

第11回シビアアクシデント技術検討会

議事録

1. 日時

令和4年10月11日（火）15：30～18：10

2. 場所

原子力規制委員会 13階BCD会議室

3. 出席者

専門技術者

糸井 達哉 国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 准教授

牟田 仁 学校法人五島育英会東京都市大学
大学院総合理工学研究科 准教授

守田 幸路 国立大学法人九州大学
大学院工学研究院エネルギー量子工学部門 教授

外部専門家

倉本 孝弘 株式会社原子力エンジニアリング
解析サービス本部 本部長代理

高橋 浩道 三菱重工業株式会社
原子力セグメント 炉心・安全技術部
リスク評価担当部長

田原 美香 東芝エネルギーシステムズ株式会社
磯子エンジニアリングセンター
原子力安全システム設計部
安全システム技術第二グループ フェロー

4. 議題

(1) 安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価

(シビアアクシデント技術 中間評価)

(2) 安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価

(シビアアクシデント技術 事前評価)

(3) その他

5. 配付資料

名簿

資料1 原子力規制委員会における安全研究の基本方針

資料2 今後の研究評価の進め方について(抜粋)

資料3-1 安全研究成果報告(中間)(案)

・重大事故時における重要物理化学現象の不確かさ低減に係る実験

資料3-2 研究計画(案)

・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

資料4 評価シート及び御意見シート

参考資料1 安全研究成果報告(中間)(案)説明資料

参考資料2 研究計画(案)説明資料

6. 議事録

○遠山技術基盤課長 それでは、定刻になりましたので、第11回シビアアクシデント技術評価検討会を開催いたします。

原子力規制庁技術基盤課長の遠山でございます。

委員の皆様は、本日、お忙しい中、検討会に御出席いただきましてありがとうございます。

今回の技術評価検討会では、令和2年度に開始した1件の安全研究プロジェクトの中間評価及び令和5年度に開始する1件の安全研究プロジェクトの事前評価につきまして、研究手法や成果の取りまとめ方法などについて技術的妥当性について、専門家の皆様から様々な御助言をいただければと考えております。どうぞよろしく願いいたします。

○青野企画官 技術基盤課企画官の青野でございます。

本検討会では、主査を設定してございませんので、私の方で議事進行をさせていただきます。

本日の会合は、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを利用して

ございます。一般傍聴におかれましては、傍聴席の間隔を開け、席数を限定して行っております。

まず、外部専門家と専門技術者の方々を御紹介させていただきます。

本日は、外部専門家として、東京大学の糸井先生、東京都立大学の牟田先生、九州大学の守田先生に御出席をいただいております。

また、専門技術者として、株式会社原子力エンジニアリングの倉本さん、三菱重工業株式会社の高橋さん、東芝エネルギーシステムズ株式会社の田原さんに御出席いただいております。

まず、事務局より資料の確認をさせていただきます。

○鳥山技術研究調査官 技術基盤課の鳥山です。

お渡ししました資料としまして、議事次第、名簿、そして本日の資料を御用意しております。

本日の資料は、資料1としまして、原子力規制委員会における安全研究の基本方針を御用意しております。資料2としまして、今後の研究評価の進め方についてを御用意しております。資料3-1としまして、中間評価の対象となる安全研究プロジェクトの成果をまとめた安全研究成果報告（中間）と（案）を御用意しております。そして、資料3-2としましては、事前評価の対象となる安全研究計画をまとめました安全研究計画（案）を御用意しております。資料4としまして、技術評価検討会後に御提出いただく評価シート及び御意見シートを御用意しております。

今回、中間評価の対象となる安全研究プロジェクトは1件ございまして、重大事故時における重要物理化学現象の不確実さ低減に係る実験の安全研究成果報告を御用意させていただきます。

事前評価の対象となる安全研究プロジェクトは1件ございまして、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の研究計画（案）を御用意させていただきます。

なお、本日の御説明は、資料3-1、3-2に基づくスライドで行わせていただきますので、資料1、2としまして、それぞれのスライドのコピーを御用意しております。

また、外部専門家の方々には、技術的観点からのコメントを記載いただく評価シートを御用意しております。専門技術者の方々には、御意見シートを御用意しております。

過不足等がございましたら事務局の方へお知らせ願います。

○青野企画官 資料の過不足等はございませんでしょうか。

よろしければ、事前・中間評価に先立ちまして、評価の進め方等について事務局から簡単に御説明をさせていただきます。

○鳥山技術研究調査官 技術基盤課の鳥山です。

最初に、資料1、原子力規制委員会における安全研究の基本方針について御説明させていただきます。

簡易な御説明となりますので、資料の投影をせず、お手元の資料を御確認ください。

資料1、安全研究の基本方針は、安全研究の進め方に関する基本的な考え方、安全研究プロジェクトの企画、評価等についての基本的な方針をまとめたものです。

安全研究プロジェクトの評価については、基本方針の3ページに記載してございます。

原子力規制委員会では、安全研究の的確な実施及び成果の活用を図るため、各安全研究プロジェクトの開始・終了等の節目において事前評価・中間評価・事後評価を実施することとしております。

続きまして、資料2、今後の研究評価の進め方についてを御覧ください。

こちらは安全研究プロジェクトの事前評価、中間評価及び事後評価の評価手法、評価項目及び評価基準を明確かつ具体的に定めたものです。

これらの評価の中で実施する研究手法、成果の取りまとめ方法等の技術的妥当性評価については、外部専門家及び専門技術者からなる技術評価検討会を開催し、御意見及び評価をいただくことにしております。

いただいた御意見、評価結果につきましては、原子力規制庁が行う総合的な評価に活用させていただきます。

このような技術評価検討会の位置づけや進め方を御理解いただき、原子力規制庁が行う安全研究の評価に御協力をお願いいたします。

次に、専門技術者をお願いさせていただき御意見につきまして御説明させていただきます。

専門技術者は、産業界等の専門的な技術的知見を有する者として、電力事業者、メーカー等に属する者を選定してございます。

専門的な技術的知見からの御意見について、本日の技術評価検討会の中で御意見ください。

また、資料4の評価シート及び御意見シートのうち、御意見シートにいただいた御意見

の内容等を御記入し御提出をお願いします。

次に、外部専門家をお願いさせていただき評価につきまして御説明させていただきます。

資料4の評価シート及び御意見シートのうち、評価シートを御覧ください。

評価では、評価シートの評価項目というところに記載してございますような観点での評価をお願いしたいと考えております。

具体的には、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。解析実施手法、実験手法が適切か。解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。重大な見落とし（観点の欠落）がないか。このような観点から評価をお願いいたします。締切りは両シートともに10月18日火曜日までとさせていただきますと存じます。

事務局までメール等で御送付をお願いいたします。

今回の技術評価検討会での評価を踏まえまして、各評価結果について、今後、原子力規制委員会に諮る予定としております。

本検討会での評価についての御説明は以上でございます。

○青野企画官 本件につきまして、御質問、御意見がございましたらお願いいたします。

よろしいでしょうか。

それでは、安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価に移らせていただきます。

最初に、中間評価の対象となる安全研究プロジェクト、重大事故時における重要物理化学現象の不確実さ低減に係る実験につきまして、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の阿部総括技術研究調査官から説明をいたします。

○阿部総括技術研究調査官 阿部でございます。どうぞよろしくをお願いいたします。

右肩上、参考資料1と書いてある資料をよろしくをお願いいたします。

この資料に基づきまして、中間評価についての説明をさせていただきます。

めくっていただきまして、これが目次でございます。

研究概要、研究期間を通じた主要成果、並びにまとめという形で、主なる内容の説明をさせていただいた上で、4番目以降、成果の活用、公表、目標に対する達成状況、並びに今後の展開という形でお話しさせていただきます。

次、お願いいたします。研究概要といたしまして、まずは大きな背景ですけれども、原子炉施設の重大事故時等の対処設備に係る規則・ガイド等といたしましては、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」がございます。これにつきましては、重大事故時の原子炉格納容器の破損防止や放射性物質の放出抑制のた

めの対策及びその有効性の確認を要求しているところでございます。

また、同炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイドといたしまして、有効性の評価手法の妥当性を判断する上での留意事項を記載しているところでございます。

さらに、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」といたしまして、安全性の継続的改善に対する評価について具体的内容を記載しているところでございます。

これらにつきましては、最新知見を踏まえた規則・ガイド等の改訂等の要否検討を通じまして、原子炉施設の重大事故に対する安全性を向上させることが重要であるということ認識しているところでございます。

次、お願いいたします。本研究の概要の背景の具体的なものといたしましては、重大事故時に発生する現象におきましては、そのメカニズムが十分に把握できていないこと、実験継続手法の限界により実験データの解像度や信頼性が低いもの、実験データが取得された条件範囲が限定的であること、メカニズムは理解されているが物理モデルに反映されていないこと、並びに、重大事故の進展に応じた種々の熱水力的及び化学的条件が混在しているなど、様々な要因に起因する不確かさが存在いたします。

現象把握ができていない領域を特定し、実験的知見を取得することを繰り返すことによりまして、重大事故の進展予測や評価結果の不確かさを低減できるものと期待しているところでございます。

これを受けまして、次、お願いいたします。本研究の目的といたしましては、重大事故の発生防止、拡大防止及び影響緩和の各段階において生じる物理化学現象及びシビアアクシデント総合解析コード等でモデルの高度化が必要な個別現象について、その不確かさを低減のための実験データ及び知見を拡充するといたしております。

次、お願いいたします。対象とする物理化学現象といたしましては、重大事故時に発生する現象の中でも、国内外の既往知見及び前プロジェクトで取得した最新知見も踏まえまして、未だ大きな不確かさが残されている以下4つの現象を特定し、実験的知見を取得するといたしております。

その4つは、プールスクラビング、ソースターム、重大事故時格納容器熱流動、並びに粒子状デブリ冷却でございます。

次、お願いいたします。それぞれこれら4つの物理化学現象につきまして、まず1番目のプールスクラビングにつきましては、東京電力福島第一原子力発電所事故の各号機におけ

るスクラビング効果の違い。プール水温や沸騰現象の影響を特定されているところですが、それらをSA総合解析に考慮するには現象のメカニズムに則したモデルの開発が必要とされており、先ほどお話しさせていただいたメカニズムが十分に把握されていない、あるいは計測の限界があるというふうなものに該当するものとなっております。

また、2番目のソースタームにつきましては、制御棒等の構造材の影響や放射性物質同士の化学反応、放射性物質の再移行挙動、並びに燃料からの放出挙動などの個別現象については、知見が取得されつつあるものの、各々の機構に即したモデルの高度化がさらに必要であるとされており、実験データが取得された条件範囲は限定的である、あるいは事故時の進展に応じた種々の熱水力及び化学的条件が混在しているというふうなものに該当するものと認識いたしております。

3番目の重大事故時格納容器熱流動に関しましては、格納容器外部冷却時の上部フランジの過温破損への対策を考慮する上で重要な現象でございますけれども、重大事故時に想定される300℃超の高温条件についての知見が依然少ないという状況にあるものと認識いたしており、実験計測手法により実験データの範囲が限定されているというふうに認識しているところでございます。

最後の粒子状デブリ冷却に関しましては、熔融デブリの挙動は熔融炉心、並びにコンクリート相互作用を評価する上で重要な現象でございますけれども、その中で粒子状となったデブリの周囲流体を含めた伝熱流動につきましては、依然詳細デブリ解析コード開発に必要な実験データは不足しているというふうに認識いたしております。

次、お願いいたします。これらを受けまして対象とする物理化学現象とその知見の活用先といたしましては、本プロジェクトの範囲であるところのプールスクラビングにつきましては、粒子状放射性物質の移行挙動、ソースターム実験に関しましては、放射性物質の移行挙動、重大事故時格納容器熱流動に関しましては、格納容器の熱伝達や雰囲気挙動、並びに粒子状デブリ冷却性に関しましては、圧力容器内外でのデブリ冷却性に関する実験データ、並びに知見を取得することによりまして、これらの知見を直接的に活用する、あるいは詳細デブリ解析コードや総合SA解析コードMELCOR2などのモデルを改良する、あるいは組み込むということを経まして、重大事故緩和策を踏まえた事故進展及び現実的なソースターム評価を行う。

これによりまして、重大事故等の対処設備に係る規則・ガイド等の改訂の可否検討や審査への活用を目指しているところでございます。

次、お願いいたします。研究の概要といたしましては、ここに全体行程をお示しいたしております。4つの実験に対しまして、令和2年～7年までの6年間を予定しているところでございます。プールスクラビング実験並びに粒子状デブリ実験のように比較的小型の実験に関しましては、令和4年度までの3年間でおおよそその実験を終了させていただき予定にいたしておりますが、ソースターム実験、並びに重大事故時格納容器熱流動実験のように、比較的大型の実験設備を使うものに関しましては、6年間を通じまして、令和7年度までの実験を行って、それぞれの実験に対して総合評価を令和7年度に行うという形にさせていただいております。

具体的な内容につきましては、次のページから御説明させていただきますが、まず、プールスクラビング実験でございますけれども、これは水中にありますベント管等から放射性ガスを含んだ気体がプール中に放出された場合、気液の二相流となりまして、その気液の二相流の気体状態のものから粒子状の放射性物質が液中に捕獲されることによって除染が期待されるというものでございます。これにつきましては、小規模実験におきまして、気泡の上昇から、気泡内外の詳細なエアロゾル挙動を高い時空間解像度で把握してモデル化の高度化に資する知見を拡充しております。

中規模実験に関しましては、前プロジェクトで実施した大規模実験と異なるスケールでプール水温依存性を確認するということを目指しております。

次、お願いいたします。ソースターム実験に関しましては、ソースターム評価に関わる不確実さ低減に資する知見を拡充するため、4つの実験及び調査を実施いたしているところでございます。

1番目といたしましては、化学反応実験、2番目といたしましては、再移行挙動に係る調査ということで、これは右の図にお示しさせていただきましたように、一旦付着いたしましたエアロゾルが気流によって再浮遊する、あるいは再蒸発する、さらには液中にあるものは、再揮発あるいは気液界面で液滴同伴によって液中に放出される等々の現象に関わるものでございます。

これに関わる3番目といたしまして、気相化学実験並びに物質移行実験を行うとともに、CsI化学系を持つソースタームの放出の実験を大学との共同研究で実施しているということでございます。

次、お願いいたします。重大事故時格納容器熱流動実験といたしましては、格納容器破損防止対策の効果と熱流動現象について300℃超の高温条件での知見を拡充するため、

JAEAに委託することによりまして、大型格納容器実験装置CIGMAを用いた5つの実験を実施いたしているところがございます。

上部フランジを冷却することによって冷却後達成する、あるいは外面冷却時の格納容器内の熱流動を詳細に調べる、並びに熱及び物質移行の基礎実験とスプレー並びにベント時の熱流動を調べる実験を行っております。

次のページをお願いします。4番目ですけれども、粒子状デブリ実験におきましては、下の図に御覧いただけますように、aと書いてありますところの圧力容器下部ヘッドがあったときに、そこに粒子状デブリが堆積するというようなことが起こりました際におきましては、この粒子状デブリと下部ヘッドの間の熱伝達、伝熱が大事になってくるということでございまして、bに示しましたキャビティ側面/床面ライナ、あるいはcに示したような内部流を有する管構造における伝熱流動について実験的知見を調べるということを目指しているところがございます。

次、お願いいたします。これらの実験によりまして、2年間実施いたしているところでございますけれども、令和2年、3年、この研究期間を通じて得られました現状における主要成果をかつまんで御紹介させていただきたいと思っております。

このページにお示しさせていただいておりますように、まず、真ん中の図は、ノズルからの相対位置に対して縦軸が気泡の全界面積ですけれども、右の写真に御覧いただきますように、気泡が液中に噴出されたときにおきましては、実は大気泡が出て、その後に小気泡になるという挙動となっております。MELCOR等のシステムコードにおきましては、これは全部小さい気泡に分かれるというモデルですが、実際には大気泡が残存するという結果になりまして、真ん中の図にお示しさせていただくように、点線でのMELCORのコードは、全界面積を過大評価する一方、実際に計測された界面積はそれより下回っているという結果になりました。

次のグラフをお願いします。この右上の図ですけれども、これは縦軸にそれぞれの水深における横軸エアロゾルの粒径ですけれども、それに対する、規格化しておりますけれども、粒子の個数ということになっております。一番右がMELCORのモデルと称しているものは、0mの値~0.2m、並びに1.0mに至る水深においても、あまり粒子径が変化してないということに対しまして、実際の実験結果は水深によって大きくエアロゾル粒子が変化しているという結果になっておりますが、先ほどのMELCORの方におきましては、全界面積が大きいのに対して、実際にはあまり界面からの移行が少ないという結果は矛盾しているというふう

に思われるわけですが、下の図にお示しさせていただいているような光干渉計による気泡内外のエアロゾルの濃度場計測結果によりまして、実際には気泡の界面を揺動する、時間によって変化します。

それから、外側において複雑な流動が誘起されることによって、結果として界面からの物質移行が大きいのではないかということが考えられます。

次のページをお願いいたします。これを独自開発させていただきました固気液三相流解析コードの数値解析結果を右上にお示しいたします。左から1mm、3mm、5mm、8mmの4データですが、小さい量の場合には、非常に丸い形で、これはMELCORの解析の結果どおりなんですけれども、大きくなっていくに従って、右にいくに従って、界面変形が大きくなって物質移行が大きくなるということが現れまして、結果として、MELCORは界面積を過大評価するけれども、物質輸送係数を過小評価することによって結果として除染係数としては、適切な値になっているというようなことが分かりましたので、これらの結果を踏まえて新たなモデルを開発していくというのが、今年度の目標でございます。

次のページをお願いします。中規模実験といたしましては、前プロジェクトからの改良になりますけれども、プール水中でのエアロゾルの除去に対する水温の効果を改めて調べるということを行いまして、左の図にお示しさせていただくように、プール水温に対しまして除染係数DFは、大きく依存しないという結果が改めて得られたということでございます。

次のページをお願いいたします。2番目の実験の主なる結果でございます。ソースターム実験といたしまして、上の図にお示しさせていただいているように、水蒸気発生装置でアルゴンガスを注入いたしまして、高周波加熱炉でアルゴンガスを加熱し、電気抵抗炉にCsI、あるいはMoO₃を置くことによって、そこからの再蒸発挙動を見るという実験でございまして、温度勾配管と称している入り口において1,000K、出口において400Kの温度勾配をつけた管の中で、化学反応移行挙動を見るというふうな実験でございます。

下の左の図でございましてけれども、水蒸気雰囲気においては、ほぼCsとIが、横軸がこれがDistanceと書いてありますけれども、温度の勾配に相当するものと御理解いただきたいと思っておりますけれども、ほぼCsIの形のものが見られるということでございます。右の図の方を見ていただきますと、こちらの方は、酸素雰囲気で行った実験でございましてけれども、モリブデンとセシウムが卓越したピークが入り口-200mm、0mm、並びに出口近傍1,200mm、1,400mmのところにおいて見られることから、何らかの化学反応が生じているん

だろうということが伺える結果でございます。

次のページをお願いいたします。これは実験によって得られたサンプリング管、温度勾配管の中のサンプリング管の沈殿物のSEM写真、並びにEDSの画像でございます。赤く囲いました1, 100K、一番下の左の縦欄でございますけれども、セシウムとモリブデンのところにSEM画像と同様な画像が認識されております。

それから、一番右側、400Kにおいても、同じようにセシウムとモリブデンの分布において、これは粒径小さくなっておりますけれども、画像と同様の挙動が見られるということで、これは酸素ポテンシャルが高い雰囲気におきましては、 MoO_3 蒸気種のまま、下流側に移行、CsI及び MoO_3 の反応が生じまして、セシウム-モリブデン酸化物ができてくる。この結果といたしまして、揮発性のヨウ素が生成して、これがより下流に移行しやすくなるということを示すものだろうというふうに考えております。

次のページをお願いいたします。これらを裏づけるさらなる結果といたしまして、沈殿物のラマン分光スペクトルを計測いたしております。右側の図、一番右側にあるのが、クーポン（サンプリングペーパー）の画像でございますけれども、これに対しまして、真ん中のグラフがRaman siftに対するインテンシティでございます。右上の赤く囲ったところが2価のモリブデン、さらにその下に赤く値囲ってありますが、モリブデンの4価という形で、より下流に行くに従いまして、酸化数が大きくなるような反応が生じているということが見てとれるというふうな結果でございます。化学反応実験により、CsIと MoO_3 が反応が生じましてセシウム-モリブデン酸化物の生成が起こっている、これは雰囲気中の酸素濃度が大きく影響するだろうというふうな結論でございます。

次のページをお願いいたします。さらに、液中にヨウ素が捕獲された場合におきまして、これはそのままの状態では捕獲され続けるわけでございますけれども、そこに気相なりが注入されることによって、例えばスクラビングあるいは減圧のような現象によりまして、気泡が発生した場合におきまして、この二相流の界面において液相から気中に対してヨウ素の移行が生じるのではないかということについての実験でございます。右上に示しているのがその装置でございますけれども、左の図にお示しさせていただくように、これは線が実は2本あるんですけれども、この場合、模擬実験でございます。液中の酸素濃度を計測しているわけですが、この液中の酸素濃度が窒素をブローさせることによりまして、液中の方に移行しているということが実験解析でほぼ予測できるという結果が得られました。

次、お願いいたします。22ページは、CIGMAと称する重大事故時格納容器熱流動実験の結果の1例でございます。右上にお示しさせていただいたように、フランジ部に格納容器を模擬した装置のフランジ部に高温の蒸気を高速で噴出させまして、その表面温度を計測したという結果でございますけれども、左の図にお示しさせていただきますように、対策なしの場合におきましては、圧力が上がっていく、右側の図にお示しさせていただきますように、対策がない場合には温度も上がっていくということに対しまして、排気する、あるいはスプレイを出す、様々な対策を施す中におきまして外面冷却を行うことによりまして圧力が一番低下する、それから温度も低くなるというような結果が得られており、フランジ冷却及び圧力上昇抑制の効果が外面冷却が大きいという形になるものという結果になっております。

次のページをお願いいたします。そういったことが起こる際におきまして、格納容器の中でのこれはヘリウムにより、水素模擬してございまして、そういった軽い気体がどのような分布の状態になるのかというものを見たものでございます。真ん中の図はその濃度分布、横軸でございまして、縦軸が高さでございますけれども、注入がない場合、保持した場合におきましては、ここのグラフ、時間がいろいろ書いてある線があるわけですがけれども、成層化、上の方に濃度が高いところが出てくるという形になりますけれども、右側の図にお示しさせていただくように、蒸気並びにヘリウムを注入することによって、気体のプルームが発生して、そういった濃度の成層化というものは解消されるという結果になっております。

次のページをお願いします。こういった格納容器内の熱流動に対しまして、濃度勾配、濃度分布、成層化というものが、スプレイやベントによってどのように変化していくのかというものを見たものがこのグラフでございます。真ん中の図にお示しさせていただくように、徐々に成層化していくわけですがけれども、800秒付近からスプレイを入れることによりまして成層化が解消していくということになって、その後、ベントを行うわけですがけれども、その効果もある程度あるわけですが、右の図2枚にお示しさせていただくように、スプレイを行った後に2,400秒、かなりたった後にベントしたとしても、スプレイの効果の方が卓越いたしまして、スプレイの効果によって、成層化が解消しているというふうな結果になっているという次第でございます。

次のグラフ、お願いいたします。これは4番目の粒子状デブリの冷却実験ということで、一昨年度、昨年度行いまして、こういった実験がそもそも成立するのかというふうなこと

を調べることを行っておりました。

左下の図にお示しさせていただきますように、粒子状のデブリが固化している場合におきましては、粒子として固体としてそれぞれの伝熱挙動になるわけですが、右下の図にお示しさせていただいているように、粒子がある程度高温の状態に変形可能な状態にあるとすると、接触界面が押し出し圧によりまして変形するという事で、伝熱挙動が異なってくる事が予想されます。

次のページをお願いいたします。こういったものを流動可視化するために、右上の右の図に示させていただくように、ガラスビーズだけを見た場合においては、実はあまりよく見えないのですが、右下に示させていただくように、THVという水とほぼ屈折率が同じ粒子を使うことによりまして、粒子はあるのですが、中の流動状態を見ることができるといことがで、インデックスマッチングが可能だということ調べております。

次のページをお願いいたします。先ほどお示しさせていただきました様々な形の粒子の集合の形を3Dプリンタで作ります。そういったものに対して左の図にお示しさせていただくように、加熱可能なロードセルで加圧も可能な装置によりまして、押し込み圧を変えた状態において有効熱伝達率がどのようになるかというのを調べたのが、右の図でございまして、こういったデータが得られる一方、既存の式によっておおよそ実測値のばらつきの範囲で近似できるということが分かりましたということでございます。

次のページをお願いいたします。先ほどのインデックスマッチングの方法によりまして、粒子状デブリの中の流動可視化というものも行っていて、下の図にお示しさせていただくように、粒子層内の二相流等の構造分布が得られつつあるということになっております。

次、お願いいたします。現状におきましてですが、まとめといたしましては、重大事故時に発生する現象には様々な要因に起因する不確かさが存在しますが、本プロジェクトにおきましては、そういった重大事故時に発生する現象の中でも特に知見が欠如しており、まだ大きな不確かさが残っていると考えられ、以下4つの現象を特定し実験を行っておりますということで、これらのものに対しまして、本プロジェクトにより進展予測や評価結果の不確かさを低減に資する実験データ及び実験的知見が取得されつつあるというふうに認識いたしております。

次のページをお願いいたします。このようにして得られた物理化学現象の不確かさを低減に資する知見は、以下の検討への活用が期待できるということで、当初にお話しさせていただいたように、格納容器破損防止対策の有効性評価に係る適合性審査及びそのガイド

の記載拡充の検討。

それから、実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイドの記載拡充の検討等に使われるものと考えております。

次のページ以降、成果の公表等々に関しまして、それぞれ規制庁から出た論文、並びに依頼先による論文、これらのリストが32ページに示されております。さらに、その次、33ページですけれども、国際会議のプロシーディング、並びに、さらに次のページをお願いいたします。プロシーディングの発表並びに学会表彰等をこういった形で成果が上がっているというふうに認識いたしております。

次のページをお願いいたします。以上のものを取りまとめまして、成果目標に対する達成状況です。プールスクラビング実験に対しましては、小規模実験、中規模実験を進めることによりまして、詳細なメカニズムが明らかにされているとともに、DFの温度依存性に関する実験結果が調べられているということで、令和4年度末までに終了する案件でございますけれども、さらに実験し、これらの知見を踏まえて最終的な令和7年度に総合評価を行う予定で順調に進展しているというふうに認識いたしております。

次のページをお願いいたします。ソースターム実験に関しましては、先ほどお話しさせていただいた4つの現象に着目いたしまして、文献調査、基礎実験を実施しており、測定技術の確立や支配因子等の現象把握を概ね完了いたしております、これにつきましては、令和4年度以降も7年度まで、さらに実験を進めさせていただくという予定でございます。

次のページをお願いいたします。重大事故時格納容器熱流動実験に関しましては、上部フランジの加熱実験等々進めさせていただいておりますけれども、300℃超の超高温雰囲気条件を含む実験データベースを構築したということで、令和4年度までこの実験データベースを拡充する予定で順調に進展しているというふうに認識したいと思っております。

次のページをお願いいたします。粒子状デブリ実験に関しましては、基礎実験技術を構築するとともに、個別効果実験を実施いたしております。今後は総合効果実験を行っていくということで、接触熱伝達率のモデル化に向けた実験データベースを令和4年度、今年度中に拡充するというふうに考えており、順調に進んでいるというふうに考えております。

次のページをお願いいたします。取りまとめまして、成果目標に達する達成状況でございます。それぞれ4つの実験に対しまして、令和2年度～7年度までですが、今回お示しさせていただいたものは、令和2年度、3年度の2年分の成果でございますけれども、令和3年度終了時点で予定した項目について計画どおりに進んでいるというふうに認識いたしてお

ります。

次のページをお願いします。最終的には、残りのプロジェクト期間、令和4年、5年、6年、7年において、重大事故時の物理化学現象に関わる不確実さを低減するための実験をさらに実施する予定にさせていただいております。

以上でございます。

○青野企画官 それでは、質疑とさせていただきます。

質疑につきましては、最初に専門技術者の方々から、次に、外部専門家の方々からの順で挙手のマークを押していただいた上で御質問、御意見をお願いいたします。

なお、御発言の前に所属とお名前をおっしゃっていただきますようお願いいたします。

まずは、専門技術者の方々から御質問、御意見をお願いいたします。

倉本さん、お願いいたします。

倉本さん、音声が入っていないようですので、よろしく申し上げます。

○原子力エンジニアリング（倉本） すみません。原子力エンジニアリングの倉本です。

中間報告に関して幾つか意見と質問を述べさせていただきたいと思います。

まず、全体的な観点で、1点、意見を述べさせていただきます。

重要物理化学現象の不確実さ低減を目的とされ、様々な実験を計画、実施されており、ここでの不確実さは、認識論的不確実さだと思っておるのですが、各現象においてどのような要素の、どういう不確実さをどのように、あるいは定量的に言えるのであればどの低減するのかというような不確実さ低減の観点での目標も明確に示していただくのがよいのではないかというふうに感じました。

今の説明資料の中の6章にて、成果目標に対する達成状況として成果目標が言われておりますけれども、いずれもこういう実験をするということ自体が目標となっており、その実験のモチベーションであるべき不確実さ低減の観点での目標の言及がないのではないかというふうに、ないというか足りないのではないかなというふうに感じています。この不確実さ低減に係る実験という、かなり事業者も取り組むべきいいテーマのタイトルだと思うんですけども、今のような点を明確にすることは、エディトリアルな見地だけでなく非常に重要な点であると考えており、そういう目標に照らして実験などの重要性を判断、評価することも出てくるだろうし、また、こういう成果を規制に活用する上において、事業者に対しても分かりやすく示すことになることも期待できますので、そういう点も御検討をいただければいいのではないかなというふうに考えました。まず、全体的な観点で1点の

意見であります。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。貴重な意見、どうもありがとうございました。

御指摘の点につきましては、我々も全く同感といたしますか、共有させていただいております。不確かさというのは、一番初めに述べさせていただいたように、特に実験とか現象に関しましては多岐にわたります。

個別具体的に少しだけ示させていただくと、プールスクラビングのようなものは、SPARC-90とか、そういうモデルが総合解析コードに組み込まれておりまして、これを使って予測をしていくということになります。こういうものの不確かさというのは現象が多岐にわたりますので、最終的に総合解析コードにおきましては、大規模実験等による、ある意味実験的なフィッティングを行っているモデルなどもありますが、今回お示しさせていただいたように、実際には界面積と界面からの物質移行というのは実は二つ要素があって、それが実は精度にそれぞれ不確かさを持っており、片方だけよくしても全体的にはよくなるという不確かさがあります。これを両方適切に扱うことによって、より汎用的な条件が異なる、体系が異なるというものに対しましても適切に使えるモデルになっていくことを期待しているというふうな意味の不確かさです。

それから、ソースタームに関して申し上げますと、実は再移行挙動につきましては、これは総合解析コードでも取扱いが極めて困難で、まだやられてない部分なんですけれども、特に構造材、モリブデンとかそういうものの効果がPHEBUSの実験などで実際あるんじゃないかという指摘があります。それに対して具体的にどうあるのかというふうなデータについては実は確かではない、不足しているということが、今回まだこれからですけれども、非常に明瞭な結果が得られつつあるというふうに認識しておりまして、これを組み込むことによりまして、そういう現象把握の不確かさみたいなものが改善されていくんじゃないかとか、そういうことを考えております。

以下につきましても、同様な様々な不確かさを個別に把握させていただいているところなんですけれども、これらが最終的にどういう形になったかにつきましては、御指摘のとおり、規制など、あるいはガイドなり、そういうものへの反映の要否に対して貢献できるような形で取りまとめさせていただきたいというふうに考えている次第でございます。

○倉本専門技術者 大筋は理解しました。現状、今、評価結果の不確かさとだけ、かなりばくっとまとめられているところについて、恐らく今後の結論なども踏まえて、この要素

のこの部分の不確実さといったことも明確になりつつ示されていくということを期待するといったところのコメントでございますので、今後もよろしくお願ひしたいと思ひます。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。

○倉本専門技術者 それから、今のプールスクラビングに関して、幾つか確認、質問を続けてさせていただければと思うんですけども、よろしいでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 よろしくお願ひいたします。

○倉本専門技術者 プールスクラビングにつきましては、BWRのサプレッションプール対象でなくて、我々事業者のPWR側でもSGTR時の炉心損傷後の冠水などでの評価において重要な可能性があり、知見の充実が期待される現象であるというふうに捉えているところで、今の研究の中身を見ますと、実験の検証などを通じて、MELCORのSPARC-90モデルを改良するという取組を実施されているという理解をしており、今のこの研究の状況を見ますと、改良のSPARC-90モデルにおいて物質輸送係数などを改善したとの御報告はあるんですけども、この改良SPARC-90モデルを用いて、これまで実施された小規模とか中規模実験の検証計算というのはやられているのか。あるいは、やられておって、その効果を確認しているのでしょうかということをお願ひさせていただきます。

例えば、報告書の図の2.1.5、あるいは2.1.6といった気液界面積、あるいはDF、こういったもので旧SPARC-90モデルであった差異というのがかなり大きいというふうに認識しているんですけども、それが解消方向になっているのかどうかということ、あるいは、今後そういう検証計算を実施していく予定があるのか、そういった点についてお教へいただければと思ひます。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。まさに、そこがポイントと思っております。あくまでこれは小規模実験、非常に精緻で高精度ですけれども、ある意味、限られた1個の気泡の中の挙動を詳細に見て、それをある程度の二相流の挙動に反映するというものです。これを今まさに御指摘あったようにモデル化するというので、結果としてSPARC-90のモデルというのは、同様に非常に簡単なモデルで経験式などがいっぱい入っております。こういったものに反映したいということで、本年度モデル化をぜひ完遂したいというふうな予定になっているというふうに聞いております。

実際に個別のこういうハウスメイドのコードでそういうDFを評価して、いい線に行くだろうということはできると思ひますが、実際にはシステムコードに入れて、実際にその性能を把握、あるいは使っていただくというのが最終目標になると思ひます。それについて

は例えばMELCORであるとサンディア国立研究所が作っていたりして、現在それはロードモジュール提供だったりしますので、こちらとしては国際会議、CSARPのようなものとか、そういう枠組みがございますので、そういったところを活用してゆきたいと考えております。

その前提としては、評価の高い学術雑誌にしっかり出していただいて、その評価を受けて、そういった汎用のシステムコードのモデルを変えていっていただきたいというふうなアクションにつなげていきたいと、それが現状における第1段階になると思います。

実際、システムコードは、現状においては、やはりSPARC-90オリジナルがもう入っておりますので、その評価にはなるのということが、2段階でございます、個別のコードではできますけれども、システムコード、汎用的なものに関しては、そういう国際協力的なものを期待したいというふうな形になると思います。

○倉本専門技術者 理解しました。今後の進展にも期待させていただきます。

あと、もう1点、今のにも少し関係するところになるかと思うんですけども、物質輸送係数に対するエアロゾル粒子径、あるいは気泡径の影響について、今の研究でもCFD解析結果をリファレンスとしてSPARC-90モデルを改良しているといったような形を今の報告内容からも理解しているところです。この場合に、CFDの解析結果そのものの妥当性といったものについては問題ないのかという点が気になったところです。CFD解析コードとして、今何を使用して検討をされているかなどの検討過程も含めて、報告書においてそういったどういうコードなのか、あるいは、その妥当性はどうかといったような言及も必要ではないかなというふうに感じています。

これについてはいかがでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。まさに、ここがこの研究の売りになると思うんですけども、全くオリジナルです。全くのオリジナルで、完全にゼロから作ったものですが、これについてはInternational Journal of Heat and Mass Transferという、サイテーションが非常に大きい雑誌に既に掲載されておまして、それに当たっての検証には、ホログラフィーといいますかシュリーレン、干渉計で気泡内外の流動挙動とか物質移行のようなものも計測を、実は同時にしておまして、そういったデータベースを用いた検証とかを行って、解析そのものについてのベリフィケーションをやらせていただいているという状況でございます。

○倉本専門技術者 分かりました。

あと、もう1点だけ最後に。プールスクラビングに関して、もう1点だけ。実験装置に関

して、御確認と御質問をさせていただきたいと思います。

中規模実験装置での気泡注入方向に関しての質問になるんですけども、今、幾つかの実験が行われておって、気泡注入ノズルは装置によって上向き方向、それから横向き方向というのが使い分けられているかというふうに見ております。今、報告書の図で言いますと、高温ガスジェット注入試験、2.1.24ですか、報告書、図のそののみが上向き注入で、あとは横向き注入というような実験体系だというふうに感じているんですけども。こういうノズルの向きによって、初期の気泡上昇速度が異なったりであるとか、気泡中のエアロゾルの粒子の挙動が異なる可能性があるのではないかというふうに感じており、そういうのが実験結果に影響というものがないのか、そういう装置の方向に対して影響がないのかということの懸念を持つんですけども、そういったところに対する考えとか懸念というのは、いかがなんでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。懸念というよりは、差異だと思えます。そういう注入方向、並びにやはり流速というようなものも影響します。

今回の場合、特にお示ししたものは、水温の効果をまずははっきりお示ししたいということで、水中に入っていくエアロゾルを含んだ気相の中の除染、DFが水温の影響を受けるか受けないかということが第一関心事だったので、より素直な体系といいますか、垂直に入れて、それでそういった効果を見るということ、まず、ここではお示しました。けれども御指摘のとおり、横から入れましたという場合において、様々な実は効果が想定されるわけですけども、そういったものも実験では行っているというところになっておりまして、それについても、ある程度は取りまとめができるのではないかというふうに考えております。

○倉本専門技術者 分かりました。ありがとうございました。私の方から、まず以上です。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

田原さん、お願いいたします。

○田原専門技術者 東芝エネルギーシステムズの田原です。

実験、4種類ございますので、その実験ごとに幾つか質問がありますので、ちょっと実験ごとに区切って質問をさせていただきたいと思います。

まず、プールスクラビング実験なんですけれども、質問は4点あります。まず一つは、小規模実験ですけども、実験の内容が分かるように、報告書に実験条件、圧力、水温、

気相の組成、気相温度を記載していただいた方がよいと思います。

あと、実験と実機の比較のためにウェーバー数が表示されていますと、その実験条件の妥当性を判断しやすいと思います。

2点目ですけれども、先ほどの倉本委員の質問とも重なるのですが、小規模実験の装置図ではノズルが上向きで、実機とは異なるように見えるのですけれども、ノズルの向きとかタイプというのは結果に影響しないのでしょうかという質問です。

あと、3点目は、中規模実験では大規模実験におけるエアロゾル計測の問題を解明して、装置の改良を行って、DFの水温依存性を正しく把握できたことがよかったと思います。プールスクラビングのDFは水温依存性が認められないということが分かりましたが、ウェットウェル全体でのDFという観点では、プール水温に対し気相温度が若干低い場合に、気相放出されたエアロゾルの成長による重力沈降が効いてくるという理解でよいのでしょうか。

あと、4点目なんですけれども、図の2.1.25の相関式、報告書の36ページなんですけれども、ウェーバー数の値にかかわらず、上限値の50で一定になっているという説明をされておりますけれども、相関式の適用範囲は試験の範囲と合っているのでしょうか。相関式の適用範囲を報告書に記載していただいた方がよいかと思います。

すみません、以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。順番にお答えさせていただきます。実験条件の記載並びにウェーバー数の記載については、そういうふうにさせていただきたいというふうに思います。

それから、小規模実験において、一応やはりノズルを下から入れているんですけれども、MELCORのほか、ほかの実験もある程度、流速を変えたりとかやっていたりするわけですが、少なくともこの流速範囲におきましては、ノズルの入り口の方向性については、小規模実験に関してはあまり見られなかったというふうな形になるかと思います。

それから、DFの件ですけれども、実は二相流が液中に入ってから除染の効果に関しては、実は水温はあまり効かなかったということですが、それは御指摘のとおり、気泡の中の粒子の挙動がある程度効く可能性はあるんですけれども、それは水深に依存していて、今見ている水深においては、それは顕在化してないということでした。

また、さらに申し上げさせていただくと、実は三つ分かれていまして、ノズル注入口における、非常に低水温だとすれば、そこに入ったところの凝縮挙動、MELCORなど一気に凝縮するという、そういうモデルになっていますから、そういうものとか、あと、水面から

出ていった先において、そういう粒子のようなものが凝集して、ある程度影響を受けるとか、そういう様々な現象はあることはあるんですけども、今見させていただいている水位のあるプールの中での挙動に関しては、御指摘のような点がある程度限定されているとすれば、あまり影響はないと、そういう結果になったと考えております。

それから、もう一つの相関式の適用範囲ですが、これはスペインの方でやられている方がいらっちゃって、ある意味これしかないんですけども、ずれています、ずれていると思います、適用範囲もずれていると思います。なので、本当のことを言えば、あまり比較をしていい、適切なのかという御指摘は全くそのとおりですけども、ほかに実はない、不確かさの極めて大きい現象のまさに幾つかのうちの一つですけども、これに関しては既存の式、もし使えるものがあるとなればこれになってしまうんですけども、それはこの程度のものであるというふうなそういう意味です。御指摘のとおり、適用範囲とか、そこら辺を触れさせていただくことがフェアだと思います。

○田原専門技術者 ありがとうございます。続けて、次の実験について質問してもよろしいでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 よろしく申し上げます。

○田原専門技術者 ソースターム実験については、2点プラスアルファあります。

まず、1点目なんですけれども、気相化学・物質移行実験について、二重境膜モデルで使用する気液界面面積の評価が重要になると思います。そのため減圧沸騰時等の気液界面面積の評価方法について、今後検討を進められるのでしょうか。

2点目は、68ページ、報告書の68ページにMELCORコードを用いた評価の説明があるんですけども、図表が掲載されていないで文章だけですので、できれば比較した結果の図表を報告書に掲載していただけたらと思います。

あと、ちょっと全体で気になった点の一つありまして、溶存気体が気相に出てくるのは、揮発ではなくて放出というのではないのかと思っています。揮発というと液体が蒸発するイメージがあるので、ちょっとこの違和感は私だけなのか分からないんですけども、直せとかそういう話ではなくて、ちょっと気になりましたということです。

以上です。よろしく申し上げます。

○阿部総括技術研究調査官 ここのお示ししている物質移行に関しましては、実は共同研究で行っておりまして、そのポイントは、まさに御指摘のとおり、界面積が実は影響があるんじゃないかというふうなことですけれども、実際に界面積というのは二相流挙動に連

動しておりまして、それを条件ごとに分けて見ていくというのは極めて困難です。今回この実験、研究に関しましては、実は界面積と物質移行というものを掛け算で取り扱うことによって、ある意味、独自のモデルを開発されていまして、それによって結果としてここにお示したような最終的な移行挙動についてはよく予測できるというモデルを作りましたと、そういう次第です。だから御指摘のとおり、二相流挙動の界面積を精査するというふうなのは、この場合かなり難しく、それを避けるためのモデル開発をしていたというふうなものです。その記載については、多分、論文作成等に関係してあまり書かれていなかったかもしれないのですが、最終版に対しては入れられるというふうに考えております。

それから、二重境膜モデル、揮発というかどうかとか、御指摘のとおりだと思います。移行挙動、液相から気相に移行する、それは物質移行挙動だとは思いますが、この場合、言葉の流れといいますか、ソースタームのところに関しての再移行挙動というふうな分け方の中で、一応ちょっと報告書の中のつながりに再揮発という言葉になっていたもので、それに統一させていただいているんですけども、分野にもよりますし、ちょっと違和感があったりするかもしれません、それは御指摘のとおりだと思います。

あと、真ん中の何でしたっけ、何ページでしたっけ。

○田原専門技術者 68ページ。文章だけ見ても、何かよく分からなかったです。

○阿部総括技術研究調査官 分かりました。検討させていただきます。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

じゃあ、続いて、重大事故時格納容器熱流動実験の方の質問をさせていただいてよろしいでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 よろしくお願ひします。

○田原専門技術者 これは6点あります。74ページに、幾何学形状にも強く依存する結果となったという記載があるのですが、この結果はどこを見れば分かるのでしょうか。幾何学形状への依存性というのは、どこから分かるのか教えていただきたいと思います。

あと2点目が、図の2.3.7の排気ケースの内側ガスケットの温度が排気前に変動するのはなぜでしょうか。排気前はベースケースと同じ条件だと思いますけれども、内側ガスケットの温度が低くなる理由というのは何かあるのでしょうか。

あと3点目、78ページの中頃に、実機では格納容器の上部ヘッドに高濃度の水蒸気が蓄積されることが予想されることから、水蒸気-ヘリウム2成分体系の条件に近くなると考え

られるとあります。LOCA（冷却材喪失事故）を起因とする場合には、この条件に近いと考えられますが、過渡を起因とする場合には、水素は一旦ウェットウェルに移行して、窒素と混合してドライウェルに戻ってきますので、シナリオによっては2成分体系の条件に近くなるか、3成分体系の条件の近くなるかというのが変わってくると思います。これはただのコメントです。

あと4点目ですけれども、図2.3.9の容器側面のフランジの上から1段目と2段目の間に容器内に仕切りがあるように見えますけれども、これはウェルプラットフォームの床を模擬したような、流路を狭めるためのものなんでしょうか。実機では、さらにプラットフォームを貫いてダクトが通って、トップヘッドの領域とその下のドライウェルを連通していますけれども、このようなダクトの存在が成層化の生成・消滅に与える影響について、今後調査する予定はあるのでしょうか。

あと、RPV（原子炉圧力容器）ヘッドからの放熱の影響等についても、今後検討する予定はあるのでしょうか。

あと、5点目ですけれども、ちょっと細かい話なんですけど、図の2.3.12のCC-PL-45、左下の図になるんですけれども、時刻0で容器上部のヘリウム濃度が高いようですが、これは結果には影響していないのでしょうか。してないように見えるのですが、これで初期条件としてはよかったですかねという質問です。

あと6番目は、図2.3.15にヘリウム濃度のプロットがありますけれども、これは水平断面平均値でしょうか。濃度の計測位置とデータ処理について記載があるとよいと思いました。

以上です。お願いします。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。多岐にわたるので、私からは私で答えられる範囲で、残りは担当の者に代わりたいと思います。

まずはコメントですが、78ページのコメントは全くそのとおりで、シナリオ依存で2成分、3成分、様々な状態になるというのは、もう全く御指摘のとおりで。実験装置としては、ある意味どんがらですので、そこをパラメトリックに2成分、3成分で調べましたというふうな意図になると思います。

すみません、担当の者から。

○金子主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門の金子です。

ちょっと申し訳ありません。ちょっと幾つかコメントを逃してしまった点もありますの

で、教えていただければ幸いです。

ちょっと、まず分かる範囲ですと、図2.3のヘリウムの成層化の0秒で成層化しているという点だと思いますけれども、恐らくそれは2.3.12であるとか、これが水平のもので、その前の2.3.10ぐらいの図に関してだと思うんですけども、図の色が分かりづらくて恐縮なんですけれども、例えば図の2.3.12に関しましては、0秒ではなくて8,000秒ぐらいで成層化しておりまして、これ図が同じ赤色の線で重なっておりますということだと思うんですけども、いかがでしょうか。

○田原専門技術者 上から二つ目のプロット点がちょっと山のようにとがっているところがあって気になったのですけれども、初期状態でフラットになってないけれども、実験を始めてしまったんですねと思ったんです。図2.3.12の左下の図です。

○金子主任技術研究調査官 すみません、ありがとうございます。これは確かに初期条件になりまして、結果としてこの実験に関しましては計測の不確かさ等もありますので、改めて確認したいと思います。

必ずしも同時に計測しているものではなく、順番にデータを取るということもあり少し不確かさというものがあると聞いておりますので、その点は確認して対応したいと思います。

○阿部総括技術研究調査官 あと、ちょっと幾つかのコメントの中の計測位置は、中に濃度センサーとかが入っていて、そこから取ってくる、網目状にこの中に設備されているという形になっているということが1点と。

あと、ダクトという話ありましたが、それはなくて、ほぼどんがらです、中に仕切りとかはない状態です。ただし、計測のための構造物がある程度入っています、温度計とか、濃度計とか。

○田原専門技術者 ありがとうございます。どんがらの場合はこうですという話ですね。

○阿部総括技術研究調査官 そういうことになります。はい、そういうことです。

○田原専門技術者 ちょっと細かいので、シートの方に書かせていただくので、それで御確認いただければと思います。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。はい、助かります。

○田原専門技術者 すみません、あと私だけ長くなって、すみません。粒子状デブリ冷却性実験について確認があります。まず、全体に対してなのですけれども、総合効果試験の目的と技術的概要及び基礎試験との関係が分かるような説明が最初にあるとよいと思いま

す。総合効果試験でどのようなデータを取得するのか、それに対して基礎試験の実施及び結果が妥当であるかを判断することになると思うのですが、総合効果試験の内容がよく分からないので、基礎試験が妥当かよく分かりません。また、総合効果試験の結果を実機評価にどう活用するのか、実機外挿性をどう考えるのか説明があるとよいと思います。そうすると、基礎試験の内容が適切かが判断できると思います。

あと、もう一つあって、参考資料1の13ページの目的のところには、接触状態変化に伴う粒子状デブリと金属表面の接触熱伝達による構造健全性の問題に関わる不確実さの低減とあります。そのためには接触状態変化がどのように、どの程度生じるかを評価する必要がありますが、その点についてはどう考えていますでしょうか。

例えば、粒子の冷却性は粒径に依存すると思います。半固化状態を維持できる粒径の下限値はどれぐらいか、完全に固化した小粒径粒子と半固化状態の大粒径粒子が混合した状態を想定しなくてよいのかという点や、半固化状態といっても全体が一様な硬度ではなくて、表面が硬いクラストで覆われて、内部は固液共存のような状態になっていた場合、それが押しつけられたときにクラストが破壊されて中身が飛び出すというようなことが起きるのかなど、接触状態及び堆積状態がどのように変化していくのか、その不確実さを低減することが重要だと思います。高さ方向で潰れ具合も変わってくると思いますし、検討すべきことが結構たくさんあるのではないかと思います。

この研究では、粒子状デブリは均一の球形で規則正しく整列した堆積状態を想定しているように見えるのですが、その想定でよいという説明が足りないのではないかと思います。

あと、以上が全般的なコメントで、あと個別効果試験に対するコメントがあるのですけれども、続けていいですか。接触熱抵抗実験は、あくまで総合効果試験の試験装置の接触熱抵抗測定のための実験ということでしょうか。接触熱抵抗実験で用いた試験体と同じ材料で総合効果試験も実施するという理解でよいでしょうか。

その場合、材料選定の観点というのは、その実機外挿性を考えた場合に適切なのかというところがちょっとよく分からないので、教えていただきたいと思います。

あと、接触熱抵抗実験の温度条件が総合効果試験の温度条件と同じくらいなのかというところがよく分からないのと、あとデブリが半固化状態ということは、温度は1,800℃くらいになると思われるんですけれども、その場合は輻射、接触熱伝達に対する輻射の影響が無視できなくなると思われますけれども、その点も含めて実機外挿性に関する考え方が示されているとよいと思います。

あと、流動可視化実験なんですけれども、表2.4.5の実験条件のところに、気相と液相の体積流量を記載していただいて、粒子層内と、それから壁面との間の j_g 、 j_l は実験結果の方に記載した方がよいと思います。そうすると、この実験でどういう二相流の条件で実験しているかが分かるので、そうしていただけるといいと思います。

あと、総合効果試験は、加熱による蒸気発生だけで、液相と気相を下から流入させるということはしないのかということと。あと実機を考えたときは、下から液が供給されるというのはあまり考えにくくて、上からの給水と蒸気発生 of 相互作用でどういう流動様式になるのかというのが、今日、関心事になると思います。

例えば、不均一粒子の非均一堆積によって、給水チャンネルと排気チャンネルが形成されるのかとか、そういったところの分析につながっていくとよいのかなと思います。それを考えると、均一な充填層、下から上に二相流が流れるような体系でよいのかどうかというのがよく分からないので、そここのところの見解を教えてください。

すみません、以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。まず、個別の話の前提といたしまして、このプロジェクトではないコード開発というプロジェクトも実施させていただいております。そこでは溶融物に関する様々な取扱いを非定常、多次元で取り扱えるような粒子も含めた、そういうふうなコード開発を進めさせていただいております。

この実験に関しましては、そういった詳細な非定常3次元の、しかも溶融物が、今まさに御指摘のように、完全に固まっているもの、あるいは半固化状態とか、そういうものも取り扱えるようなものとして開発を進めております中での取扱いのための、ある意味一つのベンチマーク的なデータを取得したいというふうなことが、一つの狙いとしてあります。

ですので、実際の検証においては、まさに御指摘のとおり、粒径も違うでしょうし、様々な状態になっているということもありますし。それから、それが固まっているもの、固まってないものとか、様々な状況にあるものと思いますので、それらの知見をダイレクトに得ることができればいいんですけども、それを行うためのコードを開発するための、ある意味ベンチマークとして、実際には現象と少しずれる可能性もありますけれども、3次元プリンターで一応粒径を円にした状態、あるいは、それがちょっと接触して変形したようなものというものを数多く用意させていただいて、それによって流動なり、それから伝熱なりの実験を行うということを目指しています。

総合効果実験と、総合実験と称しているのは、その流動と伝熱、両方やるという意味

の総合というふうなことで考えているという次第でございます。

それから、確かに実現象におきましては、下から水が入れば、かなり冷却されるという現実がありますけれども、キャビティなり何なりをした場合においては、やっぱり上からの冷却しかないとなれば、CCFL（気液対向流制限）とかで冷却限界は来るわけですが。そういったものを含めて取り扱えるような、そういう、これもオリジナルですが、規制庁オリジナルのコードに対してのモデル開発に資するようなデータベース、不確かさを減少するためのデータを目指しているという形になると思います。

よろしいでしょうか。個別にいろいろご指摘があったんですけども、一昨年度におきましては、そういう個別の流動の挙動が見られるかというようなこととか、伝熱が見られるかとか、押しつけられたときの挙動がどうなりますかというのを個々に調べていって、今年度ですけども、それをトータルに見ていこうというのを総合効果試験というふうに称しているものでございます。よろしいでしょうか。お答えになっておりますでしょうか。

○田原専門技術者 総合効果試験が具体的にどういうものかは、まだよく分からないのですが。分かりました。

○阿部総括技術研究調査官 このまとめの一番最後にも書いてあるんですけど、今まさに検討中というふうな形になっておりまして。本年度、大分様子は見えつつもあるんですけども、個別の技術が使えるねというふうな前提で、それらを伝熱と流動と合わせた形の実験、どこまでできるかということは今まさにやっただいていっているところということになっていると思います。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

高橋さん、よろしく願いいたします。

○高橋専門技術者 三菱重工、高橋ですが。

大きく三つ、質問させてください。一つ目が、先ほどの説明資料で6ページなんですけど、まず、対象とする物理化学現象というのを四つの現象を特定しましたよというふうにあつて、冒頭の倉本さんの質問と多分同じなんですけども、これ四つを特定したよというところなんですけども、ほかの現象との対比というか、何かPIRT（重要現象ランキングテーブル）か何かやられているんですけども、この四つをやっておけば必要十分だよという、そういう何か考察があるといいんじゃないかなと思いました。

それから、2点目、同じような観点で、ソースタームにつきましても、さっきやはりここも四つ特定しましたよということで、エアロゾルの再浮遊とか、再蒸発とか、四つやればいいんだというような形なんですけども、これ説明資料の最終ページ、参考2に全体像をつけていただいている報告書にも載っているんですが、これとの対比をしようとすると、多分この辺りかなとは思いますが、言葉が変わっていて、ちょっとその対比を明確にさせていただいていると分かりやすいかなというのが2点目です。

それから、最後、3点目なんですけど、先ほど阿部先生もおっしゃられていたんですけど、コードの改良に国際協力が絡みますよということで、これいろいろ実験されて、SPARC-90とか話題になっていますけども、それをMELCORを改変するとき、改変権とか著作権に絡んでNRC（米国原子力規制委員会）とどういう手続をして、こういった成果を実現しているかとされているのかというのは、ちょっとその辺の手続のことがざっくり分かったら教えていただきたいなど。

以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。非常に適切な、我々も考えているところの御質問いただきまして、ありがとうございます。

四つの現象を特定させていただいておりますし、ソースタームについても、それぞれこういう実験はというふうなことを述べさせていただきましたが、まさに御指摘のとおりです。一番最後に書いてある参考2資料がございますけれども、事故進展に伴う例えばFP（核分裂生成物）の挙動がありました、現象はどう、具体的な物理化学現象で、実は国内外の試験がやられておまして、そこから得られる情報はこういったものか、そういうふうなもろもろを受けて、モデル改良なり、パラメータ調整というのはどうあるべきかというのが参考2資料の一番下にあります。こういった形に結びつけられることができれば、最終的なコードの不確かさを低減するという形に結びつくものであろうというふうに考えている次第でございます。

ただし、MELCORに関しましては、あくまで（米国）サンディア国立研究所の方で開発されていて、先ほど述べさせていただきましたけれども、そちらの方でロードモジュールの形でリリースするというものでございますので、こちらの方でユーザーーチンのようなものもあるんですけども、そういうものを活用するなりもあるんですが、最終的に汎用的なものとする意味においては、NRCとの枠組み、国際協力の枠組み、CSARPというふうに言われるような国際的な場があったりいたしますので、そちらでこういういいモデルだよと

か、信頼性があるとか、確かに不確かさが低減されるんだぞというふうなことを御認識いただければ、MELCORの中にも入っていくのではないかとというふうに期待しているところです。いかんせんシステムコード大きいですし、使用されている場も大きいので、いかなるモデルにおいても、それをNRCが認めて、サンディア国立研究所が確かに対応しますというふうなところに関しては、道のりはある程度あるかなと。ただ、そういうふうなプロセスを経る必要があるだろうというふうに認識しているところです。

○高橋専門技術者 分かりました。ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、外部専門家の方々から御質問、御意見をお願いいたします。

まず最初に、糸井先生、お願いいたします。

○糸井委員 ありがとうございます。技術的などころというよりは、ちょっと形式的なところを中心に、三つ質問をさせていただきたいと思います。

一つ目が、先ほど来、倉本さんからも議論があったところなんですけれども、不確かさの考え方についてです。今日の議論自体は大変よく分かるんですけど、一方で報告書で用語の定義というのがありまして、そこに解析上の不確かさというものを定義していただいています。ちょっとこの定義はいかがかなと思います。というのは、これ、まず、ばらつきと書いてある、ばらつきという、どちらかという、偶然的な不確かさを表しているように思います。これよりは平均値とか、ばらつきとかで表せなかったものを表せるようにしていくというような形で報告書全体を捉えていただいてもよいと、個人的には思いました。それでよろしいかということも含めて、ちょっと御意見いただきたいということが1点です。

まとめて指摘させていただきます。2点目が、総合評価というのが計画書の年表にありまして、これがいずれも最終年度になっているんですけども、例えばプールスクラビングとかは少し早めにする方が、場合によって適切なかなと見えなくもないですけど、この辺りの意図をすみません、計画のときに伺っているかもしれないんですけど、ちょっともう一度伺いたいというのが2点目です。

3点目が、この中間評価の目的として、これらの分野において最新動向を踏まえて、計画の見直しの必要がないかというところも論点になると思うんですけども、その辺りの規制庁としてのご認識について少し伺いたいというのが3点目です。

以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。不確かさの用語の定義ですけれども、ちょっと牟田先生がいらっしゃるので非常に話しづらいんですけども。一応学会、いろいろな文献の方から、取りあえずここに報告書に書いたものというのは、そういうものの定義的なものを取りあえず記載させていただいているんですが、糸井先生御指摘のとおり、実際に本実験での、様々な物理化学現象の不確かさということになります。本日のプレゼンでもお話しさせていただいたように、実は様々な不確かさというのがありますので、用語の定義としては少し検討させていただければと思います。

それから、総合評価に関して、確かに実は小型の実験、スクラビングもそうですし、それから粒子状デブリも本年度一応決着をつけるという形になっておりまして、今年度の段階でまとめたものにできるというか、するという予定ですけども、事後評価といえますか、最終的な評価においては、少し終了年度がずれるんですけど、実験ごとに。それは最後の最後に全体整合を取りつつ、まとめさせていただくというふうな趣旨において、一応7年度のところに記載させてはいただいています。逆に言うと4年度に決着はつけざるを得ないというふうなことは御指摘のとおりです。

それから、3番目、すみません、もう一度お願いできるとありがたいですけど。

○糸井委員 中間評価として、我々が評価するところとして最新動向を踏まえて計画の変更の必要がないかというところ、その点について規制庁側の認識がどうかというところを伺いたいと。

○阿部総括技術研究調査官 まさに、今回お示しさせていただいた報告書は、例えば4年度におけるものにつきましても、まだ実施中でございますので、4年度中にこういった方向でまとめればよいのかとか、それについては様々あると思います。先ほど来、非常に精査していただいて、様々な御意見いただきましたので、それを踏まえつつ進めさせていただくということになりますし。それから、もっと継続する案件では、格納容器の実験とか、ソースタームとか、少しこれからあと3年、4年あるものに関しましては、まさに御意見いただいたものを踏まえて、進め方について検討、相談させていただくという形になるかと思えます。

○糸井委員 ありがとうございます。

○青野企画官 続きまして、守田先生、お願いいたします。

○守田委員 九州大学の守田でございます。

御説明いただき、ありがとうございます。全体的に2年間という期間ではございますけ

ども、着実に目的に対して成果が上げられているというふうに思いました。

また、成果の発表、これも非常に大事なアクティビティだと思いますが、これについても非常に多くの成果発表がされておりますので、これも評価されるべきことであろうというふうに思っております。

三つほど、先ほど来より専門技術者の委員の方からも御質問、あるいは御意見がございました。それとちょっとかぶるかもしれませんが、私なりのちょっと言葉遣いで、再度コメントをさせていただきたいと思います。

まず、複数の委員の方から御指摘があった、四つの現象ですかね。四つの現象について特定をしたと、スライドの方でいきますと6ページのところに書いてあることですが。これ当然、現象としてよく分からない、不確かさが大きいということだけではなくて、シビアアクシデントの発生防止、拡大防止、そして影響緩和の視点に立った上で非常に重要であるという現象であり、かつ不確かさが残っているということで、この四つを特定されたという、そういう理解でございます。

非常にここの四つを特出ししているということは、この研究を進める上でも非常に重要な指針になるところでございますので、ぜひここのところは我が国の原子力発電所だけではなくて、世界の軽水炉で共通の恐らく評価上の課題ということに認識されているんだろうと思いますので、ぜひ国際的にどういったような、ここについて議論がされているのか、コンセンサスが得られているのか、そういったところもぜひ踏まえた上で、この四つの現象がやはり大事であるということをぜひ強調されていた方がいいのかなというふうに思いました。

それで、もう一つが、同様のことが、先ほど高橋委員の方からも御指摘がございました、ソースタームのところも四つほど、スライドで言うと11ページのところに①～④までこういった実験をやりますということが書かれてございます。ソースタームについては、炉心損傷が起こって、ソースタームが発生し、炉内からC/Vへそれが輸送されて、そのC/V内からリークパスを通じて、原子炉建屋の方に出ていくといったパスを取る中で、どうしてこの四つを押さえておけば、ソースタームの評価に関わる不確かさが低減されるのか、こういった視点での説明が、ちょっと私の読み込みが足りなかったのかもしれませんが、ちょっとここのところを少し整理されて書かれた方が分かりやすいのかなというふうに思います。当然、そういうことを考えた上で、この四つの実験をされているという理解でございます。

最後は、粒子状のデブリ冷却実験です。これもこれまで評価されていないところを、非常に解析上、不確かさがここは大きいだろうというところをピックアップされて、この実験をされたというふうに理解をしました。最終的には、これ粒子状のデブリの冷却性を評価するというので、その不確かさを低減するという上で重要であるということから、これがピックアップされているということだと思いますので、冷却性を評価する上で、どういったことが不確かさにつながっているのか、そのうちこれはどのような位置づけになるのかということ踏まえた上で、まず説明があった方が分かりやすいのかなというふうに思いました。

さらに、先ほど田原委員の方からも御指摘ありましたが、実機条件を踏まえますと、実際にはこういった球形の同じ大きさのものがそろった状態で配列しているわけではございませんので、粒径分布もあり、粒子の形も球形ではないものが入り混じって、しかも粒子の物性も全体的に均一ではないといった、そういった実機での性状を踏まえて実際に評価をしていく上で、今回のこういった一連の基礎実験、要素現象を明らかにするための実験がどういうふうに役立つのか、そこを少し最終的な実機条件を踏まえた上での評価にどういうふうにつなげていくのか、外装していくのか、その結果どういった、冷却性に関してどういったところの不確かさが低減されるのかということの、ちょっと全体の流れが少し分かるような御説明があれば、よりこの実験の重要性というものが際立ってくるのではないかなというふうに思いました。

すみません、既にこれまでの委員の方のコメントに対してお答えされているところもあると思いますので、1点1点回答していただく必要はございませんが、私からのコメントとさせていただきます。どうもありがとうございました。

○阿部総括技術研究調査官 どうもありがとうございました。貴重な御意見、ありがとうございます。ものすごく簡単に。まず、1番目の四つ現象を選ばせていただいているわけですが、不確かさが大きいということだけではなくて、それが重大であると、非常に大きな影響を持っているということについても、ぜひとも強調させていただきたいと思えます。

参考につけさせていただいて、一番最後のところのページですけれども、実はここに赤く書いてあるところが、こちらで取り扱っているものになっておりまして、事象の推移、現象とか、国内外の試験というところの中に赤字で福井大学との共同研究とか、JAEAの共同研究とか、こういったところが特に非常に重要であるということもありますけれども、

他でやられていたりすれば、それは国際協力などで情報が入手できればいいわけですがけれども、これらに対しては独自にやらざるを得ないだろうというふうなものを取り上げていくというふうに御理解いただければと思います。

それから、粒子状デブリ、まさに御指摘のとおり非常に複雑で、実機そのものを状況で実験しようとするということには非常にハードルが高いものがあるのですけれども、先ほどお話しさせていただいたとおり、規制庁ではTHERMOSコードという非常に多次元で、非定常で、固気液三相にも取り扱えるというふうなコードを独自に開発しております。そこにおいてこういった現象をさらに取り扱っていかうとしております。特に粒子が丸い状態というだけじゃなくて、それを扁平して、潰れて、接触する、そこで接触熱伝達率が実は球の状態のものとは違ってくるんじゃないかとか、そういう不確かさのようなものについて、ちょっと典型的ではあるんですけども、一応そういう情報を収集して、コード開発の方にフィードバックさせていただきたいというふうなことになっているというふうに御理解いただきたいと思います。

以上です。

○守田委員 どうもありがとうございました。

○青野企画官 ありがとうございました。

ほかに御質問、御意見ございますか。

牟田先生、お願いします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

御説明どうもありがとうございました。非常に私の理解できる範囲では、分かりやすい御説明であったかと思っております。それで、ちょっと幾つかの御質問とコメントを差し上げたいと思います。

最初に、不確かさのお話ですけども、これは糸井先生のところで議論になりましたけれども、言葉の使い方というのがやっぱりちょっと気になる場所がありますので、ここはちょっと御検討をいただければなというふうに思っています。

それで関連して、29ページ目に不確かさと不確実さという言葉が両方使われていますので、多分使い分けがされていないと思いますので、この辺も含めて厳密に使われるということをお検討いただければというふうに思います。

それから、別になりますけども、17ページ目の実験の体系で、これはほかの委員の方のところでも、特に田原委員のところで議論になったところかと思っております。流入させる方向

の話がありましたけれども、そこは一定のお答えいただきましたので、それは納得できたところではあるんですけども。実機との方向の違いみたいなのを考えたときに、BWRだと下側に噴き出すものと、ABWR、横に噴き出すものとあるかと思うんですけども、それと、わざわざ違った形で実験を行うことで、また新たによく分からない不確かさみたいなものが生じるんじゃないかというところが若干気になっています。そのところを少し、もし御見解があれば伺いたいというふうに思っております。

それから、多分成果の出し方として、実験データを整備するといったような書かれ方がされていらっしゃいます。その活用先として、各種のガイドに反映するといったような文言がどこかにあったかと思えますけれども、ちょっとその実験データとガイドへの適用というところに若干距離があるような気がしております、具体的にどういう活用をされるのかというところが気になります。多分、8ページ目の直接活用という矢印があったかと思えますけれども、多分そういうところを意味されているんだろうなと思うんですけども、ちょっと間が空き過ぎていて、何かちょっとよくイメージがつかめないのというので、これももし御説明いただけたらいいところがあれば、ちょっとお話伺いたいというふうに思います。

それから、これはもう単純な確認といえますか、教えていただければというところなんですけども、22ページ目の資料なんですけども。これ具体的には、排気と下部弁の解放ですかね、これ具体的にどういうことをされているのかというところを、簡単にちょっと御説明いただければなというふうに思います。

取りあえず、私からは以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。不確かさという言葉とか、不確かさが混ざっているということで、これ承りまして、精査させていただきたいと思います。かなり現状でいろいろ頑張っているんですけども、まだ少し残っていたかもしれません。

それから、スクラビングの話であったと思うんですけども、方向の影響というのは、一応ある可能性はあると思いますが、あくまでこれ中規模、小規模の場合においては模擬的な実験ということになりますので、できるだけ現象を捉えて、それによる挙動を見れないかということをやっております。その知見が例えば直にプールの中のものについては、これはあまり影響なさそうだというのは直に使えるかもしれませんが、例えば小規模のような場合における界面積濃度とか、それから物質係数みたいなものは式の状態にして、定量的にして、それをモデルに持っていかなければいけないとか、それは確かに様々違って

くるというふうに思います。

それらが直接ガイドのようなものとか、そういうものの検討にどういうふうに使われていくかに関しましては、御指摘のとおり、様々な実験とか、あるいは重要度とか、不確かさの程度とかありますので、それらを踏まえて直にそういう知見が使われるようなものも目指すことができればと思いますし、あるいはモデルを介してコードを改善して、不確かさ、不確かさを低減するというふうな形になっていくとか、少しそういった規則なりガイドなりとの間の距離を、例えばそういうものを検討する要否に使っていただくとか、そういう形の少し距離間はある程度あったりするのかなというふうなことは御指摘のとおりだと思います。

それから、22ページ、よければ担当の方から、すみません、説明させてください。

○金子主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門の金子です。

22ページのグラフに関しましては、合計5条件で実験しておりますけれども、それぞれアクシデントマネジメントの効果を確認する試験です。そのうち下部弁の開放に関しましては、排気につきましても、下部弁開放につきましても、このCIGMA装置の中に、下にベント実験でも使用する排気ルートがあるんですけれども、そこを開放したものです。下部弁開放は参考実験として実施しているもので、最初からそれを開けておく実験ですので、圧力に関して上昇はないというものになります。

ですので、実質的には、スプレイ、排気、外面冷却の対策を確認していますけれども、排気に関しましては、ベントの実機の条件等を参考にしながら、ベントの弁を開けるタイミングで排気を行っております、その効果がこの圧力と温度の変化に見られるものとなっております。

○阿部総括技術研究調査官 よろしいでしょうか。

○牟田委員 分かりました。ありがとうございます。私の方は、これで大丈夫です。

○青野企画官 どうもありがとうございました。

守田先生、挙手のマークがついてございますけれども、よろしいですか。

○守田委員 すみません、下げました。申し訳ございません。

○青野企画官 ほかに御質問、御意見等ございますでしょうか。

よろしければ、次のプロジェクトの御説明に移らせていただきたいと思います。

続きましては、令和5年度に開始するもので、事前評価の対象となる安全研究プロジェクト、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についてというこ

とで、こちらもしビアアクシデント研究部門の阿部総括技術研究調査官から説明いたします。

○阿部総括技術研究調査官 それでは、右肩、参考資料2と書いてありますものにより御説明させていただきます。

めくっていただきまして、目次でございますけれども、背景、目的、研究の概要並びに研究計画（行程表）ということで御説明させていただきます。

次のページでございますけれども、大きな背景といたしまして、令和3年3月、昨年度でございますけれども、原子力規制庁の方から福島第一原子力発電所の事故に関する追加的な調査分析結果が中間報告としてまとめられ、公表されております。その中におきましては、様々指摘とか見出されたものがあるんですけれども、ここで、まず第一番目に建屋の水素爆発、非常に重篤な影響を後々のアクシデントマネジメントにも及ぼす大事なものでございますけれども、これにつきましては建屋の内部調査から、水素は軽いので上の方に蓄積して、そちらだけかなというふうな一応推測に対しまして、下層階でも爆発と思われる痕跡があったというような形で、そういう建屋への格納容器からの漏えい、水素漏えいに関する知見、データは十分ではないのではないか、水素爆発の防止対策にも不確かさが残っているのではないかということが一つ。

それから、1Fの1、2、3号機の格納容器の上部にあるシールドプラグ下面の汚染の状況、これが高いんじゃないか。さらに、本当にタイムリーとか最近の結果ですけれども、1F1号機のペデスタルを構成する鉄筋の一部が、鉄筋コンクリートの一部が鉄筋だけ残して消滅しているというふうなことも確認されているというようなことがありまして。後ほど少し細かくお話しさせていただきますけれども、こういった状況を踏まえまして、本研究プロジェクトでは、やはり以下の四つの課題について着目しているということでございます。

1番目が原子炉格納容器からの水素漏えい挙動、2番目が可燃性有機物を含む水素の挙動、3番目が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の評価、並びに熔融炉心の挙動評価でございます。次のページをお願いします。

まず、1番目の原子炉格納容器からの水素漏えい挙動でございますけれども、今お話しさせていただいたように、建屋の最上階だけではなくて中層階でも水素爆発の痕跡が確認されたということは、水素が最上階のみならず何らかの経路を經由して中層階に滞留する可能性が懸念されておりますということで、格納容器から漏えいする水素の量や経路など

で開発を進めております。先ほどお話しさせていただきましたけども、3次元かつ非定常で評価することのできるコードシステムを用いて評価していくということが大事だろう、できるだろうというふうに考えております。次のページをお願いします。

目的ですけれども、これらを踏まえまして、1~4までありますけれども、格納容器からの水素漏えい挙動について、格納容器からの漏えいに関する水素挙動に関する知見を取得した。それから、2番目として可燃性有機物を含む水素の挙動について、これについては解析を通じて関連するデータを拡充していきたい。それから、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を総合解析コードを用いて、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していきたいと。

4番目といたしまして、熔融炉心の挙動につきましては、3次元非定常の解析手法を用いて、熔融デブリの形態やその分布に対する知見を拡充したいということでございます。次、お願いいたします。

これらの知見の活用先というのは、ちょっと少し繰り返しの状態にはなりますけれども、水素漏えいに関しましては、そういった格納容器からの水素漏えい挙動の不確かさを低減するということで、緩和策の検討に資することができるだろうと。

可燃性有機物を含む水素の挙動に関しましては、重大事故対策や他の重大事故対策等への、水素に対する重大事故対策や、そのほかの重大事故対策への影響の検討に資することを期待できると思います。

それから、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に関しましては、これらの知見を取得することによりまして、対策の有効性評価に資することができるだろうというふうに考えております。

最後の熔融炉心挙動評価に関しましては、やはりこれの不確かさを低減することによって、熔融デブリの冷却促進のための事前注水等の重大事故緩和策の有効性評価に資することができるのではないかとこのように考えております。次のページ、お願いします。

具体的には、1番目の水素漏えい挙動に関しましては、図の方で御説明させていただきますけれども、左の図が、これが真ん中にあるのが圧力容器でございまして、その外側に格納容器があって、最終的にシールドプラグ等の建屋の状態があるということで、圧力容器から漏えいした水素だけではありませんけれども、様々なFPを含むガスが格納容器内にとどまればよろしいんですけれども、そこから漏えいして原子炉建屋に漏えいするというようなことがあるだろうと。これに関しましては、フランジそのもの、熱変形とかフラン

ジ部の隙間の拡大みたいなものも考えられるわけですが、これについては既に研究がなされております。

今回に関しましては、シール材、右側の図にありますけれども、ここにお示しさせていただいているように、格納容器の本体部の上蓋との間でシール材を使ってEPDM材、最新のものは使っているわけですが、こういったものの漏えいに対する限界性能を調べたいということで、200℃、2Pdというふうなところまではメーカーとしても保証はするけれども、それ以上についての情報はないということでございますので、そこに対する実験データを取得したいということでございます。次のページをお願いします。

実際の具体的な実験に関しましては、その下の図にございますように、こういうフランジ形状のものを使用させていただきまして、この下の方から試験ガスを注入し、この上下、フランジを押さえたとところがシール材によって隔離されているわけですが、これを高温高压の雰囲気さらした状態において、どこで試験ガスの漏えいが生じるのかというようなことを調べていきたい。

それに当たりますと、様々なフランジ間の隙間なり雰囲気条件、圧力、温度等を変えて、そういった知見のデータベースを得ていきたいということでございます。次のページをお願いします。

可燃性有機物を含む水素の挙動に関しましては、右の図にお示しさせていただいたように、これはBWRなんですけれども、熔融物によって、それが下部ヘッドを貫通して漏えいするというようなことがあったときに、そこで様々なシールドなり断熱材なり等々から有機物のようなものが発生したとして、それがどういった経路で水素とともに漏えいしていくのかというようなことを調べていくというようなことで、最終的には水素の爆発への影響について調べていきたいということでございます。次、お願いします。

こういった可燃性の有機物を含む水素の挙動に関しましては、統計的な手法による解析並びに決定論的手法に基づく解析の二つを用意させていただきたいというふうにご考えております。前者については、計算負荷がある程度軽いものを使いまして、様々な条件に対して多数の入力係数による解析を行って、可燃性ガス発生の確率分布を取得したいということが1点。

それから、決定論的な手法に基づく解析においては、先ほど来、お話しさせていただいている3次元非定常の解析コードを用いて、C/V内の温度分布なり、ケーブルの温度なり熱分解量を計算していくというふうなことを目指しているということでございます。次のペ

ージをお願いします。

最終的には、こういった可燃性有機物を含む水素の燃焼挙動、最終的には爆発になるわけですが、化学反応データベースを活用して、そういった化学反応評価を行って、そういうふうな爆発挙動に対する評価ができないか、できるようにしていきたいということで文献調査から始めまして、そういった物性値の取得や解析手法の妥当性確認をするためのデータを、必要であれば実験により取得するというようなことも考えているということでございます。次、お願いします。

3番目の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ですが、右の図にお示しさせていただいたように、核分裂生成物の移行挙動のようなもの、それから炉心損傷に至るところの判断、時期、そういったものによって解析モデルへの反映、あるいは不確かさパラメータの設定を行うことによりまして、最終的には一番下にお示しさせていただいているような事故進展及びソースターム解析をMELCORの最新バージョン2.2によって解析していくというようなことを考えております。

右の方の図に示しました炉心損傷判断の基準・時期に関しましては、次のページ、お願いします。炉心が損傷するのは、炉心の最高温度点において、それが損傷温度を上回るからということですが、実際にその温度を特定するということは、直接測定するということは困難でございますので、炉心出口温度により炉心損傷開始と判断をするということになっているんですけれども。そういった炉心出口温度と実際の被覆管温度の最高点との差が大きいというふうなことがあった場合においては、その不確かさを低減する必要があるだろうということで、JAEAにございます大型非定常試験装置LSTFを用いた総合効果実験を実施して、そういったことを明らかにしていきたい。特に上限値、1,000K近傍となる実験条件も考慮したいというふうに考えております。詳細につきましては、そういう最高温度への時間遅れの影響や、そういった解析コードを用いたCETの径方向分布や3次元熱流動の影響についても補完したいというふうに考えている次第でございます。次のページをお願いします。

最後でございますけれども、熔融炉心の挙動に関しましては、右の図にお示したように、原子炉圧力容器から熔融した熔融物が落下してくるわけですが、それは熔融したものだけではなくて、固化したものも含んで落下していく。それは間欠的なジェット落下であり、また場所も変えた落下であったり、それがこの場合はドライな1F1号機相当の絵になっておりますけれども、そういったものがペDESTALの底部にたまることによりま

して、ペDESTAL開口部から流出して広がっていくような挙動というふうなことに付きましても予測可能な状態になっておりますので、こういったコードを使って、そういったものの評価をしていきたいというふうに考えておりました。高い解像度、できれば実機に近い条件での時間解像度でデブリ挙動を評価していきたいというふうに考えている次第でございます。次のページをお願いします。

これにつきましても、水素漏えい、可燃性ガス挙動、それから事故進展・ソースターム評価並びに溶融炉心の挙動評価ということで、四つ大きく実施させていただきたいというふうに考えておりますけれども。これについては、令和5年度から令和8年度までの4年間において実施するというふうな予定にさせていただいているという次第でございます。

説明としては以上でございます。よろしくお願ひいたします。

○青野企画官 それでは、質疑とさせていただきます。まずは、専門技術者の方々から御意見を願ひいたします。

倉本さん、願ひします。

○倉本専門技術者 原子力エンジニアリングの倉本です。

私からは、全体的な観点で1点、意見を述べさせていただき、あと個別の課題の研究で1点、御質問をさせていただきたいと思ひます。

まず、全体的な観点ですけれども、全般として目的であるとか、行程表を見る限り、これも現象に関する知見拡充というものが主で、緩和策に関する検討といったものについては、スコープに入っているようには見えないというふうに感じています。本研究において、この緩和策の研究としては、どういった点を実施することになるのでしょうかといったことを確認させていただきたいと思ひます。特に研究題目が緩和策に関する研究としておられますので、今後そういったことも研究されるのか、それに資するような現象に関する知見拡充といったものが目的なのか、このタイトルの意図といったものが現状では明確に示されていないんじゃないかなというふうに感じておりますので、その点、まず御確認させていただきたいというのが全体的観点での1点目の質問です。

もう一つ、続けさせていただきますと、事象進展とソースターム解析に関して、1点御質問をさせていただきたいと思ひます。様々な事象進展に対しまして、被覆管温度と炉心出口温度、CETとの相関に関する知見を深めることが重要な点だというふうに認識しています。ただし、炉心損傷の判断基準としましては、PWRを例に取りますと、CETに加えて格納容器内の放射線モニタの指示値なども含めたアンド条件を用いております。こういう点

から、今回研究でCETのみと被覆管温度との相関を見るだけでよいのかということが懸念となり、この点に対して御見解をお聞きしたいという点。

それと、あと今のこの研究の中身でやろうとしていることとしますと、CETと被覆管温度に大きな差が生じる事象としまして、压力容器の頂部、底部での小破断事故を対応に検討すると挙げられておりますけども、この検討はさらにほかの事象にも展開されていく予定があるのかどうかということをお聞きしたいと思います。もしそういうことがあるのであれば、その計画、考えも御説明いただければと。

また、今回、検討の対象事象選定が、事象発生頻度の観点なのかとか、事象重篤性の観点でこれを選んだのかという、必要性とか優先性なども加えていただき、これをやるのだということを説明されると、この研究ということに対しての意義も増すのかなというふうに考えました。

以上2点、コメントと御質問です。よろしくお願いたします。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。3点あるということですが、全体に関しては私の方から、個別の方に関しては担当の者から説明させていただきます。

まず、現象に関する知見の拡充に見えると、実際、緩和策等がどうなっているんですかということにつきましては、御指摘の後半というふうに理解しております。こういったことから得られる知見を、そういう緩和策に資する知見というふうに考えているということです。

例えば、水素爆発に関しまして申し上げますと、様々な対策が考えられるわけですが、それはいろいろ規制庁の中でも検討されているところですが、漏えいするものをいかに抑えるかというような観点、あるいは、漏えいしたものを逃がすというような観点、それから漏えいしたものを処理する観点とか、対策的なものが様々あるわけですが、今回ここで狙っているのは、いかに漏えいしていくのか、漏えいする可能性があるのか。あるいは、逆に言うと漏えいしないのかとか、そういうふうなデータベース、非常に厳しい条件、200℃、2Pdを超えるような条件においてはどうかということを経験として整理して、それを緩和策のようなものに資する知見とさせていただきたいというふうなのが大きな全体の狙いでございます。

それから、CETに関しましては担当のほうから説明させていただきます。

○金子主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門の金子です。

CETに関しましては、御指摘のとおり、CETだけではないということは理解をしております。

す。しかしながら、まず1点として、参考文献にもつけさせていただきましたけれども、OECD/NEAの方でCETとPCTの關係に課題があるという報告があることと、あとはLSTFの熱流動実験を活用できるという点で、まずはCETに関して、この課題を検討するという事を考えております。

○倉本専門技術者　まずはというステップということで理解いたしました。ありがとうございました。

○青野企画官　ありがとうございました。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

田原さん、お願いいたします。

○田原専門技術者　東芝エネルギーシステムズの田原です。

個別の項目に対して、3点、質問をさせていただきたいと思います。

まず、原子炉格納容器からの水素漏えい挙動について、格納容器内部の環境条件が厳しくなることによるシール材の劣化が、シール性の低下の一因として挙げられています。長時間の試験で漏えい量の変化を見るなど、シール材の劣化の影響を確認するための試験計画というのが入っているのでしょうか、これが一つ目です。

2点目は、可燃性有機物を含む水素の挙動について、可燃性ガス発生の確率分布を取得するとなっていますけれども、この可燃性ガスの発生というのは、可燃性ガスの発生量のことでしょうか。可燃性ガスが急速に発生する場合と時間をかけて発生する場合には、同じ発生量でも水素との混合比の時間変化や漏えい時の濃度などが異なると考えられます。また、建屋への漏えいを考えると、格納容器圧力、温度と可燃性ガス発生の相関も気になるところです。この点については、どう整理する予定でしょうか。

あと、最後3点目ですけれども、熔融炉心挙動の評価について、先ほどの御説明だと、THERMOSの解析は、まずは1Fを対象に行うというようなふうには聞こえたのですが、これはもっと対象を広げて、1Fのみならず、今、既設炉で初期に水を張った状態での解析とか、そういったところも含まれているのかということと。あと、床と壁がステンレスライナーに覆われたコンクリートの場合と、耐熱材が設置されている場合には、デブリの広がりやMCCIの発生が異なってくると思われれます。そのため熔融炉心落下前の水張りだけでなく、耐熱材によるMCCI抑制の効果も確認するというような予定はありますでしょうかということ。

あと、最後にMCCI抑制のためにデブリの粒子化を促進しますと、FCIによる圧カスパイ

クが発生します。Ex-Vesselのデブリ対策は、MCCIとFCIの影響を天秤にかけるようなことになりがちですので、この研究を通じて、その最適解が見つければよいと願っています。

以上です。よろしく申し上げます。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。私の方から答えられる範囲で答えて、また、ちょっと担当の方から補足させていただきます。

まず、シール材の劣化については見ます。あるいは、もっと言えば、劣化しているものをあらかじめ作っておいて、それで試験をするというふうなこともターゲットに入れておきまして、シール材のそういった様々な劣化を含めた性状について、温度、圧力を変えて実験を行いたいということでございます。

それから、可燃性ガスの発生に関しましては、化学反応を様々やるということではなくて、熱源として溶融物があつて、その熱源として例えばシールドとか、それから断熱材とか、そういうふうな可燃性ガスの発生源においてどの程度の、まさに御指摘のとおり、どれだけのものが発生するかというようなことを、少しプリミティブになるかもしれませんが、現象把握できないかなというのが2点目です。

それから、溶融炉心のTHERMOSに関しましては、たまたま今、説明図を1枚だけつけさせていただいて、これはドライの条件のものであるというふうに御説明させていただきましたけれども、このコードは、実は水があるときにおいても、むしろ水があるときにおいて分散・粗混合したりとか、広がったりとか、そういったものが解析できるような機能を備えたものでございまして、ドライな状態だけではなくて、水張りがあつたような、水がある状態における挙動も見られるというふうなものになっています。

少し五番目になりますけれども、御指摘のとおりでございまして、冷やすということと、冷やすためには水を張ればいいんじゃないかということなんですが、まさに水、水位がある程度あると、分散・粗混合型の水蒸気爆発というものが発生する確率はどうか。特に低圧においては、ということがありますので、実際には水を張るということの戦略において、水蒸気爆発、水張り、FCIというのは避けられているというのが前提になるわけですが、そういったことに対して、実際にはちょっとドライな条件の絵をお示ししましたけれども、1F1号機のように、後ほど水は入ったと思うんですけれども、初めに水張りがなされていなかったんじゃないかというふうな前提のものにおいても、ある程度固化と申しますか冷却がなされていて、現状、水がある状態での撮影結果ですけれども、冷却した状態にあるというふうなことをどのように見ていくのかというふうなことを、さらに解析的

になってしまいますけれども、見ていくことができればということでございます。

4番目に御指摘あった、床材の影響は難しいです。これは多分、各国、世界的にも様々やられているところがあるのは承知していますが、恐らく進展中で、まさにセラミック状のものであったりとか、通常のコンクリートのようなものを合わせて、VULCANO実験なりとか様々やられているわけですが、実際にはそういったものの影響に関するマクロな実験結果はあるんですけれども、これを解析に取り込むというのは、恐らくかなり難易度が高いかもしれません。

もっと言えば、今回のプロジェクトのターゲットには、この瞬間には入っていませんが、ただ、それが非常に重篤であるとか、大事ということになった場合においては、プロジェクト進行において、可能であるということが前提になりますけれども、御指摘を踏まえた狙いの一つになっていく可能性もあるかと。

取りあえず以上ですけど、よろしいでしょうか。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

高橋さん、よろしく願いいたします。

○高橋専門技術者 三菱重工、高橋ですが。

先ほどのやり取りを聞いていて、ちょっと2点ほど心配になったのを、ちょっとまず、頭出しさせてください。11ページのさっきのシール材の話なんですけど、劣化を一応というか、ちゃんと考えますよというのは大賛成なんですけど、劣化したものをまた使ったりというところで、不確かさが何か増えないかなというのが。先ほどの御説明ですと、2Pd、200℃までは、一応元に戻るとするか、一応メーカー保証するよと、そこから上の条件でどういうシール挙動、劣化挙動があるか、劣化というか、閉じ込め機能の喪失があるかどうかというのを見るというときに、シール材が、私はですからそこそこ1回、私は最初聞いていて、1回この実験をやったら、もう取り換えるべきだと思ったんですけども、ちょっと気になりました。劣化したものを使うということになると、その劣化度合いとの関係が、今度、圧力、温度を上げていったときに、どういう漏えい挙動に関連するのかわちよつと不透明になるなというのが、今聞いていて思ったところです。

それから、もう一つが可燃性有機物を含む水素の挙動の議論で、ここもさっき田原さんが指摘していたとおりで懸念されるんですけども、いきなり解析に行くんじゃなくて、こ

こは次の項と同じように、まず机上検討なり、文献調査が先じゃないかなと。どの程度のもので、どのぐらいになるかというのは、もう既に当たられているかもしれないんですけども、まずはそこをはっきりさせないと、いきなり難しい解析に入っちゃうと、調子悪いんじゃないかなという感想をさっきの議論で持ちました。

それから、あと私が、その2点はちょっと感想の指摘なんです。これ、まず、ちょっとこだわりたいんですけども、説明資料の3ページで、福島の実験結果から起こした研究だよということで、この(1)と(2)というのは、まさにこの福島の実験結果を捉えてやる研究かなと思うんですが、この(3)と(4)です、6ページと7ページというのが、すぐには結びつかないなというか、取ってつけたような感じ、ちょっと言葉が失礼なんです、思えました。この辺の関連性をちょっと明確にさせていただけるといいかなと思います。

それから、15ページの第2パラグラフに、そのため国内の代表的な炉型に対し、MELCORによる云々とあるんですが、どういった観点で、どのプラントを選定しようとしているのかというのが、もし今、腹づもりありましたら教えていただきたいなと思います。

まず、以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。少し私の方の説明に少し足りないところがあったかもしれないのですが、11ページの実験装置のシール材は、幾つも用意します、100個オーダーの数とかです。数多く用意したシール材について実験を行います。例えば事前に少し劣化させておいたものを用意したりとか、そういう意味です。だから1個だけ、あるいは数限られたものを何回も使い回すということではなくて、このシール材を多数用意して、様々用意して、それについて調べますというふうな意味でございました。

それから、可燃性の方の話ですけども、取りあえずいきなり解析するというように受け止められてしまったんですけども、実際には御指摘のとおりで、机上の検討、まさに進めさせていただいて、その上でという形になると思います。解析も境界条件によって様々変わるということがございますので、いきなりということではなくて、モデルに関しましても、熱力学的なものについて様々検討をさせていただいた上で、その次にということになるかと思えます。

それから、1Fとの関連ですけども、一番上と二番目は、確かに建屋の水素爆発ということで非常に関連がはっきり見えているところのものなんですけれども、例えば4番目の話の溶融炉心の挙動については、ひょっとしてまだちょっと見えてない部分なのかもしれ

ませんけれども。1F事故検討会等において、東京電力の方から、実は17ページに示させて
いただいているようなペDESTALからの固化物の状態とかのビデオ、撮影情報とか出てお
りまして。そういうものを踏まえると、実は今までのMCCIというのは、解析モデルですけ
ども、MAAPとかMELCORにしても、コンクリートの上にどんと溶融物が乗っかっていて、そ
れがじわじわ下の方に溶かし込んでいくというふうなモデル化だったんですけれども、実
際には溶融物自身は様々な固化物も含んで間欠的に出てきて、広がり挙動についても様々
だとか、そういうことございますし。先ほど田原さんの方から御指摘あったように、ドラ
イな条件だけじゃなくて、水があった条件とか様々ありますので、そういうものについて
の、これは解析上になりますけれども、知見を評価していきたいというふうなことになる
と思います。

3番目のCETにつきましても、やはり事故進展解析を行うところの出発条件ということで、
様々な炉型と申し上げましたのは、今、実はある程度やっている部分があって、3ルー
プのPWRですけども、そういうふうな様々な炉型、典型的なものに対しまして解析をしてい
くというふうなことがあったときの炉心損傷判断の出発情報として、これが大事になって
くるというふうな認識をしているということ。1番目と2番目は1F事故の非常に強いはっ
きりした建屋の水素爆発とかに関連いたしますけれども、3番目、4番目に関しましては、
少しPRA（確率論的リスク評価）的なものを介するような事故シーケンスに対する境界条
件を与えるような形になるわけですけども、そういうふうな形での寄与というものを期
待して、こういったものを選定しているという次第でございます。よろしいでしょうか。

○高橋専門技術者 分かりました。ありがとうございました。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、外部専門家の方々から御意見、御質問をお願いいたします。

守田先生、お願いいたします。

○守田委員 九州大学の守田でございます。

どうも御説明いただき、ありがとうございます。まず、一つは、ちょっと分からなかつ
たので教えていただきたいんですけども、原子炉格納容器からの水素漏えい挙動の御研究
のことでございますが、最初に背景のところ、1Fの事故では建屋の最上階だけでなく、
中間層、もしくは下層階で水素爆発の痕跡が確認されたという、そういった実際の事故の
事実と、それからC/Vのこの研究で確認しようとしている、知見を得ようとしている、C/V
のシール部からのガスの漏えい挙動に関する知見が必要であるという、ここの関係性がち

よっと少し読み取れなかったので、ここは教えていただきたいという点でございます。これが1点です。

もう一つは、最後の4番の溶融炉心挙動の評価のところでございますが、どういったことを解析、詳細な解析をして、細かい時間解像度、空間解像度で結果を得ようとしているかというイメージはつかむことができたのですが、この4年間のこの研究の中で、どういったマイルストーンでこの解析を進めていくのか、どういう段階を踏みながら進めていかなきゃいけないのかというところがちょっと詳しく記載がなかったので、このところを少し計画書上は少し書かれた方がいいのかなというふうに思いました。

ただ、当然のことながら、ただ解析をするというだけではなくて、解析結果の妥当性についても、一つ一つ押さえながら進めていかれるかと思しますので、それをどういうふうにされていくのか。それと、最終的に、その解析結果の妥当性をどう担保していくのか。これまで個別の要素現象に対しては、このコードの検証の中でされていることとは思いますが、この溶融炉心挙動の評価する上で、新たに何か検証をしておくことはないのかどうか、その辺のところも少し議論されて、計画を、もう少しブレイクダウンした計画を立てられた方が、年度ごとの進捗を確認する上でもいいんじゃないかなというふうに思いました。それが私の方からの質問とコメントでございます。

よろしく願いいたします。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。御指摘まさに承りまして、進めたいと思います。まず、C/Vからの水素漏えいなんですけれども、これはある意味、いろんなところから漏れる可能性はあるんじゃないですかというのが前提で、電気ペネとか、様々あるハッチとか、そういうところのシールのようなものもあるわけなんですけれども、取りあえず水素の漏えいということそのものに関しては、一番恐らく量が多いのはここじゃないかなと想定されています。いろんなところが出て、いろんな移行の仕方をして、最終的には、シールドプラグを経て建屋に行って、そこで爆発が起きたということではあるんですけれども、そういう出発となる場所の漏えいのところで一番可能性が高そうなところを、まず抑え込もうとしたときに、この情報が、ある意味ほとんど過酷事故条件下においてはなかったの、ここをまず第1ターゲットにしたいということが1点です。

それから、溶融炉心に関しましては、まさにどういったことを進めていくのかなということについては、プロセス、工程をブレイクダウンさせて、記載させていただきたいというふうに考えております。

妥当性確認に関しましては、実はKTHというスウェーデンの王立工科大とかで実験をやっていたりとか。ほかにも、ある程度、既存の実験もあつたりはするんですけども、そういう非常に高温の溶融物を使った実験というものを国際協力で幾つか手に入れておりますので、それを用いた妥当性確認も鋭意進めているところです。ある程度の限界あるかもしれませんが、そういったものを踏まえて、国際協力なり、国内での実験もできるだけ入手しつつ、妥当性確認を行うべきであるというふうには考えており、まさに御指摘承りたいと思っております。

○守田委員 分かりました。ありがとうございます。

最初の方については、説明のところでは、C/Vの上蓋のところと本体のところの接続をしているところの絵を示されて御説明いただいておりますけども、必ずしもここだけを見ていくというわけではなくて、いろいろな貫通部のところの可能性も踏まえながら、最終的にはどうして建屋の方に、こういうところに1Fの場合、たまったんだらうというようなところの考察に持っていきたいと、そういう理解でよろしいでしょうか。

○阿部総括技術研究調査官 御指摘のとおりでございます。

○守田委員 分かりました。ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

糸井先生、お願いいたします。

○糸井委員 東京大学の糸井です。

ありがとうございます。まず、多分、倉本さんがおっしゃられたところと関係しているんですけども、研究のタイトルが少し分かりづらいなと思います。ちょっとどう読めばいいのかも分からないんですけども、重大事故進展による緩和策に関する研究とつなげてよいのであれば、事故進展による緩和策って何だろうと思いますし、リスクの緩和策という言い方としても、ちょっと気になります。リスクであれば、低減策というのが一般的で、放出事象の影響緩和策、リスクの中の影響だけ取り上げているのであれば、緩和策という言い方でよいと思うんですけど。確率の方の低減も含めて議論をされている、ちょっとその辺りも何かまいち伝わってこないの、ちょっとタイトルとして少し見直しの余地があるのかなと、どこをスコープにしているのかというところを明確にするといいです、というのが1点目です。

もう一つが、先ほど高橋さんが指摘されたところでもあるんですけど、私も四つ目の溶

融炉心挙動評価のところ、なぜこの研究の中でやるのかなというところが、この説明資料として少し違和感を感じます。解析をやるということ自体は、別に理解はできるんですけど、ちょっとまだ私自身も、この現象についてしっかりと理解してないので、ちょっとどこが違和感があるというのを明確に指摘はできないんですけど、先ほど考えていた限りでは、この7ページの矢印が三つつながって、四つの箱があってという資料がありまして、ここが何かちょっと本当にこのロジックでつながっているのかと。研究を終えたときに、この資料を改めて見たときに、本当にこのロジックなのかというところがちょっと気になります。

具体的には、まず一つ目が、ペDESTAL部のコンクリートの鉄筋を残して消滅していることが確認された、これはニュースでこういうふうに報道され、あるいは検討会でこういう議論がされていたということ自体は分かっているんですけど、このことが今回の研究をやる直接の動機にはならないんじゃないかというのが私の現状の理解から思うところ、もっと違う検討会で、もっと違う検討がされていたような、例えば中の様子がかいま見えるとか、そういうようなところを踏まえてこの研究が必要だというふうに、多分規制庁の内部では議論されているんだろうなと理解しているんですけど、それがこの文章としてこう出てきてしまうと、ちょっと違和感があるという、そういうところを少し見直していただくと、先ほどの高橋さんの違和感みたいなのが解消されてくるんじゃないかなというふうに思いました。

以上です。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。大きな御指摘で。まず、タイトル、事故進展を今いかに緩和するかという話と、リスクだったら緩和じゃなくて低減だろうというふうな御指摘でございますけれども。まさに、そういう部分もあるかと思っておりますと同時に、結果として事故進展、この場合で言うと、例えば水素が発生して、建屋が壊れましたとか、建屋が壊れる、水素爆発によって壊れると、そこから結果として放射性物質が放出されるとか、その後のアクシデントマネジメントに対しても非常に大きな影響を与えて、結果として緩和策があまり十分に適用できなかったとか、そういうものを踏まえて、ちょっと前半の事故進展並びに放射性物質放出リスクの両方を包含するような意味で緩和策というふうな、低減にしてしまうというアイデアもなかったことはないんですけど、一応大きく踏まえて、実際には現象が、水素爆発だけじゃなくて、まさにお話のところあった溶融物の挙動とか様々ございますので、そういうふうなもののマネジメントに

に対する意味も込めて、緩和という言葉をおの場でおわせていただいているというのが現状でございます。

2番目ですけれども、これは先ほどの田原さんの方からの質問にも絡むんですけども、実は水張りのそういうものに対しての、それがどういったものの緩和というか、これをマネージしているのかということについては、実際には難しいところがあるというふうに認識しております。

水を張ることによって冷却したい、だけれどもあまり水を張り過ぎると水蒸気爆発のような懸念があるという視野のようです。そういったふうなことに関して、第一戦略はとにかく水張りをするというところでやっているわけですけども、そういうものをより精査して見たときに、事故進展も絡みますけれども、結果として水張りの例えば程度とか、どういったこととか、1F1と言うとドライな状況でも、一応固化はしているということありますので、それはどういうことだったのかとか。結局、ファイナルヒートシンクが格納容器だけじゃなくて、あるいは地べたというか、広いグラウンド全体のヒートシンクがきいてるとか。ちょっと話が大きくなってしまって、どこまでできるか分かりませんが、そういったことの意味とか、様々捉えられないかなということ、幸いにも3次元非定常のかなり詳細を解析できるような状態にコードが仕上がってきているというふうに我々として認識しておりますので、それを活用できないか。要するに、緩和に対して、水張り云々という本当に抜本的な緩和策に引っかかってしまうんですけども、そういうふうなものに対しての知見なり、評価なりに貢献できないか、そういうことを込めたものでございます。

○糸井委員 ありがとうございます。その方向性は理解しているんですけども、もう一度繰り返しになりますけど、何か多分それでペDESTAL部の現象が解明されるというわけではない、そこではないというように理解しています。なので、先ほど御指摘差し上げている、そこから背景がスタートしているというところが少し気になったという、そういうことです。

以上です。

○阿部総括技術研究調査官 はい、承りました。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

御説明どうもありがとうございました。全体のお話は理解できたように思います。それで、ちょっと2点だけ、細かい確認というか御質問だけさせていただきたいなと思っていました。

15ページ目にあります事故進展評価手法の整備というところで、核分裂生成物移行挙動、あるいは炉心損傷判断の基準・時期というのがあって、それぞれが解析モデルへの縮約、あるいは不確かさ、パラメータの設定というふうにつながって、それをMELCORを使って解析をするというふうにつながっておるわけですが。ここで言っているモデルへの縮約、解析モデルへの縮約というのと、不確かさパラメータの設定というのが、具体的にどのぐらいのところまでされようとしているのかというところを、もし今、細かい計画があれば、ちょっとお伺いしたいなと思っております。

というのも、やっぱり研究の目的に照らし合わせて、どのぐらいのことまですればいいのかというところが、ちょっとよく分からなかった面がありますので、そこを伺えればと思います。

あと、もう1点は、次のページの16ページ目ですけれども、中ほどに被覆管温度の実験の上限値、1,000K近傍となる実験条件も考慮するというところがございまして。ここで実験の上限値1,000Kと言っているのは、これは実験をやる上で制約となるのが1,000Kということなんだろうというふうにちょっと理解をしたんですけども、そうしますと実際この1,000Kで実験をして、その得られた結果というのがどのぐらい実機に対して適用性があるのか、もっと高い温度になる可能性もあるのか、それとも1,000Kあれば十分なのか辺りを、ちょっとお伺いできればと思います。よろしくお願いします。

○阿部総括技術研究調査官 ありがとうございます。取りあえず、私の方から分かる範囲で御説明させていただいた上で、補足を担当の方からさせていただきたいと思っておりますけれども。

解析モデルの縮約というふうに申し上げてはいますが、例えば放射性物質の移行挙動とかに関して言うと、様々、中間評価の方でもお話しさせていただいたように、例えば構造材の影響とか非常に不確かさが大きくて、モデル化されていないものがあったりとかします。そういうものを、ある意味、直にMELCORのような解析コードに入れることはできませんので、それによる影響がどういったふうなモデルになりそうかなということを、解析モデルを介して何とか取り扱えないかということです。実は、そういったFP移行挙動に関しては、実験をかなり進めていて、最新知見を得つつありますけれども、縮約をできると

ころまでは、まだ道のりは少しあるかなと思っています。これは別テーマの実験の方のソースタームの実験は継続しますので、そちらと合わせつつ、解析モデルの縮約というものを行っていききたいというふうなことでございます。

CETの方の判断に関しましては、御指摘のとおりで、実験装置の制約とか、そういうふうなものもございますので、最終的には解析コード等を使って、それを活用しつつ、システムコード、MELCORのようなものは、もうノード・ジャンクションで非常にもともと縮約されたモデルにしかありませんけど、そこに入れられるような知見にしていきたいというふうな、そういう意図でございます。

もしよろしければ担当からの補足はいいですか。一応そういうことでございます。

○牟田委員 分かりました。概ね理解できたと思います。ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございます。ほかに何か御質問、御意見等ございますでしょうか。

本日の御説明は以上となります。全体を通じて、何かコメント等はございますでしょうか。よろしいでしょうか。

最後に、事務局からの連絡事項となります。お配りさせていただいてございます資料4の評価シート及び御意見シートでございますけれども、お忙しいところ申し訳ございませんが、10月18日、火曜日までに記載の上、事務局に御送付をいただければと存じます。いただきました御意見は、事務局で評価、取りまとめ案を作成した後に、改めて御連絡をさせていただきます。

それでは、これで第11回シビアアクシデント技術評価検討会を終了いたします。

本日は、多くの貴重な御意見をいただきまして、誠にありがとうございました。