

第19回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和5年5月30日（火）14：00 ～ 16：10
2. 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室
3. 出席者 内閣府原子力委員会
上坂委員長、佐野委員、岡田委員
内閣府原子力政策担当室
進藤参事官、梅北参事官
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門
西山副部門長
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 企画調整室
鬼沢研究専門官
サイバー・フィジカル・エンジニアリング技術研究組合
鈴木参事、高山常務、佐藤顧問
原子力規制庁 原子力規制部 審査グループ 研究炉等審査部門
金子安全規制調整官
原子力規制庁 原子力規制部 審査グループ 地震・津波審査部門
岩田安全管理調査官
4. 議 題
 - (1) 原子炉圧力容器の健全性評価について（日本原子力研究開発機構）
 - (2) 令和4年度福島国際研究教育機構(F-R E I)先行研究の成果概要【分野4 放射線科学・創薬医療・放射線の産業利用】について（サイバー・フィジカル・エンジニアリング技術研究組合）
 - (3) 京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認（標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等）について（諮問）（原子力規制庁）
 - (4) その他

5. 審議事項

(上坂委員長) 時間になりましたので、第19回原子力委員会定例会議を開催いたします。

本日の議題ですが、一つ目が原子炉压力容器の健全性評価について、二つ目が令和4年度福島国際研究教育機構(F-R-E-I)先行研究の成果概要について、三つ目が京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認(標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等)について(諮問)、四つ目がその他であります。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

(進藤参事官) 一つ目の議題は、原子炉压力容器の健全性評価についてです。

本日は国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究・防災支援部門副部門長、西山裕孝様、企画調整室研究専門官、鬼沢邦雄様に御出席いただいております。

最初に西山様、鬼沢様より御説明いただき、その後、質疑を行う予定です。

それでは、御説明をよろしくをお願いいたします。

(西山副部門長) 御紹介ありがとうございます。JAEAの安全研究センターの西山です。

早速ですけれども、お手元の資料に沿って、原子炉压力容器の健全性評価について、現行手法と確率論的手法というテーマで御説明申し上げます。

1枚めくっていただけますでしょうか。

ここでは、本日の説明の流れと、今回の発表の趣旨を説明いたします。昨年4月26日のこの定例会議におきまして、電力中央研究所の曾根田氏から、軽水炉の長期運転に対して、特に原子炉压力容器鋼の中性子照射脆化につきまして、健全性確保のための全体的な状況の説明がありました。本日は原子炉压力容器の健全性評価手法、ここにフォーカスして説明してまいりたいと思います。

説明では、まず破壊の可能性を評価する破壊力学的な観点から、現行の決定論による評価手法について、簡潔に説明申し上げます。決定論では安全か否か、丸かバツかになっておりまして、亀裂の想定など保守側の評価となります。

後半の確率論的破壊力学、PFMと呼びますけれども、これは既に米国で利用が進んでおりまして、亀裂の存在を確率的に扱うなど、より現実的な評価手法であるものでございます。これを用いまして、このPFM評価につきまして、決定論とPFMの対比を、まず説明いたしまして、その後、私どもJAEAが開発しましたPFM解析コードによって、PWRモデルプラントにおける原子炉压力容器の破損頻度を解析した事例について報告いた

します。

次のスライドをお願いいたします。

最初に、現行の決定論的破壊力学に基づく健全性評価から説明いたします。こちらの右の模式図に示しますように、材料の破壊に対する抵抗力、破壊靱性、ここでは青い線で書いてありますけれども、これが原子炉圧力容器内面に想定する亀裂に作用する破壊力である応力拡大係数、これは赤線で書いてありますけれども、これらは同じ次元を有しております。そして、これらが交差しないことで、脆性破壊を起こさない、すなわち健全であると現行の評価方法では判定しております。

この図中の青い線、赤い線の決め方につきまして、それぞれスライド4から8ページ、スライド9から12ページによって説明させていただきます。

次のスライドをお願いいたします。

まず、青線の破壊靱性についてであります。破壊靱性は、先ほど申し上げました材料の抵抗力でありますけれども、ここに横軸、温度に示しますように、低温で低くなるような温度依存性を有しています。点線が未照射材のその温度依存性であります。原子炉の運転に伴いまして、炉心から中性子が原子炉圧力容器に当たります。そうすると、この図中の緑の矢印のように、破壊靱性は低下します。これは破壊靱性の温度依存性を示す曲線が、見掛け上オレンジの矢印で示してございますように、右側にシフトします。これを我々は中性子照射脆化と呼びます。

次のスライドをお願いします。5ページです。

ここでさらに、その中性子照射脆化につきまして、まず極めて模式的でございますが、説明してまいります。

左の図を御覧ください。これは縦軸が応力、横軸が温度でございまして、中性子照射によって材料中の微細組織が変化し、変形に対する障害が増えて、変形が難しくなって、材料の降伏応力、すなわちこれ以上負荷を掛けると、変形して戻らなくなる荷重が上昇する、すなわち材料が硬化いたします。

ここで、左の図中には、降伏応力と脆性破壊強度の温度依存性を示します。黒い破線が脆性破壊強度でございます。これは、ほぼ温度依存性がなくて、一定であると考えられております。脆性破壊は降伏応力と脆性破壊応力が交差すると生じると、定性的には言われてございます。

図中の緑の破線は、未照射の降伏応力の温度依存性、そして中性子照射を受けて降伏応力

が上昇すると、緑の実線のように上側にシフトします。そうすると、脆性破壊強度と交差する温度が高温側に移行します。

これの定量的な評価指標について、右側の図で説明いたします。これはシャルピー衝撃試験という試験によって実測されます。このシャルピー衝撃試験におきましては、左の上の写真にございますように、10ミリ×10ミリで、中央付近に2ミリ深さのVノッチの試験片を用います。これを試験温度を変えて、ハンマーでたたきます。ハンマーというのは振り子式のハンマーでございまして、その振り上げ角と振り上がり角の差から、シャルピー衝撃試験片が破壊したときの吸収エネルギーが求められます。それをプロットすると、未照射材につきましては、青い破線のようになります。

そして先ほど示しましたように、中性子照射材は硬くなることから、遷移温度、破壊強度が示す温度、高温側に行きますけれども、シャルピーで取ったデータをつなぐと、青い実線のようにになると。ある吸収エネルギーのレベルの温度の差を脆化量と呼びます。これは脆化予測法というもののデータベースになっておりますし、供用中の圧力容器の脆化を評価するための指標として、極めて重要になります。

次のスライドをお願いいたします。

今、説明申し上げました脆化量、シャルピー遷移温度のシフトですけれども、これは原子炉の運転前に原子炉圧力容器と同じ材料から切り出した試験片、監視試験片と呼ばれますが、これを収めたカプセルが、左の図にございますように、原子炉圧力容器の内側に装荷されています。

監視試験片の中性子照射量は、原子炉圧力容器の内表面の値よりも高い値となります。監視試験片といたしましては、右の図に示しますように、縦長い筒の中にシャルピー衝撃試験片、破壊靱性試験片等が収められています。これらの試験片を計画的に取り出して、試験が行われます。シャルピー衝撃試験では、前のスライドで説明いたしました脆化量を求めます。破壊靱性試験片は、この下の方に写真がございますけれども、丸い穴にピンを差し込んで、引張荷重を掛けまして、亀裂先端における破壊に対する抵抗値そのものを測定して、破壊靱性を適切に評価いたします。

そして、次のスライドに示しておりますが、照射後の破壊靱性曲線というのは、監視試験で求めたシャルピー衝撃試験データと予測法、そして破壊靱性の実測データから決定されることとなります。

次のスライドをお願いいたします。

ここでは脆化予測について説明いたします。監視試験では、前のスライドの5で説明しましたように、シャルピー衝撃試験によって、未照射材と照射材の遷移温度の差、脆化量を実測いたします。

このグラフでは、縦軸が脆化量、横軸が中性子照射量として白丸として示してございます。赤い点線で示す評価時期、すなわち図の青い丸で示す圧力容器内面の60年運転の照射脆化予測量は、白丸で示します監視試験によるシャルピー衝撃試験で求めることができる脆化量実測値も用いまして、脆化予測法によって評価されます。

国内では日本電気協会でJ E A C 4 2 0 1と呼ばれる脆化予測法が規定されています。ここでは国内プラントの監視試験データと脆化メカニズムの理解に基づき、脆化予測式が作成されています。

予測式の入力変数といたしましては、材料中の化学成分、銅、ニッケル、中性子照射量、中性子束、照射温度となります。つまり60年運転で見込まれる中性子照射量を入力することで、脆化量の計算値を求めることができます。そして脆化量の予測値といたしまして、この青い丸、塗り潰しの丸で示しますけれども、計算値の予測誤差に基づくマージンを加算されたものが評価されます。

次のスライドをお願いいたします。

さて、この破壊靱性の曲線の設定方法について、このスライドで説明申し上げます。監視試験においては、シャルピー衝撃試験のほか、破壊靱性試験によって破壊靱性を実測するという事を申し上げました。

この図、右の方の図を見ていただきたいのですが、縦軸が破壊靱性、横軸は温度のグラフに未照射材と、ここでは監視試験を3回実施されることによって求められた破壊靱性実測データを白と黒の色の丸で示してあります。これらのデータを脆化予測法に基づきまして、例えば評価時期とする運転開始後60年で見込まれる照射量と、監視試験を実施したときの照射量の差分によって、脆化予測法によって求められる脆化量だけ温度方向、すなわち横方向に移動することで、青塗りの丸で示す60年運転時の破壊靱性値をプロットすることにします。

例えば監視試験が65年相当のデータの場合には、左の矢印、ここでいうと④、このように60年相当の左側に移行することもございます。そして、これらの青塗りの丸を下限包絡する青の実線を健全性評価で示します。これが、ちょっと長くなりましたけれども、青色の破壊靱性曲線の決め方でございます。

次のスライドをお願いいたします。

次からは右側の赤い応力拡大係数の評価について、その方法について説明いたします。応力拡大係数とは、中段上の方に赤文字で示してございますけれども、材料に亀裂が存在した場合に、亀裂への負荷応力によって生じる破壊力を示す指標であって、赤文字で示しますように、応力の大きさに比例し、亀裂深さの平方根に比例するような式になります。この応力拡大係数が同じであれば、どのような亀裂形状であっても、その先端の応力場は同等とみなすことができます。

健全性評価におきましては、保守的に高い応力拡大係数となりますように、右上の図でグレーの圧力容器の模式図が書いてございますけれども、その内面に半楕円亀裂を想定することといたします。そして内圧による応力の影響を加味して、原子炉圧力容器の高さ方向に長い亀裂を想定します。また、亀裂への負荷としては、最も応力拡大係数が高くなる、要はこの亀裂に負荷が大きくなる加圧熱衝撃、PTSとこれから呼びますけれども、そのPTS事象を想定いたします。

次のスライドでPTS事象について説明いたします。

PTS事象では、配管の破断などの事故を想定いたしまして、そのとき非常用炉心冷却水が注入され、この図で示しますように、原子炉圧力容器の内面が急激に冷やされることで、原子炉圧力容器の板厚方向に温度勾配が生じます。このときに発生する熱応力と内圧によって、原子炉圧力容器の内面には、高い引張応力が発生いたします。

次のスライドをお願いいたします。

このスライドでは、応力拡大係数の時間変化を説明いたします。このスライドの左側には、応力拡大係数を求めるためのフローを示してございます。まず、左のフローにございますように、PTS時の冷却水の温度と炉内の圧力の熱水力学解析を行いまして、材料内での温度と応力の分布を伝熱解析で求めます。それらの時間変化は、右の図Aに示しますように、冷却開始直後の時刻1から時刻2で温度勾配が大きくなって、時刻2では応力がピークを示し、容器全体が冷やされるにつれて、応力は低くなっていきます。

そして、これらの温度変化に基づきまして、亀裂最深点、10ミリ深さの位置ですけれども、ここにおける温度と応力拡大係数の時間変化を求めます。

右下の図Bには、亀裂最深点における温度と応力拡大係数の時間変化を示します。これを温度と応力拡大係数の関係でプロットし直したものが、図Cになります。

次のスライドをお願いいたします。

図Cにありますように、右下の亀裂最深点の温度は、PTS事象からの時間の経過とともに、運転温度である約290度から温度が徐々に下がって、応力拡大係数がピークとなりまして、左下へ下がっていくと、こういう時間の変化を示します。これはPTS時に数十分の間に進む応力拡大係数の変化でございます、破壊靱性というのは、照射脆化によりまして、年オーダーで脆化が進みますので、このように健全性評価では、時間スケールの異なったものを組み合わせて評価していくことになります。

以上が応力拡大係数の決め方になります。

次のスライドをお願いします。

これはもう一度最初に示しました健全性評価の図でございます。破壊靱性の曲線が中性子照射によって右側に移動していきますので、これが応力拡大係数の赤い線と接すると、決定論的な評価におきましては、破壊と判定されます。

さて、次のスライドからになるんですけども、亀裂の存在を確率論的に扱うなど、より現実的な評価が可能である確率論的破壊力学(PFM)に基づく健全性評価について、説明申し上げます。

ここでは現行の評価では、繰り返しになりますけれども、保守的な値を用いまして、評価を行っています。実際には破壊靱性など、各因子は不確かさが含まれます。これらを考慮して、過度な保守性を除いた上で、現実的な破損確率、破壊頻度を定量的に求める手法がPFMになります。

下の図を御覧いただきたいんですけども、決定論評価では、図中の太い縦の実線同士を比べて破損の有無を評価します。PFMを健全性評価に用いれば、破壊靱性、応力拡大係数の確率分布を考慮し、これらが交わり、破損が生じる可能性を定量的に評価することができます。PFMによる評価は、より現実的な健全性評価が行われることになります。

例えば、米国におきましては、脆化量のスクリーニング基準が、亀裂貫通頻度の10のマイナス6乗/炉・年を根拠に設定されております。さらに、供用期間中に実施する圧力容器の非破壊検査の検査範囲の低減や、検査間隔の延長の判断にも実際に用いられてございます。

次のスライドをお願いいたします。

ここでは、我々JAEAの安全研究センターで、日本の原子炉圧力容器に適する評価を行うため、PFM解析コード、PASCALと呼びますけれども、この整備を進めてまいりました。本年2月には、従来PWRのPTS事象の評価のみ、取り扱っていたんですけども、

ども、起動時、停止時などの通常運転時や、BWRの評価をできるように機能を拡張して、最新版のPASCAL5というものを公開しています。

この解析コードでは、国内の専門家から成るワーキンググループで検証してまいりました。また、国内の原子炉圧力容器を対象とした標準的な解析要領を整備して、公開してございます。そして、この要領といいますのは、電気協会の技術指針、J E A Gと呼ばれますけれども、これのベースとしても活用されています。

次のスライドから、PASCALにおける破損確率の計算イメージ、破壊力学評価に用いる主な因子の不確かさの取扱いを説明いたしました後に、国内のPWRモデルプラントを対象とした解析を説明いたします。

このスライドで模式的に示されてございますように、PASCAL5では計算の入力として、破壊靱性に影響する因子や、応力拡大係数に影響する因子のばらつきを考慮した確率分布から、パラメータのサンプリングを行いまして、ある一つの原子炉圧力容器の状態を決めます。その個々の状態に対する破損確率を求めて、それらを積分することで、入力条件に対するその確率を評価いたします。

モンテカルロ法に基づくサンプリングをイメージした場合には、例えば10のマイナス8乗/炉・年と言われますように、非常に低い確率のものを評価するためには、10の8乗以上のサンプリングが必要となるというイメージを持たれるかもしれませんが、一番下の四角で囲った式によりますが、数値積分で破損確率を計算することで、少ないサンプリング数で十分な精度を得られるような工夫をしております。

次のスライドをお願いいたします。

この表では、現行の決定論的破壊力学とPFMに基づく評価におきまして、主な因子を比較したものを示してございます。左側の1番列では、破壊靱性と書いてございますけれども、これに関わる因子といたしましては、①の脆化予測、②の破壊靱性、応力拡大係数に影響する因子といたしましては、③の亀裂の想定、④の過渡事象についてですけれども、決定論的手法では、これらは保守的なものが設定されています。

一方、右側の列を見ていただきたいんですけども、PFMにおきましては、赤字で示しますように、現実的な確率分布を採用しています。健全性評価の判定基準となる⑤の判定におきましても、決定論評価では脆性破壊の発生のみを対象といたしますが、PFMでは亀裂が圧力容器を貫通する確率の評価も行うことができます。

これら①から⑤につきまして、次のスライドから具体的に説明申し上げます。

次のスライドをお願いいたします。

まず、脆化予測法につきまして、決定論的評価では、脆化量の予測値にマージンを加えて、保守的に青塗りの点を設定いたします。一方、確率論的評価は、脆化量に影響し、脆化予測式の入力パラメータである化学成分などのばらつきを考慮した分布を持つように、設定いたしております。

次のスライドをお願いいたします。

これは破壊靱性につきましては、決定論では、スライド8で示しましたように、破壊靱性、この青い実線で示しましたように、下限の包絡線を設定いたします。一方、PFMの評価では、破壊靱性はデータのイメージ、黒丸で示してございますけれども、最弱リンクモデルによってばらつくことから、ワイブル分布に従うとしてモデリングを行って、この赤い線のように下限、上限を設定いたします。

次のスライドをお願いいたします。

亀裂の判定につきましては、前半で説明しましたように、決定論的評価では、深さ10ミリの亀裂を想定いたします。PASCAL5では、米国で製作されて運転されなかった原子炉圧力容器によって実測された亀裂の大きさと数のそういったデータを基に作成されたシミュレーションコードを用いまして、この図のように、縦軸が亀裂の密度分布、横軸が亀裂深さの赤い線を用いることとなります。決定論的評価では、この深さ10ミリの値を用いてございます。

次のスライドをお願いいたします。

過渡事象につきましては、決定論的評価では、左側の図に示しますように、PTSが発生直後に室温まで冷却されて、直ちに内圧がゼロとなる大破断冷却材喪失事故を保守的に仮定したものが用いられています。PASCAL5におきましては、右の図に示しますような冷却材温度、内圧の時刻歴を用いまして、こういった過渡を用いて評価することとなります。

次のスライドをお願いいたします。

最後、破損の判定につきましてですけれども、決定論では、先ほど申し上げましたとおり、脆性破壊の発生を破損とみなして評価いたします。しかし、実際には、ここに模式的に示しますように、原子炉圧力容器の半径方向、X軸の方向ですけれども、ここを考えると、温度は容器外面に近づいて高くなることから、破壊靱性が大きくなります。また、中性子照射は容器外面に向かって減衰しますので、脆化量が小さくなります。このため、容器内

面で脆性破壊が発生する場合に、亀裂が停止する可能性がございます。確率論的評価では、脆性破壊の発生確率だけでなく、亀裂の貫通確率も評価可能なものとなっております。

次のスライドをお願いいたします。

このスライド以降、PASCAL 5を用いた解析例を御説明いたします。解析では、まず右の図に示しますように、青い破壊靱性と赤い応力拡大係数が交差する点からの温度差と、亀裂貫通頻度の関係、加えて、脆性破壊の発生確率と亀裂貫通確率を明らかにすることといたしました。解析コードと解析条件は、ここに書いてございますとおりです。

ここに書いてございます国内のPWRモデルプラントとは、1970年代に運転を開始したPWRプラントを念頭に、化学成分や材料特性等を設定したものでございます。これは具体的に個別のプラントを示すものではなくて、照射速度、すなわち中性子束など、公称値を参考に設定しているものもあれば、過渡条件や亀裂分布など、米国のデータを参考に、国内向けに設定したものをを用いて、そういった条件で計算しました。

次のスライドをお願いいたします。

このスライドでは、オレンジの丸は、米国で抽出された過渡事象の発生頻度を用いまして、それぞれの過渡事象が発生した場合の亀裂貫通確率の掛け算の総和である亀裂貫通頻度を縦軸に、横軸は決定論で破壊靱性と応力拡大係数が交差する温度をゼロといたしまして、接するところからの温度差、つまりマイナス側になるほど、脆化量が少なくなりますけれども、その関係を示したものでございます。

繰り返しになりますけれども、オレンジのデータ点がPASCAL 5で計算したデータ点になります。そして、交差する温度、ゼロ度というのは、上の方に点線で示しますように、米国のスクリーニング基準の根拠となる亀裂貫通頻度である1掛ける10のマイナス6乗／炉・年より低い値となりました。

次のスライドをお願いいたします。

ここではPTS事象で最も厳しい過渡である大口徑配管の破断による冷却材喪失事故が発生した場合、条件付と我々は申しますけれども、発生した場合の破損確率の算出結果をお示しします。

左の棒グラフにつきましては、脆性破壊が発生する確率、右は亀裂が貫通する確率です。この棒グラフからお分かりになりますように、規格の決定論評価によって脆性破壊が判定するとされた場合、青の線で示しますように、PFM評価では脆性破壊の発生が約100分の1、亀裂が原子炉容器を貫通して破損に至る確率は、更に40から50分の1の程度

であるということを示しています。

最後、まとめになります。本日は原子炉圧力容器の健全性評価につきまして、破壊力学的な観点から中性子照射脆化を考慮した破壊靱性と、PTS事象を想定した応力拡大係数との比較による現行の決定論的評価手法の概要を説明いたしました。また、より現実的な評価が可能となるPFMに基づく手法につきまして、決定論と比較しつつ、不確実さを考慮した破損確率の評価手法を説明いたしました。

さらに、JAEAが開発しましたPASCAL5を用いまして、決定論評価と対応する破損頻度確率についての解析事例を示し、米国の基準と比較いたしました。本日、説明いたしましたように、PFM解析が有用であること、そして今後、長期運転される圧力容器の健全性や検査の有効性確認等、リスクや重要度に応じた評価へPFMが活用されるよう、我々は貢献していきたいというふうに考えてございます。

最後に、付け加えさせていただきますと、PFMは破壊靱性等の確率分布を用いた計算ですが、基本は決定論による計算の繰り返しです。そのために従来からの脆化予測であったりとか、破壊靱性評価法の継続的な改善が必要でありまして、これらを支える人材の確保、育成、さらには、ホット試験施設の維持強化が極めて大事と考えています。

我々といたしましては、例えばJAEAの原子力科学研究所でビーム炉として大学などにも利用していただいていますけれども、JRR-3でございますけれども、これは材料試験としても圧力容器の照射脆化研究には使えるような、そういった条件になってございますので、そういったホット施設を積極的に活用してまいりまして、関係機関と連携しながら、技術の継承、人材育成、知見の拡充を図ってまいりたいというふうに考えてございます。

以上、説明を終わりにしたいと思います。ありがとうございました。

(上坂委員長) 西山さん、明解な説明ありがとうございます。冒頭お話がありましたように、以前、定例会議でATENAと電力中央研究所から原子力材料の視点で、中性子照射によるミクロな格子欠陥の生成や集積、それから、マクロな亀裂がどう進展するかの説明を頂きました。今回は材料力学と確率論的破壊力学の視点から、その亀裂がいつ進展し、それが厚さ約20センチを貫通するか否かの御説明を頂いたと理解しました。

それでは、委員会から質問させていただきます。

それでは、佐野委員、お願いいたします。

(佐野委員) 御説明ありがとうございました。大変難しいお話を分かりやすく説明していただ

きました。

お話を伺って、結局、確率の手法を用いることにより、全体像が分かり、決定論的な手法は、その中の一つの特的なケースである、ただ、常にコンサーバティブな仮定を置いて、決定論的な手法を用いてきたので、結果的には、従来取ってきた決定論的手法の結果は、間違えていなかったことが再確認されたという理解でよろしいでしょうか。

(西山副部門長) そのように理解いただいてよろしいと思います。

(佐野委員) それで、圧力容器といっても例えば素材によっても違ってくるし、シーム、溶接の部分においても違ってくると思うのですが、これは、溶接の部分についても、このPFMを用いて同じような結論を得ることができるのでしょうか。

(鬼沢研究専門官) 原子力機構の鬼沢から回答させていただきます。

私どもPFMで対象にしておりますのは、一応圧力容器全体となっておりまして、今回の御説明の中には、母材での亀裂の分布といった表現がございましたけれども、もちろん溶接部、あるいは溶接部の近傍の溶接熱影響部、そういったところも対象とした解析を行うことができますし、私どもはそういった全体を通した評価をする必要があるというふうに認識しております。

(佐野委員) ありがとうございます。

次に、これの応用は、脆性破壊の発生の有無だけではなく、発生確率を出せることと、亀裂の容器の貫通の確率も評価できることで、例えば今後、原子炉の延長をしていくときの規制側の有力な手法になると思うのですが、規制側だけでなく、事業者側からみて、例えばどういう素材を使ったらいいとか、製造者も含めて、応用の可能性があると思うのですが、その辺りはどうでしょうか。

実際アメリカなどでは、そういう製造側、事業者側がこの手法を用いて、何か進展があるのかどうか、もし御存じでしたら教えてください。

(西山副部門長) 規制委員会のホームページでも公開されていますけれども、国内の事業者はPFMの破損頻度の変化量をもって、検査間隔、圧力容器の継ぎ手の検査間隔であるとか、対象とする範囲を見直したいという、そういった動きがございますので、当然そういった申請が上がってくれば、規制側といたしましても、こういった手法を用いて、その妥当性を確認するということになると思います。

(佐野委員) 日本の事業者はどうですか。

(西山副部門長) 今の話は日本の事業者の説明です。

(佐野委員) アメリカでは既に始まっているのでしょうか。

(西山副部門長) 既にアメリカではそういった動きというか、そういう制度があります。

(佐野委員) ありがとうございます。これはつまりPRAの導入の中で抜確率論的リスクアセスメントの抜けていた部分である圧力容器に対しても、確率論的なアセスメントを導入し、炉も含めた全体が確率論的な手法によってできることになると思うんですが、一昨年の4月から炉の検査が始まっていますが、あの中にこの圧力容器のPFMは入ってくるのでしょうか。

(鬼沢研究専門官) 原子力機構、鬼沢から回答させていただきます。

検査の中では、例えば何かしら有意な兆候が見つかったような場合には、その重要度を判定する必要がありますけれども、その判定する際に、やはりリスクという観点で、それがどのぐらい重要なのかというのを判断するというやり方が、今おっしゃられた検査の制度の中に入っていると認識してございます。

ですから、実際の検査でどういった兆候が現れるかによるとは思いますけれども、万が一原子炉圧力容器の検査などで、有意な兆候などが見つかった場合には、その重要度を評価するために、このPFMというのは有効に使われるものではないかと考えております。

(佐野委員) そうですね。ありがとうございます。そのほかの原子力先進国、フランス、あるいはロシアとかでは、これは既に導入されているのですか。

(鬼沢研究専門官) 米国ではもう既に導入されていると今、話をしましたけれども、そのほかでは、欧州の一部、スウェーデンであったり、ちょっと国名は忘れましたが、幾つかの国でPFMをリスク情報を活用した規制の中に取り込んでいるという事例があると認識しております。

(佐野委員) 英国とフランスとドイツとか。

(鬼沢研究専門官) 鬼沢ですけれども、フランスではまだ導入していないというふうに聞いております。英国については、PRAの方は使っていると聞いていますけれども、PFMがまだ具体的に使われているかというところまでの情報は、まだ持ってございません。

(佐野委員) 分かりました。どうもありがとうございました。

(上坂委員長) じゃ、岡田委員、お願いします。

(岡田委員) 御説明ありがとうございます。私の方は、昨年の4月26日の定例会議のご説明を聞いていなかったということもあって、少し調べてみましたけれども、基本的なお話をお聞かせいただきたいと思いますと思うのです。この原子炉の圧力容器は、実際の発電炉でシャルピ

一試験というのはされているということですね。

(西山副部門長) はい。スライドの6番、ここに監視試験カプセルとあって、ちょっと途中で切れていますけれども、長い筒状の中にシャルピー衝撃試験片というものが装荷されています。その装荷されたカプセルを、原子炉圧力容器の内側につるしてあります。そして、脆化量に応じて、計画的に監視試験カプセルを取り出して、脆化量をシャルピー衝撃試験で測る、破壊靱性データを求める、そして予測法と照らし合わせて、予測法が合っているかどうか、そこで補正したものを予測法と実際のデータで、若干のオフセット補正みたいなのをやりまして、60年まで評価すると、そういったやり方をしています。

(岡田委員) 分かりました。そのとき、7ページのところですが、予測式の入力変数は、材料の化学成分(銅、ニッケル)と書かれています。この銅、ニッケルというのは微量元素になるのですか。それとも不純物になるのですか。

(西山副部門長) 銅は0.15ウエート%ぐらいで、不純物という扱いとなります。ニッケルは強度を出すために合金の添加元素になりまして、たしか母材では0.6%、溶金では0.8%ぐらい添加されています。

(岡田委員) ありがとうございます。ほかの化学成分というのは、余り問題にならないということですか。

(西山副部門長) 予測法では入力データはこの二つなんですけれども、実際、3次元アトムプローブと申しまして、圧力容器を小さい針に加工してそこに電界蒸発させて、その原子が飛ぶ時間と、2次元の検出器で3次元マップを構成することができて、そこにクラスターと呼ばれる溶質原子の塊が、転位の障害になって硬くなるようになるんですけれども、そこには銅、ニッケル以外にマンガン、シリコン、リン、そういった元素がございます。

ただ、シャルピーによる監視試験データとの化学成分の相関を見たところ、やっぱり銅、ニッケルが一番予測するには利いてくる元素ということで、そこには銅、ニッケルが入っています。ただし、今、改定中の予測法では、シリコンも利くということで、シリコンが入る予定と私は伺っています。

(岡田委員) ありがとうございます。そのとき中性子照射量というのは、40年、60年でのどのぐらいになるのかということをお聞きしたいのですが。

(西山副部門長) 一般的な話なんですけれども、60年でスリーループのプラントだと、 6×10 、あるいは 7×10 の 19 乗ニュートロン・パー・センチメートル 2 乗 1 平方当たり 7×10 の 19 乗、40年だとその 3 分の 2 ですか、たしか 5 とか 4 とか、そのぐらいに

なると思います。

(岡田委員) ありがとうございます。そして、もう一つお聞きしたいと思ったのは、最後の西山さんのお話で、人材育成が大事だという話をされていましたが、例えば大学でどういう人材がと思うと、原子力学科というよりは、材料とか機械工学科などの学生かなと思うのですけれども、そういう学科や原子力の学科に、JAEAの方々がアプローチするという事はやっているのでしょうか。

(西山副部門長) 私事で恐縮ですが、私は原子力学会の材料部会に入っておりまして、夏期セミナーであるとか、年会のポスターセッションであるとか、そういったところで、コロナでちょっと面着は無理だったんですけれども、前は対面になりましたので、いろいろ話をさせていただいたりとか、東北大の大洗の金属材料研究所には、夏の学校ということがございまして、毎年30から40人の全国の大学の学生さんが参加して、シャルピー衝撃試験であるとか、アトムプローブの分析をしています。ですから、ネットワークはございます。

ただ、必ずしもこういう鉄鋼材料をやっている大学の先生方、学生さんは少ないので、材料と言わず、特定の分野でも構わないので、基礎的な学力であるとか、非常にキャラクターがコツコツやるタイプであるとか、そういった方々がいれば、十分我々が指導して、そういった人材を育成していきたいと思います。

照射試験に限って言えば、JMTRが廃炉になりましたけれども、JMTRで照射を行っていたのが鬼沢と私の2人で、その後の世代は誰もやったことがないという状況ですので、先ほど申しあげましたように、特にJRR-3とか材料部会でも説明、積極的に発信してまいりますので、大学とも共同研究を結びながら一緒にやっていきたいと思います。

(岡田委員) どうもありがとうございました。私もJMTRを使った人間として、やはりいろいろな学科の人たちが原子力分野に入ってきてくれるといいと思っておりますので、どうかよろしく願いいたします。

以上です。

(上坂委員長) それでは、上坂から。非常に多くのパラメータが出てきますので、その確認をさせていただきたいのです。まず、6ページで監視試験片ですが、運転当初からシャルピー試験片と、それから破壊靱性試験片が装てんされていると。

それから、8ページの左側のシャルピー試験片からは、破壊時の吸収エネルギーが測定されると。それから破壊靱性試験片からは、破壊靱性が測定されると。

そして、これらがどう使われるかは、23ページ。内面亀裂が進展するかどうかは、破壊靱性試験片から測定される縦軸の破壊靱性の値。それから、別途評価している非常用炉心冷却水注入時の亀裂に作用する破壊力、これが接するかどうか。接した場合、この亀裂進展開始指標となるということでもあります。

それで、この図では、破壊靱性の値が使われるのですが、シャルピー試験で得られる吸収エネルギーというのは、この図ではどこに使われることになるのでしょうか。

(西山副部門長) 西山です。

この図でいいますと、青い点線から青い線を動かすために、シャルピーデータと予測法が用いられます。動かした破壊靱性データを下限包絡して、青い実線を決めるということで、ちょっと複雑ですけれども、そういったやり方になっています。

(上坂委員長) それは8ページ目の左や右に出ていますね。この横方向の矢印ですね。

(西山副部門長) はい、おっしゃるとおりです。

(上坂委員長) これをシャルピー試験から測定して、それで靱性をずらしていく。そういう理解でよろしいですね。

(西山副部門長) はい。

(上坂委員長) それから、このページで、この監視試験片ですけれども、一部の原子炉では、その数が必ずしも潤沢ではない。かつ当初から装てんされていなければならないので、様々な工夫をしながら試験をやっていると伺っております。その妥当性の基準はいかがでしょうか。

(西山副部門長) その再生された試験片の値が大丈夫かどうかということですか。

(上坂委員長) ええ。どのように足りない部分を補っていて、それがしっかりとした指標に基づいた基準でやっているかどうかです。

(西山副部門長) この左上のシャルピー衝撃試験、Vノッチが入っている10ミリ×10ミリ×55ミリですけれども、このノッチの反対側にハンマーを当てて、試験片を壊します。そのためにノッチから離れた部分は、未変形部分というふうになります。大体右端から14ミリぐらいは、多分使える範囲だと言われておりますので、例えば10ミリ使った場合には、その両脇に溶接でトータルで55ミリになるように溶接線を二つ付けて、55ミリの監視試験片を再生すると我々は言いますが、そういったものを再生して、シャルピー衝撃試験を行えるようにするという、そういったものがJ E A C 4 2 0 1にも規定されておまして、少し前のJ N E Sというところでのプロジェクトですけれども様々な研

究、解析によりまして、そのインサートと呼びますが、挟み込む長さの妥当性であるとか、溶接の温度によって照射脆化が回復しないようにするとか、そういったものについて規格ができております。

(上坂委員長) 分かりました。

それで、もう既に御説明の中で御言及がありましたが、研究炉を使って加速試験をするということ。JRR-3等国内の炉を使うと。JMTRはもう使えないのでね。海外への研究炉の使用の可能性、実績はいかがでしょうか。

(西山副部門長) 海外は昨年だったか、LVRで照射したものを、我々JAEAのWASTEFというところに持ち込んで、照射後試験をしようとしています。もう持ち込んだかどうか、ちょっと確認しないといけないんですけども、LVRで照射しました。

非常にお金が掛かって、コロナ禍であって、コミュニケーションも取れなくて、そして我々、若い研究者が立ち会うこともできなくて、ちょっと残念な結果だったんですけども、その照射した材料、いろいろな観点からいろんな材料を入れていきますので、使っていきたいというふうに考えています。

あと、海外でいえば、ベルギーのBR2が照射脆化の研究には使える。あと、アメリカのATR、これも材料試験に適した炉と考えています。あとフランスでは、ジュールホルビッツがJMTRと同じような高温高圧水ループ中で照射できるような、そんなものを造っているというところでもありますけれども、ちょっと運転開始時期は今のところ、あんまりクリアになっていないというふうに、私は聞いています。

(上坂委員長) ありがとうございます。LVRはこれはチェコでしたね。

(西山副部門長) チェコです。

(上坂委員長) チェコの炉ですね。分かりました。

それから、次に24ページですね。これはとても重要なデータだと思います。これは黄色い線が、日本のPWRの平均的な値で計算済みですね。そうすると、この零度が、先ほどの青い線と赤い線の横方向の間隔がゼロ、つまり接したところですね。しかしながら、この亀裂進展のところですが、そこですらアメリカの基準と比較すると1桁、10分の1余裕があると、こう理解してよろしいですかね。

(西山副部門長) はい、そのような御理解でよろしいと思います。

(上坂委員長) そうしますと、次の25ページですけども、今、亀裂進展が左の棒グラフの確率ですね。そこが零度だとします。更にそれが厚さ方向に対する亀裂が貫通するという

右の棒グラフへは、更に40分の1から50分の1ぐらい余裕がある、つまり先ほどの二つ、24と25ページを総合すると、二つの青の線と赤の線とが接しても、アメリカの基準に対して400分の1から500分の1の余裕があると、そういうふうに理解してよろしいでしょうか。

(鬼沢研究専門官) JAEAの鬼沢です。

すみません、今の御理解につきましては、ちょっと補足させていただきますと、24ページの結果は貫通頻度、貫通しておりますので、25ページでいうところの右のグラフに相当します。ですから、この二つを合わせて100分の1のまた40分の1ということではなくて、100分の1というものが、ああいった結果が25ページの右側になってございます。

25ページのグラフにつきましては、日本の決定論的な評価の左側の棒グラフという脆性亀裂が発生する時点と、亀裂が貫通するまでの間の差を示してございますので、そこは50分の1ということで結構かと思うんですけども、24ページの100分の1というのは、もう既に亀裂が貫通するところまでを見た結果ということでございます。

(上坂委員長) すみません、100分の1とおっしゃったのはどこですか。

(鬼沢研究専門官) 10マイナス6乗に対してマイナス7乗というのが、ごめんなさい、10分の1と40分の1で400分の1と、そうではなくて、10分の1は10分の1でございますということと、それからもう一つ補足なんですけど、24ページの結果は、実はこれは国内のプラントでも古いものに相当します。ですから、平均的なPWRではなくて、割と古いものがこういった高い値になるというふうに、我々は認識しております。逆に新しいプラントは、たとえ60年運転をしても、鋼材中の化学成分、不純物が少ないといった違いがございますので、ここまで大きな値にはならない可能性があるというふうに思っております。

(上坂委員長) 分かりました。そうしますと、24ページのこのPWRに関する古い方の計算値は、亀裂貫通確率ですか。

(鬼沢研究専門官) おっしゃるとおりです。24ページは貫通の方でございます。

(上坂委員長) 分かりました。

それから、冒頭申し上げましたが、ATENAに定例会議で御説明していただいた後の質疑で、原子力委員会からこの原子炉圧力容器の中性子照射脆化評価に関する国民に分かりやすい説明資料を作成して、公開していただけないかとお願いいたしました。結果、8ペ

ーじ物ですけれども、昨年11月30日に公開いただきました。

是非、JAEAにも、ATENAの原子力材料学的照射脆化の説明から進めて、確率論的破壊力学的に亀裂の状態に関する国民にも分かりやすい資料を作成して、公開していただきたいと思うのです。いかがでございましょうか。

(西山副部門長) 西山ですが、承知いたしました。

それで最近、長期運転がいろいろ報道があって、我々もメディアから取材を受けて、これ以外にも脆化のメカニズムであるとか、いろんなスライドを作っております。そのスライドを併せて公開するとともに、原子力委員会、ここで報告された電中研とかATENAの資料に代える形で、我々どものホームページに掲載したいと思います。

(上坂委員長) 是非よろしくお願ひします。テレビニュースでも電中研のATOMプローブの結果とか、シャルピー試験の結果。映像がもう出ている時代になりましたので、是非よろしくお願ひします。

ほかの委員の方から質問はよろしいですか。いいですか。

それでは、説明どうもありがとうございました。どうかよろしく今後とも御説明の方をどうかよろしくお願ひします。

議題1は以上でございます。

次に、議題2について、事務局から御説明をお願いいたします。

(進藤参事官) 二つ目の議題は、令和4年度福島国際研究教育機構(FREI)先行研究の成果概要【分野4 放射線科学・創薬医療・放射線の産業利用】についてです。本日は、サイバー・フィジカル・エンジニアリング技術研究組合、参事、鈴木宏正様、常務、高山光弘様に御出席いただいております。最初に鈴木様、高山様より御説明いただき、その後、質疑を行う予定です。

それでは、鈴木様、高山様、御説明をよろしくお願ひいたします。

(鈴木参事) サイバー・フィジカル・エンジニアリング技術研究組合の鈴木と申します。今日は高山と一緒に御説明に参りました。どうぞよろしくお願ひいたします。

今日は令和4年度の先行研究ということで、超大型X線CT装置を活用した産業のデジタル化技術の開発等に係る調査事業ということで、成果の説明をさせていただきます。

では、次のページをお願いいたします。

本調査事業の提案の概要ということですが、FREI新機構の中でサイバー・フィジカル・エンジニアリング技術、これは後ほど御説明したいと思っておりますけれども、それ

を用いた日本型ものづくりのデジタルトランスフォーメーションを実現するための技術開発、研究開発を通して、日本の国際競争力を高めていこうということでございます。この目標のために、ここではF-R-E-Iの中で、この三つの①②③の研究テーマについて研究開発を行うことを提案しております。

最初が超大型X線CTシステム技術の研究開発ということで、下の方に絵が出ていますが、左側の隅のところに小さい絵が出ていますが、ここにガントリー式の超大型X線CT装置、車両1台を丸ごと測れるような装置を開発するというのが①でございます。

超大型X線CTから出てくる画像のための基盤的な画像処理技術を開発するというのが②でございます。

そういったデータを活用して、ものづくりに生かしていくというような技術を開発するというのが③となります。

上坂委員長からも毎回御指摘いただくんですけども、ここでは超大型X線CT装置1台のみでこういったことを実行しようということではございませんで、そのほかに、例えば中型、小型の線源の電圧でいうと、450kVであるとか、225kV、あるいはもっと低い電圧のX線CTも使いますし、さらには、X線CT以外の光学式のスキャナーのデジタルとか、そういったものも活用しながら、総合的にデータを取っていくということでございます。

今回の資料では、その中でも我々が超大型X線CT装置を開発するというような言い方をしてしまうので、どうしてもこれだけ使うのかという話になるんですけども、実際にはそうではないということは、ちょっと御承知おきいただければと思います。

次のページをお願いいたします。

今回の先行研究では、①②③に関しまして、ここの少し青く塗ってある升目のところに書いてあるような調査を行いました。①については(1)でX線CT技術、デジタル化拠点の中長期事業化に関する予備調査、あと(2)で超大型X線CT装置の設計に関する調査ということで、ここに書いてあるような七つの調査を行ったということでございます。

実施体制ということで、委員会活動でやったものとか、あるいは一部外部に委託したもの、あるいは技術研究組合でございますので、企業のメンバーが組合員として参加していますので、その組合員に委託して行ったものというのがございます。

それから、下の方に福島での事業であるということで、福島県のハイテクプラザ、昔の工業試験場かと思っておりますけれども、そこと連携して行ったものであるとか、あるいは地元と

の連携なんですけれども、上の方からいうと、会津大学とか福島高専に御参加いただいたり、あるいはNTSという会社は、金属のアドイティブマニュファクチャリング、造形装置を使って試作部品を作っている会社なんですけれども、その地元企業にも参加いただいたということでございます。

この一つ一つについて、簡単に御説明していきたいと思っています。

4ページ目の方をお願いします。

まず、最初のX線CT技術、デジタル化拠点の中長期事業化等に関する予備調査ということなんですけれども、簡単に言いますと、超大型X線CTプラスいろんな装置を置いて、拠点を作りたいということなんですけれども、その拠点について、どのようなユーザーのニーズがあるかということ、要件の調査ということでアンケートあるいはヒアリングで行いました。さらに、その調査に基づきまして、拠点はどのようなふうなものにしたらいのかというようなことを計画として立案したということでございます。

5ページ目の方をお願いします。

まず、概要ですけれども、委員会活動として民間企業の方とか、あるいは放射線の専門家の方に集まっていただきまして、委員会を設置いたしました。それと同時にヒアリングの実施ということで、この拠点に関わる利用者であるとか、研究開発をする人であるとか、いろんなステークホルダーになるようなところにヒアリングを実施しております。ユーザーが中心なんですけれども、それを実施しております。

どんなヒアリングをしたかというのは、次のページに載せてあります。そういった調査の結果から、建屋のレイアウトであるとか、そういったものを拠点の計画として策定をしたということでございます。

6ページ目をお願いいたします。

6ページは、先ほど申し上げたアンケートでどんなことを聞いたかということなんです、調査先としては、パワーユーザーになってもらえるであろう自動車メーカーであるとか、自動車部品のメーカー、あるいは宇宙航空関係等にヒアリングをしております。

何を聞いたかという、もしもこういった施設ができたときに、どういうものを測りたいですかと。これは超大型X線CTについて聞いていますので、大きなものが中心の回答になっています。あと利用目的は何ですかと。品質の検査であるとか、リバースというのは部品の形状を測って、そこから設計データを逆に作っていくというような技術になっています。

それから、利用頻度、これは今回、割とシビアな回答が多かったんですけども、それはコスト次第だねということで、どのぐらいのコストだったら、このぐらい測りたいというような回答が出ています。

あと、利用形態なんですけれども、やはり自社の中で測るということではなくて、こういった共用の施設で品物を測るということになるので、何を測っているかということや他者に知られたくないであるとか、測った後のデータについても管理が十分でないといけないとか、そういったような要件が出てきています。

あとは、⑤のところには、大型X線CT装置ばかりじゃなくて、いろいろな装置もワンストップで測れるようにしてほしいとか、あるいは、このぐらいの広さが必要ですねとか、あるいはサポートが必要だというようなことが回答としてありました。

次のページをお願いいたします。

以上の要件を満たすものとして、どういう施設にしたらいいかということや、国内、国外の同様の研究施設の建屋、あるいはそういったものを調査して、レイアウト設計と、あとパスというんですか、右下のところに建屋の絵が出ていますけれども、こういったものを作成いたしました。動線であるとか、必要ないろいろな研究室であるとか、実験室であるとか、そういったものがどういうものが必要だとか、そういったデータからこういったレイアウトを作成しております。

次のページをお願いいたします。

①に関する二つ目の調査研究は、超大型X線CT装置の設計に関する調査ということで、先ほど小さい絵をお見せしましたがけれども、今回開発しようとしております超大型X線CTを実現するための技術課題の洗い出しと、それから、技術開発計画を作ったということでございます。

9ページ目をお願いいたします。

実は4年前ですかね、経産省からの調査研究を委託しております、そこで一応、超大型X線CT装置の基本設計の概念設計、そういうものを行っているんですけども、それをベースにして、今回は基本設計を行ったということでございます。その基本設計に基づきまして、さらに令和5年から3か年で、それを実装するような計画を立案したということになります。

ポイントとしては、いろんな要素部品が必要なわけですが、X線源であるとか、ガントリー、それから検出器、それから基本的な再構成技術というふうなところを、こういったも

のが必要かということ計画したということです。

9 ページ目の右下の表は、そういう基本設計において、どのぐらいの X 線 C T の性能といえますか、仕様といえますか、それが実現できるかということがまとめて書いております。赤字で書いてあるのは、先ほど私が申し上げましたように、以前行った基本設計のところから何年かたちまして、技術も進化しているということで、少し性能のアップが図れるのではないかというのが、赤字の数字になっております。

次のページをお願いいたします。

次のページは、実際にそれを 3 次元の C A D のモデルで作ったものでございまして、ちょっと見にくいんですけども、右側の 3 次元の絵の青で塗ってあるものが、これが車両になります。なので、車両 1 台丸ごとが、トンネルのようなところを通過していくことによって、C T スキャンを行います。病院の C T スキャンでいうと、この青いものが人間でございまして、人間がそのガントリーの中を潜っていくことによって、C T 画像を撮るということに相当します。

次のページをお願いいたします。

次は②の超大型 X 線 C T 装置の画像処理基盤技術の高度化調査ということで、ここではこういった X 線 C T に関する画像処理技術については、古くから、古くはないかもしれませんが、例えば医療分野も含めて、研究が多数行われておりますので、産業用を中心に、研究の動向調査を文献等を調べることによって、F - R E I で行う研究開発テーマのリストを作っていたということでございます。

1 2 ページ目をお願いいたします。

ここに書いてありますように、会津大学、福島高専、東大、都立大、一橋大、理研、産総研から委員会に参加していただきまして、それぞれの先生方に御自分の得意とされている分野について、文献調査を行ったということでございます。それを御発表いただきまして、全体としてまとめていったということです。

あと、②としましては、専門家をお呼びして、セミナーを開催していただきました。それから、③としては、企業に赴いて、視察といえますか、ヒアリングを行ったということでございます。

1 3 ページ目をお願いいたします。

以上のような調査に基づきまして、研究開発としてこんなものを行った方がいい、こんなことをやるべきであるということで、三つのカテゴリーに大きく分けまして、キーワード、

どういった画像処理の技術を開発すればいいか、しなければならぬかということで、テーマを洗い出していったのが、この13ページ目ということになります。

X線CTでは、断面図を作るための再構成計算というのが非常に基盤になるわけなんですけれども、そこを高度化することによって、例えばいわゆるアーチファクト、ノイズのようなものですが、それを低減するであるとか、スキャンを高速化するというふうなことをやっています。

それから、真ん中のところでは、産業応用を見たときに、例えば部品に分解していくであるとか、そういったセグメンテーションの技術であるとか、そういったものを中心にした産業応用向けの基盤的な技術、それから一番右側としては、そういった技術をベースにして、新たにいろいろな応用分野を開発していくための技術ということで、まとめてございます。

次のページをお願いします。

③はデータの活用という分野になるわけですが、今の②でX線CTの画像は高品質なものが得られたとして、どういうところにそれが使えるであろうかということ調査をしたということでございます。

一つ目が、X線CTデータを基にしたデジタル化技術とデータ活用に関する調査ということで、二つ行ってございます。一つ目が③(1)-1ということで、X線CTによる金属AM、付加製造ですね、アディティブマニュファクチャリング部品の欠陥検出及び形状計測ということでございます。まずこれについて御説明します。

15ページ目をお願いいたします。

近年、金属のアディティブマニュファクチャリングというのが、非常に有効な製造技術であるとされます。非常に複雑な形のもので、従来、例えば部品点数が15、20もあったものを、一つにまとめて作るであるとか、内部に非常に複雑な構造を作って、性能を実現するといったことで、注目を浴びているわけなんですけれども、いろんな方式があるんですが、その中でも粉をレーザーとかで固めていって、部品を作るというようなことが行われています。

そうすると、当然レーザーで照射して溶かして固めるというプロセスの中で、どうしても内部に欠陥が発生することがあるということで、このX線CTで撮像をして検査をするというのは、非常に有効であるというふうに言われています。

今回は、先ほど申し上げましたNTSという福島県内の規模があんまり大きい会社ではな

いんですけれども、小さい会社なんですけれども、付加製造の装置を十数台、自社で導入して、いろんな試作部品を作って、非常に先進的な企業さんに協力いただきました。15ページ目の右上に書いてあるのが、エンジンの部品を模したものになりますけれども、こういったものを設定していただいて、これを実際に製造していただいて、それをX線CTで撮ってみたということです。

15ページ目の下の方の絵が、その上の部品をX線CTで撮ったときの断面の様子になっています。この赤で書いてあるところにVoidと書いてあるんですけれども、これは内部欠陥ということになります。

内部欠陥は実際には非常に微妙なものが多いので、確実に検出できるかどうかを調べるために、人工的にあらかじめ人工欠陥を入れておくというようなこともやっています。さらには、実際に部品を切断して、そのX線CTで欠陥があった場所を切断して、実際に欠陥があったかどうかというふうなことも示して確認しております。

次の16ページ目をお願いします。

基本的には、X線CTを撮れば、内部の断面の絵が撮れるので、欠陥があるかどうかということは見れば分かるんですけれども、この画像が非常に多うございますので、作業の方が全部の断面をずっと見て行って、欠陥があるかないかというのを調べるのは、非常に大変な作業になります。今回初めて分かったんですけれども、X線CTはいいけれども、その作業をするのは非常に厳しいので、導入しても使えないかもしれないという懸念を持たれている企業が多いということでした。今回は機械学習を使って自動的に欠陥検出するソフトウェアというのを試みに適用いたしました。その結果、非常によく欠陥が検出できるということが分かったということでございます。

次に、17ページ目をお願いいたします。

17ページ目は、福島県のハイテクプラザと連携したテーマになっています。ハイテクプラザさんは地元の企業さんからいろいろな課題を持ち込まれて、それに技術的なサポートをするというのが業務とされているんですけれども、その中の一つに、この電気炉の中の温度を測る温度計、シーラ熱電対と書いてありますけれども、それが温度計によって、かなり計測がばらつくという問題があったということなんです。

恐らく、何でばらつくかというのと、17ページ目の下のところに絵がございますけれども、熱電対という温度を測るものが、ケースの中に収められているという構造になっているんですけれども、その熱電対がケースの中にどういうふうに収まっているのかというのが、

温度計によって大分ばらついているということです。特に熱電対の先端の位置というのが、ケースの先端からどのぐらいの位置にあるかというのが、大分ばらつくようでして、これが温度計の温度を測ったときのばらつきになっているんじゃないかということです。

それで、温度計を何本か持ち込みまして、それをX線CT装置で撮像して、どのぐらいのところに熱電対が来ているかというのを計測しまして、さらに、このX線CTの画像から熱伝導のシミュレーションを行う、どういうふうにその熱が伝わっていくかというのをシミュレーションするためのデータを作りまして、それで解析を行ってみたということです。それと実験結果を比べたということをやりました。

それが18ページ目でございます、二つの熱電対センサと書いてありますけれども、一つが、先ほど申し上げた熱電対がかなり先端に寄っているもの、もう一つは、少し離れているもので、シミュレーションと実験結果を見比べたということで、かなり実験結果とシミュレーション結果に相関があるということで、やはり先端からの位置によって、温度の差が出ているということが分かったということでございます。

あと、19ページ目をお願いいたします。

③はデータ活用の調査の続きということですが、二つ目として、XCCという施設について、海外調査を行いました。このXCCというのはXray Car Crashの訳でございます、ドイツのフラウンホーファー財団の研究所のEMIという研究所に今、開発されている施設でございます。

20ページ目をお願いいたします。

これはどういう装置かということ、車両開発で衝突試験というのが非常に重要なわけですが、衝突というのは、1秒以下の非常に短い間の現象でございます、内部でどういうふうに車が潰れていくかということを観察したいということでございます。

御存じのように、衝撃を吸収するために、車の前の部分の部品が潰れて、その衝撃を吸収することによって、人間、運転者に作用する衝撃力を緩和するという機構になっていますので、そのときに部品がどのように壊れていくかということ、その100ミリセックの中で観察してみたいという要望がございます。

この施設は、ここにオレンジ色の車がありますけれども、このオレンジ色の車に対して、左から、これをぶつけて、そのときに先端がどういうふうに潰れるかというのをX線を照射して、いわゆるラジオグラフィの形で連続的に画像を撮ると。1秒間に1,000フレームぐらい撮れるという装置になっているんだそうです。これはドイツでは、かなり自

動車会社からも需要があるということで、今回調査をしてみました。

今、右下にありますように、従来はそんなに高いエネルギーのX線源を使っていなかったんですけども、最近、線形加速器、LINACということで、メガボルト級のX線源を用意して、こういう装置を開発していることで、調査をしてみました。

21ページ目ですけども、まとめとして、高速度撮影がされているということで、実行例としては、ここに書いてあるようなものがありますということです。バッテリーの爆発の様子とかというのも見ているようなんですけどもということです。今後、日本にもこういった同様のニーズがあると思われるので、引き続き調査を続けていく必要があるというのが結論ということでございます。

以上ちょっと雑駁な説明で申し訳ありませんけれども、先行研究の内容について御紹介いたしました。

(上坂委員長) 鈴木先生、御説明ありがとうございます。

それでは、委員会の方から質疑させていただきます。

それでは、佐野委員からお願いいたします。

(佐野委員) 御説明ありがとうございました。放射線の産業利用ということで、お話を聞いていると、色々応用の範囲が広がり、非常に将来性があり、日本の競争力という観点から重要な分野だと思います。

それで、幾つか質問をお伺いしたいんですが、一つは、このF-REIの先行研究が、F-REIに統合されていくわけですが、そのとき関連の人材も一緒に確保される予定があるのですか。それから、①のX線CTシステム技術の研究開発の主なチャレンジは、どういう点にあるのか、そのめどはついているのか。

それから、1点目と関係しますが、F-REIに入ることによって、どういうメリットを皆さんがお受けになるのか、その3点をお願いします。

(鈴木参事) まず、人材のところかと思うんですけども、我々の計画というのは、F-REIに研究者を雇用して、そこで中心になって、この研究開発を進めていっていただきたいと、我々としてはそう思っています。技術研究組合としては、もちろん産業界の方も入っていますので、そこと連携を取りながら、F-REIでの技術研究開発、比較的基礎的なものから装置開発まで、そこを支援していくと。

装置ができた暁には、技術研究組合の方でそのオペレーションといいますか、事業化ということまでいければもちろんいいかと思うんですけども、F-REIでいろんな企業の

方、あるいは大学の人が来て、その装置を使うというところの支援というものを、技術研究組合の事業としていくというような絵を描いておりました。

ただ、少なくとも令和5年度に関しては、F-R E Iでは人材といいますか、雇用はしないということをごさいますして、もっと言うと、全ての研究開発は外部に委託しますというような御方針のようでごさいますして、ちょっと今、我々が考えていた絵とは若干違うんですけれども、将来的にはそういう形になっていけばいいかなというふうに思っております。それでよろしいですか。

二つ目の技術的なチャレンジでごさいますけれども、佐藤さんから超大型X線CTの技術的なチャレンジのところを説明していただけますでしょうか。

(C P E 佐藤) 佐藤です。ちょっとリモートで参加になります。

技術開発の見通しがあるのかという御質問かと思えます。

超大型に関しましては、確かに世界で初めてというか、コンセプトとしては昔からあるんですけれども、実際に開発に着手しようということで、もう数年、検討を進めてきました。技術課題としては、やっぱり広範囲にわたっておりますけれども、一つ一つの要素に関しては、きちんと技術開発できると思っています。今3年半から4年掛けて技術開発をして、その後、実機設計をして、建設をしようというような形で今、計画を立てて、この先行研究の中で御提案をさせていただいた次第です。

御質問はこれだけでしたかね。

(鈴木参事) 私から代わって簡単に説明します。

9ページ目のところに、超大型X線CT装置については、幾つか技術課題が上がっているんですけれども、今回検討で明らかになったのは、やっぱりX線源をこういう、かなり高エネルギーのX線源が必要になるんですけれども、かつこのガントリーに乗せてグルグル回すということをごさいますので、撮像スピードを上げるためにも、軽量化ということ、安定して動くというようなことが重要だということで、X線源についてもチャレンジングなところで、最初から動かないと困るので、恐らく最初は出来合いのものということだと思っておりますけれども、今申し上げたように、なるべく軽量化して、撮像スピードを上げていくとか、あるいは画質を上げていくという意味で、X線源は一つチャレンジングなデバイスになるのかなと思います。

あと検出器、これもやはり軽量化しようと思うと、上坂先生は御専門ですけれども、なるべくコリメータを、コリメータはかなり重量物でごさいますので、それをなるべく付けた

くないというようなお話もございまして、そうすると、かなり散乱線で画像がやられてしまうと。そこを何とかソフトウェアであるとか、撮像方式であるといったところでカバーしていきたい、それはもちろんチャレンジなので分からないんですけども、そういうことも本事業の委員会で検討されているというようなことでございます。

以上です。

(佐野委員) 取りあえず外部委託なわけですね。ただ、将来F-R E Iに統合されていくメリットを、どのようにお考えですか。

(鈴木参事) F-R E Iの一つの目的として、浜通り地区の産業集積であるとか、復興推進ということがあると思うんですけども、我々としては、こういった超大型X線CT装置を浜通り地区に設置することによって、世界で一つしかないということで、そこにユーザーが来ると。かつユーザーが取ったデータを分析する、あるいは当然、超大型X線CTだけでは足りませんので、いろいろな分析をしてデータを出す、そのデータを処理する事業者がいるというようなことで、一定の産業集積、会社が集まってくるというふうなことを期待しています。

だから、それがF-R E Iに我々が貢献できる、福島に貢献できるということで、そういうことを考えているということでございます。

(佐野委員) どうもありがとうございました。

(上坂委員長) じゃ、岡田委員、お願いします。

(岡田委員) 御説明ありがとうございます。私の方からは、F-R E Iは教育も人材育成というのにも重点を置かれているような気がするのです。けれども、この装置はほとんど、先ほどの御説明もそうですけれども、地域貢献なので、産業に関係してくるということのような御説明だったような気がするのですけれども、そうすると、福島に根ざすというのは、どういう形で根ざしていくのでしょうかというのを、お聞きしたいのですが。

(鈴木参事) 書いていないですね。申し訳ありません。今日御説明した②のところ、超大型X線CT装置のための画像処理基盤技術の高度化調査というところがあるんですけども、ここで画像処理を中心にして、どういう研究開発がなされているかということ調査しましたけれども、それと同時に、この分野の技術者を育成するための教育プログラム、カリキュラムですけれども、そういったものも同時に策定しております。

基本的な考え方としましては、これは福島高専の先生にも入っていただいているんですけども、福島高専の学生さんがこういった技術を身に付けて、F-R E Iにということとは

ないかもしれませんが、この分野の職業とか企業に就職していくというような、あるいは研究者になっていくということを考えていらっしゃるということになります。

あと、もう一つは、福島ハイテクプラザさんというのも入っていらっしゃいますけれども、地元の企業の技術者とか、そういった方に対しても、先ほど申し上げたカリキュラムを使って、人材育成、教育をしていくということを計画に入れてございます。

お答えになっているかどうか、ちょっと分からないんですけども。

(岡田委員) ありがとうございます。できるだけ地元で、F-R-E-Iの方の雇用の問題もあるので、地元で根ざしたような何か、そこに住んで研究者が活動できるような、そういうものがあつた方がいいと思いますので、どうか今後、そういうことについても熱心にやられてほしいと思います。

私は特に、こういった分野に女性の活躍を促進する活動をしていますので、材料力学とか、言わば工業系で女性にも魅力的なものというものを打ち出してほしいと思いますので、よろしく願いいたします。

(鈴木参事) 今日はお話しできなかったんですけども、13ページ目の右の下のところに、文化財とかそういったもののデジタルアーカイブというようなことも考えていまして、最近よく博物館などで、CTスキャンを撮った化石の画像を見せるとか、いろんなことを、デジタルのアーカイブというのがあるかと思うんですけども、産業用X線CTの大きな運用の一つに、こういった文化財とか、そういったもののスキャンというのがございますので、そういったところで女性の方なんかも、機械工学ではないところで御活躍いただけるのではないかなというふうに思います。

(岡田委員) ありがとうございます。私も文化財の方をやった経験がありますので、是非、取材の方も、宣伝と言ったら変ですけども、広報をしてほしいと思います。ありがとうございます。

(上坂委員長) 上坂から幾つかお伺いします。まず、20ページの様々なX線の利用について、このXCCというのは、とても重要なこと。クラッシュ、どのようにボディーが変形していくかと。それを1,000フレーム毎秒で見られるということです。これと前半の方の大型の9MeVのCTとは関係あるのですか。つまり9MeVのCTで変形する様子を3Dで動画で撮ろうとお考えなのでしょうか。

(鈴木参事) さすがにそこまで考えておりませんが。

(高山常務) それでは、ちょっと私の方からお答えしたいと思います。

9 MeVで撮るデータというのは、スタティックな構造をデータ化できます。そもそも自動車は図面どおりできておりません。やはり様々な外乱要素があって、図面に対して、例えば生産ラインが複数にわたる場合、その複数にわたる生産ラインの影響で、ずれが生じます。そういったことが原因で、図面で衝突計算モデルを作って予測をしても、外すことは結構多いのが実態です。

今回は9 MeVの装置でスタティックな車両構造データを押さえて、このデータによってシミュレーションを行った結果と実機テストを比較するということが、現象をよりの確に捉えられるということが利用の目的になると思っております。

(上坂委員長) そうしますと、実験と計算との比較というのは、この実験、まずCTでちゃんとハードウェアの形を取って、それでこのクラッシュをして、それは別の方法で測っていくけれども、補足でね。その基の図面じゃない実際のデータとこのクラッシュの仕方を比較したいと、そういうことだと思います。

(高山常務) おっしゃるとおりです。

(上坂委員長) そうすると、この9 MeVのCTの、他の低エネルギーCTもあると思うのですけれども、まず、これが一つ目的で。ほかにはどういう目的がありますか。9 MeV CTを使って、3Dで見るのは分かるのですけれども。何が見たいのかですね。

(高山常務) 9 MeVというか、要するにプロダクト全体をデータ化するというこの意味が何かということかと思えます。よく言われるのは、ばらしてしまえば、より精緻にデータが取れるのではないかということは、質問としてよく上がるんですが、実際にはばらしてしまうと、失われてしまう情報というのが幾つかございます。

例えば機械的な話ですと、組み付けている状態で残留ひずみであるだとか、拘束応力、あるいは重力による変形、こういったものが完成品には入っているんですが、ばらしてしまうと、それが失われてしまって、実際の製造プロセス等を評価するときに、その点が実態とどういう関係になったのかということが問題になります。

若しくは、最近だと電池なんかは、ばらしてソートすると、もう内部が壊れてデータが失われてしまいます。非破壊の状態でも内部構造をデータ化しないと、完成状態でどういうふうな構造であり、なおかつパフォーマンスなのかということが評価できない、こういった問題がございます。

特に熱とか、電気とか、それぞれのコンポーネントが発信源になって、システム全体に伝播していくことで、コンポーネント間の関係性を評価しようとした場合に、全体をまず押

さえておくということが非常に重要でして、その意味で、自動車を対象にすると、この9 MeVぐらいのサイズが要るということではあるんですが、大型の構造物については、こういう手法が非常に有効的だと考えています。

(上坂委員長) 分かりました。

それから、一つ私の経験から心配なのが、9 MeVのX線源、つまりエネルギーが高いのでガンマ線です。この場合、鉄に照射すると、 (γ, n) 反応で、中性子が出るのです。実は20年以上前に、日本の病院の放射線治療科で9 MeVのX線源を使って、建屋の鉄筋コンクリートから中性子が出てきたのですね。それが大問題になったので、もう今は日本の放射線治療科のがん治療用の電子線形加速器は、中性子発生のない6 MeV以下ということになったのです。

今回9 MeV CTですが、振動動的変形しないように、ゆっくりスキャンしないといけないと思うのです。それで3Dスキャンですと、結構長時間鋼板等やエンジンにガンマ線を当てると、そこからの中性子発生が、心配だと。

というのは、私は3.95 MeV X線源で、X線をベリリウムターゲットに当てて中性子を出して、橋のコンクリートの水分を測定しようとしたのです。規制庁に伺ったのですが、その際も、周辺機器が一切放射化しないことを計算と実験で確かめろと、厳しく言われた。規制庁とその辺のお話もされているのかどうか、そこを伺いたいです。

(CPE佐藤) 上坂先生の御質問というか、御懸念はごもっともだと思います。9 MeVのX線CTというのは、今でも自動車会社で動いておりますけれども、ほぼ必要最低限のX線しか出さないように、まずX線源側できちんと遮蔽をします。ですので、確かに長時間の照射にはなるんですけれども、部分部分で見ると、ほんの数秒とか数分の照射になっています。

それから、もう一つは、確かに中性子の発生というのは、大量ではないですけれども、微々たるものでありますけれども、やはりこれもX線源側できちんとボロンを入れる、パラフィンを入れるとか、遮蔽をして、出る放射を少なくするような工夫をしております。

あと、実際に運用の中では、やはり照射したものを外に出すというときには、きちんと残留した放射能がないよねということを確認をして外に出す。もし万が一あるのであれば、それはきちんと冷却期間というんですか、それを設けて、外に出すというようなことが必要ではないかというふうに思っております。

一番怖いのは、分かっている材料に照射するのではなくて、いろんな材料に多分照射する

ことになると思うので、そこの撮影する検体に応じて、きちんと測定をして、外には漏らさないというようなことを、きちんと運用の中でもやっていく必要があると思っております。

(上坂委員長) ありがとうございます。是非これは放射線安全に関わることですので、是非、規制庁としっかりと議論した上で、運用していただきたいと思います。

(C P E 佐藤) ありがとうございます。

(上坂委員長) 私からは以上ですが、ほかに御質問等はないですかね。

じゃ、どうも本日は御説明ありがとうございました。

それでは、議題2は以上でございます。

次に、議題3について、事務局から説明をお願いいたします。

(進藤参事官) 三つ目の議題は、京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認（標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等）についての諮問でございます。

令和5年5月17日付けで、原子力規制委員会から原子力委員会に諮問がございました。

これは原子力規制委員会が試験研究用等原子炉の設置変更承認を行うに当たり、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第26条第1項及び第76条の規定に基づき、試験研究用炉等原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれがないことの基準の適用について、原子力委員会の意見を聞かなければならないこととされていることによるものです。本日、原子力規制庁から説明を聴取し、委員会において議論を行った上で、次回以降答申を行う予定です。

それでは、原子力規制庁原子力規制部審査グループ研究炉等審査部門安全規制調整官、金子真幸様、地震・津波審査部門安全管理調査官、岩田順一様より御説明を頂きます。よろしくをお願いいたします。

(金子安全規制調整官) 原子力規制庁、金子でございます。

それでは、ただいま御紹介のありました件につきまして、お手元の資料3-1、3-2、それから、参考資料3に基づきまして御説明申し上げます。

まずは資料3-1を御覧ください。

まずは、本件は京都大学複合原子力科学研究所の原子炉設置変更承認に関するものでございます。本件は令和3年12月14日付け、原子炉等規制法に基づきまして、設置変更承認が申請されたものでございます。原子力規制委員会として審査をいたしましたところ、承認の基準のいずれにも適合していると認められますので、別紙のとおり、同法第24条

第1項第1号に規定する基準の適用について、貴委員会の御意見をお伺いするものでございます。

続いて、別紙の御説明に入る前に、申請の概要について御説明申し上げます。資料3-2を御覧ください。

資料3-2の(3)に記載してございますが、こちらは京都大学複合原子力科学研究所につきましては、昭和37年3月15日付けで最初の設置承認が下りております。受けました設置変更承認の中から、今回は承認書の本文の5ポツ、試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の一部の記載内容の変更を行うものでございます。

続いて、(4)の変更の理由でございますが、試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の改正に伴いまして、京都大学複合原子力科学研究所における基準地震動に、震源を特定せず策定する地震動として、標準応答スペクトルを考慮した地震動を追加し、関連する記載事項の一部を変更するものでございます。

それでは、審査結果の概要につきまして、参考資料を用いて御説明申し上げます。参考資料3を御覧ください。

それでは、ここから説明者、岩田調査官に代わります。

(岩田安全管理調査官) 地震・津波審査部門の岩田でございます。パワーポイントを御覧いただきたいと思っております。

まず、1ページ目、審査の経緯をまとめてございまして、KURに関しましては、まず新規規制基準への適合性に関し、2016年9月に承認してございます。その後、2021年4月に規則改正等が行われ、震源を特定せず策定する地震動について、標準応答スペクトルについて策定することを求めてございます。本件は、先ほども御説明がありましたけれども、事業者がその規則改正に伴いまして、変更を行う必要があると判断し、2021年12月に申請を行ったものでございます。

次のページを御覧ください。右の表に標準応答スペクトルを考慮した地震動評価の手順を示してございます。その際、一般的には、左の赤字に示すとおり、複数の手法により模擬地震波を作成する手順としておりますが、KURでは一様乱数を用いる方法のみで評価してございます。これは左図の地下構造モデルが示すとおり、地震基盤相当面マイナス184メートルから解放基盤表面マイナス181メートルまでの層厚が3メートルと僅かであり、位相等への影響が小さいと考えられることによるものでございます。

次のページを御覧ください。審査の結果でございますが、一番下の赤枠のとおり、基準地

震動として標準応答スペクトルを考慮した地震動 $S_s - 1.0$ が追加されています。

次のページを御覧ください。基準地震動として選定をする理由でございますけれども、標準応答スペクトルを考慮した地震動をピンクの太線、既許可の $S_s - 1$ を黒線で示してございます。左側と真ん中の図が水平方向になっており、全て黒線で包絡されておりますけれども、右側の鉛直方向の図では、周期 0.2 秒から 0.9 秒の辺りと 1 秒の辺り、こういった複数のポイントで黒線を上回っているということから、基準地震動として選定されてございます。

以上が標準応答スペクトルを考慮した地震動の評価結果でございます。

次のページ、5ページを御覧ください。続いて、承認日以降の知見について確認したことでございます。まず、5ページ目は、地震調査委員会による中央構造線の長期評価に関するものでございます。左側の図、上が 2011 年、下が 2017 年でございますが、主な変更は、中央構造線の長さが約 360 キロから約 444 キロに見直されてございます。

一方、既承認の中央構造線の長さにつきましては、右の図に示すとおり、約 480 キロと評価しており、既承認の評価に影響がないことを確認してございます。

次に6ページ目を御覧ください。こちらは国土地理院による上町断層帯に関するものでございます。国土地理院 2020 では、上町断層帯とは別に、 21 キロの大阪湾南東岸断層を認定してございます。一方、既承認では、右の図でございますが、上町断層帯としては全体で 84 キロとして評価をしておりますが、国土地理院の知見に対応する部分につきましては、この KUR と緑の丸で書いてあるところの全面、これが 26 と赤い数字で書いてございますが、この部分を沿岸部の断層として 26 キロと評価しており、下の表に示すとおり、既承認の評価に影響がないことを確認いたしました。

それでは、また説明者を金子調整官に交代いたします。

(金子安全規制調整官) それでは、再び規制庁、金子が御説明申し上げます。

同じ資料の7ページを御覧ください。こちらのページ、今回の基準地震動の追加に伴う耐震設計の方針についての審査結果を記載しております。

一つ目の四角でございますけれども、審査結果の概要といたしまして、今回の追加に伴いまして、弾性設計用の地震動の設定方針につきましては、既承認申請書で示した応答スペクトルの比率であります 0.5 を用いた弾性設計用地震動 S_d の設計方針を変更しないとしていること、さらには、これ以外の耐震設計方針についても、既承認の内容から変更する必要がないことを確認しております。つきましては、今回の追加に伴って、耐震

設計方針については、いずれも変更する必要がないということを確認しております。

以上が審査結果の概要でございます。

続きまして、別紙の説明に入ります。資料3-1の裏面を御覧ください。そちら、別紙でございますけれども、この別紙の最後の方でございます本件申請につきましては、ただいま御説明しました審査結果、内容なども踏まえまして、試験研究用等原子炉の使用の目的及び使用済燃料の処分の方法を変更するものではないことから、試験研究用等原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれがないものと認められると考えております。

こちらの内容につきまして、資料の3-2で若干補足しておりますので、併せて御説明申し上げます。お手数ですが、資料3-2を再び御覧ください。

こちらの(5)でございます。試験研究用等原子炉の使用の目的及び使用済燃料の処分の方法についてでございますけれども、本件の申請につきまして、審査の過程におきまして、試験研究用等原子炉の使用の目的が、平和の目的に限る一般研究、材料照射、放射性同位元素の生産、開発研究、医療照射及び教育訓練である、これに変更がないということ、さらに、使用済燃料の処分の方法について、使用済燃料は我が国が原子力平和利用に関する協力のための協定を締結しています国の再処理事業者であります米国エネルギー省に引き渡すという内容に変更がないということを確認しております。

したがいまして、先ほども御説明いたしましたように、試験研究用等原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれがないものと認められると考えております。

私どもからの説明は以上でございます。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、質疑を行います。

それでは、佐野委員からよろしく申し上げます。

(佐野委員) 金子さんと岩田さん御説明ありがとうございます。

私からは1点確認したいのですが、この別紙の使用の目的、それから使用済燃料の処分方法、この2点はどのように確認されたのでしょうか。

(金子安全規制調整官) 規制庁、金子でございます。

ただいまの御質問に御回答申し上げます。平和利用の目的について、平和の目的以外に利用されるおそれがないものをどのように確認したかということでございますけれども、こちらはヒアリングや審査会合など、審査の過程はもちろんのこと、事業者から出されています申請資料ですとか、その他参考資料を踏まえまして、先ほど御説明した使用の目的及

び使用済燃料の処分の方法について、変更がないというものを確認しているということでございます。

(佐野委員) ありがとうございます。

(上坂委員長) 岡田委員、お願いします。

(岡田委員) 御説明ありがとうございました。私の方は審査書案の資料1、抜粋というところの4ページのところの基準地震動 S_{s-1} と標準応答スペクトルの比較のところを、質問させていただきます。今までの審査書を見させていただいたときに比べ、今回の S_{s-1} から S_{s-10} では、非常にグラフの数が多いのですがこれはどうしてなのでしょう。

(岩田安全管理調査官) 規制庁の岩田でございます。

基準地震動自体は、例えば3ページを御覧いただきますと、合計10波ございます。この4ページにございます図は、比較対象となる S_{s-1} と S_{s-10} を比較するための図でございます。先行の他社では、その見やすさの観点から、ほかの基準地震動を除くというようなやり方をしていたということで、これは見やすさの観点だけでございますので、特段意味はございません。

これは少しごちゃっとしておりますけれども、この絵で分かりますとおり、どこが超えているかというのが確認できればそれでいいと、そのように考えてございます。

(岡田委員) ありがとうございます。

以上です。

(上坂委員長) 上坂です。

今回の審査結果について確認させてください。このパワポの資料7ページです。上の審査結果の概要で弾性設計用地震動の設定方針について、既承認申請で示した応答スペクトルの比率である0.5を用いた弾性設計用地震動 S_d の設定方針を変更しないとしていることとあります。この弾性設計用地震 S_d と、この応答スペクトルの比率である0.5というのが、それまでのページで、探せないのです。この文章と数字がどこを意味しているのかを確認させてください。

(金子安全規制調整官) 規制庁、金子から御回答申し上げます。

この審査結果の概要にございます応答スペクトルの比率の0.5というものは、規制基準の解釈に記載されておまして、具体的に言いますと、試験炉設置許可基準規則の解釈第4条に、この0.5という記載が書かれております。規制基準に記載されているものでございますので、あえて今回の参考資料ですとかには書かれていないということでございます。

すが、御回答になっていますでしょうか。

(上坂委員長) それで、弾性設計用地震動 S_d というのは、今日の資料ではどこに対応するのでしょうか。

(金子安全規制調整官) 規制庁、金子です。

本日の資料ですと、この資料7ページ以外には出てきませんで、まず、冒頭から岩田が御説明いたしました基準地震動が今回追加されました。それに伴いまして、京都大学の原子炉に対しての耐震設計を、そこから導き出す地震動として弾性設計用地震動 S_d というのが設定されます。そういう話になっております。

(上坂委員長) そうしますと、今の御説明、この $S_s - 10$ 、これを基準地震動とするということですが、このことが弾性設計用地震動 S_d に対応するということでしょうか。

(金子安全規制調整官) 御説明申し上げます。金子です。

この審査結果の概要に書いてございますように、弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動に対して0.5の比率を掛けたものでございますので、今、先生から御認識のあったとおり、基準地震動と密接に関係のある地震動になっております。

(上坂委員長) では、この S_d に0.5を掛けたものが弾性設計用地震動ということですね。

(金子安全規制調整官) 基準地震動掛ける0.5が弾性設計用地震動 S_d になります。

(上坂委員長) ですね。ですから、そういう説明があった方が親切だと思うのです。今後、用語には事前説明を入れて下さい。これは最後の結果の文章ですか。

(金子安全規制調整官) はい。

(上坂委員長) ですから、この結果の文章に出ている用語の説明がその前がないというのは、ちょっと不親切だと思うのです。そこは今後入れるようにしていただけるとよろしいかと思えますけれども。

(金子安全規制調整官) 承知いたしました。

(上坂委員長) 分かりました。そういうふうには是非よろしく願いいたします。

ほかに御質問等ございませんでしょうか。

ありがとうございました。

それでは、本日御説明いただきました内容や意見交換を踏まえまして、委員会として検討いたしまして、今後、委員会の意見をまとめたいと思います。

どうも御説明ありがとうございました。

議題3は以上であります。

それでは次、議題4について事務局から説明をお願いいたします。

(進藤参事官) 今後の会議予定について御案内いたします。

次回の定例会につきましては、6月7日水曜日14時から、場所は5階共用A会議室でございます。議題については調整中であり、原子力委員会のホームページなどによりお知らせいたします。

(上坂委員長) ありがとうございます。

その他、委員から何か御発言ございますでしょうか。

それでは御発言がないようですので、これで本日の委員会を終了いたします。

お疲れさまでした。どうもありがとうございました。