

重大事故進展による放射性物質放出リスクの 緩和策に関する研究 事前評価 説明資料

令和4年10月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ
シビアアクシデント研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景(1/5)

令和3年3月に、原子力規制庁は東京電力福島第一原子力発電所(1F)の事故に関する追加的な調査分析結果をまとめた中間報告書を公表。

- 1F3号機の原子炉建屋(R/B)で発生した水素爆発については、R/B内部の調査では下層階での爆発と思われる痕跡が見られた。
→これを受けて現行規制への知見の反映を検討しているが、原子炉格納容器(C/V)からR/Bへの水素漏えいに係るデータは十分でなく、R/Bにおける水素爆発防止対策も依然として不確かさが残っている。
- 1F1,2,3号機のC/Vの上部に設置されているシールドプラグ下面の汚染の程度が高いことが確認されている。

また、近年の原因調査分析において、1F1号機ペDESTALを構成する鉄筋コンクリートの一部が鉄筋を残して消滅していることが確認されている。



こうした状況を踏まえ、本研究プロジェクトでは次の4つの課題について着目。

- (1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動
- (2) 可燃性有機物を含む水素の挙動
- (3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価
- (4) 溶融炉心挙動評価

1. 背景(2/5)

(1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動

1F事故ではR/B最上階だけでなく中間階でも水素爆発の痕跡が確認された。



水素が最上階のみならず何らかの経路を経由して中間階に滞留する可能性が懸念されている。



C/Vから漏えいする水素の量や経路などは、C/Vのシール部のシール材により支配されると考えられる。



これまで、シール部からのガスの漏えいに関して、厳しい環境条件下においてシール部から水素がどのように漏えいしてシール機能が喪失するかという観点に着目した実験による研究は見られず、C/Vのシール部からの水素漏えい挙動について網羅的に調査した例は国内外とも見られない。



C/Vのシール部からのガスの漏えい挙動に関する知見の拡充が必要である。

1. 背景(3/5)

(2) 可燃性有機物を含む水素の挙動

1F事故では水素爆発発生時に有色の火炎がみられた。



水素爆発発生時に水素だけでなく可燃性の有機物(可燃性有機物)が混合していた可能性が示唆されている。



これまで、重大事故の進展に伴ってコンクリートから一酸化炭素等の可燃性気体が発生することが知られているが、ケーブル被覆材を由来とする有機物の発生や、可燃性有機物が添加された水素の水素爆発への影響があるかについて検討されていない。



可燃性有機物が添加した場合の水素爆発への影響に関する知見の拡充が必要である。

1. 背景(4/5)

(3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価

1F事故のような重大事故の進展に伴って発生する事象(シールドプラグ汚染、水素爆発)は、事故の緩和策の成否によって大きく変化することが想定され、また事故に伴って放出される放射性物質の影響も考慮する必要がある。



このような検討を行うためには炉心損傷の開始や進展について理解を深める必要がある。



現行規制では、重大事故時のC/V破損防止対策の有効性を評価・確認することとしている。この評価では、事故の対応手順、炉心損傷の判断時期等に応じた重大事故の進展を現実的に考慮することが重要である。



MELCORによる事故進展及びソースターム解析手法の継続的な高度化が必要である。

1. 背景(5/5)

(4) 溶融炉心挙動評価

1F事故後にペデスタル部の鉄筋コンクリートの一部が鉄筋を残して消滅していることが確認された。



従来の見解から、溶融炉心燃料がペデスタル床面を広がってペデスタル構造と接触したことにより、溶融炉心-コンクリート反応(MCCI)によって鉄筋コンクリートが溶けたという想定をしていた。



しかし、調査結果からMCCIによって溶けたということを立証するデータは現状で十分ではなく、その経緯については詳細な検討が必要である。



様々な想定される重大事故の条件に対する溶融デブリの形態やその分布挙動を3次元かつ非定常で評価することが必要である。

2. 目的(1/2)

1F事故の原因分析で確認された知見から、以下の観点について重大事故緩和対策の取扱の判断等に資する知見を取得することを目的とする。

(1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動

重大事故時におけるR/Bへの水素漏えい挙動の不確かさを低減するため、C/Vから漏えいする水素挙動に係る知見を取得する。

(2) 可燃性有機物を含む水素の挙動

可燃性有機物が水素爆発に与える影響等の知見を得るため、解析を通じて関連するデータを拡充する。

(3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価

想定される様々な事故シーケンスに対応した事故進展とソースタームに係る知見を得るため、炉型に応じた事故の進展やその対応手順、炉心損傷の判断基準等に係る知見を拡充する。

(4) 溶融炉心挙動評価

溶融デブリ挙動の不確かさを低減するため、3次元非定常解析手法を用いて溶融デブリの形態やその分布に係る知見を拡充する。

2. 目的(2/2) (知見の活用先)

(1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動

R/Bへの水素漏えい挙動の不確かさを低減することで、中間階での水素滞留の緩和策等の検討に資することができる。

(2) 可燃性有機物を含む水素の挙動

可燃性有機物の取扱の要否の検討に資することで、可燃性有機物を含む水素に対する重大事故対策や他の重大事故対策等への影響の検討に資することが期待される。

(3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価

想定される様々な事故シーケンスに対応した事故進展とソースタームに係る知見を取得することで、重大事故対策の有効性評価に資することができる。

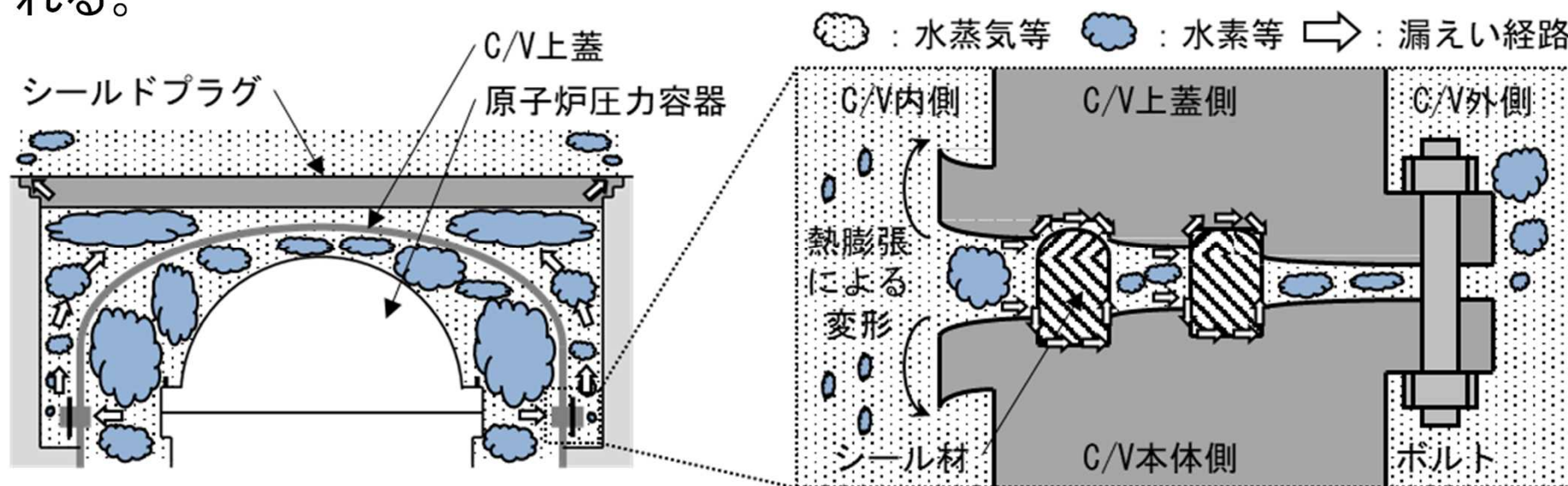
(4) 熔融炉心挙動評価

熔融デブリの冷却挙動や分布挙動の不確かさを低減することで、熔融デブリの冷却促進のためのペDESTALへの事前注水等の重大事故緩和対策の有効性評価に資することができる。

3. 研究の概要(1/8)

(1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動(1/2)

C/Vシール部からの水素の漏えいの要因として重大事故時等C/V内部の環境条件が厳しくなることによるシール材のシール性能低下やC/Vの温度上昇に伴うフランジ部等の熱変位によるフランジ部の隙間拡大^(*)が考えられる。



従来、シール材の健全性に関する試験は数多く行われてきているが、水素を模擬したガスを用いたより厳しい重大事故状態におけるシール部からの漏えい挙動及び性能限界に関する知見は得られていない。

(*) 原子力規制委員会、「安全研究成果報告 重大事故時の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究」、RREP-2022-1001、<https://www.nra.go.jp/data/000392320.pdf>、(最終アクセス: 令和4年8月19日)

3. 研究の概要(2/8)

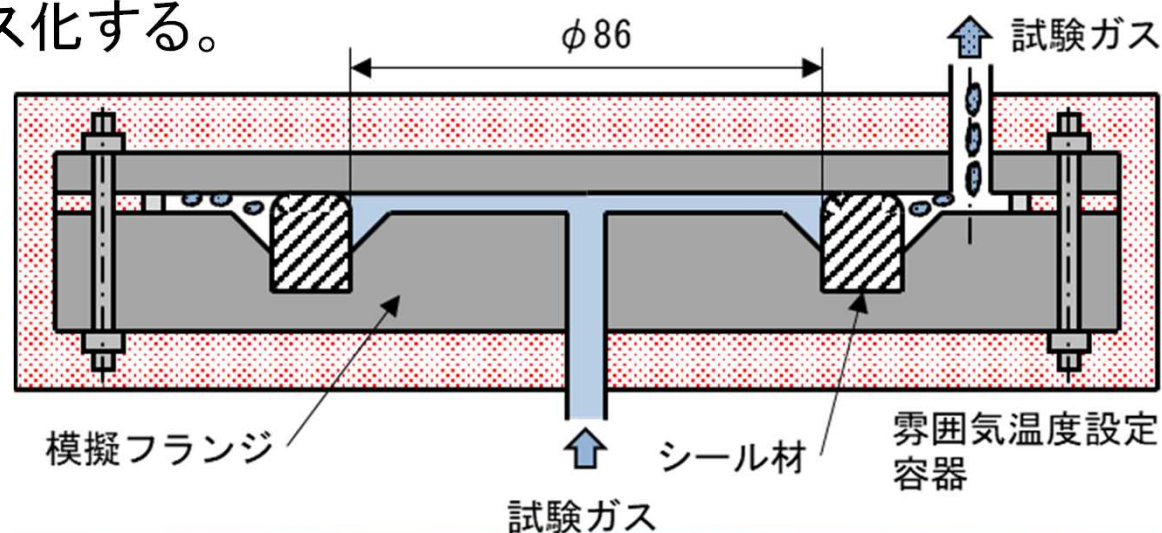
(1) 原子炉格納容器からの水素漏えい挙動(2/2)

重大事故時の条件を模擬した環境下におけるシール部からのガスの漏えい挙動を調べる実験を実施する。

実験では圧力、温度、ガス組成(水素模擬ガス、空気、水蒸気等)等をパラメータとして試験ガスの漏えい量などを測定し、シール部からのガス漏えいに関する知見を取得する。

また、熱膨張に伴うフランジ隙間からの水素漏えいについては、フランジ間の隙間を任意の幅に設定して雰囲気条件を変化させて実験を行い、シール部からのガス漏えいに関する知見を取得する。

これらの知見をデータベース化する。



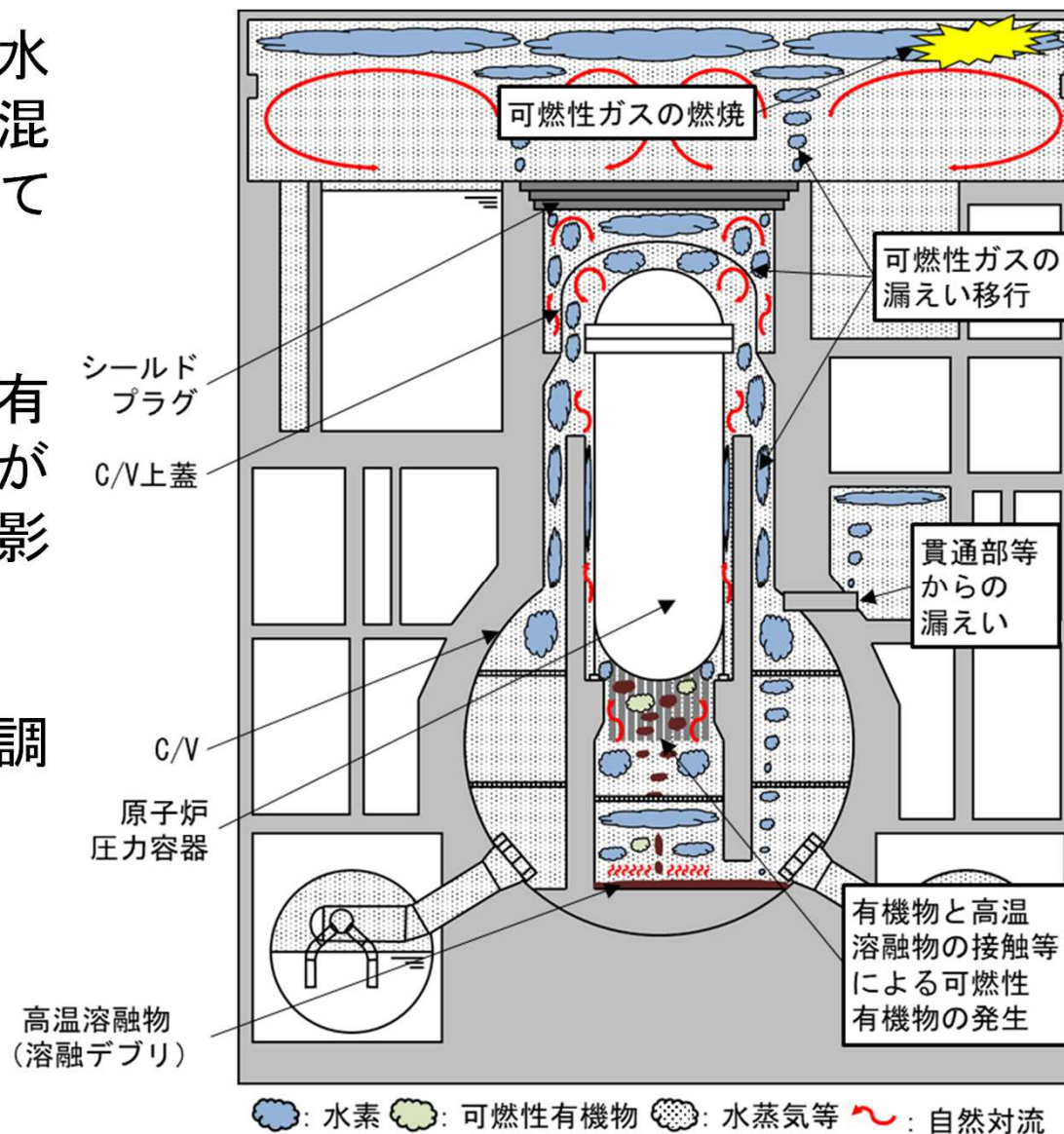
3. 研究の概要(3/8)

(2) 可燃性有機物を含む水素の挙動(1/3)

1F事故で水素爆発発生時に水素だけでなく可燃性有機物が混合していた可能性が示唆されている

ケーブル被覆材を由来とする有機物の発生や、可燃性有機物が混合した水素の水素爆発への影響について調べたものはない。

これらについて、解析を通じて調査する。



3. 研究の概要(4/8)

(2)可燃性有機物を含む水素の挙動(2/3)

①可燃性有機物の発生

C/V内の様々な位置での可燃性有機物の発生については、デブリの幅広いパラメータを考慮するとともに詳細を扱うため、統計的手法による解析及び決定論に基づく解析の2つを実施する。

統計的手法による解析: 確率論に基づく多次元デブリ挙動解析コードとMCCI解析コードを組み合わせた解析手法を用いて入力パラメータの確率分布を評価する。これに基づき抽出した多数の入力ケースについて解析を実施することで可燃性ガス発生 of 確率分布を取得する。

決定論的手法に基づく解析: 3次元デブリ挙動解析コードによって実機のデブリの放出からキャビティに堆積するまでの3次元温度分布等を求める。それらを境界条件に汎用の数値流体力学(CFD)解析コードによってC/V内の温度分布、ケーブルの温度及び熱分解量を計算する。

3. 研究の概要(5/8)

(2) 可燃性有機物を含む水素の挙動(3/3)

② 可燃性有機物を含む水素の燃焼挙動

可燃性ガスの燃焼については、ガス単体の化学反応データベースは多く存在するものの水素を主体とした可燃性ガスや水蒸気を伴う可燃性ガスの化学反応データベースはない。そこで、

- 燃焼速度等の物性値や燃焼に対する影響に関する実験的及び解析的研究の文献を調査する。
- 化学量論に基づく解析手法を活用して化学反応評価を行い、可燃性ガスや水蒸気を伴う可燃性ガス等の化学反応データベースの拡充を図る。関与する可燃性ガスの種類によっては、物性値の取得や解析手法の妥当性確認に供するためのデータを実験により取得する。

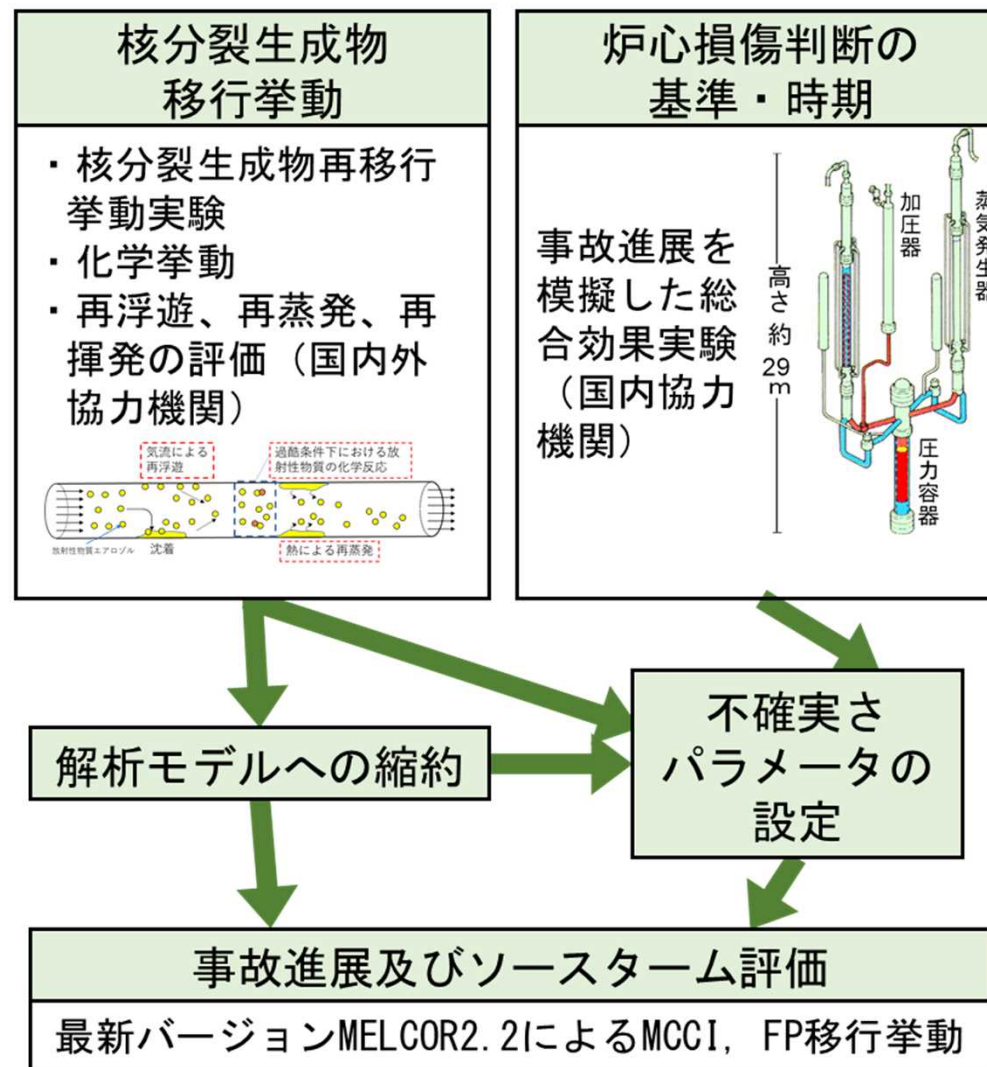
3. 研究の概要(6/8)

(3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価(1/2)

① 事故進展評価手法の整備

1F事故の原因分析の報告PRAによる代表事故シーケンスに基づき、炉型ごとの事故進展解析によってこれらに着目した知見を取得する。

そのため、国内の代表的な炉型に対し、SA総合解析コードMELCORによる事故進展及びソースターム解析手法を整備し、ソースタームを評価する。これにより、緊急時活動レベルの見直しの検討等に資する。



3. 研究の概要(7/8)

(3) 様々な事故シーケンスに対応した事故進展及びソースターム評価(2/2)

② 炉心損傷判断の基準・時期に係る技術的知見の整備

炉心損傷判断の基準に係る知見を拡充するため、特に炉心出口温度(CET)^(*)を炉心損傷開始の判断指標とした場合の事故進展に着目し、压力容器頂部・底部小破断事故等のCETと被覆管温度との差が大きい事故事象等について、JAEAの大型非定常試験装置(LSTF)等を用いた総合効果実験を実施する。炉心溶融時に近い高温の熱流動状態を模擬するため、被覆管温度が実験の上限値1000K近傍となる実験条件も考慮する。

- 炉心内3次元熱流動に影響されるCETの径方向分布を分析するとともに、被覆管温度とCETの関係等から3次元熱流動のCETの時間遅れへの影響を確認する。
- 汎用のCFD解析コード等を用いて、CETの径方向分布や3次元熱流動の影響について知見を補完する。

得られた結果より、様々な事故進展におけるCETの応答性について知見を整備し、MELCORの事故進展解析に反映する。

(*) OECD/NEA/CSNI、“Core Exit Temperature (CET) Effectiveness in Accident Management of Nuclear Power Reactor, ”、NEA/CSNI/R(2010)9、https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_18950/core-exit-temperature-cet-effectiveness-in-accident-management-of-nuclear-power-reactor、(最終アクセス: 令和4年8月19日)

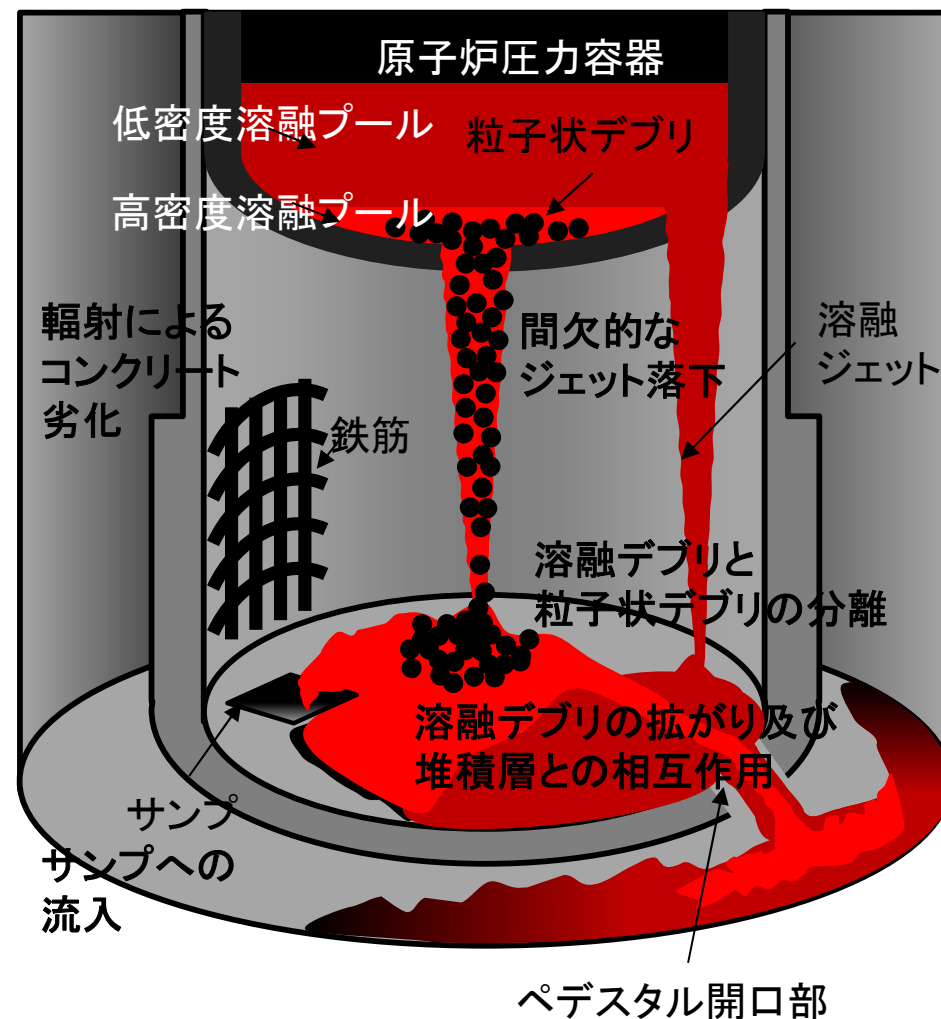
3. 研究の概要(8/8)

(4) 溶融炉心挙動の評価

溶融炉心挙動について、1F1号機のC/V内部の観察結果から、従来から想定されている溶融デブリの挙動及びMCCIとは異なっていた。

溶融デブリの冷却促進のためのペDESTALへの事前注水等の重大事故緩和対策の有効性評価にあたっては、溶融デブリの冷却挙動や分布挙動の知見を拡充する必要がある。

総合重大事故解析コード等による解析結果に基づき、THERMOSを用いた解析を行うことで、実機条件下で高い空間及び時間解像度でデブリ挙動を評価する。



4. 研究計画(行程表)

		R5年度	R6年度	R7年度	R8年度	
水素漏えい挙動		実験装置整備		学会発表▽	論文投稿▽	
			実験データ取得・分析			
				実験データ整理		
可燃性 ガス 挙動	可燃性有機物の発生			学会発表▽	論文投稿▽	
			解析手法の検討			
	可燃性有機物の 燃焼挙動	物性に係る文献調査				
		化学量論に基づく可燃性ガスの物性評価及びデータベースの作成				
				既存解析手法の適用性確認		
事故進 展・ソース ターム 評価				学会発表▽	論文投稿▽	
	事故進展評価 手法の整備		MELCORによる代表的な炉型に対する評価手法の整備			
	炉心損傷判断の 基準・時期に係る 知見の整備		CETと被覆管温度との差が大きい事故事象を模擬した総合効果実験			
			CFD解析等によるCET応答性の知見整備・事象進展解析へ反映			
溶融炉心挙動評価				学会発表▽	論文投稿▽	
			溶融炉心の3次元非定常挙動に関する評価			