

第6回シビアアクシデント技術評価検討会

議事録

1. 日時

令和元年10月16日(水) 13:00～16:11

2. 場所

原子力規制庁舎 13階会議室D

3. 出席者

外部専門家

糸井 達哉 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻准教授
牟田 仁 東京都市大学大学院総合理工学研究科共同原子力専攻准教授
守田 幸路 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

専門技術者

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
リスク評価具グループ担当部長
高橋 浩道 三菱重工業株式会社原子力事業部炉心・安全技術部
主幹プロジェクト統括
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担当主幹
宮田 浩一 原子力エネルギー協議会部長

原子力規制庁

永瀬 文久 規制基盤技術統括調整官
萩沼 真之 技術基盤課 企画官
皆川 武史 技術基盤課 技術研究調査官
舟山 京子 安全技術管理官 (シビアアクシデント担当)
秋葉 美幸 シビアアクシデント研究部門 統括技術研究調査官
堀田 亮年 シビアアクシデント研究部門 主任技術研究調査官
市川 竜平 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官

西村 健 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官
小城 烈 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官

4. 議題

- (1) 令和元年度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・中間評価)
- (2) 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 「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」について
- 資料4 研究計画（案）
- 資料5-1 安全研究成果報告（中間）（案）
軽水炉の重大事故等における不確実さの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発
- 資料5-2 安全研究成果報告（中間）（案）
軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率論的リスク評価に係る解析手法の整備
- 参考資料1 研究計画（案）説明資料
- 参考資料2 安全研究成果報告（中間）（案）説明資料

6. 議事録

○永瀬規制基盤技術統括調整官 技術基盤グループ技術基盤課規制基盤技術統括調整官の永瀬でございます。

それでは、第6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。

本日は、お忙しい中、検討会に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～令和7年度まで行われる1件の安全研究プロジェクト及び令和4年度まで行われる2件の安全研究プロジェクトについて、それぞれ事前評

価及び中間評価として研究の手法や成果の取りまとめ等の技術的妥当性について専門家の皆様からさまざまな御助言をいただきたいと考えております。どうぞよろしく願いいたします。

○萩沼企画官 技術基盤課企画官の萩沼でございます。

本検討会では、主査を設定してございませんので、事務局として私のほうで議事進行をさせていただきます。

それでは、まず、委員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、委員として、東京大学の糸井委員、東京都市大学の牟田委員、九州大学の守田委員に御出席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専門技術者、三菱重工株式会社の高橋専門技術者、東芝エネルギーシステムズ株式会社の田原専門技術者、原子力エネルギー協議会の宮田専門技術者に御出席いただいております。

それでは、まず、事務局のほうより資料の確認をさせていただきます。

○皆川技術研究調査官 技術基盤課の皆川です。

お手元に、座席表とともに議事次第、名簿、本日の資料を御用意しております。名簿をめぐっていただきますと、最初に資料1といたしまして、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。

次に、資料2といたしまして、今後の研究評価の進め方について（抜粋）を御用意しております。

資料3といたしまして、「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」についてを御用意しております。

資料4といたしまして、今回、事前評価の対象となる1件の安全研究プロジェクトの研究計画（案）を御用意しております。

次に、資料5-1及び5-2といたしまして、今回、中間評価の対象となる2件の安全研究プロジェクトについて、これまでの成果をまとめた安全研究成果報告（中間）（案）を御用意しております。

次に、参考資料1といたしまして、事前評価1件の安全研究プロジェクトについて、本日御説明で使用させていただくスライドのコピーを用意してございます。

次に、参考資料2といたしまして、中間評価対象の2件のプロジェクトについて、本日御説明で使用させていただくスライドのコピーを御用意しております。

また、検討会委員の先生方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。

過不足等ございましたら事務局の方のほうへお知らせ願います。

○萩沼企画官 資料のほうはよろしいでしょうか。

よろしければ、評価に先立ちまして、評価の進め方等について取りまとめました資料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、今後の安全研究の進め方について及び資料3、今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針についてを事務局より簡単に御説明させていただきます。

○皆川技術研究調査官 技術基盤課の皆川です。

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。

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、それから評価等についての基本的な方針をまとめたものでございます。安全研究プロジェクトの評価については、本資料の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・終了時等の節目において、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。今回の検討会におきましては、①事前評価及び②中間評価について実施させていただきます。

事前評価につきましては、実施方針に従って計画された令和2年度以降に実施予定の新規の安全研究プロジェクトについて、当該分野の最新動向等を踏まえた成果の目標、研究手法、計画の技術的妥当性の評価を行うものでございます。

中間評価につきましては、研究期間が5年以上のものについて、原則として研究開始から3年ごとに実施するものでございます。中間評価では、実施方針との整合性について確認するとともに、研究の進捗状況や成果、当該分野の最新動向等を踏まえて、改めて成果目標及び研究手法・計画の技術的妥当性の評価を行うものでございます。

これらの評価の中で実施する研究手法、成果のまとめ等についての技術的妥当性評価については、外部専門家の委員の先生方及び専門技術者から成る技術評価検討会を開催いたしまして、御意見及び評価をいただくこととしております。

具体的な評価の内容につきましては、資料2を御覧いただきたいと思います。まず、資料2の3ページ目を御覧いただきたいと思います。3ページ目におきまして評価手法、評

価項目、評価基準が記載されてございます。

次に、6ページを御覧いただきたいと思いますが、6ページ目、図1は安全研究評価の全体の概要をお示ししているものでございます。左から、研究の企画・立案段階の事前評価、実施段階の中間評価、活用段階、研究終了後の事後評価という形で記載してございます。

本検討会におきましては、左の二つ、事前評価、中間評価が対象でございます。

また、評価の観点として、縦方向に三つ並べてございます。一つ目が目標・成果の適切性、二つ目が技術的妥当性、三つ目が研究の管理でございますが、本検討会におきましては、二つ目の技術的妥当性について御意見及び評価をいただきたいと考えております。

具体的には、この資料には明示的に記載されておりませんが、主に次の四つの観点で御意見、御評価をいただきたいと考えております。一つ目、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか、二つ目、解析実施手法、実験方法が適切か、三つ目、解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か、四つ目、重大な見落とし、観点の欠落がないか、以上でございます。

なお、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まして、原子力規制庁が行う安全研究の評価に御協力をよろしくお願いいたします。

続きまして、資料3、今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針についてを御覧ください。

先ほどの資料1の基本方針においては、委員会は今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針を原則として毎年度策定することとしております。令和2年度以降の安全研究の方針については、本資料の1ページ目に記載されております五つのカテゴリー、具体的には、横断的原子力安全、原子炉施設、核燃料サイクル・廃棄物、原子力災害対策及び放射線規制等、技術基盤の構築・維持、この五つのカテゴリーで整理されております。

本日の検討会で評価の対象といたします安全研究プロジェクト事前案件が1件、中間に関するものが2件ございますが、本資料の9ページ目を御覧いただきたいと思いますが、9ページの下半分辺りに記載されております⑨、こちらが事前評価対象のものでございます。それから⑩、⑪につきまして、こちらが中間対象のものでございます。

最後に、外部専門家の委員の先生方をお願いさせていただき評価について御説明させていただきます。外部専門家の先生方に準備させていただきました評価シートを御覧ください。

い。先ほど御説明いたしました評価の四つの観点での評価の記入をお願いしたいと考えております。評価シートにつきましては、手書きでも問題ございません。締め切りにつきましては、10月25日金曜日までとさせていただきます。もし本日御提出いただければと存じます。もし本日御提出いただければと存じます。もし本日御提出いただければと存じます。

今回の技術評価検討会での評価を踏まえまして、今後、原子力規制委員会に安全研究に関する評価の案を諮る予定としております。

本検討会での評価に関する御説明は以上でございます。

○萩沼企画官 評価の進め方等について御質問等ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、令和2年度～令和7年度まで行われる予定の安全研究プロジェクトであり、今年度の事前評価の対象となる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いて、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の秋葉統括技術研究調査官から説明をお願いいたします。

○秋葉統括技術研究調査官 ありがとうございます。それでは、早速ですけれども、御説明させていただきたいと思っております。

本御説明ですけれども、説明の流れといたしましては、背景、目的、研究の概要、そして研究計画（行程表）という形ですけれども、の流れで御説明させていただきます。

まず、本研究の背景ですけれども、現行の規制では、格納容器内の冷却等のための設備、過圧破損防止設備、あるいは、格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備の設置を必須としております。これを受けまして、有効性評価に関する審査ガイドでは、格納容器破損防止対策の有効性を確認することとしております。

しかしながら、重大事故時の格納容器機能維持に係る物理化学現象に関しましては、解析上の不確かさが大きな現象というのが存在しておりまして、この不確実さを低減するための知見の増強が必要となっております。

この不確実さの大きな現象といたしましては、大きく分けましてプールスクラビング、ソースターム、重大事故時格納容器内熱流動現象、また、デブリ冷却挙動の四つが挙げられます。

なお、本研究の主な成果の活用先ですけれども、先ほどの繰り返しになってしまいますが、格納容器破損防止対策の有効性評価等への知見の活用、また、加えまして、今後始まります新検査制度への確率論的リスク評価の活用に向けた格納容器機能喪失に関する現

象についてのリスク評価の精度向上などを想定しております。

以上から、本研究の目的といたしましては、重大事故時の発生防止、拡大防止及び環境影響緩和の各段階に応じて生じます重大事故時の物理化学現象のうち、総合重大事故解析コードでモデルの高度化が必要な個別現象につきまして、実験により詳細なデータを拡充することというのを目的としております。

なお、本プロジェクトですけれども、今年度まで実施の実験プロジェクトの後継のプロジェクトとなっております。この前のプロジェクトで得られた成果からさらに検討が必要と考えられるもの、また、前のプロジェクトではカバーし切れなかった範囲について実施をする予定としております。

では、個別の実施項目について御説明をしていきます。

まず、プールスクラビング実験に関して御説明をいたします。プールスクラビング現象は、御存じのとおり、放射性物質が混入しましたガスをプール水中に流入させて水で放射性物質を捕獲する現象ですけれども、この前のプロジェクトにおきまして、福島事故の際に懸念されましたベントによる圧力抑制プールの減圧沸騰がスクラビングによる放射性物質の捕獲効果を低減させるのではないかという点を大規模実験装置で確認しております。また、加えまして、既往実験では、あまり明確になっていなかったプール水温によるスクラビング効果への影響についても大規模実験で明らかにしております。

また、現行のスクラビング解析モデルですけれども、こちらは気泡内のエアロゾル粒子挙動を推定して作成しております。この挙動が現在のところまだ明らかになっていないという課題がございました。そのため、前プロジェクトにおきまして小規模実験装置を用いて最新の計測技術を用いまして、その明確化に向けた検討をしております。

気泡では、水と屈折率が異なってしまうため、光が反射しまして内部のエアロゾル挙動の観察が不可能となっておりますので、油滴を用いましてその内部のエアロゾルの挙動を観察するというを行っております。

またマッハ・ツェンダー干渉計というものをを用いまして、気泡の周囲のエアロゾル濃度の計測技術の検討を行いまして、エアロゾルが気泡の中を動いて気泡界面のどの位置に多く到達するかというのを調べる手法の開発を行いまして、こちらの右側の図のような結果が得られるところまで来ております。

そこで本プロジェクトといたしましては、大規模実験で得られました傾向を実機の解析に取り込むためにそのメカニズムの明確化を行うこと、そして、小規模実験で得られます

データを活用して気泡の中のエアロゾル挙動の明確化を行うということ、この2点を実施する予定としております。これらによりまして、モデルの改良を行って実機解析へ適用することを計画しております。

具体的な実施内容ですけれども、小規模実験では油滴中エアロゾル挙動と気泡界面におけますエアロゾル濃度の計測技術を確立いたしまして、データを拡充して、CFD解析と、それらのデータを組み合わせることで気泡の中のエアロゾル挙動を明確にすることを考えております。

また、中規模実験では、プール水温が影響すると考えられます気泡の中の蒸気量や、その蒸気がエアロゾル粒子表面へ凝縮する現象等の各種パラメータについて検討を行いまして、エアロゾル捕獲率のプール水温依存性などについてのメカニズムを明らかにしていくことを計画しております。

次に、二つ目の研究項目でありますソースタームについて御説明をいたします。こちらのソースタームに関する不確かさの大きな現象といたしましては、大きく分けて二つ挙げられます。一つ目は、制御棒などの構造材や放射性物質同士の化学反応、そして二つ目といたしましては、原子炉冷却系や格納容器内に一度保持された放射性物質が再移行挙動の二つが挙げられます。この再移行に関しては、こちらの図に示しますように、再浮遊、また再蒸発、再揮発、飛沫同伴の四つの挙動がございますけれども、そのうち現状最も不確かさが大きく実験によってデータ拡充が必要と考えられているのが再蒸発になります。なお、このソースタームに関しましても、この前のプロジェクトでこちらの①の項目に関して実施をしております。

前プロジェクトで得られた成果ですけれども、こちらは制御材でありますホウ素と放射性物質、セシウムとヨウ素ですけれども、との化学反応実験を実施しておりまして、最も大きな成果といたしましては、ホウ素がヨウ素の化学形態に大きな影響を及ぼす結果が得られております。

そこで、本プロジェクトの実施内容といたしましては、①の制御棒材や放射性物質同士の化学反応の項目といたしましては、さらに条件を拡大いたしまして、多様な雰囲気条件、あるいは、多成分条件とするとともに、ホウ素の影響だけではなく、ほかの模擬放射性物質や構造材がヨウ素やセシウムの化学形態に及ぼす影響などに関する実験データを取得することを計画しております。

また、②の放射性物質の再移行、再蒸発に着目しているんですけれども、こちらに関し

ましては、①の化学反応に関する項目で同定されました化学形態に着目して実験を行いましてデータを取得するというを考えております。

次に、3番目の項目ですけれども、こちらは、重大事故時格納容器熱流動実験ですけれども、こちらでは、さまざまな格納容器破損防止対策につきまして、その緩和効果ですとか、時間的な余裕などへの影響を現実的に評価することを目的といたしまして、各対策によって生じます格納容器内の熱流動に関するデータを拡充することを計画しております。

破損防止対策といたしましては、外面冷却ですとかベント、スプレイなどがございましてけれども、その際の不確かさの大きな現象といたしましては、1番目として外面冷却時の格納容器内雰囲気の流れを含みます多次元的な格納容器フランジ部の伝熱挙動、また2番目として、多成分気体で構成されます格納容器内雰囲気の流れ挙動、そして、3番目といたしまして、格納容器ベント時の減圧と雰囲気挙動、さらに4番目として、格納容器スプレイの冷却効果などが挙げられます。

この前のプロジェクトにおきましては、これらの実験を行うための大型格納容器実験装置、CIGMAと呼んでおりますけれども、そちらの整備を行いまして、格納容器の外面冷却時におけます水素を模擬しましたヘリウムですとか蒸気、あるいは窒素といった多成分期待の熱流動挙動についてガスの温度としましては300℃以下のデータを取得しております。そのため、本プロジェクトといたしましては、先ほど御説明いたしましたけれども、各現象に関しまして、重大事故時に想定されて、かつ、現在のところデータの少ない300℃以上の条件でのデータを取得するというを計画しております。

最後に、4番目の項目の燃料デブリ冷却性実験について御説明をいたします。

こちらは、溶融炉心コンクリート相互作用のより現実的な評価のためには浅いプール水中へ落下します溶融デブリの挙動の不確かさを低減させる必要がございます。このデブリ冷却に関しまして、解析上の不確かさの大きな現象といたしましては、こちらの図に示しましたように、一つ目は圧力容器から落下します溶融デブリジェット微粒化の現象、及び、原子形状で固化せずにまだやわらかい状態で落下をいたしまして、粒子が再びくっついて集積デブリとなる現象、また、微粒化せずにプール床面に到達しましたデブリの床面での拡がり挙動、そして、床面に堆積しましたデブリベッド上に高温の溶融物が落下するなどの高温溶融物とデブリベッドの相互作用、そして、粒子状デブリの冷却性の四つ、大きく分けると四つがございます。

このうち、①～③までの項目につきましては、この前のプロジェクトで実験を実施し

ておりまして、データを拡充しておりますので、本プロジェクトとしましては、④の粒子状デブリの冷却性に関する実験を実施する予定としております。

具体的な内容といたしましては、粒子状デブリからの構造材壁面への接触熱伝達などを評価することを計画しております。粒子状デブリは、構造材の壁面などと点接触することになりますけれども、周囲の状態によりましては粒子が荷重を受けまして、構造材の壁面へ押しつけられる状態となります。

そのため、粒子の壁面への接触状態ですとか、粒子や壁面材質、あるいは加熱量といったものをパラメータとしまして各種条件での壁面への伝熱量などのデータを取得する実験を考えております。

以上が各項目の実施計画内容となっております。

最後に、研究計画といたしまして、こちらの表のような行程表を考えております。プールスクラビング実験とデブリ冷却実験は、比較的小規模な実験で条件範囲も限られますことから、3年間で実施を計画しております。

また、ソースタームですとか、大規模なCIGMA実験は、装置が大規模あるいは試験条件範囲が広いということから6年間で計画しております。また、各実験ともそれぞれで論文投稿によります成果の公表を適宜行っていく予定としております。また、これらの実験データは、ほかのプロジェクト、解析コードの開発のプロジェクトですとか、解析手法の整備に関するプロジェクトにデータを渡しまして、モデルの開発や検証に用いていく予定としております。

以上になります。

○萩沼企画官 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御意見をいただき、次に委員の方から御意見をいただきたいと存じます。なお、御発言の前には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。

それでは、まず、専門技術者の方から御意見ををお願いいたします。

○倉本専門技術者 原子力エンジニアリングの倉本と申します。

研究の全体目標といたしますか、目標に関して確認とコメントがございます。不確実さの低減の目標として不確実さ解析を最終的には実施して、不確実さ幅が減少することを、多分、PRA等であることが目的になるというふうに考えています。

今のこの研究計画案とかで見ますと、そういう不確実さ幅の減少を不確実さ解析で見るとあるんですけども、そういう目的もあると思いますが、研究の結果、重要な因子に絞

って感度解析をするのであるとか、あるいは、より現実的な評価での平均値の低減といったこともこの研究の中から出てきて、それがこの図にも示されるようなNo.11ですか、そういったものにも引き継がれていくといったようなこともあるかと思しますので、そういうこの不確実さ低減ということに対しての目標なり目的なりをもう少し研究計画案のほうにも明確に示されてはどうかというふうに考えました。

まず、その理解でよいのかということと、そういうコメントをさせていただきます。

○秋葉統括技術研究調査官 ありがとうございます。まず、こちらで得られたデータを用いまして解析コードの開発を行うのですが、その際に、まだ詳細な現象についてのモデルがなかったりですとか、検証が必要な現象というのがございますので、そちらをまず行って、その上でどの程度不確実さが低減されたかという評価になるかと考えております。

○倉本専門技術者 もう一点、質問と確認をさせていただきたいんですけども、プールスクラビング現象の評価と研究の中で、CFDコード等も用いて評価をしていくといったことも計画されているというふうに書かれています。

この現象についてはかなり複雑で、例えばFLUENT等の汎用コードではなかなか評価とかが、あるいは検証が難しいのではないかと考えるんですけども、この評価では、そういう汎用コードを使って評価を実施していくのか、あるいは、独自といいますか、そういう解析コードもつくってやっていくのかといったようなことはどのような計画になりますでしょうか。

○秋葉統括技術研究調査官 正直なところ、まだ検討段階という状態です。そういった現象が取り扱えるようなコードを現在調べている状態です。それが明らかになった上で実施していくような形にはなるかと考えております。

○倉本専門技術者 わかりました。今後の研究の中で見つけていくということによろしいですかね。

○秋葉統括技術研究調査官 はい。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、宮田専門技術者、お願いします。

○宮田専門技術者 原子力エネルギー協議会、宮田です。

一般的なコメントなんですけれども、不確実さの大きな現象として四つ挙げられていて、これらが高度化が必要な現象ということでしっかりと見ていくと、その流れは理解するんですけども、一方で、この成果というのは規制に活用するんだということだと思つので、

もともとじゃあ現在でもこの問題はあると思うんですけども、現在、規制上ではこういうふうに扱っていて、そこにこういう問題意識があるのでこれらをやっていくんだという、そういう流れで説明していただいたほうがよかったんじゃないかなというふうには思いませんというのが全般的な話です。

その流れの中で、やはり同じくプールスクラビングなんですけれども、これをどう活用するのかがちょっと疑問なところがあって、というのは、まず、これはPWRは対象にならないということだと思いますし、Bだとしても、もう既にフィルタベントをつけることになっていて、ウエットベント、いわゆるプールスクラビング効果に期待しないドライベントでも、いわゆるセシウムの量を100TBq以下であることを確認するという、そういうところまでも既に現在の規制でもやれているというふうに思っている中で、このプールスクラビングの現象に関して、もっともっと突き詰めないといけないんだというところがちょっと理解できなくて、それについてはちょっと質問です。

○秋葉統括技術研究調査官 やはり規制庁といたしましては、事故進展解析等もしておりますけれども、その際のスクラビング現象の解析に関しまして、現状、MELCORを使って解析をしておりますけれども、やはりより現実的に現象を評価していく上では、実際の現象を忠実に模擬できるようにということで、こちらのモデルの改良ということを実施していく予定としております。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁の堀田です。今の宮田さんの御質問に対して補足させていただきます。確かにサプレッションプールからのベントということに着目すれば、これはBWRの問題ですが、現在、ウエット式のフィルタベントというのが入っていて、確かにその性能というのは十分容量が大きくて、そんなに高温にならないということでしょう。この研究は、きっかけは福島だったのですが、減圧によるスクラビングへの影響、あるいはプール水の温度による除去係数の有意な変化、こういった現象が見えてきました。現状のスクラビングモデルというのは、かなり昔につくられて、その後、最初の発想は非常にいいモデルだったと思いますが、ほとんど実験による確認とか、そういうものが系統的に行われてこなかったと。そういう中で、例えばエアロゾルの材質、例えば吸湿性とか、撥水性の影響ですとか、そういうものが本当に影響しないのかとか、そういったところがかなり注目すべき点が見えて、これ、我々だけじゃなくて専門家もそういうところに注目して、やはりこのスクラビングモデルというものを総合SAコード、MELCORとかMAAPにほぼ同じのが入っていますので、そういったものを少し改良していかないといけない。例えばフ

イルタベントだけではなくて、例えばデブリが冠水したときであるとか、あとは、蒸気発生器が細管ブレイクしたときの一つの対策としてあり得る冠水であるとか、そういったことに対してのモデルの、ある意味、適用性、信頼性が確保できないんじゃないかと、そういった認識でおります。

ですから、丸めて言うと、当初、この実験を始めたときの動機からかなり広がっているといたのが現状でございます。

○宮田専門技術者 一応、理解しました。要は、BWRのサプレッションプールでのプールスクラビングという現象だけに注目しているわけではなくて、いろんなパターンでプールスクラビング効果というのが出てくることが見えているから、そういったところへの適用も考えて、こういうところを突き詰めていきたいと、そういうことで理解しました。

○高橋専門技術者 三菱重工の高橋ですが、先ほど宮田さんと堀田さんのお話に出てきましたけれども、PWRの場合にSGTRの後の炉心損傷後の冠水手法を、もしとれるのであれば、これは結構、役立ちそうな実験だなというふうに感想を持っていますので、そういうところ、さっき堀田さんがおっしゃった方向でもし活用できるんだったら、非常にウエルカムだなと、PWR側は見ています。

以上です。

○萩沼企画官 ありがとうございます。よろしく申し上げます。

○田原専門技術者 東芝の田原です。

幾つかあるので一つずつ質問したいと思います。

まず、プールスクラビング実験で油滴を使っているんですけども、油滴の場合ですと、界面での凝縮とか、そういった現象というのは見られなくなると思います。また、気泡の場合は上昇に伴って径が成長したりとかという効果があると思うんですけども、油滴は恐らく径が成長しないでそのまま上がっていくということで、そういった油滴と気泡の違いというのを、この後どういうふうに解析コードのほうで反映していくのかとか、そういったところの計画があれば教えてください。

○秋葉統括技術研究調査官 おっしゃるとおり、油滴ですとか蒸気の凝縮といったものは、取り扱えない条件ですけども、まず、油滴の条件では純粹にエアロゾル粒子がどのようにその中で挙動をしていくかというのを追おうということを考えております。その軌跡を追うということを考えております。

油滴と実際の気泡の流体の物性値が異なっている点につきましては、CFDを用いて補完

していくような形ということを考えております。

○田原専門技術者 はい、わかりました。

次に、ソースタームの実験のほうで、不確かさの大きな現象で放射性物質の再移行のところでは4点ほど挙げられているんですけども、私、ちょっと最近気になっているのが、MAAPとかMELCORは放射性物質の改変は全く考えずに移行挙動を取り扱っています。実際は、ヨウ素は途中で揮発に壊変したりしますので、そういったことによる、また、沈着したヨウ素、あるいは水中に取り込まれたヨウ素が希ガスになって出てくる、そういう再浮遊とか再移行も現象としては結構効いてくるのではないかと考えているのですが、そういったところに関しては、今後何か考えているところとかはありますでしょうか。

○秋葉統括技術研究調査官 まさに御指摘いただいたような揮発するような現象に関して、一度壁面に付着したものが壁面の温度が上昇することによって再蒸発、揮発していくような現象を今後の実験で実施していく、すみません。おっしゃっている壊変に関しては、現在のこの実験のスコープとしてはまだ入っていない状態ではございますけれども、純粋な揮発に関してまずは明らかにしていこうということを考えております。

その上で、さらに壊変ができるようになれば、このプロジェクトが終了した上でさらに行っていくようなことを考えております。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

あと、熱流動のほうなんですけれども、それと今の蒸発の話とも関係あるんですが、格納容器ベントによる減圧の状態、減圧が起きると再蒸発のほうにも条件としてはかなり影響を及ぼすと思うので、こういったところは試験同士とか、研究同士の連携をとりながら進めていっていただければと思います。

あと、CIGMA実験のほうで、300℃以上の高温ガスの実験をやるということなんです、その前に300℃以下の加熱蒸気の実験をされているということで、加熱蒸気の凝縮熱伝達のそういったモデルなどというのはもう既に開発済みという位置づけでよろしいのでしょうか。今回はそれを外挿するだけとか、教えていただければと思います。

○秋葉統括技術研究調査官 まず、ソースタームの実験とCIGMAの実験で相互にきちんと補完するようなことを検討するということなんですけれども、非常にありがたい御意見だなと思っております。今後計画させていただきたいと思っております。

ベントによる減圧の際の凝縮熱伝達のモデルなんですけれども、凝縮熱伝達に関してですけれども、現在のところ300℃以下の実験データを使って、そちらの検討というのは実施し

ていない状態となっております。ですので、せっかく御意見をいただきましたので、それについても改良できるようにしていきたいと思えます。

○西村技術研究調査官 原子力規制庁シビアアクシデント研究部門の西村と申します。

今、CIGMAの実験についてなんですけれども、平成25年ごろから整備を開始しまして、まずはということで、使う実験と測定手法の妥当性を確認しようということを含めて実験を行っています。装置ができたのが平成27年ごろなんですけれども、それから28年にかけて開始ということなんですけど、いわゆるPIVですとか、あるいは、多チャンネルの濃度測定ですとか、そういった国際的に見て新しい測定手法をどんどん取り入れてきています。そういったものがまずちゃんと機能しているか、CIGMAの中で使えているかどうかということを確認するために既往の、例えばスイスのPaul Scherrer研究所でやられているようなPANDA実験とかありますけれども、そういったものを参照しながら同じような実験を行って同じようなデータがとれればということを行っています。その中で、もちろん凝縮にも着目はしておりましたけれども、なかなかきれいにとるということが難しいので、段階的にステップ・バイ・ステップで進めているというところが実態でございます。

それから、300℃超のデータというところでトライはしていたんですけれども、なかなかヒーターがもたないということが多々ありまして、計画はして着手もしたんですけども、装置が壊れてしまってデータがとれないといったトラブルも続きまして、なかなか凝縮のモデルに完全に落とし込むといったところまでは進めていないというのが実態でございます。

以上です。

○田原専門技術者 ありがとうございます。じゃあこれからということで、はい。

○高橋専門技術者 三菱重工、高橋ですが、格納容器熱流動実験というのは300℃以上とか過熱蒸気とか、ちょっと、これはBWR特有の話というふうに理解しておいてよろしいでしょうか。

○西村技術研究調査官 原子力規制庁、西村です。

高温条件というところは、もちろん1Fの事故の反省も踏まえてということで考えているので、BWR中心かと問われれば、そういう側面もあるかもしれないんですけれども、シビアアクシデントの現象、事象進展という中では、PWRのほうでもそういう条件がないとも言いきれないと。今のところは過温破損しないというような整理はされていると、そういうふうに解析的にも評価されているところだと思いますけれども、実際にどうなるかがち

よっと不確実さがあるというところと、なかなか、このスライドにも書いてございますけれども、300℃以上の条件での知見が乏しいというところで、そういった実験データに基づいた解析モデルというのもまだまだ十分ではなかろうと。格納容器熱流動と一言で言いますけれども、その中に、先ほど議論にありましたように凝縮ですとか、あるいは、乱流ですとか、多成分系での熱伝達とか、乱流挙動という複雑な、物理的には基礎的なものかもしれないけれども、それが重なること、重畳することによって複雑になっていくかもしれない。そういったときに、さらに温度条件が300℃を超えるような超高温状態というところで、一体どのようなことが起きるかも含めて見ていく必要があるだろうと。それは、我々、規制庁の研究部隊として、今までわかっていることだけではないリスクがあるのか、ないのかというところを探るといっても含めて進めていこうというものでございます。

○高橋専門技術者 わかりました。

○萩沼企画官 はい、どうぞ。

○田原専門技術者 燃料デブリ冷却性実験のほうなんですけれども、熔融デブリジェット
の粒子化は既に取得、モデルとしては開発済みという位置づけだと思いますけれども、
ジェットの粒子化の粒子径分布とかが、この後の粒子状デブリの冷却性に非常に大きく効い
てくると思います。その粒径分布等を適切に評価できるというところは、もう既に開発済
みというか目途が立ったという理解でよろしいのでしょうか。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁、堀田でございます。

これについては、コード開発のところでは御説明申し上げますけれども、当然、ジェットの
ブレークアップとともに、粒子が発生します。その分布については、ある分布系を仮定
して、このDEFORという実験については、かなり狭いエラーバンドで予測できると。ただ、
この実験だけではございませんので、過去のデータもありますので、そういうものと比較
しました。同時に、この単純な粒子化だけじゃなくて、今、集積デブリという言葉があり
ましたけれども、聞きなれないかもしれませんが、十分固化しないまま降り積もつ
た物がくっつくと。単純にそういうことなんですけれども、非常に冷却材が中に入ってい
きにくい形態ですので、そういった現象が同時に起こりますので、そういったところにも
着目してこの実験をやったということです。また、モデルも今開発中です。

○萩沼企画官 よろしいですか。はい、どうぞ。

○田原専門技術者 すみません、あと一つだけ。

最後の燃料デブリ冷却性実験の側壁にデブリが押しつけられるような実験についてな

んですけれども、押しつけの圧力が接触熱抵抗とかには効いてくるとは思いますけれども、何か押しつけ圧力というのはパラメータにするのかということと、あと、この粒子状のデブリをどうやって加熱をするのかというのを教えていただきたいなと思います。

○秋葉統括技術研究調査官 現在のところ、検討中というのが現状ということなんですけれども、やはり押しつけ圧力に関しましてもパラメータとして実施していきたいと考えております。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁、堀田ですけれども、例えば燃料と被覆管のギャップでは押しつけ圧力、ペレットのスエリングによって熱伝達係数は変わるというのはかなり確立した話があるんですけれども、そこでもやはりコンタクトプレッシャーというのが一つのパラメータになっています。

この場合、似たようなものなんですけれども、発熱する側はセラミックであると、押し当てられるほうは金属であると、確実に金属のほうがやわらかいわけですね。粒子が降り積もってある程度の重さになれば、それが構造体を高温ですからやわらかくなっているところに押し当てて、それで接触面積がより増える。あとは、冷却材が多少入ってくれば、その対流による除去等ありますから、要はその組み合わせのデータをとりたいと。モデルもそのような発想で今調査しているところです。

発熱の仕方は、今検討中で、技術的には非常に難しいと思っています。というのは、構造材は金属ですね。ですから粒子に金属を使って誘導加熱をすると両方加熱されちゃう。セラミックにすると、それが使えないので、直接加熱にすると局所性が出てしまうというところで非常にこれは難しいかなと。北大の坂下先生達が、同じ発想の実験をやられて、さきごろの学会で発表されていたんですが、非常におもしろい結果が出ているので、その辺も参考にさせていただこうかなと思っています。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、続きまして委員の先生方から御意見をいただきたいと思いますが、いかがでしょうか。じゃあ糸井先生、お願いします。

○糸井委員 東京大学の糸井です。

2点ありまして、一つは、今の議論で大分クリアにはなっているんですけれども、不確実さを低減するというような言い方をされているんですけど、先ほど来議論があるように、現在の規制で何らかの形で扱われている不確実さと、現在の規制で扱われていない、まだ見つかっていない不確実さと、大きく分けて二つあるように思いますので、多分、両方に

チャレンジされていくと思うんですけど、可能な限り、計画の中でそういうような不確かさとぼやっとした言い方ではなくて、区別できるのであれば区別したような書きぶりに、今の議論等も踏まえてしていただくのがよいのかなというふうに感じたというのが1点で、もしその観点で追加で何かあればお答えをいただければと思います。

もう一つが、今、運転中の軽水炉に関する規制の高度化というところも目的として重要なのは間違いないんですけど、それ以外に、例えば福島事故の2回目事象に関する検討ですとか、あるいは、今、福島第一の廃炉の規制もされているわけで、そこにするような知見を得るとか、そういう観点でこのプロジェクトの目的を設定するということはないのかなということ、以上2点、伺えればと思います。

○秋葉統括技術研究調査官 まず、1F事故に関して何か資するようなものがないかという御意見ですけれども、こちらの研究でもそういったことは考えてございまして、やはりデブリの挙動に関しまして、どういった状況になっているのかというのを予測できないかということを考えております。

ですので、こちらの実験ではそこまで詳細なものはできない条件ではございますけれども、やはりデブリの現象の個別な現象をこういった実験で明らかにしていきまして、解析コードの開発に持っていきまして、そちらで予測をしようということを考えております。

○堀田主任技術研究調査官 不確かさについて、それでは現在の考えを述べさせていただきます。ちょうどこの絵があるのですが、まず、現在、審査中、あるいは審査が進行した後のプラントについて、例えばキャビティですとかペDESTALに水が張られて、そこにデブリが落ちたと。そうした場合に、MAAPですとかMELCORですとか、いわゆる軸対称の円盤形とか、そういう単純な形状を仮定して除熱可能ですかとかと、ベースマツトを貫通しますかとか、そういう話をしているわけですね。ところが、審査では、そういった総合コードで扱えないような例えば局所にデブリの粒子が降り積もったときに果たしてそれがちゃんと冠水できるかどうか、あるいは、キャビティの床面にはサンプとかドレインのような起伏とか溝があるんですけども、そういうところに熔融状態、あるいは粒子状態のデブリが入り込んだときに、ライナーを傷つけないかとか、そういった議論をかなり細かくやっています。この絵は、まさしく議論したアイテムになっています。

現状では、コードで扱えないものがほとんどですので、例えば非常に単純かつ保守的な過程をいったモデルで、あるいは説明、ロジックで安定して冷却できるとか、バウンダリーが健全であるという話をしている、こういったことに対して、今回の現象というのは、

どちらかというところ、今のコードでは表せないような局所性であるとか、非平衡性とか、そういうところに着目してしまっていて例でいうと、先ほどの粒子が構造体に接するような場合、ライナーにデブリ粒子が接すると考えていただくと、意外と冷えるんじゃないかなといった見込みもあって、これ、もちろん、粒径にもよるし、冷却材がどれだけ入ってくるかにもよると。そういったことを実験データを蓄積して解くといった話でございます。

もう一つ、記憶を一回整理していただきますと、触れられていない不確かさということに関しては、これは高温の溶融物の絡んだ実験というのは、実験の中になかなか不確かさが入っています。これは、制御できる範囲で例えば10回同じ実験をやっても、10回同じ結果は出ないです。例えば溶融物が水面にぶつかる時にどのように分裂するかというのはなかなか制御できませんし、溶融物を埒場の中で用意するんですけれども、予定した割合で共晶酸化物の組成でまぜたつもりでも、実際にはローカルに金属層が析出したりとか、そういうことがあって、なかなか最終状態の組成というのはケース・バイ・ケースで変わってくる。こういうのは、言い方が難しいんですけれども、わからないで済ませれば、いわゆる認識できない不確かさとして扱わざるを得ないと。ところが、それに対してちゃんとメカニズムを解明してモデルをつなげて、ある程度パラメータを設定すれば、これはどちらかというところ知見レベルに依存した不確か性になるだろう。ですので、これ、今実験の話ですから、実験では例えばなるべく再現性実験みたいなものも繰り返して、あと、高速ビデオも使って、実際に起こっていることを見に行くといったことをしております。

○萩沼企画官 では、守田先生、お願いいたします。

○守田委員 二つほどお伺いしたいんですが、今ちょうど糸井先生の御質問に対するお答えがあったところなので、ちょっとその関連でお伺いしたいんですけれども、解析コードで実際の現象を追いかけて、それがどの程度の確度をもって実際の現象を表現できるか、シミュレーションできるかというところについて、その精度を上げていくことが必要だと。そのために、よくわからない現象についてはモデル化ができないということになってしまうので、実験をまずやって、解析モデルを構築していきましょうというのが大まかな流れかと思います。

その中で、実験については、ある程度コントロールされた条件の中で実験をやって、こういう実験が出ましたと。その実験結果に対して解析コードがどの程度の精度で予測できるのかというのは、その実験のデータのばらつきというものを評価した上であれば、解析の精度というものは評価ができると思います。

一方で、実機で起こる現象というのは、模擬物質なり実物質を使って実際の実機でこうということが起こるだろうということを実験の中で再現をするわけですが、必ずしも全てのスペクトルがカバーできるわけではないというふうに思います。そのときに、理想的な条件でやった実験結果をもとに検証したコードが、実際の実機の中でどういような精度をもって評価できるかというところのアプローチをもう少し明確にされたほうがいいのかなというふうに思います。これが1点目です。

それからもう一つは、最後のデブリの冷却性の実験の話なんですが、構造壁への点接触での熱伝達がよくわからないので、この部分について実験をやりますということかと思うんですが、そもそもデブリが冷却材である水に浸かった状態で崩壊熱で発熱をしていて、それがうまく冷却できますかというふうに問われたら、まずは、デブリの中の熱対流の問題が、そこがうまくモデル化できているのかというところがまず気になるんじゃないかなと思うんですが、どうして構造壁との接触の熱伝達に着目されたのかというところの説明がもう少しあったほうがいいのかなというふうに思いました。

デブリの冷却性はデブリの性状自体が粒径分布があったりとか、デブリ粒子の形そのものが、当然、球形ではなかったりとか、形成されたベッドの形もいろんな形があり得るわけで、まずはそこでのデブリの中の対流熱伝達が、そこはある程度評価できるので、構造壁との接触のところがよくわからないので、それを解明する必要があるんだというような御説明であれば理解はするんですが、我々、これを評価する中で、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているかというところを評価しなければいけないので、その辺りをどうしてこのプロジェクトの中では構造材壁との接触のことに、ここを特出ししてどうしてデブリの冷却性のところで特出しされたのかというところの御説明をお願いできればと思います。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁、堀田です。

まず、実験と実機の違いですが、例えばMCCI実験は、今回、スコープに入っていないですけど、そこにおける小規模なキャビティのアンカリング⁶という問題が一つあります。実機では、十分に大きいキャビティなので、自重とか水圧で割れるでしょうということで、かなり議論としては不連続なわけですね。

熔融物の落下にしても、実験ではどれぐらいの放出ノズルの径にするかと、なかなか大きくはできないわけです。あまり大きくすると、途中で固化して実質的な放出径が徐々に変化してくるといろんな影響があります。

要は、実験では、ここは実機と実験で共通に“注目すべき領域”、要するにできれば同じパラメータ、あるいはスケーリングが可能なモデルを備えたものでスケールアップする領域。と同時に、実験特有の初期境界条件であったり、そういうものはどちらかというところ“周辺領域”ある。これは実機の場合ですとシナリオがあるわけですから、例えば貫通孔の径とか、そういうのが決まるわけですね。ですので、ここまで単純にいくと思わないですけど、まずそういった注目するパラメータを中核的なものと周辺的なものに切り分けて計測というものの不確かさをある程度分類するわけです。

ただ、もちろん、シビアアクシデントですから、非常に含まれる現象の種類とか、それぞれのスケールに幅があるので、そういうことをうまくやるには、やはり現象というのにはある意味、区切ってやる必要があると。例えば、我々の場合ですと、圧力容器の底部から落下したときの分裂から、いわゆるセディメンテーションというか、落ちつくところが出ると。そこからは、例えば粒子だったらセルフレベルリングで広がると。あるいは、溶融だったらメルトスプレッドすると、そういうふうに分けて、その扱える範囲の中で先ほど言った“中核領域”と“周辺領域”のパラメータを分けて扱っていくと、そういうことを基本思想として持っています。

もう一つ、粒子レベルの伝熱の話ですけれども、実は、評価コードの話は後でありますので、そのプロジェクトが始まる前に、当然、バリテーションのための実験データはどんなものがあるかというのは調査をしました。我々は、そのころ、純粹に粒子のみからできているデブリベッドのモデルをつくらうと思っていましたので、それに関しては、過去にかなり実験がやられています。TMI-2以降、そういうことに非常に関心が集まって長く実験をやられていて、データも入手することができたので、その範囲ですと、新たに実験をすることなく、いわゆる粒子層内でのCGFL現象に支配されたドライアウトまでバリテーションすることができています。

ただ、やはり実用面、実機への適用ということを考え、先ほどこの絵で言いましたように、いろんなデブリと接する要素というのがデブリベッドにはありまして、そういうものに対してやはり熱伝達係数というのをそろえていかないと、実際に安全評価で求められるようなニーズには応えられないというところでありまして、そんな中の代表例というのが、この接触熱伝達ケースになります。

○萩沼企画官 牟田先生、よろしく願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

大体、皆さんのほうでコメントをしていただいたので、私のほうからはそんなに大きなコメントはないんですけれども、こちらの研究を遂行される上で、いろんな実験項目を立てられていらっしゃるけれども、その実験項目の選定というのが、不確実さという概念でくくられているのかなというふうな気がしています。

ちょっとよくわからなかったのは、その不確実さとか不確かさとかというものをまず皆さんがどういうふうに捉えられているのかということがとても気になっていまして、つまり、全然わからないことをわかるようにするための実験なのか、それとも、ある現象を捉えるのに非常に幅が広過ぎて、そこ幅を縮めることで、ある程度起こることが確からしくわかるような捉え方をしなきゃいけないのかとか、いろいろあると思うんですね。

大変失礼ながら、今並べているものを御説明されましたけれども、あんまりそれぞれがどういうふうなモチベーションで抽出された実験項目なのかというのがちょっとよくわからなかったもので、最初、事前の評価ということですので、そういったところを少しわかるような形で資料があればよかったのかなという気はいたします。

それで、関連して一つなんですけれども、タイムスパン、最後に計画のほうを御紹介されていらっしゃるけれども、大体3年とか6年とかという区切りで線が引かれていらっしゃると思います。先ほど私が申し上げたように、不確かさの捉え方とかを考えますと、やはりそれには重い、軽いというのが多少あるのかな、多分全部、重いという答えなのかもしれないけれども、この中でもやっぱり優先度が高いもの、低いものというのものもあるような気はします。

その中で、全然多分わからないといったような不確かさが一番優先度が高いような気はいたしますけれども、ちょっとそこは素人判断になりますのでどれがということは申し上げられませんけれども、ある程度、そういう軽重があってもいいのかなという気は私はしております。

それから、ちょっとこれはあまり重要なコメントではありませんけれども、成果の公表として論文の投稿ということを挙げていらっしゃるけれども、恐らく学術的な部分と、あとはデータベースとしての部分というのがそれぞれあると思うんですね。論文はやはり学術的なところでまとめられるものかと思しますので、これと並行して、多分、技術レポートとかをつくられるとは思いますが、そういったところは技術レポートで大いにカバーをしていただくようなほうがよろしいかと思ます。せっかくこれだけの実験をされるわけですから、やはり皆さんで共有できるような、そういう成果になればいいのか

なというふうに思いますし、あるいは、データとしての残し方ですね。学術論文なのか、それとも技術的なレポートなのかというところの切り分けというのはちょっと検討していただければなというふうに思います。

以上、コメント2点です。

○堀田主任技術研究調査官 不確実性についてお答えします。

こちらに例えばデブリ冷却性のコードを開発する前に、これは後の説明でもまた使うんですけれども、こういった知見があるかというのを整理しました。例えば、ジェットのプロクアップ、液滴化にしても、モデルによってこういう計測項目が欲しいとか、あるいは、解像度はこれぐらいでないといけないなどというのがあるので、当然、そういった基準に従って実験は選んでいるわけです。

不確かさというのは、我々は不確かさといいます、不確実さというのは、我々はあくまで実験とシミュレーションモデルを比較した結果、整理の結果として表かできると考えています。当然、シミュレーションモデルを考える上では、何を評価するかといったことが、ターゲットが問題になります。ここでは、例えばデブリがキャビティの中で安定に冷却されるといったことが評価目的になっています。これは、DBAみたいに被覆管の温度が1,200℃とか、そういうふうに非常に狭い話じゃなくて、安定冷却とは何かということから考えなきゃいけないんですね。恐らくローカルに再溶融がちょっと起きても、それがちゃんと保持されていれば安定だという考え方もあるでしょうし、その辺はまだ明確にしていけないです。

要は、そのシミュレーションコードがある程度開発されて実験と比較する間、その間、いろいろなパラメータ、モデルの改良とかパラメータの追加があって、それぞれのパラメータの役割、あるいは、そのパラメータが実験を表し得るレンジ、確率分布みたいなものもアサインすることになると思います。そういったものを組み合わせて、できるだけ相互作用が大きいようなパラメータをねぐったりして、全体として現象の予測幅というのが決まれば、それまでに安定冷却の定義がある程度決まっているという前提ですけれども、そうすると、それぞれの不確実さ要因の軽重というものもわかってくるというふうに理想的には考えています。

○秋葉統括技術研究調査官 残りの2点目のデータの公表に関してですけれども、規制庁としましては、実施した実験に関する報告というのを毎年国会図書館ですとか環境図書館に納入をしておりますので、それぞれデータとしてはそちらで公開はされております。

ただ、やはりきちんとどういった観点で採取されたデータかとか、こちらで規制庁としてきちんとどういうふうに使っていくべきなのかというふうにデータをきちんとまとめたものとして技術レポートというようなものを作成することにはなるんですけども、ちょっとこちらの研究計画のほうにはそれを記載はしていませんけれども、論文投稿のみならず、そういった技術報告、規制庁としての技術報告といったものも活用して公表していくような形にしていきたいと考えております。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、時間も押しているようですので、あと2件ございます。

続きますのは、中間評価対象となる安全研究プロジェクトの説明に移りたいと思います。

令和4年度まで行われる安全研究プロジェクト、軽水炉の重大事故時における不確実さの大きな物理化学現象に関する解析コードの開発について、シビアアクシデント研究部門の堀田主任技術研究調査官から説明させていただきます。

○堀田主任技術研究調査官 それでは、研究内容について堀田が御説明いたします。

説明は、ここに示す7項目から成っていきまして、主に説明の時間を割いていくのが、この2番目の主要成果になります。この研究では、先ほどの実験とかなりリンクしているんですけども、重大事故が発生したときに発生する格納容器の機能維持に関して脅威になるような荷重を発生させるような物理化学現象というものが幾つかありまして、こういうものに対していまだに解析コードによる予測に大きな不確実性を伴っております。したがって、国内外において、これらについて継続的な研究が進められているということと、我々もそういったところに協力、プロジェクトに参加する、あるいは、独自の実験をして専門家と情報を共有するといったことを通じて知見を拡充しているところでございます。

特にプラントの安全及び防災対策の継続的な向上という観点からは、我々は三つの分野に着目していきまして、一つは、代表的なエナジェティック事象である圧力容器外の溶融燃料冷却材の相互作用、いわゆるFCIです。もう一つは、溶融炉心とコンクリーとの相互作用（MCCI）。2番目が、先ほど実験のところに出てまいりましたが、圧力容器外に出てきたデブリベッドの形態ですとか、その冷却性に関する問題です。3番目はソースタームといったことで、ここにはFPの移行とスクラビングのようなものが含まれています。

これが研究の行程になりますけれども、コード開発のプロジェクトですので、この研究行程、ロードマップというものを四つの要素から構成しています。一つは、現象分析とモ

デルを検討すること。コードを設計する。定式化とか離散化ですね。実際にコーディングとか検証をしていくことと、最後に実験データですとか実機の事故例との比較による妥当性確認をやっていくと、こういったものによって、平成29年度から始まってまして、令和4年までの計画です。本日はこの平成29年と平成30年の成果を御紹介いたします。

まず、圧力容器外のFCIコードですけれども、ここでは新しいコードの開発と、従来のコードの改良の二つの開発をあわせて行っています。

ここは、新しいコードの開発についてまとめてまして、ここではJBREAKという三次元のFCIを扱えるコードの開発を行っています。この背景というのは、実機においては、実際には貫通孔というのは必ずしも中心軸上ではないわけで、場合によっては、下部ヘッド内で溶融物が成層化などをすると、フォーカシングという現象によって熱流束が高くなる場所があれば、そういった周辺が貫通して必ずしも真下に落ちてこないといったことがあります。こういったことを扱えるように、溶融物と周囲の雰囲気等の界面を扱う界面追跡法を使ったコードを開発しているところでございます。

特にこのコードでは、先ほど来、集積デブリという話がありますけれども、冷却性が劣る集積デブリの追跡というものも精度よく行おうといったことを考えた仕様になっています。

これまで2年間の成果なんですが、界面追跡法のほうは大体ベーシックなところはできているんですけれども、重要なのは界面追跡法で液滴の発生をダイレクトに扱うというのは非常に大変なことで、三次元でやるととてつもない計算コストが必要となります。我々は、ジェットから液滴の発生というのは相関式で扱う。ただし、若干、複雑な相関式を考えて、側面と先端ではモデルを分けています。側面では、いわゆるKelvin-Helmholtz型の界面不安定、先端ではRayleigh-Taylor型の界面不安定、こういったものを組み合わせたハイブリッドモデルで液滴の発生を扱っています。ですので、ブレークアップが合うように恣意的にファクターをいじるとか、そういうことはしていません。これをダイレクトに使っています。

発生した液滴というのは、雰囲気ですとプール中央をさまよいながら落ちていくわけですが、当然、乱流の影響も受けたりするので、別のコードでDPCOOLというのが後で出てきますけど、そこで求めた乱流エネルギー場に基づいたランダムウォーク法というLagrangian法で軌跡を求めています。結果、床面に落ちてくるというところまでをフォローすると。

一方で、従来モデルですけれども、これは有効性評価の参考解析の位置づけだと思いますけれども、FCIの解析で使われていますJAERIが開発したJASMIN、これはR-Z体系ですね。R-Z体系ですので、中心軸の落下しか扱わないというのが原則なんですけれども、主な改良点というのは、従来バージョン、オリジナルバージョンというのはジェットからの液滴発生というのは単一粒径しか扱えなかったです。これを先ほどちょっとお話にもありましたけれども、粒径分布が扱えるように改良しています。具体的には、JAERIがかなり昔にやったALPHA実験等のデータベースでよく表すRosin-Rammler分布というもので発生する粒子の径というものをアサインしています。

これがRosin-Rammler分布によるフィッティングの結果なんですけれども、こちらが、森山さんたちがやられたALPHAのデータベースですね。ALPHA自体の模擬物質の実験のほかに、coriumを使った実験も含めたかなり広いデータベースになっていますけれども、これが今回、終了したスウェーデンで行ったDEFOR-Aの実験結果ですね。DEFOR-Aは、単一の実験ですから、非常に狭いエラーバンドでRosin-Rammler分布をフィッティングできていて、同じフィッティングでもってALPHAのデータベースによく表せられるということで、これは実は平成28年度までにここまで成果ができていまして、今期何をやったかという、実はこれを使って後に集積デブリの予測につなげますので、そこの辺のインターフェースプログラムを整備したといったところが今期の成果になっています。

MCCIコードですけれども、これも実際は、MELCORだったら軸対称ですけれども、MAAPですと平板を組み合わせたような侵食モデルによって平均的な侵食深さしかわからないといったところがありまして、実際にペDESTALにもたれかかったようなデブリの堆積とか、そういったときにはどうなるのという話があるんですけれども、三次元の侵食を扱うためにCORCAABといったコードを開発中です。

特にこの2年間やったことというのは、侵食のアルゴリズムですね。これはローカルな条件で決まりますので、溶融物とコンクリートの接触面のローカルな条件でどう侵食するかということを三次元的に精度よく解析する。いろいろ手法を選びましたが、やはり界面追跡法の中でも一番精度の高いPLIC法というのがありますけれども、これは界面勾配の輸送を扱う方法ですけど、これを使ったコードをつくっています。

これにクラスト、これもローカルな現象ですけれども、クラストの成長モデルとか、あとは溶融デブリークラストの熱伝達モデル等、熱伝達モデルを暫定的に入れて、実機で想定されるような複雑な形状のキャビティを複数種類を数パターン解析してみたという

ころです。これはサンプが2カ所あるBWRの典型的な例ですけれども、ここまで侵食が進むことはないと思われるんですけれども、サンプが侵食されて徐々に広がって、やがて一つの空間になるといったところまでちゃんと扱えます。そのほかにドレインですとか、入隅部に落ちた場合とか、幾つかのパターンを扱って、このアルゴリズムの機能というものを確認しているというところなんです。

今後、今まで軸対称モデルで培った知見でデブリの対流とかコンクリート・スラグ境界の流動を考慮して、これらはみんなローカルなメカニズムと呼んでいるのですが、逆に言うと、熔融デブリの対流とかコンクリート・スラグ境界というのはネットワークでつながっていますから、グローバルなメカニズムと言うことができます。グローバルなものをあわせて全体としてキャビティがどのように侵食されていくかということを考えれば、長時間の侵食が予測できるということも提案しています。というのは、多くの実験が非常に小さいキャビティ形状で、たかだか数時間の侵食ということになっています。こういった実験結果を実機の例えば数日間の侵食に外挿適用するというのは現実には非常に難しいことで、非常にいろいろ保守的な過程をして今やっているわけですが、そういったところに一つの手法というものを提案していきたいというのが我々の目標です。

続きましてデブリ冷却です。ここではイベントツリーによって関連する現象というのを抽出して、ここにある6分野ですね。このうち一つ目については、下部ヘッ드의破損ですが、かなり長い間、流動解析の手法が開発されていますので、あとは、かなり設計に依存するという世界ですので、ここは対象外として、熔融ジェットが落ちてデブリベッドができて、それがどう冷えるか、あるいは再熔融するかといったところを解こうとしています。これが先ほど言ったバリデーションのためのデータベースの調査ですね。これに基づいて必要な実験を、DEFOR-A、PULiMSと、あとREMCODという実験をやって、接触熱伝達のものがちょっと今まで考慮されていなかったもので、次期追加する。

アプローチとしては決定論的なアプローチ、これは、大規模な計算に基づく詳細なモデルによるものです。あと、やはり不確かさを押さえるという点では、そこそこの精度を持った簡易モデルによる確率論的アプローチというものをあわせてやっていく必要があるということで、これを併用して開発しています。

決定論的アプローチですが、THERMOSというコードをつくってまして、これは熔融物の落下からデブリ冷却、熔融物の広がり、物質相互作用や再熔融、こういったものを扱う四つのモジュールですね。JBREAK、DPCOOL、MSPREAD、REMELTというものから構成

しています。

DPCOOLは、これは平成28年度までにかかなり開発が進んでいるのですが、それはあくまで粒子から構成されるデブリということで、今期やっているのは、そこに塊状のデブリがあると、中に冷却材が流れている構造物があるとか、そういったものが合わさった複雑性を持ったデブリベッドの冷却性、これによって熱伝達ケースがいろいろ必要になってくる。もう一つが、先ほど言ったセラミック粒子と構造体の接触であるといったことです。

そのほかの開発項目としては、セルフレベリングについて、これはスウェーデンのKTHのBassoという人が開発した粒子層の流れ、これは一次元モデルだったんですけど、これを三次元に拡張してDPCOOLに組み込んでPDS実験に対して確認しています。

MSPREAD、溶融物の広がりですけれども、これも骨格は28年度までにつくっているんですけども、今期、このプロジェクトでは、それをより複雑、実用的にするということで、例えば、コンクリートから発生したガスによる効果、例えば攪拌効果とか、摩擦係数に対する効果、こういったものを考慮するのと、あと、実機にあるようなサンプなどの溝を扱うコード、これ、実際の浅水方程式というのをつくっていますので、軸方向の自由度がない中、こういった溝の効果を考えるといった工夫をしております。

特筆すべきモデルの開発としては、先ごろも学会で発表しました非等方広がり、これはドイツのDFZKで行われたECOKATSという実験ですけれども、これは傾斜のチャンネルから出てきた溶融物、模擬物質ですけれども、出てきた瞬間にかかなり非等方に広がっているわけですね。そのビデオをいろいろつぶさに観察して、表面に例えばいわゆるフローティングクラストという物が先端にたまって、ダムみたいな物をつくってローカルにいろいろ止めるんじゃないかと、そこを乗り越えていたり迂回したり、そういうことで広がりがどんどん不規則になっていくといったことに着目して、今のところまだユーザーがそういったダムの生成と決壊へのタイミングに与えますが、こういったモデルによって実験をかなり再現できるといったところまでたどり着いています。

これがJBREAKで、これは、SAコードの中で液滴の発生を開発いたしまして、この開発の中ではコードというのはインターフェースですね。一つ目はデブリの堆積ロジックと。粒子デブリがどう堆積するか、このセディメンテーションですけれども、DPCOOL、MSPREADにどう受け渡すかですね。溶融デブリの場合は、このように落ちて、ある領域を境界にしてモメンタムをMSPREADに引き渡す。あとは、DPCOOLの乱流エネルギー場を使ったランダムウォークのモデル、こういったインターフェースを開発しています。

主要成果、REMELTについては今コーディングのデザインが終わったところで、今期、プロトタイプをつくっているところです。

確率論的なところはJASMINを使いまして、これは非常に軽い計算負荷で冷却水を見るということで、デブリを三つの構成要素からできるとする。すなわち、塊状と集積デブリと、あとは粒子レベルですね。この構成要素がどれだけ広がるかということはこのコード一つで簡易に計算する。ですので、不確かさ解析のレンジを見るにはこのコードが非常に適しています。

集積デブリについては、DEFOR実験でキャッチャーを水面に近いところから四つ、底もあわせて設置しますが、当然、上のほうが液滴が冷えていないですから、集積する割合が高くなり、四つのケースについて液滴群の重なりをベースとしたモデルを、ロジックを提案しまして、四つの実験についてかなりよく合うことができるといったところを見ています。

これはPULiMSという実験に対するやはりJASMINのメルトスプレッドの機能の確認です。今まで空気中の拡がりしか圧会えませんでした、水中の熱伝達のモデルを入れてPULiMSの実験を、これ、1ケースですけれども、かなりよく表すことができるというところまで来ています。

ソースタームですけれども、ソースタームについては、基本的には総合SAコードに詳細な例えば化学プロセスをいかに生かすかといったところが一つの着目点、プラス、スクラビングになります。

まず、前者のほうですけれども、ここにありますように、化学平衡論公道、これ、米国のVICTORIA2.0ですけれども、こういったものを導入して、今まで着目されていなかったBWRのホウ素がある場合の化学平衡論のモデルの妥当性について確認しています。物によっては、例えばヨウ素ですとかPWRの銀インジウムのような物というのは、平衡論ではなくて、化学反応速度論を扱わなければ精度が出ないという問題があります。こういったものについては、このプロジェクトの中でCHEMKEqという速度論のコードを開発しまして、利用できるデータでもって、その妥当性を見ているといったところです。

将来的には、これが総合SAコードにどういう形でも入れなければなりません。ただどちらにしても、そのまま入れると非常に計算負荷が高くなります。非常に関与する元素が多いですし、計算負荷が高いです。今期までにやったことというのは、化学平衡論については統計論を用いた代替モデルをつくって、これ、計算負荷はかなり低いですけれども、

これを総合SAコード、このプロジェクトの場合は、今のところJAEAが持っているTHALESというコードですけれども、それにカップリングして化学平衡論を技術的に扱えるシステムを開発しています。将来的には化学平衡論もそのような代替モデル化が必要になってくる。そういったものの妥当性確認と、例えば化学平衡論を実機に適用する、ここではBWRのMark-Iの全交流電源喪失時の例を示していますが、こちらでは、格納容器に移行するセシウムの化学種を示しています。赤が、FP化学がないもともとのTHALESですね。青が、FP化学が代替モデルとして入れられたTHALESです。そうすると、やはりボロンの化学過程を扱っているということで、従来のものとはセシウム、水酸化セシウムの出来高がかなり違っているのと、化学変化したところでヨウ化セシウムの量というのはそんなに変わらないですが、考慮されているモリブデン酸セシウムとか、ボロン酸セシウムというのが新たに出てくるという、環境にはまた相応の影響が出てくるというところでは。

スクラビングに関しては、先ほどの実験、大規模実験は終了してしまっていて、小規模実験というのはまだ継続して、中規模実験も継続することを今計画していますけれども、そういったところから得られるデータをどのようにスクラビングモデルに生かそうかといったロジックを確立して、モデルの改良の方針を立てたところでは。先ほど議論になっていましたけれども、その中でCFDを使った気泡内の流れが、あるいは、気泡の中、今もスクラビングモデルというのは凝縮が起きた現象というのは平衡状態で扱っていますので、実際は加熱状態で減圧していくとかなり強い非平衡状態になりますので、そういったことをいかに考慮するかということがモデル化の改良のポイントになってくるというところでは。

まとめ等は割愛させていただきます。

活用ですけれども、当然、今まで審査の中でもこういった知見は、コードが開発されないまでも、コード開発までに得られた実験的知見とか、そういうものは審査の中で適宜活用してまいりました。

今後の見通しとしては、福島第一の原子力発電所事故の現地調査等も行っていて、これに基づく事故分析にこういったコードを活用していきたいといったことも考えております。

以上でございます。

○萩沼企画官 ありがとうございます。それでは質疑とさせていただきます。先ほどと同様に、専門技術者の方、それから委員の方の順番で御意見、御質問があればよろしくお

願いいたします。

では、倉本委員、お願いします。

○倉本専門技術者 原子力エネルギー協議会の倉本です。

御説明ありがとうございました。2点質問と確認をさせていただきます。

プラント内の放射性物質移行解析コードのほうで、専門ではないので理解できなかった点があるので御確認させていただきたいのですが、スライドの27ページ目かな。ここで、注意書きのほうを見ますと、FP化学モデルなしでは、セシウムの化学形をヨウ素とCsOHに固定と書いてあって、グラフのほうのFP化学モデルなしと代替統計モデルとの関係で見ると、この説明だと赤色と青色は逆なのかなと理解したんですけども、ここのもう一度内容とか具体的な方法を御説明いただければと思うんですけども。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁、堀田ですが、御指摘の可能性があるので、チェックさせていただきます。

○倉本専門技術者 逆だと捉えたらよろしいですね。

○堀田主任技術研究調査官 後程チェックさせていただきます。

○倉本専門技術者 わかりました。それであれば、理解できる内容です。

それともう1点なんですけども、デブリ冷却性評価の点についての御質問です。JASMINコードで、集積デブリの生成予測ということで評価をされているところなんですけれども。この説明で集積デブリ割合データということ定義されて、評価をされているという左側の考えの中では、粒子の重なり部分を除く面積と、あと粒子総和の断面積といったことで、面積で考えている考え方と、DEFORの実験のほうでは重量割合での割合ということで、このJASMINのコードの中では面積比で評価をした上で、透水性が困難になる冷却性の悪化度を評価するということになるかと思うんですけども。その場合に、重量で従来のほうが、その冷却性悪化にはかなりダイレクトに効くと思うんですけども、その差異とか、そういったことはあり得るのか。あるいは、この辺りについてはどのようにお考えなのかということ、御確認させていただきたいと思います。

○堀田主任技術研究調査官 これは少し情報が足りない図かと思うんですけども、あくまで集積のありなしを判断するために、JASMINのモデルについてちょっと詳しいところに入り込むんですけども、JASMINは液滴がある数たまったところで、メルトジェットから放出するというモデルを持っています。ですので、放出されるものは液滴群ということになるわけです。

ここで言っているのは、一つ一つの液滴群同士の干渉を見ているわけです。その干渉の度合いが合体する、集積するに十分なものというのは、この重なり具合と、固化の割合、これは持っているエンタルピーを指標にしますけども、それがある条件を満たしたら、これは合体しますよと。それぞれ液滴群というのはサイズと密度を持っていますので、それを合算すれば、集積デブリの質量になります。その質量を全部合算したものが、落ちたものの全体に対する割合は、こちらの縦軸の集積デブリの生成割合ということになっていました。もちろん、おっしゃられるように重要なのは質量になりますので。

○倉本専門技術者 面積から質量のほうに換算するという理解ですね。

○堀田主任技術研究調査官 はい。

○倉本専門技術者 わかりました。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、ほかにございますか。はい、どうぞ。

○田原専門技術者 東芝の田原です。

まず、CORCAABと読むんでしょうか、デブリとコンクリートの相互作用を解いて、侵食の状態を評価しているということなんですけれども。侵食されたコンクリートは、デブリの中に均一にまざるとしているのか、あるいはコンクリートは密度軽いので上のほうに集まって、その下にMCCIのガスがたまると電熱を悪化させるとか、そういった現象も考えられますが、そうしたところまでは考えていないのかということ。あと、崩壊熱の分布にも影響をしてくると思いますので、そこら辺のコンクリートのまざり具合をどう扱っているのかというところを、お聞かせ願えればと思います。

○堀田主任技術研究調査官 まず、三次元のMCCIコードというのは、非常に開発が難しいというのが専門家の意見でして。2年ぐらい前ですか、OECDのMCCIのSOARレポート出ましたけども、基本的にいろいろな相関式がランパラメータになっているので、三次元化の道りは遠いというような。

我々は、何でもかんでも理想を目指しているわけじゃなくて、侵食というものは、やっぱりローカルな条件で決まるだろうと。ただ、侵食の結果、キャビティの形状が変化していくには、グローバルな現象も考えなきゃいけないと、その切り分けをまずします。

今言われた幾つかの現象がありましたけども、コンクリート、確かに溶けてくると、この境界から入ってきます。多くのコードは、またOECDのCCI実験でも、コンクリートはほぼ一様にまざっているという報告もありますけども。例えば、最新知見で言うと、廃炉側

でやられたVULCANOの実験では、表面層のサンプリングをすると、かなりコンクリートは溶けたんだけど、表面からはほとんど検出されないと、そういったデータもあります。

もちろん石灰岩系とケイ酸岩系で、そういった分布の仕方は違うと。例えば、石灰岩系の場合は、非常に小粒形で中に入っただけでまいますので、対流があれば一様にまざりやすいと。ケイ酸岩系の場合は、大粒で耐熱性のものが主体になりますので、どちらかというとな下に沈んでいくと。例えば、そういうものが異方性を生じさせると、いろんな説があるんです。固まった説は、多分ないと思います。

ただ、そういった知見を入れるためには、やはり今のランプパラメータモデルでは限界があるだろう。わかった知見に合うように、例えば熱伝達係数を方向によって調整することはできますけども。実際は、対流がコンクリート成分の分布とか、金属の成分の分布、崩壊熱の分布によって変化するという話はやりづらいし、境界のスラグ層で、なぜ底部と側面の侵食が違うのかともわからないということがありますので。そういったところをダイレクトに反映できるようなグローバルなモデルというものを、これから考えていきたい。

それがどういうメリットを期待しているかというと、例えばOECDのCCIプロジェクトでケイ酸岩系の実験において、側面方向により多く、例えば4倍ぐらい早く侵食されたとありますけども、あれが果たしてずっと何日も起こるのかという問題があります。それだけのキャビティが掘れていけば、その対流と全体のもとのキャビティの空間というのは、同じ対流にはならないと思いますし、当然、溶融物も組成も変わってくるはずで。

ですから、そういったところ、もちろん実験がこれから必要なんですけども、そういった実験の必要性であるとか、知見が我々の場合のモデルとして開発していければと思っています。

○田原専門技術者 ありがとうございます。そういったところの不確かさをどういうふうに扱っていくのかというのが、これからの課題にもなるかと思っていますので、よろしく願いいたします。

あとキャビティ注水時の冷却性解析コードの開発のところ、キャビティ注水と言っているのは、もう事前に水が張ってある状態というのを前提にしているのでしょうか。それとも、ドライな状態で落ちてくるというのも対象に入っているのでしょうか。

○堀田主任技術研究調査官 知見が足りないのは、多分あと水が張っている場合というふうを考えています。ドライな場合は、恐らくかなり実験が、例えば欧州などで行われてい

て、それが必ずしも日本の体系で使われるといったことはないんですけども、いわゆるその流動性ですとか、それをよくするための知見ですとか、そういったものがあることは承知しています。ですので、どちらにフォーカスがあるかという、我々、どちらかという、さまざまな深さの、どちらかというと熔融ジェットが完全に分裂しないかもしれないことも含めた程度の深さのプールも含めた知見をそろえようとしているといったところです。

○田原専門技術者 ありがとうございます。ドライな状態ですと、ジェット・インピンジメントで床面が掘られて、その床面の形状が変わったときに、じゃあそこでどれぐらいの熱が床に伝わるようになるのかとか、そういったところにもやはり不確かさって結構大きく残っているかと思しますので、ちょっとドライなほうも忘れずに、いずれお願いしたいかと思います。

○堀田主任技術研究調査官 福島第一の分析では、当然、号機によってはそういった状況も予想されますし、まず知見の調査から始めて、確かにPSIのCORVISという実験でそういったことも調べられていたような記憶もありますので、少しその辺、関心を持って研究を進めていきたいと思います。

○萩沼企画官 ほかにございますでしょうか。じゃあ、よろしくお願いします。

○高橋専門技術者 すみません、非常に簡単というか、短絡的な質問なんですけども。このJBREAKの開発が完了したら、この圧力容器からどういう形状でその熔融物が噴出するかという、その形の大きさとか、位置とかというのは、うまく予測できると理解しておっているんですか。

○堀田主任技術研究調査官 すみません。前提として、今回の開発では、当初は、やはり圧力容器がどう壊れるか、どこの位置でと、非常に重要だと初期条件として考えていたところなんですけども。これに関していろいろ調査したところ、アメリカですとか欧州、あと韓国も含めて、積分的な実験から個別効果の実験までかなりやっています。それなりに予測手法も整備されています。

あわせて、何よりもかなり設計に依存するという、貫通孔の形状というのは、かなり炉型によって違ってしまっていて、そういったものを正確に反映しないと、なかなか意味のあるものにはできないということも認識されましたので、こちらスコープ外としておりますが、我々はこの研究の中で、パートナーシップというか協力をしてもらっていますスウェーデン王立工科大学では、やはりBWRの国ですから、この辺の研究はかなり進んでいて。

そういった知見というのは、今、かなり学んでいるところではあります。この研究のスコープとして表に出すものはないというところです。

○高橋専門技術者 わかりました。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、続きまして、委員の先生方から御意見をいただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

○守田委員 九州大学の守田です。

非常に幅の広い現象に対して、精緻な解析が実験データに基づいてできるようになってきているということで、非常に進捗が見られるというふうに思いました。

ちょっとお伺いしたいのが、FCIのコードのところで、JBREAKの開発と既存の従来からございますJASMINの改良のお話があったんですけども。これ二つのコードを、一つは新しく開発で、もう一つは改良ということで挙げられていましたけども。これはJBREAKのほうのコードでJASMINが扱っているところが全部カバーできなくて、二つのJASMINのほうは、さらにまだ改良を進めているというようなことなんでしょうか。それが1点です。

もう一つは、このコードに関して、FCIの現象の対象の幅なんですけども、いわゆる粗混合の範囲までなのか、それとも蒸気爆発といいますか、そういったような大規模なエネルギーが出るような、そういった現象までもターゲットとしているのかということ、まずお聞かせいただけますでしょうか。

○堀田主任技術研究調査官 ありがとうございます。この二つのコードは、それぞれ違った目標を持ってしまして、JASMINのほうは、もう既にFCIの、トリガーは除いてですけど、広いスコープを扱うことができます、機械エネルギーまで求めることができます。ただ、こういった改良によって、粒子形の分布を反映するという事は、初期条件として重要な粗混合状態の精度向上につながりますので、これはまずやっておこうということ。その後、集積デブリの予測に使われると。ただ、どうしても自由度が非常に低いので、使えるモデルというのは、使えるパラメータ、実験変数というのは少なくなってくる傾向はあると考えられています。

まず、対象であるということと、流れ場については、やはりそれほど実験の精度を模擬できていないかもしれないといったところがございます。そのかわり計算負荷が低いので、注目するパラメータの感度を見るという意味では非常に強力なツールになり得る。

JBREAKのほうは、ダイレクトに三次元で解いていますので、プール槽については、乱流も

解いている。どういうことがわかるかと言うと、先ほど実験の中で再現性の問題を申し上げましたが、この実験も、やはり再現性という面では、かなり苦しい問題が幾つかあって。いわゆるアウトライアーじゃないかと思うところについては、なるべく条件を近くして、再現性の実験をやったりしています。

何でそれが起こるかと言うと、例えばテーブルのキャッチャーと言います、キャッチャーのちょっとしたミスアライメントですとか、先ほど言いました溶融ジェットが水面に当たるときのスプラッシュというか、分裂してしまっ、その後、大きな塊のまま分裂せずに第1キャッチャーに到達して、周りの粒子を取り込んで、あたかも集積デブリのような様相を呈してしまう。あるいは、もっと上のほうで、これはモデルの対象じゃないんですけど、ノズルの中で出てくる間に、除熱によってノズルの内側にクラストが成長して、だんだん径が小さくなってきてしまうとか、いろいろ計測データとしては情報があります。

例えば、そういったものを、こういうコードですと、入れようと思えば入れられるわけです。またもう一つは、キャッチャーが大体4象限をカバーするようにできているんですけども、垂直に落ちてくるわけじゃないですから、流動、狭い空間ですから、回り込みとかあるわけです。そういったことも、このコードではダイレクトに解けるということで。このコードでは計算負荷が非常に高いですけども、そういった、ややもすれば実験の不確かさで済まされてしまうようなものについて、少し切り込むことができるといったメリットがあります。

あと、このままFCIコードになるのかということは、当然、ここタイトルはFCIコードの開発ですから、今、予混合を一生懸命やっていますけども、これにトリガーをモデル化しないまでも、フラグメンテーションモデルを入れて、一気に総変化を起こせば、その辺の圧力は出てくるだろうと。今のところ、数知的に非常に厳しいという壁にぶち当たっています。

ですので、これは残りの期間まだありますので、そういったところを乗り越えれば、例えばペDESTALのごく近傍でFCIが起きた場合の話であるとかいうことに対して、現在非常に理想的なモデルを使っているんですけども、少し現実的な扱いが可能になるかなといったふうに考えています。ただ、この数値的な問題は、そんな簡単ではないということも認識しています。

○守田委員 ありがとうございます。よくわかりました。

もう一つなんですが、最後の30ページのところの、今後の展開のところ課題を挙げら

れていますが。開発されたコード群、それに使われた実験とかの、今日、トロンを用いた検証の成果のお話があったんですけども、ここに示されていない課題については、先ほど、この前にプロジェクトの事前評価のところでも御説明があったところが、コード群の開発の中で残されている課題というふうに読んでよろしいのでしょうか。それとも、もう課題はここだけだよというふうな御説明になるのでしょうか。

○堀田主任技術研究調査官 すみません、ありがとうございます。実験のプロジェクトの中では、このオンゴーイングのコード開発の中で認識された課題というのは、既に反映しているという位置づけでございます。

ここの最後の今後の課題として、これはどちらかというところ、またちゃんとした道筋を立ててないところなんですけども、こういった精緻な高解像度のコードを1セットつくって組み合わせれば、シビアアクシデント解析できるかというところ、まだそういう状況ではない。

プラント全体の挙動というのは、相変わらずMELCORやMAAPで求めていく。それらを境界条件にして、こういった詳細コードを組み合わせるというアプローチになる。あるいは、化学プロセスについては代替モデルを使うとかいうこともあると思いますが、そういったものの道筋というものをきちんとつけなければ、最終的には、これを安全評価の中に組み入れていくというところにはならないので、その辺を残された期間でどう道筋をつけるかというところを、ここにまとめさせていただきました。

○守田委員 わかりました。ありがとうございます。

○萩沼企画官 ほか、ございますでしょうか。じゃあ、牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 PRAに最終的にコードを仕込むということをちょっと考えてみたときに、これだけいろんな現象がちゃんと表現できるようになってきているというのは、とてもいいことだなというふうに感じています。

それで、やっぱり解析コードですので、不確実さを含むことというのは、当然あり得るわけで。ただ、それを例えば14ページにあるような確率論的なアプローチのほうで書いてありますけれども、現象の幅で捉えるというのが、やっぱりPRAのモデルに落とし込むときには、とてもわかりやすいとか、非常に親和性が高いアプローチなんだろうなと思うんですけども。そのときに、この二段階アプローチというふうにここでは書かれていて、決定論的なアプローチと確率論的なアプローチを併記されていらっしゃるけれども、特に丸が二つ横に並んでいるような項目というのが結構あると思うんですけども、これは使い分けとかいうのはどういうふうに考えていらっしゃるのかというのを、ちょっと

お伺いしたいです。

○堀田主任技術研究調査官 これは二つのプロジェクト、今、違うグループでやっているんですけども、そこで常に議論をしているところです。まだ最終的にどう使うかという決着がついているわけではないんですけども、PRAで使うのは確率論的なほうです。ここで扱う不確かさというのと、ここの高解像の不確かさで意味が違ってきます。

わかりやすいほうから言うと、決定論的な方法というのは、入力の種類あったら答えは1つだけです。ところが、その入力に不確かさだったり、モデルの不確かさだったり、要するに現象を説明するときの幅があって、1つの結果はそれほど意味がない、そういうことを言っていると思います。

ところがPRAで使うというのは、モデルの不確かさは許されなくて、1つの入力セットで予測されるものは1つの結果であって、モデルの不確かさをまた言うとややこしくなるので、それを支配するパラメータについて幅をとる。ROAAMとかそういうところでは、Validationでいえないような非常にシンプルなモデルを使って来たと思います。

ただ、そのシンプルなモデルを使っている限り、最新の知見が生かしやすいのかというと、そうではないので。なので、ここで求められる確率論的アプローチモデルのグレードというのは、最新の知見、例えばFCIで言うと、今のROAAM法で使っているのは、昔のシミュラントを用いた実験のデータだと思うんですけども、それをこういうものを使った実験の最新のデータで、もっとコントロールした実験で得られたものを使い得るとか、そういったところまで含めて、その上での発生の確立の幅を予測するんだというふうに考えています。

○牟田委員 なるほど。大体わかりました。ただ、不確かさの質は違えど、やはりそれは受ける側です、PRA、事故シーケンスの評価として受ける側としては、やっぱり両方とも不確かさであることに変わりはないというのは、私の認識ではあります。

それで、ちょっと関連して、もう1個だけお聞きしたいんですけども。例えば、この右側のような捉え方をしたときに、現象をある程度幅で捉えるということをしていったとして、これだけ縦にいろんな現象が並んでいるわけですから、現象個別の不確かさという観点もあれば、現象が重なったときに不確かさの重畳というのもあり得ると思うんです。その辺ちょっとどう考えられているのか、いないのか、お伺いしてよろしいでしょうか。

○堀田主任技術研究調査官 これは、あくまで例えば実験で計測をターゲットにするときの項目のような形で選んでいるわけですね。これを数値モデルにアサインすると、当然その相互作用というのが見えてきます。一つのモデルでもって、この複数のものに影響する

というものが出てくるんです。

ですので、例えばPRAでよくやられるように、これをマトリクスに変えて、どういう影響があるかということをも整理するというのが、一つの方法なんですけども。そういった依存関係が適切に表されるような数値モデルというのが求められてくると。そうすれば、ここの数が例えば20個あっても、必要なパラメータは20個要らないかもしれないといったところもありますし。パラメータの連立の設定についても、そういったのが非常に重要であるというふうに考えられますので。これからバリレーションというフェーズになっていくんですけど、当然そういった整理を行って、パラメータを選定していくといったところになると思います。

○糸井委員 東京大学の糸井です。

全体的によく理解できたんですけど、今の牟田先生のところと同じところで、少しひっかかってまして。違う今の答えで、少し理解できて、違うグループがやっていて、確率論的、決定論的とすみ分けをしているということであればよいんですけど、高解像度でも確率論的に扱うということも、考え方によっては可能で。あるいは統計的と言ったほうがいかもしれないんですけど、例えばそこに代替モデルをかませるとかすれば、確率論的な評価はできるはずなので。すみ分けとして、決定論的、確率論的という、こういうふうにして思考を停止してしまわないで、いろいろな形の役割分担を少しプロジェクトを進めながら議論をされているということで問題ないと思うんですけど、議論しながら、思ってもみない方向に議論が進むように少しなるとよいなというふうに感じているんですけど。

○堀田主任技術研究調査官 すみません、かなり密接にやっています。何しろ同じ実験結果を見ているわけですから。ここちょっと伝わらなかったと思うんですけど、例えば決決定論とき指標として20個のインプットパラメータがあって、それにいわゆる最確値を入れましたよと。得られたものが、最確の結果かといったら、そうじゃないわけです。あくまで分布しか意味がないわけですよ。

こちら（決定論）ではやはり、例えば10回ほぼ同じ条件の実験を試行したときの値と、この解析におけるモデルの不確かさ、入力の不確かさを反映したときの分布、これがどういう関係にあるかということころは、やっぱり注目することになります。確率論では、そういったモデルと実験の不確かさというものを入れるのであれば、それは可能だと思います。可能だと思いますけども、今の論法はそうはなっていないのではないかなといったところですよ。

○糸井委員 ありがとうございます。もう一つ、少しスタンスを伺いたいただけなんですけど、代替モデルをつくる時とか、実験の結果にシミュレーションを合わせに行くときとかに、ちょっと分野によって言葉遣いは違うんですけど、過学習にならないような工夫だとか、シミュレーションでも合わせ込めば、合わせ込むほど実験結果を説明できるんですけど、予測問題に適用しようとする時、うまくいかないとかそういうことがあると思うので、その辺りの苦労というか、工夫というか、考え方というか、もし注意されていることとかあれば伺えればと思います。

○堀田主任技術研究調査官 こちらは私もちょっと専門外なので、舌をかむような説明になってしまうかもしれないんですけども。手法的には、この報告書で言うと42ページ目です、今のところ試しているようなDirichlet過程を使ったノンパラメトリック・ベイズ法と。これはデータが得られた時点でモデルをアップデートしていくという方法ですので、そのほかにK近傍法も使って。過学習になるかどうかというのは、これをどう検証していったかといったところにかかると思います。かなり多数のケースについて、このデータだけじゃなくて、そこから外したものについても、外れた不合理な結果にならないということを確認しているというふうに認識しています。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。ほかに何か御意見、御質問等ございますでしょうか、本件について。

それでは、2件終わったところで、当初休憩を入れようかと思っておりましたが、ちょっと時間も押している関係で、もし可能であれば、このまま続けさせていただきたいと思いますが、大丈夫でしょうか。

じゃあ、それでは、続きましては、同じく、令和4年度から行われる安全研究プロジェクト、軽水炉の重大事故における格納容器機能喪失及び確率論的リスク評価に係る解析手法整備について、シビアアクシデント研究部門の秋葉統括技術研究調査官、市川技術研究調査官から説明させていただきます。

○秋葉技術研究調査官 それでは、御説明させていただきます。こちらの御説明に関しましても、先ほどの説明と同様な流れとなっております。ちょっとこちらのプロジェクトも、かなり範囲が広くて、多様な内容となっておりますので、ざっと時間もありますので御説明させていただきますと考えております。

まず、この研究の範囲ですけれども、重大事故時の格納容器内の事象から環境影響に関する評価までを対象としております。また、こちらのプロジェクトも、平成29年度～令和

4年度までの6カ年で実施する予定のものでして、こちらの報告は29年度と30年度に実施した成果をまとめたものとなっております。

これ以降、これまでの主要な成果について御説明をいたします。こちらの研究は、大きく分けまして、格納容器破損防止対策の評価手法の整備、確率論的リスク評価に関連する評価技術、また環境影響評価手法の整備の三つとなっております。格納容器破損防止対策評価手法の整備に関しましては、事故進展解析等の総合現象と個別な現象について、既往の解析コードを用いた評価手法の整備を行っております。では、それぞれについて主要な成果を御説明いたします。

まず、格納容器破損防止対策評価手法の整備のうちの総合現象解析手法の整備ですけれども、こちらでは最新知見を取り入れましたMELCORモデルによります事故進展解析とソースターム評価手法の高度化を行っております。これまでに最新版のMELCORにつきまして、旧バージョンとの違いを検討した上で、米国NRCのSOARCAプロジェクトを参考としましたノーディングですとかモデルの高度化を行いまして、加えてOECD/NEAのCCI-3実験データに基づいて、MCCIモデルパラメータを調整しまして、試験結果を包含できるように手法の整備を行っております。

今後、整備した評価手法を用いまして、各種事故シナリオについての解析を行うとともに、ソースターム評価を行うと。また、ソースターム及び放出タイミングへの各種パラメータの影響の確認などを行っていく予定としております。

次に、使用済燃料プール、SFPでの事故進展解析について御説明をいたします。

こちらの研究では、SFPの燃料集合体露出時におけます被覆管の酸化反応モデルの高度化を行っております。現行のMELCORモデルは、空気と蒸気が混在している条件を考慮できておりませんので、カールスルーエ工科大学の実験データを用いまして、酸化モデルの改良を行いました。

改良しましたモデルを用いて、SFPの底部、あるいは有効燃料長の下端の高さ位置でのLOCAの発生を解析いたしまして、SFPの底部の位置のほうが酸化反応が早まるという結果が得られております。これは水位が低い条件ですので、下部タイプレート下端から気相の流入が可能となりまして、自然対流が発生するためと考えられます。

今後は、どの程度の崩壊熱までこのような自然対流が発生するかですとか、集合体配置の影響を検討する予定としております。また、スプレイ冷却のモデルの高度化も実施する予定としております。

次に、格納容器内での各現象についての評価手法の整備について御説明をいたします。

まず、水素燃焼に関連する水素混合挙動についてです。こちらの研究では、事故進展を考慮しました格納容器内水素濃度分布の評価体系の構築を行っております。これまでにシナリオクラスタリングを活用しました代表事故シーケンスの選定手法の検討を行うとともに、GOTHICの分布定数モデルを用いました格納容器の内部形状を考慮した水素濃度分布評価についての検討を行っております。今後、事故進展解析のデータベースを拡充しまして、代表事故シーケンスを抽出して、三次元の水素分布評価を進めていく予定です。

次に、水素成層の鉛直噴流によります崩壊に関する研究について御説明をいたします。

こちらの現象は、浮力と乱流が支配的なものとなりますので、それらを精度よく予測可能な手法に高度化をすることで、小規模実験及び大規模実験をやっているんですけども、そちらの結果を良好に模擬可能というところまで行っております。今後、格納容器外面冷却などへも適用拡大を検討していく予定としております。

次は、水素燃焼に関する挙動となります。こちらはFast Deflagration、爆燃に着目した研究でありまして、乱流モデルですとか、燃焼モデルの感度を確認して、解析評価に用いるモデルの検討を行っております。爆燃の火炎加速には、火炎の伝播に先行して生じる乱流の発達に関与をいたしますけれども、これまでに乱流モデルRANSでは、LESに比べて乱流の発達が鈍化するという結果が得られております。今後さらに、モデルの選定のための検討を行っていく予定としております。

水素燃焼に関する研究の最後のものですが、1F4号機での水素爆発に関する検討を行っております。水素濃度と火炎伝播に関しまして、FLACSコードを用いた三次元解析を行って分析を行っております。流入水素量を500kgと仮定をいたしまして、排気ダクトから混合気として水素を流入させまして、水素分布を評価して、これに任意の着火点を与えて火炎伝播解析を行ったところ、解析のほうが実際の1Fの現象よりも厳しいという結果が得られております。

今後、現地調査の情報も含めまして、条件の見直しを行って、さらに分析を進めていく予定としております。

次に、格納容器下部での溶融デブリ拡がりやMCCIの重畳現象についての研究について御説明をいたします。こちらはMELCORでの溶融デブリの拡がりやMCCIモデルパラメータの2点に関して、検討を行っております。

まず、溶融デブリ拡がりに関してですが、これはコンクリート侵食挙動に比べると早い

現象になりますので、MELCORでは瞬時的に広がりまして、冷却が促進されて、MCCI侵食量を非保守的に評価する不確かさがございます。そこで別途開発しております、先ほどの解析コードの開発で行っているものですが、デブリ冷却解析コードでのデブリ拡がり挙動解析に基づきまして、各濃度でのデブリ半径、成長速度とノード間通過タイミングのパラメータ依存性を整理しまして、MELCORの制御関数を組み立てる方策を検討いたしました。

また、MCCIモデルパラメータの検討についてですが、こちらはOECD/NEA-CCI実験ですとか、CEAの実験におきまして、一部の珪質岩系コンクリートで底面より側面の侵食が顕著な結果というのが、先ほどのお話にもありましたけれども、観察されておきまして、これを評価可能な方策を検討をいたしております。

実験より保守的になるよう、かつ異方性侵食傾向が長時間継続しないという仮定で、側面と底面の熱伝達係数ですとか、コンクリート侵食エンタルピー付加項などに関するモデルパラメータを検討しております。

今後ですけれども、先ほどの熔融デブリ拡がりMCCIモデルパラメータの検討に基づきまして、MELCORのノード・ジャンクションモデルとの対応を制御関数によって実現する手法の整備を進めていく予定としております。

次は、格納容器破損モードの静的負荷に関する研究について御説明をいたします。

MELCORなどでは、比較的大まかな温度分布の評価となりますけれども、本研究では、局所的な温度分布の検討による負荷評価を行っております。これまでにBWRのトップヘッドフランジでの影響に着目いたしまして、炉心損傷によって発生する主蒸気配管の温度誘因破断を想定いたしまして、CFD解析により格納容器の温度分布を評価いたしました。

今後、重要シナリオを特定するとともに、MELCORに適用するための局所温度分布を考慮した過温破損を判定するための制御関数の検討を進めていく予定です。

次は、動的負荷になります。鉄筋コンクリート製ペDESTALにおけます水蒸気爆発による動的応答をAUTODYNによって検討をしております。これまでに水位、爆発源の高さ及び爆発力を変化させまして、ペDESTALに発生する最大ひずみなどへの影響を検討しております。

今後は、熔融燃料-冷却材相互作用との組み合わせによりまして、パラメータ相互の関係性について、合理的な仮定を組み込んだ評価手法を検討していく予定です。

本プロジェクトでは、OECD/NEAの実験解析及び調査プロジェクトからの情報収集も行う

ております。水素関連のHYMERES-2ですとかTHAI-3、あるいは放射性物質挙動を取り扱いますBIP-3、STEM-2、プラント挙動や1F事故分析のARC-FやPreADESといったプロジェクトに参加をいたしまして、それぞれ最新知見の収集を行っております。

次に、大きな柱の2番目であります、確率論的リスク評価に関する研究について御説明をいたします。

レベル2PRA手法の整備としまして、レベル1、レベル2一貫解析の検討を進めております。これまでに格納容器イベントツリー、CETの検討を行いまして、従来用いられているCETについて、システム非信頼度を評価するS-CETとSA現象の発生を評価するP-CETに分離をいたしまして、S-CETをブリッジツリーと同等に扱う方策というのを検討しております。

また、P-CETの破損モードの発生確率をファクタとして、S-CETの終状態で評価される頻度とかけ合わせるという検討を進めております。

また、格納容器機能損失に関します機器の重要度評価についての検討も行っております。レベル1PRAのイベントツリーからS-CETまでの定量化によりまして、起因事象から可能容器破損防止対策までに対応する機器の組み合わせのみにより、格納容器の機能喪失に対して重要となる機器を評価するという手法を検討しております。

これまでにPWRの大LOCA、小LOCAのパイロット評価を行いまして、大LOCAの場合、炉心損傷防止用の安全系の機能を喪失することが格納容器機能喪失に対しても大きく影響する可能性があるなどの傾向が得られております。

さらに、レベル1.5PRAの評価ツールの整備といたしまして、P-CETを利用可能な旧JNESなどで開発されてきました、地震PRA解析コードの改良を行っております。米国のアイダホ国立研究所のSAPHIREコードにより作成しましたミニマルカットセットデータの入力部、P-CETを係数行列としてS-CETの評価結果に掛け合わせる機能なども、実装を完了いたしまして、現在パイロット計算を進めているところです。

今後は、一貫解析によります定量化範囲を全ての起因事象に拡大するとともに、CETのヘディングの構成要素と順番の適切性、分岐確率の精緻化などの検討を進めていく予定としております。

では、これ以降、市川に説明者がかわります。

○市川技術研究調査官 規制庁の市川です。よろしく申し上げます。

引き続き、レベル3PRA手法の整備です。原子力災害対策指針では、避難などの防護措置を実施する判断基準として、空間線量率等の計測可能な値で表される運用上の介入レベル、

0ILが設定されています。この0ILに基づく避難を考慮できるように、モデルの改良を進めています。

左下図は、MACCS2コードのパラメータと災害対策指針に基づく避難を模擬したパラメータの対応、上段ですが、示しています。事故発生から避難開始までを定義する時間は、計算開始前に設定する必要がありましたが、一方で0IL避難においては、空間線量率は0ILの基準に到達する時間は、解析に使用する気象データごとに異なります。これをコード内で処理して、設定することとしました。

改良モデルを用いた試解析の結果が右下図になりますが、今後、事故進展と防護措置のタイムラインの観点から、導入したモデルの妥当性について確認していく予定です。

また、リスク指標として、セシウム137の地表面濃度や実効線量を検討しています。今後は、代表的なプラントに対して、サイト特性を踏まえた評価を行うため、防護措置の設定方法、複数立地の影響等についても検討を進めていく予定です。

最後に、環境影響評価手法の整備になります。

まず、放射性物質の環境拡散評価手法の整備になります。ここでは、環境中に放出された放射性物質の拡散評価を目的として、最新知見を盛り込んだオープンソースのシミュレーションモデルをもとに総合的評価手法の検討を行っています。

これまでの成果として三つ挙げていますが、詳細は次のページですが、一つ目は、大気拡散モデルです、左上です。本研究では、WRF-Chemをもとに大気拡散モデルの検討を行いました。1F事故後の空間線量率の測定値、左側と計算値、右側を並べています。概ね再現できると考えています。

二つ目、左下になりますが、海洋拡散モデルです。本研究では、ROMSをもとに海洋拡散モデルの検討を進めています。性能確認結果の一つとして、放出されたトレーサが黒潮に乗って西に拡散していく様子を示しています。トレーサの性状と半減期を反映できていることを確認しました。

三つ目、右側になりますが、WRF-ChemとROMSを結合し、大気由来のトレーサが海洋拡散を評価できるようにいたしました。

今後の予定といたしましては、ソースターム評価のため、ROMSのインターフェースを最適化する予定です。また、大気拡散、海洋拡散結合モデルに陸上動態モデルを結合する予定です。その際、降水分布から表面流量、河川流量、浮遊土壌の発生量と輸送量を評価する分布型流出モデルを活用して、河川によるトレーサの海洋への流出も考慮できる仕様と

したいと考えております。

次に、遮蔽解析に係る技術的知見の整備です。モンテカルロ法による遮蔽解析結果の妥当性を判断するため、分散低減法パラメータの感度解析結果や計算経過における統計誤差の変化について検討をいたしました。ここではMCNPによる計算結果を右側に示しています。

右上図、右下図は、ヒストリー数の増加に伴う線量評価値、評価値の相対誤差の変化をそれぞれ示しています。ヒストリー数が小さい場合、統計誤差の範囲としては妥当でも、タリー間の結果にやや差異が見られます。ヒストリー数が大きくなると、評価値はより一致するようになります。このように、単に統計誤差のみから評価値の妥当性を判断するよりも、統計量の推移や異なる検出器による評価値を確認することが、解析結果の妥当性確認に有効であると考えられます。今後は、モンテカルロ法のほか、簡易計算法やSn計算法についても、遮蔽評価の妥当性確認に資する検討を行う予定です。

個別事項については、以上です。

まとめについては、これまでの説明と重複しますので、割愛いたします。

今後の展開についても、同様に割愛いたします。

成果の活用については、現在までに安全性向上の継続的な改善に向けた取組の議論を進める際に、レベル2PRAの格納容器破損モードに関する発生確率の不確かさの取り扱いについての議論を行いました。

原子力規制検査における個別事項の安全重要度評価プロセスのガイド案の作成の際に、レベル2PRAの重要度評価手法の検討で蓄積した知見を踏まえた、ガイド試運用版付属書の案を取りまとめました。

今後、本プロジェクトで得られた知見は、審査の技術支援に適宜活用していきます。また、得られた成果を公表する等して、広く専門家の意見を反映し、1F事故の分析等に活用していきます。

成果の公表については、これまでに論文投稿1件、口頭発表11件の公表を行いました。

今後の研究計画については、今年度も含めた残り4カ年の計画については、赤線で囲った範囲となります。

説明は、以上です。

○萩沼企画官 ありがとうございます。それでは、まず専門技術者の方々から御意見、御質問があれば、お受けしたいと思います。

○宮田専門技術者 原子力エネルギー協議会、宮田です。

使用済燃料プールの事故進展解析の御説明がありましたけれども、説明の中でも若干触れていただいているんですけれども、特にBWRの場合にはチャンネルボックスがついてい
るということもあって、破断の位置です、底部で破断すると、逆に対流効果みたいなもの
があるとか、そういうがあるので、その破断位置の違いをちゃんと見るというのが重要
です。それから、あと崩壊熱です、あまり高い崩壊熱は、基本的には代表的なものでは
ないとは思っていますけれども。あと、もう一つは破断面積。こういったものの組み合わ
せによって、この解析結果って相当変わるはずだと思っています。恐らく、これは崩壊熱が
高いパターンをやっているんじゃないかと思われるんですけれども。

それに対して、これはちょっとお願いなんですけれども、これまでの成果みたいなところ
が書いてあるのを見ると、ある特定の組み合わせのパラメータではこうでしたというだ
けのことであって、これによって使用済燃料プールの事故を表現するというのは、ちょっ
とミスリードしそうだということなので、その辺は御留意いただきたいというのを、
お願いします。

もう一つ、これは質問なんですけれども、水がなくなって完全に蒸気がほとんどなくなる
ような状態でヒートアップしていくと、今度はジルコニウム火災みたいな状況が発生し得
るんですけれども。こういったもののモデル化みたいなことは、検討されてますでしょ
うか。

○小城技術研究調査官 規制庁、小城です。

今回の解析を担当させていただきました。SFPの、最初の質問でございますけれども、
今回書かせていただいていると、おっしゃられていたとおり、高い崩壊熱での条件下での
解析結果を示させていただいております。今後の予定のところに記載させていただいて
ますとおり、今後は低い崩壊熱での自然対流で十分冷却ができるようなところについて、
解析を進めていきたいと思っております。

2点目でございますけれども、ジルコニウム火災というところでございますけれども、
今回、カールスルーエのジルカロイの酸化試験のところを記載させていただきましたけれ
ども、その前にSandia National Laboratoriesで行われました空気環境下でのマントル体系
での酸化試験の検証解析を行っております。そこで火花が散るような、そういった酸化反
応というのが見受けられておまして、そこでのフィッティングを一部考慮しております。

それを考慮したような形で被覆管の酸化のモデルを検討いたしまして、今回、実装した
という形になっております。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。ほかにございますでしょうか。

では、よろしくお願いいいたします。

○倉本専門技術者 原子力エンジニアリングの倉本です。

御説明ありがとうございました。レベル2PRA手法の整備のレベル1/レベル2一貫解析の部分で御確認と御質問をさせていただきたいと思います。

現状の成果を私なりに理解しますと、一貫解析という言い方ではありますけども、一旦レベル1側の解析を一通り流し、プラント損傷状態等の情報でレベル2側に引き継ぐと。そのレベル2側に引き継ぐ中で、S-CETによる評価のものも連結させると。一貫解析というふうに言いますと、全体的に全てのイベントツリー等が連結されて、全体を解析するのかなといったことも検討目的であるとか、そういう目標から期待している部分もあったんですけども、そういう理解でよろしいのかという点と。もしそれができないのであれば、それはコードのSAPHIREですかね、そういった計算コードの仕様によるものなのか、今のこちらのほうが、より合理的、よりよい方法として評価すべき考え方として、このような方策をとられているのかといったことについて、お聞かせいただきたいと思います。

○西村技術研究調査官 原子力規制庁の西村です。

御質問を2点と理解しますけども。まず、1点目なんですけど、概要にちょっと書いてございますが、今年の4月にレベル1のほうの検討会があったかと思います。そのときのブリッジツリーを持ち込みましたという彼らの検討結果があったかと思います。それを引き継いだ形で、このプロジェクトではレベル2、格納容器側の検討を進めているということがありまして、そういったようなブリッジツリーを使うとしたら、どういった形がよろしいだろうかというところで進めています。

ちょっともしかしたら誤解があるのかなというふうに思ったりもしたんですけども、もちろんPDSというものを、この検討でも使っているんですけど、恐らくこれまで学会標準等でも使われているPDSというのは、炉心損傷時点でのプラント損傷状態かと思えます。この検討でやっているPDSというのは、格納容器破損防止対策まで考えて、炉心損傷をさらに超えた状態でどういうプラントの設備状態になっているかというところで、新たにプラント損傷状態と呼んでいいかわからないですけども、そういった形で整理をして、その個別の対策設備の状態に従って、どういった現象がどういった確率で起きるかというところは、P-CET側で評価を、P-CET側で現象の発生を考えてみようという取組です。

恐らく、これ古くで見ると、いわゆるラスムッセン報告書（WASH-1400）の時代までさ

かのぼると、そのときはこういったやり方をしていたのではないかなと理解はしています。その心というところは、やはり起因事象の数が増えたり、考慮すべき対策の数が増えたり、それが格納容器側まで拡張するということになる、なかなかやはり扱うシーケンスを精緻にとればとるほど数が増えていくということで、その計算負荷も高まっていきますし。

また、実用面で言いますと、今、検査制度の中でPRAを活用しようという話も進んでおりますけれども、そういったところでのレベル1.5の活用まで考えていったときに、あまりその計算コストが高くなるというのはよろしくないでしょうということもありますので、研究としてはそういった形で、今の主流とは違うかもしれませんが、そういった形の評価を進めております。

2点目になりますけれども、システムと現象を分けたことの一番のメリットとして考えているのは、やはり検査等で使う重要度評価。機器の重要度をとるときに、現象の発生って、あまり関係がないように私は考えております。どの設備が壊れると格納容器破損に至りやすいのか、その可能性を重要度で評価しているものであって、それがどういう形態で壊れるか、どういった現象で壊れるかではないと思っています。

そういったところでシステムを分けることによって、純粹に設備の重要度というものを評価することができるのではないかとということで、そういったことで研究的な側面を進めておるといところでございます。

○倉本専門技術者 わかりました。理解しました。

○高橋専門技術者 三菱、高橋ですが。とは言っても、やはりこっちのシーケンスと物理現象というのも相互依存性があるので、今、規制庁さんと面談をさせていただいているやつは、一気に通貫で中に組み込む、P-CETを中に組み込んだような形を一応一緒に使っているという理解でいます。

この別々にブリッジツリーでやるとしたときには、先ほど御説明あったように、PDSがかなり依存性を全部包絡するような形で分割しないといけないので、かなり複雑になると思うんですね。研究として、結果的には、今NRAさんは二つのモデルをお持ちという理解で、結果は一緒にならないといけないんですけども、あくまでもやっぱり新検査制度で使うPRAの確認用に今研究をしているというような理解でいたんですが、そんなものでよろしいですか。

○西村技術研究調査官 規制庁の西村です。

なかなか説明を全て正しく申し上げようと思うと、難しいところがあるんですけど

も。まず、ここでやっている研究というのは、将来的に検査制度なりの実務のほうに活用ができれば、それはよいなと思っています。もちろん、そこを目指してやっているところがあります。とはいえ、レベル1.5、レベル2PRAって、まだまだ今日、実験と解析コードとずっと統一のキーワード、不確実さで、その不確実さにもいろいろ種類があるだろうという御指摘もいただいていますけれども、そういったものを対象にしてやってきていると。世界に視野を広げていくと、やはりPDSという単位でも2万とかって分類しているところもあるようですし、まだまだその考え方がかちっと決まっているものではないです。それは研究的な側面での話を、今していますけれども、実務上はそこをどのように扱うかという結論づけなきゃいけないので、今、学会のほうでも標準をつくられたりとかされていると思うんですけれども、研究として見れば、まだまだ掘るべきところがある、そういったふうには考えています。

さらには、今日も1個前ですかね、解析コードの開発の中で、ROAAM法の活用なんていうところもあって、最新知見をどうやって取り込んでいくか、それは現象側の話になりますけれども、現象側の中でどうやって取り込んでいくかというときに、従来のPRA的な、もちろん今実務でやられている事業者の方から提供いただいているようなシステムと現象の依存性が見通しがよい形でのモデルを使うことも否定はしないんですけれども、我々の研究の観点で、より今後最新知見を取り入れやすい形は何かということを考えると、分けて見たほうが確率分布の形も大きく違いますので、そういった意味では分けて見て考えるというのも、研究としてはいいのではないかというふうに考えているところです。

お答えになっていますか。

○小城技術研究調査官

すみません、1点補足です。検査制度で使用させていただくPRAのモデルに関しましては、いわゆる一貫解析をされているものを、こちらで検査制度として使用する予定です。今回の発表に関しては、安全研究のものとなります。

安全研究のモデルで今回考えているところに関しましては、基本的にはレベル1との依存性を、システムの依存性を考える部分に関して、S-CETでまずモデル化する。あとは、そのS-CETと現象の、いわゆる設備と対策と現象の依存性に関しましては、詳細にPDSを分類した現象側の確率をP-CETで解いていくと、それでS-CETの終状態に対して、一意にシビアアクシデント現象の確率で、格納容器に破損に至るパターンが決められるというふうに考えまして、分岐をしていくと。その際には、各システムと現象の持続性、システムとシ

システムの持続性を担保できるように、工夫しながらモデル化を行っております。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

○田原専門技術者 東芝の田原です。

レベル3PRAについて、少し御質問したいと思います。今回、MACCS2のほうにOILの評価ができるようなモデルを組み込んだということですが、もともとMACCS2はEALはOALARMで、OILはOIL1がホットスポット移転、OIL2がノーマル移転ということで設定できるようにしていると思います。

ただ、IAEAなどは包括的判断基準が実効線量で与えられていますので、それをホットスポット移転とノーマル移転のところに対応させればいいわけですが、日本では、残念ながら、その包括的判断基準のほうが制定されておりませんので、直接的なOILの空間線量率ということになってくるんだと思いますが。

一方で、規制庁さんのほうで平成30年4月にIAEAの包括的判断基準、OILの値と国内の値を比べて、国内のOILの空間線量率が包括的判断基準どれぐらいに相当するかという、そういった報告書を出されております。そういった包括的判断基準を、ホットスポット移転と、あとノーマル移転に適用したときの評価と、それと今回このようなOILのモデルを追加した場合の評価とで、どういった違いが生じるのかといったところについて、何か御見解あれば、教えていただきたいと思います。

○市川技術研究調査官 規制庁の市川です。

まず、1点、MACCSに関する説明なんですが、ホットスポット移転を設定した場合には、その線量を超えると、もう被ばくしないことになってしまいますので、現実的には屋内退避中、避難中も被ばくするものですので、そちらの機能は使えないということで、今回、OILの機能、避難を開始する時間を設定する機能を、モデルを導入したということです。

○舟山安全技術管理官 安全技術管理官の舟山です。

後半のIAEAの包括的判断基準に関するものについては、今現時点では、検討をまだ行っておりません。こちらにつきましては、ちょっと今、コメントをいただきましたので、今後の残りのあと3年間ありますので、少し検討をさせていただきたいと思います。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

○高橋専門技術者 ちょっと社内からいろいろコメントをもらっていたんで、ちょっとすみません、時間が。さっきのOIL避難で、OIL避難のほうが従来よりも線量が高くなっている理由が、報告書でいろいろ分析されているんですが。実際は、放射能放出中に避難す

ることが、結局この線量増加になっているんじゃないかなというふうな分析を、社内ではちょっと懸念していて。その辺ちょっと最終案のときに、もう少し考えていただければなと思っております。

それから、もう一つは水素なんですけど、うちの福田がいろいろ懸念してまして。先ほどの8ページです、説明資料の8ページで、ちょっと何件かあるんですけど、まずヘリウムと空気の体系で、成層化がもうできている状態で今回解析されていますけども。そもそも、水素とか、水蒸気とかが入っている状態であれば、こういう成層化そのものがしないんじゃないかなと。何か恣意的というか、この解析の目的は何なんだろうというのが、一つあります。

それから、すみません、あと先ほど御説明で、CFDコードをいろいろ使い分けておられて、火炎加速実験のほうはOpenFOAMを使われて、1FのほうはFLACSを使われているということ。この辺のツールの使い分けというのが、何か理由を教えてくださいなということです。

○西村技術研究調査官 規制庁の西村です。

まず、1点目につきまして、8ページのほうです、CIGMA実験に対する計算、解析なんですけど、このプロジェクトの前のプロジェクト、平成28年に終了をしております「軽水炉の重大事故に関する知見の整備」の中で、福田さんともちょっと最後に、こういった検討会の場で御議論をさせていただいたんですけども。ここでやっている成層化の問題というのは、水素の成層化が起きるとか起きないとかという話ではなくて、そこに関連している浮力と乱流の相互作用。相互作用と言って良いのかわからないですけども、そういったある種の熱流動、先ほど実験でもお話ししましたけども、重要な熱流動現象が一つ。CFDを扱う中では、その乱流モデルというものがありますので、そのモデルがどういうふうに扱うのがよいのか、妥当性はどうか、適用性はどうかといったところのベンチマークとして非常に国際的にも広く扱われておりますので、そういったものをターゲットにして解析をしております。

前のプロジェクトでは、SST k- ω という、これも一つRANSの手法の一種ではあるんですけども、そういったもののモデルを使うと、適用性がどうやらよろしいですと、それはPANDAで行われた同様の成層崩壊実験に対するベンチマークでやったものを御紹介したんですけども。ここでは、まずそれに加えて水蒸気が入っているということもあるんですけども、なかなか国際的な知見の議論の場に参加しても、じゃあSST k- ω というものが、何で

よいのかというところに関しての明確な結論が、まだ得られてない状態です。

じゃあ、どういったことが原因なのだろうかというところで、もう少し詳細に検討を続けているのが、ここでのプロジェクトの8ページのものになりますけれども。もう少し汎用的な標準 $k-\epsilon$ モデルを使って、どういったことが要因に上がってくるかというところで、シュミット数ですとか、リチャードソン数ですとか、そういうところの扱い方、報告書には書きましたけれども、そういった無次元数を固定値で与えていくのか、あるいは場の状態に応じて動的変化させるかによっても全然計算の結果は変わってきますと。これはCFDだからこそのことだと思いますけれども、そういったことがわかってきているので、今後、水素の問題に限らずに、格納容器の熱流動、凝縮とかも先ほどありましたけれども、そういったところも含めてどういったモデルをとっていくのがよいのかというところの一つの知見になろうと思っております。

二つ目の燃焼解析のほうになりますけれども、これはもう答えは明確で、扱う現象の解像度、あるいは見たい結果の解像度によって変えているというところなんです。ちょっと順番は前後になるかもしれませんが、1Fの事故分析で使っているFLACSというものは、これは直交座標系で離散化されているもので、かなり粗っぽく評価をします。そのかわり建屋全体規模といった大規模な解析体系でも実用的な計算時間で計算ができるということです。構造物というのは、ポロシティと言われるような、近似で表現します。

一方で、火炎加速のような本当に現象としてかなり詳細な、言うならば、乱流のコルモゴロフスケールの渦と、あと火炎面のかなりマイクロのような薄い小さい領域での現象を扱うことが必要になりますので、そういったときにFLACSのようなばくっとした実用コードではなかなか計算精度が上がらないというところで、かつモデルのハッキングだったりとか改良、ソースコードレベルでの修正も容易にできるOpenFOAMコードというのを使って、実際じゃあどのパラメータ、方程式レベルで言ったときにどの項がとか、どのパラメータ、物理量がとか、そういったどこがきいているのかというところを分析するために、OpenFOAMというものを持ち込んできているということでございます。

○高橋専門技術者 よくわかりました。

○市川技術研究調査官 すみません、OILの解析の分析について回答をいたします。

現在、分析中というところが正直なところなんですけど、8,760、年間の気象条件8,760を使った場合には、さまざまなOIL避難の起点が8,760個分作成されます。そこで、おっしゃったように、大規模放出と追いかけてっこになっている部分もあります。一方で、全く避

難しいような解析ケース、距離によってですが、そういったケースもあります。それぞれのケースについて、どの影響が一番大きいのかどうか検討をするとともに、その被ばく経路についても、さらに一步掘り進めて分析を進めているところですので、今後、検討を進めていくというところでございます。

○萩沼企画官 はい、それでは委員の先生方から御意見をいただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

ちょっと技術的な質問で、ちょっと大変恐縮なんですけれども。どうしてもわからないので、ちょっとお伺いしたいのがありまして。16ページのイベントツリーです。これ機能的に分けるというところは一定の妥当性はあるような気もするんですけれども。例えば、こういうつくり方をする、こういう枠組みでCETをつくるとしたときに、これ従来のCETと同じような表現力を持っているのかということが、まず一つと。

あと、恐らく、今後ダイナミックイベントツリーです、動的イベントツリー的な考え方をもち込むのが妥当だと思っているんです。というのは、いろいろな現象との組み合わせを考えていくと、必ずしもこの固定的なヘディングで表現できるものだけではないと思うんです。それに対して、同じ以上の表現力を持つことが可能なのかどうかというところを、まず聞かせてください。

○西村技術研究調査官 規制庁の西村です。

ちょっと表現をどうしようかと思っているのですが、報告書の中では分離前CETと分離後CETという形で使わせていただいていますので、そのようにちょっと使わせていただきます。このCETを分離する前後においての、あるシーケンス、そのときはCCFPという形にとって、一番支配的だったシーケンスを対象にしているんですけれども、その間での内訳、モードの内訳ですとか、ミニマルカットセットの内訳ですとか、そういったものについては比較をされていて、有意な差がないということは確認をしています。

○牟田委員 DETに対しては、有意性はあるかないかというのはどうですか。

○西村技術研究調査官 ダイナミックイベントツリーのことですか。そこに関しては、ちょっと我々、レベル1のほうでは、ダイナミックイベントツリーの検討を進めているということで、4月に報告をしていると思うんですけども、我々そこまでは踏み込んでいないといいますか、MELCORによる事故進展解析の結果を踏まえてシナリオクラスタリングを使

って類型化をするというところは見ているんですけども、そこからこのCETに対してどう落とし込むかというのは、まだ着手していません。

やるとするならば、現象側の話になろうと思うんですけども、MELCORの事象進展解析があって、そこからシナリオクラスティングを使って類型化をして、境界条件、初期条件をピックアップして、それは代表シーケンスごとにとという形。類型化をした結果の代表シーケンス、どれが支配的だからこれというものではなくて、数多くのシーケンスから成る代表シーケンスを抽出して、そこから初期条件、境界条件をピックアップすると。そこから個別の、水素だったら水素の混合燃焼であったり、水蒸気爆発であったり、そういったものの個別の解析を通じて確率分布をつくっていくと。最終的に、ROAM法に落とし込んで、現象、この場合P-CETという表現をしますけども、P-CETに持ち込むという形の検討は、今後の計画としては持っています。

○牟田委員 はい、わかりました。そうですね、ちょっとぜひその辺も、ちょっと取り組んでいただければなと思うのが一つあります。

それから、もう1個なんですけれども、重要度の話をちょっとさっき説明されていたと思うんですが、S-CETに関して重要度を算出しますと、それで機器だけの相対的な重要度を評価するという話だったと思うんですけども。これ一番右はPDSじゃないですか、これはCDFに限らないですよ、いろんな状態があり得ると思うんですけども。これに対する重要度というのは、一体何を評価していることになるんですか。つまり指標は何ですか。それから、何の重要度を計算しているんですか。

○小城技術研究調査官 すみません、解析を担当しました、小城です。

まず、終状態に関しましては、まずS-CETの終わった時点での終状態に関しましては、最終的には確率を掛ければ、現象を含めたような形で格納容器の損失を尺度として出せるわけなんですけれども、ここで検討をさせていただいたのは、レベル1とレベル2の終状態に対しまして、仮での格納容器の終状態を1と与えると、いわゆるLERFになりそうなもの、ならなさそうなものといったグレードで終状態を定義いたしまして、重要度評価手法として、まず成立するのかというところを確認させていただきました。

重要度を見ているのは、シビアアクシデント現象ではなくて、レベル1PRAで考慮されている設備であり、かつレベル2PRAでも考慮される設備。例えばですけども、補機冷系の設備ですとか、レベル1で格納容器スプレイが使われているシーケンスでレベル2でまた格納容器スプレイが使われるような大LOCAのような、そういったシーケンスにおいて、レベ

ル1側とレベル2側で、どちらの重要度が典型的なFV重要度とRAW重要度で、どちら側に重みが出るのか、そういったところに着眼して、重要度評価手法としてまず成立するのかというところを確認させていただきました。

以上です。

○牟田委員 はい、何となくわかったような気がします。

○萩沼企画官 ほかにいかがでしょうか。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。

四つあるんですけど、時間がないところ申し訳ないです。

まず一つ目が、レベル2PRAのスコープなんですけど、放出量と時間のところまで今回のプロジェクトで考えられているという理解でよろしいのか、まず伺いたいんですけど。

○西村技術研究調査官 規制庁の西村です。

はい、そのとおりです。項目としてちょっと難しいんですけども、事象進展解析、一番最初のMELCORのところですね。その結末がソースタームになりますので、そこまで見るとレベル2PRAというふうに捉えていいと思います。

○糸井委員 ありがとうございます。という意味ですと、このプロジェクトが終わるころに、これは私の私見なので、いろんな考え方があると思うんですけど、レベル1.5PRAという言葉が報告書から消えるように方向も考えていただいても、国際的な考え方からして、消さなくてもいいんですけど、そういう議論をしていただいてもよいのかなという気もしております。

もう一つは、地震時レベル2も、これから取り組むというような理解をしたんですけど。そこと少し絡むかわからないんですけど、可搬型のいわゆる緊急時の対応のようなものは、スコープに入っているんでしょうかというのが二つ目です。

○西村技術研究調査官 端的に申し上げますと、検討中というところですね。もちろんモバイルも含めて検討をすべきことではあるのは承知はしておりますが、可搬以外のものを、今回の評価手法で十分に精度なり信頼度も担保した上で評価できるかというところの確認が先になりますので、その先にモバイルの話があるかと思います。

○糸井委員 あともう一つが、NEA等のプロジェクトに参加した、ちょっと少しレベルの違う話なんですけどというのがあって、情報をいろいろ収集したというのがあったんですけど。逆に、貢献できたところみたいなのがもしあれば、教えていただきたいんですけど。

○西村技術研究調査官 規制庁の西村です。

水素燃焼に関してはということになります。HYMERES-2のほうでは、今、先ほどCIGMA実験に関するベンチマークみたいなことを御説明をいたしましたけれども、その実験で得られた結果をHYMERES-2のほうに紹介をしながら貢献をしていると、協力して進めているというところがあります。

それから、THAI-3に関しては、FLACSによる燃焼解析の結果を、これもベンチマークとしてやりましたので、それを提供することによって、燃焼実験と燃焼解析の間でのギャップというところの議論に貢献をしています。

○糸井委員 ありがとうございます。

以上なんですけど。全体のスコープとして、やればやるほど問題が出てくる分野だと思えますけども、非常に大事な分野だと思えますので、期待しておりますので、よろしくお願いたします。

○堀田主任技術研究調査官 すみません、ちょっと補足させていただきますが、堀田ですけれども。そのほかBIP、STEM-2でも、特にSTEM-2のほうは、このOECDの枠組みとは違うところの国際協力でCEAのVERDONというプロジェクトに参加してまして、そういったデータを知見を供給していると。これは後続プロジェクトも多分参加すると思うんですけども。ARC-F、PreADES、PreADESは我々ではないですけど、ARC-Fについては言うまでもなく、日本が中心になって福島事故というものが一つの核になるんですけども、主なシビアアクシデント現象についての事故分析というものについて、運営側の一部をなしています。

○萩沼企画官 じゃあ、守田先生、お願いたします。

○守田委員 九州大学の守田でございます。

ちょっと全体的な話だけ、ちょっとコメントをさせていただきますと。それぞれ評価手法の整備とか、評価技術の整備というタイトルで御説明をいただきました。それぞれについては大変よく理解できましたし、着実な進捗がされているなという印象でございます。

コメントは、このそれぞれの整備は、何かその目的があって整備をされていることかと思えますが。その目的に対して、どういう結果が最終的に、あるいはどういう成果が最終的に得られたら、その目的が達成されるかという、その判断基準がよくわからなくて。最終的には、26ページに書いてあるように、ざっくり全体を見れば、こういうことなのかもしれない。それぞれの評価技術なり、評価手法の整備をするに当たって、どういうことが達成できれば、目的を完遂したことになるのかというところが、ちょっとよくわからなくてです。今後の計画というところも、24ページとか25ページに、しっかり今後の計画

のことが書いてあるんですが、どうしてこういうことが、こういう計画をすれば、こういう計画をこなしていけば目的を達成したことになるのかというのが、ちょっといま一つつながらないところもございまして。少し何かその辺を、これとこれとこれをやれば、こういうことができるようになるので、結果的に目的を達成することになるんですよということの判断基準が、しっかりほかの外にいる人からもよくわかるようなまとめ方を、最後していただければなというふうに思います。

すみません、何かちょっとざっくりしたコメントで申し訳ないんですけども。この1点だけです。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、本件については、ほかに大丈夫でしょうか。

それでは、全体、ただいま3件ありましたが、全体を通じて何か言い忘れたこととかございましたら、よろしく願いいたします。

○堀田主任技術研究調査官 規制庁、堀田でございますけども。

解析コード開発のところの報告書のその2.4.4です、御指摘いただきましたけども。これは御指摘のとおり間違いで、正確に言うと、(2)、(3)の青と赤は逆になります。本文のほうは間違えておりません。本文と整合するのは、逆にすればということで、申し訳ございませんでした。

○萩沼企画官 ほかに、全体を通して何かコメント等ございますでしょうか、よろしいでしょうか。

それでは、今評価いただきました3件の安全研究を担当している、シビアアクシデント研究部門の管理官、舟山のほうから御挨拶、一言お願いします。

○舟山安全技術管理官 最後に、管理官であります舟山のほうから、一言御挨拶させていただきます。

本日は、お忙しいところ、1件の事前評価と2件の中間評価に対しまして、長い時間、たくさんのお意見と御質問をいただきまして、誠にありがとうございました。事前評価の1件はこれから6年物となりますが、中間評価の2件につきましても、今年度が6カ年計画の3年目に当たります。本日いただきましたコメントにつきまして、研究方法だったりとか、成果の取りまとめ方法といった今後の研究の進め方に反映させていただきたいと思っております。

本日は、本当にありがとうございました。

○萩沼企画官 ありがとうございます。最後に、事務局からの連絡になります。検討委員の先生方におかれましては、技術的観点の評価シートをお配りしてございます。お忙しいところ、誠に申し訳ございませんが、冒頭申し上げましたように、10月25日、金曜日までに事務局に御送付いただければと存じます。

また、本日ももしも御提出いただけるようでしたら、事務局に検討会終了後お渡しいただければと思っております。

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上で、書面による審議をさせていただきます。具体的な進め方は、後ほど事務局より御連絡させていただきます。

本日は、ちょっと10分間ぐらい時間を超過いたしまして、大変失礼いたしました。

それでは、これで第6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。本日はどうもありがとうございました。