

第2回シビアアクシデント技術検討会

議事録

1. 日時

平成27年4月15日（水）13：30～15：28

2. 場所

中央合同庁舎 4号館 1211会議室

3. 出席者

外部専門家

笠原 直人 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授
村松 健 東京都市大学工学部原子力安全工学科客員教授
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

原子力規制庁

梶本 光廣 安全技術管理官（シビアアクシデント担当）
堀田 亮年 首席技術研究調査官（シビアアクシデント担当）付
星 陽崇 主任研究技術調査官（シビアアクシデント担当）付
迎 隆 技術基盤課企画調整官
坂本 一信 技術基盤課課長補佐

4. 議題

- (1) 平成26年度 安全研究プロジェクトの技術的評価
(シビアアクシデント技術事後評価)
- (2) その他

5. 配付資料

名簿

資料1 平成26年度 事後評価調査票
参考資料 平成26年度 事後評価調査票説明資料

6. 議事録

○迎企画調整官 それでは、定刻になりましたので、第2回シビアアクシデント技術検討会を開催いたします。

今回の検討会は、前回と同様、技術基盤課企画調整官の迎が進行させていただきます。よろしく申し上げます。

前回の検討会では、安全研究成果の中間評価をいただいたところですが、今回は、平成26年度に終了しましたプロジェクト2件について事後評価をお願いいたします。

それでは、事務局より事務的な連絡と資料の確認をさせていただきます。

○坂本課長補佐 事務局の坂本です。

では、事務局より簡単な資料の確認をさせていただきます。

お手元に、座席表とともに議事次第、名簿、本日の資料を用意いたしております。

議事次第をめくっていただきまして、名簿を御覧ください。

本検討会の委員は、こちらにお示しいたします4名で構成してございます。

本日は、御都合によりまして、東京大学の飯本委員が御欠席となっております。

資料の確認を続けます。

資料1は、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調査票でございます。

次に、参考資料としまして、本日のスライドのコピーを用意しております。

また、A3サイズの資料で、コメントシートを用意しております。

このシートの電子媒体は追って事務局からお送りいたしますので、1週間程度を目安にコメントを記載いただき、事務局までメール等にて御送付いただきたく存じます。

以上、事務局から資料の確認ですが、過不足等ございましたらお知らせ願いたいんですが、大丈夫ですか。

○迎企画調整官 では、よろしいでしょうか。

それでは、早速ですが、安全研究プロジェクトの成果の説明に移らせていただきます。

まずは、アクシデントマネジメントの知識ベース整備について、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官シビアアクシデント担当付の堀田首席技術研究調査官から説明をお願いいたします。

○堀田首席技術研究調査官 ただいま御紹介にあずかりました、安全技術管理官シビアア

クシデント担当付の堀田でございます。

本日は、説明の補佐として、同じくシビアアクシデント担当付の星主任研究技術調査官とともに、アクシデントマネジメントの知識ベース整備の研究成果について報告させていただきます。

まず、本日の紹介内容でございます。本研究は、平成15年～26年までになりますので、12年間続いてまいりました。その歴史的経緯を含めまして、まず研究概要で説明させていただきます。

続いて、本論として、重大事故対策及び重大事故発生時に想定される事象の進展の把握に係る技術的な知見の整備ということで4テーマ、さらに、審査に役立つ知見の整備ということで1テーマについて報告させていただきます。

その後、まとめ、今後の成果の活用について、成果の公表等を、できるだけ手短に御紹介いたしますが、今後の成果の活用では、このプロジェクトが終了するに当たって、今度どのような形で発展していくのかという安全研究のあり方についても言及させていただきたいと考えております。

まず、本事業の概要でございます。

本事業は、平成16年度より旧原子力安全基盤機構において始められました。

その目的といいますのは、原子炉施設において想定されますシビアアクシデント現象、シビアアクシデントの発生防止、拡大防止、環境影響緩和の各段階に対応するような対策について着目いたしまして、その中で鍵となるような現象に注目いたしまして、これに関する知見を集積するという、そして、それに対する評価手法を整備するという、ことでございます。

具体的な中身といたしましては、国際的に重要と認識されておりますシビアアクシデントの事象進展における重要現象及びこれらに対する対策の有効性に係る国際協力実験というものが過去から現在にかけて実施されております。

こうした国際協力実験に参加することによって、実験的知見を取得していくことのほかに、こういったプロジェクトには各国からこの分野の専門家が集まりますので、こうした中での議論を通じて、重大事故対策の妥当性評価に必要な解析モデルの開発ですとか改良・整備、そうした評価手法に鑑みた知見の集積というものも行う。

こういったものを総合して、その当時であれば事業者が自主的にアクシデントマネジメントというものを行っていたわけですが、そうしたアクシデントマネジメントのレビ

ューの活動に活用していく。そのための知識ベースを整備していくということが目的として位置づけられておりました。

しかしながら、東電福島第一原子力発電所事故をきっかけにして、シビアアクシデントへの設計対応が規制要件になったということがございます。

同時に、この知識ベースというものは、今までの自主的なアクシデントマネジメントが対象ではなくて、そうした規制要求としての重大事故対策、言うなれば原子力規制委員会が行います原子炉施設等の新規制基準に適合するかどうかの審査が行われておりますが、そうした中で申請されている重大事故対策というものの妥当性、有効性の評価、あるいは、今後の話となりますと、再稼働後ということになると、当然、原子力防災対策の高度化という幅広い活動において、そういった知識ベースを生かしていくということが必要になってきますので、知識ベースというものは活用する場がかわりますが、依然として今後も集積して活用していく必要があるということになります。

それでは、本論に移らせていただきます。

東京電力福島第一原子力発電所の事故に見られますように、建屋の水素の蓄積によって爆発が3回発生しましたが、事故以前にも、水素リスクというものに対しては重要な課題として知見を集積してまいりました。

それらの対象というのは、実は格納容器でございまして、格納容器内で水素が発生して濃度が局所的なことも含めて高まりますと、燃焼あるいは爆轟が発生する可能性について検討していたわけです。

ここでは、格納容器の閉じ込め機能に対する水素リスクを評価するということが目的でして、実験的及び解析的知見を整備してまいりました。

具体的な実施内容としては、まず、ISP-47への参加というのがございます。ISPについては、次のスライドで御説明いたします。

2番目の取組事項として、多次元の熱流動解析手法による解析的知見の整備というのがございます。これについては3テーマがございます。

まず、ISP-47ですが、ISPというのは、International Standard Program、国際標準問題と呼ばれるものの略でございまして、これは、OECD/NEA/CSNIが主催する原子力プラントの安全評価に適用する数値解析モデルの高度化を目的とした共通問題の総称です。

いろいろな分野でISPというのがあって、これは47番目のISPという意味でISP-47と呼ばれているものですが、これは水素の分布に関するものです。これは2002年～2005年に行わ

れまして、格納容器内における水素等の多次元多成分ガスの混合挙動を解析する、これは実験に基づいて解析するということを目的としています。これは21世紀の初頭ですが、そのころですと数値流体力学コード、いわゆるCFDコードがかなり実用レベルに達してきたということで、こういったものを水素リスク評価に使うということを目的として、そのための妥当性確認のためのデータを得るための実験及び解析を中心とした国際協力プロジェクトになります。

具体的にどのようなものが行われたかという、三つの試験がこの中には含まれておりまして、一つはフランスのIRSNという組織が運営しているTOSQANという小型のタンク型の水素分布の試験装置です。そのほか、これもフランスですけれども、CEAが運営しているMISTRAと言う、こちらはかなり大型になります。3番目がドイツのBecker Technologiesという組織が運営しているThAIという、これはかなり縦長の大型のタンクになりますが、こういった3種類の試験から構成されています。

TOSQANとMISTRAという、フランスで行われた2試験をStep1の試験としまして、ThAIをStep2の試験と位置づけています。

我々は、その当時、独自に開発していたコードでDEFINEというコードがありますが、DEFINEコードを用いてこのベンチマークに参加したということでございます。また、TOSQANは小型なので、より実機にスケールアップする際のひずみが少ないということでMISTRAとThAIを対象にいたしました。

MISTRA実験というのは、これは断面を描いていますけれども、三つの水蒸気の凝縮器を備えていまして、自由体積は約100m³と、直径が4.2mで、高さが約7mですか、こういった円筒の容器でございます。この装置では、凝縮壁内に冷却水を流しまして温度を調整します。タンク全体に対して温度を調整するという制御がされています。底部にノズルが見えますけれども、約1.3mの高さに設けられた直径20cmのノズルから水蒸気及びヘリウムを、設定された時間帯に一定量注入する。両方のガスの注入のフェーズをずらすことによって混合挙動を中で起こすことができるというものです。主に中心軸上で温度、ヘリウム濃度を計測しておりますが、実験期間中に注入された水蒸気の十数%ですか、これが凝縮器以外の場所ですね、タンクのどこか空間内ということですが、そこで凝縮しているということが観察されました。

さらに、容器の壁面温度の計測は約118℃～123℃ですか、凝縮器の表面温度は115℃と若干低いため、この両方を総合すると、恐らくタンクバルク空間内で霧状になって液滴

が発生したという、そういったバルク凝縮が起きたということが報告されています。

こういった現象を解析コードにより詳細に再現するには、もちろん雰囲気ガス内での凝縮を伴う相変化を考慮する必要があるわけですが、我々のDEFINEコードというのは、そういった機能が当初はついておりませんでした。このベンチマークをやる間に簡易的に相変化も扱えるような、相変化による水の発生と、それが体系から取り除かれるという簡易的なやり方でモデル化をして、ベンチマークに臨みました。しかしながら、相変化を忠実に扱っていないということもあって、相変化による潜熱を気体が保持するということによる温度の過大評価という課題が見られ、この辺は、このベンチマークの期間内では克服できずに課題として残ったということでございます。

続きまして、ドイツのThAIループの試験です。これは二重構造、二重シリンダ構造になっています。ここに小径の内側シリンダがありまして、この内側シリンダの底部に注入のノズルがある形になります。さらに詳細にみると、内部構造としまして、こういった内側のシリンダ及び水平トレイが内側シリンダを囲むようにありますが、こういったものを要する、高さが約9mで、内径が3.2mの円筒、アニュラス状の装置です。

この実験では、初期に容器内に空気をまず充満させた条件で、ヘリウム及び水蒸気を設定された時間帯でやはり順次注入していきました。重大事故時の格納容器熱流動を模擬するというので、ヘリウムは上のほうから注入して、水蒸気のほうは上下2カ所から注入するという、若干変化をつけたということが特徴です。

右側はDEFINEコードによる一連の計算結果を示していますが、水蒸気の凝縮、ヘリウムの成層化、こちら一番右側は成層化している状態を示しています。及び容器の壁面での温度分布というものが計測されて、これがベンチマークの対象になっています。

我々のDEFINEだけでなく、多くの参加機関の解析を押しなべて評価すると、実験の後半にヘリウムがこのように成層化構造ということで上のほうに溜まりますが、この再現性があまりよくないということです。

この時代のCFDコードの乱流モデルというのは、概ね標準の $k-\epsilon$ モデルというものを使っています。この標準 $k-\epsilon$ モデルを使う場合には、やはりこのような温度差による浮力によって駆動されるサーマルブルームのような現象になると思うんですが、そういった場合の、非常にレイリー数が高目でレイノルズ数が低目のような現象では、やはり乱流効果を過大に評価し過ぎて、成層構造ができにくいといったことがあるのではないかとということが共通の見解として残っております。

さらに、このベンチマークで同じ汎用CFDコードを複数の期間使った場合に結果が大幅に異なる場合もありまして、いわゆるユーザ効果というものについての問題提起がありまして、CFDコードを使う場合のガイドラインというものをつくる必要があるんじゃないかというのが、このときに提案されています。恐らくこういった流れでもって、現在のWGAMAなどでCFD4NRSというような、そういったガイドライン関連の活動につながっているものと推測しております。

このISP-47から得られた知見というものを総合的にまとめたものが、このスライドでございます。概ね現在でも通用するような事柄が書いてありますが、際立ったところを読んでいきますと、まず、成層化というのは、格納容器での水素濃度が大局に大きくなるということによって重要な現象になります。成層化を扱うということは、ジェットによる成層化の崩壊ですとか、あるいは浮力に支配された乱流場、こういったものの影響というものを注視した解析、あるいは実験による確認をしなければいけないということです。

そうは言っても現状、例えばMAAPですとかMELCORのような、いわゆる集中定数系のコードでノーディングを比較的細かくして、大局的な成層化の程度というものを評価することがありますが、正確性ということはある程度度外視すれば、これによってある程度の定性的な評価というのは可能なわけですし、そういったところで集中定数系のコードというものもうまく使っていく必要があるということです。

ISP-47というのは、実は水素の実験で言うと、CFDを念頭に置いた非常に解像度の高い計測を備えた実験の、プロジェクトとしてはかなり初期のころのものになります。それ以前は、どちらかというところ、NUPECの試験のように区画単位の分布に注目して、CFDというレベルの詳細性というものには着目してなかったんですけども、実験技術及び計測技術が高まったということで、このころから徐々に詳細なCFD解析によって水素リスクの評価というものを、信頼性を上げていこうという機運になっていったということでもあります。これは今も依然として継続している流れです。

その当時の計測系は、まだ熱電対ですとか濃度計などですけども、現状では計測法が高度化され、例えばPIV法であるとか、より空間解像度の高い方法もありますので、こういった、より高解像度の計測法に対する必要性がISP-47の中で定期されました。これは現在まで営々と引き継がれて、後続の実験に生かされているということでもあります。そのほか、先ほど述べましたガイドラインの充実というものがあるというものがあります。

この事業では、先ほど申しましたように、我々は独自開発のDEFINEというコードを使っ

ていましたが、その間に汎用CFDコードが、原子力産業ではなく、例えば自動車産業であるとか航空産業等に使われるようになって、例えば高機能のGUIを備えた非構造メッシュの作成ツールが備わるとか、あるいは汎用CFDコードにもLarge Eddy Simulationというものが標準装備される。こういった最新の乱流モデルが標準装備され、当然、並列計算による大規模解析の実用化、そういったインフラも整備されてきたということも相まって、目覚ましい発展を遂げてきたわけです。

ということの流れで、当時の原子力安全基盤機構でも、だんだんCFDコードについては独自コードから汎用の商用コードというものを使い始めてきた。これは、何も機構が初めてではなくて、産業界などでは、それより以前にそういった流れがもうできてきたわけなんですけども、という流れがあります。この知識ベースの中でも徐々に汎用CFDコードの比重が高まっていったということです。我々のこのプロジェクトの中ではFLUENTというコードを主に使ってきています。一部、PHOENICSもあります。FLUENTが非常に多く使われてきています。そういったコードをベースに、過去の実験、あるいは、その当時オンゴーイングだった実験に基づいて妥当性確認を進めて、それを実機に展開してきたという流れがございます。

具体的な試験としては、NUPECの、先ほど言った区画単位、パーティション単位の水素混合実験、あるいは空気-水蒸気混合実験があります。さらに、より高解像度の実験としては、先ほど申しましたMISTRAですとか、あとはスイスのPANDAという実験装置も完成して、高品質のデータが提供されたといったところです。

そういった高品位の実験結果に基づき汎用CFDコードによって詳細流れ場を解くと、あとはシビアアクシデント上のニーズとして重要なこととして、この流れ場の中で放射性物質、エアロゾルというふうに特性上はみなされますけども、エアロゾルがどのように分布し、沈着するかといったことも汎用コードでは解けるわけです。もちろんユーザ関数なども使いますが、こういったものを積極的に使って、実機の問題、例えばPWRの自然対流冷却の有効性を数値的に評価するというような検討をやりました。

多次元熱流動解析手法に係る解析的知見の整備というのは、今申し上げた幾つかの項目があるわけですが、ここでは代表例を示しております。ここでは、まず前段として、NUPECの試験に基づく妥当性確認を行ったということ。あとは、スイスのポールシェラー研究所で行われましたSBWRを模擬したPANDA装置によって、水素、水蒸気、ヘリウムの混合器の、混同挙動現象を高解像度で計測しておりまして、その結果を妥当性確認に使っ

た。こういった試験でもって、こういう乱流支配の現象において、どういった乱流モデルを使うかであるとか、メッシュはどのように配置したらいいかといったノウハウを得て、これを実機のモデル化に活用しました。その知見を生かして行われたのが、このPWRの格納容器の全体解析です。

ここに自然循環冷却クーラーがありますが、重大事故対策の一つとして申請されています。自然対流冷却に着目いたしまして、自然対流冷却を誘引するような凝縮器の効果と特性というものを解析的に検討いたしました。解析結果を総合的に見ますと、格納容器内自然対流冷却による対策によって、大局的な自然循環ができているということは、この速度ベクトルから容易にわかるのですが、これによって大きな混合作用と冷却作用が期待できるということです。成層化というものも、この大きな循環によって、できにくいということが推測されます。そこから、水素の成層化対策としても有効であろうということを確認しております。

凝縮器による除熱効果については、これは凝縮器の設置位置ですとか、雰囲気ガス成分ごとの分布に依存するわけですが、雰囲気ガスの混合に影響を与えるということは確認されておりますけども、凝縮器ダクトを通らない流れ、すなわち、入口から入ってダクト出口で出てしまうような流れも形成されていて、これによって、かなり冷却されているということも確認されておまして、流れができていること自体で、かなり有効性があるという評価結果です。この規模のモデルでメッシュが20万メッシュになっています。これを実寸法に直すと、立方体にして約0.4mですか。ですから、0.4mで解像できるような現象というのは概ね見られているということですね。

ごく最近の例で言うと、計算機のパワーも高まっています、我々は、通常100万メッシュ時のままでやるようになっていまして、この解像度では見られないような現象というのもそこでは見られておりますので、そういった点では、計算結果というものは、ここで適用されたメッシュの解像度に即して理解していく必要があると。それなりの不確かさもあるということは現実問題としてはございます。

次は、蒸気発生器破断事故に関する実験及び解析です。これは、実は国際共同プロジェクトの中で、ARTSITというものが、スイスのポールシェーラー研究所が中心的に、各国の組織が参加して行われました。この装置の外形図です。

この装置は、格納容器バイパス事象で、放射性物質の早期大量放出を発生させるおそれがある蒸気発生器の伝熱管破断時の放射性挙動と、これに対する対策とその有効性を究明す

るといったことを目的にして行われたわけです。ここに示しますように、ここは伝熱管の領域になっています。細かくて見えないですけども、U字管が林立しているわけで、その上がライザーの領域になって、このレベルに気水分離器があって、その上が湿水分離器になっています。こういうPWRの蒸気発生器の基本構成要素を緻密に模擬した実験装置によって、さまざまな伝熱管破断モードにおける流動ですとかエアロゾルの沈着挙動というものを実験データとして取得しました。

我々の取組というのは、実験の計画立案に参画するということと、FLUENTを使った解析により汎用CFDコードによる評価の可能性というものを検討することに協力したということです。その間、CFDコードで得られた知見を集中定数コード、MELCORに相関式として使うというような試みを行っております。

こちらは、CFDによる上部構造モデル化です。上部構造というのは伝熱管より上の部分で、気水分離器と湿水分離器から構成されるものです。ここにスワラーがあって、ここが旋回流領域になって、これが出口になっています。この辺は多分、液膜を分離する構造になっていますが、その上に波板の湿水分離器があって、こうした流路がかなり忠実に模擬されているモデルです。このようにFLUENTを使ってPWRの蒸気発生器の上部構造をできるだけ忠実に模擬した形で流動を解きます。ここでは、流動モデルの選択が鍵になってくるわけです。この流れの特性から見ると、これはスワラーで回転成分を受けてらせん状に回っている。その遠心力によって湿分を飛ばすという構造になっていますが、言うなれば非常に異方性が強い流れ場です。こういった異方性の強いところには標準 $k-\epsilon$ というのはなかなか使えないというのが定説でして、ここでは異方性を扱えるレイノルズ応力モデル、壁際の低レイノルズ領域をよく表すという $k-\omega$ モデル、そして標準 $k-\epsilon$ モデルという、3種の乱流モデルを使っています。現在では、この $k-\omega$ と $k-\epsilon$ を自動的にスイッチするSSTというモデルがありますが、この当時には、両モデルを使い分けているものと考えられます。このスワラーの出口の流速ですけども、これは中心軸からの距離でプロットしたものですけども、やはり旋回流で異方性が強いということから、実測値とよく合うのはレイノルズストレスモデルという結果が得られています。以降の解析では、コストは掛かりますものの、レイノルズストレスモデルを標準モデルとして使うという判断をしております。

最終的に、これによって上部構造部分の流動を解いて、これにラグランジュ法によるエアロゾルの質的解析モデルを付加して、エアロゾルの沈着を評価しているわけです。エアロゾルの沈着のメカニズムとしては、慣性衝突、乱流拡散による沈着挙動というものをユ

一ザ定義ファンクションでモデル化しており、マクロな除去係数、いわゆる Decontamination Factor というものを見えています。これは当然、慣性効果が寄与しますので粒径依存性があつて、例えば小さい粒径のときは、あまり慣性衝突は効きませんが、40 μ とか、かなりこれは現実にはあまりあり得ないような大きな粒径ですけども、かなり除去ファクターが急上昇する傾向が見えています。

実験は小さい粒径の範囲でやっていて、DFが気水分離器では1.5弱、湿水分離器では、やはり1.5弱。トータルで1.6~1.7。実験が大体1.5~2.0ぐらいの数字を示しているということです。オーダー的にかなり合っているということです。実は、この蒸気発生器全体から見ると、一番沈着するのは伝熱管でして、伝熱管だけで数十ぐらいのファクターがあります。上のほうは、1. 幾つとか2という、ほとんどとれないということですね。ほとんどとれない現象をきちんと評価できるということも重要なことです。

伝熱管はどうなるかという、これはいろんなケースをARTISTでやってみて、キャリアガスを窒素だけのものと水蒸気をまぜたものをやっていますが、どちらも除去係数は1に近い結果となっています。また、破断している部分よりも水位を高くする、サブマージ条件でやると、途端に除去係数が急上昇し、伝熱管を含んだトータルのDFは、例えば5,000とか、かなりの数字になります。ですから、これは、何よりも重要なことは、実験において、やはり伝熱管破断のときに水没させるというのは非常に有効な対策であるということが示されたということです。

そのほか、細かいですけども、このプロジェクトによって、こういった複雑構造における沈着メカニズムというものを数値解析で予測し得るといった新しい技術の側面というものも開かれたという意義があるというふうに考えています。

続きまして、少しテーマの趣が変わりますが、In-vessel Retention というものについても実験的知見を蓄積して解析評価をやっています。

この目的は、既存炉ではなくて、In-vessel Retention可能な設計をしたAP1000です。当時、AP1000に対する安全評価の内容が、NUREGレポートとして発行されました。この中で重要な逆成層化と言われる現象が注目されました。通常、ウランの密度は10以上で、金属は10以下ですから、酸化物が下に行つて、金属層が上に行くんじゃないかと言われていたんですけども、実はそうではなくて、金属が下に行くという逆成層化が起こるということが言われ、こういった現象を解明するための実験というのが複数機関において行われています。

一つは、このMASCAという冶金的な試験になりますけども、そのほかにもOECDで行ったRASPLAVという実験ですとか、あとはスウェーデンの王立工科大が行った実験等がございます。我々がこのMASCAという実験に参加して検討をやったわけです。

これは非常に小さな試験でして、その中にMA実験というのがございまして、このるつぼの中に重化の UO_2 、あとジルコニウムから成るコリウム模擬体、プロトタイプのコリウムを入れて、アルゴン雰囲気です、2,700Kぐらいまで熱します。こういった状態で溶け切ったところで、上からSUSのブロックを添加するといった実験です。逆成層化が起こるかといったところを観察しました。終了後にテストセクションを縦に割ったところ、やはり金属の層が下に行き、酸化物が上にあり、さらに両相の密度も変化していることが分かりました。この現象の解釈としては、熔融に伴って UO_2 がジルコニウムによって還元されて、ウラン金属に遊離して、それが金属層の中に移った。ウランは重いですから、金属全体の平均密度が高まると同時に、ウランは崩壊熱を出しますから、発熱分布もこれに伴って変わっていくといったことで、IVRという現象は除熱を満遍なくできるかということですから、このように発熱物質が移行するといったことが重要なことですので、きちんと評価できなければいけないということがわかりました。そのほか、このMASCA実験では、いろいろな酸化の程度の影響ですとか、SUSの混入割合とか、そういったものについても影響がデータとして得られています。

我々のほうでは、熱力学データ、データベースを整備いたしまして、こういった現象をきちんと物性的に裏打ちするといったことを行いました。その結果、データベースを整理しましたが、さきの混合物に対する酸化物と金属の平衡の比率に関する予測結果が実験結果とよく一致しました。さらに、金属相と酸化物相内における各種成分比率の予測性もよいことが分かりました。メタルの中にもかなりウランが入ってきているということがわかりますので、こういった知見を使えば、実際のシビアアクシデント解析で得られたメルトの状態でもって、それが仮に保持された場合の逆成層化の様相というのは、最終形態ですけども、ある程度予測する根拠はできました。

さらに、伝熱流動的な評価法ということで、ここは汎用CFDコードのPHOENICSというコードを使っていますけども、これによって逆成層化のシミュレーションをしたものです。これも妥当性確認が必要だということで、BALIという実験です。これは塩水を使った成層化実験ですが、フランスで行われた実験です。このBALIという実験でもって、外表面、これかなり理想化した、薄くスライスした下部ヘッドをモデル化した実験ですが、外表面の

熱流束の分布を、さまざまな乱流モデルにより評価しています。

この実験条件では、かなりレイノルズ数は低いんですが、レイリー数は 10^{16} ～ 10^{17} ということで、レイリー数が10乗を超えるとかなり乱流支配と言われていまして、そういう意味では極端な高レイリー数流れになっています。こうしたものを標準 $k-\epsilon$ で予測することはまず無理でして、こういったサーマルプルームの現象に適した、調整をした $k-\epsilon$ モデル、ANKですとかMKC、あるいはLESといったものに浮力乱流の効果を入れたモデルを使った評価をやっています。こういった浮力効果をきちんと考慮することによって、熱流束分布を適切に評価できることがわかりました。

こういった知見でもって、さきに申し上げましたNUREGでNRCが示しているAP1000の評価結果、これは、実はEnergy Research Instituteという組織が、ランパラメータモデルでやっている簡易的なモデルによる評価ですが、この境界条件を参照して、より詳細に、例えば金属-酸化物の逆成層化がある場合、ない場合と、逆成層化した場合でも酸化物がクラストで完全に孤立してしまう場合と、クラストはない場合と、幾つかのケースの解析を行いました。

この図は、逆成層化して、下が金属で、上が酸化物で、境界にはクラストがないというケースですが、熱流束が厳しいのが、金属の一番上、境界層近くになります。これは、ある程度ウランという発熱物質があるということと、熱伝導が酸化物から来ますので、しかも、熱伝導率が金属層のほうがいいということで、ちょうどこの境界層辺りがピークになるということがわかりました。

こういった、細かい評価ということをやっていくということで、IVRの成立性というものに対する評価技術というものに対して、ある程度、見通しをつけたということが成果でございます。

ついで、一次系の熱流動解析に適用することを念頭に、高圧で推移するリフラックス冷却時の高温側の配管及び蒸気発生器内の誘導挙動及び温度分布というものを、4ループのPWRを前提にして、汎用CFDコードFLUENTによって解析した結果です。ここでは蒸気発生器と炉心圧力容器という、かなり広大な領域をモデル化し、モデル規模は200万メッシュになります。

4ループを、それぞれモデル化しているのですが、加圧器をつけるループについては、このように蒸気発生器までをモデル化していますが、その他のループについては入り口境界条件で与えています。実際にリフラックスを仮定するのは、加圧器のメッシュが隠れて

見えないですが、この加圧器のついたループです。

ここで注目しているのは、全交流電源喪失など、高圧でリフラックス状況になった場合の温度に誘発された伝熱管破断、いわゆるThermally Induced SGTR——TISGTRというものの可能性でして、これに対してMELCORで解析することが通常の方法ですが、こういったCFDによる解析によって、例えば、このホットレグにおける成層化、すなわち、リフラックスによって戻ってくる高温流体と、SGに流れていく低温流体が、ホットレグ配管内で成層化し、界面においてカウンターフローのような現象が発生するのであれば、それも解くことができます。

さらに感度解析としては、加圧器逃がし弁を開閉することによって高温の蒸気というのがサージ管のほうに流れていくケースを解析しました。サージ管の温度を見ると、そちらのほうに分岐すると、サージ管の温度のほうが伝熱管よりも高くなるので、サージ管のほうが先に破損することになります。サージ管がやられても格納容器の中ですから、そういう防止策もあり、そういったことに対しての数値解析コード、CFDコードというものを使っていくという可能性をここで検討したということでもあります。

そのほかのところでは、CFDコードというものを実機の格納容器の流動・冷却・エアロゾル挙動というところには積極的に使っていこうということも、このプロジェクトの中で行っています。これは自然循環によってどういった流れが起きるか。先ほどもちょっと断面図を示しましたが、それと、エアロゾルの挙動について特に注目したものでございます。主な解析の結果で得られた知見というものは、こちらに簡単に書いてあるとおりでございます。

ここから、審査に役立つ知見の整備ということを改めてまとめさせていただきます。

プラントの状況に応じた、シビアアクシデント時のプラントの挙動に関する解析データをデータベースとして整備するというをここでは行っています。アクシデントマネジメントのレビュー等に適切に引用できるようにするには、多数のシナリオについて得られたMAAPですとかMELCORの解析結果をデータベース化して、例えばイベントツリーをクリックすることによって、結果がさっと出てくるようなデータベースとして収納しておくという行っています。

このシナリオの解析というのは、ソースタームまでの事故進展解析までというのが基本になります。ただ、そのほかに、環境影響緩和に関わる国内外の実験ですとか解析等の研究成果というのもの、これは文献データになりますが、このデータベースに付加して、解

析結果と同時に、関連する文献情報というものもここから引用できるというふうなものを考えて構築したわけです。これは、現状では十分に活用されていませんが、新規制基準で新しい重大事故対策も入ってきたこともあり、それぞれの物理現象に対する知見も常にアップデートされていますので、このデータベースの設計及び入れ物としてのアーキテクチャーが非常に参考になるので、今後こういったものを復活して、最新のMELCORの解析結果あるいは文献データというものを、こうした形で活用していこうということを考えております。

まとめは、今まで述べた事柄を簡単に述べておりますので、今後の成果の活用というところを、ちょっと力点を置いて説明させていただきます。

今まで述べてきましたように、12年間継続されたプロジェクトというものをここで総括してきたわけです。

これは知識ベースというものがこれで不要になったということでは決してなくて、実は時を経るに従って、だんだんいろんなテーマを事業の中に追加してきましたので、全体構成を再整理することとしました。まず、解析的及び実験的知見の整備は、今までもやってきた国際共同研究、こういったものを中心にデータの取得ですとかベンチマークに参加していくというものです。2番目は、我々が主体になって行う実験で、これは中間評価でも報告させていただきました海水ですとかスクラビングの試験です。そのほかにも重要な実験というのが挙がっています。3番目は国産コード開発です。これはMELCORではなくて、我々の中でつくっていくコードという位置づけで、これは、必ずしもシステムコードをつくるということではなくて、重要な現象に対して、それだけでスタンドアローンで動くようなコードというものが今のところは主体になっています。例えばMCCIとかFCI、今後つくろうとしているのはデブリ冷却のコードです。最終的に、それが集約されればシステムコードになる可能性はありますけども、いきなりシステムコードを綿々につくっていくという発想ではありませんということです。

こちらは最後ですが、成果の公表になります。長くなりましたが、私の説明は以上です。
○迎企画調整官 御質問、御意見がございましたらお願いします。

では、守田委員、お願いします。

○守田教授 最初の、水素のリスク評価のコード開発のことでお伺いしたいんですけども。

当初はDEFINEという独自のコードをつくられていて、それで、国際的なベンチマーク等でいろいろ現象的な知見とか、その解析技術用の知見が得られたという御説明がございま

して、その後、汎用のCFDコードに、私の理解では、切りかえて評価を行っていかうというふうな流れというふうに理解してよろしいのでしょうか。

○堀田首席技術研究調査官 はい。そのとおりでよろしいかと思えます。

DEFINEコードは直交メッシュで標準 $k-\epsilon$ を備えています。

ただ、水素を解くという観点では、一つは相変化などの新しいモデルを入れなければいけないということと、あとは、見ている現象の中で、例えば先ほど言った浮力支配の乱流場であるとか、成層崩壊とかいうのを見ると、乱流モデルというものを、新しい最新の知見をどんどん入れていかなきゃいけない。

ところが、世の中の汎用CFDコードは、原子力産業での活用に非常によく向いてくれるようになってきた時期があると認識しています。原子力でニーズのあるようなモデルというものをかなり積極的に複数のコードで入れてきたことから、そちらのほうを使ったほうが非常に効率的である、ニーズに即座に応えられるという判断で、徐々に、汎用CFDコードに比重が移っていったという経緯がございます。

○守田教授 それに関連して、最初の国際的なベンチマークのところで、大きく言って二つほど挙げられていたと思うんですが、相変化のバルクの凝縮のモデルが扱われてなかったということと、乱流のモデルの影響が大きいという知見が得られましたという御説明があったんですが、であれば、その後、汎用のCFDコードで同じような現象を計算、解析したときに、従来のコードではうまく計算できなかったのが、汎用のコードで、この問題に最適化したようなコードを使うと、こういうような改善が得られましたというところから何かスタートするのかなというふうに思ったんですけども、必ずしもISP-47のものに対して、今の最新のCFDコードの技術がどういう性能を持っているのかというところの御説明はなかったと思うんですが、そのところはいかがでしょうか。

○堀田首席技術研究調査官 それは今回のものには含めませんでした。

実は、スイスのポールシェーラーのPANDAという実験では、水蒸気充滿している中でスプレイを降らせるであるとか、中で、クーラーで水蒸気を凝縮させるというような実験をやっております、それに対する検証を、やはりFLUENTで行っています。

ユーザ定義関数を使わなければいけないということがあるんですけども、かなり実験を再現できるということを確認してしまして、実は、そこを今回入れなかったというのは、そのPANDAの中での、いろんな安全機器の相互作用の実験を、今の、やはりHYMERESというプロジェクトで継続してやっております、実はそれが集大成的な実験になってしまして、

これは事後評価の対象ではなくて、今も我々がやっている実験ですので、その中で区切りがついたところで、汎用CFDコードにおける相変化も含めた適用性の成果というものは報告させていただきたいと思います。

○守田教授 わかりました。ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

じゃあ、村松委員、お願いします。

○村松客員教授 水素についてなんですけれども、今、これは拡散現象等を中心にして確認していらっしゃるわけですが、水素については、そのほか爆轟へのトランディションですとか、その爆轟からの構造物への圧力の計算ですとかといった、そのほかにもいろいろ課題があって、福島事故の場合は格納容器から漏えいした—どういふふうに漏えいしたかははっきりしていないけれども、漏えいした水素が格納容器外で燃焼したということがあって、そういう、それ以外のものというのについては、どのように対応していらっしゃったのでしょうか。

○堀田首席技術研究調査官 知識ベースの整備の中では、福島事故後に各号機の爆轟解析というものを行っております。これも、今回の事後評価の対象とはしておりません。

水素の、燃焼の評価に関する今までのNUPECのころからの流れを追ってみますと、実はコンパートメント単位の燃料伝播というところでは、この知識ベースの整備以前に取組がございました。

その後、実は国際的には数値解析により水素燃焼を予測するISP-49というのがありましたが、それには参加していません。我々としては、緩やかな燃焼と爆轟の間を埋めるべく、遅いフレームアクセラレーションから、速いアクセラレーションまでのISP-49を、CFDで解くという取組を進める予定です。これを合わせて、やはり集大成として水素燃焼については報告させていただきたいと考えています。

○村松客員教授 ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかに。

じゃあ、笠原委員、お願いします。

○笠原教授 膨大な実験解析をやられていて、非常に興味深く聞かせていただきました。

それで、最初にちょっとオーバーオールな感想というか意見で、あと、その例として一つ具体的な質問をさせていただきたいんですが。

これは、解析で現象そのものを追っかけようとすると、多分切りがないことになります

よね。それで、今日は鍵となる現象からと言ったんですが、恐らく最終的な高ソースタームの評価であるとか、あるいは安全向上対策に一番大事なところから解析で追えるようにしようというのが大きな目的だと思うんですが、何が最低限満足できればいいのか、何が一番優先なのかというのが、全体的にちょっとわかりづらかったかなという印象がありました。

例えば、一つの例として、先ほど守田委員のときのやりとりでも出てきた温度成層の解析ですね。これを取り上げますと、成層界面の何を評価しようとしているのか。現象そのものを表せないでは評価にもならないというのはわかるんですが、成層界面の結局何が、例えば前回ですと、トーラスでの混合というか、スクラビングの効果ということに温度成層が関わるということはわかったんですが、今回の例ですと、この現象の何が一番鍵になっていて、どこまでそれを合わせようとしていることになっていたんでしょうか。

○堀田首席技術研究調査官 こちらのThAIの実験では、まず、計測項目が壁面に沿った1次元的な温度分布及び濃度分布になっています。そのため、空間的な分布がは見えません。あとは、注入の仕方というのも重要でして、成層化が発生しやすい方法で注入してしまし、結局、でき上がった成層化の、高解像度で見れば濃度分布が連続的に変化していますが、そういうものを少ないデータで見ている実験にすぎないということです。この時代の実験の技術、あとは乱流モデルのレベルではこういったことだと考えています。

現在では、測定点数が多くなってしまし、しかも、成層化をさせるという技術は、もうここで確立しているので、例えばジェットを噴出して当ててみて成層化がどう崩れていくかといった過渡的な状態を、PIVなどによって速度も合わせて見ているということです。

ですから、本来的に言えば、実機で問題になるのは、どういう水蒸気が流出をすると成層化が起こりやすいとか、起こりにくいということを言いたいわけです。そうすると、やはりそこまでの高解像度の実験データと数値解析モデルがないと、そこまで言えないだろうと考えています。

そういう中で、ここは一つ区切りをつけてここで報告させていただいたわけですが、先ほど申しあげましたPANDAからHYMERESという一連の実験の中では、そういった、成層化の界面の過渡的な状況、詳細な状況も含めた検証を行っていますので、そういうことがお答えになればというふうに考えますけども。

○笠原教授 半分ぐらいわかったんですが、成層現象を追いかけると、多分、先ほど言いましたように、かなり長い、ゴールに至るのにすごい距離があると思うんですが、例えば、

これはちょっと勝手な想像なんですけど、成層界面でも、どのぐらい流体が中で混合しているかというのを見る場合と、それから、例えば成層界面近傍で大きな熱応力が生じて構造解析をやるとかという場合だと、随分、要求精度が違ってくるはずなんですよ。

そういう面で、一体、成層界面の何を問題としているかということで、ゴールが随分遠かったり近かったりすると思うんですが、その辺、どこまでを大体目標にされているんでしょうか。

○堀田首席技術研究調査官 水素という観点で申し上げさせていただきますと、やはり最終的に求めたいものは、仮に、局所的に濃度が濃くなって燃焼した場合、安全機器に影響が及ぶのかどうかというところまで、できれば求めたいと考えています。

そういう意味では、今の実験のレベルというのは、まだPANDAというのもかなり大きなものですけども、大体数 m^3 ぐらいの空間での成層崩壊ぐらいまで求められるように、実験としてわかるようになってきた。形はかなりシンプルです。ようやく、それにジェットを当てたり、障害物でできた渦の影響を見たりという状況になっていますので、実機で問題になる、いろいろなジオメトリが複雑な空間で、水素ポケットができないかとか、そういうところを追うまでというのは、まだまだちょっと距離があるかなと思いますけども、だんだん局所になれば爆発の影響というのもそれだけ小さくなるだろうということもありますので、その辺で、多分あるところでは実用レベルには達するというふうに考えています。

今、我々が考えているのは、例えば実機の格納容器を、例えば $1m^3$ 以下の、大体それぐらいのメッシュに切って、そこでの濃度をきちんと見られて、爆発の影響を評価できるようになるというのが一つのゴールと考えております。

○笠原教授 ありがとうございます。

そういった整理というか、何がポイントかというのがわかると、ほかの部分でも理解が得やすいかなと思いました。

どうもありがとうございました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

じゃあ、守田委員、お願いします。

○守田教授 IVRのところについて説明をお伺いしたいんですけども。

実験解析のほうを汎用のCFDコードのPHOENICSを使って解析され、解析上どういうことを考慮しなきゃいけないかという知見が得られたという御説明がございまして、IVRの評価技術に見通しを得たというふうに説明をいただきました。

それで、実際に実機——これはあくまで実験解析なので、実際の実機の現象を追いかけてよと思うと、その融体の相変化を扱ったりとか、あるいは、この前の説明でございました熱力学的なデータベースをちゃんと使って、その相分離を過渡の解析の中でやっていくとか、そういうようなことが必要になるんじゃないかなというふうには思うんですけども。

最終的に、実機への適用、実機の評価をしていく上で、どういうふうにこの成果を利用されようとしているのかというのが少しわかりにくくて、最後に説明がございました、どういうふうに安全研究の成果を集約していくかという知識ベースのところ、今後の成果の活用のところで御説明をいただきましたけども、この中で言うと、例えば、こういった実験解析等で得られた知見が、最終的には国産のシビアアクシデント解析コードの開発の中に生かされてくるとか、そうではなくて、これはPHOENICSのコードをもっと改良していったって実機に使えるようにするんだとか、その辺はどういう、どこにベクトルが向いているのかというのが、この研究成果から得られている知見がどういうふうに生かされるのかというところが、少し全体の安全研究のフレームワークの中での位置づけがよくわからないところがございまして、その辺のところを補足いただければ助かります。

○堀田首席技術研究調査官 ありがとうございます。

確かに、ここの事後評価では、これはAP1000のNUREGレポートの再評価、確認評価という形で、クローズした形で報告させていただきましたが、実は、我々は国産コード開発の中で、デブリベッドの冷却の詳細コードをつくるというプロジェクトを立ち上げているところでありまして、それはキャビティだけでなく、下部ヘッドの中での、やはり冷却というものがあります。

既存炉の場合、IVRというコンセプトはありませんが、例えばRVヘッドの貫通ということになると、やはりこの逆成層化する可能性があるのであれば、それを考慮しなきゃいけない。CFD的に精緻に解くかということは、まだそこまでコンセプトはない。より粗いメッシュで解くという発想を今のところは持っておりますが、さきに示したこのデータベースによって物質移行がどう起こるであるとか、それによって崩壊熱分布がどう変わるかということは、コースメッシュのコードには知見として活かしたいというふうに考えております。

○守田教授 ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

村松委員、お願いします。

○村松客員教授 少し、質問というよりコメント的になります。

ただ、私の見方が非常に偏っているかもしれないので、その点はまた反論していただきたいと思うんですけども、感じましたのは、まず、私はリスク評価を専門にしてきて、そのための学会の標準等の整備の活動に長く携わってきたものですから、そういう観点でまいりますと、こういうシビアアクシデントの解析方法に関する知見というものは、その解析に関する規格とか標準とかというものの形に整備されないと、なかなか現実には役立たないのではないかというふうに感じております。

そういう意味では、どのようにして定量化するかとか、あるいは定量的なモデルをつくるときに、どこに注意しなければいけないかということの形で、応用オリエンテッドといえますか、そういう形で知見をまとめていくということが必要なのではないかと思います。

その観点で見ますと、例えばエアロゾルについて、蒸気発生器の中での沈着の仕方について、実験に基づいて定量的なデータ、モデルをつくったと。それが管群の中では非常にとれるけれども、それ以外のところではあまりとれないんだと。それから、水を張ったほうが有効なんだということがわかったという、そういう、そこから何が出てくるかということもまた解説していただいたわけですけど、そういう進め方というのは非常に適切だと私は思います。

また、その同じ考え方で見ると、水素については知見が得られているんだけど、まだそのガイドに結びついていない。まさに、これは今の御説明の中でもそこが課題ということで指摘されているわけですけども、まさにそのところは、今後これからまとめていく上で、そういう解析のためのガイドになるような形でまとめていただければと思います。

規制のための知見のデータベースをつくるということでもありますけれども、これについては、単に情報を集めるということでは、きっとその宝の持ち腐れになるのではないかと。ちょっと変な言葉で申し訳ありませんけれども、その恐れがあるので、それも、やはり何のために使うかという応用解析の例を示しながら、その中で、こういう問題はどうか解析しなければいけないんだということがわかったという形でまとめていただくというふうに、体系化するという努力を間に入れる必要があるのではないかと思います。

そういうとき、規制庁さんだけでは大変だと思いますので、学会等の場をぜひ活用していただいて、いろんな人に検討してもらおうということが重要ではないかと思います。

あと、もう一つだけつけ加えさせていただきたいのは、この成果として論文投稿とか学

会発表が示されているんですけども、私は、規制庁が行う研究というのは、こういう査読があるかどうかで価値を判断するとか、そういうものではないんじゃないかなど。それは大切なんですけど、世界的に誰もが認めるジャーナルに出すということは非常に大事なことです、レベルを維持するために。ただ、そのほかにもあるんじゃないか。

例えば、国際協力によって得た情報を学会の総合講演とか企画セッションとかで解説として示すとか、あるいは学会誌等に解説記事として示すということが、それによって、多くの人に知らせることによって国内の技術レベルが上がるということがあると思います。

実は、私は、これは不満ではなくて、シビアアクシデントの皆様はよくやってらっしゃると、私は、実は思っているんです。

と申しますのは、私も企画セッションをつくったりした者ですから、そこで規制庁さんからも、いろんな方に発表していただいて、ああそうかということが、わかったことが非常に多かったです。また、昨年度の原子力学会の解説記事にしても、こういう、実は解析コードのV&Vについては世界的にはこういう動きになっていて、その実験に基づいて、むしろ不確かさの評価ができるようにしていくことが必要だといったようなことも規制庁の方が示されているんですけども、そういう意味でも、実は学会をリードする活動をしていらっしゃることが私はわかっているものですから、そういうことも、むしろ評価されるような技術評価であったほうがいいんじゃないかというふうに思っています。

ただ、それは学会にサービスするということが逆の方向に、規制庁の独立性とか、そういうことに影響されるということであれば、それはいけないわけですけども、私は、むしろ公開して、誰もが現在の最新の情報にアクセスできる活動を助けるということによって、規制庁の審査のレベルも、それから審査を受ける側のレベルも上がると思っております。

○梶本安全技術管理官 コメントありがとうございます。

その件について、私のほうから少し補足させていただきたいんですが。

こういう、いろんな得られた成果を審査ガイドとかそういうものに反映していくという形は、これからも続けたいと思います。

ただ、規制庁のつくる審査ガイドは概ね性能規定になりますから、かなり細かいところを民間の規格になっていくと思います。その際に、こういう情報をどう伝えていくかという問題が一つあると思いますが、最近、原子力規制委員会のほうも、学協会との関わりのあり方とか、そういうことについて議論をして、先月も学協会の皆さんに規制委員会に参

加していただいて議論を進めているという状況ですので、今後、そういう学協会とのあり方がきちんと決まっていけば、十分情報交換もこれからできるようになるんじゃないかというふうには思っています。

○村松客員教授 ありがとうございます。ぜひ進めていただきたいと思います。

○迎企画調整官 ほかにございませんか。

じゃあ、笠原委員、お願いします。

○笠原教授 村松先生の意見に大変賛成で、それに関する若干の質問なんです。

最後の、知識ベースの活用のところで、実験の事実であるとか客観的な結果というのは、多分、規制側とか事業者側ということではなくて、ある客観的なデータだと思うので、学会にかかわらず、何かそういうことをステークホルダー間で共有するようなことを今考えておられているのかどうか。

それから、もう一つは、先ほども議論があったんですが、ただデータだけあっても、どう使うかというのは、なかなか難しいので、第1回のときにも少し意見交換したと思うんですが、パートみたいな、何が重要かというのと対になって示すとか、そういう御計画はございますでしょうか。

○梶本安全技術管理官 このシビアアクシデントの知識ベースの整備は、随分長いプロジェクトだったので、ようやく一段落しているんなものの整理がついてきた。今後、何をやらないといけないかということも明確になってきましたので、その次の、次期の進めるときに、そういう分析をもとにしてきちんと進めていきたいと思います。

それからまた、学協会とか、そういうことのあり方については、技術基盤のこのシビアアクシデントのチームだけで決められる話ではないので。ただ、これについては非常に私も重要だと思っていますので、ぜひともそういうふうに進めていくよう調整していきたいとは思っています。

○迎企画調整官 基盤課から補足させていただきます。

一応、組織理念を規制委員会が決めていまして、その中で、当面で開かれた組織というのを活動の原則の一つとして掲げています。

そこの中には、規制に関わる情報の開示を徹底するということと、国内外の多様な意見に耳を傾け、孤立と独善を戒める旨の記載がありますので、多分、基本的には研究の成果を公開していくことは、そういう方向を示しているものとは認識しているんですが、具体的にどうやっていくかとか、そういったところがちょっと全然はっきりしていないとい

うか、学協会とか、そういったところの関係も含めてですね。だから、今はちょっとそういったところで今後、議論をしていくべきことかなというふうに考えています。

ほかにございますでしょうか。よろしいでしょうか。

続きまして、シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持について、同じくシビアアクシデント担当付の星主任技術研究調査官から説明をお願いいたします。

○星主任技術研究調査官 それでは、シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究について御説明いたします。

今回、この目次に示しますように、初めに研究概要を示しまして、その後、この事業の中で主に検討しております現実的格納容器ソースターム評価の成果、ガス状ヨウ素再放出試験の成果及び過剰水素処理試験の成果、この三つの成果について御説明しまして、その後、これらで得られた成果の活用についてと成果の公表等という形で御説明いたします。

まず、本研究の概要でございますけれども、平成17年度～平成26年度までの間で実施してまいりました。この研究では、軽水炉でのシビアアクシデント晩期における格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究を進めてまいりました。

ここで、「シビアアクシデント晩期」と書いておりますけれども、このシビアアクシデント晩期というのは、一般的にシビアアクシデントが発生した後に、エナジェティック事象等が収束した後の期間を指し示しております。先ほどのAM知識ベースのほうで行っていたものとは期間的に少し分かれたところを研究対象として実施しております。

東京電力の福島第一原子力発電所事故では、残念ながらアクシデントマネジメント策が有効に働かずに、格納容器の健全性が損なわれる結果となりまして、環境へ多量な放射性物質が放出される事態となりました。

ただ、この研究の中では、緩和のAM策は基本的に成功していて、格納容器の破損自体は防止されているというような状態を前提としております。

具体的には、炉心冷却が失敗して、原子炉圧力容器自体は破損して、Ex-Vesselのフェーズにはなっておりますけれども、熔融炉心は、格納容器ペDESTALに移行したものは、今度はペDESTAL注水等によってデブリが冷却されているということ。それによって熔融炉心、MCCIの反応自体は抑制されて、それに伴う非凝縮性ガスの発生を抑制されているということ。

それから、RHRは基本的に復旧して定格流量での格納容器スプレイ等によって格納容器自体は除熱されて、崩壊熱は基本的に除去されていると、そういった状況において格納容

器内のソースターム等を評価しております。

格納容器の破損を防止して、大量の放射性物質の放出を防止した場合であっても、実際には金属-水反応等によって多量の水素ガスが格納容器の中には放出されております。

したがって、その水素によって、格納容器の中は大気圧よりも高く保たれた状態であるということが考えられますので、そういったものの対策等について考えています。

また、長期的には、例えば微意ですけれども、圧力抑制プール等にセシウム、ヨウ素等のFPは閉じ込められますけれども、そこは高い放射線場になりますので、その中でガス状ヨウ素が再浮遊するといったことも考えられますので、そういった評価手法についても検討してございます。

シビアアクシデント晩期の格納容器内のソースタームを評価するためには、当然ながら最新の知見を集約することが必要でございまして、この研究の中では、過度な保守性を排除して、できるだけ最適評価に基づいたソースタームを評価するための検討というものを進めております。そのためには、解析モデルを整備するために、既往の実験の解析等を行ってモデルの妥当性について確認しております。

また、事故時の被ばく線量評価には、ヨウ素はかなり大きな影響を与えますけれども、このヨウ素につきましては、放射線場ではかなり複雑な挙動をとることが、かなり以前から実験等で確認されてございまして、そのヨウ素挙動についてはOECD/NEAの中で国際共同試験として実施されておりますBIP試験というものに参加してデータを取得しております。

また、同時にこの国際共同試験とは補完するような形で国内試験として、後で説明しますけれども、JAEAのほうで委託研究として基礎試験を実施してございまして、補完的なデータを取得してございます。これらの実験で得られた知見を蓄積し、評価手法を整備しております。

また、シビアアクシデント時には多量の水素が発生しますが、この研究の中では、特に窒素で不活性化されたBWRの格納容器の中に最終的に残存した過剰水素をどのように処理できるかという、その処理方法について検討してございます。

具体的には、格納容器の中に蓄積した水素を化学的な触媒を用いた方法によって処理して、格納容器の圧力を低下させる手段が工学的に実現可能かどうかということについて評価してございまして、シビアアクシデント環境下で想定される温度、湿度、あるいは水素濃度、こういったものを条件下で水素処理をする評価モデルを構築するために、基礎的なも

のと工学規模での基礎データを取得しております。

こういったシビアアクシデントの環境下では、燃料から放出された放射性物質といったものの、触媒を使う場合には被毒という影響が考えられますので、そういった被毒の影響も加味した上で実現性があるかどうかということについて検討してございます。

では、まず初めに、現実的格納容器ソースターム評価の成果について御説明します。

シビアアクシデント晩期の格納容器内の放射性物質の挙動及びソースターム量を、これはできるだけ過度な保守性を排除して現実的に評価するという事は原子力防災等の観点からも重要であるというふうに考えてございます。

現実的なソースタームの評価をするために、この研究の中では米国のPeach Bottom、これはBWR Mark I型格納容器でございますが、それとZionプラント、これはPWRのほうで、PCCVの格納容器を対象として、米国のNUREG-1465で大体ソースタームが報告されてございますけれども、これをレファレンスとして、幾つかの代表的な事故シーケンスについて、シビアアクシデントの総合解析コード、これは規制側ではMELCORコード、それから、産業界ではMAAPコードが用いられておりますけれども、この代表的な二つのコードを用いてパラメータの感度解析等を行いまして、解析結果を比較しております。

MELCORコードの放射性物質の化学モデルについては、開発途上のもので実験結果等を用いまして、そのコードの改良等も試みております。

この中で改良した放射性物質化学モデルを組み込んでMELCORコードの検証解析を実施してございます。

この事業の中では、先ほども御議論をいただきましたけれども、現実的なソースタームの評価手法について検討しておりまして、その中で、日本原子力学会において「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」という特別専門委員会を平成18年～22年まで設置しておりまして、その中でソースタームの評価の現状調査を行いまして、放射性物質のエアロゾル挙動あるいは熱流動現象等を中心にして、ここに示しますような、最終的には報告書という形で取りまとめております。

また、この研究の中では産業界で使用されているMAAPと、規制行政で利用するMELCORコードの、特に放射性物質の挙動に関するモデルについて比較検討をしてございます。

国際的な共同試験としましては、放射性物質の移行挙動の総合試験としましてPhebus試験というものがございまして、このPhebus試験のFPT-1～3の試験について、MAAPコードによって燃料の温度、それから燃料から放出される放射性物質の移行挙動等について検討し

てございます。

MAAPコードを用いた解析の中では、炉心の損傷については、ほぼ妥当な結果を与えるということを確認しておりますけれども、放射性物質の放出については、実際の実験結果よりは、やや過大に評価するという傾向があることを確認しております。

MELCORコードと同じ事故条件のもとで、MELCORとMAAPでPWRのZionプラントのシビアアクシデント解析を実施して、それぞれの格納容器内のソースタームを比較しております。

ここで書いてある結果は、MELCORコードを用いて解析した結果でございますけれども、このような解析をMAAPでも実施しまして、NUREG-1465で示されているソースタームと比較検討しております。

この中の検討の結果から、MAAPとMELCOR、両コードのソースタームは、NUREG-1465とほぼ同等か、それより小さいということを確認しております。MAAPとMELCORの放射性物質の移行そのもののモデル、それから解析結果については相互に矛盾がない結果であるということを確認しております。

この中で、CsIは炉心からほぼ全量が放出されますけれども、水相へ溶解又は压力容器の内壁等に沈着して、格納容器内のソースタームはNUREG-1465及びMAAPの解析結果とほぼ同等と評価されております。

我々は、シビアアクシデント総合解析コードとして、米国規制委員会が開発しているMELCORコードというものを導入しております。これを主に使用しております。

この中で放射性物質の移行挙動に関するモデルの妥当性を確認するために、Phebus試験あるいは、その他国際共同試験等で得られたデータ等を用いまして、そのモデルの妥当性というものを確認しております。

ヨウ素につきましては、Phebus-FPT試験に加えまして、ヨウ素そのもの、個別の効果試験として行われましたRTF試験であるとか、あるいはOECDのBIP試験等について解析して、個別に、その挙動について検討しております。

ここに示しましたのはPhebus試験。Phebus試験は燃料が溶けて、そこからFPが放出されるところまで、格納容器も模擬した形で総合的に評価した試験ですけれども、そのPhebus試験の炉心のヒートアップと、それから、そのときのFPの放出挙動等について検討した結果でございます。

この左側に描いてありますのが炉心の温度でございまして、右側が燃料から放出された放射性物質の放出割合を示してございます。ここに示しますように、炉心の温度あるいは

FPの放出割合等につきましても、MELCORの解析結果は実験結果と概ね一致するというを確認しております。

ただ、若干、一番最後、燃料温度が、実験では、ここで3,000K近傍まで上昇していますが、MELCORの解析の場合には、途中で燃料が溶融して下部フレイムのほうに落下するというので、燃料温度が最終的には実験結果ほど上がらずに燃料に移行していることを確認しています。その影響もあって、FPの放出自体も燃料落下に伴って停止しているという結果になってございます。

続いて、このスライドはヨウ素の挙動について検討した結果を示しております。

プール中のヨウ素化学モデルにつきましては、OECD/NEAの国際標準問題、あるいは、OECD/BIP試験等で取得したデータに基づきまして、検証解析を実施して、ヨウ素の吸脱着反応等のモデルの妥当性を検討しております。

ここに示しているのがプール中のヨウ素濃度あるいは気相の濃度、一番最後はpHの評価結果で、これはちょっと後ほど御説明しますけれども、プール中のヨウ素濃度、あるいはこの一番左の図ですけれども、これは概ね実験値と解析値は一致することがわかりましたけれども、気相中につきましても、定性的には解析結果と実験値は一致しているんですけども、定量的な評価ができるほどの精度には至っていないことを確認しております。

試験では、系内のヨウ素挙動、ヨウ素全体の挙動は放射性のトレーサー等を利用して測定しておりますので、その物質収支等については把握されていますけれども、実際には、ヨウ素は非常に多種多様な化学種が存在しまして、その個々の存在量、濃度等については試験の中では確認し切れれておりません。

そういった個別の実験的な結果あるいはデータ等が取得できていないために、ヨウ素モデルの精度が、現在のところはまだデータ不足のために十分成熟していないというふうに考えてございます。

また、MELCORコードの放射性物質の化学モデルにつきましては、pHを算出するモデルについて、もともと強酸・強塩基の反応のみが含まれておりまして、弱酸・弱塩基が反応するような系でのpHの算出について少し課題があるということがわかっておりましたので、この研究の中では、そのpHの算出について幾つかの反応を取り込むことによって改良を行っております。

この図の一番上の線が、もともとのオリジナルの評価結果でございまして、この丸印が

実験値、この直線二つが改良したMELCORの解析と、ちょっと色がわかりにくくて申し訳ありませんけど、この青で描いたものが米国の環境省が開発している計算モデルの計算結果でございます。この解で弱酸・弱塩基等を含む系でのpH計算精度が飛躍的に向上したことによって、pHの解析結果というものは米国環境省の開発する解析コードとほぼ同等の結果が得られております。

続きまして、ガス状ヨウ素の放出に関する試験を国内で実施しております。

これはJAEAに委託して実験を行っておりますけれども、軽水炉のシビアアクシデント時には、損傷した炉心から放出される放射性物質のほとんどが格納容器の中に移行して、事故後には、短期には沈着するか、あるいはプール水に溶存することになります。

ただ、事故後、晩期におきましては、放射線の作用であるとか、あるいはプール水のpHの変化、これは特にヨウ素の場合には酸性になるとガス状のヨウ素が放出されるということがよく知られておりますけれども、そういった影響によりまして、ガス状ヨウ素が格納容器の気相部に再放出されて、それが格納容器空間部のソースタームに影響を与えるというふうに考えてございます。

そのヨウ素の再放出の挙動の評価に関しては、シビアアクシデント時の格納容器内の環境で予想される高温あるいは高放射線照射下、あるいはさまざまな不純物等が含まれるということが考えられますので、そういった影響を考えながら、ソースターム評価の大きな不確かさ因子について検討する必要があるというふうに考えて、この中で気相的な個別効果評価試験を行っております。

ガス状ヨウ素の再放出の挙動に関するパラメータ試験としてさまざまな試験を行いましたので、その結果について御説明いたします。

具体的には、JAEAの中で、ここに示しますような⁶⁰Co- γ 線照射装置の中にヨウ素を含む溶液を入れまして、ここでヨウ素を含む水溶液を γ 線照射します。この中で、放射線分解等によってラジカルが発生しまして、その中でヨウ素のガス状のものができますと気相部へ放出されて、それが最終的にNaI- γ 線の検知器のところにたどり着いて、ここで放出されるヨウ素を検出するという形で、ガス状ヨウ素の放出挙動について評価しております。

この中で、さまざまなpHあるいは気相のガスの成分あるいは空間線量等、いろいろなパラメータを変更して、その影響を調べておりますけれども、この左側の図は、pHを弱酸性からアルカリ性まで振った場合のガス状のヨウ素の放出挙動について示したものでございます。幾つか有機物の不純物等を加えた形で確認しておりますけれども、ここで示します

ように、概ねpHが高くなるに従って、ガス状のヨウ素の放出割合が下がるということで、ここに示しますような経験式がこの試験から得られております。

また、事故時には格納容器の中のケーブル等から塩化物が生成されるということが予想されますけれども、その塩化物の影響を調べた結果が、この右側のグラフでして、試験の中で、若干、試験の開始と終了のところでpHの変動がありますので、データを整理して、pH7の状態での放出量というものを、こちらで得られた相関式から比較して再評価しますと、この図に示しますように、ほぼ塩化物イオンの濃度の影響はないということが確認されております。

また、事故時には、金属-水反応等によって多量の水素が発生していますので、その水素の影響がどのようにあるかということを確認しております。

ここに、この図で示しますけれども、水素濃度が上昇するに従いまして、ヨウ素の放出率というのは低下しております。これは、水素が多くなると水素の還元雰囲気によってラジカルが消費されるということで、無機ヨウ素の生成が抑制されたものというふうに考えております。

この試験の中ではヨウ素の放出率を評価してございますけれども、この試験の中では、気相部を、強制的にガスを掃気することによって試験を行っておりますので、ここで示した放出率というのは、閉じた空間での放出率とは単純に一致しないということが若干注意の必要な点であります。

これらで得られた基本的な知見というものは、ヨウ素のモデルのほうで利用することにしております。

最後に、格納容器内の水素処理の試験結果について御説明します。

若干繰り返しになりますけれども、シビアアクシデント時には、格納容器の中には多量の水素が残ることになります。

PWRのように酸素が系内にある場合には、酸素と水素を結合させて水素を処理するという方法をとることが可能ですけれども、BWRのように窒素で不活性化した系では、それによって水素の燃焼や爆発・爆轟というものが防がれることになるわけですが、一旦発生してしまった水素を処理しようとすると、水素と酸素を結合することは化学量論的に難しいということで、その代替となるような処理方法が工学的に実現可能かどうかということについて検討しております。

窒素ガスで置換されているBWRの格納容器の中では、そのような水素をどう処理する方

法が、工学的に実現性があるかということで、ここに示しますような幾つかの代表的な手法について、その長所と短所を確認して、例えば燃焼というの一番単純な構成ではありませんけれども、酸素の供給が基本的に必要で、これは窒素で……したBWR格納容器では使えないということ。それから、水素の吸蔵合金のようなものは、これは化学結合で水素を吸収することができますけれども、その分だけ物量が多くなってしまったという欠点もございませう。

これらの手法について比較検討した結果、最終的には、窒素と水素を結合してアンモニアを合成するという手法が、酸素が不要であって、触媒を使う方法ですと装置の設置スペースも少なく済むといったこともあって、この手法について検討してございませう。

今回、この中で検討した水素処理触媒は、この図で示しますような活性炭を単体としまして、そこに実際の触媒としてはRuがありまして、さらに、その触媒の性能を向上させるための添加物として、セシウムを添加したRu触媒を用いております。

このRu触媒を用いた理由は、工業的には鉄系の触媒というものがアンモニア合成ではよく使用されているんですけども、鉄系のアンモニアというものは、水蒸気が若干でも入ってしまうと完全に失活してしましまして、シビアアクシデント環境下では、実際には使うことはできないということがありまして、水蒸気が共存しても活性を保つことができる触媒として、このRu触媒について検討しております。

若干、そのRu触媒を使うときに温度を高める必要があるために、ここで示しましたような3層構造の触媒層というものをを用いて温度の調整をするということを検討してございませう。

今回用いた触媒につきましては、まず水蒸気環境下におきましても活性が担保されるということが確認できております。また、最終的にシビアアクシデント環境下で使うときには、放射性物質の被毒の影響というものが考えられますので、その影響について検討しております。ここに示しますように、CsIを添加する形で、その被毒の影響を調べております。

モル比10%程度の被毒では、触媒の活性に対してほとんど影響がないということがわかっておりまして、また、ヨウ化メチル、有機ヨウ素につきましても、被毒の影響を確認しまして、その影響がないと、ほとんど影響がないということを確認しております。

こういった触媒が、大型の試験装置においても所定の性能が出るかどうかということ、ここに示しますような大型の試験装置を構成しまして、この中で確認しております。

ここで得られた結果は、実験室規模で得られた試験結果と整合する結果が得られておりまして、ここの大型装置で得られた試験結果から、実機への適用性の予備解析を実施した結果、RCCVの格納容器プラントでは、概ね1週間程度で格納容器の圧力は大気圧近傍まで低下するという見通しを得ております。

以上、まとめますと、軽水炉のシビアアクシデント時の格納容器内ソースタームに関する国内外の最新知見を取りまとめて、日本原子力学会からは「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」という報告書を発行しております。

また、代表的なシビアアクシデントの総合解析コードであるMELCORコードとMAAPコードの放射性物質の挙動に関して比較検討して、両者に大きな相違がないということを確認しております。

また、MELCORコードにつきましては、Phebus試験の結果を用いて、その放射性物質の挙動モデルの妥当性を確認しておりまして、解析結果は試験結果と定量的に概ね一致するというを確認しております。

また、ヨウ素挙動につきましては、国際試験に参加してデータを取得するとともに、また、その試験を補完するような形で国内でも分離効果試験を実施しております。

また、格納容器内の水素の処理につきましては、アンモニアを合成する水素処理方法の工学的な実現性を確認しておりまして、今回検討したRuを担持した触媒を用いることで、水蒸気雰囲気下においても水素処理ができるということ、また、放射性物質の被毒の影響もほとんどないということを確認しておりまして、大型試験装置においても、その所定の処理能力があるということを確認してございます。

この研究で得られた成果の今後の活用につきましては、MELCORコードの1.8.5というものを以前から使っておりますけれども、その中のヨウ素化学モデルをベースとしまして、国内外の試験結果で得られた知見を取り入れて放射性物質の化学モデルを改良しております。

ここで得られた試験結果、知見というものは、今後、別途進めますシビアアクシデント試験と国産コード開発の中で活用することとしております。

成果の公表につきましては、ここに代表例を書きましたけれども、その他いろいろ得られた知見については、これまで公表してございます。

以上でございます。

○迎企画調整官 御質問、御意見がございましたらお願いします。

守田委員、お願いします。

○守田教授 残存する過剰の水素を処理する方法について検討されたという説明がございましたが、少し位置づけがよく理解できてなくて教えていただきたいんですけども。

こういった水素を化学反応で処理するやり方について、工学的な実現性を評価されたという御説明でしたが、ということは、まだ実用化されていない手法だというふうに理解しました。これが将来、事業者側のほうでこういったようなAM対策を採用しようとしている動きに合わせて、こういう非常に工学的な実現性を評価するというのは、審査の、規制側からの立場としてどういうことを目指そうとされているのかなというのがちょっとわからなかったんですけども。

そういうような動きを先取りして、そういうR&Dをやろうとされているのか、あるいは、将来的に、今、事業者側でそういうようなことを採用しようとしている動きはないんですけども、規制側のほうでこういったAM策を一つの推奨する策として提案あるいは推奨しようとしているのか、それとも、何か国際的な国外でのそういう動向をにらんだ上での研究開発をされているのか、ちょっとその辺のところを教えてくださいませんか。

○星主任技術研究調査官 このBWR内での格納容器の水素処理方法というものは、実際、福島であいって水素問題が顕著になる前にもう既に始めた研究内容でして、先ほどもちょっと申しましたけども、PWRの場合には格納容器の中に酸素があるということで、格納容器の中で水素と酸素を結合させるという方法が、イグナイタであったり、あるいはPARと呼ばれる触媒方法であったりとか、複数を考えられますけれども、BWRの場合には、そもそも酸素の量が非常に少なく、金属-水反応で発生した水素は処理し切れないということで、そうしますと格納容器の系の外に持ち出すということが必要になります。そうしますと、一緒に、FP——放射性物質も格納容器の系の外に出ていく可能性がありますので、そういったことも考えますと、格納容器の中で処理する方法ができないかどうかということで、当時は、むしろ事業者よりも、やや若干、規制側で、そのR&Dとして少し先取りするような形で始まったというふうに考えております。ただ、我々は、あくまでも工学的な実現性について可能性があるかどうかということをおこなう中で確認してございまして、実際に事業者がこういった手法を実機に適用するという動きがあれば、それをこの規制の中で、審査の中で確認するために必要なデータというのはまた別途取得することにはなるとは考えられますけれども、この中では、あくまでもその実現性のみを確認するという形で進めてまいりました。

○守田教授 国際的な動向については。

○星主任技術研究調査官 国際的には、これも今のところ、水素の燃焼や爆発についてはBWRの場合は窒素で不活性化するという事で国際的には対応をとられておまして、このシビアアクシデントの事象が収束した長期的な対策としては、今後どんなものがあるかということはまだ研究はこれからの課題ではないかというふうに考えています。

○守田教授 どうもありがとうございました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

村松委員、お願いします。

○村松客員教授 ヨウ素関連なんですけれども、幾つかの実験をなさっていて、それによるモデルについて、やはり最後は定量的な評価に結びつくモデルにしていくことが必要だと思っております。

その定量的なモデルということについては、例えば12ページに、無機ヨウ素の放出率については総線量で規格化して、pHと放出率の相関式を得たという形になっていますけれども、こういうものは、最終的にはMELCOR等の解析コードに反映されたと考えてよろしいのでしょうか。

○星主任技術研究調査官 改良したものは、まだ開発途上で、組み込めるものについては、そのソースコードがあるものについては取り組んでおりますけれども、今後、先ほど説明しましたような国産コード等にこれらの知見というものは反映する形でモデルを整備していきたいというふうに考えております。

○村松客員教授 ありがとうございました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

笠原委員、お願いします。

○笠原教授 Phebus試験について教えていただきたいんですが。

8ページだったか、実験より低い温度でリロケーションしてしまうとか、燃料デブリが下方に落下してしまうという、その理由は分析しているのでしょうか。

○星主任技術研究調査官 MELCORの中で炉心損傷するときのモデルとしまして、ある特定の温度になりますとデブリになって、それが鉛直下方向に落下するというモデルが入っておりますので、その設定がこのPhebusの試験結果と比べると若干低いために、その温度はある程度、ここで行きますと2,500K程度ですけれども、そこまで行きますとデブリ状になって、どんどん下のほうに、下方に落下していきます。

ただ、実際の試験ではもっと温度が上がっていますので、そこである程度、溶融物のような形で残っているというふうに考えられまして、その辺は若干、現状のモデルが実際の現象を十分反映し切れていない部分ではないかというふうに考えます。

○笠原教授 解析コードには反映できていないということはわかったんですが、現象自体はもう大分わかかってきている、機構という。

○星主任技術研究調査官 これはMELCORコードの1.8.5というもので行っていますけれども、その後、現状では2.1というバージョンに上がってしまっていて、その中では燃料の溶融プールモデルと、その炉心の損傷過程での機構論的なモデルというのが改良されておりまして、さまざまな新しい知見が導入されております。

そういった新しいモデルの妥当性については、これからもこういったPhebus試験等を用いて妥当性は確認していきたいというふうに考えています。

○笠原教授 ありがとうございます。

そうしますと、その前の6ページだったか、最終的なソースターム評価は、これは総合評価ですよーはうまくいっているということだったんですが、これは先ほどの改良を行ったモデルで評価されて、わかったということだったのでしょうか。

○星主任技術研究調査官 改良したというものは、主にヨウ素の挙動について、そのプールに溶解したものが再浮遊するなどのモデルについて改良してございまして、これは燃料から放出されてエアロゾルになって格納容器に放出されて、それで沈着等によって格納容器内に存在するものについての評価をしてございます。

ですので、先ほどのヨウ素のモデルは、このさらにもう少し先のところの評価対象になりますので、この中では含めておりません。

○笠原教授 すみません。ちょっと質問が、言葉が足りてなくて、先ほどのリロケーションの部分で、バージョンが新しいのはPhebusの機構が反映されているという話だったんですが、その新しいバージョンで6ページの評価はやられたということなんですか。

○星主任技術研究調査官 新しいバージョンについては今後行うことにしておりまして、ここでは、このPhebusで行ったものと同一のもので解析を行っております。

○笠原教授 だとしますと、このPhebusでわかったリロケーションだとか、この温度の差というのは、最終的な6ページのソースターム評価には、あまり感度がないと解釈できませんよね。

○星主任技術研究調査官 Phebusのように、実機よりも小さい集合体のようなものをかな

り詳細に解析しますと、その細部の温度分布なりなんなりというのは、その差異が明確になりますけれども、こういった実機のようなプラント規模で評価しますと、そういったものの影響は小さいであろうというふうにこの結果から考えられます。

○笠原教授 それは大事な結果ですよ。ありがとうございます。

先ほどの議論と同じなんです、こういった最終結果に対する感度を見ながらヨウ素試験だとか今後の試験計画の優先順位がつけられていると、非常にロジカルな整理になっていると思います。ありがとうございました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。よろしいでしょうか。

(なし)

○迎企画調整官 それでは、これで安全研究の成果の発表については終了させていただきます。

全体を通して何かコメントはございますでしょうか。よろしいでしょうか。

じゃあ、事務連絡として、冒頭でも説明させていただきましたが、コメントシートは追って事務局から電子媒体を送らせていただきますので、1週間を目安に御返信いただければと思います。

これで第2回シビアアクシデント技術検討会を終了させていただきます。

本日は、どうもありがとうございました。