

福島第一原子力発電所廃炉・事故調査に係る
連絡・調整会議
第9回会合

議事次第

1. 日 時 令和4年5月13日（金）10:00 ～ 12:00
2. 場 所 原子力規制委員会 13階会議室 BCD
3. 議 題
 - （1）中期的リスクの低減目標マップの改定について
 - （2）1号機及び2号機非常用ガス処理系配管の一部撤去に伴う調査分析について
 - （3）3号機RHR配管における水素の滞留について
 - （4）建物構築物の健全性確認について
 - （5）ケーブル、塗料等の加熱試験の実施状況について
 - （6）その他
 - ・規制庁の現地調査等のデータベース化について
4. 配布資料
 - 資料1-1：中期的リスクの低減目標マップの改定について [原子力規制庁資料]
 - 資料1-2：試料採取・分析計画について～中長期リスクの低減目標マップの改定について～ [東京電力ホールディングス株式会社資料]
 - 資料2-1：福島第一原子力発電所1号機及び2号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について [東京電力ホールディングス株式会社資料]
 - 資料3-1：3号機RHR配管における水素の滞留について [原子力規制庁資料]
 - 資料3-2：3号機RHR配管で確認した滞留ガスに関わる対応について（他系統、他号機の滞留箇所の検討） [東京電力ホールディングス株式会社資料]
 - 資料4-1：建物構築物の形状測定等について [原子力規制庁資料]
 - 資料4-2：建屋健全性評価の進捗状況について [東京電力ホールディングス株式会社資料]
 - 資料5-1：ケーブル、塗料等の加熱試験の実施状況について [原子力規制庁資料]
 - 資料5-2：ケーブル等の加熱試験について [東京電力ホールディングス株式会社資料]

中期的リスクの低減目標マップの改定について

- i. 東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ（2022年3月版）
令和4年3月9日 第70回原子力規制委員会資料

原子力規制庁の論点

1. 原子力規制委員会では、令和4年3月9日の第70回原子力規制委員会において、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップの改定を行った。
2. この中で主要な取組の一つに「廃炉を着実に進めるための分析施設の設置及び分析能力の確保・強化」があり、東京電力HDからは、特定原子力施設監視・評価検討会において、「固体廃棄物の性状把握に向けた試料採取・分析計画について」の説明があった。
3. これらは廃炉の観点からの分析の計画であり、事故分析の観点からの試料分析も考慮した分析体制の検討などが重要と考える。

東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ(2022年3月版)

令和4年3月9日
原子力規制委員会

リスク低減に向けた分野

主要な取組(およそ10年後までに目指すべき姿)

液状の放射性物質

- 【実現すべき姿】タンク残量を含む液体状の放射性物質の全量処理**
- ・建屋内滞留水(α核種を含む)の処理を進め、原子炉建屋を除き排水完了エリアとして維持する
 - ・雨水・地下水流入抑制策を進め、建屋内滞留水の増加を抑えつつ、原子炉建屋内滞留水の全量処理を行う
 - ・1/3号機のサプレッションチェンバの内包水は漏えい時に建屋外に流出しないレベルまで減らす

使用済燃料

- 【実現すべき姿】全ての使用済燃料の乾式保管**
- ・各号機の使用済燃料プールから全ての燃料の取り出しを完了させる
 - ・乾式貯蔵キャスク置き場を増設し、共用プールの貯蔵容量と合わせて全ての使用済燃料の貯蔵容量を確保する
 - ・共用プール内の燃料についても可能な限り早期に乾式貯蔵キャスクにて保管する

固形状の放射性物質

- 【実現すべき姿】脱水処理等による、より安定な状態への移行**
- ・プロセス主建屋等に残っている高線量のゼオライト入り土嚢や除染装置スラッジの取り出し及び飛散・流出防止処理
 - ・HIC(高性能容器)内のスラリーの脱水処理
- 【実現すべき姿】放射能濃度や性状等に応じた区分と適切な保管・管理**
- ・建屋解体等の廃炉作業に伴い生ずるものを放射能濃度や性状等に応じて区分し、それぞれの区分に応じた適切な保管・管理
 - ・使用済みセシウム吸着塔等の建屋内保管・管理
 - ・瓦礫等の減容・焼却を進め、その総量を減らし、屋外での一時保管状態を解消する
- 【実現すべき姿】廃炉を着実に進めるための分析施設の設置及び分析能力の確保・強化**
- ・幅広い種類かつ多量の放射性物質の分析を実施できる総合分析施設やデブリ性状の把握に必要な分析施設を設置する
 - ・放射性物質の分析ニーズを定量的に評価した上で、それを確実に実施できる人員・能力を確保する
- 【実現すべき姿】燃料デブリの安定な状態での保管**
- ・燃料デブリ取り出しに伴う安全対策及び燃料デブリの安定な状態での保管を行う

外部事象等への対応

- ・建屋外壁の止水を行い建屋への地下水流入を大幅に抑制する
- ・建屋内への雨水流入防止のための建屋屋上部等を修繕する
- ・建屋構築物等の劣化や損傷状況に応じた対策を講じる

廃炉作業を進める上で重要なもの

- ・リスク低減活動の迅速な実施のために必要な体制を強化するとともに、品質管理を向上する
- ・1/2号機排気筒下部などの高線量線源の除去又は遮へいによる被ばく低減対策及び建屋内作業時のダスト飛散対策を講じる
- ・多核種除去設備等処理水を計画的に海洋放出する
- ・シールドプラグ汚染を考慮した廃炉作業への影響を検討

東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ(主要な目標)

分野 (年度)	液状の放射性物質	使用済燃料	固形状の放射性物質		外部事象等への対応	廃炉作業を進める上で重要なもの
2022	原子炉注水停止に向けた取組	6号機燃料取り出し開始	分析第1棟運用開始	減容処理設備設置	陸側遮水壁内のフェーシング範囲50%へ拡大【当面の雨水対策】～2023	1/2号機排気筒下部の高線量SGTS配管等の撤去
	1/3号機S/C水位低下に向けた取組	2号機原子炉建屋オペフロ遮へい・ダスト抑制～2023	分析計画(施設・人材含む)の策定	1号機の格納容器内部調査		1/2号機地震計の設置
	タンク内未処理水の処理手法決定		2号機燃料デブリ試験的取り出し・格納容器内部調査・性状把握		労働安全衛生環境の改善(継続)	
			大型廃棄物保管庫(Cs吸着材入り吸着塔)クレーン設置工事開始		品質管理体制の強化(継続)	
		ALPSスラリー安定化処理設備設置工事開始		高線量下での被ばく低減(継続)		
2023	タンク内未処理水の処理開始	プロセス主建屋等ゼオライト等の回収着手		除染装置スラッジの回収着手	建物等からのダスト飛散対策(継続)	多核種除去設備等処理水の海洋放出開始
	原子炉建屋内滞留水の半減・処理	廃棄物貯蔵庫(10棟)運用開始(2023年度上期)				
		2号機燃料デブリの「段階的な取り出し規模の拡大」に対する安全対策				
		大型廃棄物保管庫(Cs吸着材入り吸着塔)設置				
2024	1号機原子炉建屋カバー設置		ALPSスラリー安定化処理設備設置		建物構築物の健全性評価手法の確立	
	5号機燃料取り出し開始					
今後の更なる目標 2025～2033	プロセス主建屋等ドライアップ	乾式貯蔵キャスク増設エリア拡張	分析第2棟等の燃料デブリ分析施設の設置		建屋外壁の止水【地下水対策】	
	原子炉建屋内滞留水の全量処理	1/2号機燃料取り出し	瓦礫等の屋外保管の解消	取り出した燃料デブリの安定な状態での保管		
		全号機使用済燃料プールからの燃料取り出し	廃棄物のより安全・安定な状態での管理	総合分析施設の設置		

周辺の地域や海域等への影響を特に留意すべきリスクへの対策
 留意すべきであるが比較的外部への影響が小さいリスクへの対策

東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ(その他のもの)

○液状の放射性物質	実施時期
実施予定 高性能容器(HIC)内スラリー移替作業 <small>※2022年1月末までに積算吸収線量が 上限値(5,000kGy)を超えた45基の移替</small>	2023年度内 2022年度内
実施時期未定 地下貯水槽の撤去 ドライアップ完了建屋の残存スラッジ等の処理	

○使用済燃料	実施時期
実施予定 使用済制御棒の取出着手	2022年度内

○固形状の放射性物質	実施時期
実施予定 仮設集積場所の解消	2022年度内

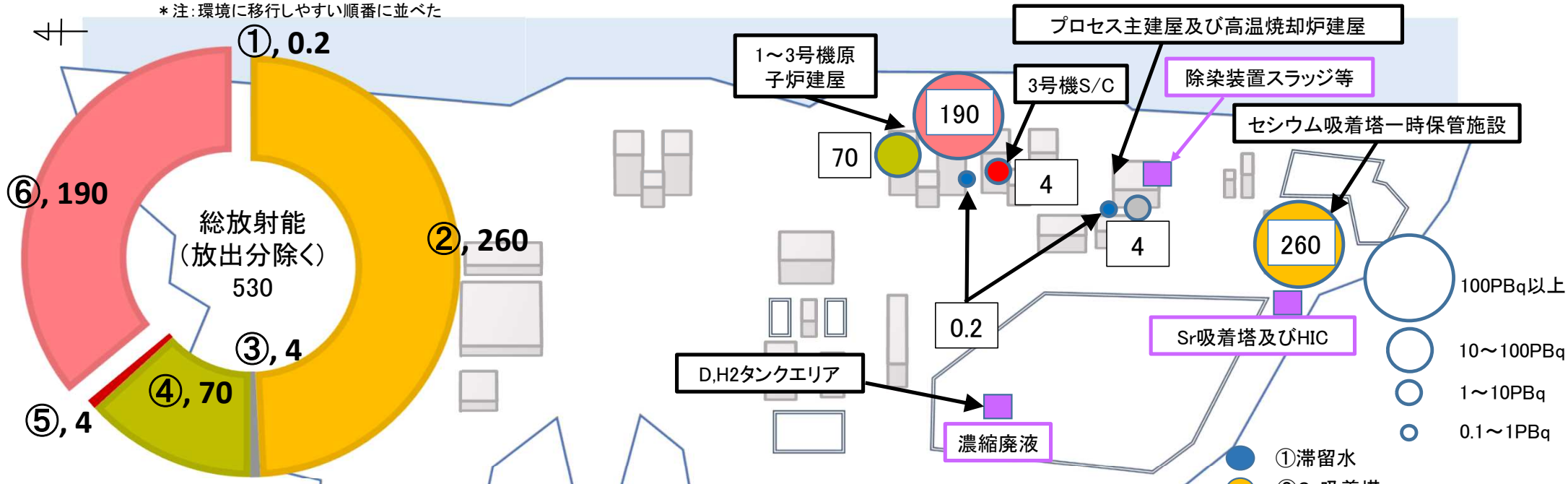
○外部事象等への対応	実施時期
実施予定 建屋内雨水流入の抑制 1/2号機廃棄物処理建屋への流入抑制 D排水路の延伸整備【豪雨対策】 日本海溝津波防潮堤設置	2022年度内 2022年度内 2023年度内

○廃炉作業を進める上で重要なもの	実施時期
実施中 (継続) 原子炉建屋内等の汚染状況把握(核種分析等) 原子炉冷却後の冷却水の性状把握(核種分析) 原子炉建屋内等での汚染水の流れ等の状況把握 格納容器内及び圧力容器内の直接的な状況把握 <small>※圧力容器内については今後実施予定</small> 排水路の水の放射性物質の濃度低下	
実施予定 3号機RHR(A)系統の水素滞留を踏まえた他系統及び他号機の調査と対応 1/2号機排気筒下部とその周辺の汚染状況調査	2022年度内 2023年度内
要否検討 T.P.2.5m 盤の環境改善に係る土壌の回収・洗浄、地下水の浄化対策等の検討	

放射性物質(主にCs-137)の所在状況(使用済燃料は除く) (単位;PBq)

	種類(*注)	性状	現在の状態
①	滞留水	液状	1~3号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋に滞留する高濃度汚染水
⑤	3号機S/C	液状	3号機原子炉建屋S/C内の高濃度汚染水
③	ゼオライト等	液状・固形状	汚染水移送前に敷設されたゼオライト土嚢等・汚染水処理初期に発生した沈殿物等
②	Cs吸着塔	固形状(含水)	汚染水処理に使われた吸着材を保管する金属容器(屋外一時保管)
④	シールドプラグ	固形状(詳細不明)	1~3号機格納容器の上にある遮へい蓋(事故時に放出された高放射能が下面に付着)
⑥	1~3号機のCs-137総量から①~⑤及び環境へ放出された量を除いたもの(燃料デブリなど)	固形状(詳細不明)	1~3号機原子炉建屋内に残っている燃料デブリ等

*注:環境に移行しやすい順番に並べた

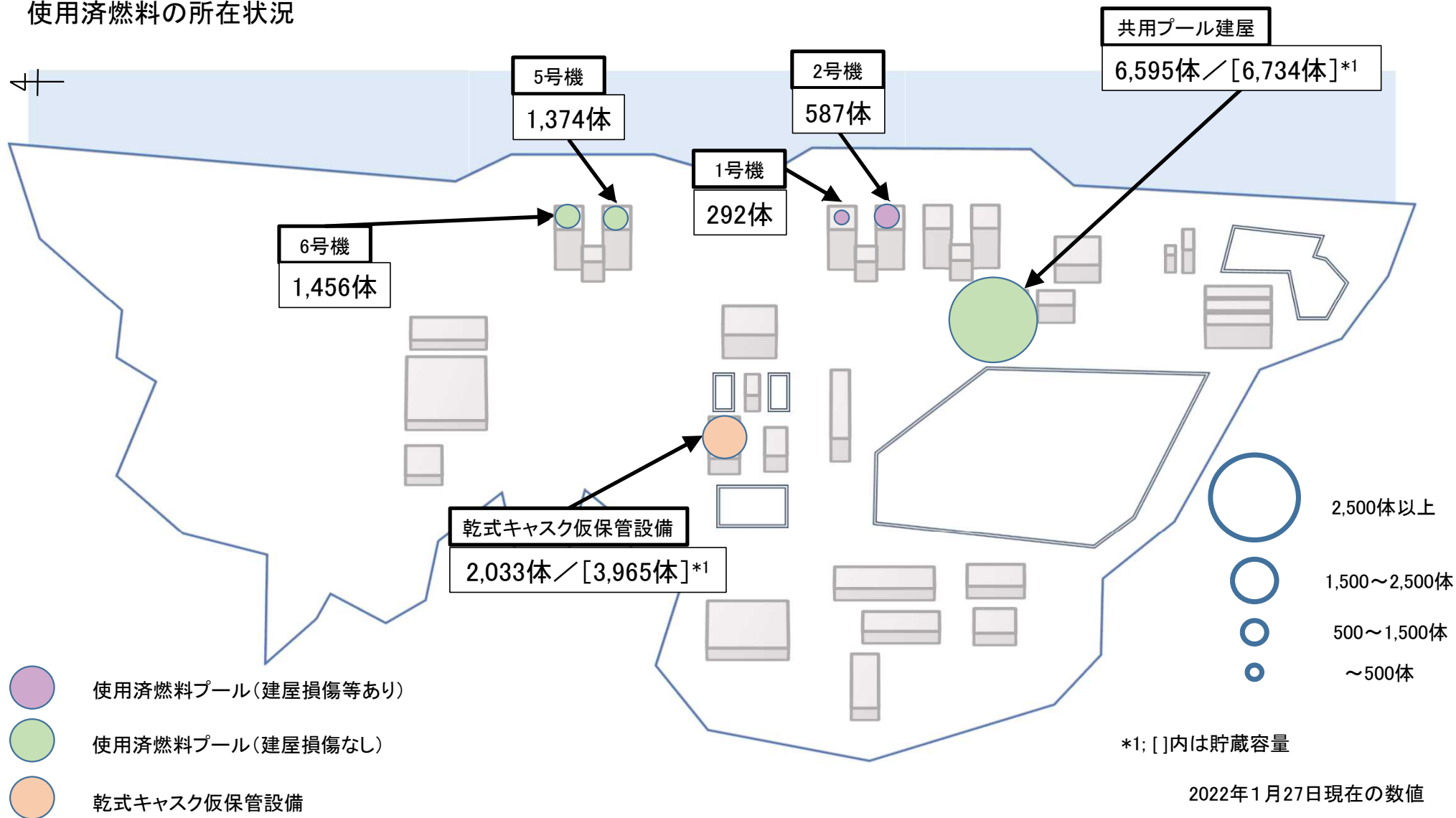


- 減衰は事故発生から11年後(2022年3月11日)を基準日として計算しているが、減衰を考慮しないで算出したデータも含まれる
- 1~3号機のCs-137総量を、「JAEA-Data/Code2012-018」及び減衰を考慮して想定した
- 環境へ放出された量については、「国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—(第2報告)」等及び減衰を考慮して想定した
- 本資料は使用済燃料を除いたCs-137の所在状況を示したものであるが、算出には東京電力等が公開しているデータから算出した
- Cs-137よりSr-90を多く含む水処理二次廃棄物に着目し、Sr-90がHICに44PBq、Sr吸着塔に15PBq、除染装置スラッジ等に2PBq、濃縮廃液に1PBqと算出した
- 端数処理を行っているため、合計は一致しない

S/C: 圧力抑制室、HIC: スラリーを収納した高性能容器、Sr吸着塔: Sr吸着材を収納した金属容器、除染装置スラッジ等: 除染装置から発生したスラッジ及びゼオライト土嚢等、濃縮廃液: 濃縮塩水を蒸発濃縮装置で処理後に発生した濃縮廃液及びスラリー

- ①滞留水
- ②Cs吸着塔
- ③ゼオライト等
- ④シールドプラグ
- ⑤3号機S/C
- ⑥ 1~3号機のCs-137総量から①~⑤及び環境へ放出された量を除いたもの(燃料デブリなど)
- Sr量が多いエリア(1PBq以上)

使用済燃料の所在状況



主要なインベントリ(Cs-137)の一覧

建屋・吸着塔等に存在するもの

所在	インベントリ (PBq)
滞留水(①)	0.2
3号機S/C(⑤)	4
ゼオライト等(③)	4
Cs吸着塔(②)	260
シールドプラグ(④)	70
1～3号機のCs-137総量から①～⑤及び環境へ放出された量を除いたもの(燃料デブリなど)	190
事故発生から数週間までに環境(大気、海洋)へ放出された量	14
1～3号機のCs-137総量	540

使用済燃料

所在	インベントリ (PBq)
1号機使用済燃料プール	130
2号機使用済燃料プール	350
3号機使用済燃料プール	0
4号機使用済燃料プール	0
5号機使用済燃料プール	740
6号機使用済燃料プール	780
共用プール	3,500
乾式貯蔵キャスク	1,100
合計	6,600

- ◆ 赤枠は、対処すべきものとして優先度の高いもの
- ◆ ここで示した数値は、滞留水中のCs-137の放射能の収支、1点の測定値からの外挿、使用済燃料1体当たりの平均値から算出するなど、ある仮定をおいて間接的に評価を行ったものであるため誤差が大きい
- ◆ S/Cについては分析結果がある3号機のみ記載した
- ◆ 端数処理を行っているため、合計は一致しない

試料採取・分析計画について

～中長期リスクの低減目標マップの改定について～

2022年5月13日



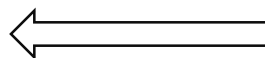
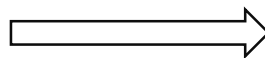
東京電力ホールディングス株式会社

原子力・立地本部

(役割)

- ・事故進展や事象究明／安全性向上に有益な情報の検討・整理
- ・安全対策の検討

事故調査に係る要望



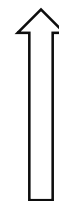
情報提供

福島第一廃炉推進カンパニー

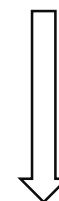
(役割)

- ・事故進展や事象究明／安全性向上に有益な情報の取得・提供

分析結果の共有



分析依頼

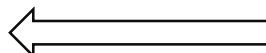
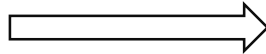


構外分析施設(JAEA等)

(役割)

- ・1F構内の分析施設より詳細な分析
- ・デブリの性状把握等を目的として補助事業で、PCV内部調査装置の付着物その他のサンプルを分析。(年間A型輸送1~2回)

分析結果の共有



分析依頼

1F分析部門(分析施設)

化学分析棟及び5・6号ホットラボ

(役割)

- ・廃炉作業に伴い採取した試料の分析
- ・構外施設での分析のためのサンプル選定
- ・輸送評価のための分析

放射性物質分析・研究施設第2棟

(1F構内のJAEA施設)

(役割)

- ・燃料デブリ等の試料分析

4. 固体廃棄物の分析計画（採取/分析数推移想定）

■ 各年度の試料採取/分析数(概算)の推移

▼:主要廃炉工程イベント

		～2020	2021	2022	2023	2024	2025～	備考
試料採取	瓦礫類(可燃物)・使用済保護衣・伐採木 -使用済み保護衣等焼却灰 -伐採木等焼却灰 -可燃物等焼却灰	約160採取済 ▼雑固体焼却設備 (うち焼却灰(7))	27 (うち既設25, 増設2)	約30	→		約30 ……	
	瓦礫類(金属・コンクリート等) -1mSv毎時超 -0.005～1mSv毎時 -0.005mSv毎時未満 (再利用向けコンクリート瓦礫含む)	約270採取済	86	約80	約130	→		約130 ……
	水処理二次廃棄物 水処理装置 処理前後水 水処理二次廃棄物性状把握 -多核種除去設備吸着材 -Cs吸着装置 吸着材	約280採取済 ▼多核種除去設備 約80採取済	18	約10	→		約10	……
	施設設計開発に向けた性状把握	約110採取済 -炭酸塩/鉄共沈スラリー -除染装置スラッジ -ゼオライト土嚢 -2号トリス滞留水	6	約10	→		約10	……
試料採取数(概計)		計約900試料採取済 (2012-20実績)	137試料 採取済み	約140試料 採取予定	約270試料 採取予定	約190試料 採取予定	約180試料 採取予定	
試料分析	各施設分析数(目標) -茨城地区の分析施設等 -大熊第一棟分析施設	約650分析済 (2012-20実績)	62分析 実施	約70分析 予定	→		約70分析 予定 ……	
			大熊第一棟分析施設▼	約100分析 予定	約200分析 予定	約200分析 予定	……	
分析容量(概計)		計約650試料分析済 (2012-20実績)	62試料 分析済	約70試料 分析予定	約170試料 分析予定	約270試料 分析予定	約270試料 分析予定	

※分析結果や研究開発の進捗、現場ニーズ等を適宜反映するため、分析数/分析内容等、計画については変り得る。なお分析結果は福島第一事故廃棄物に関する分析データ集(FRANdLi)で公開中。また固体廃棄物(瓦礫類、放射性廃棄物)の表面線量率測定(全数実施)や安全監理は東京電力、核種濃度等分析は経産省廃炉・汚染水対策事業で実施中。

福島第一原子力発電所

1号機及び2号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について

2022年5月13日

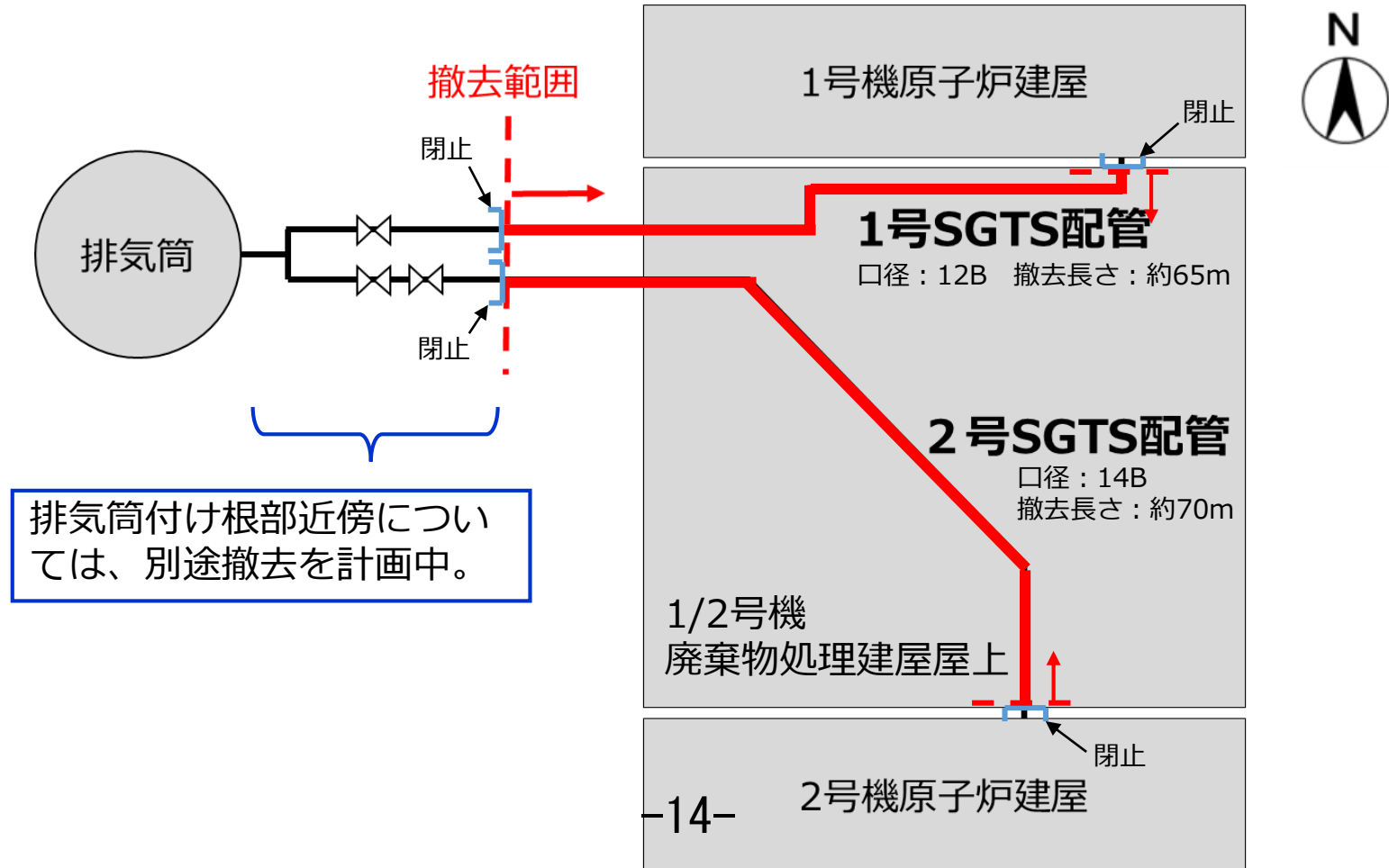


東京電力ホールディングス株式会社

1. 1 / 2号機SGTS配管撤去目的及び撤去範囲

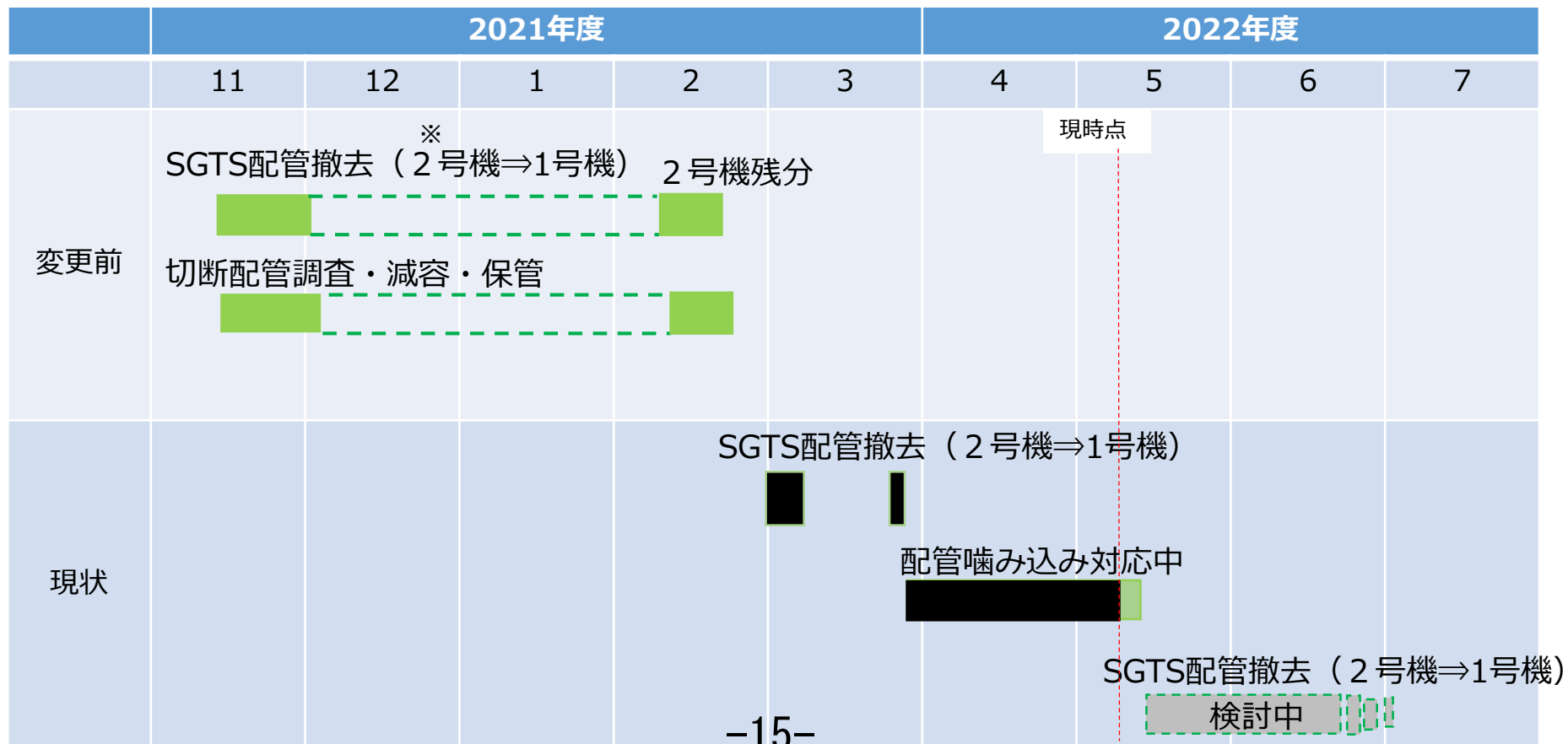
◆ 目的

- ✓ 1号機及び2号機非常用ガス処理系配管（以下、SGTS配管）のうち屋外に敷設されている配管については、1/2号機廃棄物処理建屋雨水対策工事及び1号原子炉建屋大型カバー設置工事に干渉することから配管の一部撤去を実施する。



2. 1 / 2号SGTS配管撤去工程（予定）

- 2021年11月以降、SGTS配管撤去に使用する750tクローラクレーン及び切断装置で発生した不具合対応により工程を変更。（2021年11月 →2022年2月下旬）
- 2022年2月下旬の作業を強風により見送り、2022年3月1日、2日に作業を開始したところ、切断装置の不具合事象が発生し作業を中断。
- 2022年3月27日、不具合対応を完了し作業を再開したところ、配管切断時に配管への切断装置ワイヤーソーの刃の噛み込み事象が発生し、作業を中断。現在、原因分析及び対策を検討中。
- 対策完了後、作業再開時期を調整する予定。



【参考】SGTS配管切断装置ワイヤーソーの配管への噛み込み事象（1） **TEPCO**

- 1/2号機SGTS配管撤去において、配管切断時にワイヤーソーの配管への噛み込み事象が発生したため、原因調査及び対策検討を実施中。

【事象概要】

- 3月27日 SGTS配管を切断時にワイヤーソーの刃が配管に噛み込み停止した。
- ワイヤソーの正/逆回転、切断装置付帯ウインチで刃の上下作用により噛み込み解消を試みたが、解消しないことから切断装置の把持状態を解除し、クレーンにて切断装置の吊り下ろし作業を完了した。

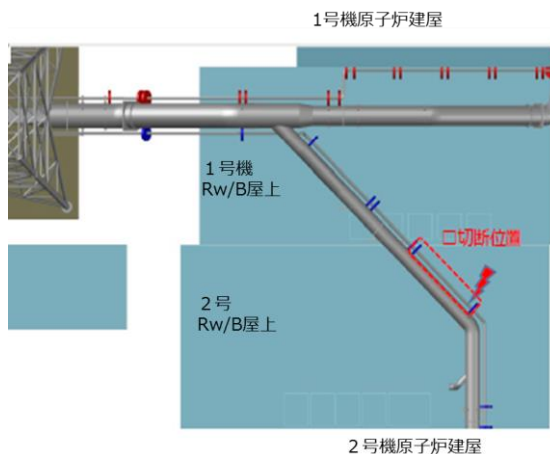


図1：切断位置

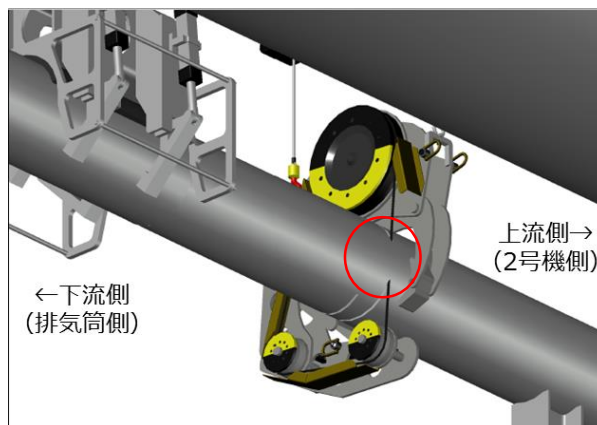


図2：ワイヤーソー配管噛み込み状況

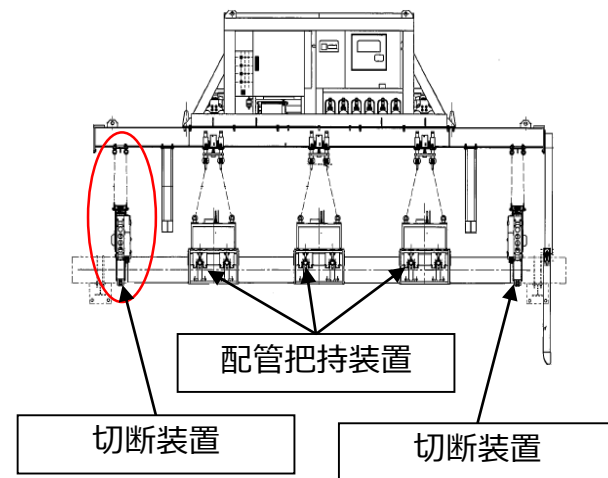
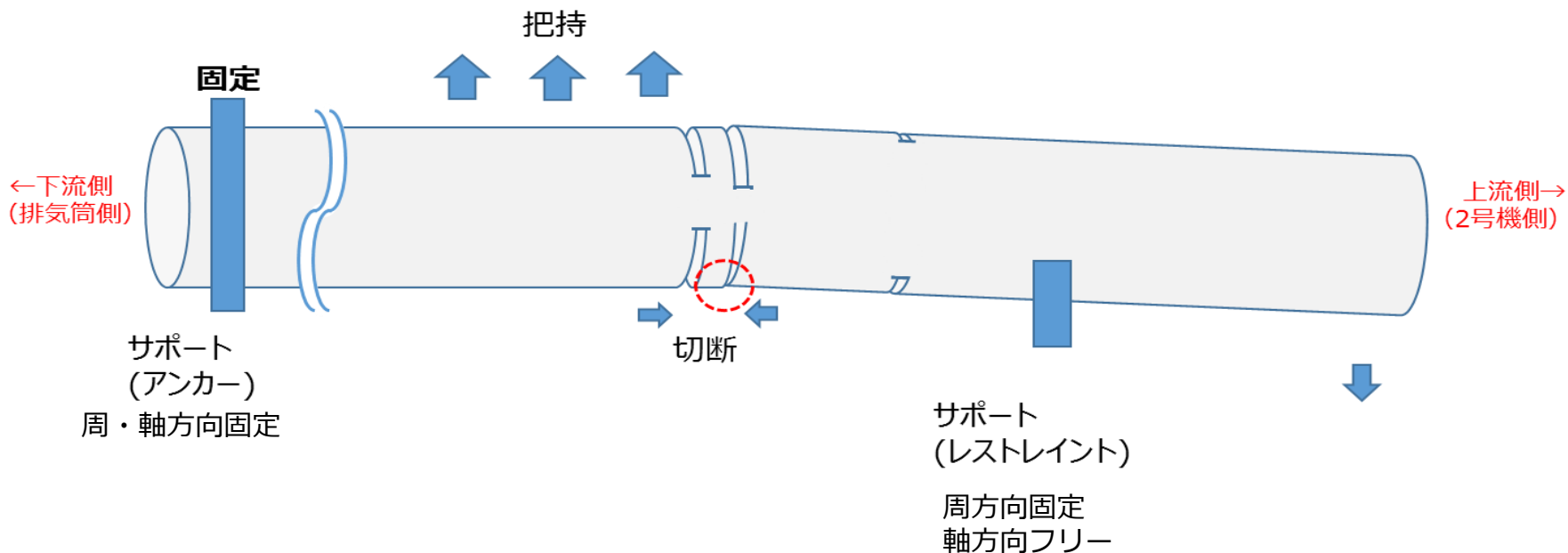


図3：吊り天秤概要図

【原因分析】

- 切断時に、切断対象配管の上流側（2号機側）の配管が自重により沈み込むことで、切断面に圧縮力が加わり、配管へのワイヤーソーの噛み込み事象が発生した可能性が高いと推定。

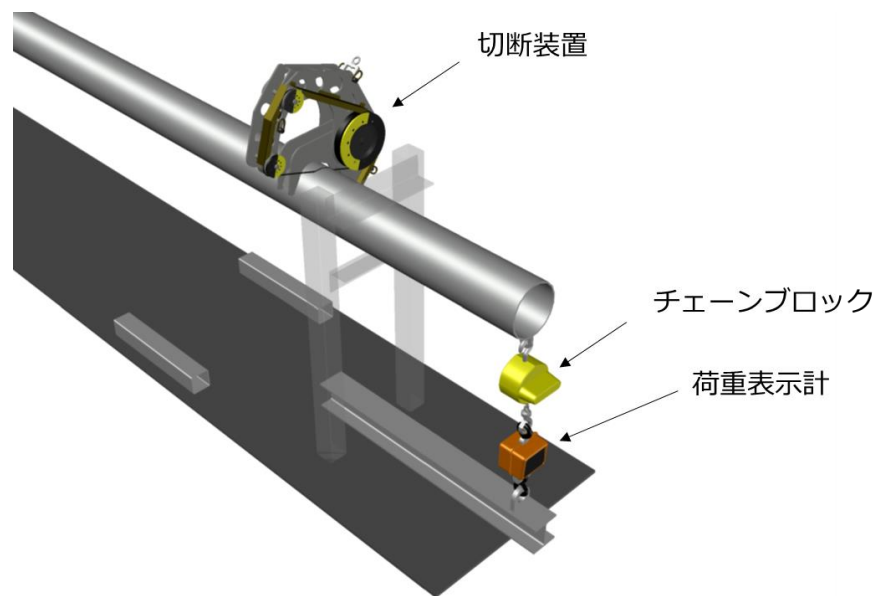


【再現性確認イメージ】

- 発電所構外に模擬配管を用意し、噛み込み事象の再現性確認を行った。
- 配管端部に取り付けたチェーンブロックにて荷重をかけ、上流側（2号機側）配管の自重による沈み込みを模擬。

【再現性確認結果】

- 切断開始後、約90%切断したところでワイヤーソーの刃が配管に噛み込み停止する事象が確認された。（3月27日と同様事象）
- 配管切断面の隙間を測定し、上部よりも下部が狭くなっていることを確認した。



図：模擬配管イメージ

【対策案の検討①】

- 上流側（2号機側）の配管を把持し、クレーンで上方へ引き上げることで切断面の圧縮力を低減する。

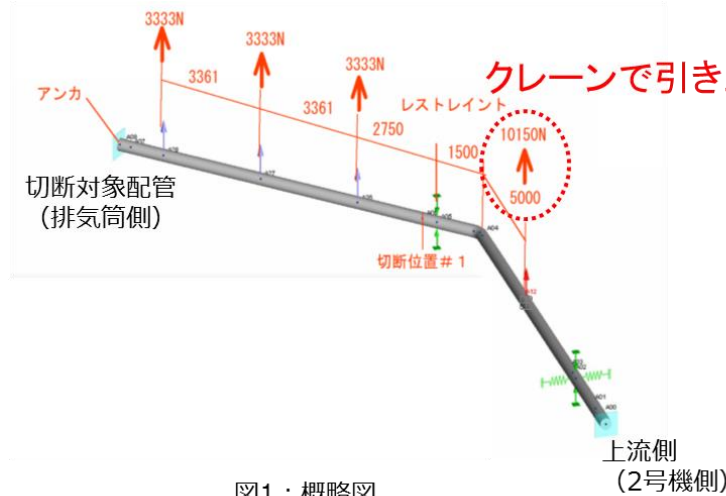


図1：概略図

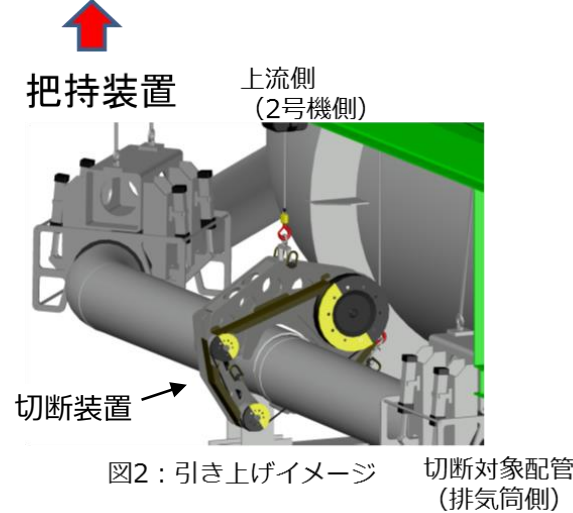


図2：引き上げイメージ

切断対象配管 (排気筒側)

【検証結果】

- 模擬配管において上流側（2号機側）の自重を模擬した箇所をクレーンで上方へ引き上げることで、切断面の圧縮力が低減され、ワイヤーソーの刃の噛み込みがなく切断できることを確認した。

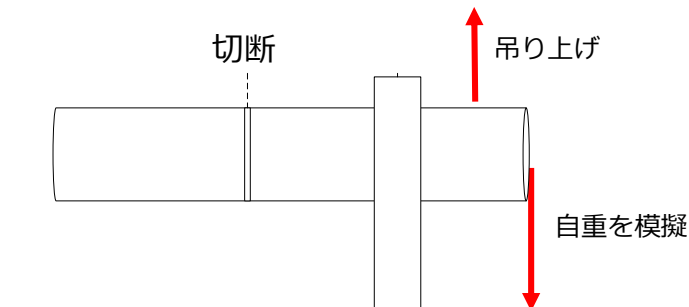


図3：模擬配管による検証

- 配管の切断面を測定し、上部の隙間が狭く下部の隙間が広がっている事を確認した。

【対策案の検討②】切断装置の角度を調整し、切断終了付近の切断面積を小さくすることで噛み込みを防止することを検討。

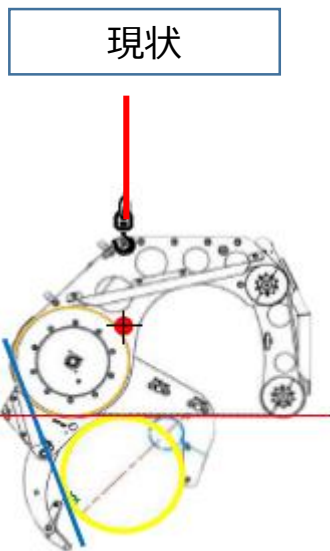


図1：上流側（2号機側）から見た配管断面図

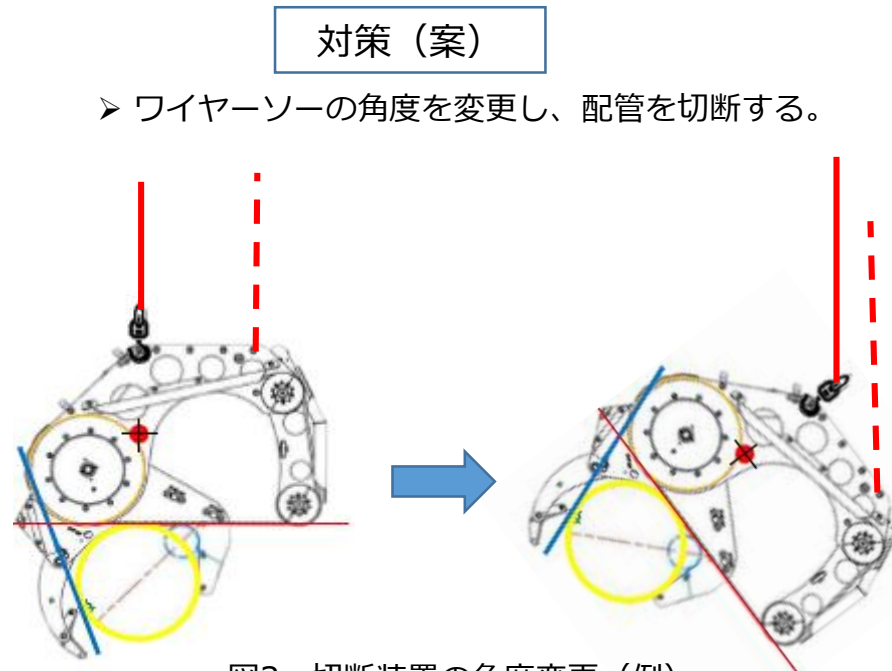
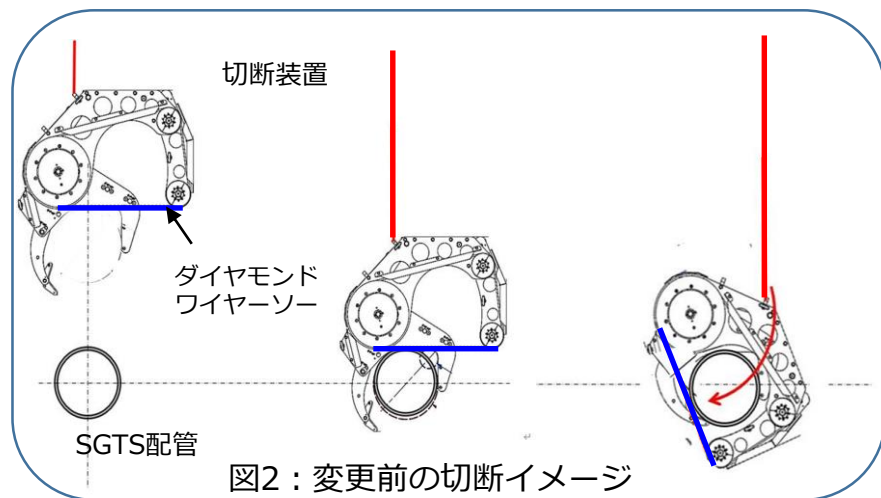


図3：切断装置の角度変更（例）

【検証結果】

- 切断装置は現状の吊り位置では角度の変更が出来ないため、図3の赤点線部へフックとワイヤーを取り付け、ウインチにて切断装置の角度を変更し、模擬配管で検証を行った。
- 上流側配管の自重による圧縮力を模擬し、ワイヤーソーの刃の噛み込み等がなく切断出来ることを確認した。
- 実機で切断装置の角度変更を行う方法を検討中。

-20-



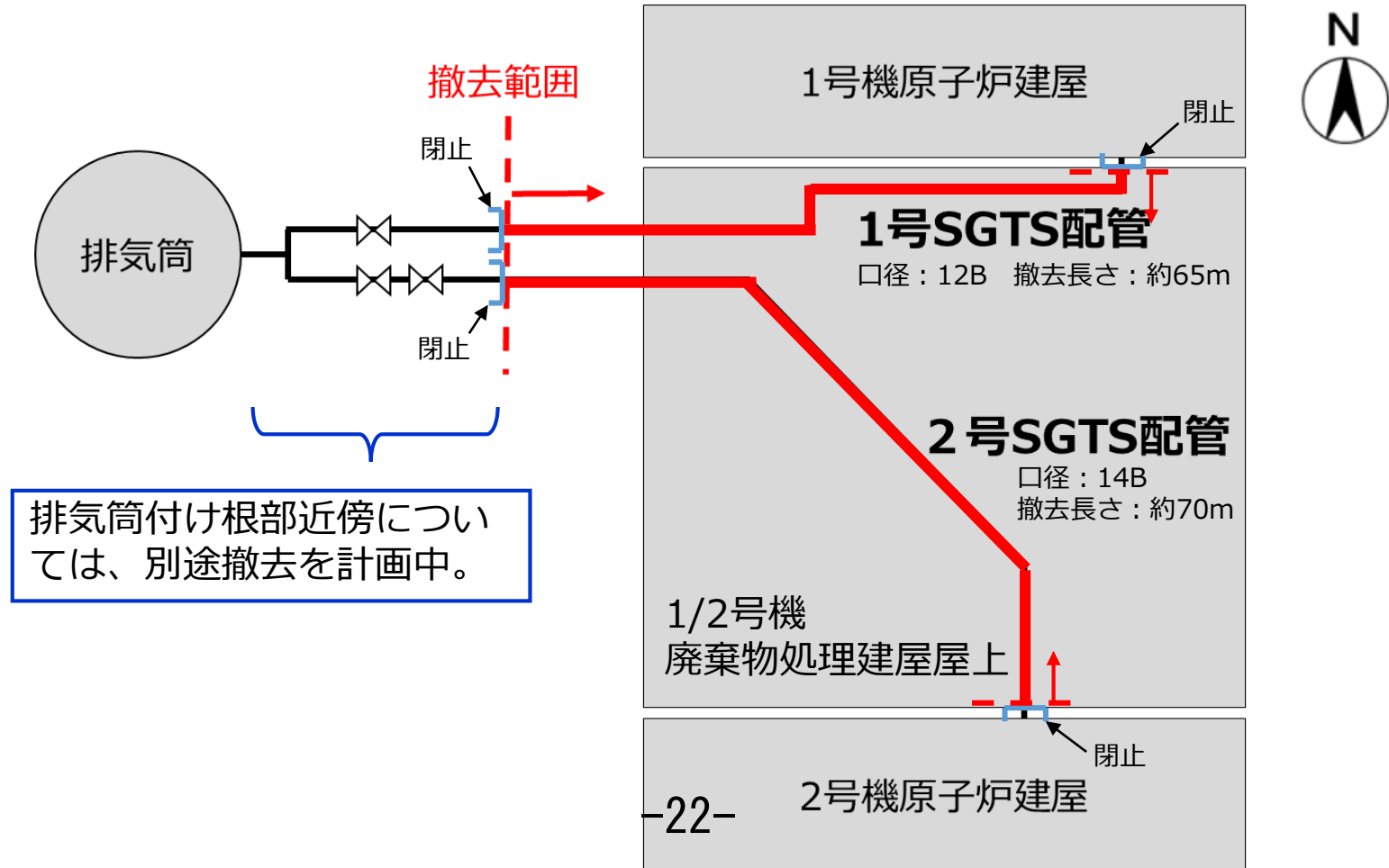
参考資料

<福島第一原子力発電所 廃炉・事故調査に係る連絡・調整会議 第8回会合資料4-1>

1. 1 / 2号機SGTS配管撤去目的及び撤去範囲

◆ 目的

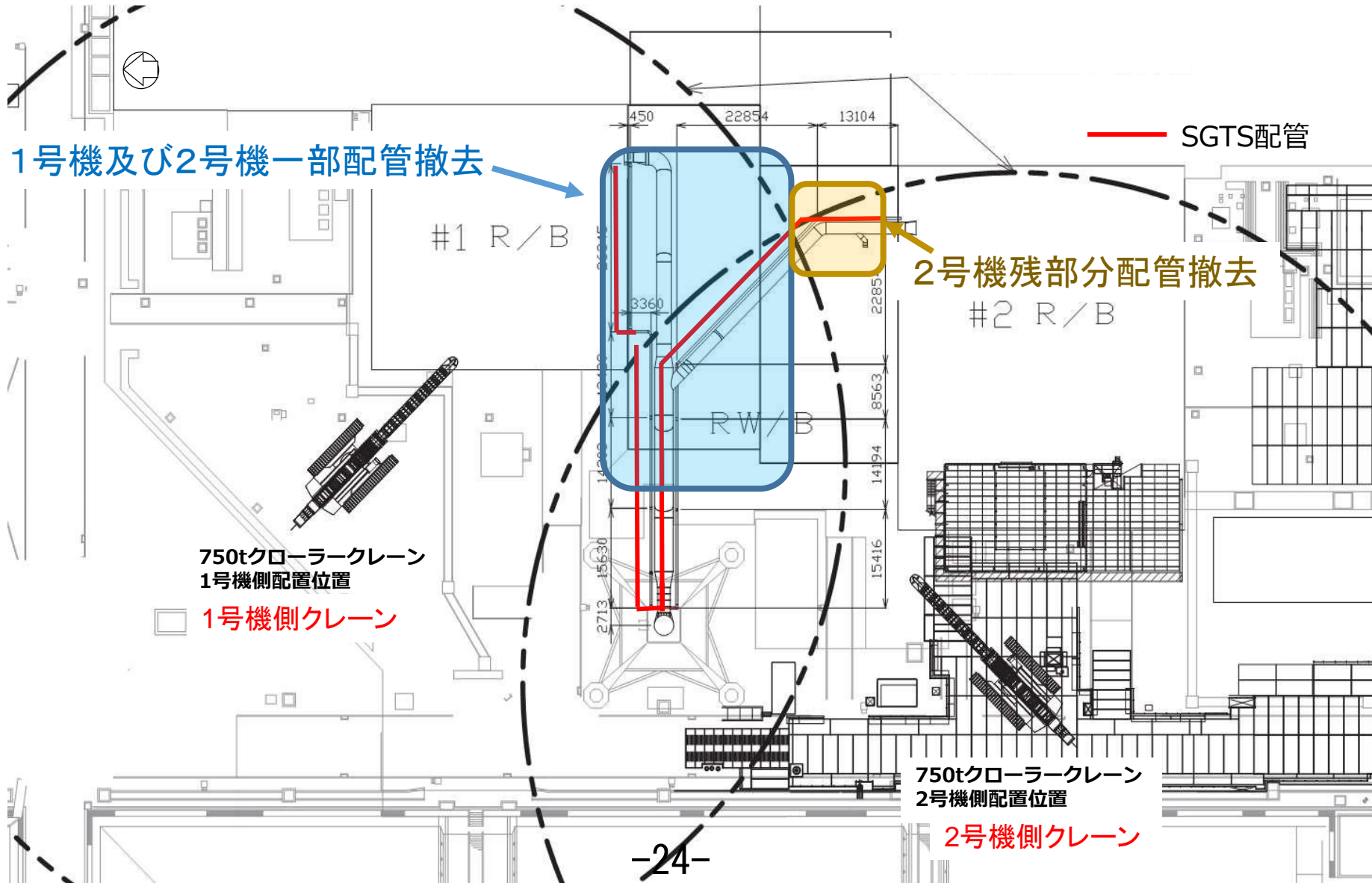
- ✓ 1号機及び2号機非常用ガス処理系配管（以下、SGTS配管）のうち屋外に敷設されている配管については、1/2号機廃棄物処理建屋雨水対策工事及び1号原子炉建屋大型カバー設置工事に干渉することから配管の一部撤去を実施する。



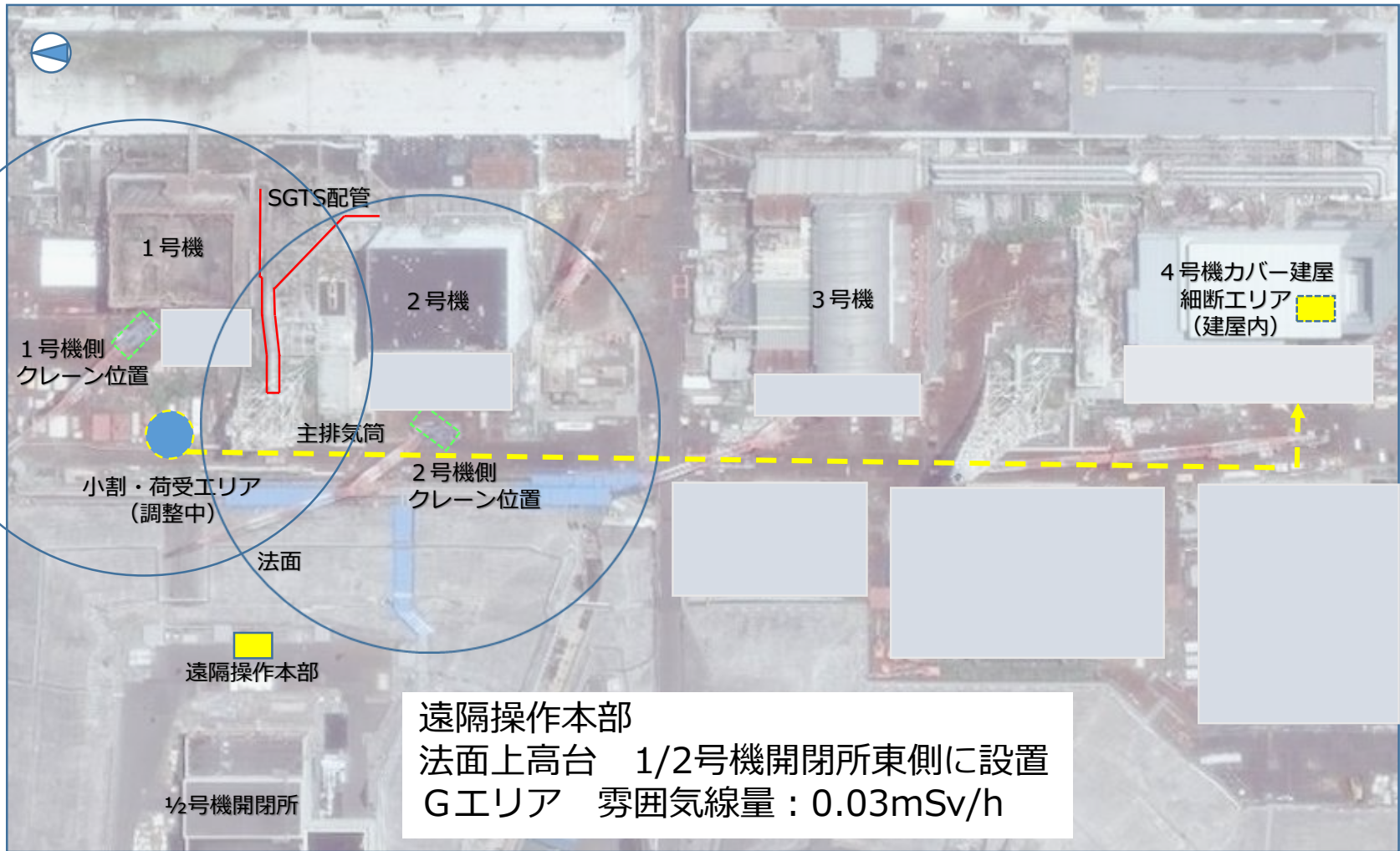
2. 1 / 2号SGTS配管撤去工程（予定）



<参考>クレーン配置計画及び配管撤去



<参考> 構内作業エリア位置図



3. 1 / 2号SGTS配管撤去に関連した事故調査項目

TEPCO

- (1)放射線量率測定（2020年5月～2021年5月 実施済）
- 2020年5月にクレーン接近可能範囲（代表ポイント）の配管上0.1m及び1m上の線量測定を実施。
 - クレーンにて接近不可能であった未測定部位（1号機側配管の一部）に対して、今回接近可能となったことから線量測定を実施。
 - サポート間隔に合わせて配管を切断する計画のため、事前に切断箇所の線量情報を取得。（実施期間：2021年5月12日～2021年5月24日）
- (2)ガンマカメラ測定（2021年11月中旬～2021年12月上旬 計画中）
- 細断場所(4号カバー建屋1階)にて、キャスク収納前にγカメラによる測定を実施。
 - γカメラ測定では、汚染状態をマッピングする。
- (3)配管内部確認及びスミア採取（2021年11月中旬～2021年12月上旬 計画中）
- γカメラで高汚染が確認された部分で且つ、発泡ウレタン材が注入されていない部位の内部確認（映像取得）及びスミア採取を行う。なお、スミアろ紙は配管とは別に保管する。
- (4)配管サンプル採取（2021年11月中旬～2021年12月上旬 計画中）
- γカメラで高汚染が確認された部分で且つ、発泡ウレタン材が注入されていない部位のサンプルを採取（幅数cmの輪切り状）し、撤去配管とは別に保管する。
- (5)スミア／配管サンプル分析（現在検討中）
- スミア分析及び配管サンプル分析については、1F構内に設置中のJAEA第一棟又は東海・大洗研究所での分析を検討中。

4. 2020年 1/2号機SGTS配管線量調査 (1/3)

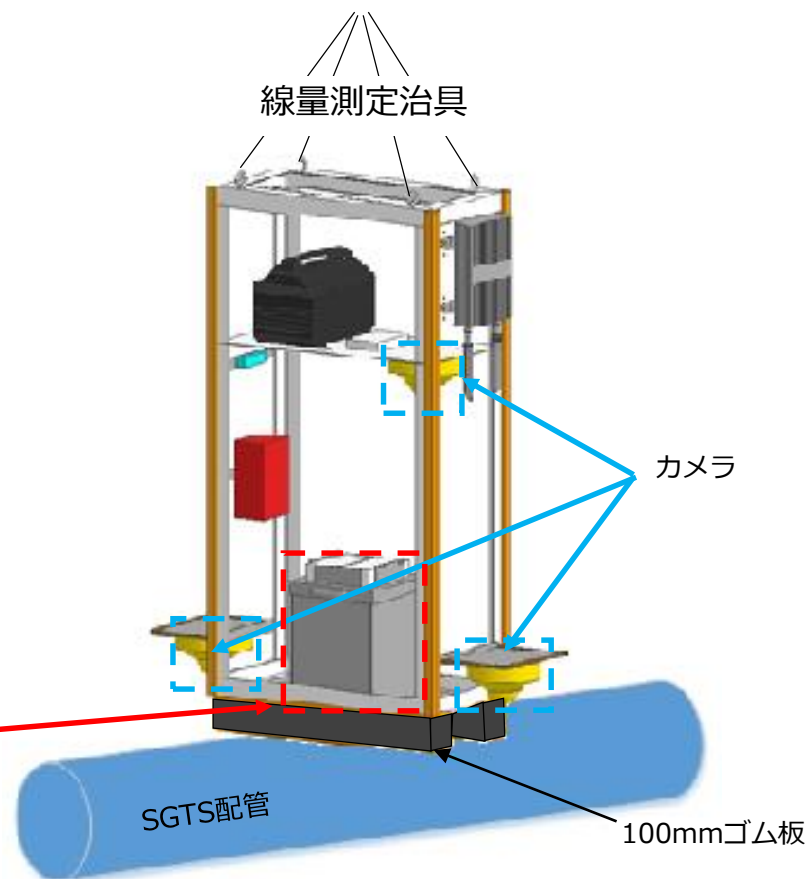
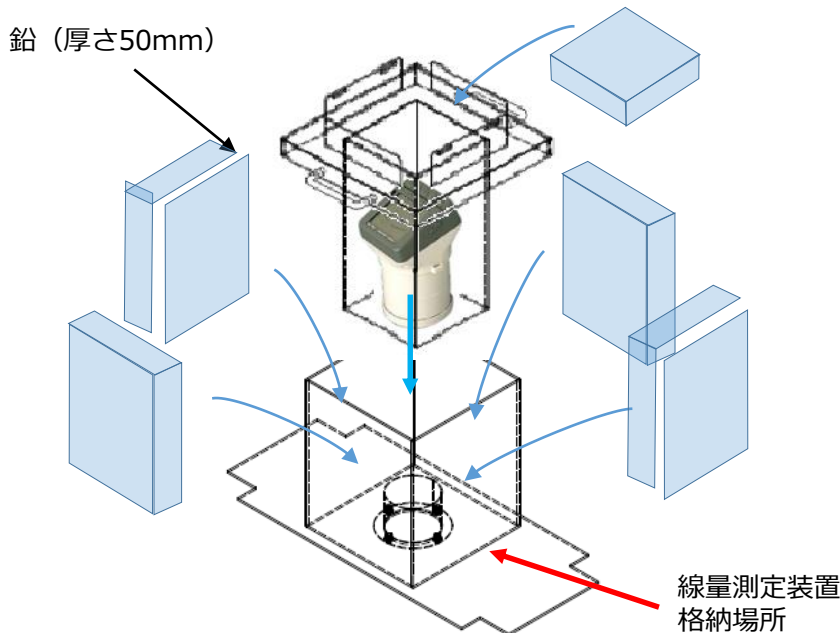


○ 実施内容

散乱線の影響低減を図るため、厚さ50mmの鉛でコリメートした線量計を線量測定治具に装着し、750tクローラクレーンにて吊上げSGTS配管直上0.1m及び1m高さの線量調査を実施。合わせて、線量測定治具内に固定したカメラで配管外面確認を実施。

○ 実施日

2020年5月14日（木）、5月15日（金）



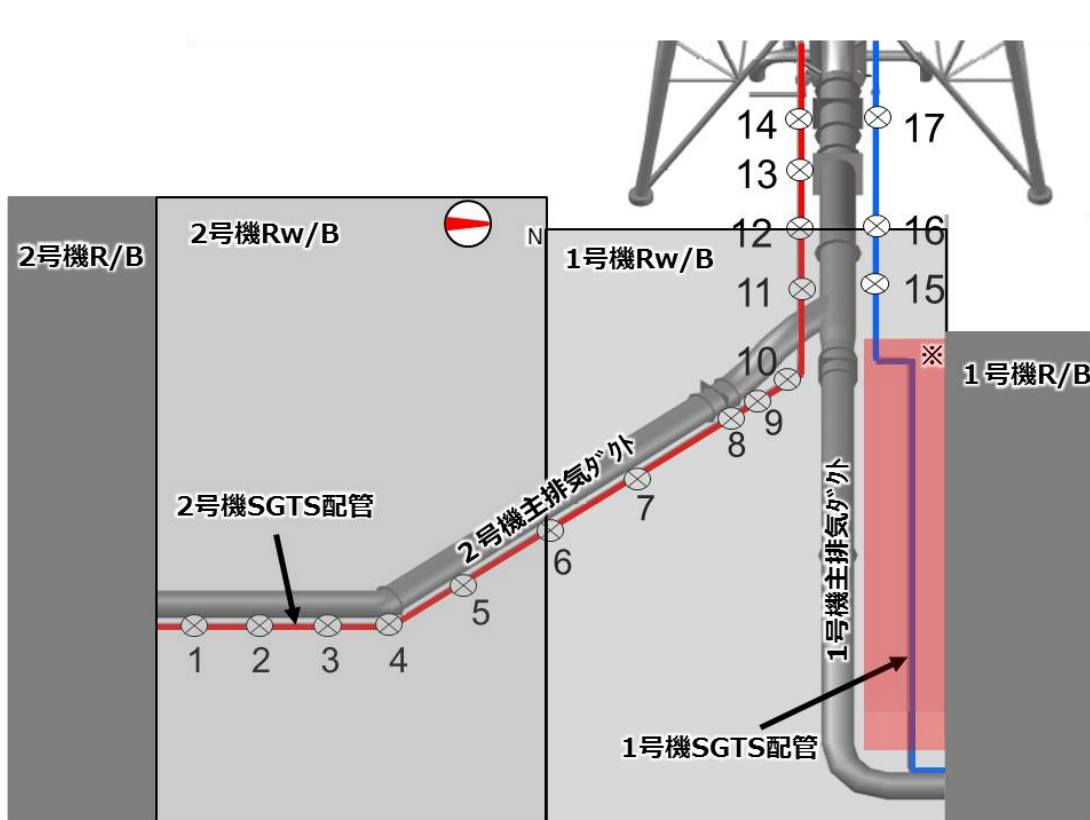
SGTS配管外面線量測定イメージ図

線量計仕様		
品名	電離箱式サーベイメーター(ICW)	電離箱式サーベイメーター(デジタル表示)(ICS)
測定範囲	0.001~1000mSv/h	0.001~300mSv/h

4. 2020年 1/2号機SGTS配管線量調査(2/3)

(1) SGTS配管近傍線量調査結果

- 1号及び2号Rw/B上部のSGTS配管近傍の放射線量を概ね3～5m間隔で測定を実施。
- 測定ポイントのうち比較的高い放射線量はNo.8、No.9、No.13、No.14にみられ、最も高い値は、No.13の2号機SGTS配管表面から高さ0.1mの位置で約650mSv/hであった。



※ 1号機原子炉建屋カバー架構下部のため、クレーンによる線量測定不可

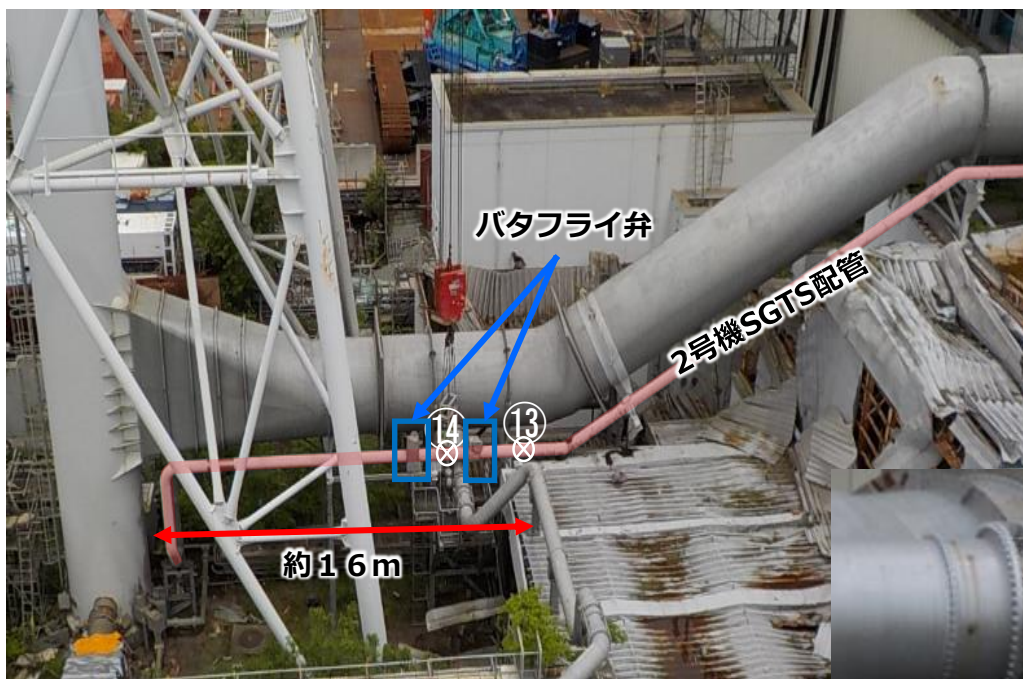
測定ポイント	SGTS配管	
	配管表面(0.1m)	配管上部(1m)
1	6.0	3.0
2	8.0	4.0
3	17.0	5.0
4	26.0	8.0
5	27.0	12.0
6	20.0	8.0
7	60.0	30.0
8	150.0	85.0
9	160.0	50.0
10	60.0	40.0
11	11.0	3.0
12	4.3	2.5
13	650.0	160.0
14	400.0	130.0
15	2.0	1.0
16	2.0	1.4
17	4.0	3.0

※排気筒下部最大線量: 4350mSv/h

4. 2020年 1/2号機SGTS配管線量調査(3/3)

(2) 高線量箇所について

- ・ 高い放射線量が確認されたNo.13(650mSv/h)及びNo.14(400mSv/h)付近にはバタフライ弁が設置されているため、放射性物質が止まりやすい環境も考えられる。
- ・ 一方、No.8/9(⑧150mSv/h、⑨160mSv/h) に関しては水平配管部分であった。



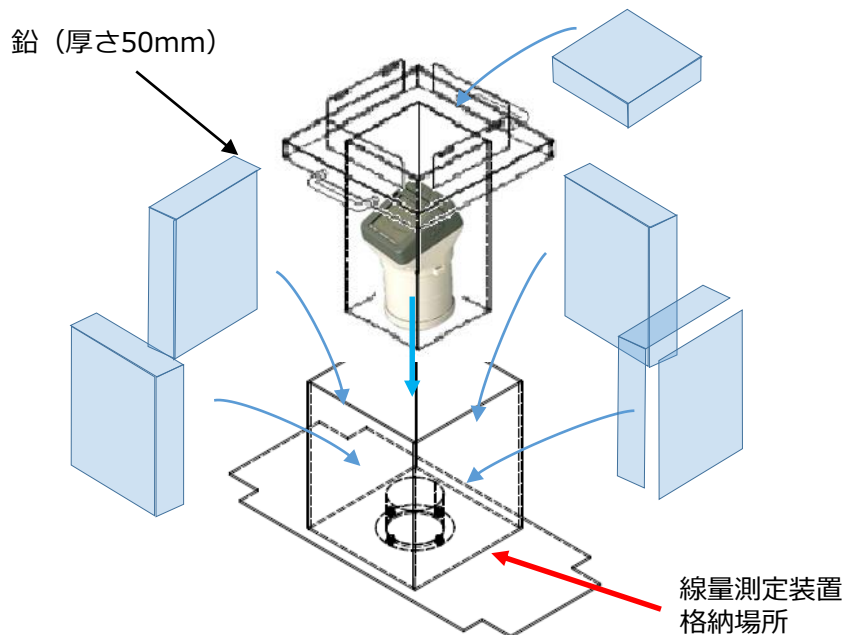
5. 配管切断箇所での放射線量率測定（測定概要）

○ 測定方法

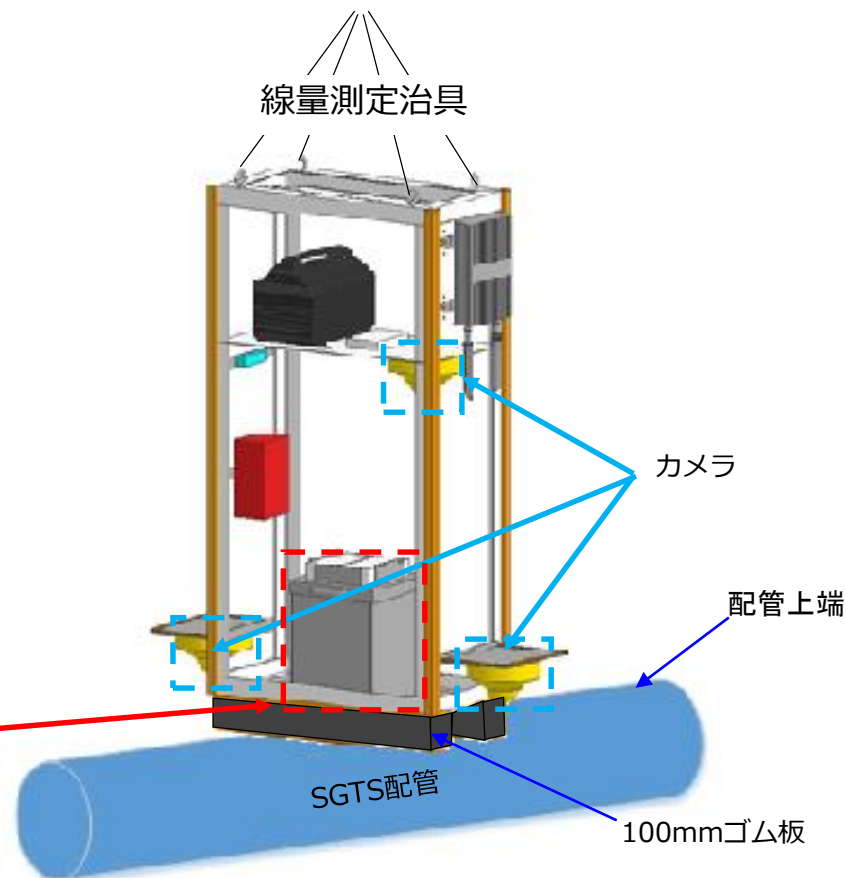
散乱線の影響低減を図るため、厚さ50mmの鉛でコリメートした線量計を線量測定治具内に装着し、クローラークレーンにて吊上げSGTS配管直上0.1m及び1m高さの線量測定を実施。合わせて、線量測定治具内に固定したカメラで配管外面確認を実施。

○ 実施日

2021年5月12日～2021年5月24日



線量計仕様	
品名	電離箱式サーベイメーター (デジタル表示) (ICS)
測定範囲	0.001～300mSv/h



5. 配管切断箇所での放射線量率測定（測定結果）

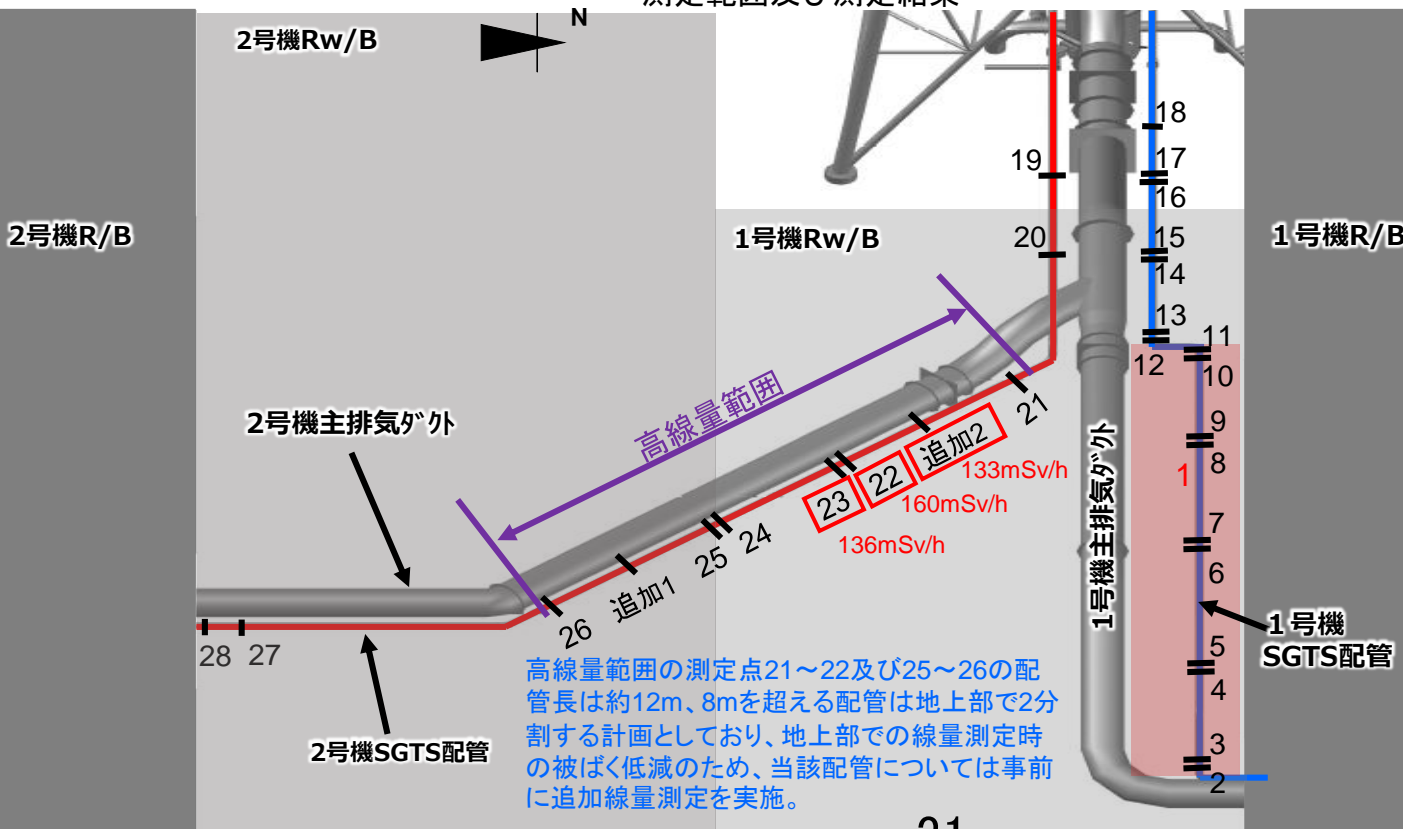
(1) SGTS配管線量測定結果

- ・ 下記に示す通り、配管線量率は2号機側が高く1号機側は低い結果となった。（昨年と同傾向）
- ・ これらは、ベント流速が速かった1号機配管より2号機は原子炉建屋内のSGTS系機器（フィルタ、ラプチャーディスク等）が抵抗となり流速が抑えられ滞留したものと推測している。
- ・ なお、2号機配管で高線量が確認された範囲（測定点21～26）の配管位置関係は、屋外配管のハイポイント（測定点20）より約1.2m低く、2号機R/Bからは水平位置となっている。

測定範囲及び測定結果

mSv/h

測定点	SGTS配管上端からの距離	
	0.1m	1.0m
1*	4.15	4.46
2	2.56	1.52
3	3.12	1.74
4	3.76	2.64
5	7.56	3.85
6	3.97	2.95
7	6.74	3.90
8	5.05	5.58
9	5.73	4.41
10	4.35	2.65
11	10.4	3.74
12	5.84	3.42
13	4.43	1.91
14	2.25	0.90
15	3.60	1.13
16	3.70	2.37
17	8.50	4.50
18	5.62	3.00
19	4.31	7.60
20	6.06	2.85
21	65.1	27.0
22	160.0	60.3
23	136.0	55.8
24	52.3	16.7
25	27.0	9.80
26	18.9	7.47
追1	16.5	6.53
追2	133.0	45.0



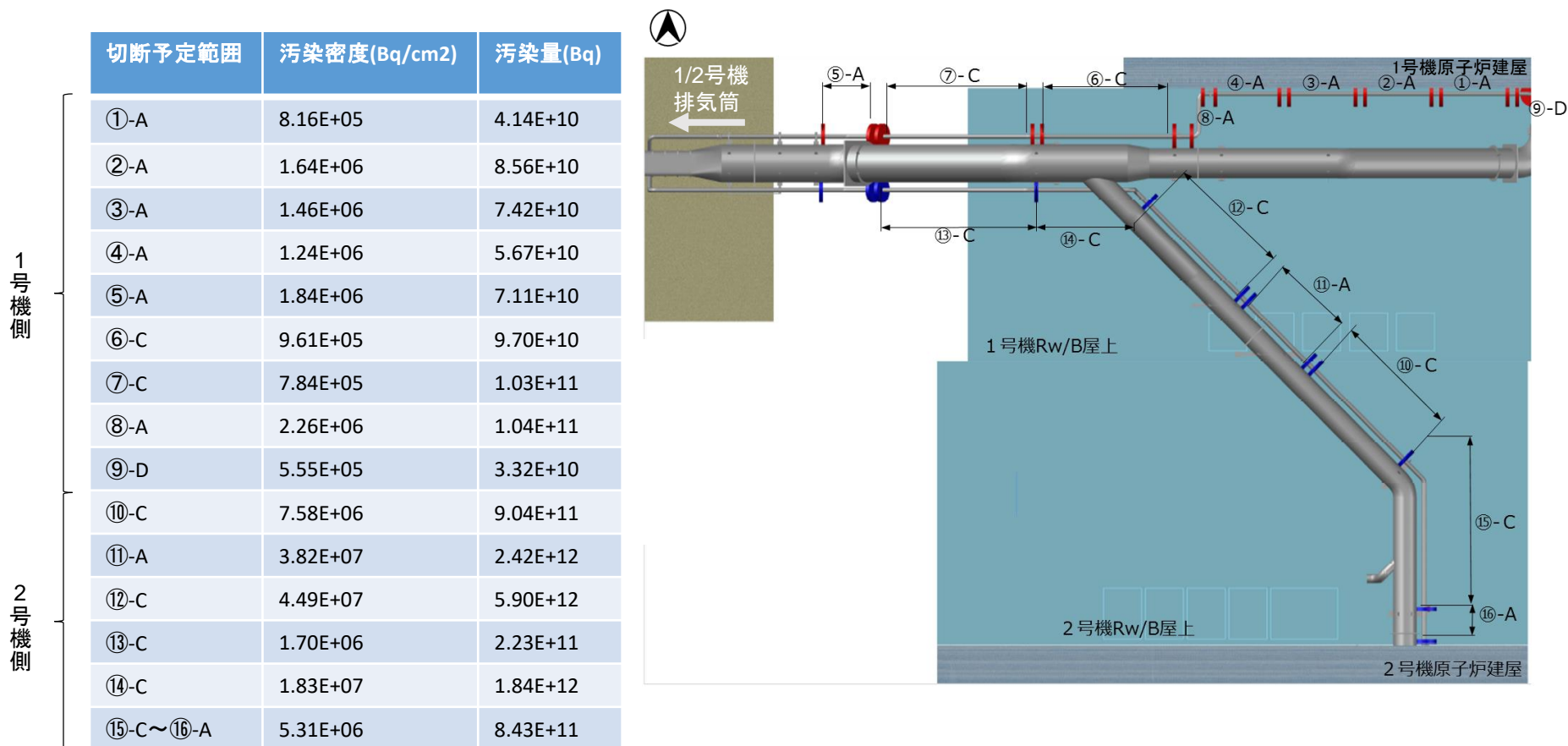
高線量範囲の測定点21～22及び25～26の配管長は約12m、8mを超える配管は地上部で2分割する計画としており、地上部での線量測定時の被ばく低減のため、当該配管については事前に追加線量測定を実施。

5. 配管切断箇所での放射線量率測定（汚染量評価）



(2) SGTS配管内の汚染評価結果

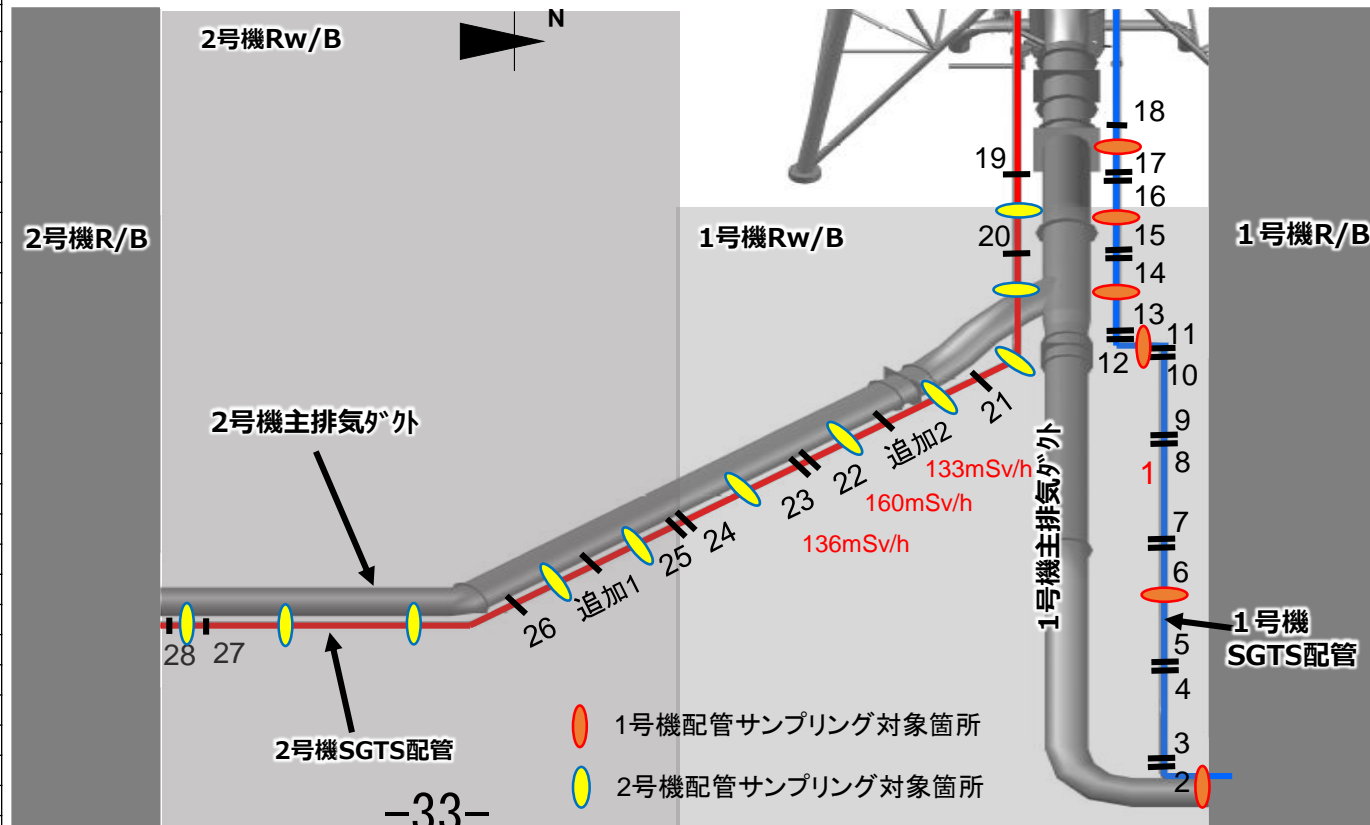
- 測定した放射線量率から汚染密度を算出し、切断後の配管ごとに汚染量の算出を実施した。
- 1号機側の汚染量は10～11乗オーダー、2号機側は11～12乗オーダーで、第82回監視・評価検討会で示された汚染量評価値と同等な結果となった。



6. 配管調査 (スミア及びサンプル採取箇所)

- ◆ 汚染評価及び配管敷設状況 (高低差) 等から代表配管 (採取箇所) を抽出。
- 1号機については、建屋～No.2 (縦配管), No.3～10 (1号機R/B南壁近傍水平配管) のうちNo5～6間, No.11～12 (90°横エルボ配管), No.13～14 (屋外配管のハイポイント), No.15～16 (30°斜配管) 及びNo.17～18 (水平配管) の計6箇所。
- 2号機については、先行撤去範囲のNo.19～20 (30°斜配管), No.20～21 (屋外配管ハイポイント及び90°縦エルボ) の2箇所及びNo.21～No.26 (高汚染水平配管) 間の5箇所の計8箇所。
No.26～No.28間は、2号機側へクレーン移動後、水平エルボ直近部分1箇所及び水平配管代表2箇所の計3箇所。
- 上記対象箇所は、発泡ウレタン非充填範囲の高汚染部位を代表とし採取する。

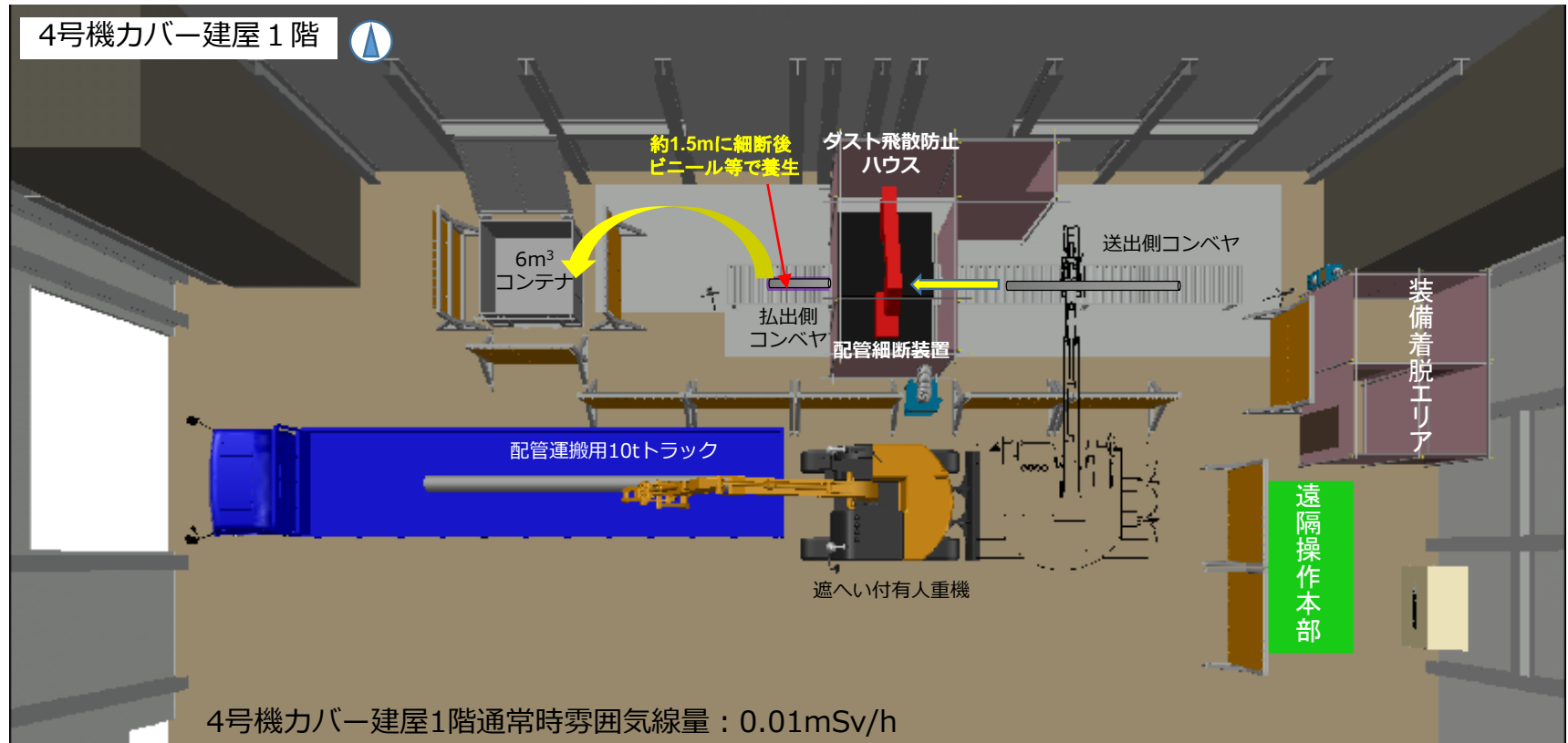
測定点	SGTS配管 mSv/h	
	0.1m	1.0m
1※	4.15	4.46
2	2.56	1.52
3	3.12	1.74
4	3.76	2.64
5	7.56	3.85
6	3.97	2.95
7	6.74	3.90
8	5.05	5.58
9	5.73	4.41
10	4.35	2.65
11	10.4	3.74
12	5.84	3.42
13	4.43	1.91
14	2.25	0.90
15	3.60	1.13
16	3.70	2.37
17	8.50	4.50
18	5.62	3.00
19	4.31	7.60
20	6.06	2.85
21	65.1	27.0
22	160.0	60.3
23	136.0	55.8
24	52.3	16.7
25	27.0	9.80
26	18.9	7.47
追1	16.5	6.53
追2	133.0	45.0



-33-

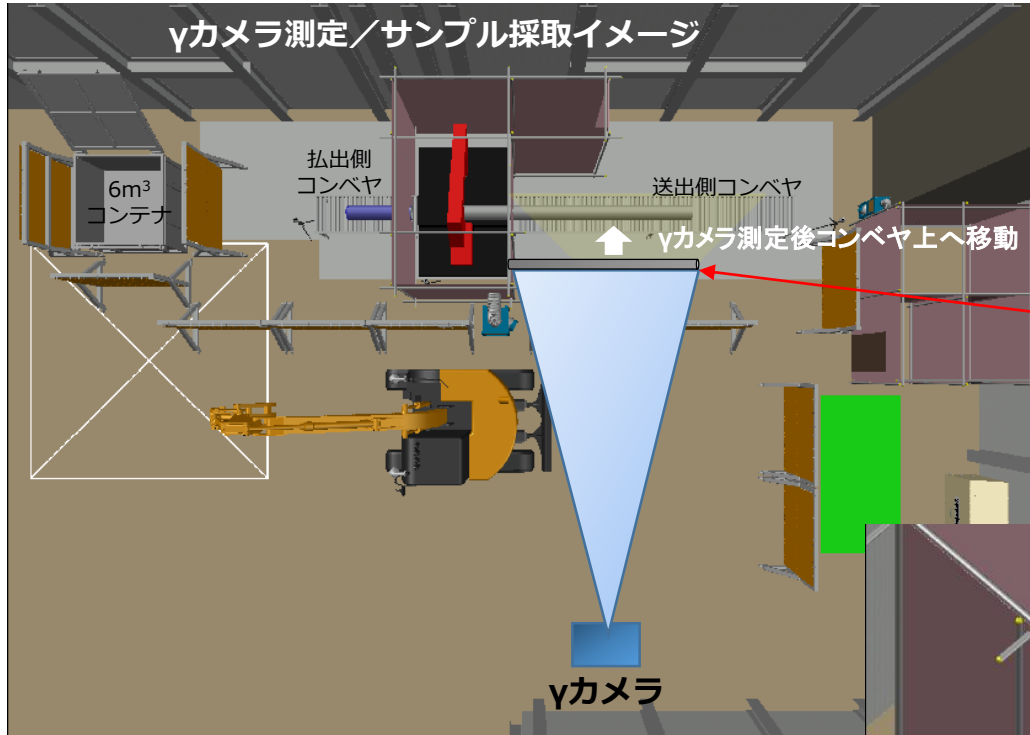
※赤枠内上部3.0m付近において最も高線量箇所

6. 配管調査（撤去配管細断エリア配置図）

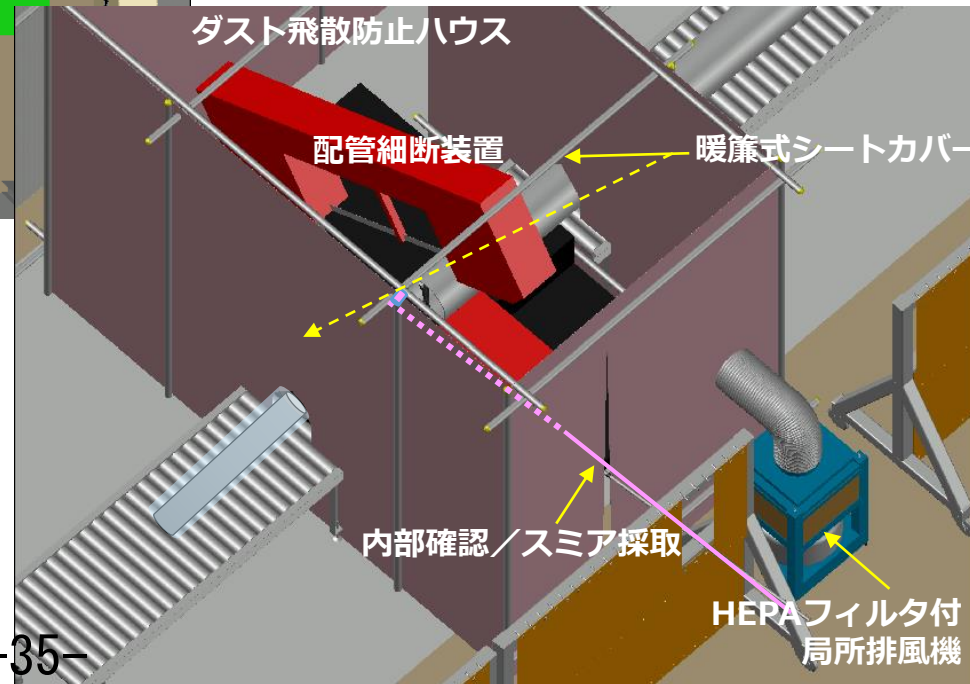


- 撤去した配管は、4号機カバ-建屋1階に設置したハウス内に輸送され、コンテナ詰めにするために約1.5m程度に細断する。
- ハウス内はHEPAフィルタ付の局所排風機を運転して、ハウス外への放射性ダストの拡散を防止する。また、ハウス近傍で仮設のダストモニタによる監視を行う。
- 配管の細断は、ダスト飛散防止ハウス内で遠隔の配管細断装置にて行う。（遠隔操作本部から操作）
- 配管細断装置への配管設置とコンテナへの配管収納は、しゃへい付有人重機にて行う。
- 細断された配管はビニール等で養生した後、6m³コンテナに収納する。
- 配管を収納したコンテナは固体廃棄物貯蔵庫に輸送して保管する。

6. 配管調査 (γカメラ測定, 内部確認, スミア/サンプル採取概要)



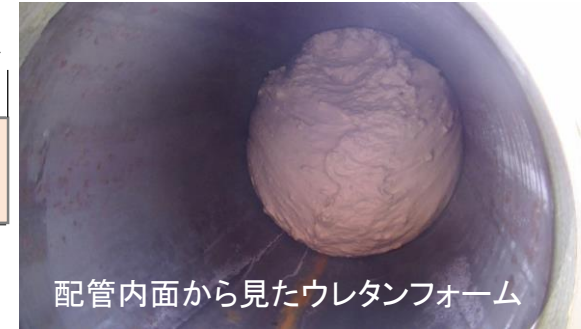
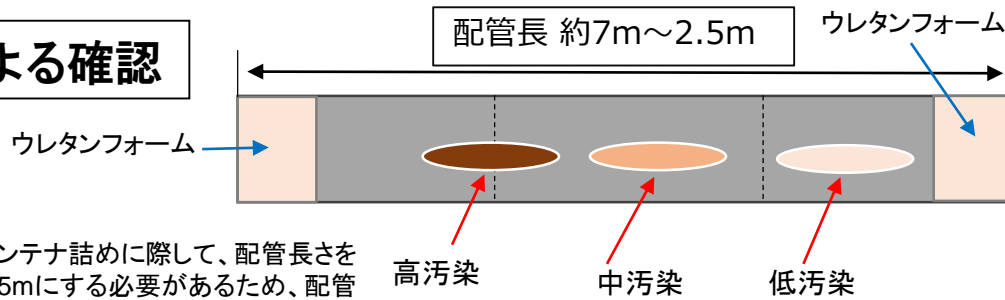
細断前の配管長さ
最長：約7m, 最短：約2.5m



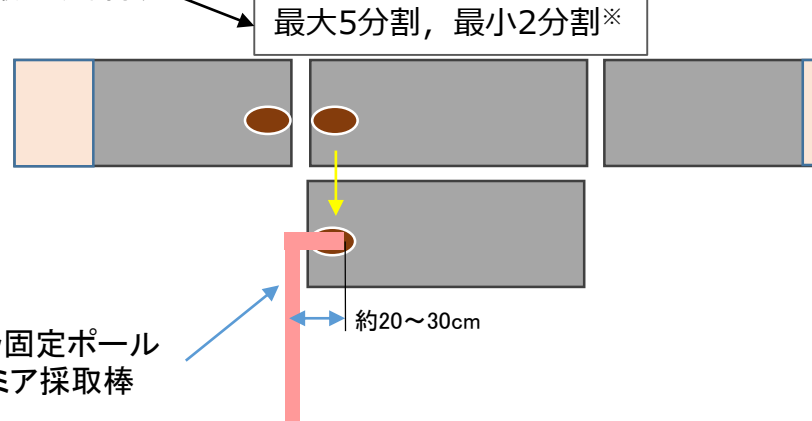
- γカメラの測定は、送出側コンベヤ手前に一度仮置きし測定する。
- 内部確認及びスミア採取は、配管サンプル採取に先立ち高汚染部位を衝立遮へい越しに、ダスト飛散防止ハウス側面から実施する。
- 配管サンプル採取は、高汚染部位を細断装置にて必要幅に輪切りして、収納箱に入れて保管する。
- スミア採取位置は配管内面の上面 (0°方向)、下面 (180°方向)、側面 (90°もしくは270°方向) とする。

6. 配管調査 (γカメラ, 内部確認, スミア/サンプル採取の流れ)

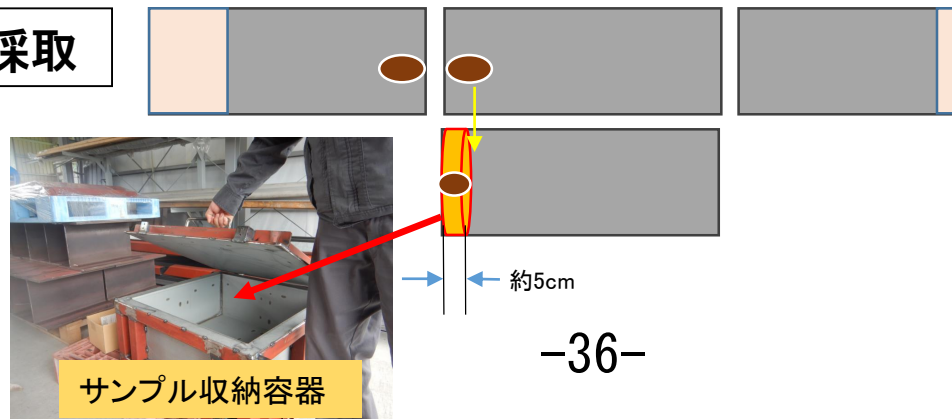
γカメラによる確認



配管内部確認 ・スミア採取

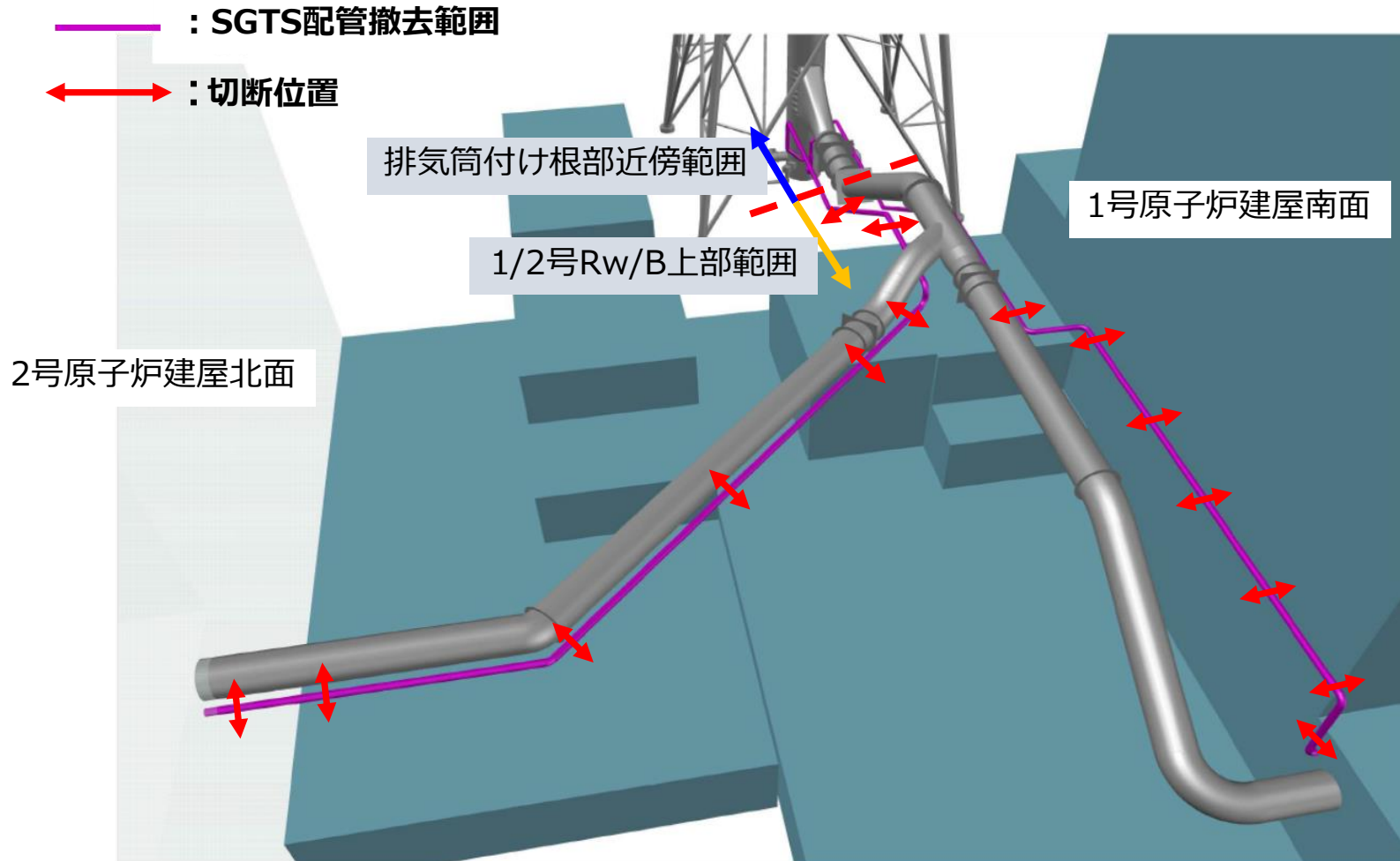


配管サンプル採取



<参考> SGT S配管立体図

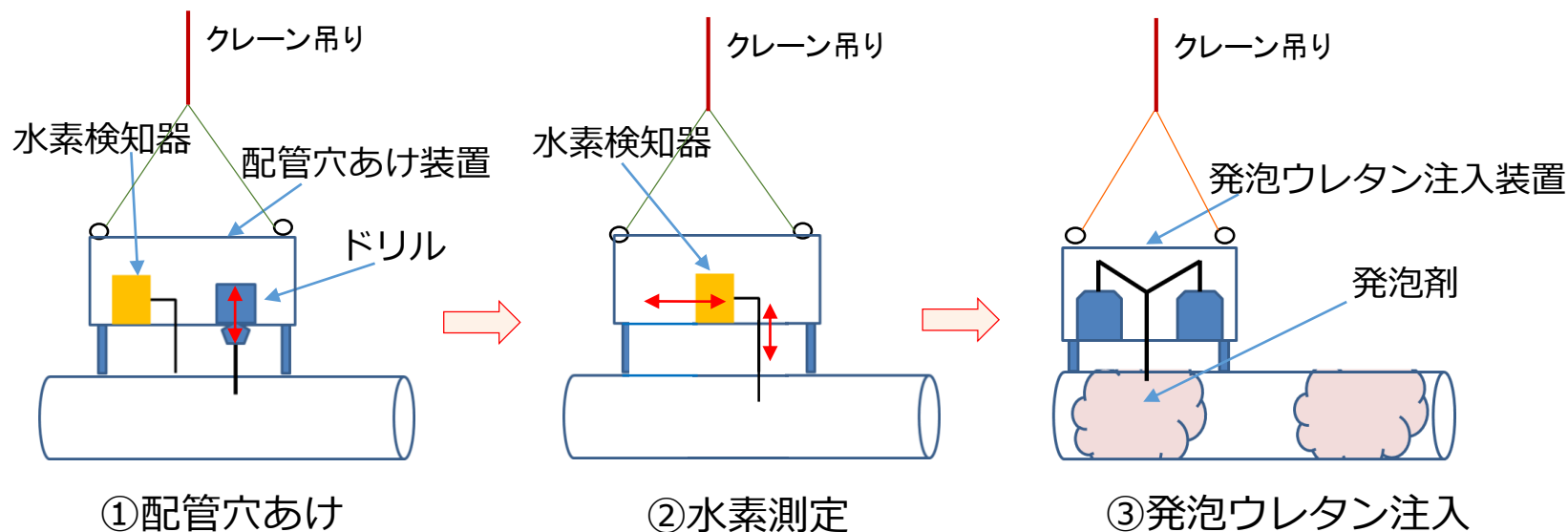
■ 撤去対象配管について（東側から見る）



<参考> 配管穿孔／発泡ウレタン注入イメージ

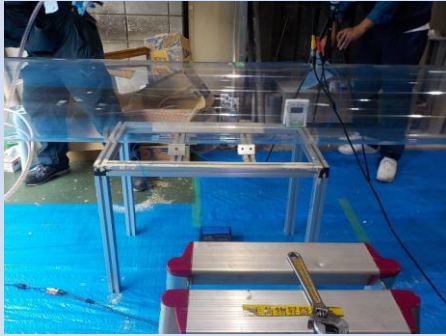
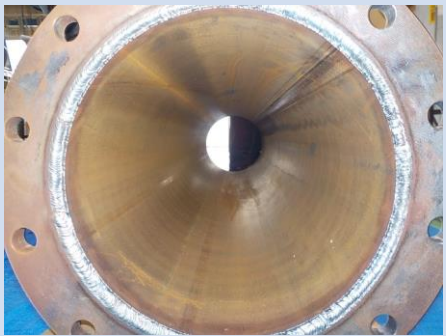

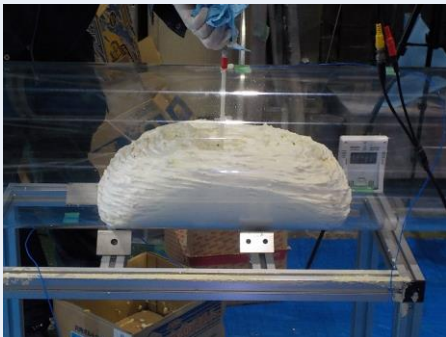
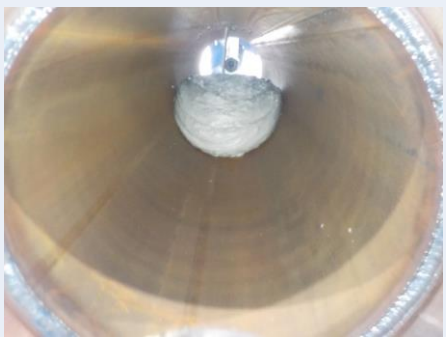


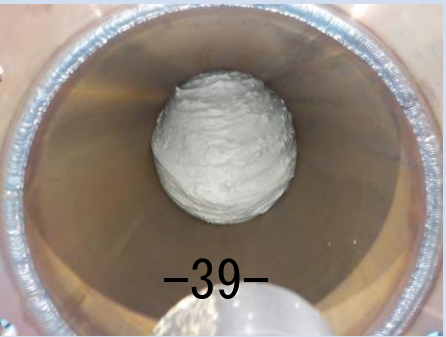

➤ SGTS配管穿孔イメージは以下の通り。

- ①撤去するSGTS配管内に水素はほとんど存在しないと推定するが、火花が出ない低速回転のドリルにて穴開けを実施。配管穴開け後、配管内の水素濃度を測定する。
なお、水素濃度が4%以上（水素の爆発限界下限値）ある場合は窒素ガスによるパージを試みる。（窒素ガスパージの手順についてはモックアップで確認する。）
- ②SGTS配管切断箇所を発泡剤（2液性発泡硬質ウレタンフォーム）を注入し、切断時の放射性ダストの飛散防止を図る。



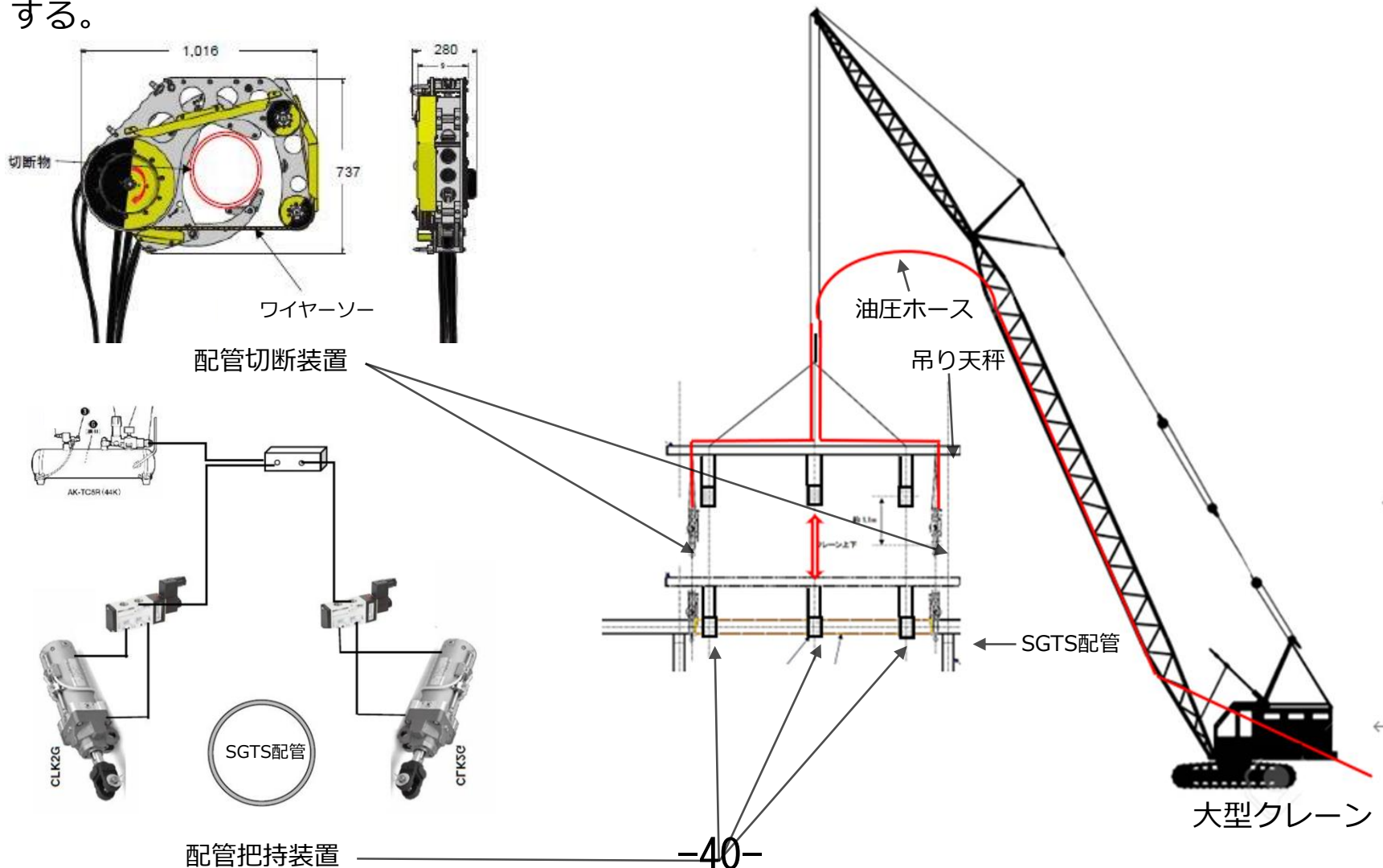
<参考> 要素試験状況（発泡ウレタン注入・配管切断）

配管切断時のダスト飛散防止対策として、配管内に発泡ウレタンを注入し、配管を閉塞させた後にダイヤモンドワイヤーソーで切断を行う。

	アクリル管での模擬	同材質配管での模擬		ワイヤーソーによる切断	
注入前			切断		
注入中				切断面の状況	
閉塞					

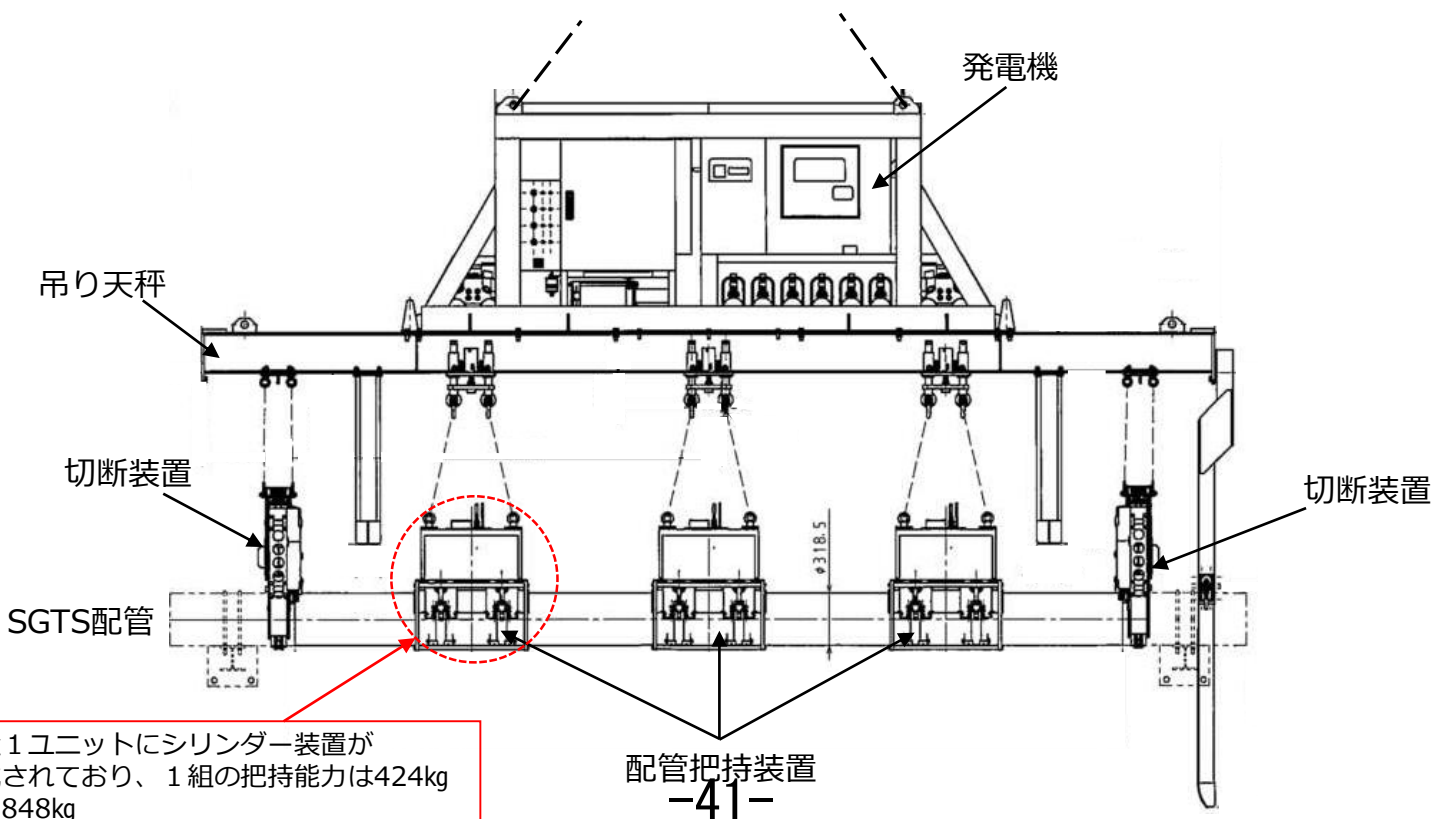
<参考> 配管切断装置概要

吊り天秤に配管切断装置、配管把持装置を搭載し、大型クレーンで吊り、切断箇所に装置を合わせて遠隔操作にて配管を把持、切断を行う。切り出した配管はそのままクレーンで移動する。



<参考> 吊り天秤概要

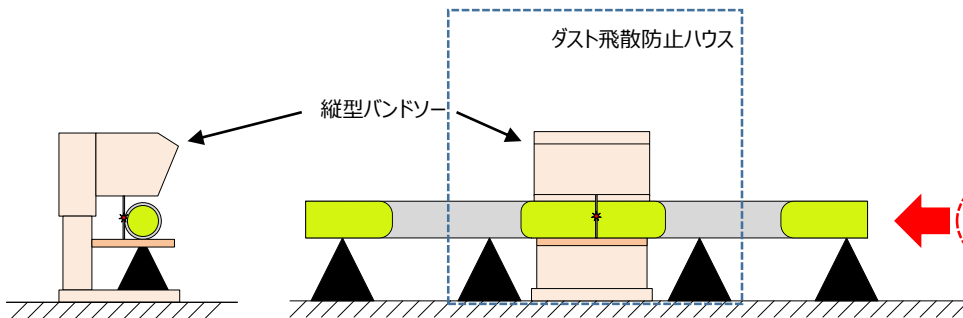
- 吊り天秤は切断するスプール長や配管の取り回し（短尺管、長尺管、クランク部、縦管）によって4種類準備する。
- 吊り天秤には発電機、通信装置、切断装置（ワイヤーソー）、配管把持装置が取り付けられる。なお、配管把持装置は切断するスプール長によって取り付ける数が変わる。
- 配管把持装置1ユニットには、シリンダー装置が2組構成されており、1組の把持能力は約420kgである。したがって、配管把持装置1ユニットの把持能力は約840kgとなる。



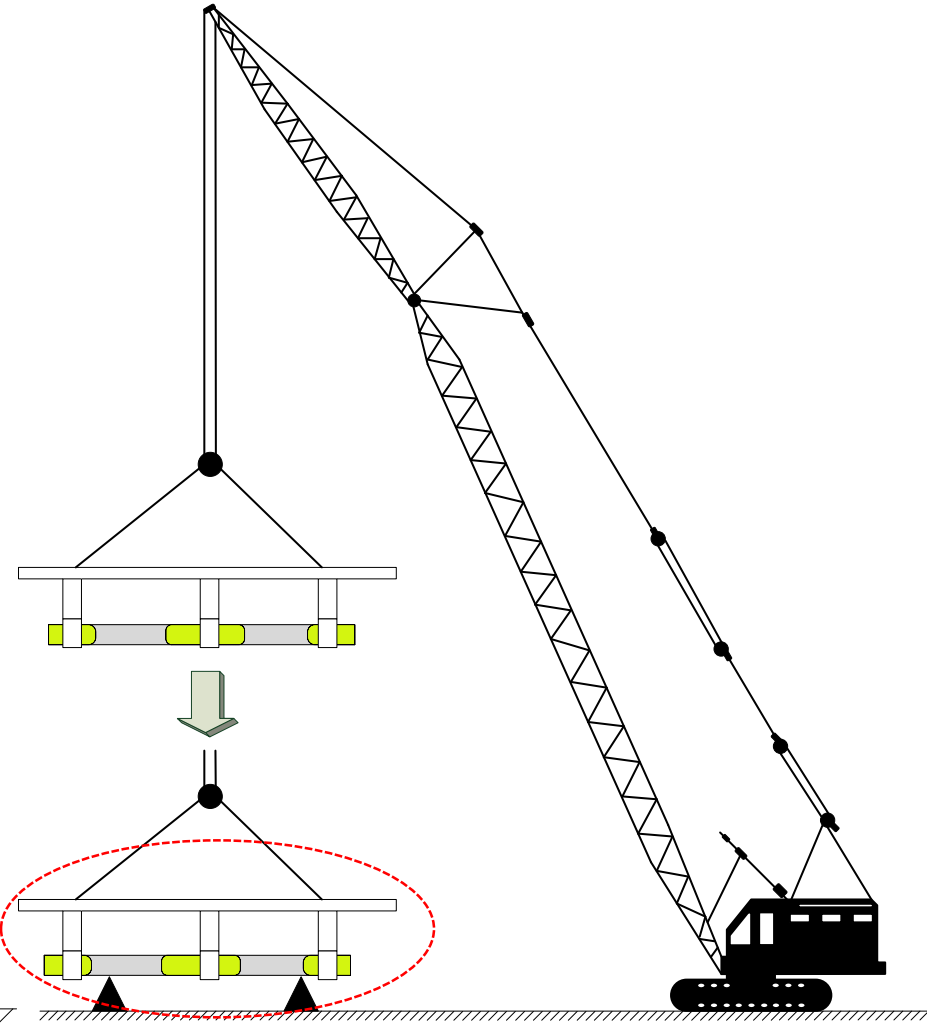
配管把持装置1ユニットにシリンダー装置が各2組で構成されており、1組の把持能力は424kg
1ユニットで848kg

<参考> 吊降ろし後の配管小割概要

- SGTS配管吊り降ろし後、8 m以上の長尺配管は輸送車輛に積載するために小割を行う。
- なお、小割箇所には予め発泡ウレタン注入済で細断は縦型バンドソーを用いて行う。
- また、小割についてはハウス内でダストが外部に放出されない措置を取って行う。
- 配管のハウス内への搬入、切断装置へのセッティング、小割後の配管端部への養生の取り付けを作業員で行う。
- 吊降ろし後の細断は1号機で2箇所、2号機で5箇所の計画。
- 細断後、10tトラックにて4号機カバー建屋へ運搬する。



SGTS撤去配管細断イメージ図 (左：側面図、右：正面図)



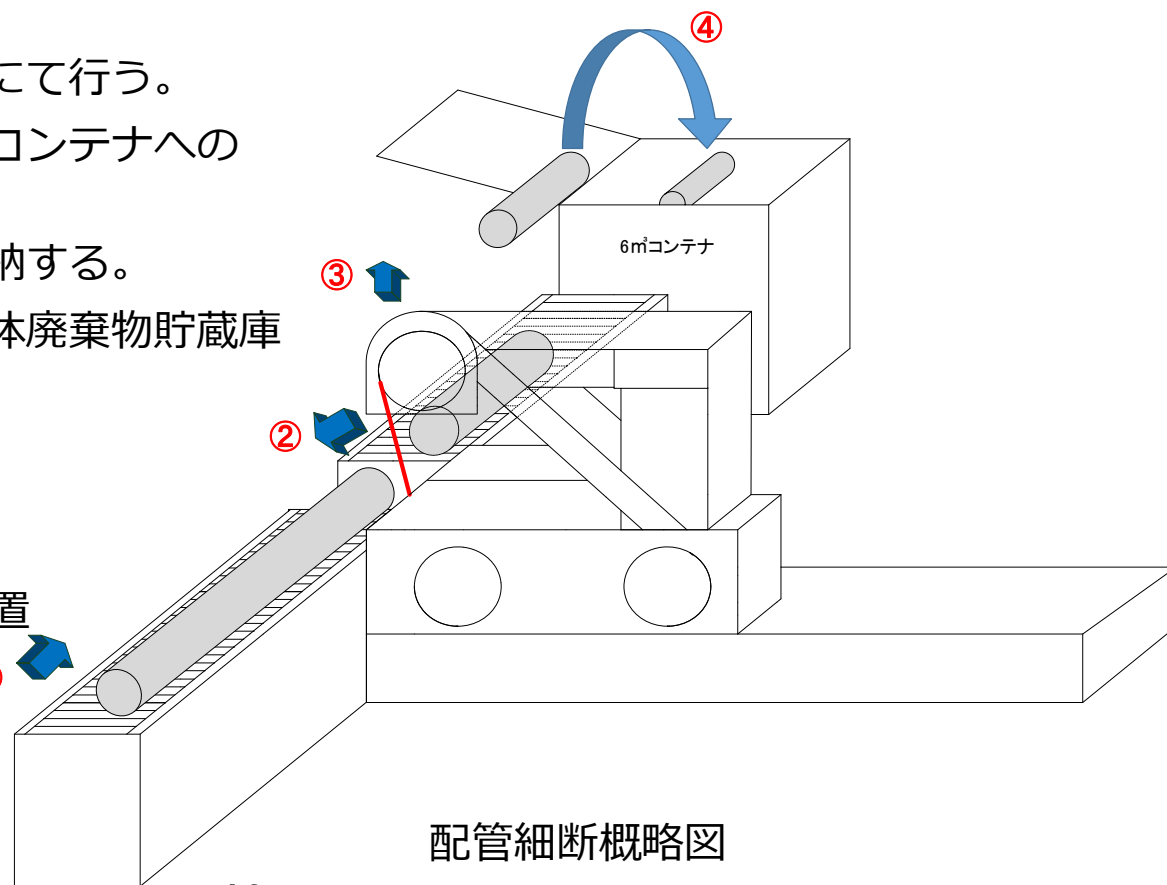
SGTS撤去配管吊り降ろし図

<参考> 配管細断概要（配管減容・収納・輸送）

- 現場から撤去した配管は、4号機力バー建屋内1階に設置されたハウス内に輸送され、コンテナ詰めにするために約1.5m程度に細断する。
- ハウス内はRaゾーンに設定し、細断作業中はHEPAフィルター付きの局所排風機を運転して、ハウス外へのダスト拡散を防止する。また、ハウス近傍に仮設のダストモニタを設置してダストの監視を行う。
- 配管の細断は遠隔の細断装置にて行う。
- 配管細断装置への配管設置とコンテナへの配管収納は重機にて行う。
- 細断された配管は養生して収納する。
- 配管を収納したコンテナは固体廃棄物貯蔵庫に輸送して保管する。

■ 配管減容・保管作業フロー

- ① 配管をローラーコンベアに設置
- ② 配管細断（配管細断装置）
- ③ 細断配管揚重（重機）
- ④ 細断配管収納

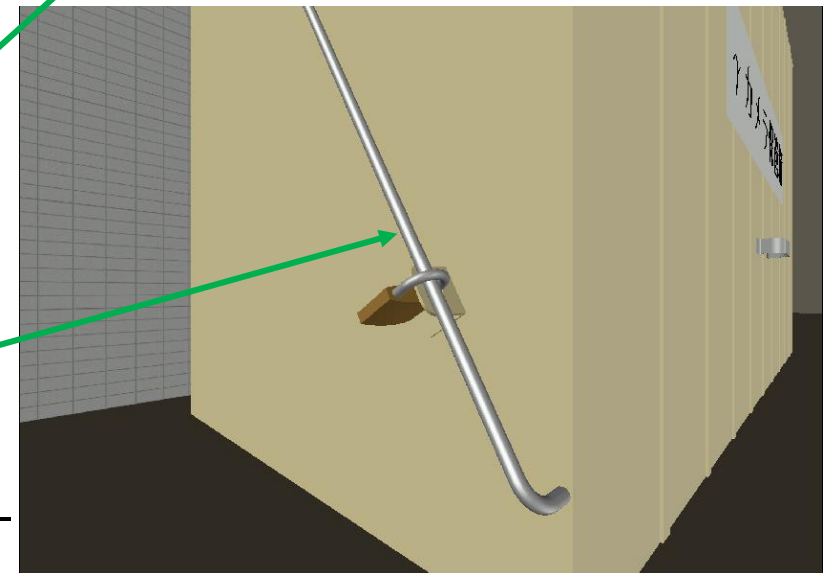
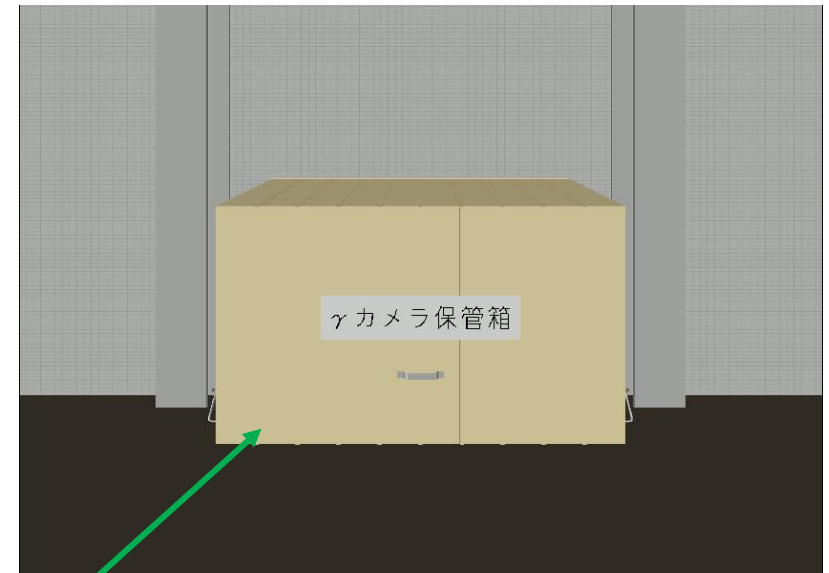
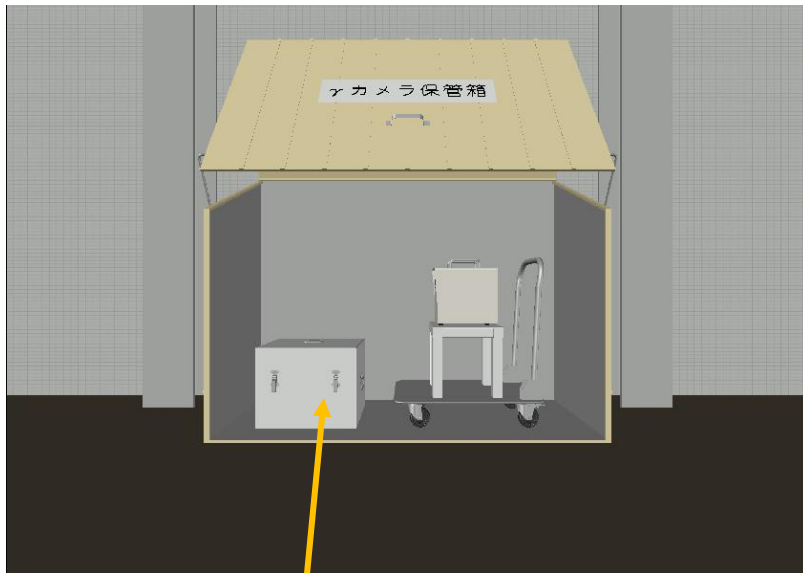


<参考> γカメラの管理について



1/2号機SGTS配管撤去に係る事故分析調査のひとつとして、γカメラによる汚染量評価を行う。γカメラの管理は以下の通り。

- 測定者
東京電力HD
協力企業：東京パワーテクノロジー(株)
- 使用期限
1/2号機SGTS配管撤去完了まで
- 管理場所
4号機カバ―建屋 1階フロア 作業エリア内
⇒出入管理がなされているエリア
- 保管方法
容器などに保管し、施錠管理する。なお、鍵は東京電力HDで管理する。
- その他必要事項
 - 保管容器（γカメラおよび付属品一式が収まる大きさであること）
 - 電源（γカメラバッテリー駆動 要充電）
 - 測定台（γカメラ単体重量：約32kg）
 - 養生（γカメラの汚染防止のため、ビニールシート等）



保管箱開放時

保管箱閉鎖時

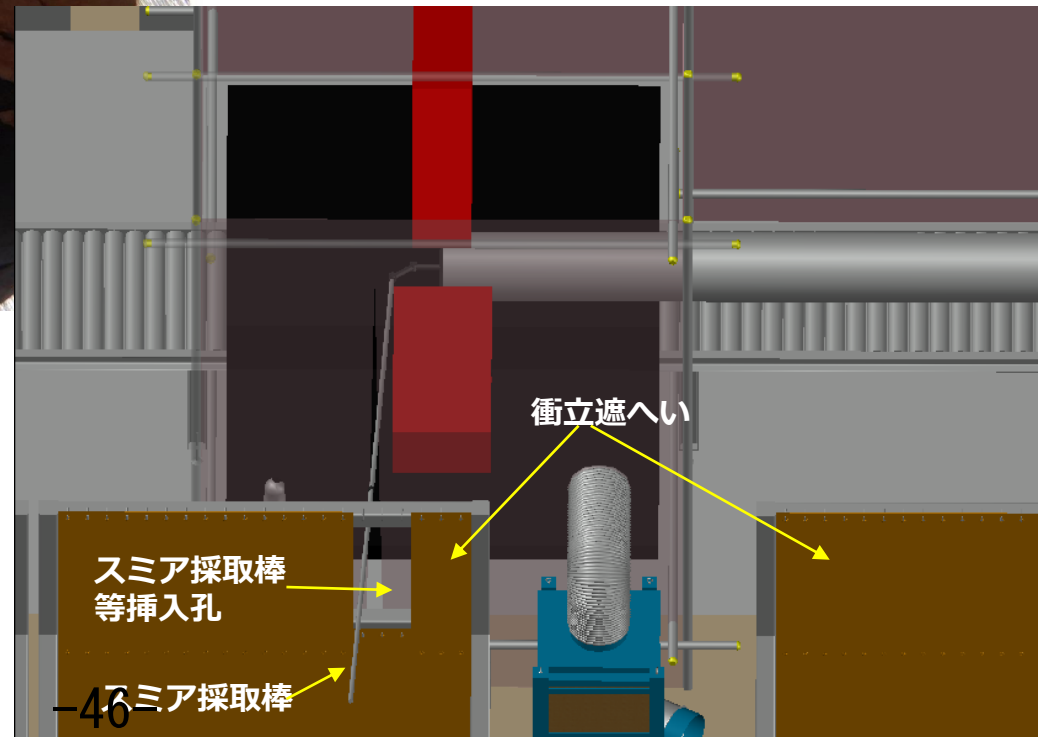
保管箱施錠時

<参考> スミア採取モックアップ



- スミアの採取はハウス側面の挿入孔からスミア採取棒を挿入して、配管細断装置を通過した後の位置でスミア採取を行う。
- スミア採取位置は配管内面の上面(0°方向)、下面(180°方向)、側面(90°もしくは270°方向)とする。

- 採取したスミアは採取位置の情報を記載・記録して収納容器に入れて保管する。



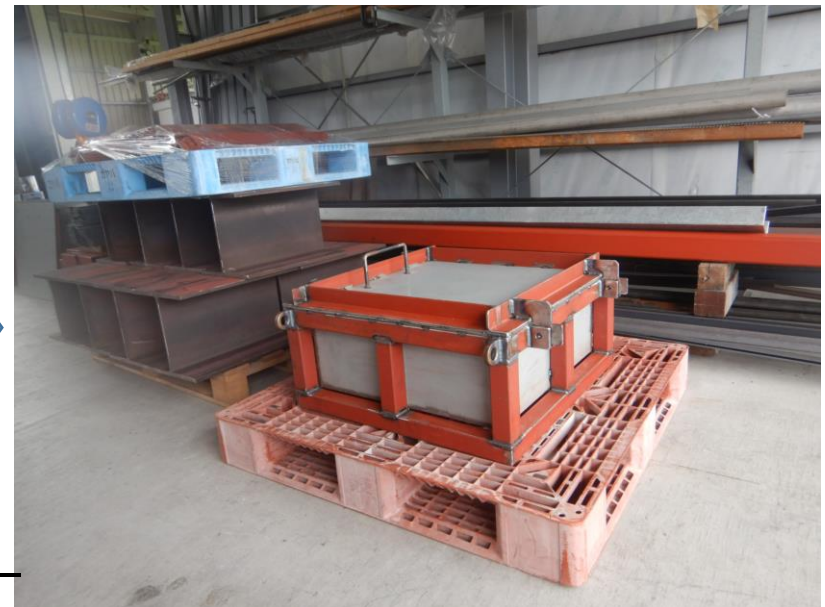
<参考> サンプル採取～収納イメージ)



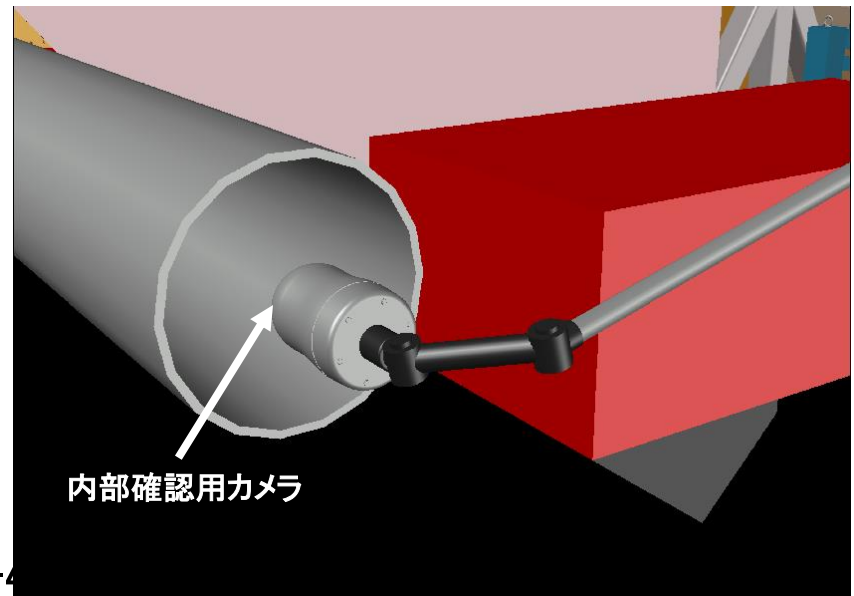
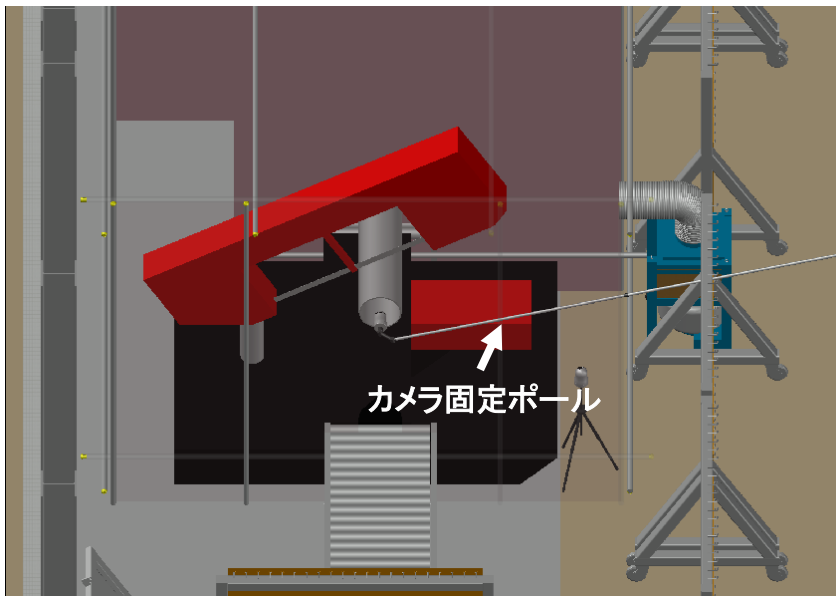
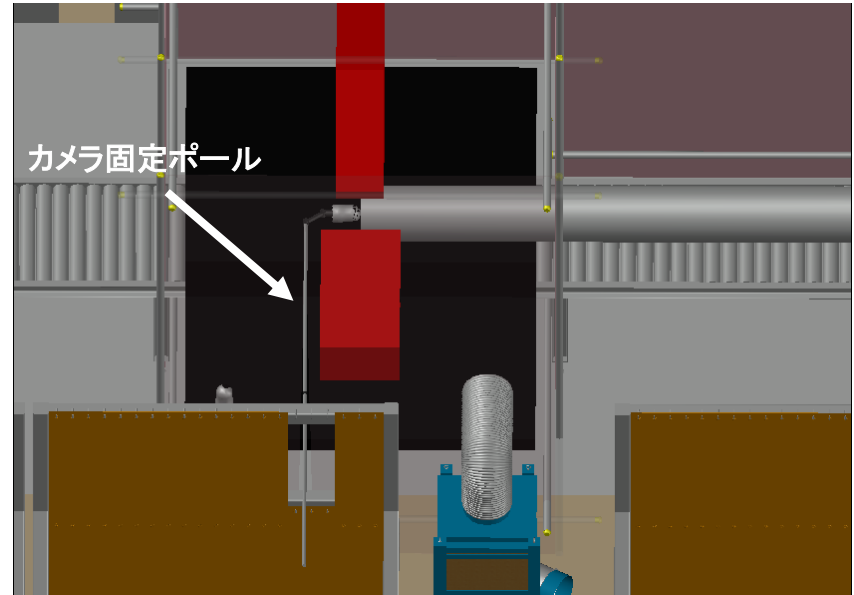
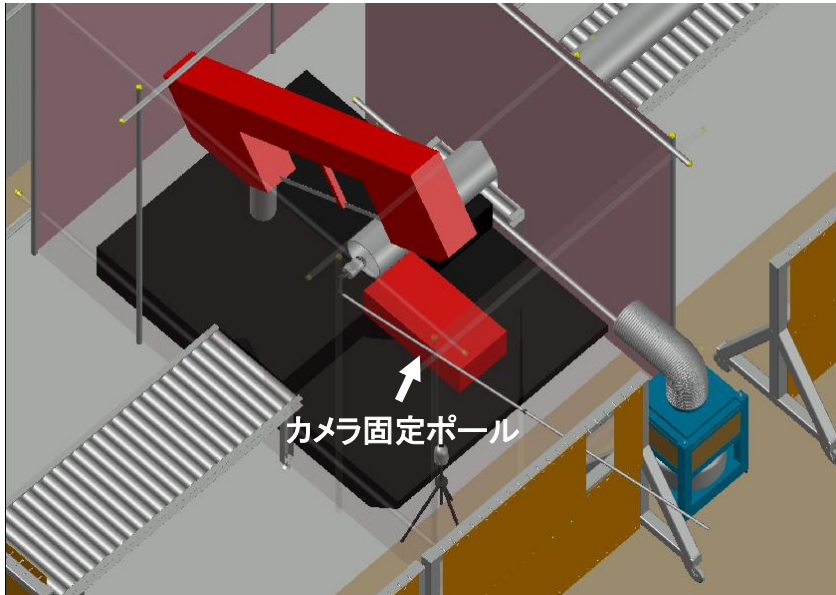
- 配管サンプルの採取は、必要箇所を約5cm程度の幅で配管細断装置を用いて輪切りの状態で採取する。
- 配管サンプルは位置情報や配管の上下、出入口方向を記録・記載する。
- 配管サンプルは引き抜き治具にて収納容器に収めて保管する。
- 収納容器に収める配管サンプルは、1収納容器に1サンプルとする。



サンプル収納容器

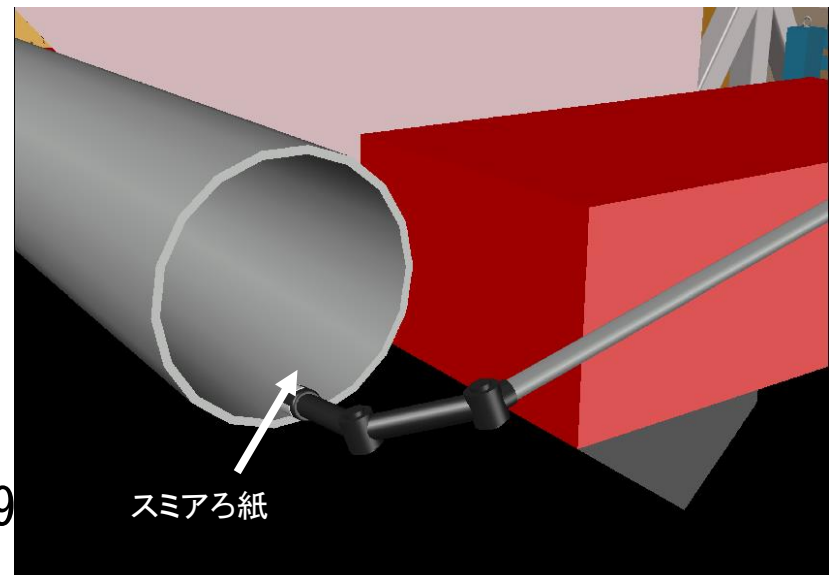
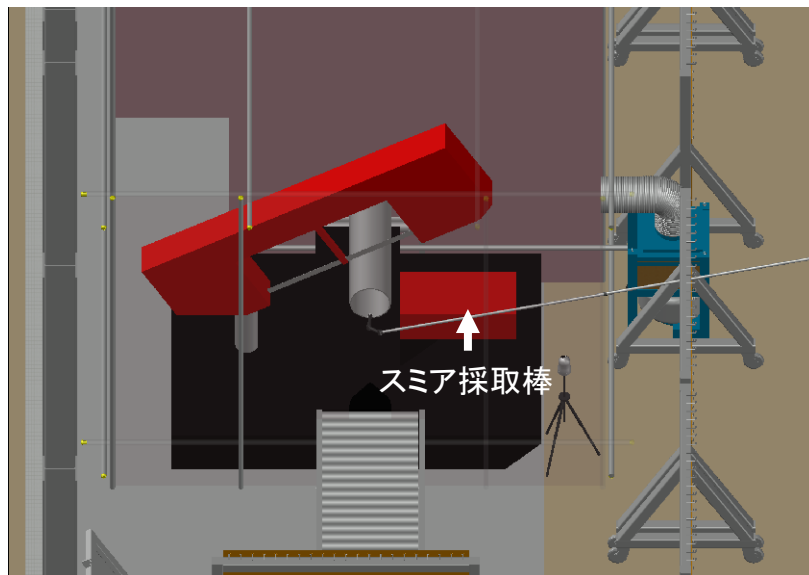
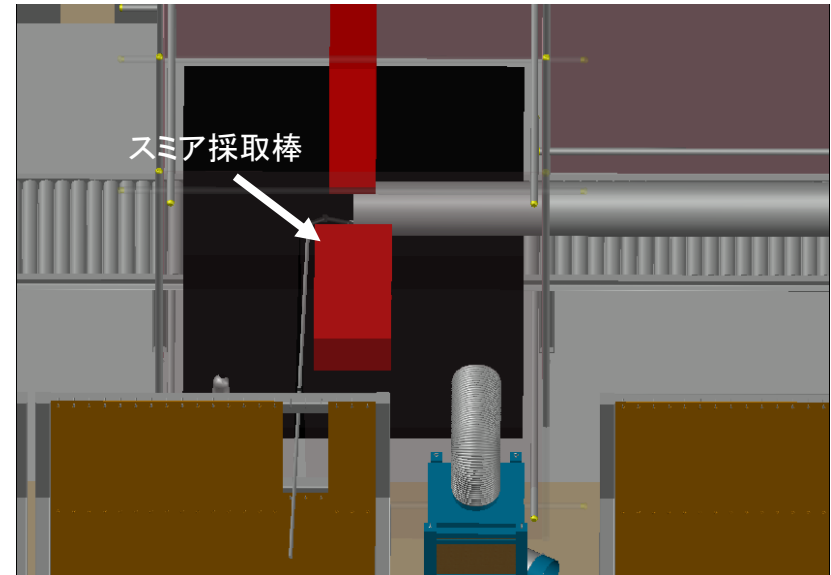
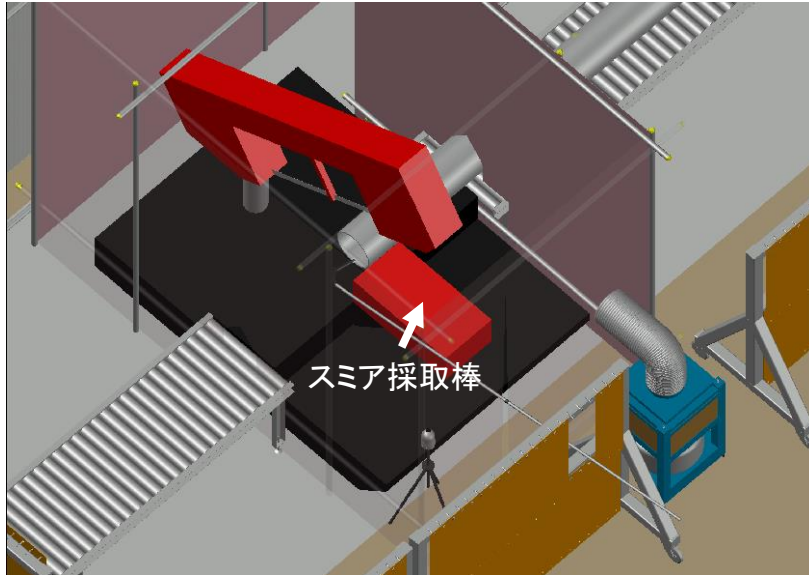


<参考> 配管内部確認（映像取得）方法



<参考> スミア採取方法（1ポイント毎の採取）

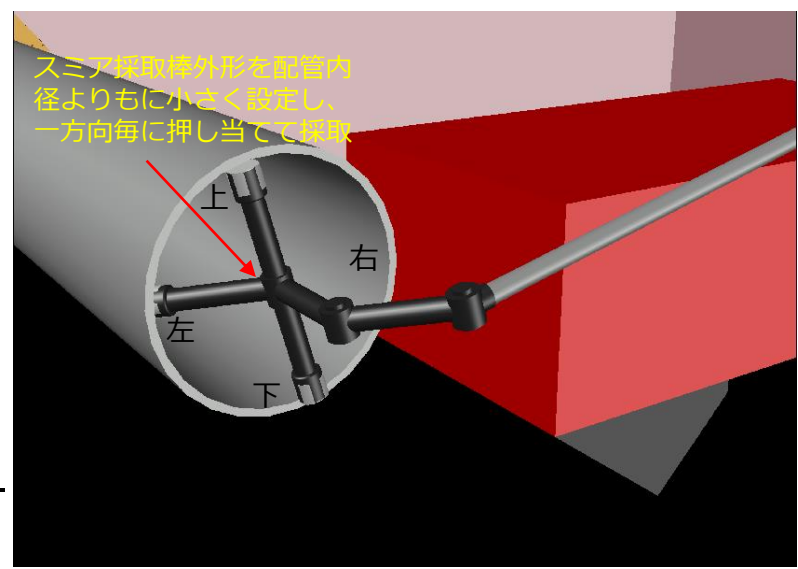
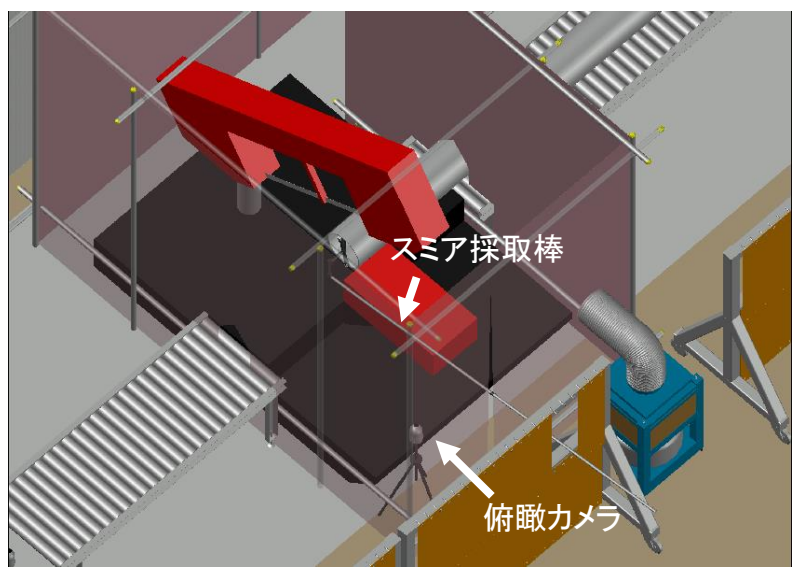
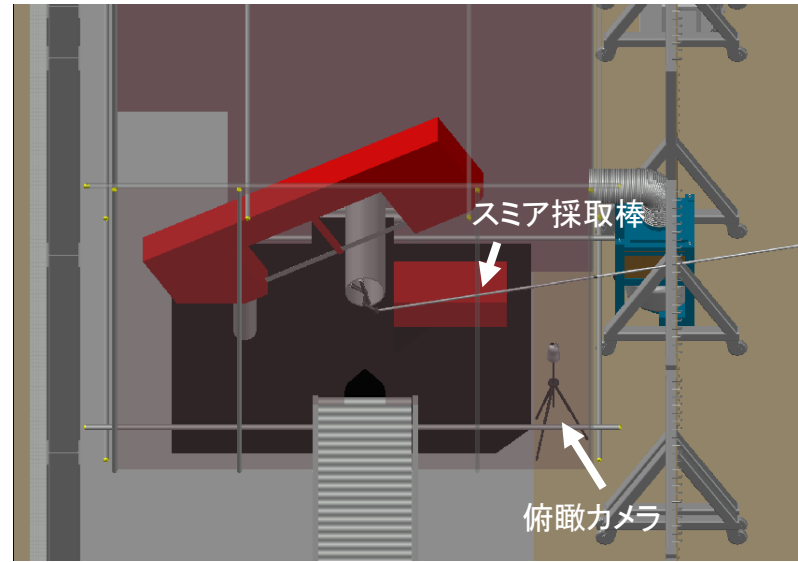
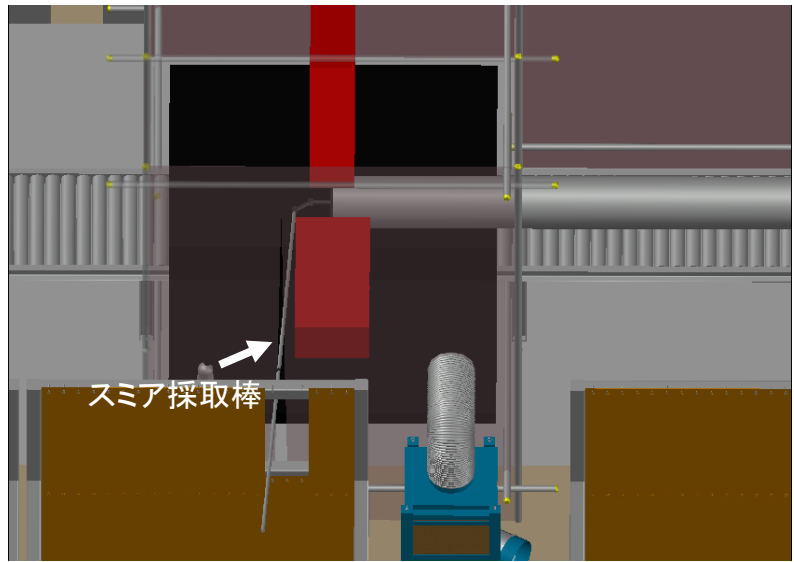
- 配管表面線量160mSv/hの場合、1ポイント採取に最大6分程度必要となり被ばく線量は0.8人・mSv。上、下、左又は右の3ポイントでは2.4人・mSvで被ばく線量増大が課題。



<参考> 検討中のスミア採取方法（3ポイント同時採取）



- 被ばく低減を目的に、下図のように1回の測定で3点採取可能なスミア採取棒を考案。
- モックアップ訓練も含め現在計画中。



<参考> 構外モックアップ施設



3号機RHR配管における水素の滞留について

原子力規制庁の論点

1. 2月28日の事故分析検討会において、東京電力HDから廃炉作業中に残留熱除去系（RHR）配管から事故由来の長半減期核種であるKr-85及び水素等の滞留ガスが検出された旨の説明があった。
2. 本件は、廃炉作業の安全上の観点からも、事故調査の観点からも重要な示唆を与えるものと考えられる。
3. 今後、廃炉作業及び事故調査作業を進めるに当たって、作業の影響確認など従前以上に丁寧に作業を行うことが重要。今後の廃炉作業におけるスクリーニング等の考え方、事故調査の観点からのデータ取得の手順の検討などが重要と考える。

3号機 RHR配管で確認した滞留ガスに関わる対応について (他系統、他号機の滞留箇所の検討)

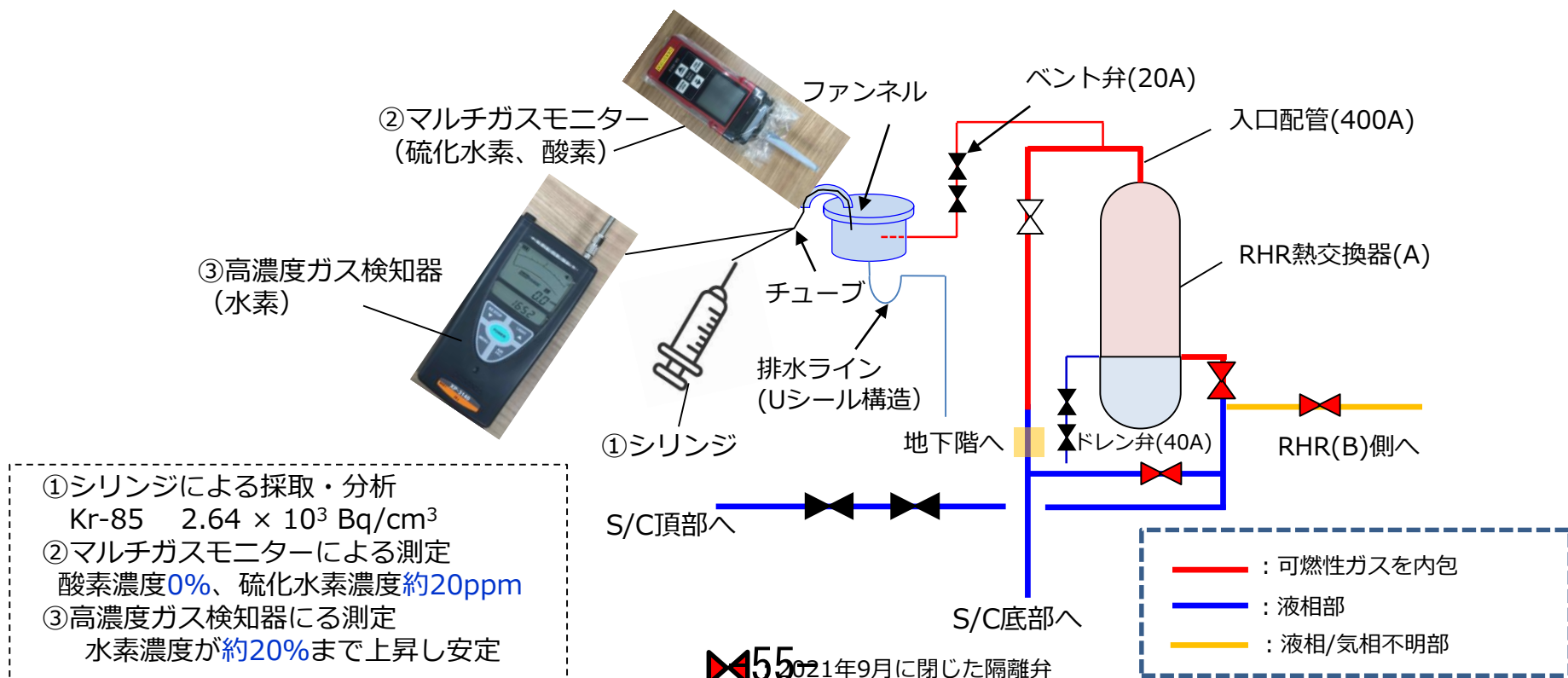
2022年5月13日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 3号機RHR系で確認した滞留ガスについて

- 3号機の原子炉格納容器（以下、PCV）の水位低下を目的とした取水設備の設置工事において、準備作業として残留熱除去系（以下、RHR）熱交換器(A)廻りのベント弁の開操作を実施した際、系統内の加圧と滞留ガスを確認。
- ガスの採取・分析を行った結果、事故由来の長半減期核種のKr-85や水素等を確認し、事故時にPCVからガスが流入し、滞留したものと推定。なお、当該滞留ガスは窒素によるパーズを完了し、取水設備設置に関わる作業を継続。

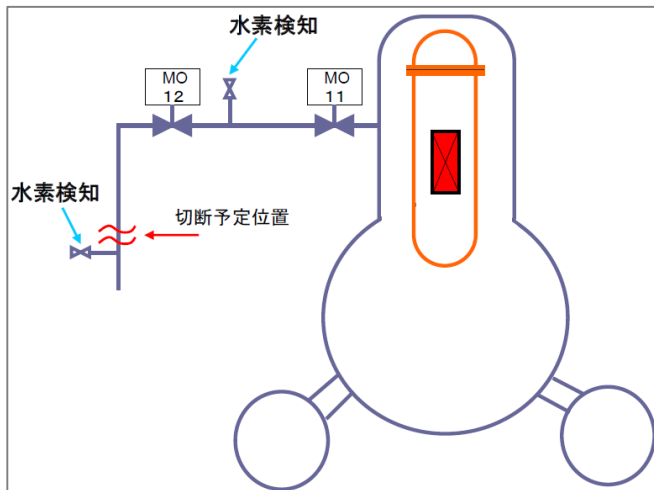


RHR配管の系統概略イメージ

2. これまでの水素ガスに関わる対応について

- 事故後、PCV内には窒素ガスを封入しており、事故時に発生した水素は、既に大部分が大気拡散していると想定。
- これまでの廃炉作業においては、上記対策によらず、水素の残留を想定した上で、慎重に作業を進めてきており、これまで水素滞留を確認した設備については、窒素パージを行う※1等の措置を実施。
- 今回、3号RHR配管で系統内に滞留した水素ガスを確認したことを踏まえ、今後の廃炉作業計画への影響や対策の要否を検討することを目的に、水素ガスが滞留する可能性のある箇所への抽出を実施。

＜水素滞留を確認したPCV接続配管等の例＞



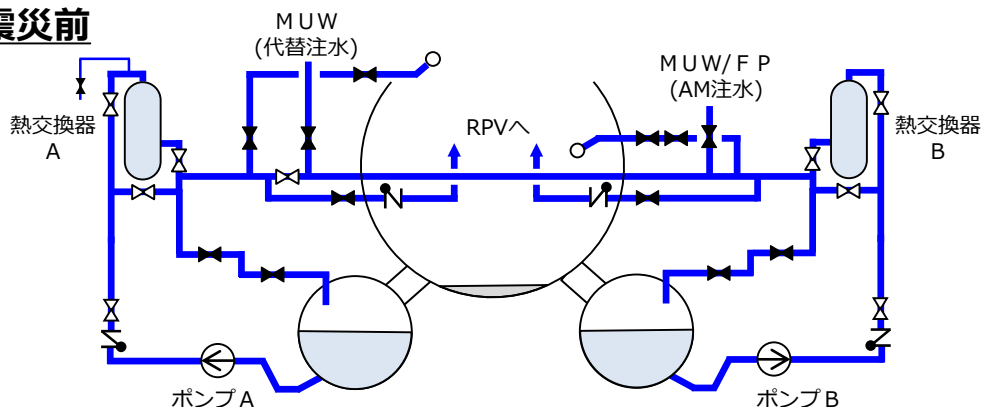
1号機 格納容器スプレイ系配管の水素滞留の例
(PCVガス管理設備設置工事、2011年)

時期	水素滞留を確認した場所※2
2011年9月	1号機 格納容器スプレイ系配管
2011年10月	2号機 可燃性ガス濃度制御系配管
2012年～2013年	1・2号機 圧力抑制室
2021年12月	3号機 残留熱除去系配管

- ※1 実施計画Ⅱ 2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備
- ※2 いずれも窒素封入によるパージ等を実施済み

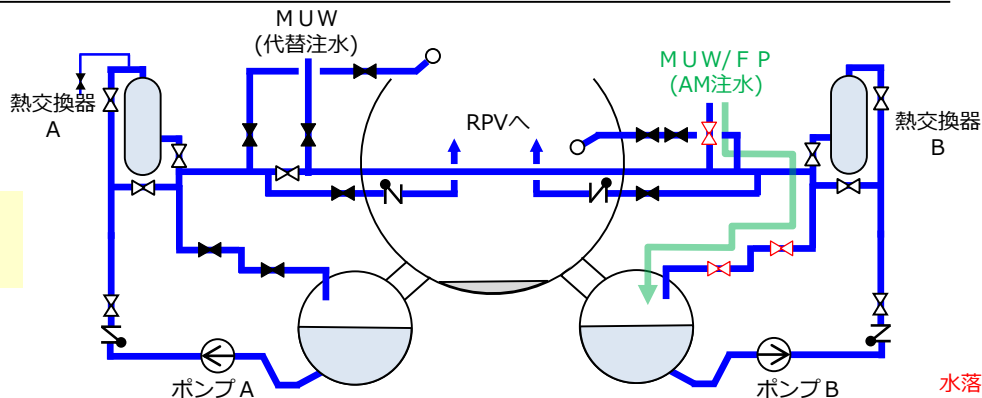
3. 3号RHR配管の水素滞留メカニズムの推定 (1/2)

1 : 震災前

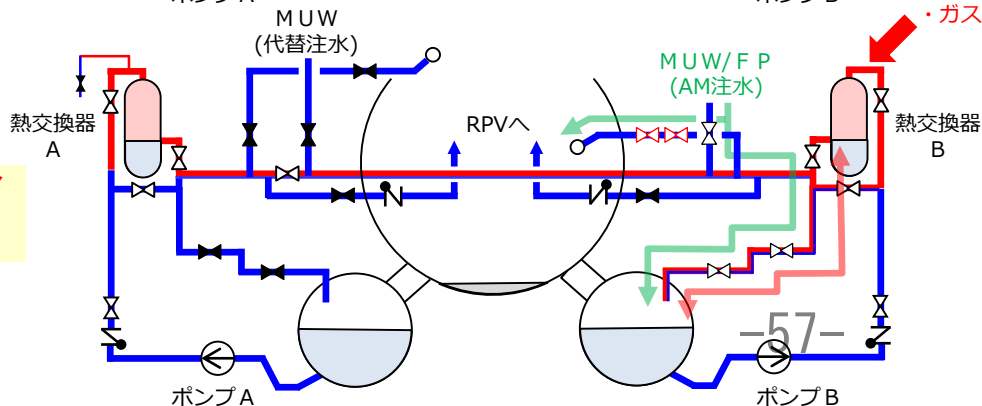


- 震災前は、系統内は満水待機。

2 : 代替S/Cスプレィ (ディーゼル駆動消火ポンプ、淡水)



- 2011年3/12 12:06~3/13 7:43まで断続的に代替S/Cスプレィを実施。

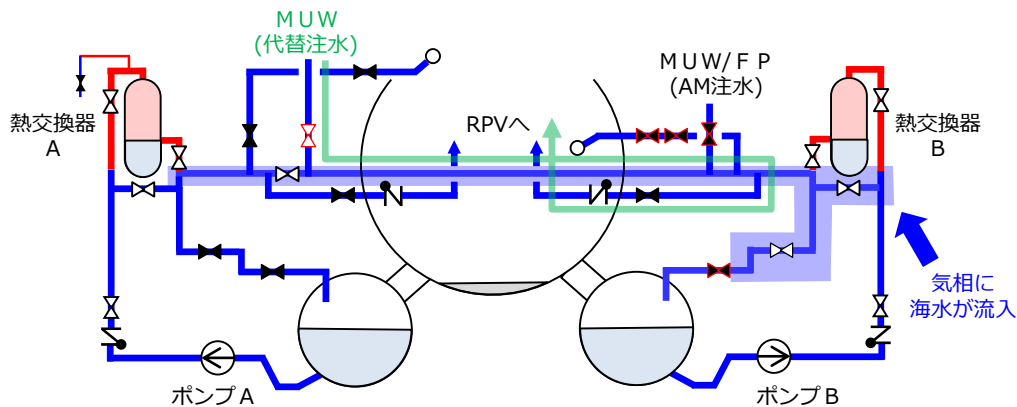


- 代替S/Cスプレィ実施により、系統保有水がPCV側に抜け落ち、**S/C** [*1] **あるいはD/W** [*2] **からのガスが流入。**

[*1] 代替S/Cスプレィでの流量は、RHRによるスプレィ流量より小さく、ガスの流入が発生したと想定。
 [*2] 代替D/Wスプレィも実施しており、いずれかのタイミングで流入した可能性を想定。

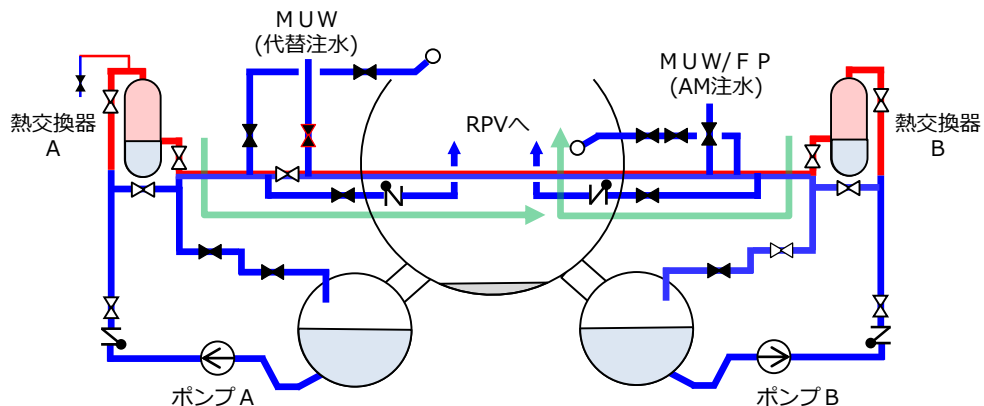
3. 3号RHR配管の水素滞留メカニズムの推定 (2/2)

3 : 代替注水時 (消防車、海水)



- 消防車からの代替注水により**海水が流入**。
(ハッチング部が海水に置換)

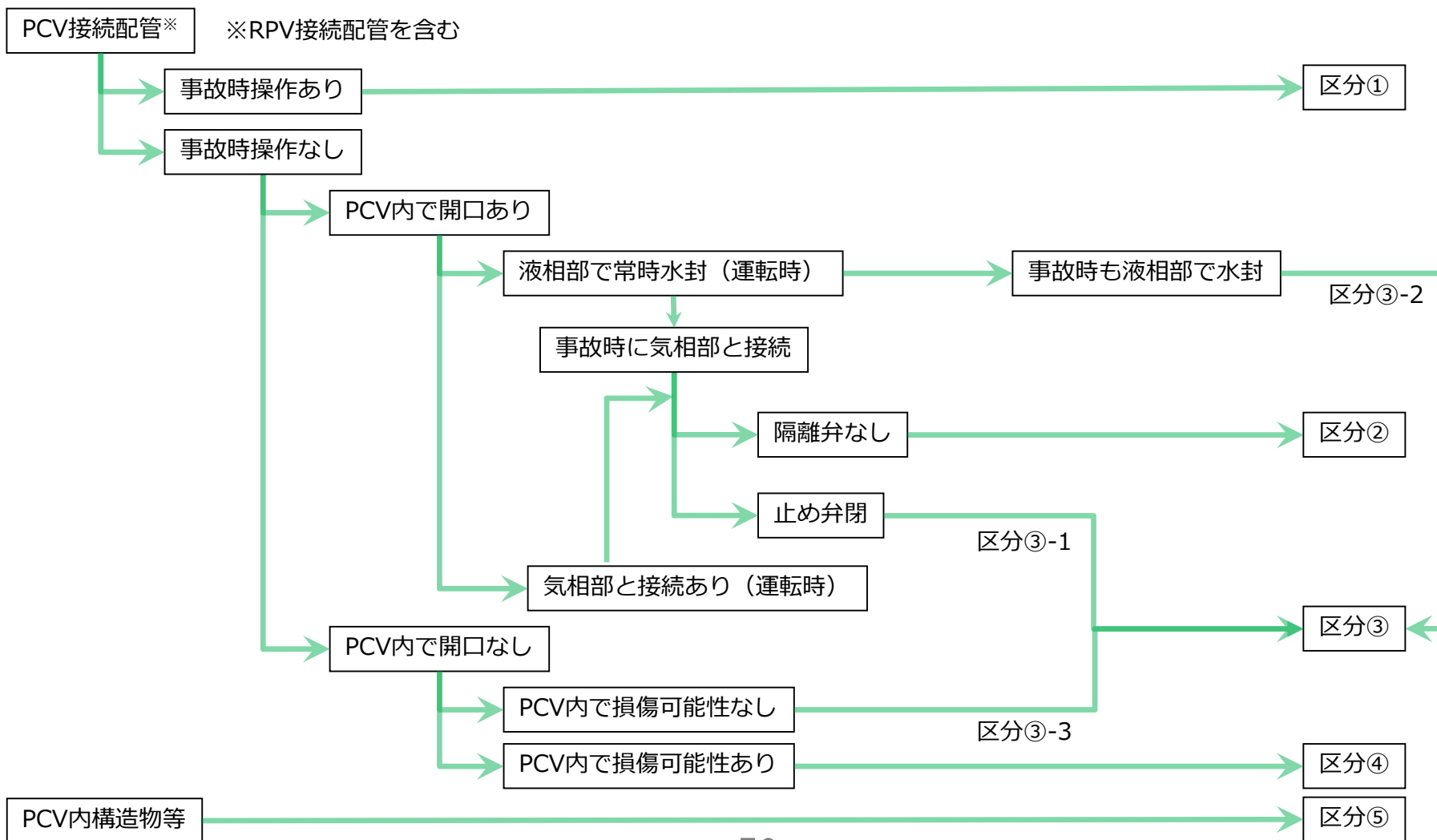
4 : 安定化以降



- 系統内のガスは、RPVの減圧と共に徐々にRPVに排出。
- ガス圧も、RPV減圧と共に低下。
- 系統内の水位は、タイライン近傍で安定。

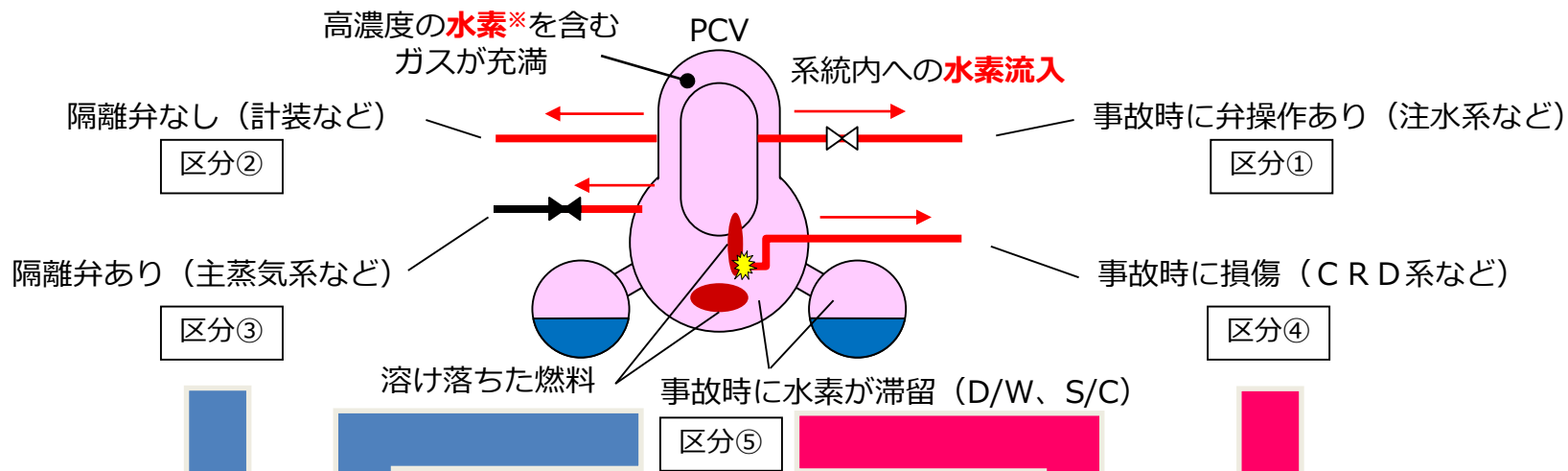
4. 水素滞留の可能性；検討対象となる系統の抽出（1/2）

■ 水素が滞留する可能性のある箇所として、図に示す抽出区分で検討対象となる系統を抽出。



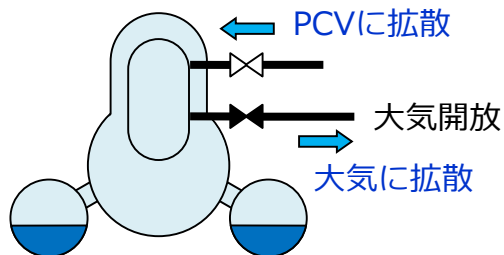
4. 水素滞留の可能性；検討対象となる系統の抽出 (2/2)

【事故時】 PCVの気相部に対して開放がある系統内へ、高濃度の水素※を含むガスが流入



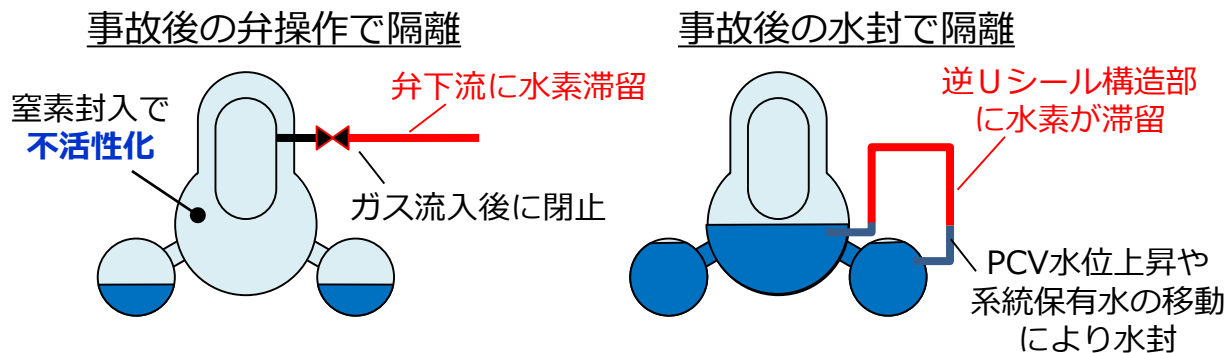
【現在】 PCVへの窒素封入により不活性化。事故後に弁や水封で隔離された箇所には水素の滞留が想定

水素滞留の可能性は少ない PCVや大気に開放



* 大部分は事故後もPCVへ開放

水素滞留の可能性がある



-60- ※事故時の水-ジルコニウム反応によって発生した水素。水の放射線分解は水素の発生量が少ないことからここでは除外。

5. 区分①の評価について

区分①：事故時に使用した系統／配管について水素滞留の可能性を検討

「福島原子力事故調査報告書（2012年6月20日公表）」及び「福島第一原子力発電所事故発生後の原子炉圧力容器内・格納容器内の状態推定について（2021年7月9日公表）別紙1～3」より、地震発生からの時系列において運転員の操作履歴を確認



炉心損傷後（水素発生後）に弁操作等を行い、使用した系統を抽出（5. 1 参照）



現在の状態でも水素が残留している可能性を評価し、以下のカテゴリ分けを実施（5. 2 参照）

- ◆ 水素滞留リスクあり
- ◆ 情報不足により判断困難（保守的にリスクありとした）
- ◆ 水素滞留リスク低

5. 1 炉心損傷後に使用した系統

号機	系統	作動／操作時間
1号機	非常用復水器 [IC(A)]	3/11 14:52～15:34 (この間、間欠的に運転) 3/11 18:18～18:25 3/11 21:30～
	非常用復水器 [IC(B)]	3/11 14:52～15:03
	格納容器冷却系 [CCS(A)]	3/11 15:10～15:37
	格納容器冷却系 [CCS(B)]	3/11 15:05～15:37
	不活性ガス系／非常用ガス処理系 [AC/SGTS]	3/12 10:17、10:23、10:24 S/Cベント弁(小弁)開操作 3/12 14:00頃～14:30 S/Cベント弁(大弁)開操作 (3/12 10時台のベント操作は成功していない可能性。一方、14時台の操作は成功と推定)
	消火系(ディーゼル駆動消火ポンプによる注水) 消防車注水(消防車→消火系→復水補給水系→炉心スプレイ系→原子炉圧力容器)	3/11 20:50～3/12 1:48 3/12 4:00～ (以降断続的に注水 のちに連続運転に移行)
2号機	原子炉隔離時冷却系 [RCIC]	3/11 14:50～14:51 3/11 15:02～15:28 3/11 15:39～3/14 9:00頃
	残留熱除去系 [RHR(A)]	S/C冷却:3/11 15:07～15:25 S/Cスプレイ:3/11 15:25～15:37
	不活性ガス系／非常用ガス処理系 [AC/SGTS]	3/13 11:00 S/Cベント弁(大弁)開操作 3/14 21:00頃 S/Cベント弁(小弁)開操作 (上記操作を実施しているものの、弁は開いていないものと推定) 3/15 0:01 D/Wベント弁(小弁)開操作 (上記操作を実施しているものの、弁は開いていないものと推定)
	消防車注水(消防車→消火系→復水補給水系→残留熱除去系→原子炉圧力容器)	3/14 19:54～
3号機	原子炉隔離時冷却系 [RCIC]	3/11 15:05～3/11 15:25 3/11 16:16～3/12 11:36
	高圧注水系 [HPCI]	3/12 12:35～3/13 2:42
	消火系(ディーゼル駆動消火ポンプによる注水、残留熱除去系を經由)	S/Cスプレイ: 3/12 12:06～3/13 3:05 3/13 5:08～3/13 7:43 D/Wスプレイ: 3/13 7:39～3/13 8:40(～9:10) 原子炉注水: 3/13 8:40(～9:10)～
	不活性ガス系／非常用ガス処理系 [AC/SGTS]	3/13 8:41 S/Cベント弁(大弁)開操作 (ベントは9:00過ぎに成功したものと推定) 3/13 12:30 S/Cベント弁(大弁)開操作(ベントは成功したものと推定) ... (以降もベント弁の開操作を行っているものの、ベントは成功していないものと推定)
	消防車注水(消防車→消火系→復水補給水系→残留熱除去系→原子炉圧力容器)	3/13 9:25～ (以降に中断期間あり)

炉心損傷後に使用した系統

水素滞留リスクあり

- 1号機IC(A) :
事故後にPCV内外の隔離弁の状態について調査した結果等から、炉心損傷後に隔離弁が開いていた可能性あり。蒸気の凝縮水がRPVに戻り切らず、水素が伝熱管内等で水封され滞留している可能性がある。
- 3号機PCVスプレイ配管 :
今回水素滞留が確認された系統であり、同様にRHR(B)系も水素が滞留している可能性が高い。

情報不足により判断困難（保守的にリスクありとした）

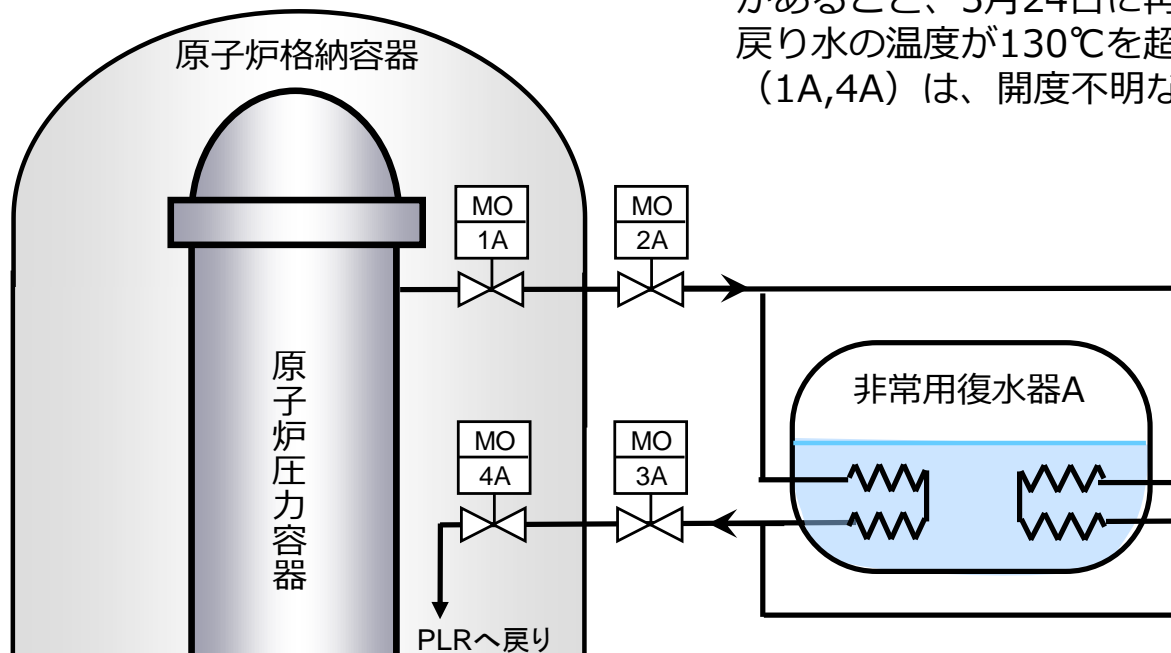
- 1～3号機の消防車注水に使用した系統 :
消防車による注水は、他系統へのバイパス流によって低圧力、低流量であった可能性があることから、系統内に水素が流入した可能性が否定出来ない。また、事故当時の記録から弁操作（開閉の）履歴を全て把握することは困難であり、保守的にリスクありと評価した。

水素滞留リスク低

- 1、3号機ベント配管 :
S/Cベント弁が閉じて以降、ベント弁の上流（PCV側）はPCVに開放され、ベント弁の下流（排気筒側）は大気に開放されているため、水素滞留の可能性は低いと考える。なお、SGTSフィルタトレインから原子炉建屋へ繋がる配管（ベントガスの逆流の影響）も同様に水素滞留の可能性は低いと考える。

1号機 IC(A)

- 事故後の弁開度調査で、PCV外側隔離弁（2A,3A）の開を確認（内側は開度不明）
- ICタンク内の残水記録から津波到達以降に水を消費した可能性があること、3月24日に再開した温度計測で、ICからRPVへの戻り水の温度が130℃を超えていたことから、PCV内側隔離弁（1A,4A）は、開度不明ながら炉心損傷後に開いていた可能性



➡ 系統は現在窒素置換をしているRPVと繋がっているものの、伝熱管内等で凝縮水により水封された場合、水素が滞留している可能性がある。

6. 区分④の評価について

区分④：圧力容器から落下した燃料デブリ等により系統の配管／機器が損傷し、系統内に水素が流入した可能性を検討

「福島第一原子力発電所事故発生後の原子炉圧力容器内・格納容器内の状態推定について（2021年7月9日公表）」および、これまで実施された建屋内線量調査や各設備の状態確認の結果から、燃料デブリ等による損傷箇所を想定



燃料デブリによって損傷を受けた可能性のある系統の抽出と事故時に水素の流入やその後の水封等による水素滞留の可能性を評価（6. 1 参照）



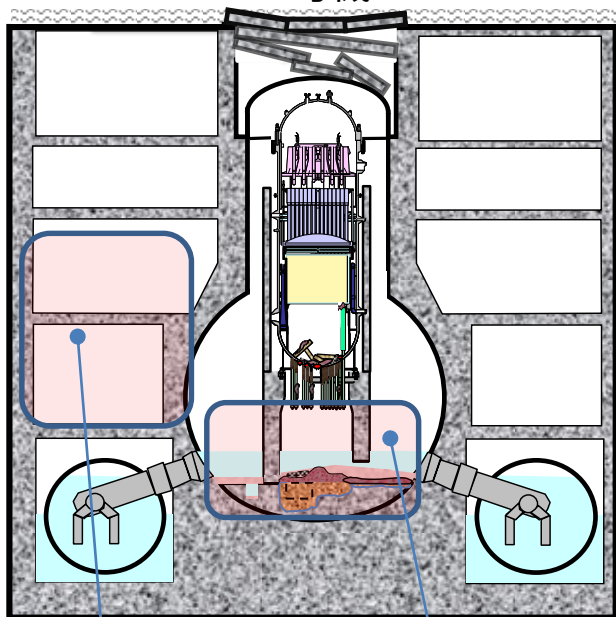
現在の状態でも水素が残留している可能性を評価し、以下のカテゴリ分けを実施（6. 2 参照）

- ◆ 水素滞留リスクあり
- ◆ 情報不足により判断困難（保守的にリスクありとした）
- ◆ 水素滞留リスク低

6. 1 区分④ 燃料デブリ等による損傷評価

各号機状態に違いはあるものの1～3号機ともRPV底部が損傷し、燃料がPCV床に落下したものと推定。燃料の落下経路上にある系統や、PCV床近傍にある系統が損傷を受ける可能性がある。

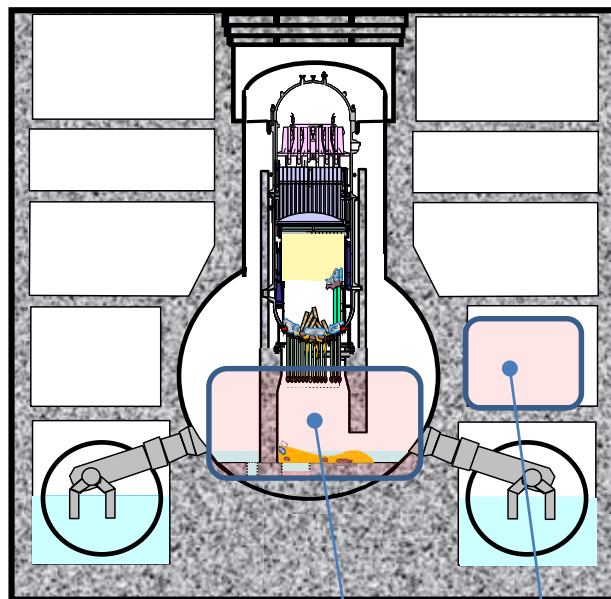
1号機



PCV内部調査

RCW（原子炉補機冷却系）
DHC（ドライウェル除湿系）の線量等

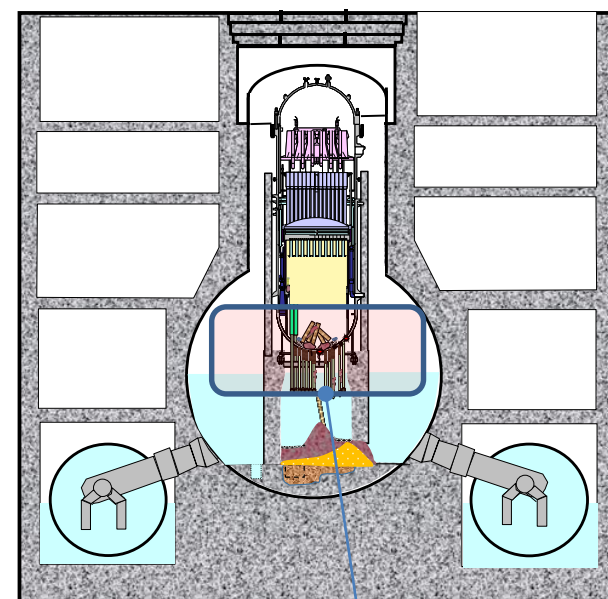
2号機



PCV内部調査

TIP（移動式炉内計装系）調査

3号機



PCV内部調査

各プラントの損傷状況予測や内部調査等のデータから燃料デブリによって損傷を受けた可能性がある系統を抽出



RCW（原子炉補機冷却系）、DHC（ドライウェル除湿系）、CRD（制御棒駆動水圧系）、
TIP（移動式炉内計装系）

水素滞留リスクあり

- 事故後の状況が不明確であり、明確に水素滞留リスクありと判断できる系統は抽出されなかった。

情報不足により判断困難（保守的にリスクありとした）

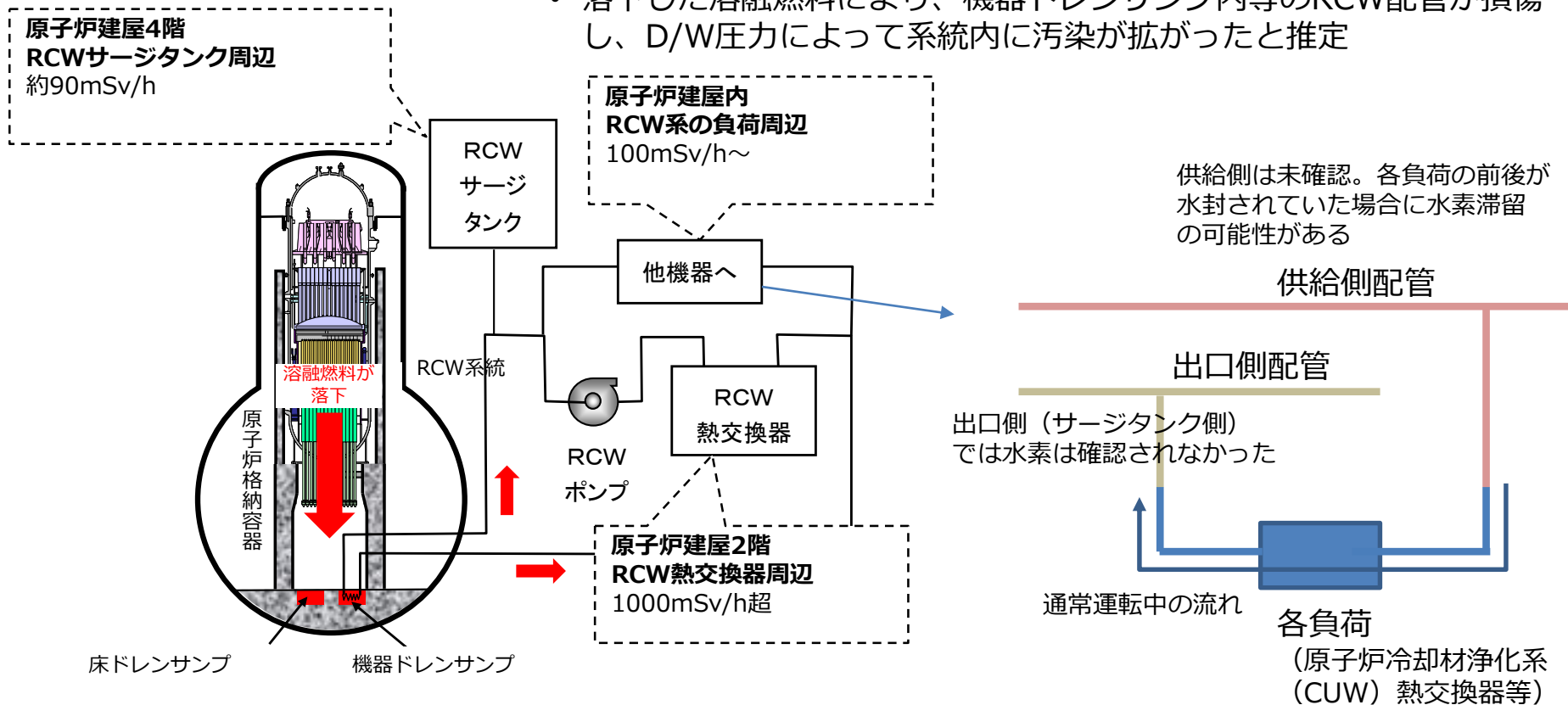
- 1号機RCW系（DHC系）：
系統全体が高線量であり、D/W内機器の損傷によって、事故時のD/W内の水あるいはガスが系統に流れ込んだことを想定している。各負荷からの戻り側のラインには水素は確認されなかったが各負荷への供給側のラインは未確認であり、各負荷での水封により、水素が滞留している可能性がある。
- 1～3号機 CRD（HCU）系：
炉心下部に位置し、CRD系への水素流入が生じた場合はHCU（水圧制御ユニット）系にも流入した可能性がある。また、HCUは事故後の冷却水等の流れ込みも考えられることから系統内での水封により、水素が滞留している可能性がある。

水素滞留リスク低

- 1～3号機TIP系：
炉心部、炉心下部に位置し、2号機の調査では案内管の途中で閉塞していることが確認されている。閉塞物のサンプル調査では核燃料物質は確認されなかったが、炉心損傷とともに損傷している可能性が高い。しかしながら、当該の損傷はD/W内で発生すると想定されるため、水素が流入した場合でもD/W内に放出されているものと推測される。

■区分④：1号機 RCW

- 1号機原子炉建屋内の、RCW配管／機器の周辺で高線量率を観測
- RCWはPCVに対して開放部を持たない閉ループの設計で、本来は高線量率が観測されるはずのない系統
- 落下した溶融燃料により、機器ドレンサンプ内等のRCW配管が損傷し、D/W圧力によって系統内に汚染が広がったと推定



RCW配管／機器に水素が流入した可能性がある。

現在、線量低減のためRCW系統の水抜きを計画中。その過程でサージタンク（タンク上部にて大気解放）に繋がる部分に水素の滞留がないことを確認~~68~~。ただし、その他箇所でも系統内に水封された水素が滞留している可能性は残る。

7. まとめ

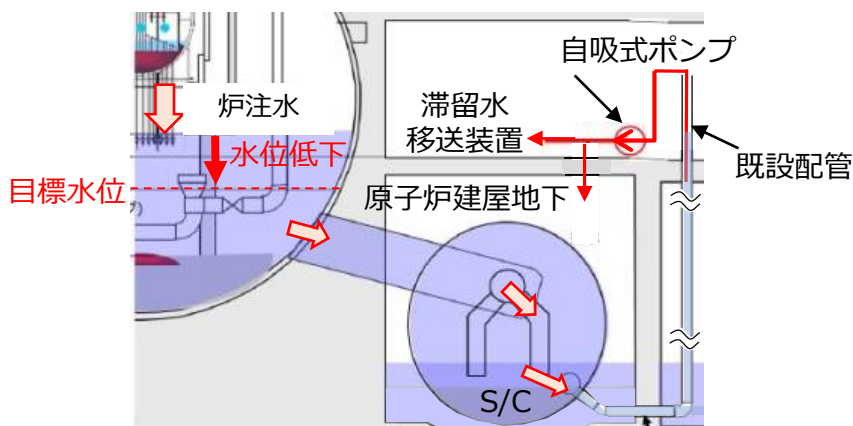
- これまで福島第一原子力発電所では、事故時における水素ガス発生対策として、PCV内への窒素ガス封入等を実施。また、これら対策の実施後も水素ガス残留の可能性を考慮し作業計画を立案するなどを実施。
- 2021年12月に3号RHR配管で水素ガスを確認したことを踏まえ、同様なケース（事故時の弁操作、水封）を中心とした評価を実施し、水素ガスが残留している可能性を再度検討した。
- 今回の評価では、外気（酸素）と接したAC系（ベント系）などの系統も抽出されたが、現在は大気あるいはPCVに開放されているなど、水素ガス滞留の可能性は低いものと評価した。従って緊急の対策が必要な、酸素が混入し閉塞されている箇所は無いものと評価した。
- 一方、水素ガス残留の可能性のある系統が一部抽出されたことから、今後、現場調査を行うとともに作業計画を立案する。なお、今回抽出された系統は高線量箇所等も含まれることから、被ばく防止等の作業安全を考慮した計画としていく。
- また、今回抽出されない箇所であっても、これまでと同様に水素滞留の可能性を考慮した作業計画を立案し、廃炉作業に万全を期すものとする。

以下、参考資料

【参考1】 3号機 PCV (S/C) 水位低下に関わる計画について **TEPCO**

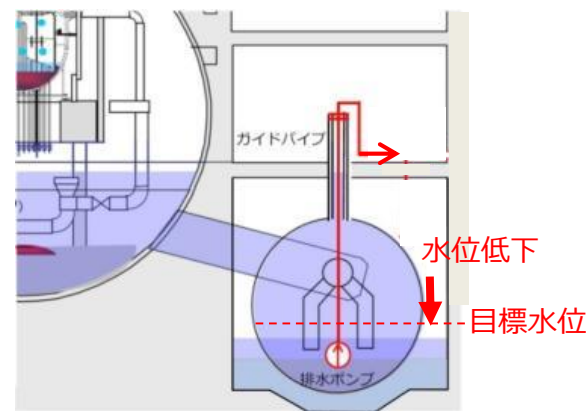
- 現状、耐震性向上策としてPCV(S/C)水位低下を行うため、以下の通り段階的に水位を低下することを計画。
- ガイドパイプ設置等（ステップ2）に先立ち、現状水位（R/B1階床上約1m）をR/B1階床面以下に低下（ステップ1）する。
- ステップ1では、S/C下部に接続する既設配管を用いて自吸式ポンプによる取水を計画。

ステップ1（目標水位：R/B1階床面以下）



既設配管を用いたS/C内包水の取水イメージ

ステップ2（目標水位：S/C下部）

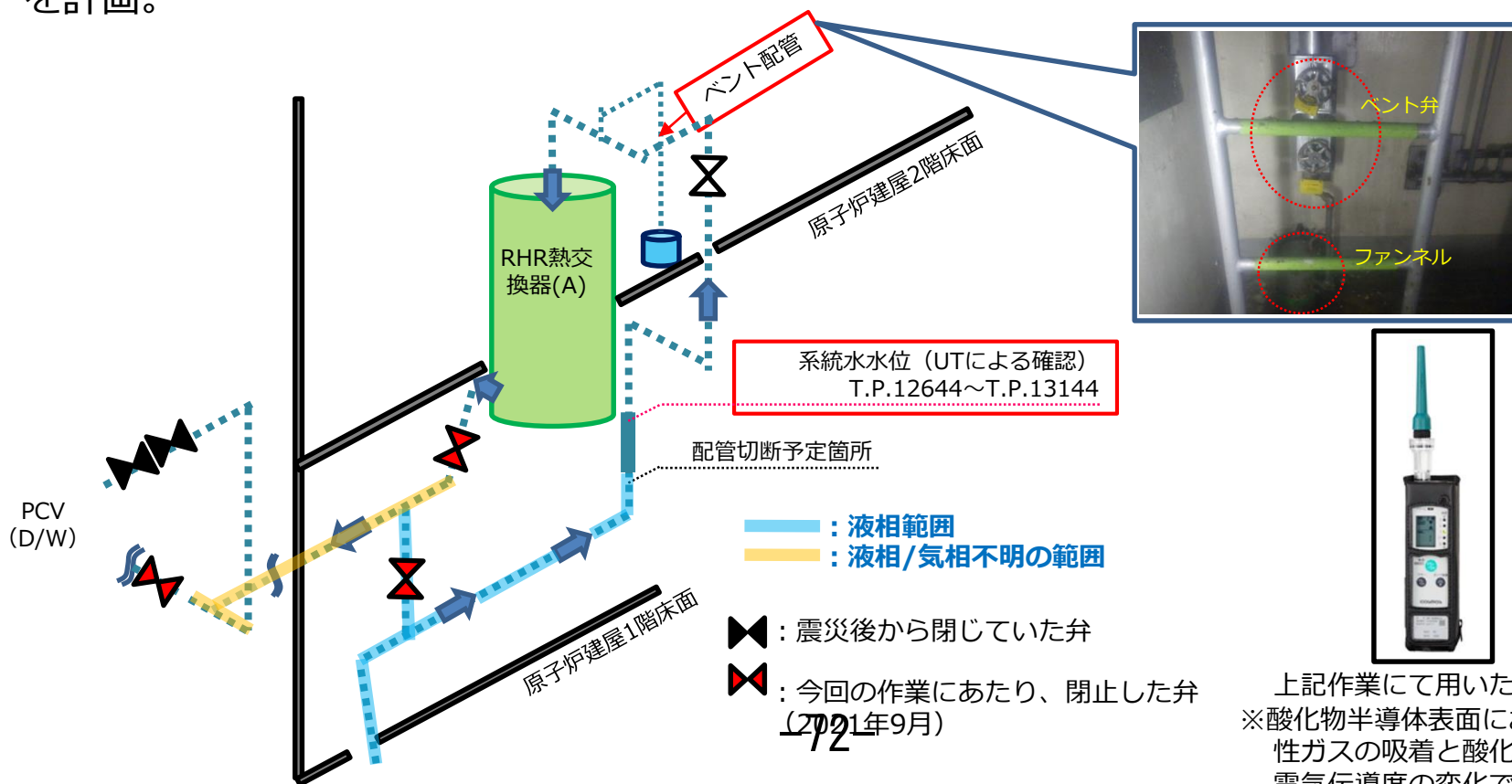


ガイドパイプによるPCV(S/C)からの取水イメージ

PCV：原子炉格納容器
S/C：圧力抑制室
R/B：原子炉建屋

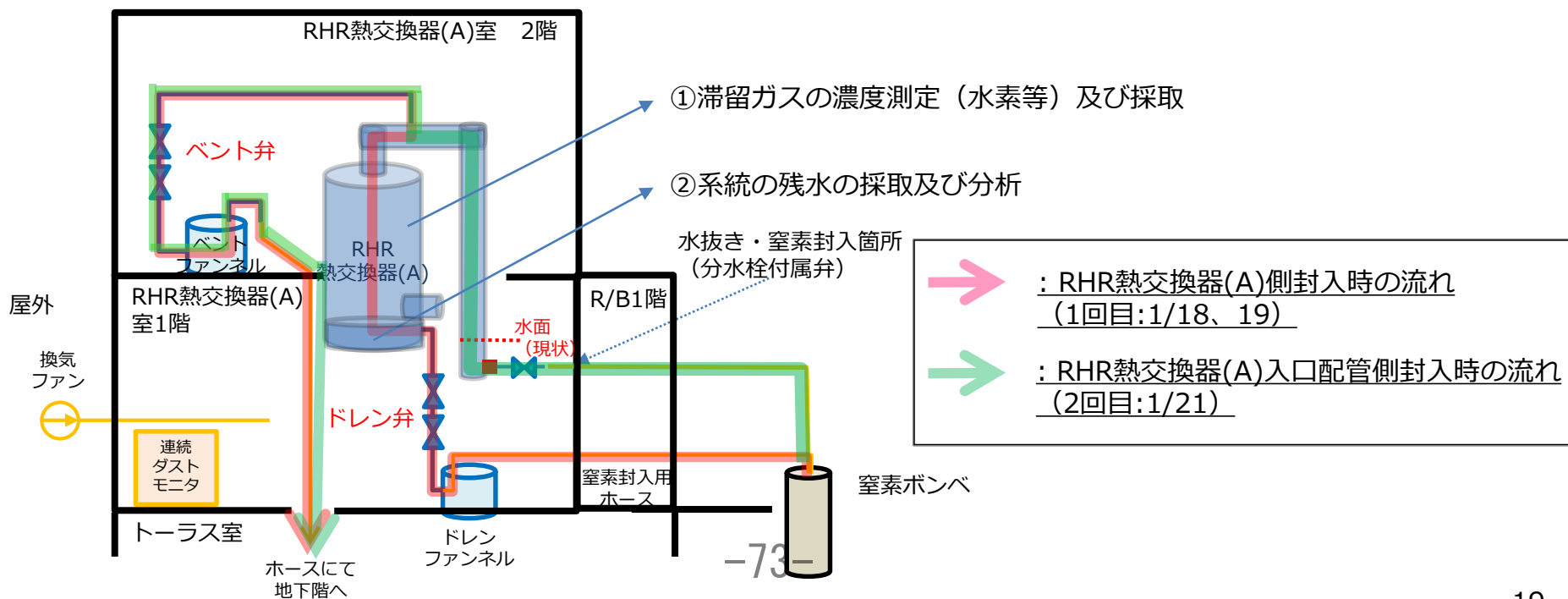
【参考2】 3号機 滞留ガスのパーティに関わる経緯について

- 既設配管に取水点を構築するための準備作業として、残留熱除去系（以下、「RHR」という。）熱交換器(A)廻りのベント弁の開操作を実施したところ、接続ファンネル出口にて可燃性ガスを検出[※]。また、ガスを採取・分析した結果、事故由来の長半減期核種であるKr-85を検出。
- PCVとの連通が想定される弁は事前に閉止していることから、現在、PCVからのガスの供給はないと想定。
- RHR熱交換器(A)ドレン弁から窒素を封入し、RHR配管ベント弁から配管内ガスを排出することを計画。



【参考3】 3号機 滞留ガスのパーズ作業について

- パーズ作業前に、①滞留ガスの濃度測定（水素等）、採取及び②系統の残水の採取、分析を実施。
- RHR熱交換器(A)側および入口配管側の滞留ガスのパーズ作業（窒素封入）を環境等への影響を考慮し、3日に亘り実施。排出される滞留ガスの濃度が低下したことを確認。（水素：約20%→0%、硫化水素：約20ppm→0ppm）。
- 作業中のガス等の測定、分析を行い、環境等への影響がないことを確認。
 - 排気先の地下階および1階（RHR熱交換器(A)室）のガスを測定、分析し、酸素濃度に異常が無く、水素濃度が0%であること、およびKr-85濃度が検出限界値未満（5.0Bq/cm³未満）であることを確認。
 - 連続ダストモニタにより、ダスト濃度に変化がないことを確認。



建物構築物の形状測定等について

- i. 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 第28回会合
資料2-1-3 「2号機シールドプラグの変形」（原子力規制庁）抜粋

原子力規制庁の論点

1. 原子力規制庁では4号機原子炉建屋内調査及び2号機シールドプラグ調査において、3Dレーザースキャナーを使用した調査を実施してきている。また、東京電力HDにおいても3号機原子炉建屋の健全性評価などで3Dスキャン装置を使用した調査が行われてきている。
2. これらの事故調査及び廃炉作業における調査で得られる3次元点群データ等は、双方のデータを共有することで精度の向上やより効率的なデータ収集に資するものと考えられる。
3. 今後、建物構築物の経年変化等の調査も視野に入れ、双方のデータの共有・活用方法の議論が重要と考える。

建屋健全性の観点からの論点

1. 他方、東京電力HDでは、原子炉建屋の健全性確認のため、地震計を設置し建屋全体の経年変化の傾向把握等を目的とした観測を継続的に実施するとしているが、その目的に適した地震計の設置となっているのか。
2. また、1号機原子炉格納容器(PCV)内部調査として、水中ROV等の調査装置を用いた調査情報が得られてきている。これらのPCV内の動画及び映像の情報は、原子炉圧力容器を支えるペDESTAL等のコンクリート構造体に係る情報も含んでおり、建屋健全性の観点からも重要な情報を得られるのではないか。

建屋健全性の観点からの論点

【参考】

- i. 特定原子力施設監視・評価検討会 第99回 資料1-1「3月16日地震発生後の福島第一原子力発電所の状況について」(東京電力ホールディングス株式会社)抜粋
- ii. 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 第29回会合 資料3 「1号機 PCV内部調査の状況について」(東京電力ホールディングス株式会社)抜粋

2号機シールドプラグの変形

2022年2月28日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

<検討の背景>

- 東京電力福島第一原子力発電所事故時の福島第一原子力発電所2号機(1F2号機)における放射性物質の放出経路の推定(シールドプラグの継ぎ目が放射性物質の放出経路となりうるか)に係る検討を行うため、シールドプラグの形状測定を実施した。

<これまでの検討状況>

- 1F2号機のシールドプラグの形状測定を実施したところ、シールドプラグの端部から中心部に向かって、最大6cm程度の落ち込みが確認された(第27回事故分析検討会にて説明済み)。

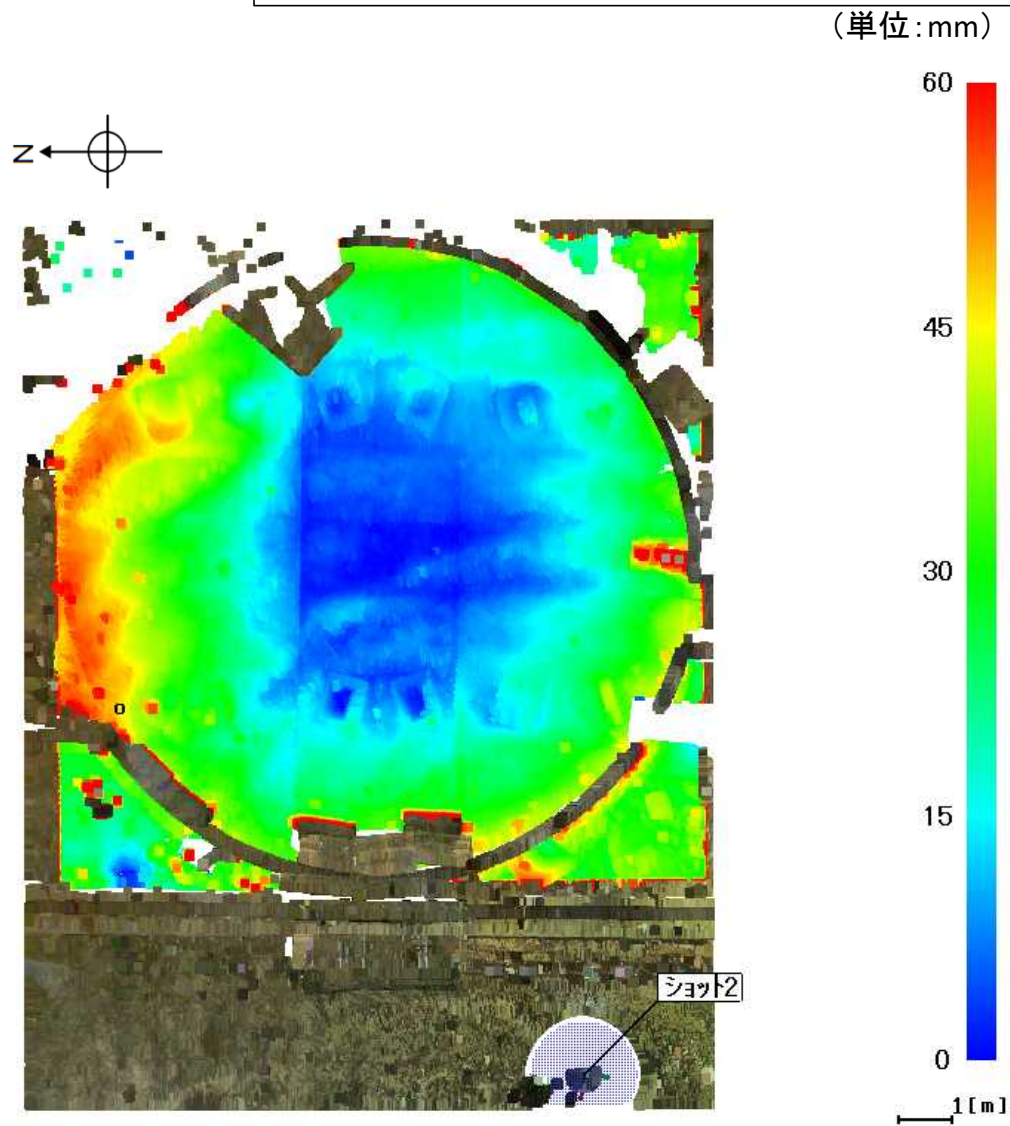
<今回の検討内容>

- 上記の落ち込み(変形)が1F2号機特有のものであるかどうかを検討するために、同発電所5号機(1F5号機)のシールドプラグの形状測定を実施し、1F2号機のシールドプラグの変形状況との比較を行う。
- 2号機と炉型が同等である他の発電所のプラント(島根原子力発電所1号機(島根1号機))のシールドプラグの形状測定を実施し、同様の比較を行う。

○2号機シールドプラグの形状測定 (各測定点の高低差による分析)

シールドプラグの中心を基準点として、
高低差を分析

- 端部から中心部に向けて落ち込みが見られる。
- 東西方向よりも南北方向の方が落ち込みの程度が大きい。(東西方向は概ね3cm程度の落ち込みに対して、南北方向は概ね6cm程度の落ち込み)



※株式会社富士テクニカルリサーチの協力の下、「Galaxy-Eye」により分析

シールドプラグの形状比較(1F2号機と1F5号機の比較)

(単位:mm)

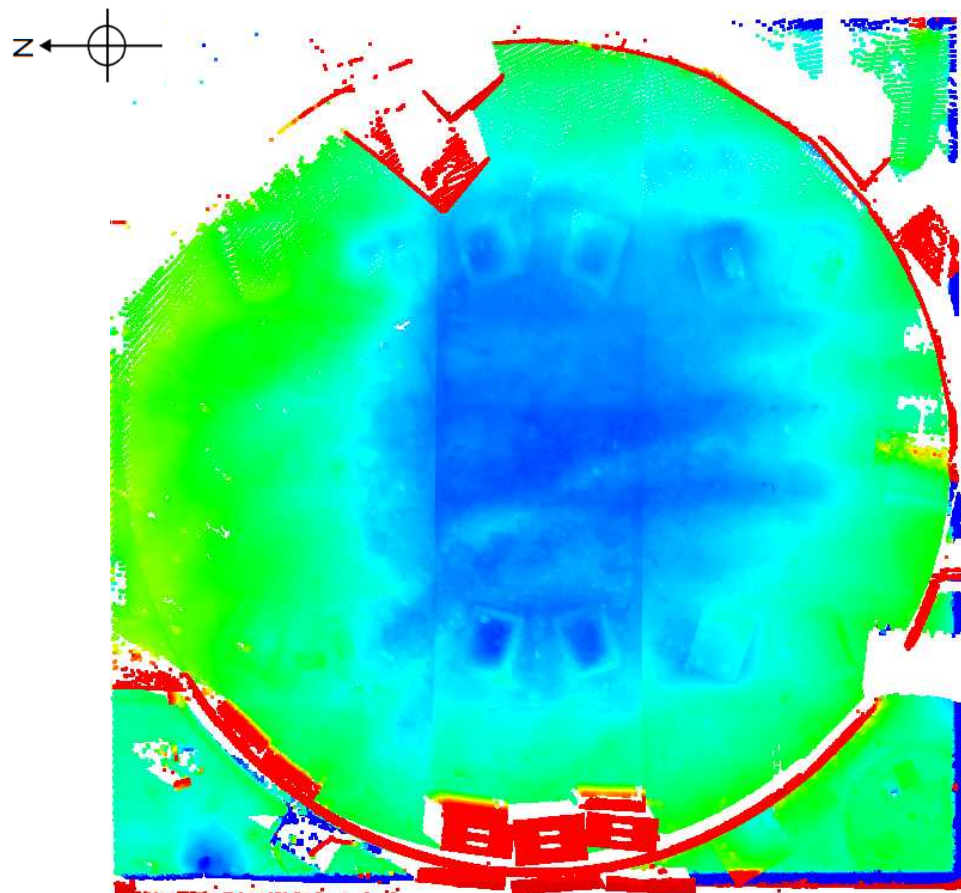


図1-1 1F2号機シールドプラグの変形状況

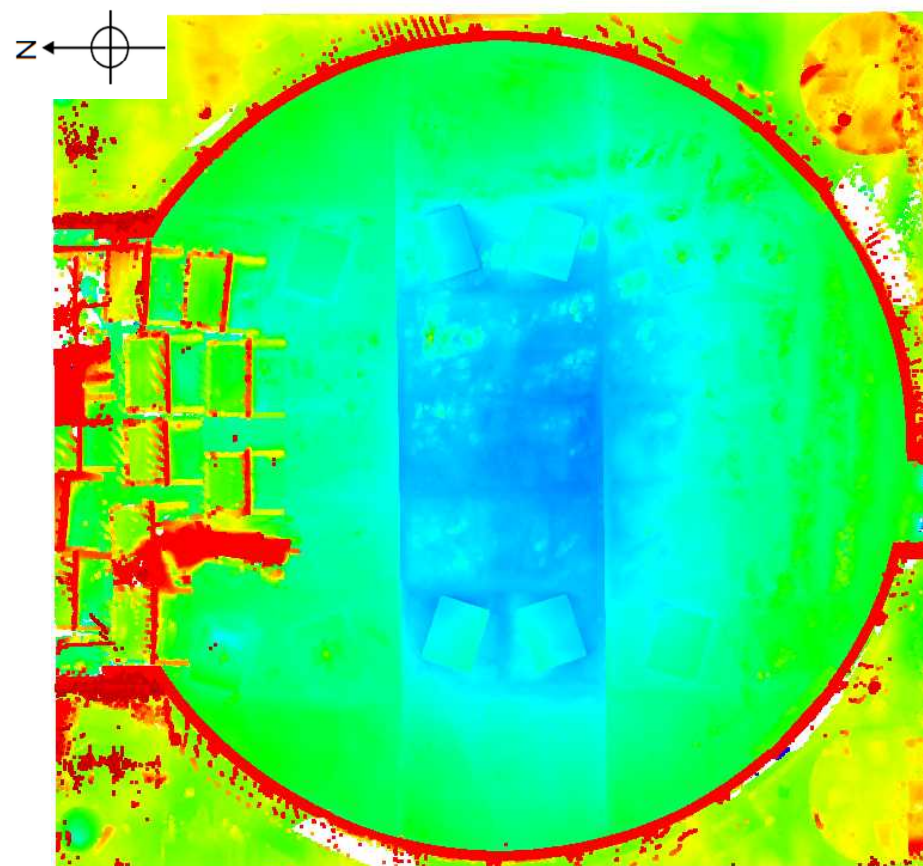


図1-2 1F5号機シールドプラグの変形状況

50

25

0

-25

-50

1[m]

※1: 株式会社富士テクニカルリサーチの協力の下、「Galaxy-Eye」により分析

※2: 図1-1は、図1-2との比較をより正確に行うために、基準高さ(0mm)位置を第27回事故分析検討会資料2-1別添2(前ページ)から変更している(使用しているデータは、前ページと同様)。

シールドプラグの変形の特徴(1F2号機と1F5号機の比較)

項目	1F2号機	1F5号機
方向性	南北方向の高低差が東西方向の高低差より大きい	南北方向の高低差が東西方向の高低差より大きい
パーツ間の落ち込みの差異	中心のパーツに加えて、南側の一部も落ち込みが大きい	中心のパーツのみが落ち込んでいる。
東西方向の落ち込みの傾向	中心部に向かって落ち込んでいる傾向は東端及び西端ともに同様	中心部に向かって落ち込んでいる傾向は東端及び西端ともに同様
南北方向の落ち込みの傾向	南端から中心部への落ち込みよりも北端から中心部への落ち込みの方が大きい	中心部に向かって落ち込んでいる傾向は北端及び南端ともに同様
落ち込みの程度	北端から中心への落ち込みが最も大きく、最大60mm程度	南端から中心への落ち込みが最も大きく、最大45mm程度

シールドプラグの形状比較 (1F2号機、1F5号機及び島根1号機の比較)

(単位: mm)

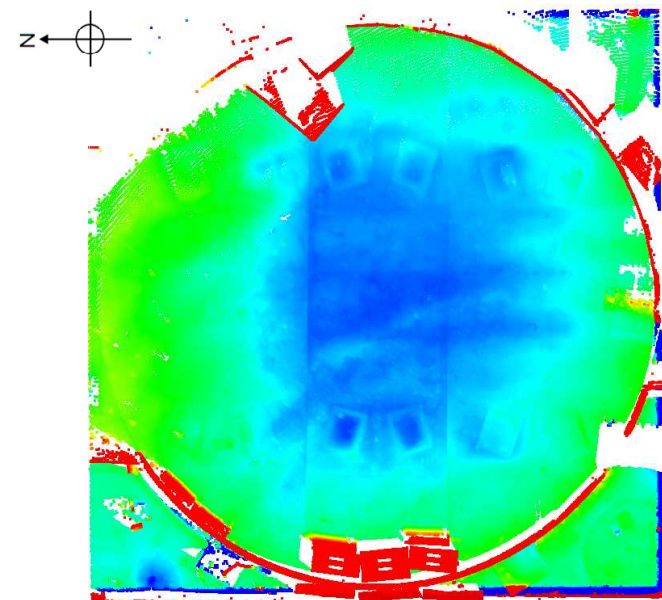


図2-1 1F2号機シールドプラグの変形状況

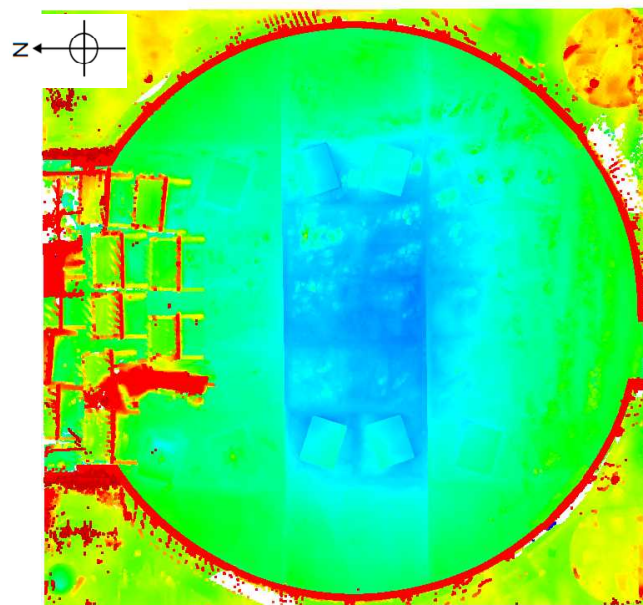


図2-2 1F5号機シールドプラグの変形状況

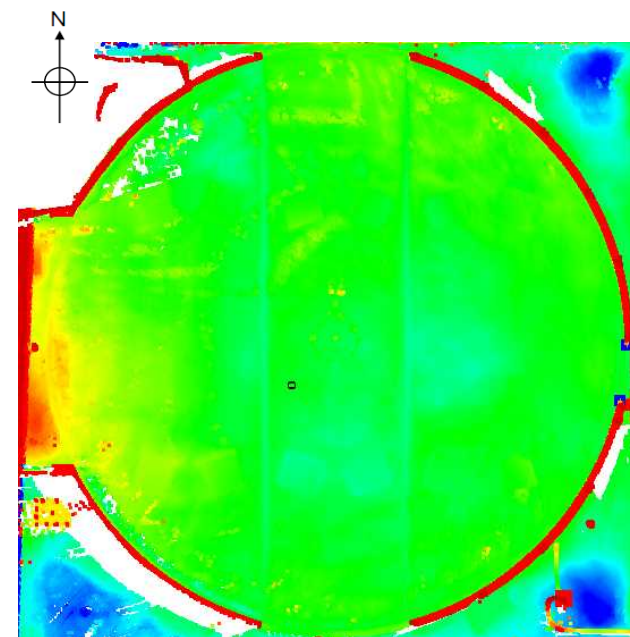
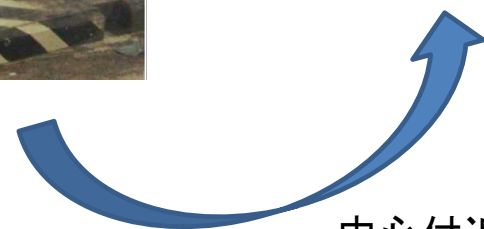


図2-3 島根1号機シールドプラグの変形状況

※: 株式会社富士テクニカルリサーチの協力の下、「Galaxy-Eye」により分析

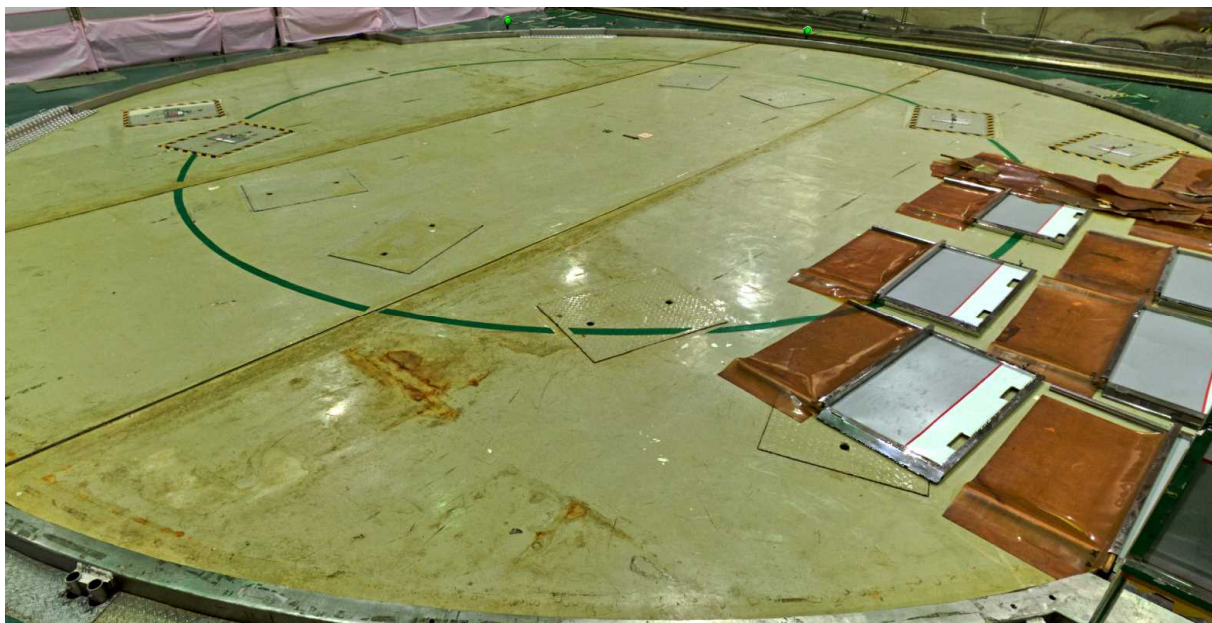
シールドプラグ表面の状況(1F2号機)



中心付近を拡大

写真は、いずれも2021年12月14日に原子力規制庁撮影

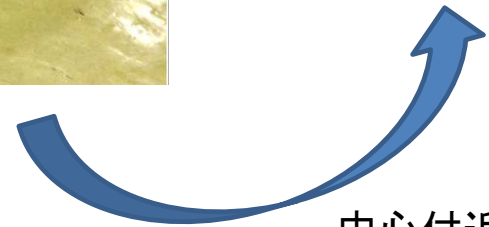
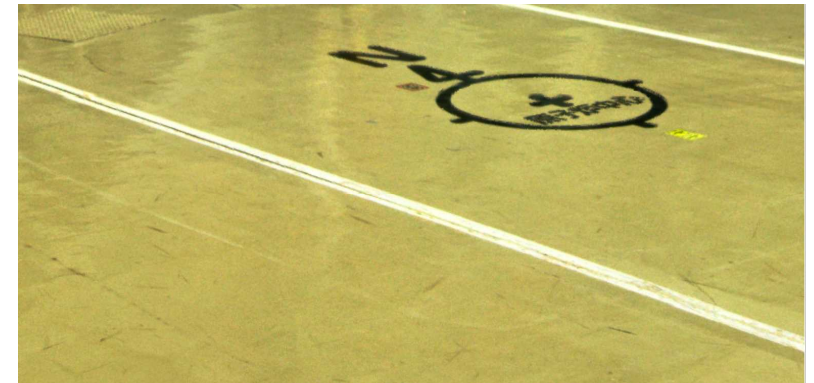
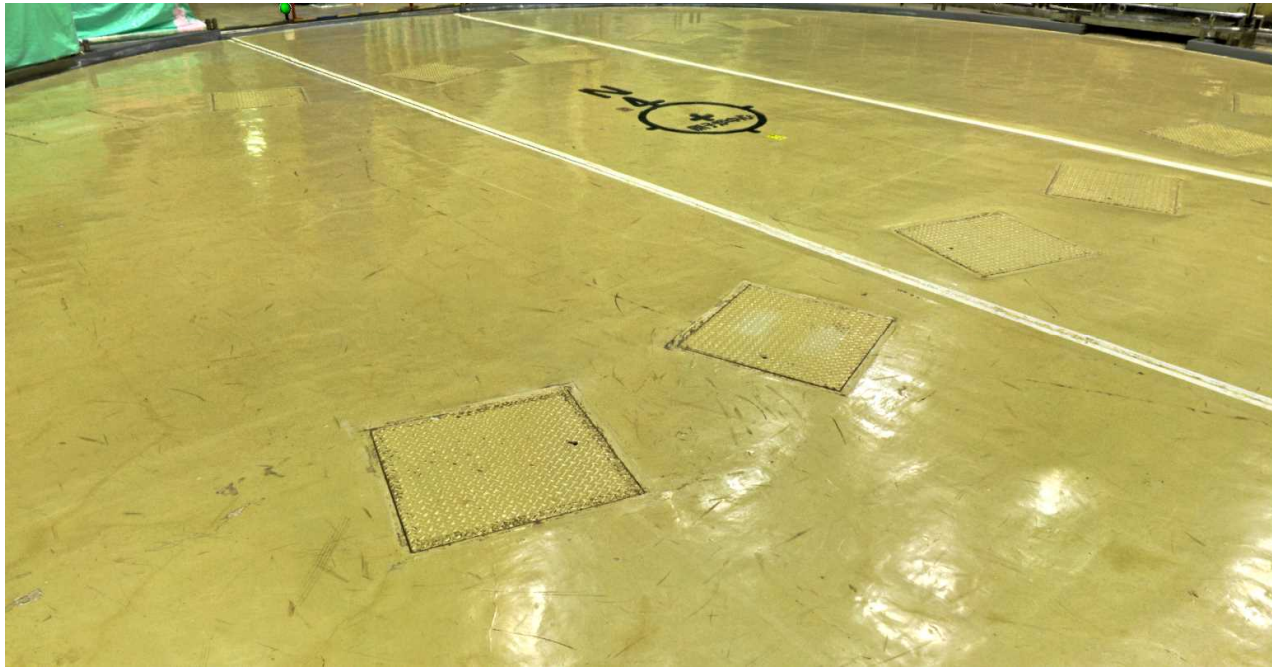
シールドプラグ表面の状況(1F5号機)



中心付近を拡大

写真は、いずれも2022年1月13日に原子力規制庁撮影

シールドプラグ表面の状況(島根1号機)



中心付近を拡大

写真は、いずれも2022年2月22日に原子力規制庁撮影

<シールドプラグの形状比較を踏まえた考察>

- 測定を実施した1F2号機、1F5号機及び島根1号機(以下「3プラント」という。)のシールドプラグは、いずれも端部から中心部に向かって落ち込んでいる形状となっていることが確認された。
- 特に1F2号機のシールドプラグは、他の2プラント(1F5号機、島根1号機)よりも中心部に向かう落ち込みの程度が大きい。
- 1F2号機及び1F5号機のシールドプラグは、(3分割されている構造のうちの)中心部の構造の落ち込みが両端の2つの構造よりも大きく、この種の変形により、シールドプラグの継ぎ目に流路が生じ、当該箇所が放射性物質の放出経路になったと考えられる。
- 3プラントのシールドプラグの表面には目立ったひび割れは確認できなかったことから、測定により確認された変形は、シールドプラグ施工後に生じ得る外力(熱的影響、物理的影響等)により生じたものでないと考えられるが、シールドプラグの変形要因は、はっきりしていない。

<今後の検討方針>

- シールドプラグの変形については、シールドプラグの構造上の違いによって変形の度合いが異なっていることも考えられることから、シールドプラグの構造上の違いも踏まえて、引き続き検討を行う。

3月16日地震発生後の福島第一原子力発電所の 状況について

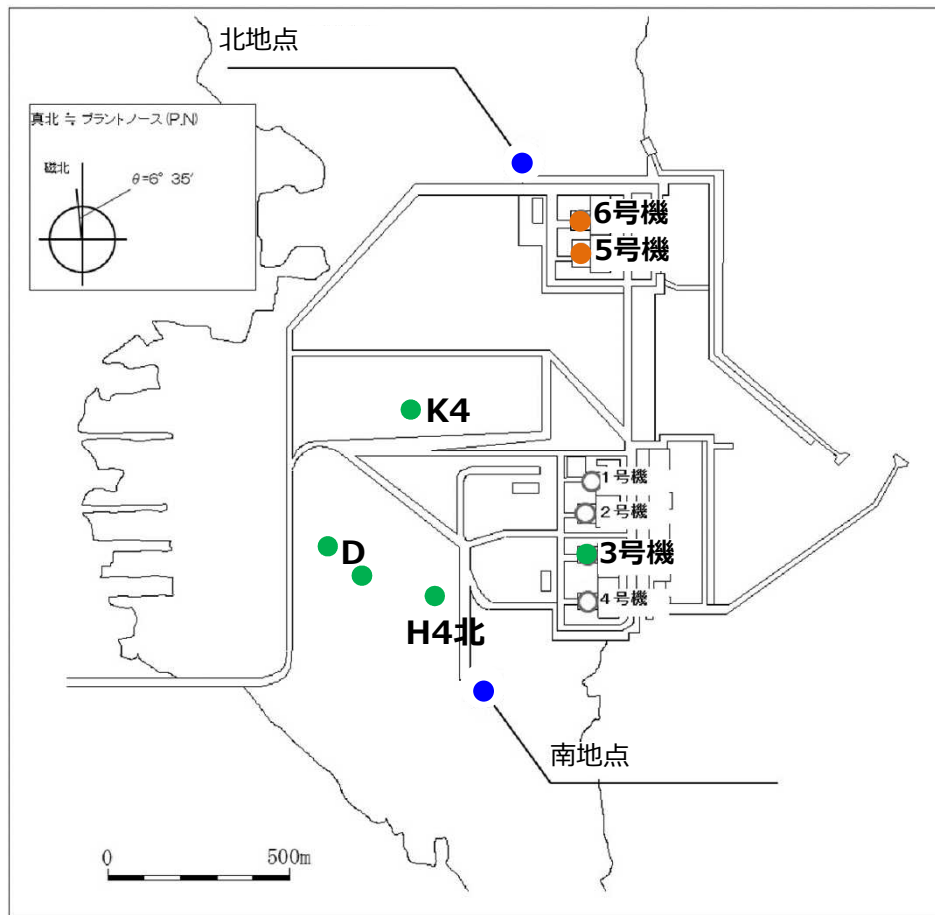
2022年4月18日



東京電力ホールディングス株式会社

福島第一原子力発電所における地震観測箇所について（観測点の配置）

- 福島第一原子力発電所における地震観測は以下の地点で行っている
- 地震が発生した際には、代表観測点として、6号機原子炉建屋（基礎版）の最大加速度（水平・垂直）をお知らせしている



福島第一における地震観測（全体）

観測点		役割
建屋系	5号機建屋 原子炉建屋（基礎版）	• 運用に利用（バックアップ）
	原子炉建屋（中間階）	• 建屋の振動特性分析に利用
	※ 原子炉建屋（基礎版）	• 運用に利用
	6号機建屋 原子炉建屋（中間階）（最上階）各箇所	• 建屋の振動特性分析に利用
自由地盤系	南地点	• 大規模な地震が発生した際、基準地震動や過去の地震記録との比較等に利用
	北地点	• 同上
その他	3号機建屋 原子炉建屋（1階） 原子炉建屋（5階）	• 建屋の経年変化の傾向把握への適用性検討のために設置
	33.5m盤 Dエリア（2カ所） H4北エリア K4エリア	• 2021/2/13の地震で滑動基数・滑動量が特異的だったタンクエリア（D・H4北）の地震動と、その他タンクエリア（K4）での地震動の比較等

3号機原子炉建屋の地震観測記録

- 3号機原子炉建屋に設置した地震計の最大加速度値は、建屋構造や地震計の設置位置が異なるために単純に比較できるものではないが、3号機の最大加速度値は5・6号機と比べて大きく変わらない
- 他の余震の観測記録も含め、建屋全体の経年変化の傾向把握のため今後活用していく

2022年3月16日の各号機観測記録一覧

原子炉 建屋	設置場所	最大加速度値(ガル)			設置目的
		NS (南北)	EW (東西)	UD (上下)	
3号機 ※ ¹	5階 (オペフロ)	540	443	248	地震記録を収集し、 建屋経年変化の傾向把握 が出来るかの検討に 利用
	1階	279	223	173	
5号機 (参考)	2階	295	306	259	建屋の振動特性分析に 利用
	地下1階 (基礎版)	213	222	190	発電所の運用に利用 (バックアップ)
6号機 (参考)	6階 (オペフロ)	426	439	242	建屋の振動特性分析に 利用
	地下2階 (基礎版)※ ²	221	208	202	発電所の運用に利用

※¹ 各階2台の地震計の記録のうち、各成分の最大値を記載

※² 基礎版上の3台の地震計の記録のうち、各成分の最大値を記載

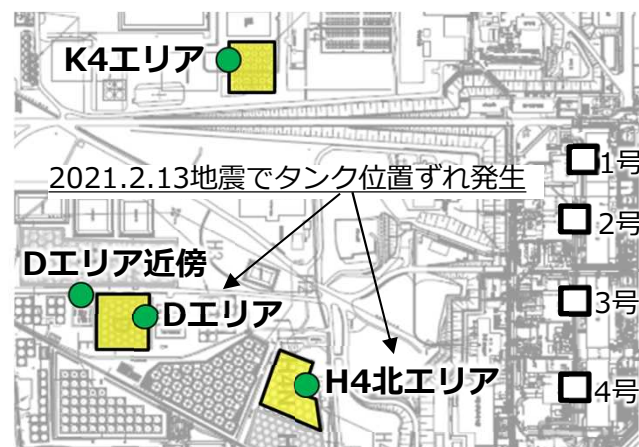
タンクエリアの地震観測記録

- 2月13日の地震を踏まえ、地震発生時の設備の健全性の評価等のために設置したタンクエリアの地震計の最大加速度を下表に示す
- タンクエリアで観測された最大加速度は、全体として自由地盤系（地表）との顕著な差は見られなかった
- なお、Dエリアについて、最大加速度(EW・UD) (*)が他地点と比べて特異な値を示していますが、現地調査の結果、地震によって生じたものではないと推定している
 - ・ 現地を確認したところ、Dエリア地震計の保護カバーの東面に衝突痕があることから、Dエリアの特異な最大加速度は3月16日の地震の際に地震計保護カバーにタンク雨水カバーの一部が物理的に衝突したことにより生じたものと推定している
- K4エリアについても、UD (*)がNS・EWより顕著に大きいという他箇所と異なる特徴があることから、現地調査や観測波形の分析、他の余震記録との比較等により記録の妥当性について評価していく
- 今回の地震で取得した観測記録を今後、タンクのズレの評価等に活用していく

2022年3月16日の観測記録一覧

観測箇所	最大加速度値（単位：ガル）		
	NS(南北)	EW(東西)	UD(上下)
K4エリア ※ ¹	334	367	(579)*
H4北エリア ※ ¹	323	410	268
(Dエリア)* ※ ¹	(542)*	(1501)*	(879)*
Dエリア近傍 ※ ¹	566	553	404
北地点地表(参考)	446	555	256
南地点地表(参考)			332

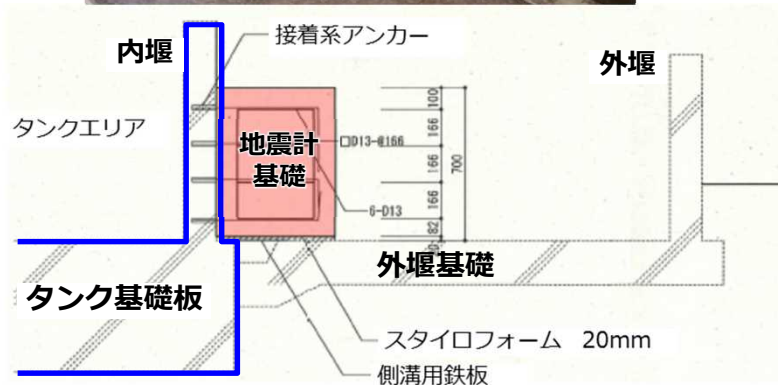
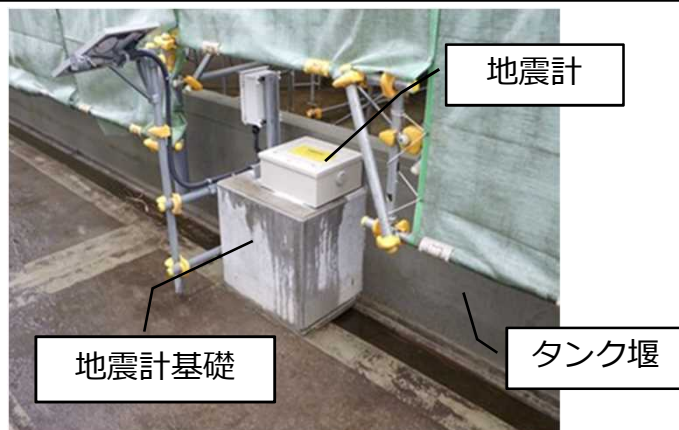
※¹ 各箇所2台の地震計の記録のうち、各成分の最大値を記載



タンクエリア地震観測位置

(参考) タンクエリアの地震計設置状況

- タンク堰（基礎板）に設置
（3箇所：D、H4北、K4エリア）



- タンクエリア近傍設備基礎上に設置
（1箇所：Dエリア近傍）



- 【タンク堰の側面に設置している地震計について】
- ・ タンク基礎に作用する地震動を観測する目的で設置している
 - ・ 内堰内の容量減回避のため、地震計基礎は、内堰（タンク基礎と構造上（鉄筋等）一体化）にアンカーで堅固に固定している
 - ・ 内堰基礎と外堰基礎とは基礎厚が異なる等により、タンク基礎と別の挙動をすることが考えられることから、念のため20mmの隙間を設け縁切りしている。なお、今回の地震でも、内堰基礎と外堰基礎間の損傷は見られない
 - ・ これまでの観測記録の最大加速度値からは、特定の方向のみ顕著に揺れやすい等の傾向は見られていないが、記録を詳細に分析した上で、評価・検討に用いていく
 - ・ 今後、取付け方法の影響の懸念をより小さくするため、タンク基礎の直上に地震計基礎の位置を変更する等の対応を検討する

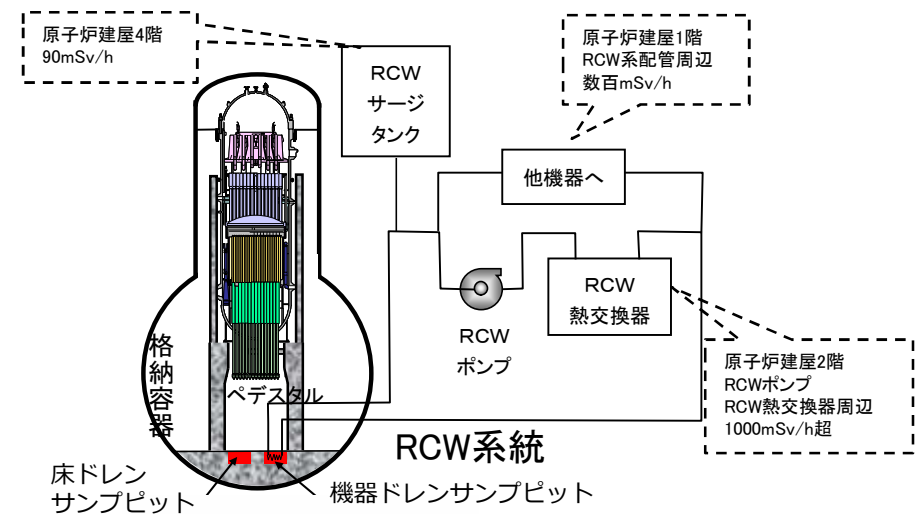
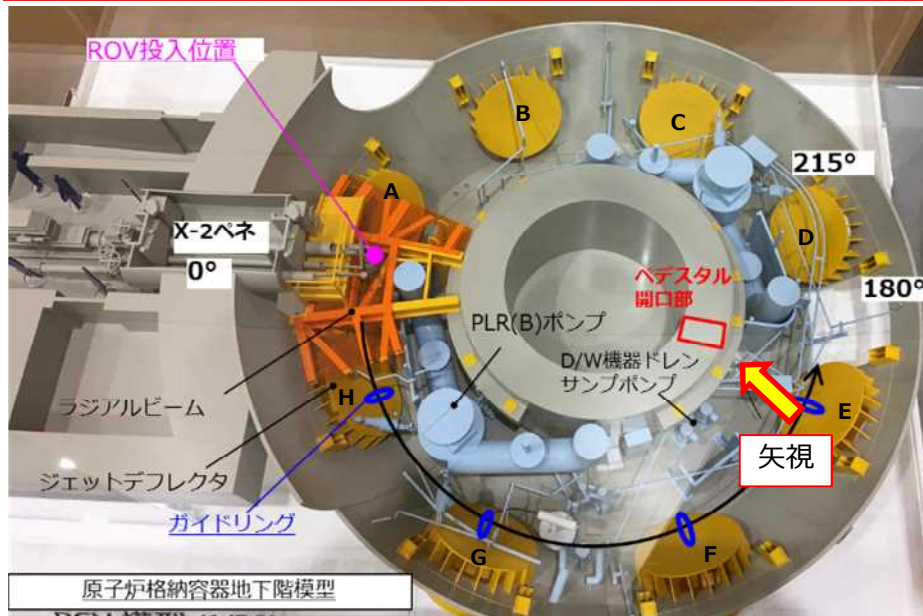
1号機 PCV内部調査の状況について

2022年4月26日

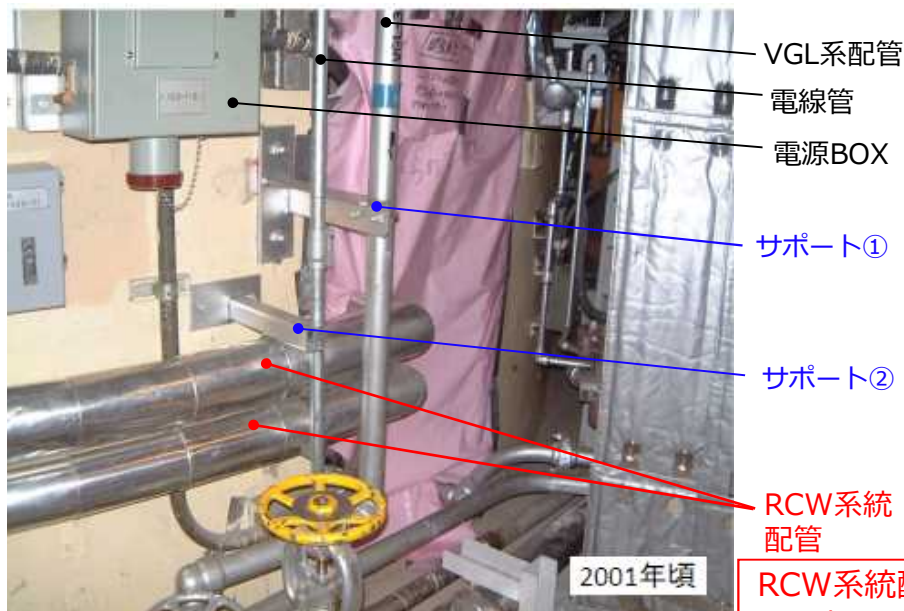
IRID **TEPCO**

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

(参考) ペDESTAL開口部付近のRCW系統配管



1号機の原子炉建屋内RCW系統にて高汚染を確認
 ⇒PCV内部でRCW配管が破損したことにより、PCV内部の放射性物質がRCW系統に逆流したと推定していた



事故前のペDESTAL開口部前



RCW系統配管が設置されていたと推定される位置に配管を確認できていない。今後ROV-A2調査時に周辺の状況等を含め確認する予定。

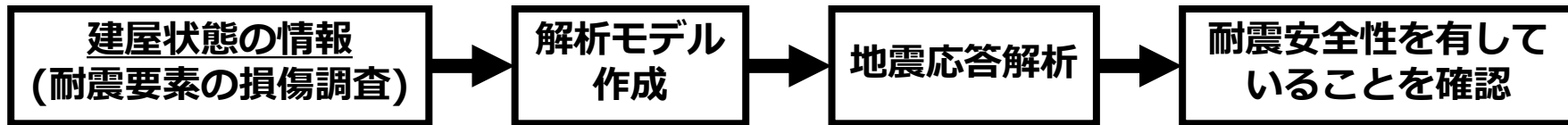
建屋健全性評価の進捗状況について

2022年5月13日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- これまで、1～3号機原子炉建屋については、損傷状況を反映した耐震安全性評価を行い、基準地震動Ssに対して十分な耐震安全性を有していることを確認している。



耐震安全性評価の流れ

- 一方、1～3号機原子炉建屋については、デブリ取り出し完了までの長期にわたって建屋健全性を確認していく必要がある。



【1～3号機原子炉建屋の長期健全性評価】

建屋状態の情報を更新し、必要な性能（耐震安全性等）を有していることを継続的に確認していくこと。

<観点>

- ・ 経年劣化等により部材性能が低下していないか
- ・ 大地震等により部材が追加で損傷していないか

<評価対象>

- ・ 耐震安全性評価上で考慮している部位

1. 高線量エリアにおける無人・省人による調査方法の検討

- ▶ 耐震安全性評価で考慮している耐震要素の経年劣化・地震時の追加損傷等の有無を確認し、必要に応じて、耐震安全性評価モデルに反映していく。
- ▶ 原子炉建屋内は高線量であることから、被ばくを抑制して定期的に耐震壁等の調査ができるように、ロボット・ドローン等による建屋内調査の無人化・省人化を検討する。

本日も説明範囲

2. 建屋部材の経年劣化の評価方法の検討

- ▶ 1～3号機原子炉建屋内は高線量であり、建屋躯体のコア採取による詳細調査が行えないことから、類似の環境条件かつ詳細調査が可能な4号機を活用した代替評価を検討する。

3. 建屋全体の経年変化の傾向を確認する方法の検討（地震計の活用）

- ▶ 1～3号機原子炉建屋に地震計を設置し、観測記録を継続的に見ていくことで建屋全体の経年変化の傾向確認ができるか検討する。

2021年度実施事項

1～3号機 原子炉建屋（以降「R/B」という。）について、耐震安全性評価で考慮している耐震部材（シェル壁、プール壁、耐震壁）の今後の外観点検計画の立案のため、下記の調査を実施した。

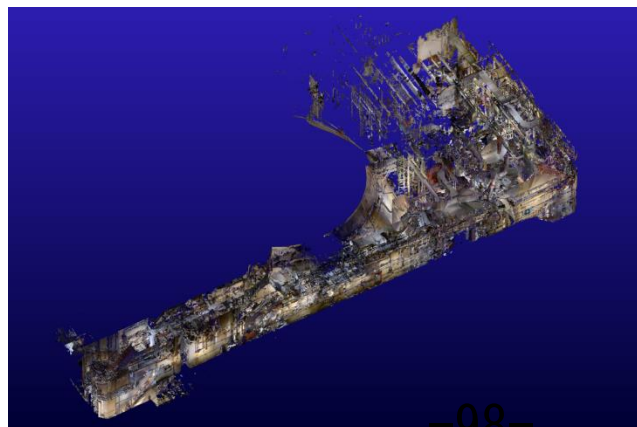
- 耐震部材周辺の状況調査（現状確認、外観点検が可能な箇所の選定用）
- アクセスルートの状況調査（ロボット・ドローンによる調査計画検討用）

【報告1-1】3号機R/B有人調査（2021.5.25）

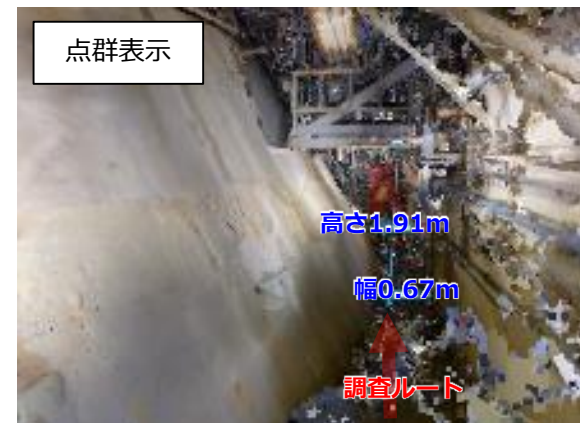
- 概ね計画通りのルートでアクセス可能であることが確認できた。
- 一部箇所で塗装の剥がれやひび割れが確認されたが、耐震性能の低下につながるような損傷、経年劣化の兆候（表面コンクリートの剥落や錆汁等）は確認されなかった。
- シェル壁、プール下部耐震壁について、定点確認していく候補箇所を選定できた
- ウェアラブル型3Dスキャン装置により、点群データを取得。
- 通路幅や高さ等の寸法を把握でき、無人化検討に非常に有効であることがわかった。



ウェアラブル型3Dスキャン装置
(4号機R/Bにおけるモックアップの様子)



点群データの俯瞰
(2階部分抜粋)



2階シェル壁南側狭隘部（点群）

【報告1-2】 1号機R/B, 2号機R/B有人調査

【調査の概要】

耐震安全性評価で考慮している耐震部材（シェル壁，プール壁，耐震壁）の今後の外観点検計画の立案のため，耐震部材周辺の状況調査を，3号機R/Bに引き続き，1, 2号機R/Bにて実施した。

【調査方法】

写真および3次元点群画像により，耐震部材の壁面の状況，アクセスルート の状況を確認する。

【調査箇所】

1号機R/B

3階：シェル壁（東・北・西面）

4階：プール壁(西面)

2号機R/B

1階：シェル壁(南西面)

2階：シェル壁（北・南東面），プール下部耐震壁(西面)

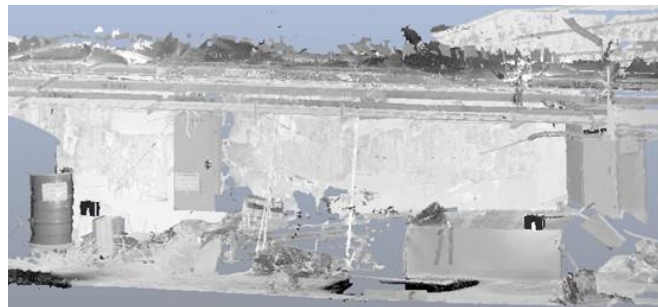
3階：シェル壁（北・南東面），プール壁(西面)



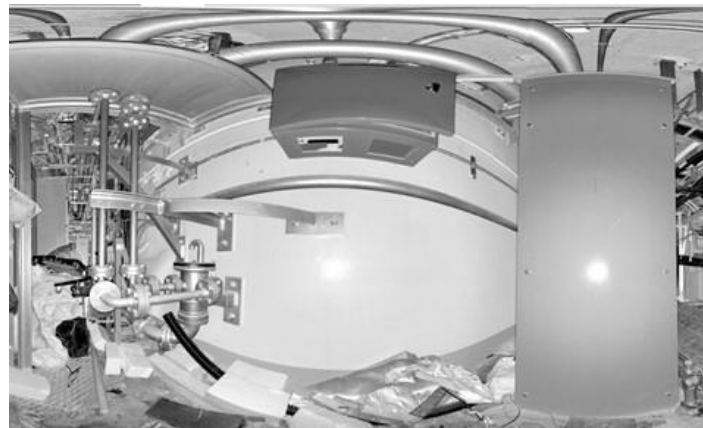
使用した3Dスキャン装置
(据え置き型)

1号機R/B有人調査結果（2021.11.12～11.19）

- 一部箇所では塗装の剥がれがひび割れ確認されたが、耐震性能の低下につながるような損傷、経年劣化の兆候（表面コンクリートの剥落や錆汁等）は確認されなかった。
- シェル壁、プール下部耐震壁について、定点確認していく箇所を今後選定していく。
- 3Dスキャン装置により点群データを取得。今後、アクセスルート検討に活用予定。



3階シェル壁北面（点群データ）



3階シェル壁南西面（写真）



4階プール壁西面（写真）

2号機R/B有人調査結果（2021.11.16～12.17）

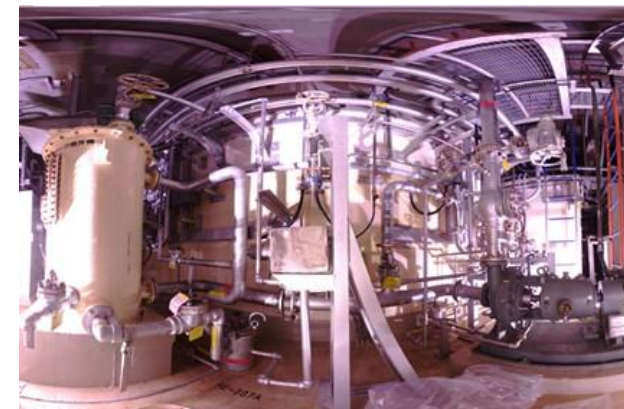
- 一部箇所では塗装の剥がれやひび割れが確認されたが、耐震性能の低下につながるような損傷、経年劣化の兆候（表面コンクリートの剥落や錆汁等）は確認されなかった。
- シェル壁，プール下部耐震壁について，定点確認していく箇所を今後選定していく。
- 3Dスキャン装置により点群データを取得。今後，アクセスルート検討に活用予定。



2階シェル壁東面（点群データ）



3階シェル壁北東面（写真）



3階プール壁西面（写真）

3Dスキャナースペック

当社使用実績のある3Dスキャナーは2種類

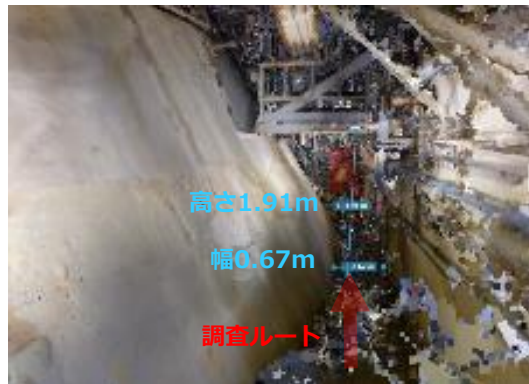
	NavVis VLX	FARO Focus ^S 150 Plus
外観写真		 FAROホームページより引用
計測方法	歩行型	置型
サイズ	1080×330×560mm	230×183×103mm
重量	9.3kg	4.2kg
計測範囲	100m	150m
測定速度 (点/秒)	60万	100万
精度 (mm)	8mm	3.5mm
特徴	歩き回ること計測が可能 4台の魚眼カメラでパノラマ画像も撮影可能	計測範囲が広く、点群の精度も高い
1F内での計測実績	3号機R/B等	1,2号機R/B

点群データの活用

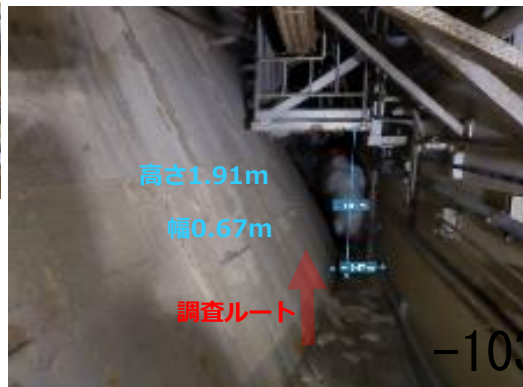
- 点群データは寸法測定が可能なことから、1～3号機R/B有人調査で取得した点群データは、ロボット・ドローンによる無人調査の計画検討のため、通路幅や高さ等の寸法を把握する等、アクセスルート状況確認に活用していく。
- 将来的活用として、耐震部材の新たな損傷の有無や経年劣化の兆候（表面コンクリートの剥落や錆汁等）を、点群データと写真データで確認していくことを想定している。

点群データの共有

- NavVis VLXで採取した点群データは、E57,LAS,PTS,XYZ,PLYの形式に変換可能。
- FAROで採取した点群データは、E57,WRL,XYZ,DXF,XYB,IGS,PTS,POD,CPEの形式に変換可能。
- E57形式からAutoDesk社のRecapというソフトを使って、RCS形式に変換することで、AutoCAD等のソフトウェアにて閲覧が可能。



点群：3号機シェル壁南側狭隘部



写真：シェル壁南側狭隘部



点群：2号機R/B2階シェル壁



写真：2号機R/B2階シェル壁

ケーブル、塗料等の加熱試験の実施状況について

- i. 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 第29回会合
資料1-1 「BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析結果」（日本原子力
研究開発機構）抜粋

原子力規制庁の論点

1. 3号機水素爆発時の映像を確認した結果、火炎や噴煙の色、噴出状況（噴煙と火炎が同時に複数箇所を確認される、噴煙と破片等が比較的同じ速度で上昇など）から、水素以外の有機化合物等の可燃性ガスが相当量寄与していたと推定。
2. 水素以外の有機化合物等の可燃性ガスの発生源となる物質を検討するため、東京電力HDから原子炉格納容器内で使用されているケーブル、塗料、保温材等の試料の提供を受け、JAEA及び東京電力HDの双方で加熱試験を実施。その結果について、4月26日の事故分析検討会で議論した。
3. 原子力規制庁及び東京電力HDの協働による調査・分析の一つであり、より効果的・効率的に調査・分析を行うため、試験条件や手法等の分担・調整が重要と考える。また、試料採取・分析については、廃炉作業及び事故調査に共通するものであり、双方のデータの共有・活用が重要と考える。

BWR格納容器内有機材料 熱分解生成気体の分析結果

2022年4月26日

日本原子力研究開発機構
安全研究センター

背景と目的

- 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会にて実施された3号機原子炉建屋の水素爆発時の映像分析結果から、爆発時原子炉建屋内には水素だけではなく、有機化合物を含む可燃性ガスが発生していた可能性が示唆されている。
- 確認のために、可燃性有機ガス発生源、発生する有機ガスの成分や量について知見を得る必要がある。
- BWR格納容器(ドライウエル)内のケーブル、保温材等に使用されている代表的な有機材料を加熱し、熱分解により生成するガスの成分を推定する。

分析対象試料

試料番号	材質	用途	写真	構造式
1	難燃性エチレン プロピレンゴム	原子炉容器下部制御・ 計装PNケーブルの 絶縁材		$\left\{ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right\} \left\{ \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right\} \left\{ \text{D} \right\}$
2	特殊クロロプレン ゴム	原子炉容器下部制御・ 計装PNケーブルの シース		$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH} \right]_n$
3	難燃性特殊耐熱 ビニル	高圧動力用 CVケーブルのシース		$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$
4	ウレタン	保温材		$\text{R} - \text{NH} - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} - \text{R}'$

分析の流れ

- **ステップ1: 熱重量測定 (TG) – 示差熱分析 (DTA) – 質量分析 (MS)**

 - ◆ 試料を一定の昇温速度で加熱し、試料の重量変化、熱分解時の吸(発)熱量及び熱分解生成ガスに由来する物質の分子量を連続的に測定・分析
 - ◆ 顕著な熱分解(重量変化)が生じる温度範囲を把握するとともに、熱分解生成ガスの成分を大まかに推定

- **ステップ2: 熱分解ガスクロマトグラフ (GC) – MS**

 - ◆ 試料を所定の温度範囲内で加熱し、熱分解生成ガスの成分を分離した後に、各成分のマスペクトルを取得・分析。ライブラリと比較することで成分を推定
(主として炭素数4以上の高分子量の有機ガスを対象)
 - ◆ 加熱温度はステップ1の結果に基づいて選定

TG-DTA-MS分析－分析条件と試料－

分析条件

- 試料: 全4試料
- 雰囲気: 窒素
- 温度: 昇温速度10°C/分および20°C/分、最高温度1200°C

分析の試料写真

難燃性エチレン
プロピレンゴム

特殊クロロ
preneゴム

難燃性特殊
耐熱ビニル

ウレタン

分析前



分析後



TG-MS分析結果のまとめ(参考1~4)

TG分析

試料	重量減少が生じた温度範囲(°C) (太字:重量減少が顕著)			重量減少割合 (%)
難燃性エチレンプロピレンゴム	210~321	321~395	395~500	72
特殊クロロpreneゴム	230~307	307~404	404~527	53
難燃性特殊耐熱ビニル	280~376	376~560	560~800	75
ウレタン	160~246	246~421	421~580	82

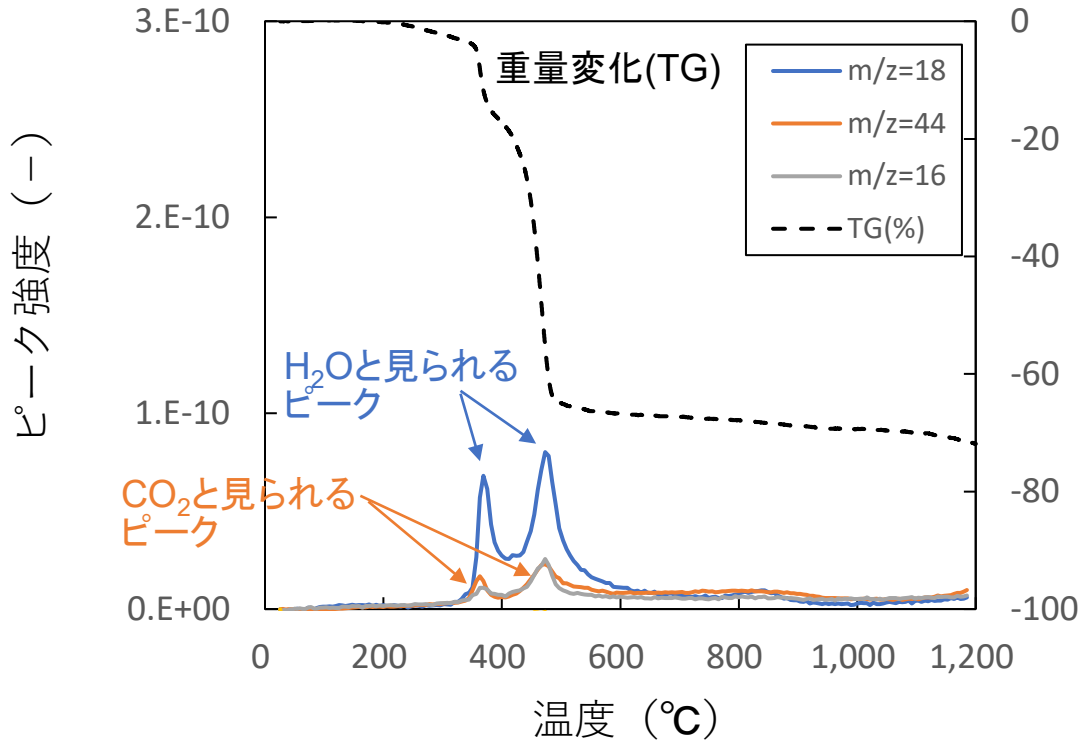
昇温速度10°C/分の結果(昇温速度20°C/分の結果もほぼ同様)

- 存在量の多いウレタン(約8m³)*の重量減少が、比較的低い温度範囲(約200~400°C)で顕著(約70%)

MS分析

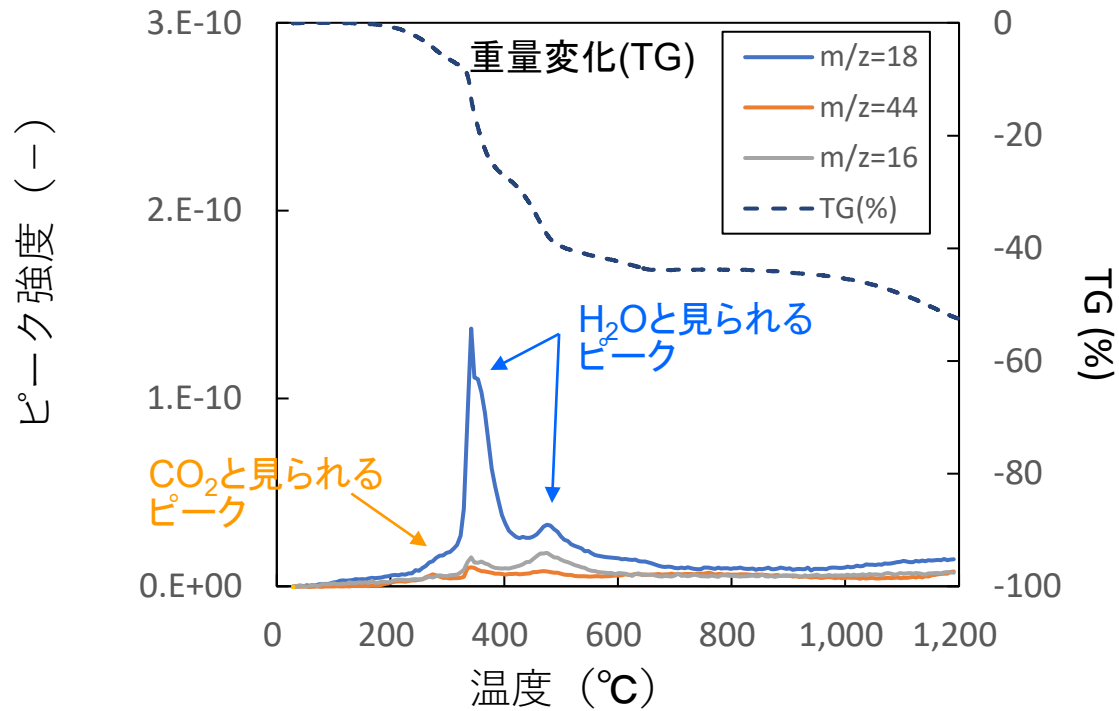
- 全試料において、水と推定される質量数18のピーク強度が顕著
- 難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタンにおいて、二酸化炭素と推定される質量数44のピーク強度が質量数18と同程度
- 有機化合物と見られるピークが多数検出されたが、質量数18及び44(難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタン)に比べて大幅に低いピーク強度

難燃性エチレンプロピレンゴム

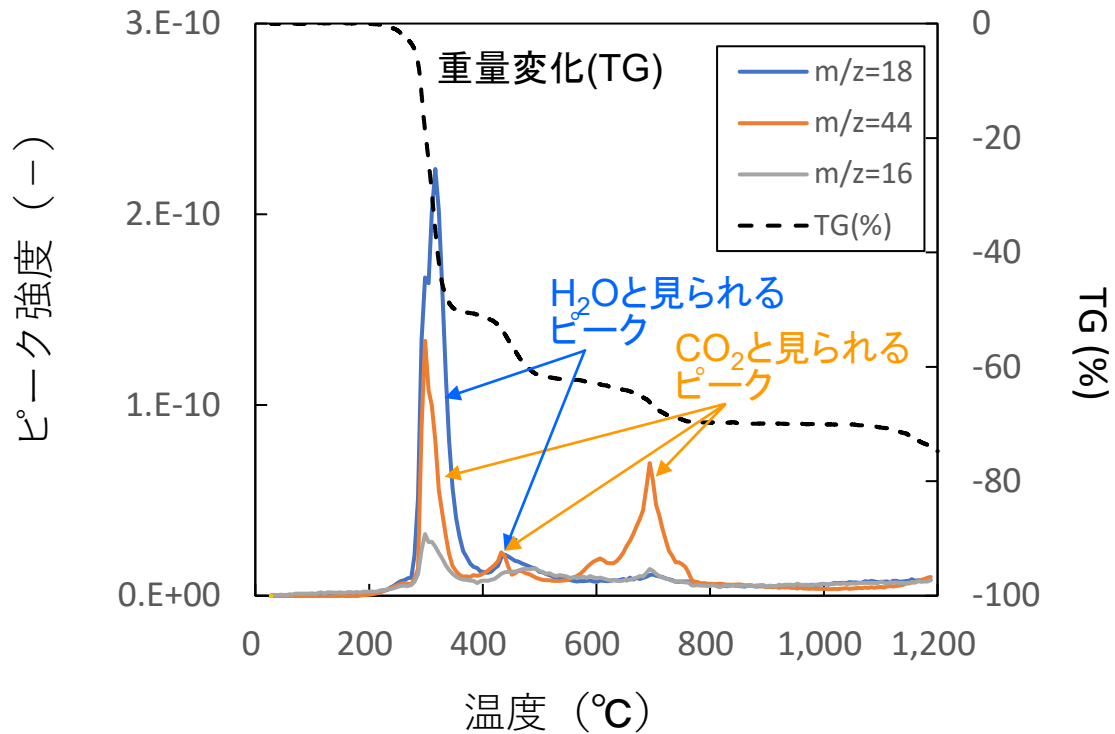


$m/z \div$ 分子量
 (m:分析時に生成したイオンの質量、
 z:イオンの電荷(通常1))

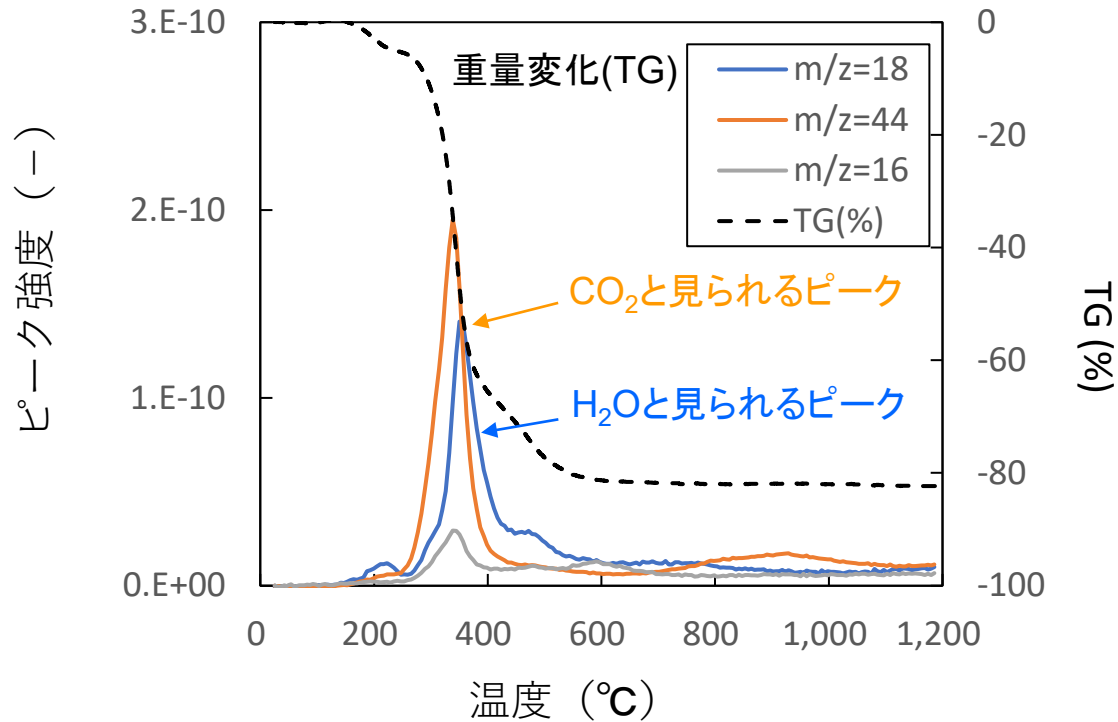
特殊クロロpreneゴム



難燃性特殊耐熱ビニル



ウレタン

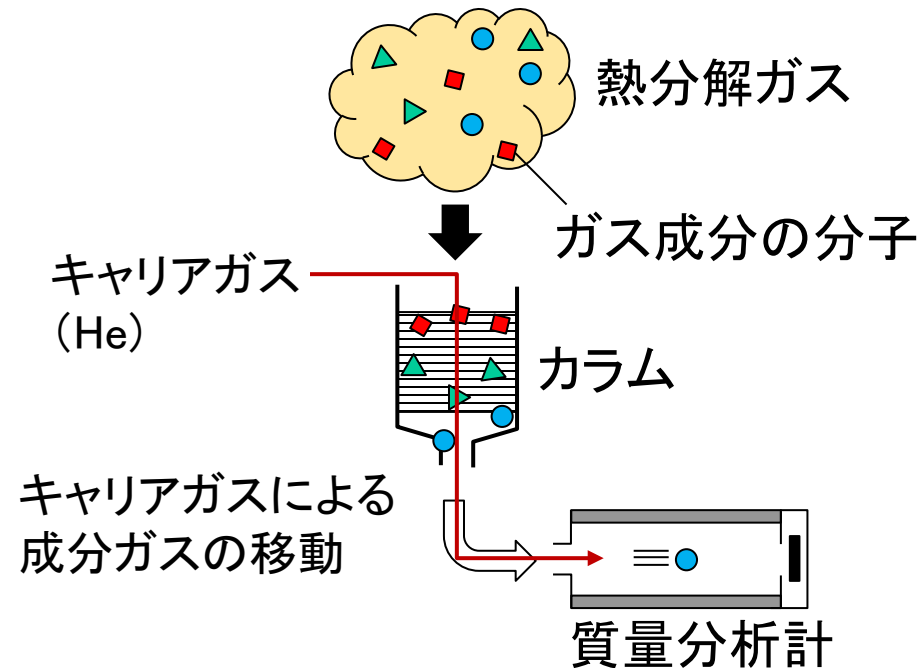


熱分解GC-MSによる定性分析

— 分析条件と概要 —

分析条件

- 熱分解炉雰囲気: 窒素
- 熱分解ガス採取温度:
(TG分析から得た3つの温度範囲)
- キャリアガス: He
- カラム: DB-5ms UI
(炭素数4以上の有機化合物を対象)

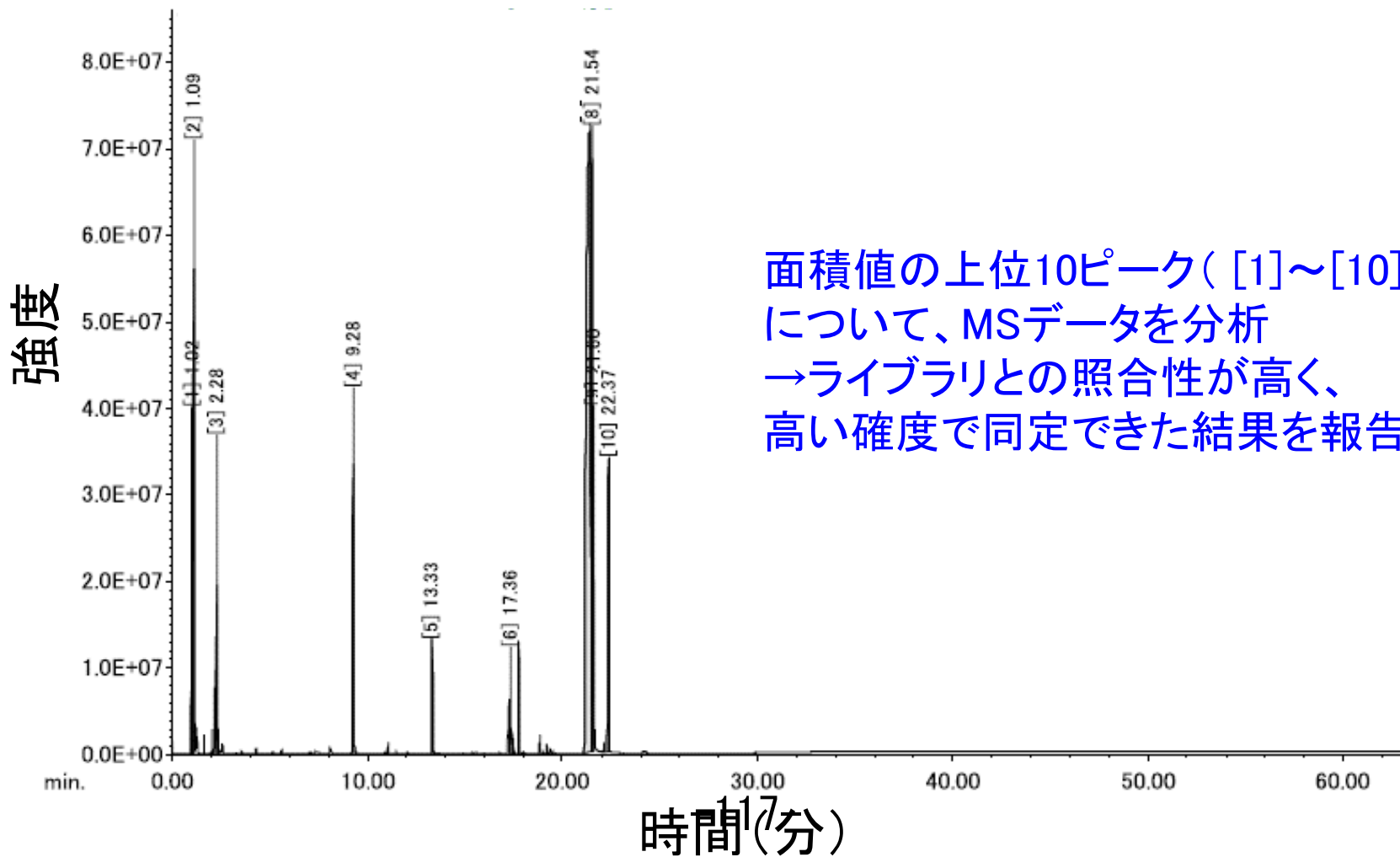


分析概要

- 各温度範囲で生成したガスをカラムに導入
- カラム内の移動に要する時間の違いによりガス成分を分離し、質量分析計 (MS) に導入
- MS装置により、ガス成分の質量 (MSデータ) を測定
 - 縦軸を強度、横軸を時間としたクロマトグラムを作図
 - クロマトグラムの各ピークを構成するMSデータを解析し、ライブラリとの照合により、成分の化合物を推定

クロマトグラムの例 (ウレタン、室温～246°C)

生成ガス成分を時間的に分離

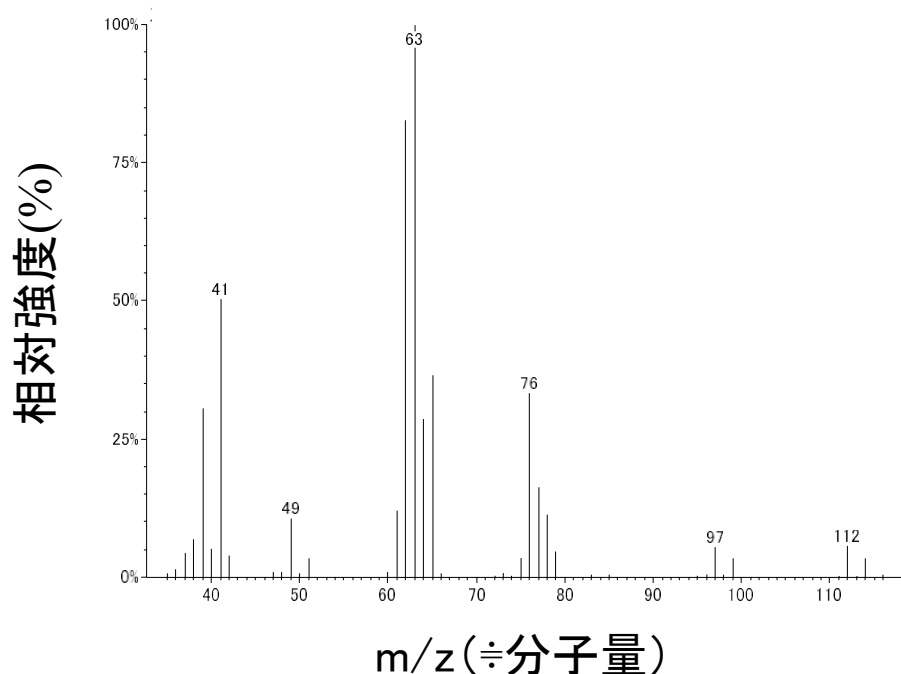


面積値の上位10ピーク ([1]～[10])
 について、MSデータを分析
 →ライブラリとの照合性が高く、
 高い確度で同定できた結果を報告

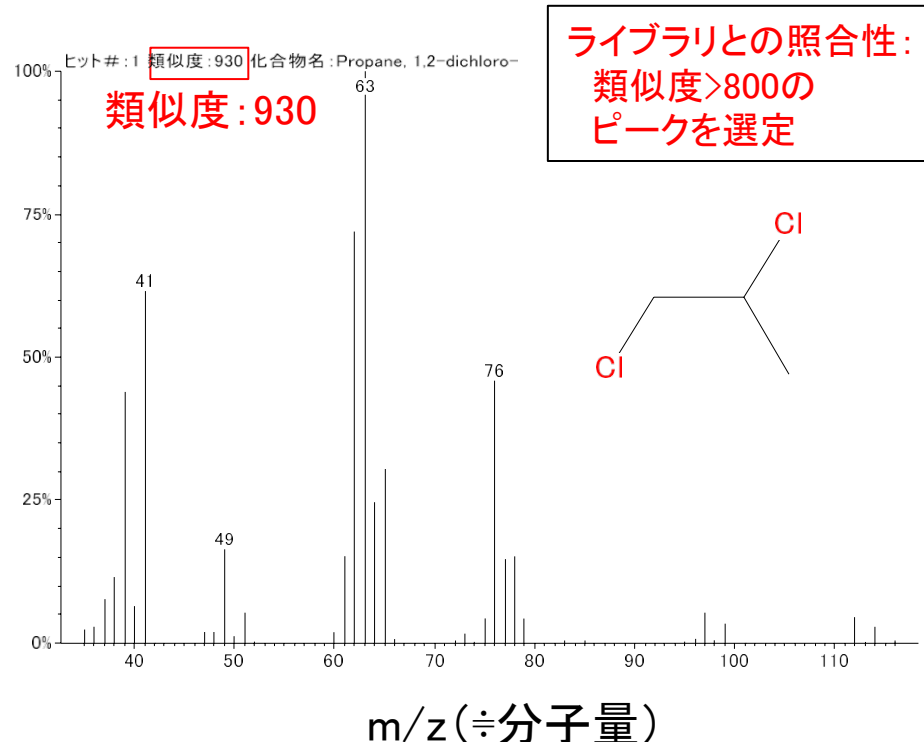
MSデータ解析結果の例(ウレタン、室温~246°C)

ピーク[3]として分離された成分の解析結果

MS測定データ



ライブラリデータ(照合結果)



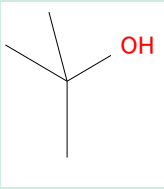
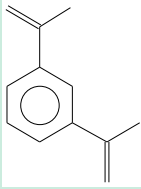
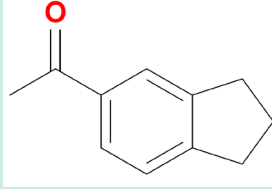
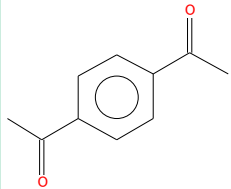
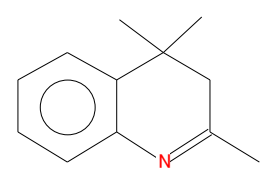
・類似度の最も高い、1,2-ジクロロプロパンと推定。

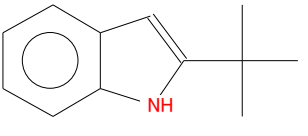
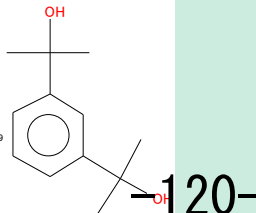
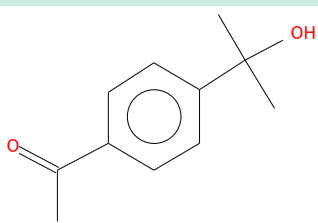
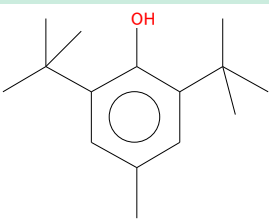
熱分解GC-MS分析結果のまとめ(参考5~15)

- ピーク面積が大きい上位10成分について既存のライブラリと照合して成分を推定
 - ◆ 炭素数4以上(分子量50程度以上)の物質を対象とした分析であるが、上位成分のほとんどは、**材料由来成分**(例えば、ウレタンの場合はジクロロプロパン、リン酸エステル、アニリン等)を含めた**高分子量の有機化合物**と推定
 - ◆ 既存ライブラリに含まれていないと思われる有機化合物(類似度が低い)を多数検出

熱分解GC-MS分析結果

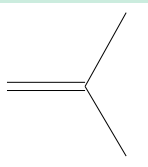
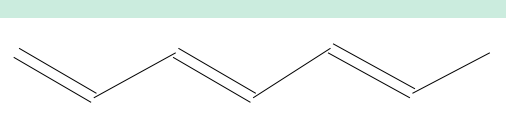
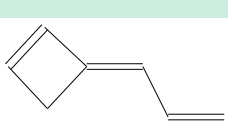
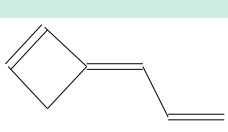
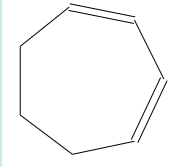
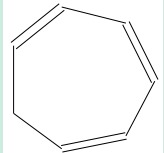
(難燃性エチレンプロピレンゴム; 室温~321°C)

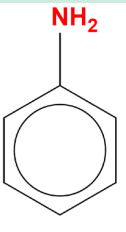
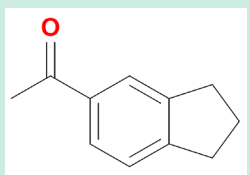
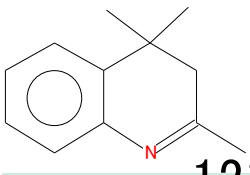
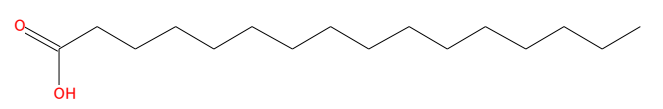
ピーク No.	1	2	3	5	6
推定化合物	tert-ブチルアルコール	1,3-ジイソプロペニルベンゼン	5-アセチルインダン	1,4-ジアセチルベンゼン	2,4,4-トリメチル-3,4-ジヒドロキノリン
類似度	898	915	913	929	855
構造式					

ピーク No.	7	8	9	10
推定化合物	2-tert-ブチル-1H-インドール	メタジオール	4'-(1-ヒドロキシ-1-メチルエチル)アセトフェノン	2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール
類似度	859	897	841	925
構造式				

熱分解GC-MS分析結果

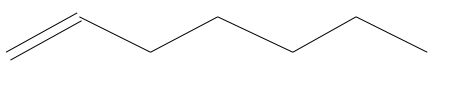
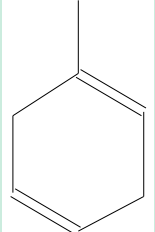
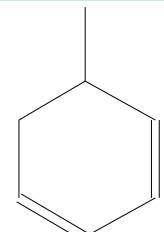
(難燃性エチレンプロピレンゴム; 321~395°C)

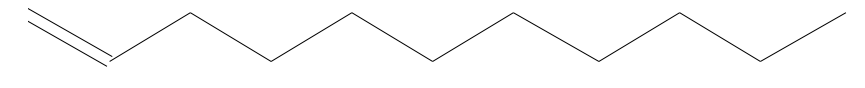
ピーク No.	1	2	3	4	5	6
推定化合物	イソブテン	(3E,5E)-1,3,5-ヘプタトリエン	(3E,5E)-1,3,5-ヘプタトリエン	3-(2-プロペニリデン)シクロブテン	1,3-シクロヘプタジエン	1,3,5-シクロヘプタトリエン
類似度	869	895	903	946	889	845
構造式						

ピーク No.	7	8	9	10
推定化合物	アニリン	5-アセチルインダン	2,4,4-トリメチル-3,4-ジヒドロキノリン	パルミチン酸
類似度	946	907	837	887
構造式				

熱分解GC-MS分析結果

(難燃性エチレンプロピレンゴム; 395~500°C)

ピーク No.	4	5	6
推定化合物	1-ヘプテン	1-メチル-1,4-シクロヘキサジエン	1-メチルシクロヘキサ-2,4-ジエン
類似度	906	887	881
構造式			

ピーク No.	10
推定化合物	1-ウンデセン
類似度	891
構造式	

まとめ

- 難燃性エチレンプロピレングム、難燃性特殊耐熱ビニル及びウレタンにおいて熱分解による重量減少が大きいことをTG分析により確認した。特に、存在量の大きいウレタン(約8m³)が比較的低い温度範囲において大きな重量減少を示し、潜在的な熱分解ガス生成源として重要度が高いことが示唆された。
- TG-MS分析により、幅広い分子量の有機化合物が生成され得ると推定されたが、無機ガス成分(H₂O等)に比べると、個々の生成量は低いと考えられる。
- 熱分解GC-MS分析から、熱分解ガスには高分子量の有機化合物が含まれると推定された。
- TG-MS及び熱分解GC-MS分析の結果を総合的に評価すると、生成された有機化合物の分子中に含まれる炭素を合算すると有意な量になると推定でき、原子炉建屋内水素爆発時における有色火炎の生成要因になり得ると考えられる。

今後の計画

- 定量性の高い分析手法を検討し、実機格納容器の雰囲気に近い条件で分析を進める。
 - ◆ 成分に応じた分離カラムと検出器(無機成分、低分子量有機成分、総有機炭素量等)
 - ◆ より酸化性の高い雰囲気

ケーブル等の加熱試験について

2022年5月13日



東京電力ホールディングス株式会社

可燃性有機ガス発生量評価

- 2021年10月19日の「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(第23回)」で報告した予備試験と本試験の実施状況について報告する。
- ケーブル、塗料及び保温材の本試験を実施し、ガスの種類と発生量を評価した。

試験進捗状況

No.	種類	評価対象	用途	予備試験進捗	本試験進捗 (1000℃昇温試験) (200℃24h試験)
1	ケーブル	CVケーブル 絶縁体：架橋ポリエチレン シース：難燃性特殊耐熱ビニル	・高圧動力用ケーブルに使用	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了
2	ケーブル	PNケーブル 絶縁体：難燃性エチレンプロピレンゴム シース：特殊クロロプレングム	・制御・計装ケーブルに使用 ・RPV下部に設置	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了
3	ケーブル	同軸ケーブル 絶縁体：ETFE/架橋ポリエチレン シース：難燃性架橋ポリエチレン	・SRNM/LPRMケーブルに使用 ・RPV下部に設置	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了
4	塗料	エポキシ系塗料	・D/W、S/C壁面 上塗り	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了
5	塗料	無機ジンクリッチ塗料	・D/W、S/C壁面 下塗り	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	2022年度実施予定
6	保温材	ウレタン保温材	・配管保温	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了
7	保温材	ポリイミド保温材	・配管保温	熱重量測定(TG)実施 FT-IR、SEM-EDX実施	完了

可燃性有機ガス発生量評価 (本試験条件)

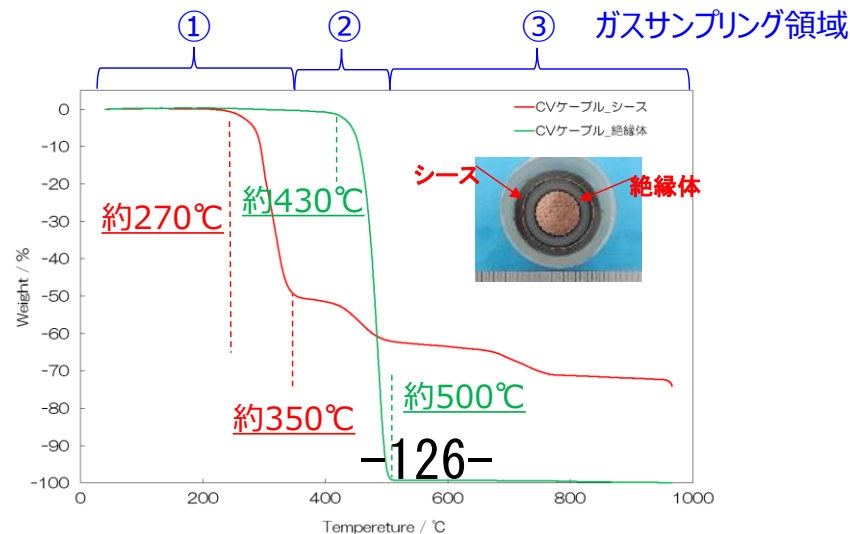
■ 本試験条件設定

- 水蒸気、水素ガス環境下における1000℃までの連続昇温試験 (昇温速度10℃/min)
予備試験 (TG測定) で得られた結果から、ガス発生のタイミングにて
3つのガスサンプリング領域を設定
- 水蒸気か水素ガス環境下のいずれかにおいて、200℃24時間保持試験
- ケーブルはシース、絶縁体、導体含む一体もので試験実施

■ 本試験分析方法

- 200℃、ガス発生温度域、1000℃ で採取したガスをガスクロマトグラフィーより分析
- 昇温前後でのケーブル等の高分子成分の変化を FT-IR より測定
- 昇温前後でのケーブル等中に含まれる各元素の相対変化を SEM-EDX より測定

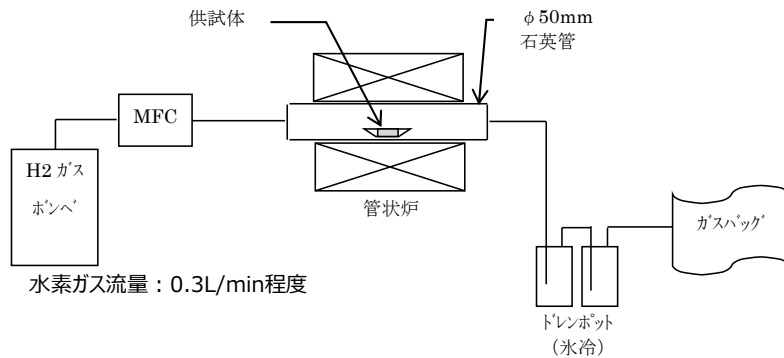
■ ガスサンプリング領域 (CVケーブルの例)



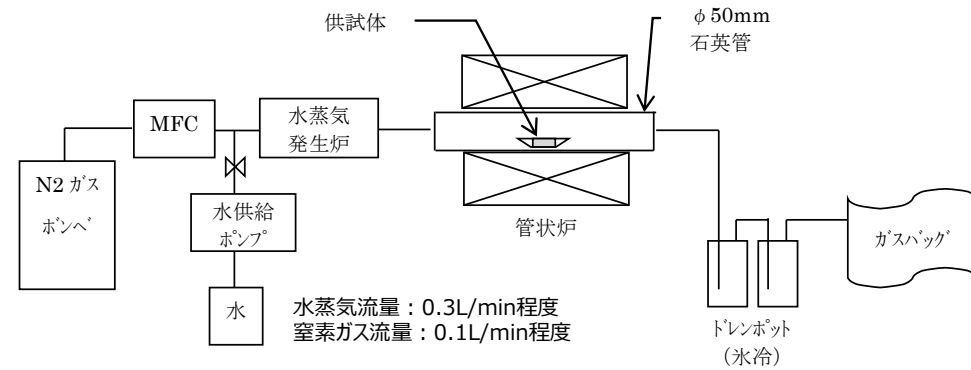
可燃性有機ガス発生本試験の概要

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会(第28回)
資料4-1 資料引用

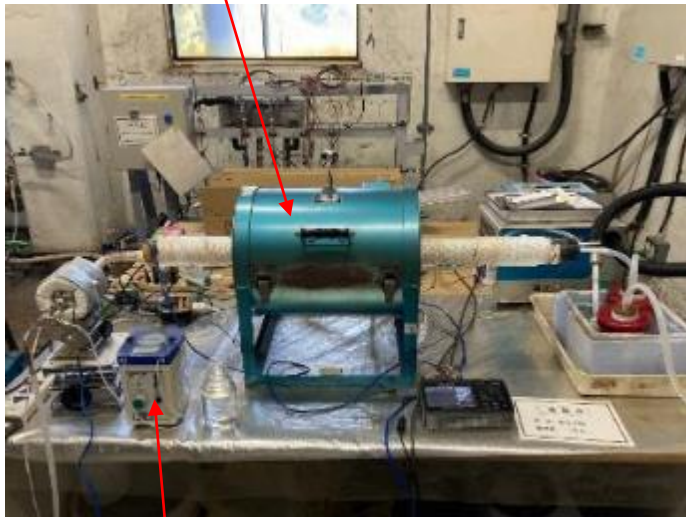
■ 水素ガス環境下



■ 水蒸気環境下



管状炉



マスフローコントローラ

石英管



ガスバッグ

■ ガス種に対する分析方法

- 可燃性ガスに着目したガス分析を実施
- 評価する可燃性ガスとして、工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆2006）に取り上げられている一般的な可燃性ガスを選定
- 選定した可燃性ガスの検出に適した検出器にてガス分析を実施

対象ガス	分析方法	検出器
水素、一酸化炭素	ガスクロマトグラフ法	熱伝導度検出器(TCD)
炭化水素	ガスクロマトグラフ法	水素炎イオン化検出器(FID)
アンモニア	ガス検知管法	
硫化水素	ガスクロマトグラフ法	炎光光度検出器(FPD)

ガス検知管

例) No.3L	検知色(検色)		
測定範囲	0.5~1ppm	1~30ppm	30~78ppm
吸引回数(n)	2回	1回(基準)	1/2回
吸引補正係数	1/2	1	2.6
吸引時間	約2分	約1分	約30秒

https://www.gastec.co.jp/faq/category/?contents_type=41

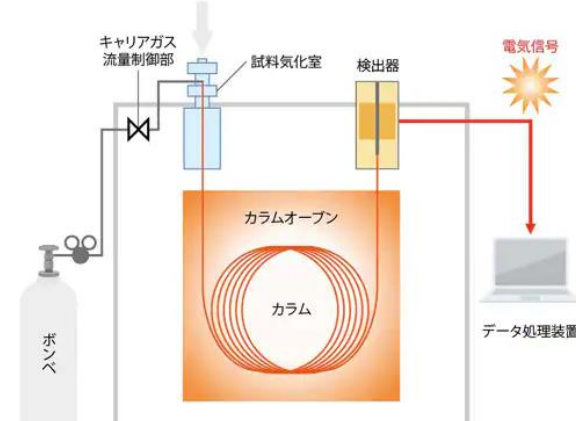
ガスクロマトグラフ法について

気化しやすい化合物の同定・定量に用いられる方法。
クロマトグラフ法の一つであり、サンプルと移動相が気体であることが特徴。

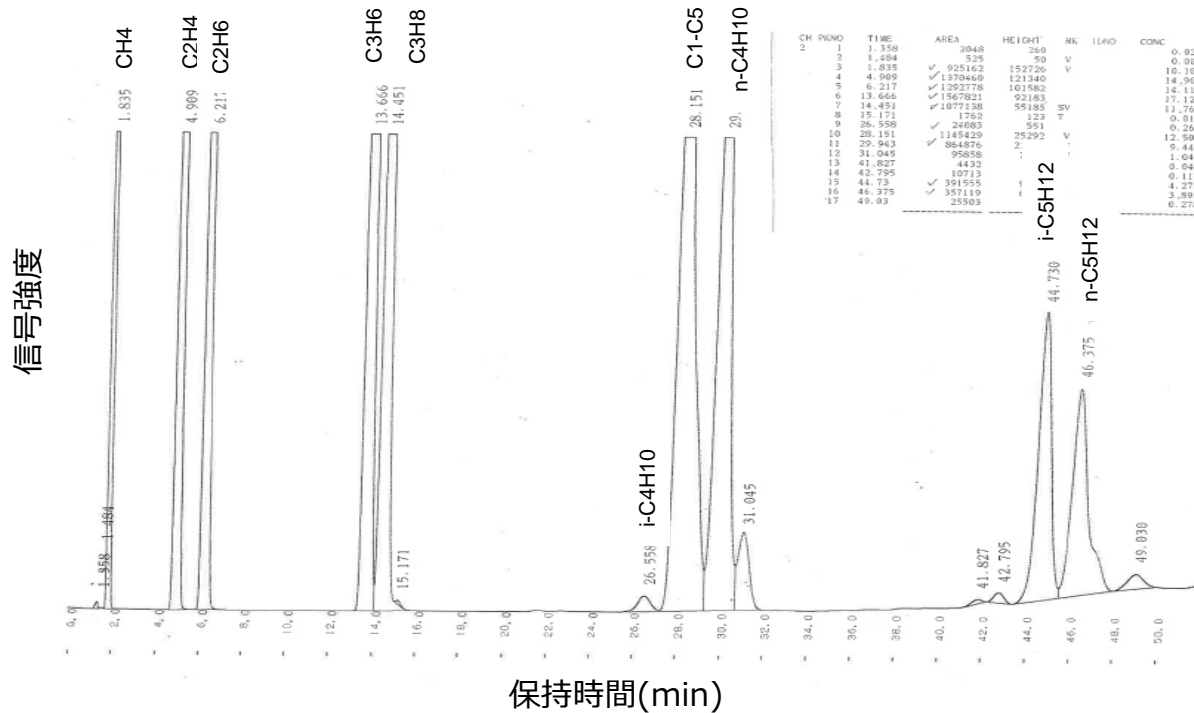
ガス検知管法について

ガラス管の中に充填された顕色剤との反応により濃度を読み取る方法。
採取器の変色した長さを測定対象物質の濃度として読み取る。

ガスクロマトグラフ装置



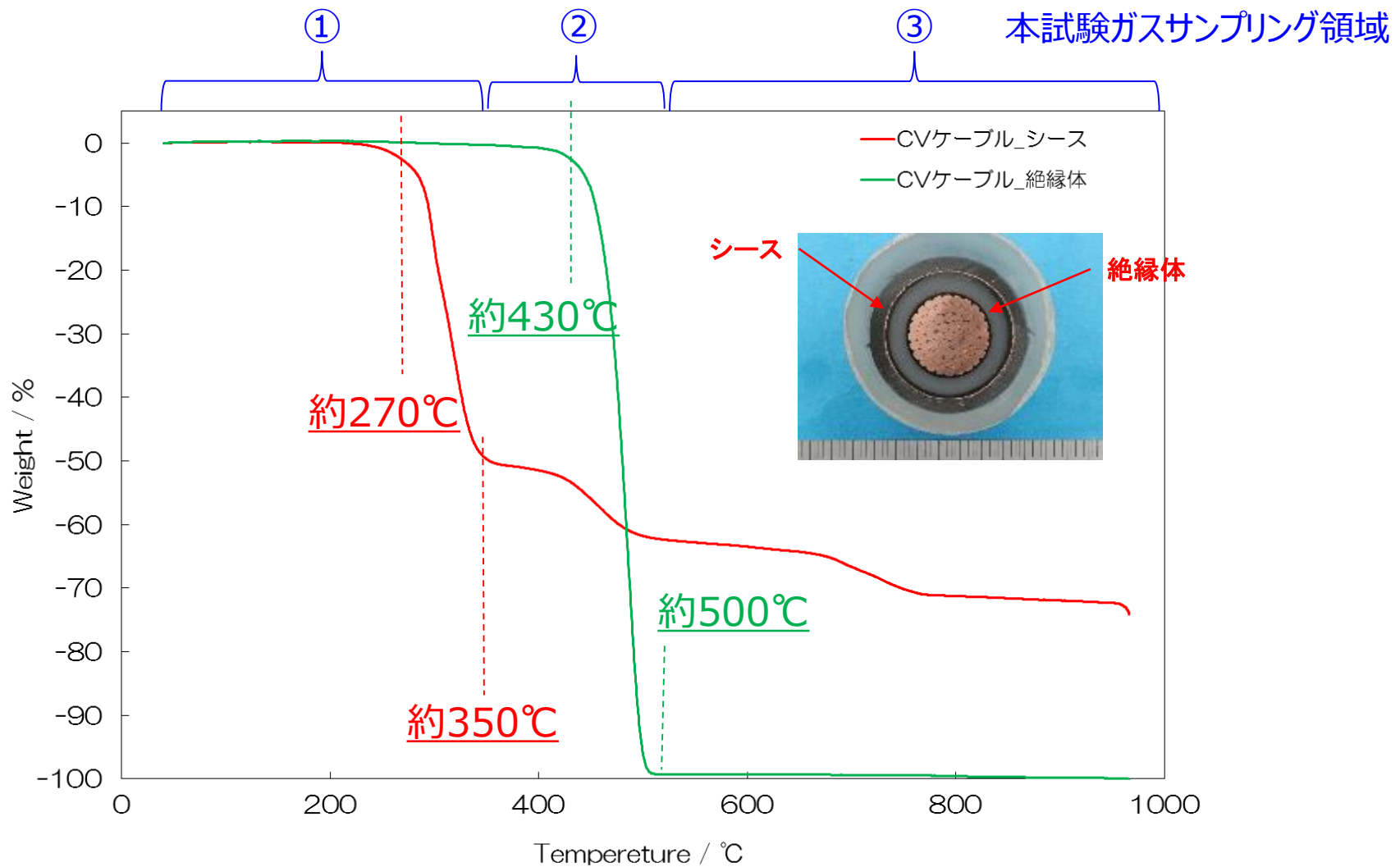
■ CVケーブル水蒸気環境下350-500℃ガスクロマトグラム(C1-C5)



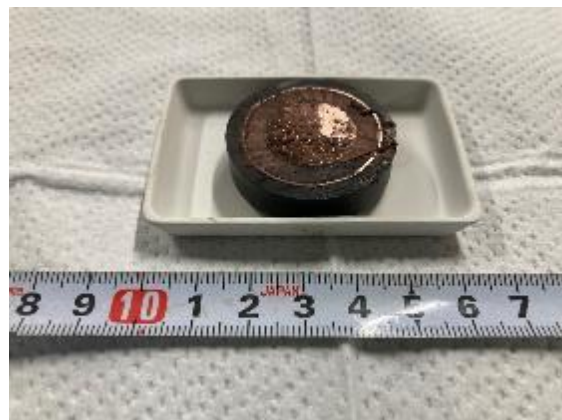
標準ガスを基準とし、各ピークの同定と面積からガス濃度を算出

	CH4	volppm	2000
	C2H4	volppm	1500
	C2H6	volppm	1400
炭化	C3H6	volppm	1300
	C3H8	volppm	850
水素	i-C4H10	volppm	14
	n-C4H10	volppm	540
	i-C5H12	volppm	190
	n-C5H12	volppm	180

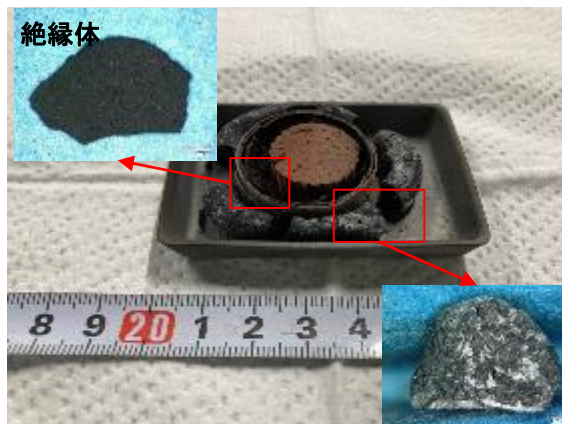
■ CVケーブルのTG曲線



■ CVケーブル昇温前後の状態



試験前



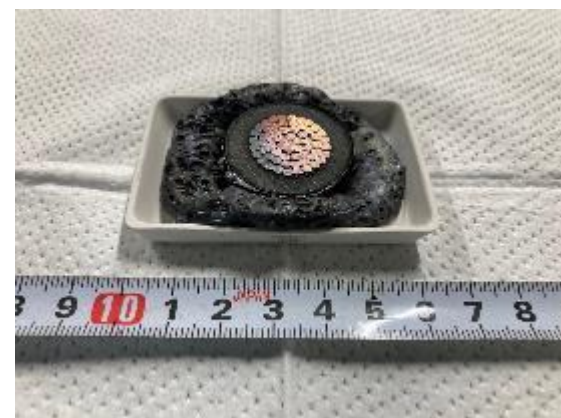
試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)

試料	環境	CVケーブル						
		水素			水蒸気			水蒸気
温度	°C	RT~350	350~500	500~1000	RT~350	350~500	500~1000	200
ガス発生量	L	1.2	3.0	43.4	2.1	0.3	7.9	3.3
	(合計)	L	47.6			10.3		3.3
ケーブル長さ	mm		9.5			9.0		9.0
試験前試料重量	g		31.65			27.57		33.25
試験後試料重量	g		24.55			20.26		32.71
減量	g		7.10			7.31		0.54
減量	%		22.4			26.5		1.6

※導体等含む結果

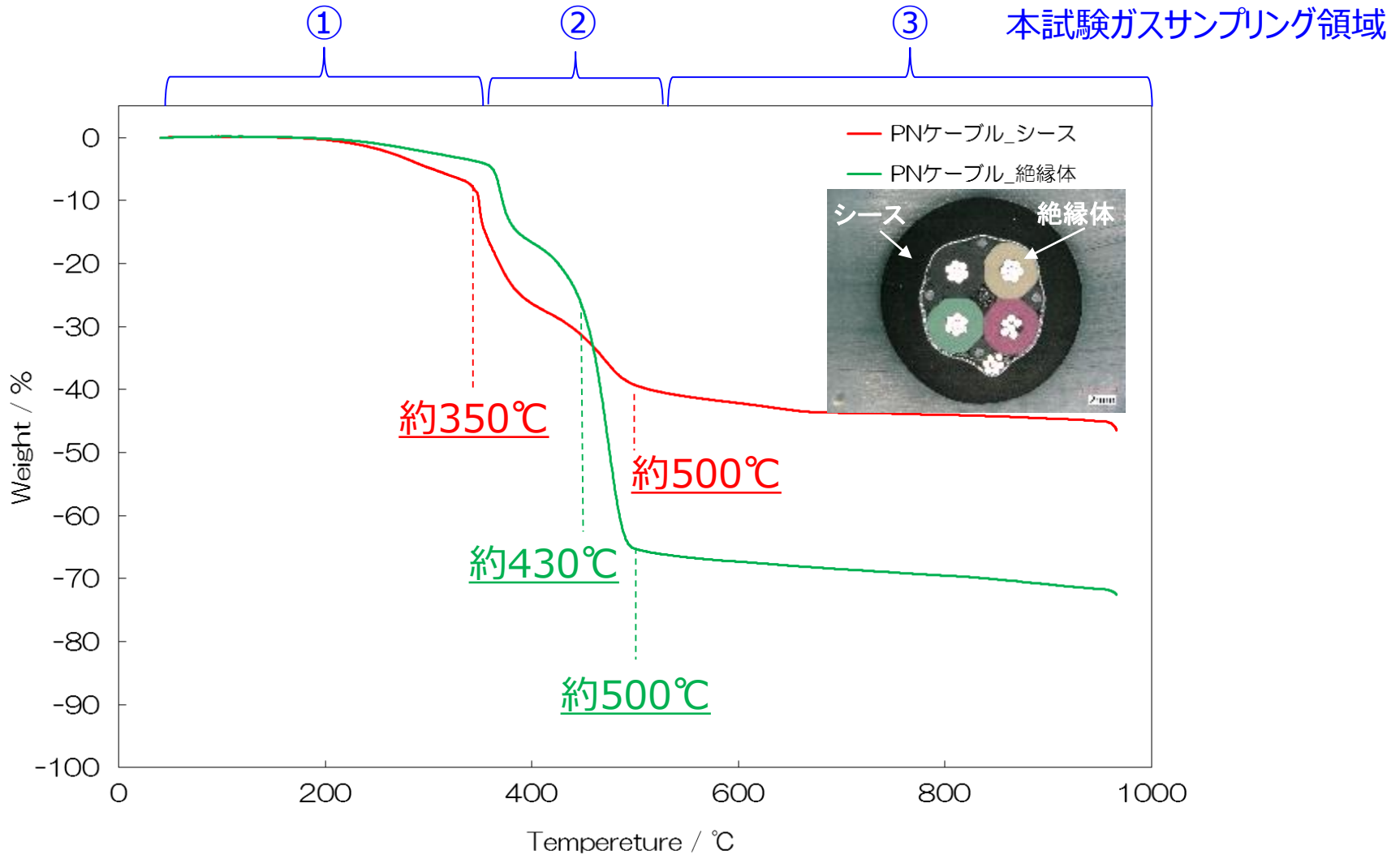


試験後
(200°C水蒸気環境下)

■ CVケーブル1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生したガス分析結果
（ケーブル1t当たりのガス発生量）

試料		CVケーブルガス発生量(m ³ /t)						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
環境		RT~350	350~500	500~1000	RT~350	350~500	500~1000	200
温度(℃)		RT~350	350~500	500~1000	RT~350	350~500	500~1000	200
H ₂		-	-	-	-	-	1.01E+02	-
CO		-	-	2.74E+00	-	-	1.95E+01	-
	CH ₄	1.52E-04	1.90E-01	1.10E+01	2.29E-04	6.53E-03	1.81E+01	2.98E-04
	C ₂ H ₄	1.52E-04	1.42E-01	1.92E+00	-	4.57E-03	1.17E+01	9.92E-05
	C ₂ H ₆	-	1.33E-01	1.92E+00	-	3.59E-03	2.01E+00	-
炭	C ₃ H ₆	-	1.23E-01	6.17E-01	-	1.96E-03	2.41E+00	-
化	C ₃ H ₈	2.27E-04	8.06E-02	1.92E-01	-	1.63E-03	4.58E-01	6.95E-04
水	i-C ₄ H ₁₀	-	1.33E-03	5.48E-03	-	1.41E-04	7.45E-03	-
素	n-C ₄ H ₁₀	-	5.12E-02	9.46E-02	-	5.22E-04	2.87E-01	-
	i-C ₅ H ₁₂	-	1.80E-02	8.78E-02	-	-	2.64E-01	-
	n-C ₅ H ₁₂	-	1.71E-02	8.36E-02	-	-	1.98E-01	-
	上記以外のC ₁ ~C ₅ (CH ₄ 換算値)	-	2.65E-01	1.06E+00	-	4.03E-03	4.58E+00	-
	CH ₄ 換算合計値	1.25E-03	1.90E+00	2.33E+01	5.33E-04	3.92E-02	6.02E+01	2.58E-03
NH ₃		-	-	-	3.81E-05	-	-	4.96E-05
H ₂ S		8.34E-05	2.09E-03	3.70E-03	7.46E-04	4.46E-05	2.87E-04	3.37E-04

■ PNケーブルのTG曲線



■ PNケーブル昇温前後の状態



試験前



試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)

試料	環境	PNケーブル							
		水素ガス			水蒸気			水蒸気	
温度	°C	RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000	200	
ガス発生量	L	2.6	0.7	7.4	2.5	0.3	15.2	2.3	
	(合計)	L	10.7			18.0			2.3
ケーブル長さ	mm	80			80.0			80.0	
試験前試料重量	g	17.12			17.47			17.30	
試験後試料重量	g	9.71			7.94			16.77	
減量	g	7.41			9.53			0.53	
減量	%	43.3			54.6			3.1	

※導体等含む結果

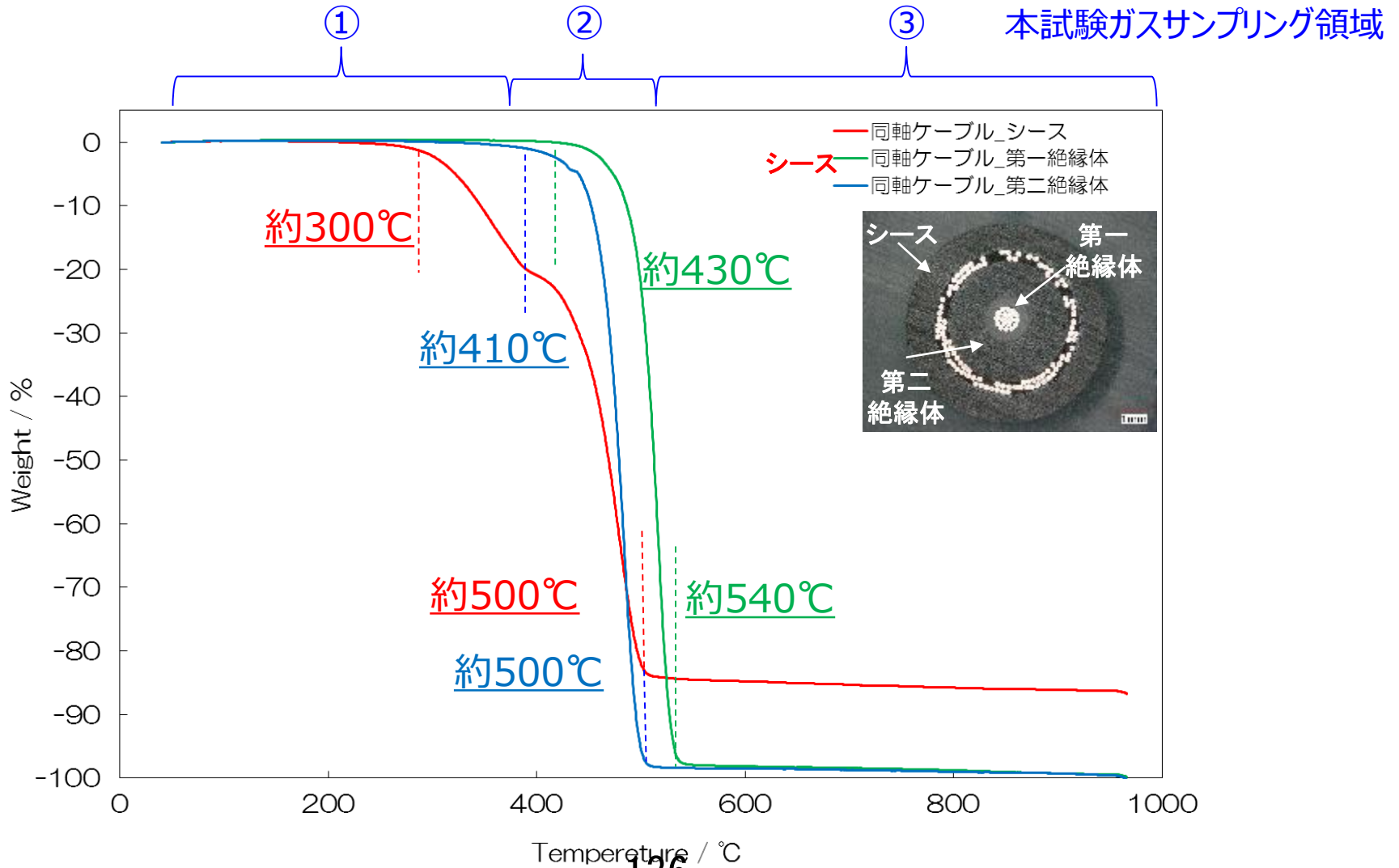


試験後
(200°C水蒸気環境下)

■ PNケーブル1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生したガス分析結果 (ケーブル1t当たりのガス発生量)

試料		PNケーブルガス発生量(m ³ /t)						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
環境		RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000	200
温度(℃)		RT~400	400~500	500~1000	RT~400	400~500	500~1000	200
H ₂		-	-	-	-	1.55E-01	3.98E+02	-
CO		-	4.09E-02	4.32E-01	-	6.87E-02	1.62E+02	-
	CH ₄	4.71E-02	3.80E-01	4.75E+00	3.86E-03	1.22E-01	1.83E+01	3.72E-03
	C ₂ H ₄	9.11E-02	2.21E-01	4.15E-01	4.87E-03	1.41E-01	6.26E+00	5.32E-04
	C ₂ H ₆	1.40E-02	2.09E-01	3.89E-01	7.16E-04	5.15E-02	3.05E+00	-
炭	C ₃ H ₆	5.16E-03	1.02E-01	1.99E-01	2.86E-04	1.89E-02	2.70E+00	-
化	C ₃ H ₈	7.44E-03	8.18E-02	9.08E-02	2.86E-04	1.63E-02	9.57E-01	1.33E-03
水	i-C ₄ H ₁₀	-	3.60E-03	3.46E-03	-	6.18E-04	4.79E-02	-
素	n-C ₄ H ₁₀	5.77E-03	4.91E-02	4.32E-02	-	7.90E-03	5.39E-01	-
	i-C ₅ H ₁₂	-	1.06E-02	1.90E-02	-	6.01E-04	2.18E-01	-
	n-C ₅ H ₁₂	4.86E-03	2.29E-02	4.32E-02	-	9.62E-04	4.26E-01	-
	上記以外のC ₁ ~C ₅ (CH ₄ 換算値)	7.75E-02	3.35E-01	3.89E-01	2.29E-03	9.10E-02	6.35E+00	-
	CH ₄ 換算合計値	3.95E-01	2.41E+00	7.78E+00	1.86E-02	7.04E-01	5.74E+01	8.91E-03
NH ₃		-	-	-	-	-	-	-
H ₂ S		1.20E-01	1.47E-01	1.04E-01	6.15E-03	5.84E-02	3.31E-01	4.65E-04

■ 同軸ケーブルのTG曲線



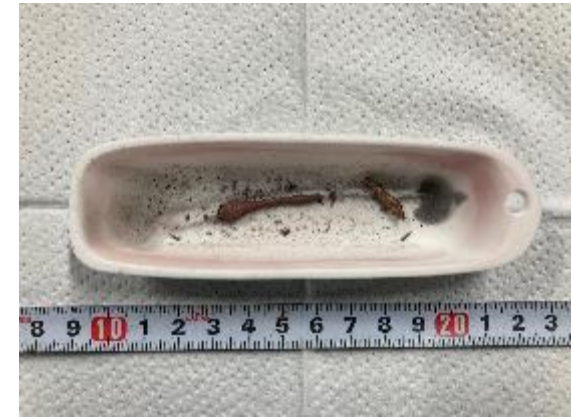
■ 同軸ケーブル昇温前後の状態



試験前



試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)



試験後
(200°C水蒸気環境下)

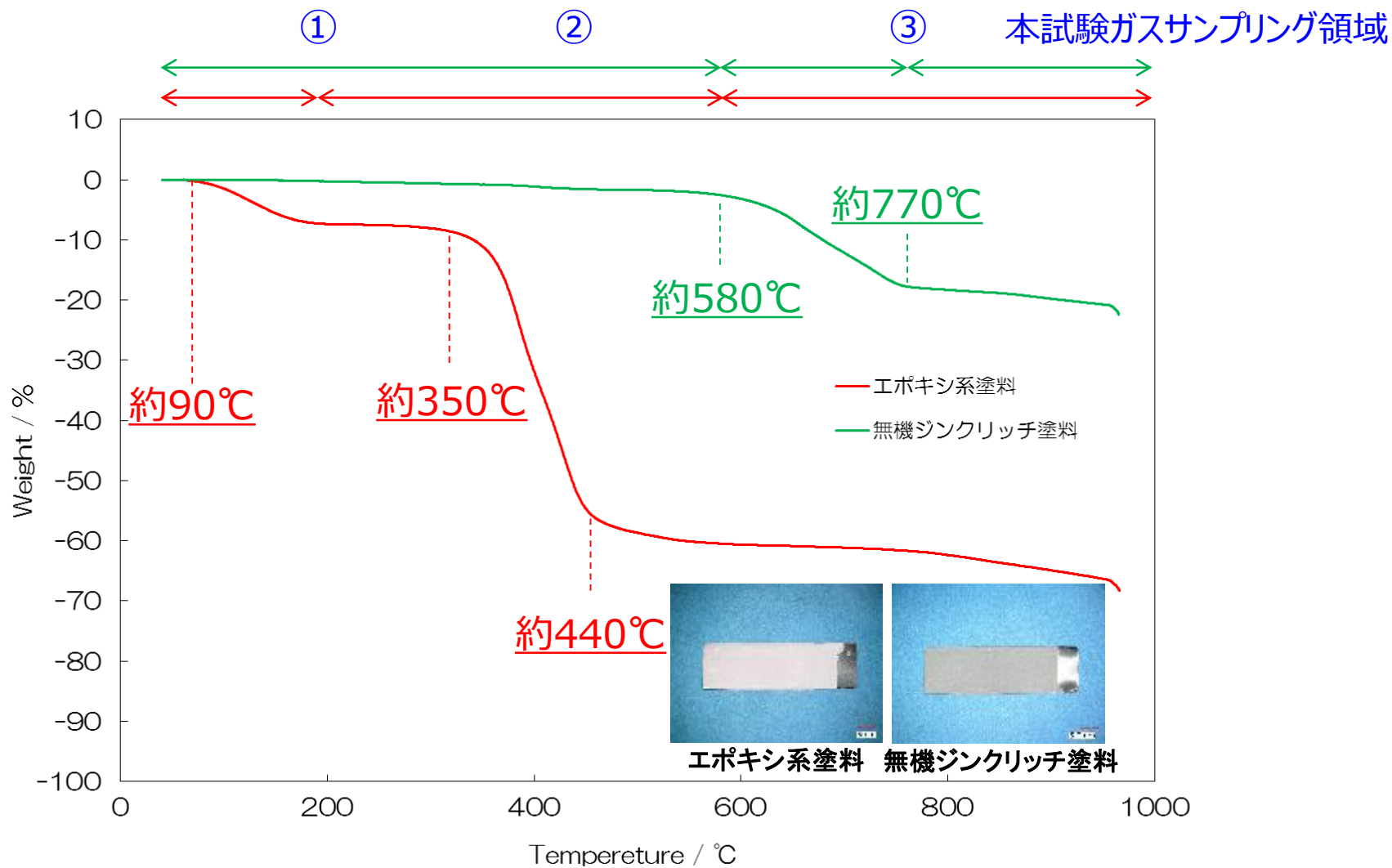
試料	環境	同軸ケーブル						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
温度	°C	RT~400	400~540	540~1000	RT~400	400~540	540~1000	200
ガス発生量	L	1.1	0.2	2.3	2.3	0.2	0.9	2.8
	(合計)	3.6			3.4			2.8
ケーブル長さ	mm	80.0			80.0			80.0
試験前試料重量	g	4.33			4.30			4.35
試験後試料重量	g	2.28			2.18			4.31
減量	g	2.05			2.12			0.04
減量	%	47.3			49.3			0.9

※導体等含む結果

■ 同軸ケーブル1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生したガス分析結果 (ケーブル1t当たりのガス発生量)

試料		同軸ケーブルガス発生量(m ³ /t)						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
環境		RT~400	400~540	540~1000	RT~400	400~540	540~1000	200
温度(℃)		RT~400	400~540	540~1000	RT~400	400~540	540~1000	200
H ₂		-	-	-	-	-	3.37E+01	-
CO		-	-	-	-	-	1.17E+01	-
	CH ₄	1.27E-03	1.52E-01	2.76E+00	2.14E-03	1.81E-02	7.12E+00	1.29E-03
	C ₂ H ₄	2.29E-03	1.62E-01	5.31E-01	-	2.05E-02	5.44E+00	-
	C ₂ H ₆	7.62E-04	1.20E-01	5.84E-01	5.35E-04	1.40E-02	1.26E+00	-
炭	C ₃ H ₆	7.62E-04	1.20E-01	1.81E-01	-	7.91E-03	1.51E+00	-
化	C ₃ H ₈	7.62E-04	5.08E-02	6.37E-02	1.87E-02	6.51E-03	2.93E-01	3.22E-03
水	i-C ₄ H ₁₀	-	1.02E-03	5.31E-04	-	-	-	-
素	n-C ₄ H ₁₀	-	2.91E-02	2.92E-02	-	1.12E-03	1.72E-01	-
	i-C ₅ H ₁₂	-	1.43E-02	1.86E-02	-	-	6.28E-02	-
	n-C ₅ H ₁₂	-	1.20E-02	2.02E-02	-	-	3.98E-02	-
	上記以外のC ₁ ~C ₅ (CH ₄ 換算値)	5.84E-03	2.68E-01	3.29E-01	-	1.07E-02	2.93E+00	-
	CH ₄ 換算合計値	1.80E-02	1.66E+00	6.37E+00	5.88E-02	1.40E-01	2.72E+01	1.22E-02
NH ₃		-	-	-	-	-	-	-
H ₂ S		-	-	2.02E-03	3.74E-04	1.49E-04	2.93E-04	1.22E-03

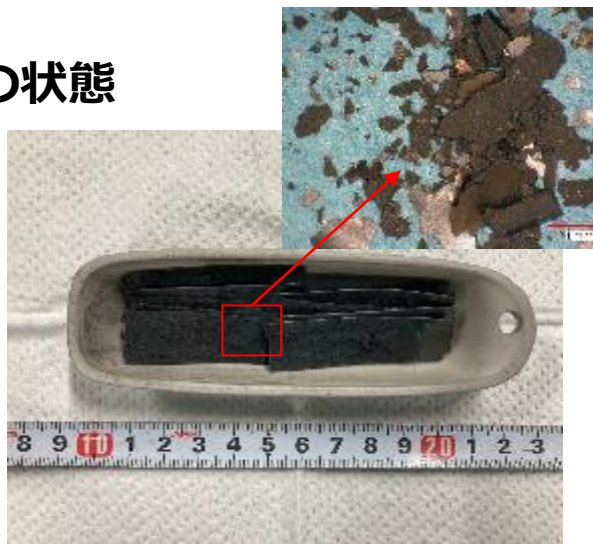
■ 塗料のTG曲線



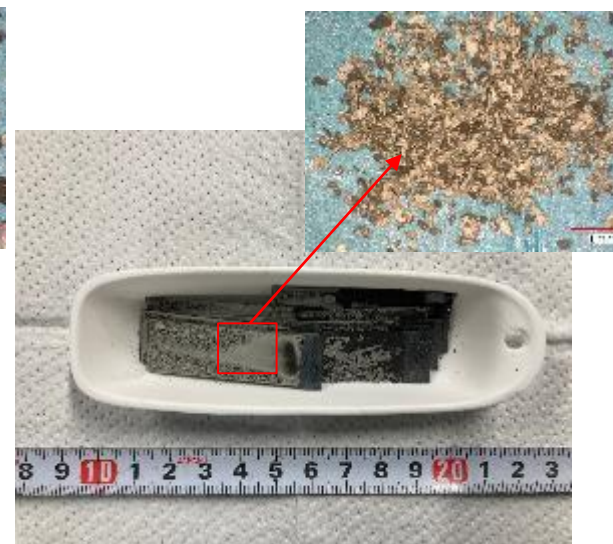
■ エポキシ系塗料昇温前後の状態



試験前



試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)



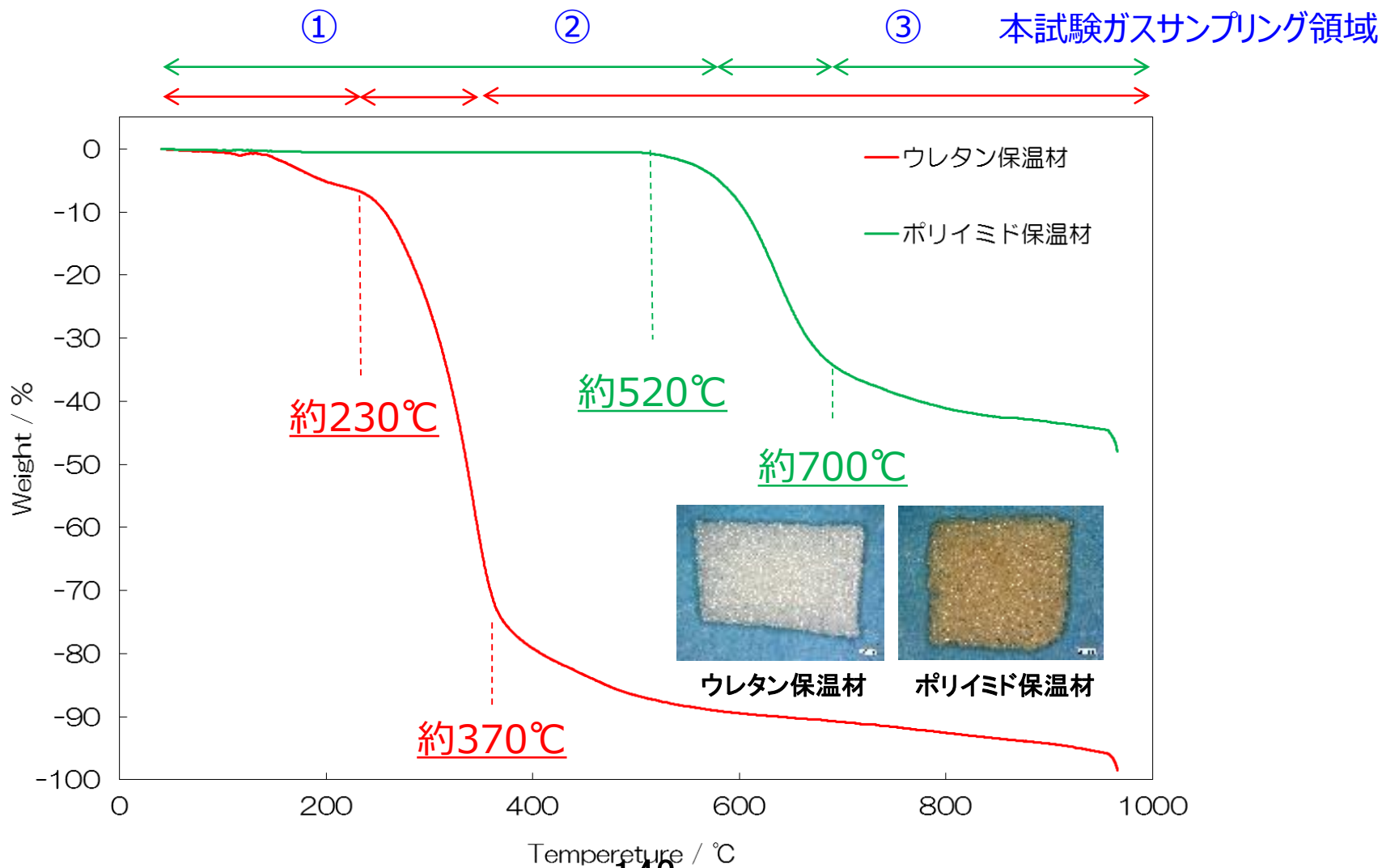
試験後
(200°C水蒸気環境下)

試料	環境	エポキシ系塗料						
		水素			水蒸気			水蒸気
温度(°C)	°C	RT~200	200~600	600~1000	RT~200	200~600	600~1000	200
ガス発生量	L	0.5	0.5	1.9	2.0	0.2	1.6	4.2
	(合計)	2.9			3.8			4.2
試験前試料重量(塗料)	g	2.54			2.34			8.04
試験後試料重量(塗料)	g	0.82			0.75			7.86
減量	g	1.72			1.59			0.18
減量	%	67.7			67.9			2.2

■エポキシ系塗料1000℃昇温、200℃24時間保持時に発生したガス分析結果 （塗料1t当たりのガス発生量）

試料		エポキシ系塗料ガス発生量(m ³ /t)						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
環境		RT~200	200~600	600~1000	RT~200	200~600	600~1000	200
温度(°C)		RT~200	200~600	600~1000	RT~200	200~600	600~1000	200
H ₂		-	-	-	-	-	1.31E+02	-
CO		-	-	1.50E+00	-	-	2.05E+01	-
炭 化 水 素	CH ₄	1.97E-04	2.36E-01	3.74E+00	1.11E-02	2.39E-02	1.57E+01	8.24E-03
	C ₂ H ₄	-	4.13E-02	2.69E-01	8.55E-03	4.87E-03	4.44E+00	-
	C ₂ H ₆	-	5.51E-02	2.17E-01	2.56E-03	3.42E-03	5.40E-01	-
	C ₃ H ₆	-	3.94E-02	1.72E-02	6.84E-03	3.76E-03	6.22E-01	-
	C ₃ H ₈	1.97E-04	1.91E-02	8.23E-03	2.56E-03	1.45E-03	1.37E-01	2.06E-03
	i-C ₄ H ₁₀	-	-	-	-	4.27E-04	-	-
	n-C ₄ H ₁₀	-	5.71E-03	-	1.71E-03	3.42E-04	3.76E-02	-
	i-C ₅ H ₁₂	-	-	-	-	-	-	-
	n-C ₅ H ₁₂	-	3.54E-03	-	-	5.13E-04	1.91E-02	-
	上記以外のC ₁ ~C ₅ (CH ₄ 換算値)	2.36E-03	1.24E-01	1.65E-02	3.59E-02	9.40E-03	8.21E-01	6.18E-02
	CH ₄ 換算合計値	3.15E-03	7.28E-01	4.79E+00	1.11E-01	6.92E-02	2.87E+01	8.03E-02
NH ₃		1.97E-04	3.94E-02	1.50E-03	-	-	-	-
H ₂ S		-	-	8.98E-02	-	-	6.77E-01	4.12E-04

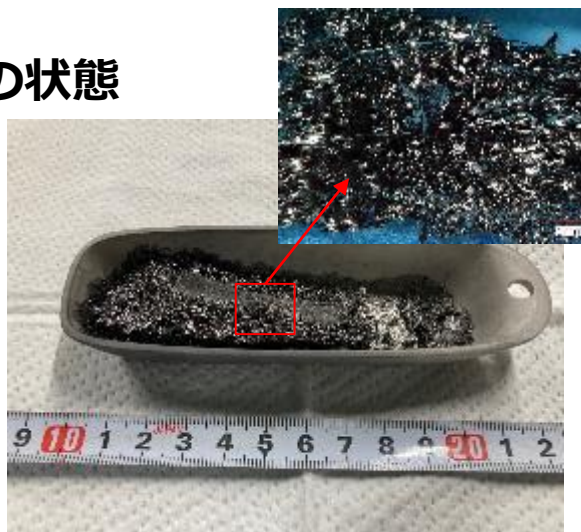
■ 保温材のTG曲線



■ウレタン保温材昇温前後の状態



試験前



試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)



試験後
(200°C水蒸気環境下)

試料	環境	ウレタン保温材						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
温度	°C	RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000	200
ガス発生量	L	0.7	0.2	4.2	2.3	0.2	2.9	3.5
	(合計)		5.1			5.4		3.5
試験前試料重量	g		2.40			2.56		2.55
試験後試料重量	g		0.43			0.00		1.61
減量	g		1.97			2.56		0.94
減量	%		82.1			100.0		36.9

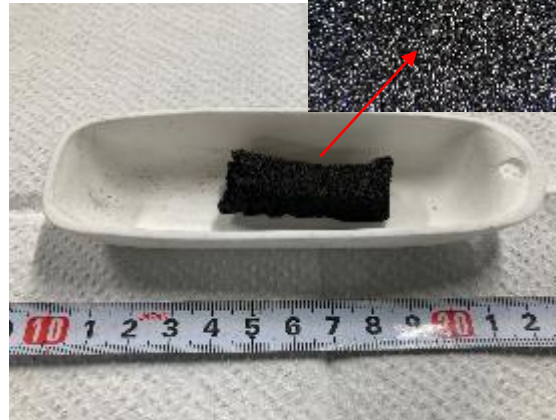
■ウレタン保温材1000℃昇温時、200℃24時間保持に発生したガス分析結果 （保温材1t当たりのガス発生量）

試料		ウレタン保温材ガス発生量(m ³ /t)						
		水素ガス			水蒸気			
環境								
温度(°C)		RT~230	230~370	370~1000	RT~230	230~370	370~1000	水蒸気 200
H ₂		-	-	-	-	-	2.64E+02	-
CO		-	-	-	-	-	1.16E+02	-
	CH ₄	5.83E-04	1.25E-03	7.35E+00	6.29E-03	1.09E-03	2.72E+01	5.49E-03
	C ₂ H ₄	-	4.17E-04	5.43E-01	3.59E-03	7.03E-04	6.68E+00	-
	C ₂ H ₆	-	5.00E-04	6.83E-01	8.98E-04	1.56E-04	1.25E+00	-
炭	C ₃ H ₆	-	1.92E-02	5.95E-01	2.70E-03	5.47E-04	3.63E+00	-
化	C ₃ H ₈	2.92E-04	5.00E-04	1.51E-01	1.80E-03	3.13E-04	4.30E-01	1.37E-03
水	i-C ₄ H ₁₀	-	-	-	-	-	-	-
素	n-C ₄ H ₁₀	-	-	-	-	7.81E-05	6.00E-02	-
	i-C ₅ H ₁₂	-	1.17E-03	1.23E-02	-	-	-	-
	n-C ₅ H ₁₂	-	3.08E-03	2.28E-02	-	-	1.36E-02	-
	上記以外のC ₁ ~C ₅ (CH ₄ 換算値)	1.52E-01	2.17E-01	3.15E-01	5.03E-01	2.27E-01	2.15E+00	8.37E-01
	CH ₄ 換算合計値	1.55E-01	2.92E-01	1.24E+01	5.30E-01	2.34E-01	5.66E+01	8.51E-01
NH ₃		-	-	6.48E-01	-	-	3.96E-03	-
H ₂ S		8.75E-05	7.50E-05	-	7.28E-03	9.38E-04	4.30E-02	4.67E-03

■ポリイミド保温材昇温前後の状態



試験前

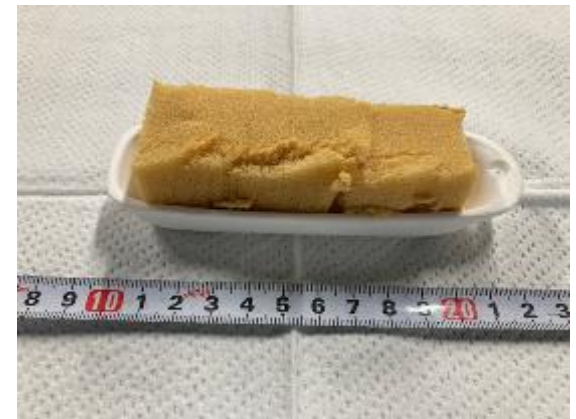


試験後
(1000°C水素ガス環境下)



試験後
(1000°C水蒸気環境下)

試料	環境	ポリイミド保温材						
		水素ガス			水蒸気			水蒸気
温度	°C	RT~520	520~700	700~1000	RT~520	520~700	700~1000	200
ガス発生量	L	0.7	0.4	2.0	2.3	0.2	1.9	<0.1
	(合計)		3.1			4.4		<0.1
試験前試料重量	g		0.65			0.70		0.66
試験後試料重量	g		0.23			0.01		0.64
減量	g		0.42			0.69		0.02
減量	%		64.6			98.6		3.0



試験後
(200°C水素ガス環境下)

■ポリイミド保温材1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生するガス分析結果 （保温材1t当たりのガス発生量）

試料		ポリイミド保温材ガス発生量(m3/t)						
		水素			水蒸気			水素ガス
環境		RT~520	520~700	700~1000	RT~520	520~700	700~1000	200
温度(℃)		RT~520	520~700	700~1000	RT~520	520~700	700~1000	200
H2		-	-	-	-	-	6.32E+02	-
CO		-	7.38E+00	3.08E+00	-	1.71E+00	3.94E+02	-
	CH4	1.40E-02	2.22E-01	9.85E+00	6.57E-03	5.14E-02	2.36E+01	1.52E-04
	C2H4	1.08E-03	1.35E-02	5.23E-02	-	6.57E-03	1.36E+00	-
	C2H6	-	9.23E-03	4.00E-02	-	2.86E-04	3.53E-02	-
炭	C3H6	-	3.08E-03	-	-	2.00E-03	7.87E-02	-
化	C3H8	1.08E-03	2.65E-02	7.38E-02	-	2.86E-04	1.60E-01	-
水	i-C4H10	-	-	-	-	-	-	-
素	n-C4H10	-	-	-	-	-	-	-
	i-C5H12	-	-	-	-	-	-	-
	n-C5H12	-	-	-	-	-	-	-
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	4.95E-02	1.78E-02	2.46E-02	-	-	7.60E-02	-
	CH4換算合計値	7.22E-02	3.69E-01	1.05E+01	1.31E-02	7.14E-02	2.69E+01	4.55E-04
NH3		5.38E-04	3.08E-02	1.60E+00	1.64E-03	-	1.36E-03	-
H2S		-	-	-	3.29E-04	5.71E-05	1.63E-03	-

■ケーブル3種、エポキシ塗料、保温材2種から発生するガス濃度（1F3D/W）

1F3の格納容器内ケーブル、塗料、保温材の想定物量総量と
ドライウェル空間容積より発生ガス総量（vol%）を算出

試料 環境		発生ガス総量 (vol%)			ガス物性 燃焼(爆発)範囲 (vol%) *	
		水素/水蒸気	水素	水蒸気		
温度(°C)		°C	200	RT~1000	RT~1000	
H2		vol%	0.00E+00	0.00E+00	2.07E+01	4~75.6
CO		vol%	0.00E+00	2.48E-01	6.38E+00	12.5~74
炭 化 水 素	CH4	vol%	2.54E-04	1.13E+00	2.29E+00	5.0~15
	C2H4	vol%	1.96E-05	1.94E-01	1.22E+00	2.7~36
	C2H6	vol%	0.00E+00	1.91E-01	2.55E-01	3.0~12.5
	C3H6	vol%	0.00E+00	7.34E-02	2.99E-01	2.0~11
	C3H8	vol%	1.46E-04	2.81E-02	6.56E-02	2.1~9.5
	i-C4H10	vol%	0.00E+00	7.11E-04	1.68E-03	1.8~8.4
	n-C4H10	vol%	0.00E+00	1.43E-02	3.73E-02	1.6~8.5
	i-C5H12	vol%	0.00E+00	9.45E-03	2.63E-02	1.3~7.6
	n-C5H12	vol%	0.00E+00	1.01E-02	2.58E-02	1.5~12.5
	上記以外のC1~C5(CH4換算値)	vol%	6.94E-03	1.35E-01	5.64E-01	-
CH4換算合計値		vol%	7.77E-03	2.47E+00	7.07E+00	-
NH3		vol%	3.95E-06	5.55E-03	3.30E-05	15.0~28
H2S		vol%	8.70E-05	9.70E-03	1.71E-02	4.0~44

1F3評価の前提となる数値

D/W空間体積	線種／材質	総量	根拠
3,770m ³	CVケーブル	約3t	・ 1F3物量不明のため、他プラントの使用実績を適用
	PNケーブル	約0.1t	・ ペデスタル部に施工されているケーブル総量 ・ KGBケーブルは未検証のため、PNケーブル物量（0.1t+0.73t=0.83t）として見込み評価
	同軸ケーブル	約0.32t	
	KGBケーブル	約0.73t	
	エポキシ塗料	約0.442t	・ 格納容器（D/W側）内壁表面積約1600m ² ・ 上塗り／中塗り膜厚それぞれ100μmで試算
	ウレタン保温材	約0.28t	・ 1F3使用量約8m ³ より試算
	ポリイミド保温材	約0.006t	・ 1F3使用量約1m ³ より試算

- ケーブル3種類、エポキシ系塗料、保温材2種類について、水素ガス、水蒸気環境下での1000℃昇温時、200℃24時間保持時に発生するガス分析を実施
- 200℃24時間環境下では、可燃性ガスはほぼ発生しないことを確認
- 水蒸気環境下の方が水素環境下よりも可燃性ガスが多く発生する傾向を確認

<2022年度計画>

- 無機ジンクリッチ塗料、有機ジンクリッチ塗料、KGBケーブル（シリコンケーブル）のガス発生量評価予定
- 酸素ガス環境下での1000℃昇温試験を検討