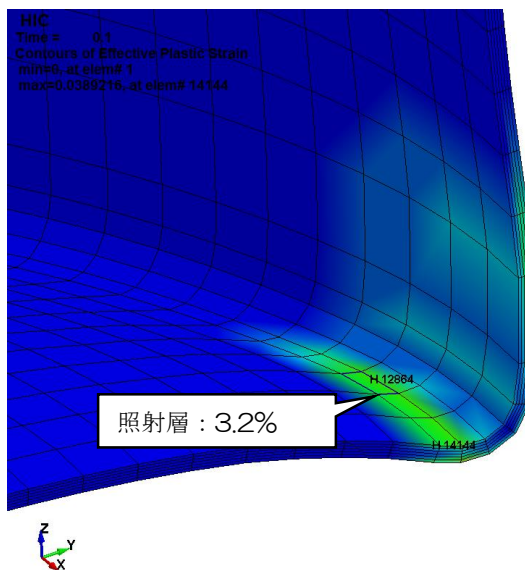
垂直落下：HIC塑性ひずみコンター図

(参考) 落下解析結果コンター図

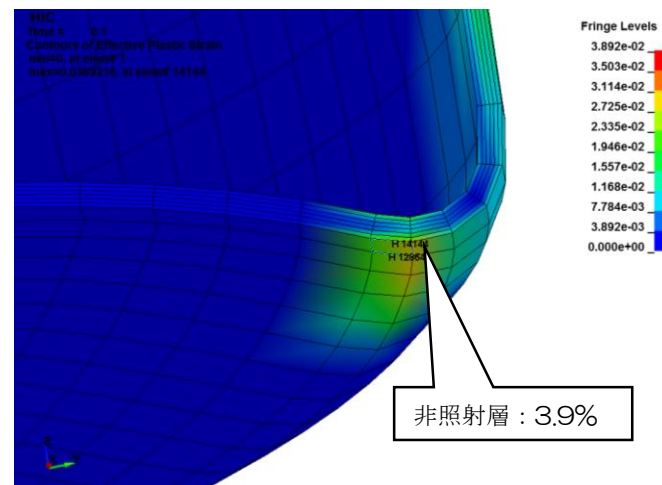
■ 落下解析結果コンター図



角部落下時の状況



<HICコーナ部内表面>



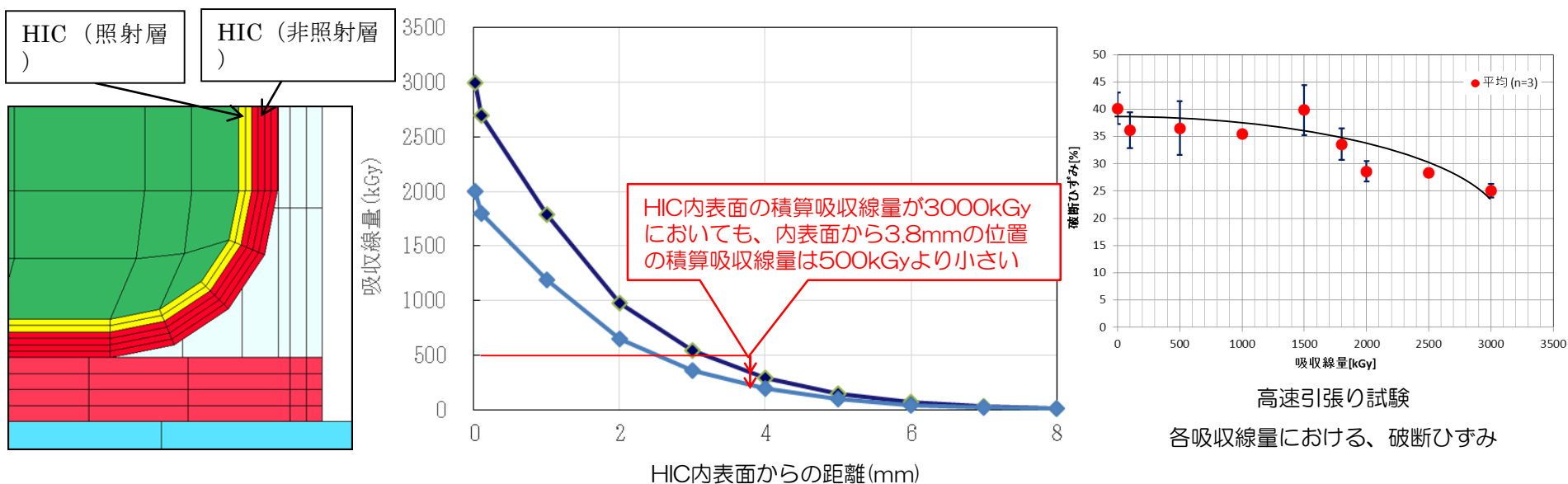
<HICコーナ部外表面>

角部落下：HIC塑性ひずみコンター図

(参考) 照射層・非照射層に対する材料物性値の設定

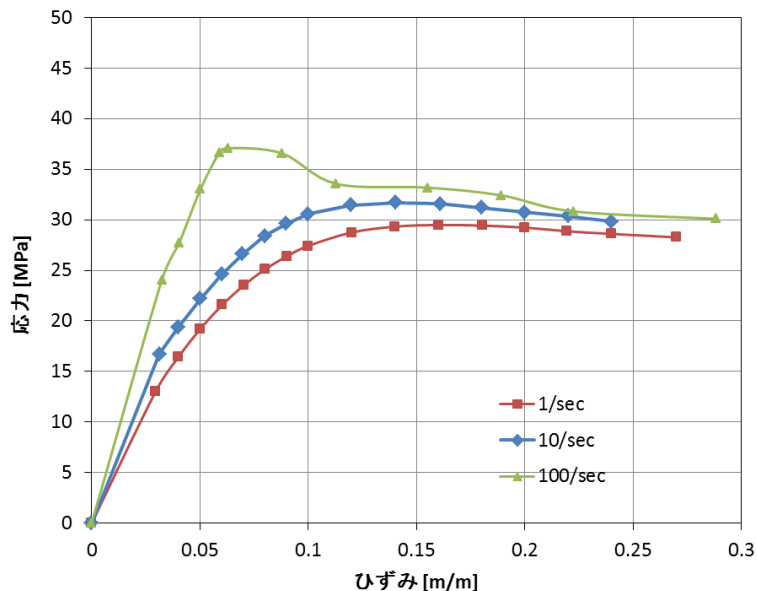
➤ 照射層・非照射層に対する材料物性値の設定

- 落下解析では、 β 線照射による材料特性の変化を考慮し、下図に示すように、HICの厚さ11.4mmを6分割したメッシュのうち、内表面から2メッシュ分（厚さ約3.8mm）を照射層、4メッシュ分（厚さ約7.6mm）を非照射層として評価。
 - ✓ HIC内表面の積算吸収線量が3000kGyにおいても、内表面から3.8mmの位置の積算吸収線量は5小さい
 - ✓ 高速引張り試験の結果から、積算吸収線量が500kGyより小さい領域では、有意な材料特性の変化は確認されていない
- 照射面に入力する材料物性は、HICの厚さ方向が一様に照射影響を受けるよう10MeVの高いエネルギーで2000kGy照射したサンプルの材料特性。非照射面に入力する材料物性は、非照射サンプルの材料特性。それぞれのHIC材料の応力-ひずみ線図を次ページに示す。

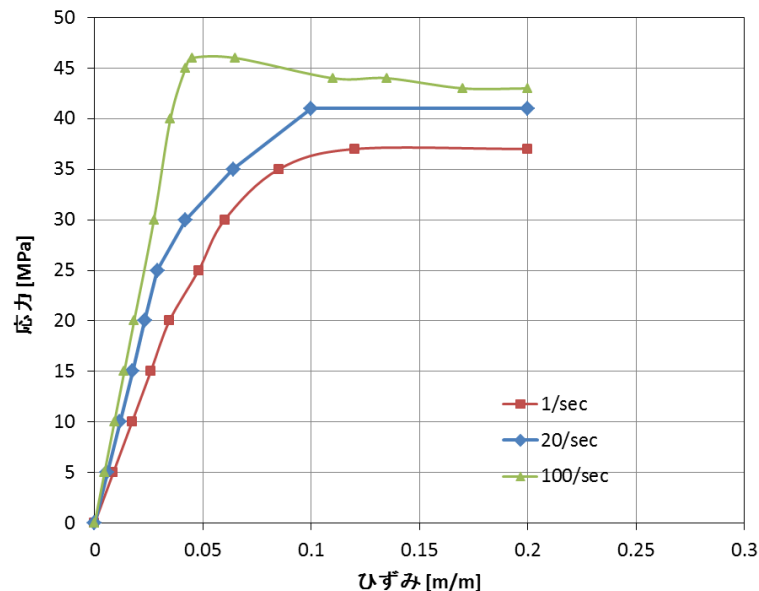


(参考) 照射層・非照射層に対する材料物性値の設定

➤ 解析に用いたHIC材料の応力—ひずみ線図



解析に用いたHIC材料の応力—ひずみ線図【非照射部】



解析に用いたHIC材料の応力—ひずみ線図【照射部】