

第12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5年4月13日（木）9：00～12：04

2. 場所

原子力規制委員会 13階BCD会議室

3. 出席者

外部専門家

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

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 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 礫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

原子力規制庁

永瀬 文久 規制基盤技術総括官
青野 健二郎 技術基盤課 企画官
舟山 京子 安全技術管理官（シビアアクシデント担当）
阿部 豊 シビアアクシデント研究部門 総括技術研究調査官
栃尾 大輔 シビアアクシデント研究部門 主任技術研究調査官
新添 多聞 シビアアクシデント研究部門 主任技術研究調査官
小城 烈 シビアアクシデント研究部門 副主任技術研究調査官
西村 健 シビアアクシデント研究部門 副主任技術研究調査官
平等 雅巳 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官

菊池 航 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官
堀田 亮年 シビアアクシデント研究部門 技術参与
大野 鷹士 技術基盤課 技術研究調査官

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

(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係る解析コードの開発 事後評価)

(2) 安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価

(軽水炉の重大事故時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 事後評価)

(3) 安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価

(特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル (EAL) 見直しに関する研究 中間評価)

(4) 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 (案)

- ・ 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係る解析コードの開発

資料3-2 安全研究成果報告 (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

資料3-3 安全研究成果報告 (中間) (案)

- ・ 特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル (EAL) 見直しに関する研究

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（案）説明資料

参考資料2 安全研究成果報告（案）説明資料

参考資料3 安全研究成果報告（中間）（案）説明資料

6. 議事録

○永瀬規制基盤技術総括官 技術基盤課規制基盤技術総括官、永瀬でございます。

定刻となりましたので、第12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4年度に終了した2件の安全研究プロジェクトの事後評価及び令和3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の一環として、研究評価や成果の取りまとめ方法などの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。

○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、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。

本日の会合は、テレビ会議システムを利用しております。御意見、御質問がある場合におきましては、挙手のマークを押していただきますようお願いいたします。

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、東京都市大学の牟田先生、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を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。

○大野技術研究調査官 技術基盤課の大野です。

私から資料の確認について御説明いたします。

お渡しした資料といたしまして、議事次第、名簿、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及び3-2としまして、事前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（事後）（案）を御用意しております。資料3-1は、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についての研究成果を、また、資料3-2は、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についての研究成果をお示ししております。続いて、資料3-3としまして、中間評価の対象となります安全研究プロジェクトの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。この内容は、重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル（EAL）見直しに関する研究についてお示ししております。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。

なお、本日の御説明は、資料3に基づきましてスライドで行わせていただきますので、参考資料としてスライドのコピーを御用意しております。

過不足等ありましたら事務局へお知らせ願います。

○青野企画官 過不足等ございませんでしょうか。

よろしければ、安全研究プロジェクトの御説明に先立ちまして、評価の進め方等を取りまとめた、資料1、原子力規制委員会における安全研究の基本方針、それと資料2、今後の研究評価の進め方について、事務局より簡単に御説明をさせていただきます。

○大野技術研究調査官 技術基盤課の大野です。

引き続き、私から、技術評価検討会での評価について御説明をいたします。

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。

時間の関係上、簡易な御説明となりますので、資料は投影せずに口頭で御説明させていただきます。

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と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ページに記載しております。

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としております。

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まして、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を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おります。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ください。

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を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、実験方法が適切か。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の評価をお願いいたします。

締切りは、両シートとともに4月19日水曜日までとなり、事務局にメール等で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て、今後、評価結果について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 本件について、御質問、御意見がございましたらよろしく願いいたします。よろしいでしょうか。

よろしければ、安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価を行わせていただきます。
まず、事後評価の対象となる2件の安全研究プロジェクトについて行わせていただきます。

最初に、軽水炉の重大事故時における不確かさの大きな物理化学現象に係る解析コードの開発について、技術基盤グループシビアアクシデント研究部門の菊池技術研究調査官から説明させていただきます。

○菊池技術研究調査官 御紹介にあずかりました原子力規制庁シビアアクシデント研究部門、菊池と申します。

軽水炉の重大事故時における不確かさの大きな物理化学現象に係るコードの開発の事後報告と題しまして報告させていただきます。

次のページをお願いします。本報告におきましては、こちら1.～9.の流れで説明します。

次のページをお願いいたします。はじめに、背景でございますが、重大事故時の格納容器機能維持の脅威となる物理化学現象については、解析コードによる予測の大きな不確かさを伴う領域が存在します。この領域としては、下の1.～4.に示すように、原子炉容器外の熔融燃料と冷却材の相互作用。熔融炉心-コンクリート相互作用。原子炉圧力容器内外のデブリベッド冷却性。最後に、放射性物質の化学反応を含む発生、除去及び移行プロセスです。

次のページをお願いします。モデル開発上、これら四つの不確かさの大きな領域を対象とし、幾何形状の模擬性、物理化学現象における局所・非平衡性を考慮等のモデル化を実現し、新たな解析コードを開発することを目指しております。

さらには、実験データの解釈、実機プラントの事故分析を更に進め、実験によって得られる知見をプラントスケールの評価に活用する際の不確かさの低減することを目標としております。

次のページをお願いします。改めまして、先ほど申し上げました四つの現象につきましては、こちらの①～④に示しております。

次のページをお願いいたします。実施計画といたしましては、こちらに示すとおり、平成29年から昨年度の令和4年度までの6年で実施いたしました。

次のページをお願いいたします。それでは、熔融燃料、冷却材相互作用のコード開発につきまして報告させていただきます。

実験体系における集積デブリの生成実験の解釈や実機プラントにおける複雑な三次元体

系における溶融物落下時の挙動を解析するモデルの必要性というものが増しております。

そこで、JBREAKと呼ばれる解析コードを開発いたしました。JBREAKは右の図に示すように、溶融ジェット、そして溶融ジェットの剥離による液滴の生成、さらには液滴の集積といった現象を三次元で詳細に解析を行います。さらには、溶融ジェットのみならず、粒子状デブリの同時放出を扱うことを可能としております。

次のページをお願いいたします。JBREAKの妥当性確認につきましては、前の安全研究プロジェクトにて、スウェーデン王立工科大学にて実施いたしましたDEFOR-A実験を対象といたしました。

右の上の図(a)にDEFOR-A実験の可視化結果、右の図の(b)にJBREAKの解析結果を示しております。定性的にJBREAKによって、ジェットの分裂、液滴の生成、液滴の拡散といった一連の現象を評価できることを確認いたしました。

左の図には、実験において計測されました各水深に対する集積デブリの質量割合に対するJBREAKの解析結果を比較しております。青いプロットの実験結果に対しまして、赤いプロット解析結果は、良好に再現することができ、また、水深の増加に伴い集積デブリ質量割合が減少することも再現いたしました。

次のページをお願いいたします。続きまして、溶融炉心-コンクリート相互作用解析コードの開発です。

既往の実験及び実機プラントにおける複雑なキャビティの形状から、非対称性を伴う三次元のMCCIコードの開発というものが求められております。そこで、三次元のコンクリート侵食フロント追跡アルゴリズムというものを開発いたしまして、これに基づく三次元MCCI解析コード、CORCAABを開発いたしました。

このアルゴリズムを簡単に御説明いたしますと、右の図の上の(a)に示すように、(a)の左角のコーナー、黒い点が侵食したと仮定した場合、赤い三角形の侵食面というものが考えられます。侵食面の決定につきましては、上の図の(b)に示すように、セルの中の侵食面の交点である緑のプロット、そして、それに基づく放射線ベクトルを計算することによって求めております。

このカーブの妥当性確認は、アルゴンヌ国立研究所によって行われましたCCI実験を対象といたしました。

CCI実験の解析結果を下の図の左に示しております。60分後の後に360分後の解析結果を示しております、時間経過とともにコンクリートが侵食していく傾向というものを定

性的に確認できます。

さらに、実験結果と解析結果の定量的な侵食距離の比較を行っており、このカーブによって大方実験結果を再現できることが示されました。

下の右の図には、実機体系におけるBWRのキャビティに二つのサンプルがある体系における解析結果をお示ししております。その結果、CORCAABによりまして二つのサンプルが侵食し、合体するといった現象を扱うことを可能といたしました。

次のページをお願いいたします。続いて、キャビティ注水時のデブリ冷却性コードの開発です。

1Fの事故以来、デブリベッドの安定冷却のための手法などの検討が行われております。しかしながら、総合シビアアクシデントコード、MELCORなどでは、このようなデブリベッドの計算というものを簡略化しております。そこで、我々はこちらに示す決定論的アプローチ、確率論アプローチ、二つのアプローチに基づきまして、デブリベッドの冷却性の評価を行います。

決定論的アプローチにつきましては、大規模計算に基づく現象の最適評価を目指しており、先ほど説明いたしましたJBREAKを含むTHERMOSコードシステムによって行います。

確率論アプローチにつきましては、モデルパラメータなどの不確実性を考慮した多数の感度解析により現象の幅というもので考慮を行うものであり、JAEAの委託によるJASMINEによる評価で行います。

次のページをお願いいたします。それでは、決定論的アプローチに基づくデブリベッド冷却性評価手法の開発につきまして、THERMOSのモジュールについて御紹介いたします。

こちら黄色く示しているものが、THERMOSを構成するモジュールとなっております、先ほど御説明いたしましたJBREAKに加えてデブリベッドの冷却性、二相流動、セルフベリングなどを扱うDPCOOL、熔融物の拡がりを行うMSPREAD、熔融物の流路の閉塞や再熔融など相互作用を行うREMELTなどによって構成され、さらに、左の緑の枠で示しております物性値ライブラリを含めております。これによって、これら単独のモジュールでの計算を可能としながら、お互いに情報伝達を行うことにより、複雑な現象というものを扱うことを可能としております。

次のページをお願いいたします。それでは、まず、はじめにデブリベッドの冷却性、セルフベリングなどを扱うDPCOOLについて説明いたします。

DPCOOLにつきましては、本プロジェクトにおいては、下の左の図に示すように、13種類

の熱伝達モデルの組み込みというものを行い、さらに三次元のセルフレベルリングモデルの組み込みを行いました。

DPCOOLによる妥当性確認には、右の図に示すスウェーデン王立工科大学にて実施されましたPDS-C実験を適用いたしました。その結果、DPCOOLで11層、プールの中の複雑な流れ場を計算することが確認されました。

次のページをお願いいたします。続いて、溶融物の拡がりを計算するMSPREADです。

こちらは二次元の浅水方程式を組み込んでおりまして、これにより非対称な拡がりというものを扱うことを可能としております。

MSPREADのモデル化というものを複数行っており、その中の代表いたしまして、非等方拡がり、Weir Anchoringモデルについて説明いたします。

下の図の(a)のように溶融物先端でダムが生成された場合、(b)の迂回流、また(c)の越流、さらには(d)のダムの決壊によるブレイク流といった現象を扱います。

さらに、水中の中に溶融ジェットが衝突した際、ジェットが床面の衝突時に水を巻き込み飛散し、その際の巻き込んだ水の上昇流によってジェットが分離することが考えられます。

そのため、この上昇流によってジェットが分裂し、急冷却されるクエンチモデルを組み込みました。

次のページをお願いいたします。MSPREADの妥当性確認につきましては、ドライ条件とウェット条件それぞれ行いました。ドライ条件につきましては、KITによって実施されましたECOKATS1を適用し、下の図の左に示しておりますが、実験結果と解析結果の、失礼しました。それぞれ示しております。

実験結果につきましては、非等方拡がりというものが確認されており、これをMSPREADにつきまして、Weir Anchoringモデルを適用することによって再現することができました。

ウェット条件につきましては、先ほどDEFOR-A実験と同様に、マイプロジェクトにて実施いたしましたスウェーデン王立工科大学で実施したPULiMS実験を適用いたしました。

PULiMS実験の計測結果は、拡がりの最終的な面積というものを右の図の(a)に示しており、(b)には、MSPREADによるクエンチモデルを有効にしたケース、(c)には、クエンチモデルを無効にしたケースを示しております。

その結果、クエンチモデルを有効にすることによって、実験結果を良好に再現できることが示されました。

まとめましたら、MSPREADによってドライ条件及びウェット条件における溶融物の拡がりを予測できることが示されました。

次のページをお願いいたします。最後のモジュールといたしまして、REMELTになります。

こちらはバックの非平衡モデルというものを適用しておりまして、妥当性確認につきましては、先ほどのDEFOR-A実験、PULiMS実験と同様にスウェーデン王立工科大学にて実施いたしましたREMCODと呼ばれる実験を対象といたしました。

REMCODの実験の概要といたしましては、下の図に示すように、E25、E27、こちら2ケースを対象とし、それぞれ(a)に示すように、粒子堆積層がE25では縦方向、Eの27では横方向に異なるものを充填しております。

この粒子堆積層の上に模擬溶融物を流入させ、インゴットの形成を計測いたします。実験によって形成されたものを(b)に示しております。

REMELTの解析によって、(c)のインゴットの形成というものを行うことができ、定性的に実験をよく再現できることが確認されました。

さらには、浸透の距離につきましても、REMCODの計測結果をREMELTによって評価できることが確認できました。

次のページをお願いいたします。最後に、これら開発いたしましたTHERMOSコードシステムによる実機解析について御説明いたします。

実機解析につきましては、圧力容器から放出される溶融物の情報をMELCORによって計算し、それをTHERMOの境界条件に受け渡すMELTHERSを開発いたしました。

また、実機にて想定されます固液分離モデル、サンプの蓋が侵食する現象などをモデル化いたしました。

解析には、右の体系を適用しておりまして、代表的なBWRを模擬しております。床面には、二つのサンプの穴、そしてスリット出口がございます。

溶融ジェットの落下は、スリット出口近傍と仮定いたしました。

解析結果を下の四つ示しております。それぞれ溶融物の温度、失礼しました。デブリベッドの高さ、溶融物の固相割合、溶融物の粘性です。

溶融ジェットが落下するペDESTAL、壁面、スリット出口近傍におきまして高い溶融物の温度、そしてデブリベッドの高さが計測され、それが拡がっていく挙動というものを確認できます。

また、拡がりとともに冷却し、それにより固相率が増加いたします。固相率の増加に伴

い粘性係数が指数関数的に増加し、流動が停止するといった一連の現象を多次元で詳細に扱うことを可能といたしました。

以上によって、決定論的アプローチによるデブリ冷却性評価手法の開発といたしまして、続いて確率論アプローチを御説明いたします。

次のページをお願いいたします。確率論アプローチにつきましては、MELCORとJASMINEを連成することによって行っております。

MELCORによって計算されました圧力容器から放出されるデブリの情報をJASMINEに受渡し、水中でのジェットブレイクアップ、液滴な集積、熔融物の拡がりを実算いたします。

このようにして計算されましたデブリベッドの高さは、上下面のみから冷却されると仮定いたしまして、コンクリートとの境界温度を求めます。

それがコンクリート侵食温度に達しているかどうかで、右の図に示すようなMCCIの要否判定というものを行っております。

この解析結果を下に示しており、(a)は水深が1.5m、(b)が水深2.0mの結果です。

その結果、これらMELCORとJASMINEを連成する解析手法を開発することによりまして、実機BWR/Mark-1型の典型的な事故を代表したデブリベッドの冷却性評価を行うことを可能といたしました。

次のページをお願いいたします。最後に、放射性物質生成・移行・除去コードの開発について説明します。

本研究では、前のプロジェクトで得ましたシビアアクシデント時の燃料から放出されるセシウム、ヨウ素などの化学形態に関する知見を代替統計モデルを用いてTHALES/KICHEへの導入、整備を実施いたしました。

また、FPの化学形態を考慮した解析コードを用いたソースタームの評価を行いました。

下の図は、BWR/MARK-IIにおける全交流電源喪失シーケンスを対象とし、セシウム及びヨウ素の解析結果となっております。

下に示すグラフのとおり、代替統計モデルを用いることによりまして、FPの化学形態を考慮したソースターム評価を行うことを可能といたしました。

また、代替統計モデルを用いることによりまして、計算負荷を抑え、その上で化学形態を考慮した解析を行えることが確認でき、MELCORなどへの導入する代替化学組成表を作成いたしました。

次のページをお願いいたします。こちらまとめとなりますが、先ほどの内容と重複する

ため、割愛させていただきます。

次のページをお願いいたします。

次のページをお願いします。

次のページをお願いいたします。

成果の活用につきまして、主に三つございます。はじめに、有効性評価の活用です。

本研究で得られたデブリベッドの形成及び冷却性に関するメカニズム、熔融燃料と構造材の物質相互作用に関する知見というものが活用されております。

次のページをお願いいたします。安全性向上評価等への活用につきましては、FCIや原子炉压力容器外でのデブリベッド形成や冷却、放射性物質挙動に係る分析やモデル等についての成果は、論文等により公開された最新知見として、必要な場合は安全性向上評価等によって活用されるものでございます。

次のページをお願いいたします。最後に、審査書案に対する科学的・技術的意見への回答につきましては、本研究で得られましたデブリベッドの形成及び冷却に関するメカニズム、熔融燃料と構造材の物質相互作用に関する知見の整理は活用されております。

今後の見通しにつきましては、1F事故分析の現地調査に基づく事故分析から結果を踏まえた熔融炉心挙動の評価において、本プロジェクトにおいて開発した複数のコードを活用していきます。

次のページをお願いいたします。成果の公表につきましては、原子力規制庁職員から、次のページをお願いいたします。合計9個の論文。

次のページをお願いいたします。2本の国際会議のプロシーディングと2件の学会での表彰・受賞がございます。

次のページをお願いいたします。委託先での論文につきましては、こちら示す四つございます。

次のページをお願いいたします。委託先の国際会議のプロシーディングにつきましては、こちらに示す四つと、次のページをお願いいたします。こちらに示す二つの合計6本がございます。

次のページをお願いいたします。目標に対する達成状況につきましては、先ほど御説明したとおり、全ての研究テーマにつきまして達成しております。

次のページをお願いいたします。

次のページをお願いいたします。

次のページをお願いいたします。最後に、今後の展開といたしまして、本研究で開発いたしました三次元非定常のデブリベッド解析を行いますTHERMOSにより、高い空間及び時間解像度での溶融物の落下、拡がりなどの解析を行うことを可能となりました。

令和5年度から始まります新規プロジェクトにつきましては、重大事故解析コード等への事故進展などの結果の境界条件といたしまして、このTHERMOSの結果を用いた溶融炉心評価を実施する予定でございます。

これによって、溶融デブリの形態やその分布挙動に関する不確かさを低減することができる。特にペDESTALに冷却水がない場合などにおけるデブリの評価を行うことで、デブリの冷却促進のための事前注水などの重大事故時の緩和策の有効性評価に資する知見が得られます。

次のページをお願いいたします。

以上をもって、報告を終えます。

○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御意見をいただき、次に、外部専門家の方々から御意見を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、よろしくをお願いいたします。

それでは、まず、専門技術者の方々から御意見ををお願いいたします。

倉本さん、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です。

御説明ありがとうございました。

私からは、成果とまとめ方に対しての観点で2点、それから、解析内容とか検証結果等について2点、確認と質問させていただきたいと思います。

まず、1点目は、本研究の目的としては、既存解析コードによる評価では不確かさが大きい現象に対して、新たな解析コード開発することによって不確かさを低減するということを目的だというふうに考えますので、現状、実験結果との比較ということは示されておりますけども、例えば既存解析コードとの比較の上で、実際どの程度の不確かさが低減したのかといったことも示していく必要もあるのではないかと考えるんですけども、その観点での評価は実施されているのでしょうか、もしくは、今後実施していく計画でしょうかといった点について確認させていただきたいというのが1点。

もう一つは、この様々な解析コードの開発の過程でどのような素過程とか、物性、物理パラメータが事象進展に対して感度があるのか、あるいはないのかといった知見も得られていると考えますけども、それらの知見は整理された形で示されているのでしょうか、もしくは、公開とかいうことも考えられるのかといったことをお聞きしたいと思います。

このような知見が公開、共有いただけますと、今後、事象進展の影響緩和を講じるに当たって何をターゲットにすればよいのかとか、その策は有効なのかといったことを議論する際の論点が明確になると考えるゆえからの確認になります。

まず、2点、意見を述べさせていただきます。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。規制庁、菊池です。

1点目の質問につきまして、既存コード、MELCORなどにつきましては、圧力容器から放出されるデブリというものは、瞬時に、そして、それが同様の構造で均一の高さが堆積するという大きな仮定をしております。

それに対しまして、今回開発いたしましたTHERMOS及びJASMINEにつきましては、溶融物のまた分裂、その後、溶融物の液滴な集積などといった現象、さらには拡がりのものというものを扱うことによって不確かさの低減というものが行われております。

しかしながら、対象とする現象の時間的なスケールによる詳細な比較というのは、今後行っていく予定でございます。

2点目につきまして、重要な現象、PIRTと呼ばれるようなものに該当するかと思います。そちらにつきましては、主に研究としてまとめてはおりますが、PIRTのようなきれいな形というものでは、まだ、まとめ切れていないというのが回答となります。そちらもまとめ次第、公開できるように努めていきたいと考えております。

○倉本専門技術者 分かりました。

不確実の低減の程度についても、今後、検討して示していく、示されていくという計画であるというふうな回答だというふうに理解しました。

ありがとうございます。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。

○倉本専門技術者 あと、解析内容とかの確認、質問ということで、2点、意見を述べさせていただきますと思います。

1点目は、デブリ冷却性の解析コードシステムであるTHERMOSの開発とJASMINEの改良というのは、本研究での大きな成果だというふうに捉えております。

THERMOSについては、BWRの実機の挙動解析を可能にしたということの報告がありましたので、それに引き続き、今後、PWRにも拡張されることを期待するものなのですが、その計画はあるのでしょうかといった点と、あと、JASMINEをTHERMOSに統合させていくということも有効なのではないかと考えましたけども、そのような計画とか、考えがあるのかという点。

それから、今後の研究の中身かもしれませんが、デブリ冷却性解析において、1Fの事故の評価などもターゲットとすることも今後の計画にあるのかといったことをお聞かせいただきたいと思います。よろしく願いいたします。

○菊池技術研究調査官 御質問ありがとうございます。まず、1点目につきまして、THERMOSのPWRへの拡張というものは検討しております。THERMOSはこちら三次元のジオメトリを設定するものでございますので、ジオメトリというものが与えることで実機体験を模擬することができます。

加えて、今回事故進展解析MELCORとの連成も行っておりますので、PWR、BWR、また炉型の違いというものは考慮することが可能でございます。今後、そのようなものも含めて実施していくことを計画しております。

続いて、2点目のJASMINEをTHERMOSに組み込むことにつきまして、今回JASMINEというのがRZ体系というものに対してTHERMOSというのは、三次元で詳細に解くことを目的としており、かつ、計算負荷等も考えて少し方向性が異なるものとなっております。

一方で、JASMINEでは、やはりもともとの水蒸気爆発の機能というものがございまして、そちらの機能というものは、参考にしながらTHERMOSの方に組み込んでいます。

すみません。最後の1Fの分析につきましては、おっしゃるとおりでして、今後は1Fの事故分析に今回開発しましたコードというのは、かなり有効的に積極的に活用していくことを検討しており、それは次の安全研究プロジェクトの内容にも含まれております。

以上になります。

○倉本専門技術者 ありがとうございます。あと、もう1点、熔融燃料と冷却材の相互作用解析コードであるJBREAKの検証結果について御質問があります。

先ほどのスライドでの説明の中では、DEFOR-Aですかね、DEFOR-A実験というものについて示され、実験で確認された水深方向に対する集積デブリ質量割合分布はよく再現できているといったような研究、これは報告書にも実際に記載されていることがあるんですけども、もう一方、報告書の中には、TROY実験に対しての検証といったものも示されており、

その中では、重要なパラメータであると考えられる実験時の最大圧力については、今の報告書の記載ではかなり大きな差があるのではないかとといったようなことで、まだ課題が残っているのではないかと感じるように感じております。かつ、報告書の中でもその検討とか分析記載については、特にその数値が示されているだけで、検討分析が十分でないというふうに感じているんですけども、このTROI実験に対しての妥当性確認について、今の段階でどのように判断され、評価しているのかということについてもお聞きさせていただきたいと思います。

○菊池技術研究調査官 TROI実験につきましては、今回はJASMINEのモデルというものを参考にして組込み計算を行っております。おっしゃるとおりでして、TROI実験の圧力に対しましてJBREAKな解析結果というのも過小評価している傾向というものがございます。

その影響といたしまして、計算的なメッシュの影響がございます。その影響というものは、今後、改良していくことを考えておりますが、まずは、このコード開発として、このようなTROIを多少なりとも過小評価することではありながら、ここまで解析ができ、かつ、それを三次元でここまで詳細にできたということが、このJBREAKの成果であると考えております。

○倉本専門技術者 分かりました。ありがとうございます。

私からは、本件については以上です。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見は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。

質問が6か所ございます。一つずつ質問していきたいと思っております。

まず、一つは、行程表なんですけれども、熔融炉心コンクリート相互作用解析コードの開発の部分ですけれども、CFD解析に基づく対流熱伝達モデル開発の行程が、令和2年度～4年度まで引かれておりますが、この成果は、その上のCORCAABの開発に反映はしていないのでしょうか。成果の活用先というのを教えてください。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。現状におきましては、モデル化のための解析を行っておりますが、まだ組込みというのができていないのが現状となります。

○田原専門技術者 ありがとうございます。では、それは今後ということで理解してよろしいでしょうか。

○菊池技術研究調査官 はい、問題ございません。

○田原専門技術者 ありがとうございます。では、二つ目ですけれども、熔融炉心コンクリート相互作用解析コードの開発で、報告書でいくと30ページのところになります。

図2.3.9の説明のところで、実験と解析の結果の違いの理由をクラストが割れることによる伝熱面積の増加と、あと、亀裂への水侵入による冷却促進効果をモデル化していないためとしていますけれども、注水のタイミングが18,000秒で、その前に既に解析と実験の侵食深さの傾向が異なることから、亀裂への水侵入の影響よりも前に解析と実現象の違いが現れているのではないかと思います。

この図2.3.9は、側面方向の侵食深さの比較なんですけれども底面方向の比較というのはいされていないのでしょうか、底面と側面の伝熱量の配分が実験と解析で異なっているかという点について考察があったほうが理解がしやすいと思いました。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。御指摘のとおりでして、今回CORCAABというのは、三次元で詳細にMCCIコード開発、扱うことができるというのがやはり大きな成果、特徴となっております。

その上で、やはりMCCIコードの開発には、非常に難しいものがございまして、熱伝達などの課題があり、おっしゃるとおり、注水の前からやはり差が出てしまったという結果となっております。

あわせて、今回深さのみ比較しておりますが、横方向、半径方向の侵食というものをもちろん計算しております、比較というものもできます。しかしながら、ちょっと今回は記載できていませんでした。

○田原専門技術者 ちょっと考察に加えていただけると分かりやすいかなと思いました。

○菊池技術研究調査官 分かりました。

○田原専門技術者 ありがとうございます。3点目ですけれども、報告書の48～49ページのまとめのところになりますけれども、CCI2実験に基づくCORCAABの妥当性確認を実施し、MCCI挙動を解析することを確認したとあるんですけど、「解析することを確認した」というのは、ちょっと表現としてはおかしいので、ちょっとそこら辺は書き方を見直していただいて、課題が残っているならそれを記載されたほうがよいと思いました。ここは、それだけです。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。御指摘のとおりで、こちら修正いたします。

○田原専門技術者 あと、4点目ですけれども、キャビティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発で、報告書は62ページになります。

表2.4.2があって、この伝達経路の構造材、これはダウンカマ壁なんでしょうか、というのは、この8番と9番と10番を見ると、構造材はダウンカマのところに9と10は丸なんですけれども、8だけ何かコンクリートの方に丸がついていて、これはどうしてかなというのと、あと、同じように11、12、13を見ると、鋼製ライナーの伝熱なんですけれども、これが12、13は、三次元セル同士で、11番だけダウンカマ壁となっていて、すみません、ここがよく分かりませんでした。

○菊池技術研究調査官 御指摘ありがとうございます。誤記の可能性がございますので、改めて確認いたします。

○田原専門技術者 よろしく申し上げます。

あと、5点目が、報告書は86ページになります。REMELTの開発の部分になります。

モデル化している相変化に関して固相-熔融相へは一方のみ考慮するという記載があります。これは熔融は考えるけれども固化は考えないという意味なのでしょうか。固化すると何か固相ではなくて、クラスト相になるというようなモデルなんだろうなというふうには理解したんですけど、ちょっと読んでいてよく分からないというか、分かりにくいので、ここら辺の説明をもう少し追加していただければと思いました。

あと、固相では同一セル内であっても、 UO_2 や ZrO_2 はそれぞれ純物質として存在し、擬二成分系相線図の影響を受けずに熔融するとしていますけれども、このREMELTが扱う事象が、熔融炉心が落下堆積して、固化した後の再熔融であるならば、最初から UO_2 と ZrO_2 は、混合酸化物として固化していて、固相線を超えたら一部が熔融を開始するのではないかと思います。これを純物質として扱った場合の結果への影響に関する考察があるとよいと思いました。

すみません、ちょっと長くなって、88ページの⑦の固相が混合相に落下したときの伝熱モデルのところの説明もちょっと読んでいて分かりにくいと思いました。

例えば完全熔融している熔融物が固相に初めて到達した場合、その温度差は大きくとあるんですけれども、その前の説明で、固相は純物質として熔融するとしているので、熔融物が液相線を少し超えた温度で、固相が融点より少し下の温度であれば、両者の温度差というのは小さいと思われますというのを考えながら読むと、ちょっと理解しにくいなというところがありました。

あと、その後のエネルギー再配分の説明のところも何かとても分かりにくかったので、見直していただけたらよいかと思いました。すみません、ここは以上です。

○菊池技術研究調査官 御指摘ありがとうございます。改めて再度見直します。

○田原専門技術者 それから、6点目、確率論アプローチに基づくデブリ冷却性評価手法開発のところで、報告書101ページになります。

本評価では、冷却可能なデブリ高さを超えるケースは無く、初期水位の影響は小さいという結果が得られたとあります。確かに、ここの評価は1.5mと2mの水位が2ケースでやられているので、そうなんでしょうけれども、水位を低くしていったら、ある閾値を下回ると、急速に冷却できない可能性が高まるのではないかと思います、そういう考察があるといいかないかと思いました。

以上です。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。最後の1点のこの水位の影響につきましては、1.5m、2.0mでの影響は小さいものの、水位の影響は、あくまでこの範囲でありまして、おっしゃるように、例えば水が10cmしかないとか、1m以下の場合というのは、ブレイクアップしないことによってMCCIが発生するようなケースというものが十分考えられます。そのため、御指摘を受けまして、改めて見直します。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

私からは以上です。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、高橋さん、お願いいたします。

○高橋専門技術者 三菱重工の高橋です。

まず、総論として、こういった壮大な解析コード群をつくられるというのは、民間ではなかなかできないことなので、すごいなという感想を持ちました。

これは先ほどコメントがあったように、まだ完成度としては、例えばさっきの圧力上昇のところとかは、解説だとメッシュの影響かもしれないんですけども、過小評価もしているところもあって、今後もやっていくことになるんだろうと思うんですが、まず、福島事故分析なんかには、このTHERMOSというのは、すごく有効じゃないかと思えますが、ほかにどういうところに使われようとしているかというのをお聞きしたいなと思いました。

以上です。

○菊池技術研究調査官 御指摘のとおり、福島に加えまして、次期プロジェクトにおきましては、キャビティ事前注水の水量であったり、またはタイミングであったり、そういうものの有効性デブリベッドの冷却性につきましてTHERMOSを活用していくことを検討しております。

○高橋専門技術者 分かりました。

ぜひ、よろしくをお願いします。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。

○青野企画官 ありがとうございました。

続きまして、外部専門家の方々から御意見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。御説明いただき、ありがとうございました。

幾つか御質問、コメント等をさせていただきたいと思えます。

まず、JBREAKの開発のところでございますが、報告書の中では二つほど検証のケースが取り上げられて、その結果について御紹介いただいておりますけれども、まず、この二つの検証に用いた実験が実機で起こるFCIの代表性としてはどうなのかと。要するに、この二つのケースがうまく合っていれば、実機の条件にも適用が担保されるというふうには、恐らくならないんじゃないかなというふうに思えます。

まず、その上で、第一歩の二つの実験の代表性がどういうものなのか、この二つの実験だけではなくて、違う実験等々を今後検証していく必要があるのであれば、どのような検証プランをお持ちなのか、この辺りについて補足をさせていただけますでしょうか、まず、これ1点目です。よろしくをお願いいたします。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。代表性につきましては、初め、集積を扱っておりますDEFOR-Aにつきましては、こちらおっしゃるとおり、模擬溶融物というものを使用している以上、やはり実機とは異なる点というものはございます。

しかしながら、そこは無次元数での整理、あとは、実機にて UO_2 や ZrO_2 が溶融した際のコリウムがブレイクアップした際の粒径の形状や粒径の傾向が再現できるということから、こちらの材料というものを選定しております。

しかしながら、やはりおっしゃるとおり、実機との差というものはございますし、それにつきましては、やはり解析コードと併せてやっていくことを考えております。

TROI実験の方につきましては、こちら組成につきましては、実機で使用されるような

UO₂がかなり多く条件となっておりますが、温度が非常に高く、かつ、外部からトリガーをかけるというところからは、やはり実機とまた少し異なるかなり厳しい条件というものになっております。

やはりその点においても実機との差はございますが、2個目の御指摘に関わりますが、ほかのケースとの解析なども考えておまして、今回TROI実験で挙げるとすれば、こちら国際プロジェクトSERENAの中で行われておりますが、TROIとは別の実験というものが行われております。それらの実験などを適用する。あとは、ほかのケース、複数ケース実験を対象とすることを行いまして、実機外挿性というものを検討していくことを考えております。

○守田委員 ありがとうございます。非常に複雑な現象を3Dで解析できるところまで開発が進んだということを非常に敬意を表したいと思います。

次の質問でございますが、キャビティ注水時のデブリ冷却性解析コードの開発のところで、決定論的アプローチと確率論アプローチ、二つのアプローチでの評価をされているという御説明でございましたが、JASMINEの確率論アプローチの方は、JASMINEの改良コードによる評価ということをされているんですけども、対象としている現象は、THERMOSでもできそうなような感じがするんですけども、ちょっと私の認識が間違っているかもしれませんけども。どうしてTHERMOSの中のJBREAK等々を使って確率論的アプローチの方をされなかったというのは、これは主に計算負荷の問題というふうに考えてよろしいのでしょうか。

○菊池技術研究調査官 御指摘ありがとうございます。おっしゃるとおりで、こちら計算負荷の理由となっております。併せまして、JASMINEで組み込んでおります溶融物の集積や拡がりといった現象というものは、全てJBREAKで計算可能でございまして、さらに、加えてクラストが割れて溶融物が拡がるといった現象などかなり細かい現象というのをJBREAKで扱うことを可能としております。

○守田委員 分かりました。そうすると、確率論アプローチのそれぞれのパラメトリックな解析を通じて確率的な評価をされていると思うんですけども、THERMOSのほうが仮によりよい精度で現象を捉えられているということであれば、確率論アプローチの方のこの評価の結果というのは、どの程度の精度で予測されているのか、THERMOSのほうが、よりよい精度で計算できているという前提であれば、その辺の比較というのは、どのようにされているのか教えていただけますでしょうか。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。こちら開発に当たっては、妥当性確認と

いうものは随時行っておりまして、THERMOSにおいても、JASMINEにおいても、JBREAKで御説明いたしましたDEFOR-A実験、またはMSPREADで説明いたしましたPULiMS実験というものをJASMINEの方でも組み込んでおります。

その結果、JASMINEにおきまして、幅というものはございますが、実験結果、良好に再現できることを確認しております。

あわせて、おっしゃるとおりでして、やはり計算をする計算負荷というものがかなり大きなことになることから、THERMOSはやはり計算負荷が重い、その分、非常に精度高く、細かく現象のメカニズムを解明するようなことができます。

一方で、JASMINEというのは、計算負荷が軽く、多数ケースの解析を行うことができるので、かなり長期間の現象を現象の幅として計算、予測することができます。これらの差によって、これら二つの手法というものを行ってきました。

○守田委員 ありがとうございます。例えば同じMELCORとカップリングした解析でJASMINEを使った解析の結果と、JBREAKをカップリングして計算した結果、この同じ同一のケースの場合に、二つの解析結果がどういう違いになって出ているのかということについては、どのような結果になっていますでしょうか。

○菊池技術研究調査官 失礼しました。回答できておりません。そちらにつきましては、具体的に細かく比較というのはまだしていない。あくまで、今回はそこまでの現象を分析できるような解析コードを開発した、それが妥当性確認や検証も踏まえて、機能を確認したというのが本プロジェクトの成果となります。

○守田委員 ありがとうございます。それと、今日あまり詳しい御説明はなかったんですけども、エアロゾルのスクラビング除去モデルの開発のところにつきましては、最初の研究概要のところ、平成31年度、もしくは令和元年度のところまでその開発が進められ、そこで終わっているわけですけども、三次元のエアロゾルの移行挙動の解析コード、いわゆるCFDを使ったようなコードに反映する非常に詳細なモデルの開発がされているというのは承知しておりまして、これまでにない成果がこれは得られているというふうに認識しております。

ただ、あくまで単一気泡ベースの挙動であれば、非常に精度よく現象も分かり、解析ができるようになっているというふうに思うんですが、これを一旦、実機スケールに拡張する上で、例えばSPARCとか、SAコードのスクラビングのモデルにその成果を反映していくというところが、少し抜けているというか、そこにつなげていくようなR&Dがこれから必

要ではないかというふうに思うんですけども、この辺りについてはどのような御見解なのか教えていただけますでしょうか。

○菊池技術研究調査官 初め、1点、誤りがございました。行程表につきまして、プールスクラビングで平成31年度に終了したとなっておりますが、すみません、こちら誤記でして、こちら令和4年度まで続いております。失礼しました。

一方で、SPARCに適用するものにつきましては、実際にこの解析コードによりまして詳細な除去メカニズムというものを解析、予測しております。それによって、現在SPARCで組み込まれているような、例えば気泡のアスペクト比、または上昇速度等といった物理量がどの程度最適かということと比較まで行っておりまして、その結果、あくまで単一気泡、実験ベースのものではございますが、SPARCモデルで計算されるアスペクト比が少し実験やこのCFDコードと差異があると、それによってDFに影響があるので、そのようなアスペクト比モデルの修正、改良というのが、あくまで案として提案できたというのがこのモデルの成果となります。

○守田委員 ありがとうございます。ぜひ、実機スケールに適用可能な解析コードなりの改良につなげていただければというふうに思います。

続きまして、最後になりますが、成果報告書の3.5節、今後の課題等というところが、2行しか記載がないんですけども、やはり、当初のこの解析コード群の開発の目的としては、達成されているというふうに理解しておりますが、その後のR&Dの中で、やはり今後の課題というものは、いろいろ出てきているというふうに得られた知見から出てきているというふうに思うので、ここの今後の課題のところについては、複数の解析コードを活用していくという最後文章になっておりますけども、やはりいろんな解析コード群の開発、検証を通じて得られた成果、その中で、新たに分かった今後のやっつけいかなきゃいけないような開発課題等をやはりここでしっかりおまとめになられるのがいいんじゃないかなというふうに思いましたので、これはコメントでございます。

以上です。ありがとうございます。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。最後のものにつきましても、やはり解析コード、妥当性確認を実施していく上で、やはり実験的な知見が足らず、コードの改良ができていない点など複数課題が見つかっております。

御指摘を受けまして、やはりそのような点というのは、この報告書にきちんと明記いたしまして、今後の課題として引き継がせていただきます。

○青野企画官 ありがとうございます。

ほかに御質問、御意見はございますでしょうか。

牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。御説明どうもありがとうございました。

非常に端的に見られて、あと解析コードも体系的に開発されているということはよく分かりました。

最初にちょっとコメントだけ申し上げたいのですが、今日の説明で、やられたことは非常にたくさんありますし、時間も限られてますので、その中での御説明だったかと思えますけれども、やっぱりやられたことが中心に書かれていますので、もう少し最初に考えた、このコードを開発しようと思った目的とか、目標みたいなものに対して、どの程度それが達成されていて、従来の技術と比べて何が進歩しているのかといったようなところのアピール点みたいなものをちょっと御説明いただければよかったかなというふうに思います。これはコメントです。

あと、細かいところはほかの委員の方々からの御質問はあったので、取りあえず、大きなところだけちょっと御質問させていただきたいのですけれども、今言ったこととちょっと関連するんですけれども、例えばこれはいろいろな新しい解析コードをつくられて、体系をつくられて、それらがどの程度のことを達成したかという質的なものというのが、ちょっとあまりよく見えなかったかなと思います。

具体的に言いますと、例えば8ページ目とか、9ページ目とかで、実験計画の再現性のことをうたわれてますけれども、良好に再現したというのは、確かに私は今グラフとかを見て感覚的に分かるんですけれども、これは具体的にどの程度の再現ができれば、自分たちが最初に考えた目標が達成されているかというふうに判断できるかというところが、やっぱりちょっと見えないような気がします。その辺、ちょっと、まず、どういうふうにお考えになっているのか、自分たちがこれがどの程度達成できたから、目標に対して十分だというふうに考えておられるかという辺りをちょっと教えていただけますか。

○菊池技術研究調査官 御指摘ありがとうございます。おっしゃるとおりでして、目的のところ、1点目のコメントにつきましては、改めて考えますが、2点目のどの程度合わせるかにつきましては、ここはやはり非常に難しいところかと思えます。

例えば誤差が数%であれば合っていると判断するのかというところも難しいところでございますが、今回、我々の開発コードにつきましては、物理化学現象を考慮するというこ

とを主に着目しておりまして、その上で、実験で発生した現象を説明できるようなもの、現象、メカニズムなどを解析コードによって出力することができたので、その点については、大きな成果であるというふうに考えており、おっしゃるとおり、どの程度合わせるか、不確かさをどの程度減らすかというのは、非常に難しい点と考えております。

○牟田委員 分かりました。おっしゃるとおりだと思います。非常に難しいお話ではあるんですけども、例えば定量的にどの程度合っているという話が難しいケースも当然あると思うんですね。そうすると、今おっしゃられたように、狙ったところがきちんと表現されているかですとか、そういったところで最初に立てた目標に対してどの程度を達成できているかという話をされてもいいのかなというふうに思いますし、もし、可能であれば、そういったところを報告書の中でまとめていただければいいのかなというふうに思います。

それで、もう1点だけ御質問させていただきたいんですけども、これは少し細かい話で恐縮なんですけど、ちょっと個人的に興味があるところなので伺いたいのですが、17ページをちょっと見ていただきたいんですけども、ここは非常にざっくりとした説明だと思うんですけども、これは確率論なアプローチ、多分モンテカルロのことをおっしゃられているんだろうなと思うんですけども、どういったことをやられているのかというのは何となくは分かるんですけども、簡単で結構ですので、少しどういうふうなことをされているのかというのを具体的に教えていただけますか。

○菊池技術研究調査官 パワーポイントの17ページでよろしいでしょうか。

○牟田委員 はい、そうです。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。こちらにつきましては、ROAAM法によりまして、不確かさの分布というものを行っております。今回お示ししている結果というのは、注水の時間、それと下部ヘッドの破損を判定する温度を、不確かさ分布を考慮いたしましてMELCORの計算を行いました。その多数の解析結果につきましてJASMINEを1対1対応で計算を行い、冷却成功確率というものを判断いたしました。

この解析のほかにも、JASMINEの中のパラメータであったり、他のMELCORの入力というものにつきましても、このような不確かさ分布を考慮して解析を行いました。

○牟田委員 ありがとうございます。そうすると、あと最後に、判断するクライテリア、冷えるかどうかというクライテリアだと思うんですけども。最大の堆積高さというのを設定されていますけれども、これは1点だけなのか、ここも何か確率をどう考えられていますか。

○菊池技術研究調査官 こちらにつきましては、JASMINEの結果、1ケースに対しまして、最大高さ1点が求められます。そのためJASMINEを複数ケース行った場合、複数ケースで出てくるものとなっております。

○牟田委員 冷えるかどうかというようなクライテリアではなくて、解析の結果として冷えているかどうかというところで、この辺りは決まっているという、そういう解釈ですか。

○阿部総括技術研究調査官 ちょっとだけよろしいでしょうか。そういうことの話にちょっとだけ追加させていただきたいんですけど。報告書のほうの105ページではあるんですけども、今説明させていただいたように、MELCOR解析で様々な条件が出てくる、組成の温度とかいろいろありますので、それをJASMINEに入れていろいろ計算すると、どのぐらいの堆積高さになるかという頻度が出てきます。

それに対して、どのぐらいの高さだったら冷えるか冷えないかということに関しては、モデルがあります。ドライアウト熱流束モデルとかを使って高さを決めてあげて、頻度分布が出てきているものに対して、それ以上の高さだったら冷えない、以下だったら冷えるというふうな判定をこの場合はやっているということでございます。

○牟田委員 分かりました。どうもありがとうございます。

私からは以上で結構です。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、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。全体としては、既にいっぱいコメントが出ていますので、特に私からはない、ないというか、同じところは幾つか思っていたところがありますので、一つ、二つだけコメントというか、質問をさせていただきたいと思います。

まず、17ページ、今、牟田先生の示されたところと同じところで質問としては、これは認識論的な不確実さというのは、今回の検討の対象にされているんでしょうかというのが一つ目の質問です。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。では、担当者、お願いいたします。

○阿部総括技術研究調査官 解析コード自体の機能は、先ほどもお話ありましたように、ほぼTHERMOSとか、そういう精緻なものと同程度なんですけれども、やはりある程度の不確実さ、現象の捉え方に不確実さがあります。けれども計算速度が非常に速いので、多数の計算、何百何千ケースやって分布を出すというふうなことで、現象がどうですかということに関する、ある意味、捉え方は多少ラフでも、計算の数、パラメータを増やしてやっ

て分布を出すという考え方になっていると思います。

○糸井委員 すみません、ちょっと質問の意図がうまく伝わらなかったかもしれないです。もしかしてロジックツリーみたいなのをさらに、これは確率の評価だと思っていて、さらにここに入力のパラメータなどでロジックツリーを組んで、最終的には認識の不確かさをそういう形で考慮するということになるんですか。すみません、私、かなり素人質問で、申し訳ないです。

○阿部総括技術研究調査官 そういうことに向けての一つの手段を整備しているという位置づけになると思います。全体ではなく、あくまでここは圧力容器が破れて、下に堆積したときの冷却性のところだけですので、一つのツールというか、部分的に見ているだけです。それはこういう方法でそういうロジックツリーを使ったり、ある意味、論文的なもので確率の分布を出しますというところの、そういうところの情報の手段とするという位置づけになると思います。

○糸井委員 ありがとうございます。そうすると、今回はそのためのツールを粛々とつくられていたというふうに理解しました。

もう一つは、これは今から変えたほうがよいという意見ではなくて、感想的なところとして受け取っていただければと思うんですけども、ここの部分のタイトルが確率論的アプローチとなっていて、一つ前が決定論的アプローチというふうになっていると思うんですけども。先ほどの議論からも明らかだと思うんですけど、何かそういう決定論的か、確率論的かというふうに分けて議論するものでもないというか、むしろ見ている現象が違うとか、あるいは評価する対象によっては、こっちの手法のほうが適切とか、何かそういう、何かそちら側が本質というような気がしまして。あるいは、この二つの手法をどうやって組み合わせると全体像を把握するかとか、何かそういう観点で考え方が提示されると、将来的によりよいのかなというふうに感じました。

あと、例えばですけども、できるかどうかというのは分からないんですけど、決定論的アプローチのほうの手法を使って、後ろのほうでさらっと御説明いただいた代替モデルを組み合わせれば、例えば確率論的アプローチというのは、手法としては可能だと思いますが、そういうふうにやったからといって、JASMINEでやっている確率、ここで言っている確率論的アプローチと同じような結果が出てくるかどうか、あるいは、欲しいデータが得られるのかって違うような気がしますし。何かその辺りで、決定論的、確率論的って分けてしまって分かりやすく説明するんじゃなくて、もう少し全体像が示されるとよいのかな

というふうに何となく感じました。ちょっと感想ですけれども。

以上です。

○菊池技術研究調査官 ありがとうございます。担当者から回答をお願いいたします。

○堀田技術参与 規制庁、堀田ですけれども。非常に難しい御質問、コメントだと思います。確かにJASMINEにしても、THERMOSにしても、物理モデル自体は決定論です。それをどのように使うかというところで、確率論であったり、統計論であったりというところがあるんですけども。今ここで確率論と言っているのは、先ほどROAAM法と言いましたように、現行のPRAの中での現象の分岐確率を評価するという観点で言っているのであって、それは多分PRAの中で現象の中の重要性というか発生、頻度につながるときの相対的な重要度があるかと思えますけれども、そういう中で使う場合には、現状、JASMINEのような比較的軽量のコードで回したほうが、目的を即満足できると。

ただ、おっしゃられますように、見ている観点が、例えばよりローカルな現象であったりとか、そういうものが例えば安全性にクリティカルになるというような場合には、やはりJASMINEをそういったところで高度化するのか、あるいはTHERMOSを重量級のコードであっても確率論的に使っていくのかということというのは、やっぱり選択すべきだろうというふうに考えております。

先ほど認識論的な不確かさの話もありましたけども、我々の捉え方というのは、認識論的な不確かさというのは、物理モデル、特にパートのような議論を経て抽出された物理モデルのパラメータの不確かさをどのように考えるかというところで、今評価に反映しているというような認識でございます。

以上でございます。

○糸井委員 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、御意見ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

よろしければ、次の安全研究プロジェクトの説明に移らせていただきたいと思います。

次の2件目のものにつきまして、こちらも事後評価の対象となる安全研究プロジェクトでございまして、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でございます。

説明は、技術基盤グループシビアアクシデント研究部門の小城副主任技術研究調査官から行わせていただきます。

○小城副主任技術研究調査官 それでは、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の事後評価の説明をさせていただきます。

次のページをお願いします。目次といたしましては、こちらの1～7に示す項目を御説明させていただきます。よろしくお願ひいたします。

次のページをお願いします。まず、背景です。軽水炉の安全性を確認するために実施される格納容器破損防止対策等に係る解析では、これまでに決定論的、確率論的な両面からの評価が実施されています。これらの評価では、幅広い事故のシナリオが扱われておりまして、事象の詳細なメカニズムについてはこれまで評価されておりますけれども、シナリオの多様性など、まだまだ不確かさが多く残る分野でもあります。

新規制基準の施行によって重大事故等対処設備が拡張されまして、新規制基準の適合前のプラントと比べれば、相対的にリスクが低下していることが考えられます。他方で、そのような重大事故等対処設備として、より幅広い事故シーケンスに対して、個別の物理化学現象の発生のような事象に対する理解を促進することが求められます。

そこで、本研究プロジェクトでは、重大事故の進展、格納容器への負荷、公衆被ばく影響等を評価するための最新知見を取り入れた手法を整備すること。また、既存の解析コードを改良する等を行いまして、評価手法の高度化を行うことを目的といたします。

次のページです。研究の概要といたしましては、先ほど言いましたとおり、格納容器機能喪失に至るような重大事故の進展、格納容器への負荷、環境へのソースターム、公衆被ばく等を評価するための最新知見を取り入れた手法の整備、既存の解析コードの改良等の評価手法の高度化を行っております。

ここでは、決定論及び確率論の両面のアプローチで、重大事故時における評価手法の整備を行いました。解析におきましては、個別現象の評価だけではなく、事故進展全体を評価する総合的な解析を行いまして、その総合的な解析と確率論的手法のインターフェイスについても分析を行っております。また、最新知見に関しましては、職員の調査に加えて、国際プロジェクトへの参加を行い、情報収集を行いました。

次のページです。全体行程といたしましては、平成29年～令和4年までの期間で実施いたしました。総合解析コード、個別コードに関するスケジュールをこちらに示します。

次のページをお願いします。確率論的リスク評価に関する手法整備、そして環境影響評価手法整備のスケジュールをこちらに示します。

次のページをお願いいたします。研究期間を通じた主要成果について説明させていただきます。

きます。こちらに挙げた項目について御説明をさせていただきたいと思ひます。

次のページをお願いします。まず、総合解析コードによる評価手法の整備について説明いたします。

次、お願いします。事故進展解析とソースターム評価手法の高度化といたしましては、まず、概要として、最新知見を用いた事故進展解析コード、MELCORのMELCORモデルによる事故進展解析を実施しまして、格納容器機能喪失に伴い環境に放出されるソースタームの評価を実施しました。

実施内容としましては、米国NRCにおけるSOARCAプロジェクト、最新知見を反映した原子炉における環境影響評価プロジェクトを参考としたノーディング、モデルの高度化を行うとともに、新規制基準で拡充された注水設備を用いた注水のマネジメントの検討を行いました。主要な成果といたしましては、以下の2点ですけれども、後ほど説明させていただきます。

次のページをお願いします。少々お待ちください。こちらに今回整備いたしました、MELCORのSOARCAのプロジェクトを参考としたノーディング図を示させていただきます。代表3ループPWRのノーディング図を示しています。

まず、圧力容器が中心にありまして、左右に3ループの蒸気発生器を破断ループと健全ループに分けております。さらに、上下に赤字で示させていただきましたとおり、SGTRのリークパスですとか、IS-LOCAのリークパスなどを追加しているような形になりまして、特にIS-LOCAのリークパスに関しましては、右下の部分の紫色で示したようなRHRの配管の取り回し等も考慮しているような形となります。

次のページをお願いします。新規制基準で拡充された注水設備の注水マネジメントを検討していったところを行いました。こちらに関しましては、交流電源喪失の場合、そしてCCWS機能喪失の場合とそれ以外の場合において、使える注水設備の違い等を考慮して、注水マネジメントがどのようになされるのかということをご考慮して、事故進展に反映してまいりました。

次のページをお願いします。CCWS機能喪失を起因事象とするシナリオにおいて、注水マネジメントを考慮した場合におけるソースターム解析の例を示します。左手が炉心注水があるもの、しかし格納容器スプレイに失敗するもの、右側が炉心注水がなく、格納容器スプレイに成功するものでございます。縦軸が放出割合、横軸が時間となっております、左側の図では、最初ギャップリリースとともに、環境への放出量がぐっと上昇しております。

すが、その後、青や緑で示したエアロゾルの放出が、炉心注水が少し遅れることによって、20時間程度で上昇しているところが分かります。しかしながら、格納容器スプレイが失敗することによって、70時間程度のところで環境への大きな放出が見られます。

一方、右側に関しましては、炉心への注水がないことから、エアロゾルの放出のタイミングが早まっていることが挙げられる一方で、環境への大規模な放出が行われる時間は150時間程度というところが見てとれます。

このようなソースタームの情報を整理いたしまして、レベル2PRAからレベル3PRAに引き継ぐ情報として整理をいたしました。

次をお願いします。次に、使用済燃料プールの事故進展解析です。SFPの重大事故における事故進展解析手法の整備のため、OECD/NEA、SFP-PIRTで議論された現象を評価するモデルの整備を行い、実機に適応させました。

主な成果といたしましては、個別現象のモデル整備として、空気-蒸気混合条件下での被覆管酸化モデル、露出した燃料の輻射による熱伝達のモデル、スプレイ冷却による燃料上部からの冷却、液滴の燃料上部への到達モデル等を整備し、これを実機に適用させました。実機体系での解析モデルを整備し、LOCAの発生位置やスプレイの到達割合等を考慮し解析を実施し、SFPにおける事故進展の特徴を整理しました。

左下に事故進展解析のモデルの参考を示しておりまして、右側に解析結果を示しています。右側の解析結果は、縦軸が被覆管温度で横軸が温度です。グレーの線が水位を示しておりまして、水位低下でTAFを切るとともに燃料の温度が上昇していきます。本解析では、スプレイが作動しておりますので、最終的に燃料が大規模に損壊する温度に到達しないという結果が得られています。

次のページをお願いします。次に、個別現象コードについて説明します。

次のページをお願いします。個別現象コードに関しまして、最初のトピックは水素です。水素は、さらに混合と燃焼に分けて取組を行いました。まず、混合についてですけれども、JAEAの委託実験であるCIGMA実験のデータを活用しまして、水素混合の格納容器熱流動に関する数値流体力学解析の高度化を進めました。

主要な成果といたしましては、これまで実験の少なかった外面冷却によって発生する自然対流の密度成層の侵食について、3次元CFDの浮力効果を考慮した乱流モデルを組み込んで解析しました。結果として、実験を良好に再現するような結果が得られています。左下がCIGMAの解析格子、そして真ん中が解析結果を示しています。

次に、燃焼でございます。概要といたしましては、建屋で生じる水素爆発について、影響評価に必要な手法を検討いたしました。主要な成果といたしましては、水素濃度分布、火炎伝播等の3次元挙動を考慮した評価を実施する手法を確立し、原子炉建屋での水素爆発に関連する事象の評価が可能となりました。

右下の図は、福島の場合で4号機での爆発解析を行っておりまして、本研究に関しましては、学会での受賞がありました。

次のページをお願いいたします。次に、格納容器負荷に関してですけれども、静的荷重と動的荷重について取組を行っております。静的荷重に関しましては、格納容器内に温度分布が形成されるような状態を想定した局所温度環境下の負荷を詳細に解析する手法を整備しました。

主な成果といたしましては、事故進展解析の結果を参考に、格納容器の局所温度上昇となる可能性のあるシナリオを選定いたしまして、3次元の格納容器局所温度の評価を行いました。左手に格納容器のモデル、真ん中に解析結果を示してございます。

次に、動的荷重でございますけれども、格納容器で発生する動的荷重に対する格納容器の機能維持に関する評価手法を整備するというところで、主な成果といたしましては、BWRにおける鉄筋コンクリート、ペDESTALのコンクリートに対する荷重の評価手法を整備し、実機体系でのペDESTALの変位の評価手法を整理いたしました。

次のページをお願いします。国際プロジェクトへの参加に関してなんですけれども、最新の実験手法に基づくデータ等の実験的知見及び解析手法に関する最新知見の収集を行いました。こちらに示したものが参加したプロジェクトでございまして、水素、溶融デブリ、そして放射性物質、1F事故分析等のプロジェクトに複数参加いたしました。

次のページをお願いいたします。次は、確率論的リスク評価に関する事項です。

次をお願いします。先行研究であるレベル1PRAの安全研究プロジェクトで得られた炉心損傷頻度等を評価した後のレベル2PRAで、レベル2PRAの格納容器機能喪失頻度等を評価する手法について検討を行いました。

実施内容といたしましては、システム非信頼度を解析する格納容器イベントツリー、S-CETとシビアアクシデント現象を評価するP-CETに分割を行いまして、レベル1PRAのカットセットを直接レベル1.5PRAに引き継ぐことを可能といたしました。

レベル1PRAの終状態に対して定めていたプラント損傷状態を、格納容器破損防止対策を含めたS-CETの終状態で新たに定めることができるようになりましたので、この格納容器

の状態を詳細に整理した条件でのP-CETの分岐確率を変更できるようになりました。

次をお願いします。主要な成果ですけれども、レベル1PRAのイベントツリー及びS-CETの評価を行うことによって、起因事象から格納容器破損防止対策までに対応する機器の組合せによる事故シーケンスのミニマルカットセットが生成できるようになりました。

一貫解析では炉心損傷、格納容器機能喪失に対するMCSがそれぞれ生成されるため、炉心損傷、格納容器機能喪失それぞれの重要度が同じモデルで評価可能となっています。また、レベル3PRAのインターフェイスとして、格納容器破損防止対策を踏まえたプラント損傷状態、格納容器破損モード等の組合せを考慮した放出カテゴリーを設定しています。

左下は代表の解析例でございますけれども、起因事象、炉心損傷、格納容器機能喪失と進むにしたがって、寄与割合が変化しているさまを、一つのモデルで評価できているというところが、今回の主要な成果です。

また、右側に重要度評価の結果を簡単に示させていただきました。炉心損傷に加えて、格納容器機能喪失に対する重要度が評価できるようになっております。

次のページをお願いします。これらの結果を用いまして、レベル3PRAの手法整備を行いました。原子炉施設のサイト外への潜在的影響評価を行う手法として、レベル3PRAによるリスク評価を実施するため、解析モデルの整備及び解析パラメータの整備を行いました。

主要な成果としましては、レベル2PRAの結果を用いて、がん死亡リスクに対して寄与の大きい放出カテゴリーを評価しました。最もリスクの大きいものは早期大量放出のカテゴリーでありました。また、Cs-137による汚染面積をリスク指標として採用し、評価を行うための手法も整備しました。

左下に、がん死亡リスクの評価結果、右下にCs-137の汚染面積と、あと放出量の関係性を示してございます。

次のページをお願いします。環境影響評価手法の整備について説明します。

次のページをお願いします。環境中の放射能測定データを活用することによるソースターム評価の精度向上のために、地形影響等を考慮した大気拡散モデル、海洋拡散モデル、そして陸上動態モデルを統合した詳細な環境拡散評価手法を整備しました。

主要な成果といたしましては、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用いて、三次元気象場/海洋場と、それによるトレーサの拡散を同時に計算する手法を整備いたしました。

また、これらの状況を用いまして、1F事故により放出されたCs-137の拡散シミュレーシ

ョンを行い、海水中濃度の観測値との比較から、概ね良い結果を得られています。

左下が空間線量の分布でございまして、黒線で示しているのは日本を表しておりまして、赤のバツが福島を表しておりまして、左右で観測地と計算結果を示しています。また、右側は海洋での拡散についての結果を示してございます。

次のページをお願いします。次に、遮蔽解析に関してですけれども、点減衰核法、そしてSn法、モンテカルロ法を用いて原子力発電所を対象とした遮蔽解析を行い、直接線及びスカイシャイン線に関する建屋による遮蔽評価の妥当性に資する技術的知見を取りまとめました。主な成果といたしまして、モンテカルロ法、点減衰核法について手法の整備を行いました。簡単ですけど、こちらは割愛させていただきまして、次に移らせていただきます。

次のページをお願いします。まとめでございまして。総合解析コードに関しましては、3ループPWRを対象とした事故進展解析を行っております。また、SFPでの事故進展解析手法の整備を行いました。

次のページをお願いします。個別コードに関しましては、水素に関しては、JAEAの委託のCIGMA実験等を用いた混合に関する取組、また、水素燃焼に関する取組として手法の整備を行いました。

また、動的荷重や静的荷重に関する手法の整備も行うとともに、OECD/NEA等の共同プロジェクトにも参画いたしました。

次のページをお願いします。レベル2PRAに関しましては、レベル1PRAとレベル2PRAの一貫解析で用いる緩和系信頼度と物理化学現象を分離した格納容器イベントツリーの検討を行い、手法の整備を行いました。

レベル3PRAでは、レベル2PRAの放出カテゴリーの結果を用いた解析を実施いたしました。

次のページをお願いします。環境影響評価に関しましては、まず、大気拡散モデルと海洋拡散モデルの統合手法の検討等を行いました。

次のページをお願いします。成果の活用についてですけれども、審査分野への活用といたしまして、居住性等の審査に関しまして、一部成果が活用されています。また、安全性向上の継続的な改善の取組のための議論の際に、これらの知見を使用しております。

また、実用炉検査の分野への活用といたしましては、実用炉検査で実施する安全重要度決定プロセス、SDPの「原子力安全に係る重要度評価に関するガイド」のうち、附属書1及び附属書7の取りまとめにおいて、PRAの評価手法検討で蓄積した知見を反映しました。

また、SDPプロセスにおける原子力規制検査において使用する事業者PRAモデルの適切性確認ガイドにおいて、レベル1.5PRA評価に関する事業者PRAの確認に関する事項の執筆のためにこれらの成果が活用されております。

次のページをお願いします。1F事故対応の分野に関しましては、ALPS処理水に関する実施計画の審査において、これらの成果を活用されております。

次のページをお願いします。成果の公表ですけれども、職員の論文の発表が1件、国際プロシーディングが2件、表彰が1件ございます。

次のページをお願いします。委託先の公表といたしましては、論文が6件。

次のページをお願いします。プロシーディングスが3件となっております。

次のページをお願いします。成果目標に関する達成状況でございますけれども、総合解析コード、個別解析コード、共に計画どおりに目標を達成いたしました。

次のページをお願いします。確率論的リスク評価及び環境影響評価につきましても、同様に計画どおり整備を行いまして、計画目標どおり達成いたしております。

以上です。

○青野企画官 ありがとうございます。

それでは、質疑に移らせていただきます。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、次に外部専門家の方々から御意見ををお願いいたします。

それでは、まず、専門技術者の方々から御意見ををお願いいたします。

倉本さん、お願いいたします。

○倉本専門技術者 NELの倉本です。

御説明ありがとうございました。御説明内容に対して、大きく2点、質問と意見を述べさせていただきます。

1点目は、レベル1PRAとレベル2PRAの一貫解析手法の研究に対してですけれども、これはこの内容で、もう最終成果にたどり着かれているというふうに認識しております。この手法の今後の扱いについて御確認させていただきたいところなんですけれども、例えばこの手法についてが、事業者PRAの適切性確認などにおいてもマストな評価方法のような形で扱って、求めていくようになるものというふうに考えられているのでしょうかという点です。

この本手法によっては、重要度評価の一貫評価が効率的に実施する、言わばベターな方法という形のものであるというのは理解しているものなんですけれども、PDSごとのCDFを仲

介して、レベル1とレベル2を分割したコンベンショナルな方法でも同じ重要度計算結果は得ることができるものと考えておりますので、その評価が効率性に対する手法の一つのオプションであるというような捉え方を持っておるところなんですけれども、それ以上に、この有用性であるとか、必要性もあって、この方法があるかといったことについても御見解をお聞かせいただきたいと思います。それが、まず1点目の内容です。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

まず、本評価がマストになっていくのかというところですが、そういうことは無いと思ってございます。御認識のとおりでして、効率的に重要度評価を施行するための手法としての御紹介をさせていただいておりまして、SDPプロセスにおいて重要度評価は最も重要になってくるという観点から、このような手法を出させていただいております。

一方で、今おっしゃられていたとおり、全部、現象も含めて細かく展開していく格納容器イベントツリーというものもあるというように認識しております。この際において、重要度の評価を問題なく実施できるということがこちらで判断できるのであれば、それは事業者PRAの確認の中で問題なく使えるというふうに認識してございます。

以上です。

○倉本専門技術者 了解しました。

あと、もう1点は、格納容器の破損防止対策評価手法の整備の研究の中での取り組み方なんですけれども、今のこの評価の中では、格納容器のフィルタベントを考慮した評価というものは実施しておらないという認識なんですけれども、その理由というものがあればお聞かせいただきたいという点です。

これは今後の規制活動において、こういう成果を活用していく上においては、そういうフィルタベントも考慮する必要があるというふうには考えますので、そういうことも実施していく計画があるのかといったことも含めて御見解を聞かせていただければと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

今回、フィルタベントに関して、モデル化について触れられてないというところなんですけれども、フィルタベントに関しましては、今回、代表例として示させていただいた3ループPWRプラントなんですけど、特定重大事故等対処設備に該当しておりまして、事故進展解析等を実施することはできるかもしれないんですが、確率の話をする際にテロ等に関する対策もございまして、特にPRAは弱点を見つけにいくプロセスでもありますので、そういった情報に職員が全てアクセスしながらこれをさらしていくという、ちょっと形に

なります。

今回は、有効性評価で示されているシビアアクシデント対策までを主に主眼と置いてモデル化していききました、そういった背景がございます。

○倉本専門技術者 状況を理解しました。

私のほうから、以上2点です。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。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

高橋さん、お願いいたします。

○高橋専門技術者 すみません、ちょっと関係の流れもあって挙手させていただきました。さっきの倉本さんの質問に関して、そもそも、スライドの19ページで、レベル2PRA手法の整備の中で、上流側のレベル1はここにリファーされている、概要のところのリファーされているモデルを使いましたよということなんです、これは産業界と一緒に持つ適切性確認が終わったレベル1PRAのモデルというふうに理解してよろしいのでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

これはそのモデルとは違います。ここで使用したものは、19ページに書かせていただきました、先行の安全研究プロジェクトである、規制へのPRAの活用のための手法整備及び適用に関する研究というところで規制庁で整備したものでございまして、今回、手法開発の目的として今回のプロジェクトを位置づけてございますので、庁内でのPRAモデルを用いております。

○高橋専門技術者 ということは、まだ規制には使わないというか、適切性確認が済んだモデルを規制活動に使うというのが約束というふうに認識していて、これはどっちかという、じゃあ、その事前準備の作業というか、そういう理解でよろしいですか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

その理解で問題ないと思います。これを検査活動に使用する、直接的に使用するところはないかなというふうに考えておりまして、先ほどおっしゃられたとおり、事業者PRAモデルを使っていくということになります。

この研究の期間に関しまして、SDPプロセスでPRAのモデル確認等のガイドラインを作っていく際に、こういった庁内での検討、安全研究の検討の素地、土台で、そういったものをベースとしてガイドラインを作っていたというだけでございまして、事業者PRAモデルですとか、検査制度に直接使用するというものを想定しているものではございません。

○高橋専門技術者 分かりましたというか、分かりました。

あと1点、コメントというか要望なんですけど、21ページのスライドで、下の図でIS-LOCAとSGTRが非常にリスクが大きいですよという図で、結論にもどこか書かれていたと思うんですけど。例えばIS-LOCAは、先ほどのSOARCAのモデルを検討したよということであれば、建屋沈着とか、そういうモデルも考慮されているんでしょうか。もしされてないんだとしたら、そういうのも考慮するのが適切かなと思ったりしました。

SGTRについても、さっきの注水の手段の中に入っていないんですけど、破損SGに水を入れて、スクラビング効果を期待するとかいうのも、ちょっと民間ではまだやりつつあるレベルなんですけど、そういうのもやって、ちょっともう少し最新知見を入れたらどうかなというか、ちょっと見えてないんで言い過ぎかもしれないんですけど、そういう方法もありますねという要望です。

以上です。

○堀田技術参与 規制庁、堀田ですけども、IS-LOCAとSGTRのソースタームの評価において、御指摘がありましたように、沈着ですとか、スクラビングというのは、いろいろ知見が得られていることは認識しております。今回の解析でのスタンスですけども、IS-LOCAについては、RHRのライン、ここからの漏えいを仮定していますけども、ここでの乱流沈着というのは、新たに入れることにしています。プラントのその他の部分の乱流沈着は考慮しておりません。補助建屋、実際に漏えいするところというのは、環境というよりは補助建屋なんですけど、そこイコール環境という若干保守的な考え方に立っております。ですので、既存の知見、古い知見の範囲でも、まだ考える余地はあるのかなというふうに考えています。

SGTRについては、スクラビングは考えておりません。でも、乱流沈着は考えております。スクラビング考えないというのは、確かに水があるときのスクラビングで除染係数というのは、ARTIST等の実験でかなり得られているところではあるんですけども、実機の解析の長い事故進展の中で、二次側がどうせ干上がった後、再蒸発とかいう現象を考えると、その後のところというのは、エアロゾルがどう振る舞うかというところが、まだ知見が十分でないと考えていますので、考えなかったというところでもあります。

以上です。

○高橋専門技術者 よく分かりました。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。

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。

5か所、質問があります。まず1点目ですけれども、報告書の10ページと11ページにかけて臨界質量流束とか、質量流束という言葉が何か所か出てきますけれども、束が速いという漢字になっていますので、これはフラックスを表す束の漢字に全て修正されたほうがよいと思います。これが1点目です。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

現行の最新版で、その指摘事項は修正させていただいてございますので、また、お時間ある際に御確認いただければと思います。

○田原専門技術者 ありがとうございます。すみません、細かい話をしてしまつて。

では、2点目ですけれども、使用済燃料プールでの事故進展解析のところ、報告書は44ページになります。図2.1.23に被覆管酸化実験解析の結果がプロットされていますけれども、参考文献のデータとの対応がよく分かりませんでした。文献のデータを見ますと、1,200℃で1時間保持の試験ケースのうち、空気の供給速度100/h、500/h、900/hの酸化ジルコニウム厚さが、この縦軸のところにプロットされているように見えるんですけども、横軸が実験は供給速度なんですが、このグラフは空気の体積割合になってしまつて、ここはどう解釈すればよいのでしょうかという質問です。

もともとこの実験データにエラーバーがあるのかと思って、元の文献のほうを調べてみたんですけども、ちょっとこのプロットに該当する組合せのパラメータが見つからなくて御質問をさせていただきました。

あと、それと合わせて、実験はこの空気の供給量と、それから水蒸気の供給量も一緒に変化させていますので、その違いをこの解析のほうではどう反映しているのかというような記載もあったほうがよいのかと思いました。

以上です。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

この実験なんですけれども、空気の体積割合を書かせていただけてますけど、空気と蒸気の混合割合の結果をプロットしていると思います。ちょっと実験データに関して、もう一度、再度、詳細に確認させていただきますけれども、横軸といたしましては、空気体積割合と書いてございますけれども、混合気の想定をしているという状況でございます。

以上でございます。

○田原専門技術者 ありがとうございます。御確認をお願いいたします。

3点目ですけれども、格納容器破損モード、メルトスプレッド/溶融炉心コンクリート相相互作用の重畳現象のところで、報告書は118ページになります。ここに2行目です、「不確かさが少ない収束解を得ることを目的とし」とあるんですけれども、ここは全般で使っている、この不確かさという言葉はどういう意味で使っているのでしょうかというところです。調整パラメータの設定によって、実験結果と整合するような結果を得ようとするという、そういう何かアプローチをしているように見えるんですけれども。そうであれば、それは不確かさというよりは、誤差と言ったほうがいいのかという気がしました。全般に、ここでの不確かさという言葉の使い方が気になりました。

あと、MELCOR2において、SOARCAプロジェクトでも調査されておらず、不確かさが存在するクラストの割れに伴う水侵入及びクラストの熱伝導率に着目しとあるんですけれども、クラストの割れによる実質的な伝熱面積の増加が、BOILINGイコール10のこのパラメータで考慮されているのではないのでしょうか。表の2.1.21と23のほうには、そのBOILINGのパラメータが記載はされていないんですけれども、これは今回の評価の中ではどうなったのかというのを教えてください。SOARCAと同じ10にしているのか、それとも、そのパラメータ自体がもうないのか、何かしら説明があったほうがよいと思いました。

あと、調整パラメータと、それを補正する物理的な意味、例えばCOND. 0Xを大きくするということは、溶融状態における対流熱伝達を考慮するためだと、これは想像で言っているだけですけれども、そういうことを整理して、考察を記載するとよいと思いました。

ここについては以上です。

○堀田技術参与 規制庁、堀田ですけれども、今のMCCIのところですね、御指摘のとおり、不確かさの使い方については、少し舌足らずなところがあるかなと思います。注目していただきたいのは、MCCIの中で、特に注水時のMCCIの中で一番大きな要素になるのが、クラストが割れてなければ、水は溶融物に達しにくいわけです。これが割れることによって、もちろんCCFL等の現象は起こるんですけれども、より冷えやすくなるというものがあって。MELCORではないMCCIコードというのは、世界に幾つかありますけれども、最新のものは大体その現象はモデル化されています。MELCORのほうは、また、その辺がまだダイレクトにモデルが入っていないくて、実はそれを既存のモデルで代替するというところの取組をここで行っています。

ですので、多分、不確かさの一番大きな、一番注目すべき現象としては、先ほどのクラスタの亀裂から水が侵入することと。それに対して、既存のモデルだとどういものが対応して、それでこのモデルパラメータを代表パラメータとするという流れを少し丁寧に書いたほうがいいかなと思いますので、そのようにさせていただきたいと思います。

以上です。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

では、4点目ですけれども、格納容器破損モード、静的・動的負荷の報告書の126ページですけれども、11行目のところに、格納容器バウンダリで最も影響のある構造物はペDESTAL壁面でありとありますけれども、ペDESTALは格納容器のバウンダリではありませんので、ここは記載の見直しをお願いいたします。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

了解いたしました。

○田原専門技術者 では、最後、5点目、レベル3PRA手法の整備のところですが、これは評価条件についての質問です。評価対象は、初期のフェーズのEARLYまでなのでしょうか、長期まで含んでいる場合は、防護対策の条件はどうなっているのでしょうか、教えてください。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

防護対策に関しましては、PAZのみの避難を考慮しているという状況でございます。

1点目、すみません、もう一度、御質問をお願いします。

○田原専門技術者 初期フェーズのEARLYまでを対象にしているのか、それとも長期のCHRONCまで対象にしているのか。

○小城副主任技術研究調査官 基本的に、EARLYまでだと認識していますが、ちょっと確認して、再度回答させていただきたいと思います。

○田原専門技術者 報告書にそのところを記載していただければ、分かりやすいと思います。ありがとうございます。

○小城副主任技術研究調査官 了解いたしました。ありがとうございます。

○田原専門技術者 私からは以上です。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。

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。

牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

どうも御説明ありがとうございました。全般的に幅広くやられているということがよく分かりました。ちょっとやっぱりこれも最初にコメントをさしあげたいんですけども、御説明のほうが、やっぱりちょっと個別のやったことということに何か集中し過ぎているような気がしまして。何のために高度化するのかとか、何のために個別の高度なものを整備をするのかとかいうような目的みたいなものと、やっていることの整合があまりつかないような御説明だったような気がします。ちょっとそこのところ御留意いただけたらいいのかなというふうに、ちょっと思っています。

それで、幾つか御質問したいのですが、まず、パワーポイントの19ページのほうですけれども、こちらにS-CETとP-CETに分けて考えるというようなお話をされていましたが、この考え方が妥当だということをやっぱり言う必要があると思うんです。ぱっと考えたときに、やっぱり確率で、システムとかの信頼性に関わる部分と、あと、もう一つ、現象論との格納容器イベントツリーを分けて考えていると、その時系列の齟齬みたいなものが出る可能性があるんじゃないかと、ちょっと直感的に思ってしまうんです。

恐らく、そういうふうに分けてあるのは、十分技術的なことを考えられた上でのお話だとは思いますが、これが妥当と言えるかということに関して、どういうふうに御説明されるかというのをちょっと聞かせていただけますか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

中間評価でも類似の質問をいただいております、事故進展どおり展開する場合と、そういうものの違いについて、今回の評価手法の違いについて指摘いただいております、それに対して確認を少し行ってきました。実際には、格納容器イベントツリーに関して、時系列どおりに評価した場合のミニマルカットセットというものと、今回作ったもののミニマルカットセット、基本的に、本質的に一緒であるというところは確認しています。

さらに、条件面での反映が適切にできるかというところなんですけれども、前段のプラント損傷状態のヘディングの条件を、適宜P-CET、現象のほうの条件に割り振って、P-CET、同じ構成なんですけれども、中身の条件を、前段の条件を細かく見ていくところによって評価ができていくというところを、まず確認してございます。

あわせて、生成されるミニマルカットセットに関しまして、細かく一点一点、おかしいところがないのかというところを確認していったというようなプロセスで妥当性の確認をいたしました。

○牟田委員 ありがとうございます。考え方としては納得はいたしましたけれども、一つちょっと御指摘させていただくとすると、動的な評価にこれを応用できるのかという観点から言うと、多分今の考え方だと、無理なところがあるんじゃないかなというふうにちょっと思うんです。これはいかがですか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

動的な評価というのは、ダイナミックPRAのようなイメージをされていることですか。

○牟田委員 そうです。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

その場合は、現象に関しては解析コードに依存させるような形になりながら、各対策の分岐点に関しては、S-CETで取り扱っているようなものになると思います。ダイナミックPRAに関しましては、これと考え方は一線を介するものなのかなというふうに考えてございます。

○牟田委員 別物と考えているという、そういう解釈ですか。

○小城副主任技術研究調査官 はい、ダイナミックPRAに、この結果を直接使うことはできないというふうに考えてございます。

○牟田委員 分かりました。そこはじゃあ分けて考えられるということで、納得しました。

それから、20ページ目のパワーポイントをちょっと見ていただきたいんですけども、ここは重要度評価の話をしてもらっちゃいますけれども、これはあくまでさっきのS-CETの炉心損傷までの段階、あるいは格納容器破損までの段階での各プラント損傷状態に達するまでの重要度というふうに考えればよろしいんですか。これはだから、その現象の影響みたいなものは考慮されていない重要度ということでもよろしいのでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

P-CETに関しましても考慮されている結果となっています。ミニマルカットセットといたしましては、S-CETで機器に関しては全て出切ってくるんですけども、それにシビアアクシデント現象の発生確率の部分を掛け合わせる形で、一部現象として発生しないものみたいなものに関しては健全になりますので、その部分は除外されたような形で、実際にシビアアクシデント現象を考慮したようなミニマルカットセットに対して重要度評価を行っています。

○牟田委員 それは、つまるところS-CETとP-CETを連続でつなげた状態での重要度評価の結果という、そういう解釈でよろしいですか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

そのとおりです。

○牟田委員 分かりました。ありがとうございます。

それから、最後のほうですか、ちょっと見せていただいた資料と手元の資料が違いますので、30ページ目の今後の見通しというところですが、5.2ですけども。このところですけども、非常にあっさりとした書きぶり、必要に応じて成果を活用するというようなことも書かれていらっやいます。恐らくそういうことなんだろうとは思いますが、ここはちょっとコメントですけども、もうちょっと具体的にどの辺にというイメージがちょっとあまりつかないところがありますので、もう少し具体的に書かれてもいいのかなというふうに思います。非常に、だからいろんなことをやられていて、いろんな技術が開発されているとは思いますが、それがどういうふうに使われるのかということも評価をする上では非常に重要な観点だと思いますので。今のこれですと、残念ながらちょっとどこにどう使われるのかというのは、あまりよく見えないところがありますので。これはちょっと報告書のほうに、もし可能であれば追記をしていただけたらというふうにちょっと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

本研究プロジェクトに関しましては、研究期間中に成果の活用を多岐にわたって行われておりまして、検査ではガイドの執筆等、従事させていただいております。それらに関して明確なニーズ等出てきている状況であれば、その部分、成果の活用として自明の部分を書かせていただければと思っていたんですけども。本研究プロジェクトは、ここで一旦、研究プロジェクトとして閉じますので、そういった意味で直接的な成果の活用というのを記載しなかったというのが経緯でございます。

今後、活用の可能性がある部分については、少し書きぶり、考えさせていただければと思います。

○牟田委員 そうですね、見通しとかでも構いませんので、やっぱりどこに使われるのかというのは重要な話だと思います。ぜひそうしていただけると、よろしいかと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

ありがとうございます。

○牟田委員 私からは以上です。

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。

続きまして、糸井先生、お願いいたします。

○糸井委員 どうもありがとうございました。まず、最初、三つありまして。東京大学、糸井です。

まず三つありまして、まず一つ目が、田原さんのコメントと関連するところなんですけど、私はちょっと違うところです。今日のパワーポイントだと16ページだと思うんですけど、変異という字の「異」が「異なる」になっているんですけど、「位」で、漢字が間違えていますので。報告書のほうも同様に間違えています。二つ出てきたということは、ほかにもあるような気がしますので、ちょっと報告書全体として、そういう誤記がないかというのを見直されるのがよいのかなというふうに感じました。

二つ目も技術的な指摘というよりは、ちょっと形式的というかの指摘になるんですけども、パワーポイントですと20ページで、図で100TBqのところは赤い線が太く引いてあると思います。これは、いわゆる安全の目標に関わるものだという事は理解はしています。それで、報告書のほうの文言を見ると、100TBqより大きく異なるか、異なるかというところが、この議論の判断基準になっているというのは、文言を見れば分かるんですけども、図だけ見ると、何か100.01TBqでも駄目だと、あるいは99.99TBqならよいというように読めなくもない図になってしまっていて。これは逆に、放出量のところにエラーバーみたいなのをに入れていただければ、そこは回避できると思うんですけど、現状ではそういうことがされていないのでちょっと、図の書き方だけなんですけど、注意をしていただいたほうがよいかというように思いました。

三つ目が、ちょっと話が違ってまして、ちょっと今日の御説明ではなかったんですけども、ちょっと確認をさせていただきたいのが、今回やられたものの中で、地震時のレベル2PRAの開発というのが一応報告書には記載されているんですけど、どの程度の成果が出たのかというところを少し教えていただきたいというのが三つ目です。

以上です。

○小城副主任技術研究調査官 最初の2点に関しましては、記載等をもう一度確認させていただきまして、修正する方向で進めたいと思います。

地震PRAに関しましてですけれども、今現状、重大事故等対処設備を考慮した場合において、その設備に関する地震PRAの整備というのは、一応ひとしきり完了してはいます。ただ、一般商用設備があったりとか、地震に関するデータが不足している部分等ありまし

たので、そこに関しては、手法の整備としては完了しているんですけども、成果として今載せてないというのが現状となっているかと思います。

また、タイミングと方法を考えて、公表につなげていければなというふうに考えます。ありがとうございます。

○糸井委員 地震に限らず、外的事象はレベル2も含めて大変重要だと思いますので、ぜひその方向で御検討をいただければと思います。ありがとうございました。

以上です。

○青野企画官 ありがとうございます。

続きまして、守田先生、お願いいたします。

○守田委員 どうも御説明いただき、ありがとうございました。私のほうから、簡単に二つほどお伺いしたいんですけども。一つ目は、ちょっとこのプロジェクトに関係するかどうかちょっとよく分からないので確認させていただきたいんですが、シビアアクシデント時に、そのCVが破損する、貫通部が損傷したりとか、CVの亀裂破損したりとか、そういったところの破損部位を通じて、環境中にソースタームが放出されるという挙動については、詳細なメカニズムというのがまだはっきり分かっていなくて、その実機を模擬した限られた条件での実験等はあるにしても、機構論的なモデルがまだ整備されていなくて、不確かさが大きく残る分野の一つだというふうに認識をしているんですけども。その部分というのは、このプロジェクトでは扱われていないのであれば、どこか違うところで扱われるという認識でよろしいのでしょうか。すみません、ちょっとここを教えてくださいませんか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

FPの捕集に関しましては、これまでNUPEC等で実験がなされているところで、今、御質問の対象とされているのは、トップヘッドフランジですとか、電気貫通部を対象としているということです。

○守田委員 そうです。

○小城副主任技術研究調査官 に関しましては、本プロジェクトでは対象にしてないというのが、まず最初の回答でございまして、FP保守だけではなくて、水素に関しても、接合部等からの漏えいの話というのは、議論が今、規制庁の中でも継続的に進められております。水素に着目したところに関しては、特に次のプロジェクトで、次といたしますかこれと別で新たにスタートしているプロジェクトの中で取扱いを行っております。その中でFPの

取扱いができるかというのは、ちょっと今後、検討していきたいなというふうに思いますが、
けれども、まだ方向性というのは決まってないというような状況だと思います。

○守田委員 ああ、そうですか。確認したいのは、そこで結構FPの、あるいはエアロゾルの
そういった貫通部の損傷部分とか、亀裂破損の部分からの放出挙動というところの評価
が非常に不確定性が大きいという認識は合っているんですか、それは私の認識なんです
けども。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

破損に関するメカニズムに関しては、ちょっとFP捕集ではないんですけども、破損メ
カニズムに関しましては、またさらにこれも別のプロジェクトなんですけど、格納容器終
局強度というプロジェクトが別にございまして、その中で格納容器のペネトレーションの
高温破損に関する挙動のところ、実験を行っていったという経緯がございまして、その中
でもやはり接着面積がどの程度残っているのかとか、あとは材質の変形の部分、あとは故
障モード、故障というか格納容器のペネトレーションがどういうふうに故障しているかの
モードによって、不確かさが大きくなっていてというのは認識のとおりかなと思
います。さらにFPの、そこを通過するFPの捕集となると、さらにそこに関しても不確かさ
というのは残っているというふうに考えます。

○守田委員 分かりました。今回のこのプロジェクトの中では、その辺りというのは直接
的には出てこないというふうに思ってよろしいのでしょうか。

○堀田技術参与 規制庁、堀田ですけども。

今、多分論点は、貫通部なりフランジから漏えいした場合に、じゃあFPはどのように出
ていくとか、はっきり言うと、どの程度除染されるかということも含んでいると思
うんですけども、これに対しては、先ほど小城が申しましたように、NUPECのほうで、あ
とは事業者のほうの独自の研究でも破損まではやっているんですけども、NUPECのほうで、
その破損後のものを使った除染係数の実験というのも何ケースかございまして、電気ペ
ネに比較して、フランジシールでは漏えいパスが非常に短くて、その漏えいの度合いによ
って、そのパスの形状が非常に個体差があるという場合には、データが非常にばらつくとい
うところまでは分かっております。

今の我々の評価では、その除染係数というクレジットは取っておりません。ですので、
そこはないという状態で保守的な評価をしているというところでございます。そこにつ
いてどうなのかというのは、我々の安全研究だけでなく、実機の安全審査でも、今、少し

話題にはなっているところでありますので、そういったところで重要度を見ながら、将来考えていくかどうかという課題の一つになろうかと思えます。

○守田委員 ありがとうございます。状況はよく分かりました。

それと二つ目の質問なのですが、というかコメントといえますか。今日のスライドの資料で言いますと17ページのところで、国際プロジェクトのところのお話をいただきました。国外の研究開発の動向を常にキャッチアップして、国際協力を積極的に活用した研究開発が進められているというふうに評価がされると思えます。

一方で、報告書のほうでは、この部分は表2.1.32のところに記載がございますが、知見を得たという書きぶりが多いんですけども、具体的に個別現象解析コードによる評価手法の整備の中で、こういった国際プロジェクトで得られた知見がどのように適用されたのか、具体的な適用はないんですけども、将来のR&Dに必要な知見が得られたというスタンスなのか、ちょっと読みにくい感じがしたんですけども、ちょっとその辺りは、もう少し工夫されたほうがいいのかなどというふうに思いました。すみません、私のほうのちょっと報告書の読み込みが足りなくて、既に記載済みのことなのかもしれませんが、この点いかがでしょうか、よろしく願いいたします。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

成果の活用をどこにどう活用したとかいうのは、今まだ個別の項目で取り扱われているというような状況でございます。表記の方法を改良できないかというのは、少し考えさせていただければと思います。

○守田委員 分かりました。どうもありがとうございます。よろしく願いいたします。

以上でございます。

○青野企画官 どうもありがとうございました。

ほかに何か御質問、御意見ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

よろしければ、次の安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価のほうに移りたいと考えてございます。

続きまして、中間評価と対象となる安全研究プロジェクトの説明に移ります。

本日、対象とさせていただきますものは、令和3年度～令和7年度にかけて行う安全研究プロジェクト、特定重大事故等対処施設等を考慮した緊急時活動レベル見直しに関する研究となります。説明は、技術基盤グループシビアアクシデント研究部門の小城副主任技術研究調査官から行わせていただきます。

○小城副主任技術研究調査官 それでは、続けて、特定重大事故等対処設備を考慮した緊急時活動レベル（EAL）の見直しに関する研究の中間報告を、また小城からさせていただきます。よろしくお願いいたします。

次のページをお願いします。目次でございますけれども、こちらに記載した内容を説明させていただきます。

次のページをお願いします。まず、背景・目的でございます。原子力災害指針ですとか、特別措置法に記載のあるEALに関する中期的な課題を規制庁の中で整理をしております、その中で新規制基準を踏まえて、オンサイトにおけるEALとオフサイトにおける防護措置全体の見直しが必要とされるというふうに考えられておまして、以下のような項目の検討の必要性が示されております。

特定重大事故等対処設備を考慮したEALの見直し、事故進展が非常に遅い場合におけるEAL及び防護措置の検討、そして、EALのそもそものあるべき姿の検討です。

これまでに、規制庁では、重大事故時における解析手法の整備を行っておりまして、重大事故時の主要な事故シーケンスにおけるFPの特徴分析をしてきております。しかしながら、これらの解析というのは、主だって早期大量放出のシナリオですとか、格納容器破損防止が成功するといったところ、格納容器健全であるというところを確認するためのシナリオが多く、部分緩和ですとか、部分的に対策が失敗するようなシナリオというのは、まだ不十分な部分がございます。

そのため、オンサイトにおけるEALとオフサイトにおける防護措置の全体の見直しのうち、オンサイトに関する知見といたしまして、上述のような重大事故の特徴分析の手法の整備を行いまして、EAL見直しのための参考シナリオの特徴分析を行います。

そこで、特定重大事故等対処設備を考慮したシナリオ評価するための手法整備、調査を行いまして、重大事故の特徴分析及び注目すべき視点の整理を行うことで、EALの見直しに資するための技術的知見を取得することを、ここで目的としております。

次のページです。また、公衆被ばくに対する防護措置として避難、屋内退避、安定ヨウ素剤の服用等が考えられます。重大事故のシナリオにおいて防護措置を行う対象の住民やタイミングを考慮することで、実施可能な防護措置の組合せは変化していきます。

国際的な知見として、これまで米国NRCにおけるMACCSでの解析ですとか、JAEAによるOSCAARの開発など進められてきておまして、各分野で成果が上がってきております。オンサイトにおけるEALとオフサイトにおける防護措置の全体の見直しにおける防護措置に

関する知見の整備といたしましては、防護措置の判断の分岐点になり得る要素をオンサイト、オフサイトの両面から検討すること、運用上の介入レベル、OILの基準と、それらに基づく実効的な防護措置の判断、そしてPAZ、UPZに係る目安範囲についても、EALの検討と併せて検討を行っていくことが重要となります。

そのため、確率論的環境影響評価手法を用いた試解析を行いまして、防護措置の効果等に関する技術的知見を整理し、実効的な防護を実施するための参考情報を取得することをここでは目的といたします。

次のページをお願いいたします。本研究の概要でございますけれども、先ほど言いましたとおり、EALの検討に関する事故シナリオの話と、あと防護措置に関する話がございます。左側の青いところがEALの話でございます、主に事故進展解析コードMELCORですとか、環境影響評価コードMACCSを用いたものでございます。防護措置に関しましては、JAEAで開発されているOSCAARコードを中心として解析等を行っていきます。どちらも事前調査を踏まえまして解析を行い、シナリオと防護措置の組合せを考慮した解析を行い、最終的にEALの高度化に必要な技術的知見として取りまとめたいと考えています。

次のページをお願いします。全体行程です。全体行程は令和3年～7年まででございます、現在、中間報告としてこの発表を取りまとめさせていただいております。

次のページをお願いします。まず、EALの検討に関する事故シナリオに関する調査でございますけれども、まず、ここでは調査についてですけれども、現在、国内のEmergency Classは、重篤度の低いものから順に、AL、SE、GEに分けられています。EALの見直しに関しまして、同一のEC内での異なるEALが設定されていることがございますので、その異なるEALの補完性が大丈夫なのか、どういう関係にあるのか、また、同じEALの中にも複数の判断基準がございますので、その同一のEALの中にある判断基準の整合性等について調査しました。

結果として、我が国における設備基準、状態基準、線量基準のEALは、設備の機能喪失状態に則った設備基準と原子炉の状態に則った状態基準及び測定された線量に則った線量基準のEALがございます。これは米国産業界のEAL作成ガイドラインの認識カテゴリS（システム異常）、F（障壁の喪失）、A（異常な放射線レベル異常）のEALに類似していることが明らかになりました。

一方で、日本におきましては、AL、SE、GE21～25のような設備関連のEALがかなり手厚く設けられてございます。

次のページをお願いします。EALに関する事故シナリオに関する研究、特徴分析のための解析について説明させていただきます。この解析では、評価の流れとしまして、防護措置を考慮しない解析により事故シナリオの特徴把握を行いまして、事故シナリオと防護の組合せを考慮した解析を行っていきます。

左の図に示すとおり、事故シナリオといたしましては、早いシナリオと遅いシナリオがございます。また、現在は、大規模な格納容器破損のものに加えて、管理放出というような放出カテゴリがございます。また、対象住民といたしましては、PAZ、UPZのおのの一般住民、そして要配慮者があります。これらの中で、今回の中間報告では、早いシナリオ、遅いシナリオの格納容器破損、そして早いシナリオの管理放出等について取り扱っております。対象住民は、PAZの一般住民を対象としています。今後、これらのほかの対象者ですとか、ほかのシナリオについても取扱いを行うとともに、防護措置に関して考慮した解析も今後実施していく予定でございますけれども、中間報告に関してはここまでの範囲でございます。

次のページをお願いします。まず、事故進展解析でございます。今回、国内の代表BWR5を対象といたしまして、事故進展解析コードMELCORを用いまして事故進展のモデルを作成いたしました。左にノード図を示させていただきます。右側に、先ほどと似ておりますけれども、緩和操作の組合せを示させていただいております。特徴的なのはフィルタベントのモデルでございます。BWRのフィルタベントに関しましては、SA設備として位置づけられてございますけれども、実験をベースにしたフィルタベントのモデルを実装しております。

次のページをお願いします。EALのシナリオとして解析させていただいたものは、左の表に示させていただいたような起因事象や事故シーケンスを対象としてございますけれども、そのうちここでは基本シナリオとして大LOCA、SBOに関して解析結果を示させていただきます。

ケース1としては緩和操作なし、ケース2としては格納容器の下部注水に外部水源のスプレイを入れたもの、そしてケース3としては下部注水を行いながらフィルタベントを行うものです。

右下が解析結果でございますけれども、縦軸が放出割合、横軸が時間でございまして、青に示す緩和のない場合においては、早期に大量な放射性物質が環境に出ていることが分かります。それに対しまして、ケース2に関しましては、スプレイによって放射性物質の

放出が遅延していることに加えまして、放出量の絶対値が小さくなっていることも見てとれます。また、フィルタベントの場合においては、放出量がかなり低減していることが見てとれます。

次のページをお願いします。これらの結果を用いまして、環境影響評価を行いました。先ほど同じ大LOCA、SBOのシナリオを対象といたしまして、ここでは時間変化に対する影響を整理しました。環境影響評価コードとしては、FARCONという解析コードを用いました。これは重要核種に着目した環境評価コードでございまして、風下中心軸状での評価を行うものでございまして、風向風速等を一定と仮定するような、かなり簡単なモデルでございまして。

左下に解析結果を示しております。格納容器破損の場合に比べて、管理放出の場合については、グランドシャインと吸入の被ばくの影響が顕著に低減していることが分かります。また、時間の経過とともに、クラウドシャインの影響も低減していつていることが分かります。

次のページをお願いします。さらに詳細な解析を行うために、より多くの核種を扱うことができるMACCSを用いまして評価を行いました。同じシナリオを対象といたしまして、特徴的なシナリオであった格納容器破損と管理放出の特徴分析を行っています。青い枠で示すような仮定を用いまして、各放射性物質を原因とした被ばくの因子について分析を行っています。

右側上の結果でございすけれども、PCV破損に比べまして、管理放出の場合は、大体1%程度まで被ばく量の低減が見込まれていることが分かります。これらの内容について細かく分析してきました。

左下でございすけれども、まず、格納容器破損シナリオの特徴でございす。縦軸に被ばく量、横軸には早期大量放出と晩期破損の比較を載せております。被ばくの因子として重要なのは、I-131がドミナントであったのに対しまして、晩期破損に関しましては、かなりの低減が見込まれています。この原因に関してなんですけれども、先ほどの各因子の分析を行っていったところ、減衰による低減はほとんどないものの、緩和操作による放出割合の低減によって、かなり被ばく量が低減しているということが分かります。

次に、クラウドシャインに関して右下に示させていただいておりますけれども、クラウドシャインがドミナントとなるのは管理放出のシナリオです。管理放出のシナリオにおいて、早期のフィルタベントのケースと晩期のフィルタベントのケースを比べると、Kr-88

の寄与が一気に下がっております。これは先ほどと同じような分析を行いましたところ、減衰による影響が非常に大きいということが分かってきております。

このように、重要核種の低減効果がどのようなところ、どのような因子で低減しているのか等について特徴分析を行ってまいりました。

次のページをお願いします。次に、防護に関するリスク評価の研究でございます。まず、JAEAで開発しているOSCAARコードなんですけど、左下に示したような、簡単に示しているものでございますけれども、OSCAARコードを改修していきました。OIL等で使用するポイントとなるものとしたしまして、時間ごとの被ばくの評価を行う必要があるというところで、この点、改良していきました。クラウドシャイン、吸入被ばく、早期グランドシャインに関しましては時間ごとの被ばく、長期グランドシャイン、再浮遊の吸入被ばく、経口被ばくに関しては、年ごとの被ばく量を出せるように再修正するとともに、再浮遊のモデルに関しても高度化を行いました。

右下に時間当たりの線量変化、そして長期被ばくに関する1時間ごとの被ばく評価の解析例を示させていただいております。

次のページをお願いします。次に、OSCAARの改良の次でございますけれども、避難モデルの改良を行っています。避難が完了していない人数の時間変化の計算モデルの整備を行うとともに、広域避難計画で示されている避難経路に基づく避難経路データを作成いたしました。これを用いまして、試解析を行いました。

左下が避難が完了していない人数を表した図でございます。先ほど言ったモデルの違いによる被ばくの違いを、右側の結果として示させていただいております。

次のページをお願いします。まとめでございます。EALの検討に関する事故シナリオに係る研究といたしまして、オンサイトにおけるEALとオフサイトにおける防護の全体の見直しに資するため、EALの補完性、判断基準の整合性、判断基準の根拠について、海外事例等を調査しました。また、我が国との比較を行いました。

EALの見直しに関する参考シナリオの事故進展解析、環境影響評価を実施しまして、公衆被ばくの特徴分析を行いました。解析では、全体解析には被ばくの重要な核種に着目したFARCON、詳細解析にはMACCSを用いて、公衆被ばくを評価してまいりました。

次のページをお願いします。防護に関しましては、EALの判断基準と防護の組合せが線量に及ぼす影響を評価するための解析手法の整備をすることを目的といたしまして、OSCAARについてモデルの改良及びパラメータの整備を実施しました。

時系列情報に係る改良といたしましては、1時間当たりの空間線量と経路別の被ばく量を評価、出力できるようにいたしました。また、長期被ばくでは、50年までの1年当たりの被ばく量を出力できるようにいたしました。

また、先ほどお伝えしましたとおり、避難経路ですとか、再浮遊のモデルについても整備を行いました。

次のページをお願いします。成果の活用に関してですけれども、プロジェクト期間内に関しましては、海外調査に関する一部の成果を、EALの見直しにおける会合において活用しております。

今後の見通しといたしましては、先ほど言いましたとおり、EALの見直しに活用する知見の整備を継続していく予定でございます。

また、現在、緊急時対応技術マニュアルの日本版が整備が進められておりまして、日本におけるRTMです、緊急時対応技術マニュアルの作成に、フィルタベントのシナリオを追加する必要があるというところで、これらの結果、今回発表したような結果の一部を活用していきたいと考えてございます。これまでの成果の公表はございません。

次のページをお願いします。達成状況ですけれども、EALの事故シナリオ、防護に関する研究、共に、現在中間報告の状態ではございますけれども、計画どおり実施を行いました。

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。

まず、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。

○倉本専門技術者 NELの倉本ですけども。

○青野企画官 倉本さん、よろしくお願いたします。

○倉本専門技術者 よろしくお願いたします。

御説明どうもありがとうございました。私のほうから、ちょっと何点か確認、質問をさせていただきます。

1点目は、今回の研究で、今使われている被ばく評価の解析に関してですけれども、FARCON、MACCS、OSCAARといったことを使われております。FARCONを簡易の被ばく解析に使用するのは理解できる場所なんですけれども、現状、今EALの事故シナリオ検討でMACCS、それから防護措置検討でOSCAARといった形で使い分けられております。これらは、例えばMACCSで共通的に実施できないものなのかどうかといったことを確認させてください。

恐らく、防護措置を複雑に扱う場合に、MACCSでは機能が足りないのかどうかといったところなんだと思うんですけども、改良機能追加は、恐らく、当然OSCAARのほうがやりやすいのだろうといったところからだというふうに考えるんですけども、特にどういう部分のポイントで防護措置の検討のところはOSCAARがいいといったようなところなのかということをお聞かせいただければと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

概ね認識のとおりでございますけれども。細かく回答させていただきますと、MACCSやOSCAARの認識に対しては、概ね認識のとおりかと思えます。MACCSに関しましては、事故進展解析コードMELCORとのインターフェイスが充実していることですか、あと気象の扱いがかなり簡単に今できている状況がございますので、先ほどの話で言いますと、特徴分析のような、かなり広いシナリオを扱うようなものに関しましては、こういう取り回しのいいものでやっていきたいなというふうに考えております。

御指摘のとおり、防護措置のところに関しましては、MACCSのモデルでは不十分どころがございます。特にKIの周りですとかに関しては、かなり私たちが見たいと思っているところと乖離があるというところがございます。そういった面に関しまして、感度解析を行いながら重要なシナリオを選定していくと、そのプロセスにMACCSを使っていく。その後、感度解析などを実施しながら重要なポイントを整理して、それをOSCAARで評価していくというような形にできればというふうに考えてございます。

○倉本専門技術者 ありがとうございます。もう1点です、この研究で、今MELCORプラスOSCAARといった形でシナリオと防護措置の組合せを考慮して解析していくといったことで、これをEALの高度化に必要な技術的知見の蓄積に資するためといったところで目的にされていますけども。そういうものに加えて、実際に原子力災害が発災した場合などで、そのときの事象シナリオとか、気象条件に基づいて解析を実施する、それで防護措置の種類、タイミングも判断するというような活用も今後有用であろうというふうには考えるものなんですけども。そのような活用というものも想定されるものなのかといった点と、この研究の中では、そういったような活用に向けた検討ということを実施するというようなことはあるのでしょうかといったことについて、今お考えなどについてお聞かせいただければと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

成果の活用のところで少し触れさせていただいたんですけども、今、緊急時対応技術

マニュアルというものを作成しております。これは環境影響等に関しましては、あまり細かく見る予定では今ないんですけれども、事故シナリオを細かく見た状況で、即応性のある被ばく評価を一応簡単にできるように整備していています。今、先ほどのイメージで言うと、FARCONの評価のようなイメージをしていただければと思うんですけれども。まず、そこから着手を庁内としてはスタートしておりますので、そこへの活用をしていきたいと思えます。

あとは気象条件ですとか、そういったところに関しまして、どのようなものがどういうふうに使えるのかということころは、まだ気象条件を考慮した状況というのに関しては、まだ活用の先って決まってないんですけれども、一方で、本研究プロジェクトに関しましては、それでどういった特徴をどこで捉えるべきなのかということころを整理していく予定でございますので、そういったものに即して、気象条件に関しても、ここは重要であるとか、そういった部分まとめられれば、そういったところから順次実際の発災で使う緊対部門ですとかが活用できるものとして整備していければというふうに考えております。

○倉本専門技術者 ありがとうございます。もう1点、最後にです、現状が今中間評価ということですので、少し最終的な検討をイメージといいますか、そういったものを確認させていただくということで、御質問等をさせていただきたいんですけれども。一番最後は、目的としてEALの見直し、高度化といったところが目的になっているといった点で、このパワーポイントの資料の後ろの参考のほうでも示していただいているとおり、我が国のEALが米国のそれに比べては非常に複雑かつ細分化されているといったものは認識するところなんですけれども、これを大分シンプルにして、同じような特徴のあるものについて整理して、シンプルで有効なものにしていくというような検討を目指すというような形の理解でよろしいでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 シビアアクシデント研究部門、小城です。

そのEALの最終的なあるべき姿に関しましては、庁内全体で議論をしながら進めていくものだと思います。御指摘されていたように、パラメータベースのようなもので一本化した米国のような簡単なものにしていくというようなものに関しましては、それを導入する際に、今の日本においてどういったところに悪影響が出るのか、どういう特徴になるのかということころを、ここで取りまとめていくというようなイメージをしていただければと思っております。直接的な活用に関しては、やはり庁内全体の議論になってくるのかなというふうに考えてございます。

○倉本専門技術者 その議論に資する情報整理をして、提供していくというような目標だということですね。

○小城副主任技術研究調査官 もう、まさにそのとおりでございます。

○倉本専門技術者 理解いたしました。

私のほうからは以上です。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。

3点あります。まず、一つ目は行程表のところなんですけれども、(2)のところ、防護措置に関する知見整理という項目があります。これは具体的には、ここでは何をしようかというのと。あと、今回この部分の報告はないのですかという質問です。OSCAARを用いた防護措置に関する検討というのは報告があって、これはこの下の破線のところのかなと思ったのですが。すみません、この項目で何をしようかというのをお聞かせください。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

令和5年度に主要な成果を出すようなイメージをして、まだ計画の部分も含めて令和4年度、少しずつ進めてきたところで、中間取りまとめには掲載ができてないような内容かなと思いますけれども。避難関係のところの知見整備とか、そういったところを考えてございます。

○田原専門技術者 ありがとうございます。そういうことなのかなと思いつつ、例えば自然災害が起きたときに、防護措置の実施に影響を与えると思うんですけれども、そういった自然災害と原子力災害の重畳みたいなのところもスコープに入ってくるんでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

現在のところ、課題として挙がって、基礎的な部分として課題があって、継続的に調査しているんですけど、本プロジェクトで直接的に取り扱う予定は、今のところはないです。

○田原専門技術者 分かりました。ありがとうございます。

では、2点目ですけれども、報告書の49ページのMACCSの解析条件が書いてあるんですけども、ちょっとここについて確認をさせてください。タイムステップ1時間ごととありますが、これはタイムステップというよりも気象データの時間間隔といったほうが正しいの

ではないかと思いました。MACCSは、そのタイムステップで計算をするようなプログラムにはなっていないと思いますので、ちょっとこのタイムステップという書き方に違和感を覚えました。

というのと、あと気象条件のところには一年平均とありますけれども、備考のほうには、大気安定度とか、風速とかを代表プラントの1年間の平均としたと書いてありまして。これ具体的には、1年間の気象を使ってMACCSの解析をして、その平均値を取った年間気象平均値を用いているのか、あるいは、この気象のパラメータそれぞれを平均値を使って、一つのパターンの気象データを使って計算しているのか。この記載だと、ちょっとどっちなのかがよく分からなかったもので、どちらですかということと、分かるように書いていただけたらと思いました。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

MACCSに関してタイムステップの話、御認識のとおりでございますので、記載の修正させていただきます。

2点目でございますけれども、MACCSの解析に関しましては、基本的には1年間の全気象でやった後のものを平均化しているという状況でございますので、その記載についても、もう一度修正させていただければと思います。

○田原専門技術者 ありがとうございます。よろしく申し上げます。

あと、3点目ですけれども、報告書の51～52ページにかけて、防護措置を考慮した場合において重要と考えられる視点をまとめていただいているんですけども、ここはとても難しい課題であるとは思いますが、これに関して検討のアプローチの仕方について意見を述べさせていただきたいと思います。

例えば、TQUXでは、早期にGE22が出ます。そして、その後のマネジメントの成否によって格納容器破損や管理放出を回避できる場合とか、回避できない場合には、大規模放出のタイミングの違いというのが生じてきます。

表の2.2.16を見ると、超早期放出であれば屋内退避で、早期、晚期であれば避難ということになっていきますけれども、結果としてこの対策がよいとしても、GEが出た段階で、それが超早期放出になるのか、あるいは早期、晚期放出なのかをどう判断するのか、そこが重要な点だと思いました。GEが出た段階で、マネジメントの成否の見通しを何で判断するんでしょうというところです。事故時に現場で迅速かつ的確な判断が難しいというのであれば、超早期放出を警戒して、まずは屋内退避して、超早期放出の期間を超過して、短半

減期核種の影響が低減したら、マネジメントの見通しがついた段階で避難移動という手段になる手順になるのかなと思うのですけれども。表のこの2.2.16では、早期と晚期が分けられていて、避難なんですけど、このGEが出た段階で、この早期、晚期というのは見通してあって、それを事前に何をもって判断するのか、それを検討するのが重要なのかなと、ここでは思いました。

そういう検討をするなら、この表の16のほうと、あと17のところのこの右端の部分に、放出なし、事故収束という欄も追加していただいて、検討していただけるといいのかなと思いました。すみません、感想みたいになっていきますけれども、以上です。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

放出なしの場合は、例えば縦といいますか、格納容器破損、管理放出、放出なしみたいな方向になっていくのかなというのを、まず思ったところなんです。議論をさせていただくのは非常にありがたくて、まず感謝しております。未来の予見性がないというところに対して、どのようにアプローチしていくのかって非常に重要なポイントだと思っております。

まず、そこに対しては、PAZとUPZにおいて、取扱いもまた変わってくるというふうに思っております。放射性物質の放出があった場合に、顕著に影響を受ける人たちに関しては、やはり早く移動をしていくというのが原則になっていくというふうに思います。

超早期になるのかどうかというところはありますけれども、それは先ほど言いましたとおり、EALの見直しの中で検知できるパラメータが何なのかといったところも非常に重要な議論になってくると思っております。先ほどTQUXの例、挙げていただきましたけれども、GE発出がどのタイミングで、その後、避難までの間に検知できるパラメータは何かあるのか、ないのかということも非常に重要になると考えております。それが先ほど倉本さんがおっしゃられていたような、パラメータベースで全て評価するというのが本当はいいんじゃないかというようなEALへのフィードバックと、あとは今議論させていただきました防護へのフィードバック、最初は屋内退避して、そこから避難みたいなのところに関しても、幾つかパターンをこれからも示させていただきたいというふうに思いました。ありがとうございます。

○田原専門技術者 ありがとうございます。

私からは以上です。

○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。

高橋さん、お願いいたします。

○高橋専門技術者 三菱重工、高橋ですが。

1点だけ、6ページの行程表で、やはり今までの議論を聞いていると、余計心配になってきたんですが。このPWR、今BWRを専門的に検討されているんですが、この行程表の中で、どこかではPWRが入ってくるのかどうかというのをちょっと確認したいなと思ったんですけど。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

PWRに関しても、併せて検討を進めていきたいと思ってございます。特に先ほどのRTMのほうです、緊急時技術対応マニュアルに関しましては、PWRも並行して実施されております。手法の整備としましては、BWRを中心としたフィルタベントのところがちよっと今回議論になりましたので、これを取り扱うためにBWRを対象として成果の取りまとめさせていただいております。PWRにフィルタベントとなると、ちょっと特重周りの話、情報が、解析等を行っても出せないという状況もちよっとあるのかなと思いますので、その辺、ちよっとよく配慮しながら研究を進めて、発表させていただければと考えます。

○高橋専門技術者 了解しました。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。

糸井先生、お願いいたします。

○糸井委員 東京大学、糸井です。

どうもありがとうございました。まず、すみません、今回の位置づけを確認したいんですけども、パワーポイントの5ページで研究概要の図を示していただいているんですけども。中間報告としては、この中の青色と緑色のところは、今の話でBWRを中心に、ほぼ終わりつつあって、これからオレンジの下の中の二つの枠、技術的知見の抽出と災害対策指針等の高度化・見直しに今後、中間報告移行、移っていくという、そういう理解で、まず間違いはないですかという。あるいは、違えば、違うと教えていただきたいんですけど。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

概要図で言うと、今、おのおのの青い側と緑側の取扱いが一旦、まず大きな目処が立ちまして、その下のシナリオと防護の組合せを考慮した解析というところがあると思うんですけど、ここがまだできてないというところで、残りの期間、この作業に入っていくと思います。

随時、調査、解析というのも新たに行いながらですけれども、この組合せを考慮した解析というのが、この後の作業になっていくのかなと思います。

○糸井委員 分かりました。ありがとうございます。

あと、もう一つは、多分認識されていて、確認としてのお願いということになるんですけども、先ほどお話があった自然災害との重畳の話とか、あるいはPWRをやるということでしたけど、BWRが中心になるような場合とかも、いろいろな場合があり得ると思うんですけど。どの部分について技術的、あと海外の知見を持ってくるということは、日本固有のものが入らないというような、調査としても抜けがあり得るということになると思うので、高度化、見直しをするにしても、どこが高度化できて、どこが見直しできて、あるいはできないところはどこなのかとか、その辺を最終的にまとめるときに、クリアにまとめていただけると、とても良いかなと思いますので、ぜひ御検討いただければというのがお願いです。

以上です。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

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。

ほかに御質問、御意見ございますでしょうか。

守田先生、お願いします。

○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した。ちょっと幾つか御質問をさせていただきたいんですが、まず、これプロジェクトの最初の立ち上げの際の評価のときに、国際協力を積極的に活用した研究開発を進めていくことが期待されますというふうに、私、コメントをいたしまして、拝領という回答をいただいているんですが。特に国際協力云々の話は、報告書のほうにもちょっと出てきてないのかなというちょっと印象なんですけども、その辺りどのような御計画なのか教えていただけますでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

本研究プロジェクトの中で、明確にその部分、記載はしていないんですけれども、米国NRCとのCSARPの協定がございまして、その中でMACCSの意見交換の場には毎年出ていっております、そこでの国際的な情報交換の場に積極的に参加しながら、情報をこの研究に取り込んでおります。ちょっと明確に記載してないというのが現状かと思います。

そのほかにも IRSNとの2国間での防災分野、環境影響評価の分野に関しての意見交換などを行いながらプロジェクトを進めていっております。

どこかでまとめて紹介できればとは思いますが、かなり基礎的な知見のところも含めて出てきていたり、MACCSに関してはコードの改修の細かいところだったりもしていますので、ちょっとここでは紹介はできていないというのが現状かなと思います。

○守田委員 分かりました。実際にはいろいろ国際協力も活用されているということ、理解しました。最終的におまとめになる際に、プロジェクト終了時には、やはり国際協力もしっかり活用したということ、やはり積極的にアピールをされたほうがいいのかというふうに思いました。

それから、スライドの説明のところ、9ページですか、FCVSにおけるFPの除去メカニズムのところ、MELCORで取り扱えないので、そのスクラビングのモデルは使いませんでしたよという御説明がありました。このスライドに載っている、このFP除去メカニズムのところの図自体は、圧力抑制プールでのプールスクラビングの話と同じような図かなと、要するにFCVS特有のことを表現されているわけではないのかなというふうに思ったんですが、質問としては、FCVSに何か、と、その圧力抑制プールでのプールスクラビングの間に何か本質的に違う現象があるのかどうか。あるいは、単にMELCORで出口スクラバー付近での除染効果がうまくモデル化できないという、ただコードの問題だけをおっしゃっているのか、ちょっとそこが教えていただけますでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

回答としては、差異があるというところがございます。差異のある場所といたしましては、スクラバーの出口ノズル形状が、まず一番トップに挙げられるものだと思います。実験などでは、一定の形状を持ったものから水中にエアロゾルが放出されるという状況になっていくと思うんですけれども、現在、こちらでモデル化させていただきましたのは、ある電力会社さんが実際に導入しているフィルタベントの出口ノズルを用いた積算試験です、その試験のデータそのものを取り扱っています。

これの扱いをしないといけない理由なんですけれども、フィルタベントの除去メカニズムの中で、出口付近、ノズルからガスが放出されるノズル付近での除染係数がかなり利いていますので、実力値として今回の評価を行う際に、ここを取り扱いたいというところで、今回はこのようなモデルを用いたというところがございます。

○守田委員 よく分かりました。ありがとうございます。ちょっと何かさっきの今日のー

つ目のプロジェクトの説明の中でも、その辺のプールスクラビングのモデルの研究開発のようなお話もあったので、何か少しお互いの知見を活用しながら、この辺のところは何かメカニスティックな解析評価につなげられるのかなとちょっと思ったもので、ちょっと質問をさせていただきました。

それと、もう一つは、これは最後ですが、つまらない質問でコメントなんですけども、今日の資料の最後のほうに、誤字だと思うんですが、CDF解析という言葉が出てくるんですが、CFDの間違いじゃないですかということです。16ページです、CFDですよ、これ、CDF、Core Damage Frequencyじゃないですよ。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

誤字でございますので、修正いたします。大変失礼いたしました。

○守田委員 分かりました。

以上でございます。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、牟田先生、お願いいたします。

○牟田委員 都市大の牟田です。

すみません、時間がちょっと押しているところで、二つだけちょっと御質問をさせていただきたいと思います。似たような質問ですけども、まず、10ページ目を見ていただきたいんですけども、事故シナリオを挙げてられまして、ケース1、2、3というふうに挙げられております。これは恐らく代表ケースだということだと思うんですけども、細かいことを言いますと、こういった対応措置みたいなもの、スプレイとか、注水とか、ベントですけども、これはタイミングがいろいろ変わり得ると思うんです。そういったことを、この検討の中で考える必要がないのかというのを、ちょっとまずお聞きしたいと思います。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

今回、出させていただいたケース2のほうなんですけれども、おっしゃるとおり、スプレイが止まっているタイミングで格納容器破損に至っているじゃないかということだと、まず認識しています。これはなるべく自然なシナリオを、まず選ぶというところを考えました。

今、破損のタイミングをつかさどるパラメータといたしまして、一番、審査も含めて着目しているのは、外部水源のスプレイでございます。これ外部水源ではなくて、再循環のスプレイ等ございましたら、基本的に事故収束に向かっていきます。破損するようなシ

ナリオに関しまして、スプレイが動いているのに破損しているようなシナリオとして考えられるのが、外部水源スプレイでございます。外部水源スプレイに関しましては、圧力抑制室の注水制限がございますので、注水制限になると確実に止めないといけないということがありますので、ここでは炉心損傷はしながらも、格納容器にスプレイが一定入り、さらにそれが止まるという合理性があるものを選ぶために、このようにいたしました。

○牟田委員 なるほど。自然なというところが、ちょっと何をもって自然かというのはありますけれども、おっしゃることは分かりました。

ちょっと似たような質問で恐縮なんですけど、8ページ目を見ていただきたいんですけども。ここでOSCAARとMACCSのところ、年間気象という話が先ほどもありましたけれども、ここを先ほどのお話ですと、年間の平均的な気象条件というのを考慮するというのだというふうに御説明があったと思うんですけど。ここはこれでよろしいかということに、ちょっと疑問がありまして。例えば、年間の気象の中で、一番影響を、要するに被ばく線量を大きくするような条件というのが、ポイント的にあり得るような気もするんです。そうすると、年間平均のものをリスクを見ていても、ちょっとどうかなという気が、ちょっと直感的にするんですけども、その辺はいかがでしょうか。

○小城副主任技術研究調査官 規制庁、小城です。

すみません、まず、認識として、ちょっともう一度御説明させていただきたいんですけども。これ年間気象は、各気象、各日、ある気象のタイミングでの解析を、おのおの毎回やっています。ですので、特徴的なところの、例えば降雨のめちゃくちゃひどいところの解析というのは、例えばあるというふうに思っていたらいいのかなと思います。

今回、先ほど指摘していただいた、田原さんに指摘いただいたところというのは、結果の見せ方として平均と書いてあるんですけども、これが年間平均のように見えるから修正をという話だったと思いますので。気象に関しましては、これ年間の気象それぞれ、1事故シーケンスに対して1個ずつ気象のシーケンスがどんどん、かなり複数の計算がなされているとイメージしていただければと思います。

○牟田委員 分かりました。誤解であることが分かったので、これで結構です。どうも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、御意見ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

本日の御説明は以上となります。全体を通じまして、何かコメント等はございますでし

ようか。よろしいでしょうか。

最後に、事務局からの連絡事項になります。本日お配りさせていただいております資料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、お忙しいところ誠に申し訳ございませんが、4月19日までに記載の上、事務局まで御送付いただければと思います。

いただきました御意見は、事務局で評価の取りまとめ案を作成の上、改めて事務局より御連絡をさせていただきます。

それでは、これで第12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、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。