第３５回原子力委員会定例会議議事録

１．日　時　　令和８年９月２９日（火）１４：００～１５：３４

２．場　所　　中央合同庁舎第８号館６階６２３会議室

３．出席者　　原子力委員会

上坂委員長、直井委員、吉橋委員、青砥参与、畑澤参与、岡嶋参与、

小笠原参与

内閣府原子力政策担当室

恒藤審議官、中島参事官

東京大学大学院

工学系研究科　建築学専攻　教授　丸山一平氏

４．議　題

（１）コンクリートの放射線による影響について（東京大学大学院工学系研究科　建築学専攻　教授　丸山一平氏）

（２）その他

５．審議事項

（上坂委員長）時間になりましたので、令和８年第３５回原子力委員会定例会議を開催いたします。

本日は、青砥参与、畑澤参与、岡嶋参与、小笠原参与に御出席いただいております。

本日の議題ですが、一つ目がコンクリートの放射線による影響について、二つ目がその他であります。

なお、青砥参与、畑澤参与、岡嶋参与、小笠原参与は９月２９日をもって任期を迎え、退任することとなっております。本日が原子力委員会参与としての最後の会議となります。会議の終わりには各委員から退任の御挨拶を頂くことを考えております。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

（中島参事官）それでは、一つ目の議題はコンクリートの放射線による影響について、東京大

学大学院工学系研究科、建築学専攻教授、丸山一平様より御説明いただきます。

本件は、原子力利用に関する基本的考え方の３．６．「廃止措置及び放射性廃棄物の対応を着実に進める」に主に関連するものです。

それでは、御説明をお願いいたします。

（丸山教授）東京大学の丸山です。御紹介ありがとうございます。

それでは、資料にのっとりまして説明さしあげたいと思います。どうぞよろしくお願いします。

それでは、次のページをお願いします。

この内容は、幾つか２００８年くらいから研究を継続してきているものの集大成的なものを今日説明することになるんですが、もともと２００８年頃に当時ＪＮＥＳのプロジェクトという形で検討をされていた中で、特に高経年の問題で継続的に中性子やガンマ線が当たったコンクリートに関して健全性評価に十分な科学的根拠があるのかということに着目された方がいらっしゃって、それでプロジェクトが立ち上がったという流れになっています。

私は２０１０年ぐらいからのこのプロジェクトには関与しています。ＪＮＥＳからＮＲＡに引き継がれたこのプロジェクトにおいて、どういう理由で中性子やガンマ線によってコンクリートが変質するのかということが分かりました。その後、事業者側ではどのように健全性をより適切に評価すべきか、という観点で、現在資源エネルギー庁の事業としてフェーズを二つ重ねて研究開発を行っている状況になっております。

次のページ、お願いします。

事業背景で、この間、プロジェクトが始まってからは福島の問題があったり、社会的な環境も色々変わっているんですが、現在の視点では既設炉の長期運転というのは新設炉の建設を待つことなく原子力の電力を生むことができる有効な発電方法と考えられます。最近はデータセンターの関係で非常に大規模に電力需要が増えている中で、古い原子力発電所を安全に適切に運用することによって社会貢献できると考えます。かつそれはグリーンな、CO_2排出を大きく出さない範囲で貢献ができるという社会的にも捉えられています。

原子力発電所を長期運転するときに、コンクリートを用いた部材は、構造物中においてさまざまな容器類を支える部材として存在していますが、このコンクリート部材は非常に高い耐震性が求められるために大規模な構造物になっていて、なかなか簡単に取替えができるようなものではありません。そういう観点で耐久性は非常に重要です。一方、一般的な土木建築構造物においても知見は多くある訳ですが、原子力発電所特有・特別な環境における長期

の利用という観点では、知見が十分ではない部分があるのではないかということで、中性子・ガンマ線によるコンクリートの変質に関する研究は国際的にも関心が高まっている、そういう研究テーマになっています。

原子力大国である米国では、原子力の運転が最大１００年になる可能性を検討している中で、やはりコンクリートというのは重要部位であるという認識に立っています。チェコやノルウェー、スウェーデンにおいても８０年運転の方針が示されていて、長く使うための高経年対策の研究というのは非常に今注目を集めております。

我が国でも、運転期間の上限では６０年を超える運転を可能とする新しい仕組みというものが開始されておりますので、そういう観点では同じ環境、社会的背景を共有しているというふうに考えてよいかと思います。

次、お願いします。

材料の高経年化研究は、鋼材やケーブルをはじめとして各種の研究について、皆さん色々やられているんですが、コンクリートには特有の研究課題、要素というのがございまして、それをここに記載しております。

コンクリートは基本的に地産地消の材料です。セメントの製造も地質学的な条件で原材料が決定し、それにあわせて製造が進められていますし、コンクリートはそもそもセメントと水と砂、砂利でできており、砂と砂利は多くの場合、岩石から成り立っているのですけれども、その岩石を遠くから運んでくることは余りしませんで、サイトの近くで手に入れられる骨材で造るのが一般的です。そういう意味では、一言でコンクリートと言っても中に用いられている材料が多様であるというのは、非常に研究対象として重要な前提条件になります。

照射試験の場合に通常は加速試験を行います。しかし、加速試験では単位時間あたりの照射量が大きくなるので、当然ながら線量率効果を前提に、実機の状態の高経年に関わる事象・変質を評価するという観点では、加速試験と材料の振る舞い、それに着目して適切に過大にも過小にもならないように評価する必要がございます。

さらに、照射試験そのものは研究用原子炉を用いて行うことが多い訳ですけれども、非常に高価になることが多いです。照射試験自体も高額ですが、特に中性子照射をして放射化してしまうと、直接人間が取り扱えないような環境の中で実験することになって、放射試験後の試験も非常に高価になりがちです。そういう中では、効率的に研究をするためには国際的な協調が必要不可欠で、かつ得られた成果・結果も国際的にコンセンサスを得られないといけません。少ないデータで、かつ最大の効率を追求できるような、そういう形で研究を進め

ることが重要です。先にも申し上げましたが、コンクリート特有の材料的背景があり、構成材料が色々変わるということを前提に、成果を効率的に得る必要があり、国際的な協調を用いてレバレッジを掛けて研究を進めるという点が非常に特徴的な研究スタイル、研究方針が重要です。

次、お願いします。

先ほども申し上げましたが、米国も原子力発電所を長く使うためにコンクリートに非常に大きく関心を寄せています。２０１４年にＵＳＮＲＣからレポートが出ていまして、特にコンクリートというのは圧縮に強くて引っ張りに弱いために、鉄筋を使ってうまく構造物として成り立たせている訳ですけれども、そんな中で、ある成分が内部で膨張したりすると簡単にひびが入ってしまって、剛性が落ちてしまったり強度が落ちてしまったりすることが起きます。そういう観点では体積変化に着目したテーマが幾つか重要であるということが指摘されていて、２番目に放射線の影響というのがリストされているという、そういう状況になっています。

次、お願いします。

特に、昨今では８０年超運転を米国のＵＳＮＲＣの方では進めている訳ですけれども、２０２４年にワークショップが開催されました。その中でもコンクリートの研究においては照射速度の効果、中性子束の影響などを考慮した適切な評価が重要だということで、データを様々な形で取得していく必要があるというようなことが指摘されています。

次、お願いします。

私どもの方で実施した研究を、概要をお話しします。

この２００８年に立ち上がったプロジェクトの中では、日本にある沸騰水型と加圧水型の原子力発電所の中で、放射線の当たる部分というのはここに黄色で示したような部分になる訳ですけれども、こういったところの変質がどう起こり得るのかということと、それをどういうふうに評価すべきか、ということが重要になるという前提で進められました。

次、お願いします。

こちらは、当時からよく参照されておりました図なんですけれども、ヒルスドルフさんというドイツの研究者の方が取りまとめたレビュー論文に示された内容になります。左側は中性子照射量とコンクリート圧縮強度の関係ということになっていますが、横軸が中性子照射量です。フルーエンスで、縦軸が強度比ということで、照射する前の強度と照射した後の強度の比率を示したものです。こう見ると右肩下がりになっていくんですけれども、よくよく

それぞれの論文に着目すると、一番右側にある黄色の三角は、セメントの部分が水ガラスであったりとか、あるいはこの赤い四角で囲われている真ん中辺の部分は、アルミナセメントといって軽水炉で必ずしも使われているものではない材料のコンクリートがこのトレンドを決定しているということで、そういう意味では軽水炉のデータというのはそもそも十分とはいえないのではないかということが当時考えました。また、その劣化メカニズムというのは明らかになっているとは言えないということが関連文献の調査の結果分かりました。

右側はガンマ線の照射量で、横軸はｒａｄと書いてありますがガンマ線による照射エネルギー量で、縦軸は強度比です。この図においても右肩下がりになっているんですが、この図の右側に赤い四つの点があり、強度が非常に低くなっております。このデータについては、データを取得して直接論文を書かれた著者が直接論文の中で記載されていますが、この強度の劣化というのは、放射線の温度を制御する目的で放射線を照射する試験を水の中で行った結果、ガンマ線照射によって簡単にセメントの水和物が水の方に溶け出してしまって、その結果、多孔になって強度が落ちたということが指摘されていて、データはデータなんですけれども、この劣化は明らかにガンマ線によるものであるとは言えないということが文献調査の結果分かりました。

次、お願いします。

こういう文献調査を基に作業仮説を作りました。中性子を当てると２次ガンマ線が出ます。ガンマ線が出た後、最終的にそれらは熱として吸収されるものが大部分になります。そういう観点では、中性子とガンマ線と熱、それぞれがコンクリートの構成材料とどのような相互作用を生じるかを理解するのが大事で、これらを理解することを目的に要因別に実験することとしました。

上の図を見ていただくと、先ほども申しましたが、コンクリートは骨材、岩石からできているゴロゴロしたものを水とセメントで混ぜたものを接着剤（ペースト）として束ねた形の材料になります。このペーストの部分、水とセメントと混ぜたものが反応した結果できるものと、岩石はそれぞれこれらの因子とどう相互作用するかというマトリックスを組んで実験・評価を進めることとしました。

次、お願いします。

これは一例です。地質学の人とか、電子顕微鏡を使った分析をされている方はなじみがあるのですが、石英の粒子を透過型の電子顕微鏡で見た例で、最初は左側の図のような見ばえになるのですが、しばらくするとすぐ右側のようになってしまいます。このときに返ってき

た、電子線を当てた結果返ってくる回折の結果を示したものがそれぞれの図の右下にあるんですが、最初はきれいな結晶構造になっているんですけれども、すぐに潰れてしまうことが分かります。

つまり、電子線のようなものでも、この場合はごく表層だけなんですけれども、それでも変質が起きる。特に結晶の構造がなくなるという事実が分かります。

次、お願いします。

以上のように石英が放射線に弱いということは、実は１９５０年ぐらいまで遡って文献が存在します。鉱物の分野では有名な現象であります。この事実をもとに、コンクリートの研究をするときに大きな仮説として、骨材の中で石英が今のように結晶構造が崩れて膨張すると、骨材も膨張するし、結果としてコンクリートも膨張しながら、ひび割れが入って強度やヤング率が落ちるだろうという仮説ができます。

ちょっと沢山情報がある図で恐縮ですけれども、左下の図で何が言いたいかというと、２年間を掛けて四つの中性子照射量の照射試験を行いましたということが大事なポイントです。

右下には照射キャプセルの様子と中の試験体の種類が書いてあるんですけれども、コンクリートを２種類用意しました。これは、水とセメントと砂までは全く同じなんだけれども、大きなゴロゴロした骨材の部分だけ違う種類のものを用意して、粗骨材の石英の量の違いがコンクリートの物性の違いに影響があるかというのを確認することを目的に実験をいたしました。

それ以外に、この下の方に小さな試験体を何個か入れて照射試験をしました。これらは、セメントペーストと、異なる種類の骨材の試験体です。これらを照射して、それぞれどのような変質を生ずるかを確認しました。

次、お願いします。

実験はノルウェーにあるＪＥＥＰⅡ炉を使いました。これは重水型の原子炉で、ガンマ線の遮蔽が非常に効くために試験体の温度が上がりにくいという性質を持っていることから、実際の原子力発電所の中の温度環境に近い条件で加速試験ができるということで、この炉を選定しました。真ん中の図は、実際にこの炉の中心に我々の試験体を入れるところの写真になっています。

次、お願いします。

もういきなり結論になっていくんですけれども、水と砂、セメントで混ぜたセメントペーストというのは、この図にあるように横軸が中性子照射量で、縦軸がビッカース硬さといっ

て強度と関連のある物性値ですけれども、順々と右肩下がりになっていきます。つまり、セメントペーストは強度は落ちません。これは中性子とかガンマ線が当たって結晶構造が何らかの変化があったとしても、すぐ横に水分があるものですから、溶解が進んで、もう一回際析出して元のような状態に戻ってしまうので、結果として照射によるダメージが蓄積しないというふうに解釈できます。

次、お願いします。

一方で岩石なんですけれども、先ほど申し上げましたように、以前の研究で石英が非常に膨張しやすいということは分かっていました。ですので、日本中から堆積岩である砂岩の岩石を集めてきて、その中の石英量が違うものをこの実験では用いました。左側の図はこの縦軸が色んな成分の比率を示していますが、白い部分が石英で、グレーの部分が別の鉱物を示しています。

このように、石英量の違う砂岩の試験体を照射したのち、長さ変化を測定した結果が右側になります。横軸に岩石の中の石英量、縦軸にその膨張の量を示しているんですけれども、中性子の照射量が少ないときは非常に石英量と膨張量（＝長さ変化）が相関しました。だんだん照射量が大きくなると、その線形性が崩れていくのは石英以外の鉱物も膨張する挙動を示すためで、特に長石類が膨張するのですが、そのために線形性が崩れるという、そういう関係になっています。

一方で、一番ゼロのところにあるのは、これは石灰岩なんですけれども、石灰岩は中にシリカは全く入っていないイオン結合性の岩石で、全然膨張しないという結果になっています。

次、お願いします。

これは粉末Ｘ線回折の結果で、Ｘ線の原子の結晶による回折現象にもとづき分析したもので、結晶構造がどう変化したがというのを調べた結果です。これ、右の方のピークに着目していただくと、薄い青から濃い青、緑、黄色、オレンジという形で照射量が増えていくんですけれども、ピークの位置がちょっとずつ右にずれる。つまり結晶の構造がちょっとずつ膨らんでいるということがわかります。また、ピークがだんだん小さくなっていく。つまり一部分は結晶が乱れてしまってピークを返さなくなって、つまりアモルファスになっていくということがわかります。この図からは以上の二つの現象の挙動が見えています。

次、お願いします。

これは別の観点で示したもので、電子顕微鏡で岩石をきれいにカットして照射後の試験体を観察したものなんですけれども、左上が全く何もしてない状況です。上の段の右にいくほ

ど中性子の照射量が多くて、一番下が最も中性子照射量が多い、そういう条件での結果になっています。

見ていただくと、鉱物の粒子から骨材が構成されることがわかりますが、この鉱物＝結晶の粒子と粒子の間にひびが入って、ひびが広がっていくのが確認できます。この岩石はほとんどが石英でできているんですけれども、結晶の方向がそれぞれ違っているので、結晶方位によって膨張量がそれぞれ違うために、お互いに均一に膨張しない現象が生じるので、その結果、ひびが拡大しています。

ちなみに、１個前のページで示したＸ線のデータというのは、この粒子一個一個の中の結晶がどうなっているかというのを平均的に示したもので、先ほど言ったように膨張が起きて、アモルファス化が起きて、その結果その粒子と粒子の間にひび割れが生じるという状況になっています。

こちら、中性子の照射量で一番多いものは、実験計画のときに最大照射量を０．１ＭｅＶ以上の中性子を対象に、１×１０^{19}ｎ／ｃｍ^{2}、６×１０^{19}ｎ／ｃｍ^{2}、これは美浜の２号機の最大値だというふうに当時言われていましたけれども、その値をカバーするようにという条件で実験をしてみました。実際はもう少し大きくしまして、その１．５倍、大体９×１０^{19}ｎ／ｃｍ^{2}くらいの値になっています。これはエネルギーの閾値を変えているので、ちょっと大きな点になっていますけれども、大体それくらいの値が最大照射量ということになっています。

次、お願いします。

これがコンクリートの実験結果です。この図は、左から強度、ヤング係数、質量、寸法変化を示していて、上が中性子照射によってどう変化したか、下側は中性子照射のときに温度も上がりますので、その温度を記録しておいて、温度を完全にコピーしたときにどんなことが起きるかというのを示したのが下側の結果になります。ちょっと全部を説明するのは難しいんですが、一番右上の図を見ていただくと分かりますが、照射量が多いほど長さ変化が大きくなっているということが分かります。これは先ほどもお見せしたように、中の骨材が膨張しますので、それによってコンクリートも膨張していると。

この図の中に赤い線と青い線があります。赤い線というのは粗骨材の中の石英の量が多くて、青い線というのは粗骨材の中の石英の量がその半分くらいになっています。つまり、中で用いる骨材の種類によってコンクリートの膨張量は変わります。特にそこでは石英が効きますということがここで明らかになります。

この上の図の左側を見てください。これは強度なんですけれども、青と赤で見ると赤の方が下がりが大きいですね。強度の低下が大きいです。これは右側の膨張が大きいのと対応していまして、石英が多いと膨張が大きくて、ひび割れが沢山入るので強度が落ちるという、そういう結果になっています。逆に膨張量の少ない骨材を使うんであれば、そのダメージは少なくて、強度の低下は緩やかになるというのが左上の図として示されている訳です。

加熱試験の方ですが、熱だけでもちょっとだけ強度下がったりとか、長さ変化はほとんど変わりませんけれども、少しだけ収縮します。というような結果になっています。

次、お願いします。

これは実際に照射した後の試験体です。先ほどの図にもありましたが、数％も膨張しているのにグズグズに崩壊する訳ではなくて、手で持てます。ひび割れは中にいっぱい入っているんですけれども、連続性・一体性を有している結果でした。左下のように沢山ひびが入っているんですね。

次、お願いします。

当時の実験結果をまとめた結果なんですけれども、横軸に中性子照射量で、縦軸に強度の比率を示しています。プロジェクトをやっている最中に、ロシアでも、かつて非常に精力的に研究をされた方がいらっしゃって、幾つか参考になるデータが発掘されましたので、同じような条件になるデータを選定して、この図の中に示していますが、この結果分かったことは、強度の低下というのをよく見てみると、１×１０^{19}ｎ／ｃｍ^{2}（≧０．１ＭｅＶの中性子について）くらいから強度低下が始まって、特に放射線の影響で始まっているということが分かると。

この結果はヒルスドルフの論文の結果と同様でした。ただし、当時ヒルスドルフの図の解釈の違いなんですけれども、強度の低下は１×１０^{20}ｎ／ｃｍ^{2}くらいまで問題は生じないというような見解もあって、一つの目安とされていたんですけれども、この研究によって一桁厳しくなるんですけれども、１×１０^{19}ｎ／ｃｍ^{2}から留意した方がよいという知見が取りまとめられました。この成果は、ヒルスドルフの結果であったり、当時のＵＳＮＲＣの判断とも整合する結果でした。

次、お願いします。

この結果を規制庁の小嶋さんにも大変親切にまとめていただきましたし、リードしていただきましたけれども、技術報告としてレポートになっております。左側は私どもの方で全実験結果と考え方を整理した学術論文になっております。このプロジェクトは骨材とセメント

ペーストとコンクリートについて共通の材料を用い、膨張と劣化のメカニズムを示すデータを一気通貫で初めて取得して、変質メカニズムを明らかにしたという成果になっております。

次、お願いします。

次に、ちょっと立場変わって資源エネルギー庁によるプロジェクトとして研究開発を進めさせていただいております。前回お見せした規制庁プロジェクトのときには、岩石として砂岩だけ用いました。それは先ほど申し上げましたように、石英だけが非常に重要なんではないかというところからスタートした結果だった訳です。しかし、実際には特に高経年のときに中性子の照射量が多くなるのはＰＷＲ型の炉の場合ですので、西日本の方にある岩石に着目する必要があって、そういったところのデータを適切に取りましょうということで、堆積岩だけではなくて火成岩であるコンクリート用骨材を採取して実験データを取ることが重要となりました。また、それ以外にも、先に述べたように加速試験の結果において、実機の条件により近い形でのデータをどのように評価するかという観点で研究を進めております。

次、お願いします。

残念ながら、Ｈａｌｄｅｎプロジェクトの ＪＥＥＰ－Ⅱ炉が廃炉になってしまったので、その後世界的にもう一度調査をしたところ、チェコのＣＶＲにあるＬＶＲ－１５という炉が照射試験として、特に骨材のサイズであれば適切に実験できるということが分かりまして、ここで実験を進めました。

次、お願いします。

こちらは骨材の体積変化のデータのスナップショットなんですけれども、横軸に中性子照射量で縦軸に体積膨張量を示しています。玄武岩とか安山岩などは照射すると若干縮む傾向があるということが分かりました。これはメカニズムは完全には理解されていないんですが、大体火山岩ができるときには急激な冷却が生じているので、その時にガラスができますので、そのガラスがどうも縮むんではないかというふうに私どもは仮説として持っています。残念ながら、放射化の程度が高いので、詳細分析はまだできていないです。しかしながら、骨材にも収縮するものがあるという新しい知見が蓄えられております。

次、お願いします。

これはまた別の角度で取りまとめた実験結果です。これは様々な岩石、人工石英を照射した結果をとりまとめた結果です。横軸は中性子の照射量で、縦軸が石英の膨張量になっているんですが、一つ石英といっても顕微鏡で見てみると石英の一粒の大きさが数十マイクロメーターとか１００マイクロメーターくらいのものから、非常に大きなものまで様々あるんで

すね。この実験結果では、どうも石英の粒子が小さいものほど同じ照射量が膨張量が大きくなる傾向があって、石英が大きいとそんなに膨張しないという知見が得られました。

次、お願いします。

もう一つ大事な知見が同じ図にあります。１秒間に何粒中性子が当たるかということを中性子束（中性子Ｆｌｕｘ）と呼びますが、その中性子束が異なる条件で実験を行った結果、同じ中性子が当たる量に対して、その到達する時間が異なると膨張量も異なるという非常に重要な知見が得られました。今回世界で初めての成果です。

この実験では、中性子束が４倍になると膨張量が２倍になりました。この結果から、もし結晶の膨張が、中性子が当たって、損傷して、その損傷によって膨張が一意に決定するのであれば、時間がどうであれ、中性子が何粒当たったかで決まらないといけません。しかし、実際はそうはなっていない。つまり何か損傷から膨張が生ずる機構を直す／治癒する効果が存在するということがこの実験によって示されました。

次、お願いします。

この治癒効果のメカニズムの存在は別の角度からも指摘されていました。これはロシアのＢｙｋｏｖさんという方が１９８１年に取りまとめた論文の中にある図なんですが、横軸に中性子の照射量で、縦軸が膨張量です。中に数字があるんですけれども、照射試験を異なる温度で行った結果をとりまとめています。この図によれば高い温度で照射試験をすると膨張が非常にゆっくりで、低い温度で照射試験をすると非常に急激に膨張するという、そういう傾向が示されています。この結果も治癒効果の存在を示唆しています。つまり、中性子が当たって損傷ができて、それによって膨張が決まるなら、温度の影響は関係ないはずです。ところが温度の影響が存在している。そういう観点でやはり回復メカニズム、あるいは遅延するメカニズムがあるということが示されました。

ただ、この図は、先にもいいましたように中性子束の効果を含んだ図になっているので、厳密には温度効果のみを取り出した図にはなっていません。すなわち、実は二つの温度・中性子束の因子を一つの因子で取りまとめてしまった図になっています。そのため、厳密に議論はできなかったんですけれども、この図でもそういったことが示唆されているということでした。

次、お願いします。

中性子を当てて損傷がある部分と健全なある部分で、それぞれ固有の照射による影響をうける断面積があると仮定します。それぞれの固有の相、ダメージがある相にそれぞれ中性子

による相転移の感度を割り当てて、左下にあるような偏微分方程式を作ります。この式は中性子によって相が変化しますというのと、ローマ字のｂで示される、ダメージ相が自然と固有の結晶相に回復する機構が含まれていて、三つの中性子フラックスで得られた実験データを用いてフィッティングさせてパラメータを得た後に、実機の条件でどうなるかというのを外挿して検討してみると、実機ではほとんど膨張しないという結果になりました。このことは実機においての放射線影響は、想定よりも非常に低いのではないかということを示唆しています。

次、お願いします。

放射線ということで、少しガンマ線にも触れさせていただきたいと思います。

規制庁のときのプロジェクトではガンマ線単体の実験もしました。熱だけを与えた試験体の圧縮強度と、ガンマ線を与えて熱も勝手に発生した試験体の圧縮強度の実験データを比較した図がこちらになります。

実は天然の状態にコンクリートを置いておくと、空気中のCO_2と反応してしまって、炭酸化、あるいは中性化と呼ばれる現象が起きて、化学反応が生じます。ですので、この図の中には温度の影響とガンマ線の影響と中性化の影響があるのですが、それぞれ切り分けた実験データが一つの図に集約されています。

この図の横軸はどれだけコンクリートから水分が減ったか、縦軸がどれくらい強度が変化したかという図なんですけれども、緑色の囲われた図と赤色の図というのを比較すると、中性化がある条件で熱だけの実験と、ガンマ線を当てたものではほとんど変化ありませんでしたと。青色で囲われたデータと肌色で示されている加熱試験のトレンドでも同じく変化は余りありませんと。つまり、ガンマ線を照射しても、熱の影響で変化はするんだけれども、ガンマ線単体で特段の大きな違いは生じず、実験データのエラーバーの範囲に収まっているということが分かりました。

次、お願いします。

同じ放射線で、先ほど電子線でも変化するというお話をしましたが、実際にＰＨＩＴＳという解析コードを用いて、どれくらいガンマ線で骨材が膨張し得るのかということを検討したんですけれども、この図全てを説明し切るのは難しいんですが、結論から申し上げますと、１００年とか２００年とか非常に大きなガンマ線照射量のときに初めてコンクリートの強度を変化させるような鉱物膨張が生ずるのであって、いわゆる高経年で１００年の範囲で鉱物がガンマ線単体で膨張するような結果にはならないということが明らかになりました。

次、お願いします。

今後、今ちょっとだけ私が考えていることをお話しさせていただきます。中性子の影響は実機の条件においては、加速試験で見られているものに対して大分少ない可能性があります。安全目に見るのであれば今の状態でもよいと考えられるかもしれませんが、合理的に判断するのであれば、やはり実機の状態のサンプルをちゃんと確認して、どうなっているかということを確認し、合理的な評価をするのが重要ではないかと考えます。先にも示しましたように実機においては大分膨張しない可能性ということが見えていますので、これから廃炉にするような炉も出てきますので、そういったところから試験体を取ることによって、今まで過度に安全側で評価していたものに対して合理的なリスクの見直しというのが可能になるんじゃないかというふうに考えています。

これらのデータは、今ある炉だけじゃなくて、次世代炉とか、ＳＭＲとか、次の次代において、より安全で適切なコンクリート材料・部材の建築に重要な知見を与えますので、将来においても適切な投資、重要な研究になるというように思います。

これらの実験を海外でしかできないというのはちょっと残念なところがありまして、国内の炉はＪＲＲ－３が少しだけ昨今、照射試験を開始したというふうにお伺いしていますけれども、もう少し幅広にできるような環境が日本にもできるといいなというふうに考えています。

廃炉材の研究ですけれども、材料は変化します。長く使おうとすると古い材料はどうかということを含めて研究しなくてはいけません。例えばコンクリートの分野でいいますと、今カーボンニュートラルの文脈でセメントもどんどん変わっていってしまっています。だから、昔安全ですと確認した材料が、逆に言うと将来使えないか可能性も高いです。高経年の観点では廃炉材の研究をすることによって残りの部分を救うような、そういうことができると思いますし、今後のことを考えると、廃炉材の材料と今ある材料の違いを理解することも大事なので、材料の各要素と与えられた環境下にある変質を性能論的に結びつける研究を継続的に実施し続けるということがコンクリート工学の観点からは重要と思います。

国際連携はもちろん、先ほども申し上げたような理由で、世界的にコンセンサスを取りながら進めるということが大事ですし、この分野は非常に日本を信頼してくれる国が多いです。米国も非常に足並みそろえて今研究できているんで、世界を牽引する分野を持つことも含めて、引き続き研究を継続できる環境があると良いと思っております。

次、お願いします。

この本資料は、今回私が代表して報告させていただきましたけれども、三菱総合研究所であるとか、東京大学とか、千葉大学とか、鹿島建設さんとか、色々な方に入っていただいて進めたものです。一番上にはＣＮＷＧの網の中で、米国のオークリッジの研究者の皆さんとも非常に密にやらせていただいていますし、照射試験をやっていただいたチェコの人たちにも非常に協力を得ています。プロジェクトは資源エネルギー庁の支援ということで、皆さん方の成果だということをお伝えしたいというふうに思います。

御報告は以上になります。ありがとうございました。

（上坂委員長）丸山先生、御報告、御説明ありがとうございました。コンクリートの放射線による影響を、ミクロ、マクロの視点で様々な要因を考慮されて分析してくださった結果だと思います。

それでは、委員会の方から質問させていただきます。それでは、直井委員からお願いします。

（直井委員）どうも丸山先生、御説明ありがとうございました。

原子力発電所の長期運転に向けて、炉心周りの高い放射線環境のコンクリート構造材の健全性に関わる御研究ということで、原発を最大限活用するという観点から大変重要な研究で、既に数多くの成果を出されているということに敬意を表したいというふうに思います。

まず、基本的なところを確認させてください。

２ページのところで、Ｐｈａｓｅ１と、それからＰｈａｓｅ２－１というところがあって、これはこの二つのフェーズでの事業というのは６０年までの運転認可が行えるようなコンクリート強度劣化の予測手法ですとか、科学データの整備に御貢献をされたと。それで、現在実施中のＰｈａｓｅ２－２においては、６０年を超える運転におけるコンクリート強度劣化の予測手法ですとか科学データの整備を行っているところというような理解でよろしかったでしょうか。

（丸山教授）ありがとうございます。

Ｐｈａｓｅ２－１というのは加速試験の膨張を前提にどういった健全性手法があり得るかという観点で検討しました。Ｐｈａｓｅ２－２は更に中性子束の影響や、より現実的な観点での将来予測を含めた検討、更に高度化するという観点で進めているという形になります。

（直井委員）ありがとうございます。

それから、６ページ目のところで高経年化した材料を採取し、これは廃止措置をしているところで、恐らく炉心回りのコンクリートを取ってくるというようなことかと思うのですけ

れども、これ具体的にどんな研究といいますか、成果が出ているのか教えていただけますでしょうか。

（丸山教授）ありがとうございます。

中性子やガンマ線の照射量が高いコンクリートの分析は、まだ世界的にできていません。そういったものを実施すべきだということがワークショップで議論されたということです。国内では浜岡の炉を使ってコンクリートを詳細に分析した事例がありまして、放射線の影響とは違うんですが、実際の建築土木の構造物でも余り長期の分析はできていなかったところがあります。

その中で、岩石もセメントの水溶物と反応して強度が非常に高くなる、どんどん強度が上がるという、そういう性質があるとか、幾つか従来にない知見が得られているという、想定を超えた知見の拡充がありました。

（直井委員）どうもありがとうございます。これ貴重な研究になると思うので、将来期待したいなと思いました。

それから、最後に３３ページのところで研究の体制について御説明ございましたけれども、アメリカとの関係で、日米民生用原子力協力のところで具体的にどういうような協力が進んでいるのか教えていただけますでしょうか。

（丸山教授）例えば、規制庁事業で照射した後の試験体をオークリッジ国立研究所に運んで、分析を進めるというような形で、例えば貴重なサンプルを分け合って、詳細分析してデータを取りまとめていくというようなことを実施しました。また、数値計算で物性の変化がどうなるかとか、時間依存性強度はどうなるかといったことを予測するプログラムを日本でも米国でも開発していますけれども、そういったものをラウンドロビンというか、ブラインドテスト的に比較したりしながら、お互いの知見の補完を行ってより高度化するとか、そういった形のコラボレーションを進めています。

（直井委員）ありがとうございます。

これはまだ継続しているという認識でよろしかったでしょうか。

（丸山教授）そうですね、はい。継続しております。

（直井委員）どうもありがとうございました。私からは以上です。

（上坂委員長）吉橋委員、お願いいたします。

（吉橋委員）丸山先生、御報告ありがとうございます。

大変詳細な実験の中で、最終的には実機の中性子環境条件においては、現状ではコンクリ

ートのリスクというのはほとんどない、というような可能性があるということをお示しいただいたのは、今後原子炉を長く使っていくという点におきましては非常に期待できる成果で、すばらしいなと思っております。

先生の御研究の中で、今回膨張というのが非常に重要な意味を持っていたかと思います。膨張の場合、結晶構造が壊れてひび割れが生じるというような仕組みがあったかと思うんですけれども、現状で収縮の場合はどんなことが起こるというような、何か予想みたいなものがあるのでしょうか。

（丸山教授）はい。現実世界になかなかないんですけれども、数値解析的には骨材を縮ませた後、載荷試験するということができるので、そういったことで検討してみますと、やはり強度とヤング率が落ちるという結果が出ています。ただし、膨張側の方が非常に危険性が大きいというか、際限なく下がっていきますが、縮む方は何というか、これくらいのひずみ量ですと上限が決まっていて影響が限定的だと思います。

縮んでいるから全部大丈夫という訳ではありませんで、縮むのは縮むのでコンクリートの中でちょっと変化が起きるというのは事実だと思います。

（吉橋委員）ありがとうございます。

そのような研究につなげてなのですけれども、先ほど最後に先生の方から、現状のコンクリート材に関しては今のところリスクはないだろうというようなお話でした。今後は、新しいセメント材が出てきたりだとか、色んな部材だとかが出てくると、また色んな評価が必要なのかなと思うのですが、現状照射試験できる施設が減ってきている訳ですけれども、そういった基礎的な研究をする上において、もう少しフラックスの低い中性子源を利用する価値というのはあるのでしょうか。

（丸山教授）そうですね、あると思います。例えば、ゆっくりであるがために素過程が見やすいというようなメリットもありますと思いますので、そういった中性子源で、例えばＩｎ－ｓｉｔｕで何か確認できるとか、あるいは非常に低い中性子量のところで小刻みに細かい観察ができるというようなことというのは非常に重要だと思います。特に今御指摘いただいたように、ガラス層であるとか、色んな鉱物が岩石の中はありますので、これを全部中性子照射実験するのは非常に高額ですから、そういう意味では補完的な役割があるのではないかというように思います。

（吉橋委員）どうもありがとうございます。

私も、フラックスは弱いのですけれども、中性子源を持っておりますので、こういったと

ころに何か役に立つのかなと思いながらご質問させていただきました。そういった補完的なデータの取得に、我々の中性子源の利用価値がわかり、うれしく思います。非常に詳細な研究の御紹介ありがとうございます。

私からは以上になります。

（上坂委員長）それでは、参与からも御質問や御意見を伺います。青砥参与から御意見を頂ければと思います。

（青砥参与）極めて子細な研究成果の報告、ありがとうございました。

今、吉橋先生からもありましたように、これまでの過大な保守側の評価の抑制といいますか、可能性について指摘をされたことに強い印象を持ちました。今回得られたデータ、あるいは知見の理解を深めるために、二つほど確認させていただきたいと思います。

１点目は、先生の資料や評価の内容を見ますと、かなり表層に近いところを考えれば非常に高い精度の知見だと思うのですが、実際の建物にはある容積を持ったコンクリートが使われています。先生も御存じのように、そこに特徴的な自由水というものがあって、そういったものがこうした先生の知見にどのような影響を与えるか、どうお考えなのかという点が１点です。もう１点は、自重を含めた内部に残された負荷、ストレスといったもの。特にコンクリートは御存じのように、固化収縮するときにストレスをためますから、それらについてこうしたものが特に途中でお話があった膨張の抑制というか、回復についてのシステムについて、機構に影響を及ぼすものかどうかについて、どうお考えか、お願いしたいと思います。

（丸山教授）分かりました。ありがとうございます。

前者の方はおっしゃるように、そもそもコンクリートは遮蔽体で使われていますから、中で中性子もガンマ線も部材内部で減衰します。減衰のメカニズムは違うにしろ、減衰します。

御指摘のとおり、例えば１．５メートルある遮蔽壁に対して、中性子については１０センチとか、１５センチとか、２０センチとか、大体その範囲の議論になりますので、そういう意味では大きな部材の中では限定的な議論であるのは間違いありません。

自由水は、例えば内部の温度勾配でも移動したりとか、その移動に伴ってセメントペーストが縮んだりという形で、物性変化に何らか寄与すると認識しています。ただし、奥の方で残っている自由水は中性子の遮蔽にも非常に有効ですので、水分が一定程度あるということ自体も遮蔽体としては価値になっていますので、過不足なく評価する場合には、水も含めて評価していく必要があると思います。つまり、耐震だけじゃなくて、遮蔽とか様々な要求される機能をそれぞれの観点で評価することが重要だというふうに思います。

次のストレスの話です。ストレスの話はおっしゃるとおりな部分がございます。ただ、私が理解しているというか想定しているのは、例えば遮蔽壁における長期の軸力も１桁メガパスカルくらいであるということであったり、コンクリートの場合も引っ張りは数メガパスカルでひびが入ってしまいますので、そう考えると自己釣合いの範囲でものごとが完結する、つまり外力がない範囲での自己応力というのはひび割れが大きく確認されていないという事実を考えるとそんなに影響は大きくないのではないかというふうに思います。

一方で、形状がリング状になっていますから、リング状になっている内側で膨張が入ったときに、確かに数十メガパスカルぐらい計算によると圧縮応力が入るんですね。そのときに円筒状の部材の中で放射線状にひび割れが生じるのではないかとか、そういったことはひょっとしたらあるかもしれません。

あともう一つは、１番の問題とも関連しますけれども、水が残って応力が掛かると、プレッシャーソリューションといって鉱物でも溶解が促進する現象があります。そう考えると、実は応力が掛かったところは溶けてどこかに再析出するので、その結果、余り応力がたまらないという、逆に水を考えることによってその影響が低下するという、そういう現象も想像の範囲ですけれどもあり得ます。ですので、そういう意味でも実機を分析できると非常に示唆的なデータが得られる可能性があるんじゃないかというふうに個人的には思っています。

ちょっと雑駁ですが、以上です。

（青砥参与）ありがとうございます。

是非今後、これまでの子細なミクロ的な評価とともに、今おっしゃったマクロ的な機構についても考慮いただいて、是非すばらしい成果を上げていただきたいと思います。ありがとうございました。

（丸山教授）ありがとうございます。

（上坂委員長）それでは、畑澤参与から御意見を頂ければと思います。

（畑澤参与）丸山先生、今日はコンクリートに対する放射線影響ということで、詳細な実験データを基にお話をしていただき、大変ありがとうございました。

今回の研究の目的・背景が、原子炉を対象にした廃炉の計画時期であるとか、原子炉を想定しておられた訳ですけれども、例えば私ども医療の現場で加速器を使って中性子を発生させたり、プロトン、デュートロン、ガンマ線を使った診療をしている訳です。その施設の放射線による劣化ということも現実に起こっている訳で、例えば加速器施設では２０年程度を想定してその改修をしたり、補強をしたり、廃止をしたりしている訳です。

その時期的なことについては全く科学的なエビデンスがない状態で行っていて、特に施設のコンクリート壁の劣化がどのような状況で、どういうふうに劣化しているかのデータもない訳であります。特に、コンクリート壁の放射化が起こって、若干ですけれども、診療施設内の放射線のバックグラウンドが上がって患者さんの被曝が増えてくる、医療スタッフの被曝が増えてくるというようなことを目安にして、施設の改修であったり、廃止であったり、廃棄であったり、そういうことをしている訳ですけれども、今日の先生のお話を聞きますと、建築のときのコンクリートの材料によっても違う可能性があるし、そもそも原子炉とは違うレベルの中性子であったり放射線の影響の下で行っている訳で、データがないということ、今日のお話を聞いて一番切実な問題点かなというふうに思いました。医療側として。

それで私の質問は、この先生の御研究の、特にコンクリートの影響というのはより低いレベルの状況にも適用して考えることができるのかどうか。例えば今、２０年程度で施設の廃棄であったりしている訳ですけれども、これがもしかしたらもっと長く使ってもいい状況になり得るのか、そういうエビデンスになるのかどうかというのをお聞かせいただければと思います。

以上です。

（丸山教授）ありがとうございます。

まず一つ、放射化は結局中性子など入れてしまうとどうしても中に残るので、避けられない部分があるのかなと思います。すなわち、どの原子を放射化するかの問題になります。お金を払うというか、高いコンクリートにすれば放射化による悪影響は低減することができますけれども、どっちの方がエコノミカルかという、そういう問題なのかもしれません。

もう一つは、私が今日お話しした、熱があったりとか、ガンマ線とか中性子で変質するという部分があると思います。ただ実際の中性子のエネルギーと中性子照射量から考えるとそんなに大きくはないのかなというふうには思います。多分、用いた材料と環境によって当然ながら劣化の具合が違うので、特に低中性子照射量の範囲では検出する手法もまだ十分できていない部分がある点も課題です。放射化をベースに一定の知見でそういった交換ルールになっていると思うのですが、実際の性能にもとづいて耐久性を評価するという方法もあるかと思います。

逆に言えば、何か分析手法を開発することによって実際の性能に基づき経済的になりそうということであれば、そういった研究開発も検討できると良いと、お伺いしながら思いました。

（畑澤参与）ありがとうございます。

今、先生の御研究は、原子炉を対象にしたもので、大変詳細なエビデンスが集まりつつある訳ですけれども、医療施設において先生がなさっているような詳細な検討というのはなされていないように思いましたもので。（丸山教授）そうですね。

（畑澤参与）先生の御研究を参考にしながら、是非もっとレベルの違う中性子の照射のレベルだと思いますので、そういうところにエビデンスを集めていけたらいいなというふうに思いました。

どうもありがとうございました。また色々相談に乗っていただければと思います。畑澤は以上でございます。

（丸山教授）分かりました。ありがとうございます。

（上坂委員長）それでは、岡嶋参与から御意見を頂ければと思います。

（岡嶋参与）丸山先生、どうもコンクリートの中性子線やガンマ線による劣化についての御研究に関する御説明どうもありがとうございました。非常に細かく、メカニズムの点から、あるいは劣化の状況、あるいはそれからのエスティメイト、過去データ等を振り返っての新しい評価という点では、本当に驚くような状況だと思って聞いていました。

そこで私からは、コメントになると思っています。今回原子炉を対象にされたコンクリートの利用という観点だと思うんですが、原子力全体からいうと放射線場というキーワードの中では、放射性廃棄物等々の建築物としても、構造物としても、コンクリートが利用されている訳です。ということは、放射線場で今度は時間、線量的にはやや低くても時間的には非常に長い時間当てることになって、総フルエンスは低いか、同程度か、多いのかは分かりませんけれども、そのような状況での損傷というか劣化というのも重要になってくるだろうと思うのです。

そういう点で、今回の御研究からの外挿性であったとしても、時間的な経緯からはそういう長い年限のものを評価できるようになるのかどうか、また今後そういう形で評価をしていっていただきたいと思います。この研究をそういう方向にも発展させていただきたいと思って聞いていました。

私からは以上がコメントです。

（丸山教授）ありがとうございます。是非網羅的にやっていきたいと思います。

（上坂委員長）それでは、小笠原参与から御意見を頂ければと思います。

（小笠原参与）どうもありがとうございます。丸山先生の詳細な御説明ありがとうございまし

た。

原子炉の長期利用というのはこれから大きな課題になっていくと思いますので、御研究の成果が社会実装されていくことが今後非常に望まれるところだと思います。

それからまた、放射線の影響を受けない一般のコンクリートについても、災害が多うございますし、また国土強靱化といったことも言われていまして、最近では、今まで一般に思われていたほど強靱なものではないと、むしろ脆弱性が色々指摘されていることが非常に目立ってきていると思います。

そういう中でこの研究、非常に意義があるかと思いますけれども、一つ私、伺いたいのは、これは国際協力をされていて、日米の枠組みの中での成果を反映されるということですし、それからまた先ほどロシアのかつての研究成果と先生の御研究の成果が一致しているという御紹介もございました。他方で、コンクリの中に含まれている地産地消的な地域の特殊性を持った物質、その特性を踏まえて御研究される必要もあるというお話もされました。

この成果、どのくらいの普遍的な価値というか、地域横断的にその成果を適用することができるのでしょうか。あるいは、これは非常に限定的なもので、全く違うコンクリートに違う石材を用いるところでは今回の御研究の結果というのは限定的な意味しか持たないのか、そこら辺のところについてお話頂けるでしょうか。

（丸山教授）ありがとうございます。

もしよろしければ、５５ページを開いていただけますか。私ども結局限られた中で実験をすすめて、そこから知見を得ている訳ですけれども、やはり外挿するとか普遍性をするためには、その知見を数値解析というか、予測可能な、再現可能な手法に持っていかなくてはいけないというふうに考えています。今回、実験をベースにほとんどお話をさせていただいたんですが、この裏には、例えば結晶のレベルであれば分子動力学計算という形で、様々な岩石鉱物が中性子因子によってどうやって結晶が乱れていって膨張するかということを数値計算でも予測可能になっています。

その入力を使って、岩石が膨張するということをこれ、下の段の左から二つ目ですけれども、岩石が膨張することも数値計算で可能になっていますし、コンクリートのシリンダー試験体の大きさのレベルでも荷重変形関係が骨材の膨張とセメントペーストの収縮でどう影響するかということも予測できます。

遮蔽壁の中に内側からどういうふうにひび割れが入るとか、最終的にどういう耐震強度を持つのかというようなことも数値解析でできるようにはなっておりますので、今おっしゃっ

た岩石の話でいうと、この左側の１番目と２番目がありますので、かなり網羅的に、すなわち国際的に様々な地域の知見を取り寄せて、名寄せするようにまとめるようなプラットフォームもできているという状況で、これらを基にコンクリートの部材の性能評価できますので、そういう意味では、ほかの国の皆さんの研究成果をまとめていくという、そういうことができるような状態になっております。

（小笠原参与）どうも大変心強い説明をありがとうございました。これからも非常に長期にわたって利用、活用が見込まれるような施設がどんどん造られていくことと思いますので、先生のなさっている御研究の意義は非常に高いと思います。期待させていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

（丸山教授）よろしくお願いいたします。ありがとうございます。

（上坂委員長）それでは、上坂から意見を述べさせていただきます。

まず、今日御説明いただきました非常に多くの要素の影響といいますか、結果を整理してみたいのです。まず１０ページを見ますと、こちらにコンクリート材の断面の写真がありまして、これが照射前という状況であります。

一方、１７ページに骨材の中に変化が出たという結果があります。今日御説明いただいた石英の大きさのばらつきによる中性子照射による膨張のばらつき、他の物質の組成の影響、中性子の強度フラックス、フルーエンス、石英分量の影響、熱の影響ですね。それから、２７ページにありましたが、中性子強度の違いによる治癒効果の違い。そういうものを本日御説明いたしました。以上、御説明いただいた内容は１７ページの下の図で見て、もうここにはクラックが入っていますが、このクラックのところでない母材での変化のことをおっしゃられたのか。治癒というのは一度できたクラックがまた治癒によってくっついてなくなっていく。そういうこともあるのか、いかがでございましょう。

（丸山教授）はい、ありがとうございます。

そうですね、結晶レベルの話というのは、石英と呼んでいるのはこのひび割れに囲われた一個の粒子のことを申し上げておりまして、治癒というのも膨張が緩やかになる、実験としては緩やかになっているんですが、その緩やかになっているというのは、この粒子一個の膨張のことを申しております。

一方で、ひび割れが閉じるというのではなくて、ひび割れが開いていくのがゆっくりになりますので、結果としてはちょっと鶏と卵みたいなものになるかもしれませんけれども、治癒というのはひび割れも抑えるという、そういう役割を持っていると言えると思います。

（上坂委員長）よく分かりました。

それから、私、実は東京大学の社会基盤専攻の石田哲也教授と可搬型高エネルギーＸ線源で、鉄筋コンクリート橋の構造強度健全性評価の実用研究をやっておりました。石田先生にはこの定例会議でも結果を御報告いただいております。

今日説明がありましたように、鉄筋コンクリートは圧縮力はコンクリートで持たせて、張力は鉄筋で持たせると。そして、橋梁ですと塩害でコンクリートにクラックが入ります。もうマクロのクラックが入りまして、そこから塩分を含んだ水分が鉄筋に達して腐食が起きると。

Ｘ線では主に内部の鉄筋の腐食による減肉や切断を評価します。それの総合的な強度評価は石田研究室の３次元強度解析コードを使って計算していただきました。結果、コンクリートにはマクロなクラックがあるのですが、内部の鉄筋コンクリート、内部の鉄筋にも腐食によって部分的な減肉や切断があっても、橋梁全体の総合強度は、つまり降伏応力の低下は数％であったという結果でありました。

その結果は、本日先生がおっしゃられた線量の高いＰＷＲの圧力容器の中性子線量の高い部分の支持鉄筋コンクリートの表面が最大で高さ１０センチ程度のところで今日先生御説明された現象が起きる。そこの部分のコンクリートの厚さは３メートル程度です。鉄筋コンクリートの材質としての強度の劣化というのは甚大でないというふうに御説明いただきました。またそれは私と石田先生との研究結果との整合ある知見と思いました。

しかしながら、この内側のコンクリート材は上から見てリング状です。内側からの膨張が不均一な場合、マクロなクラックのようなことがあり得るだろうと。そういうことを、そういう実機規模の効果を見るために、やはり実機の廃炉した炉のコンクリートを切り出して検査する必要があると。そういうふうに先生はおっしゃられたと思いますが、そういう理解でよろしいでしょうか。

（丸山教授）はい、そうですね。廃炉材から分析する中にそういった構造的な要因も理解していく上での非常に貴重なデータになるという部分はおっしゃるとおりと思います。

（上坂委員長）それから、先生は今回の後半の方の中性子照射は、チェコのＬＶＲ－１５等で行っていると御説明がありました。その炉の出力は先生の論文を読ませていただくと１０メガワットであると。一方、日本ではＪＡＥＡのＪＲＲ－３は３０メガワットなのですね。それで、ＪＡＥＡとユーザーである東大の村上先生からも説明を受けたのですが、ＪＲＲ－３では原子炉材料照射用の照射炉内ポートが二つある。そういう研究が行われていると。

また、福井県で建設予定の新試験研究炉は、出力１０メガワットなのですね。ここでも原子炉材料照射用の炉内ポートが二つ程度検討されているということも、設計担当のＪＡＥＡの方からお伺いしました。先生のように非常に重要な御研究をやられている方々からも、新試験研究炉でこういう原子炉材料照射ができると、そしてそういうポートを造っていただくという応援の声を出していただきたいと思います。いかがでございましょう。

（丸山教授）いや、もちろんです。非常に大事なことだと思いますので、是非やらせていただきたいと思います。

（上坂委員長）それでは、丸山先生、今日は御説明本当にありがとうございました。

（丸山教授）ありがとうございます。

（上坂委員長）議題（１）は以上でございます。

それでは、丸山先生、大変恐縮ですけれども、御退席の方をお願いいたします。

（丸山教授）はい、承知しました。どうもありがとうございました。失礼いたします。

（丸山教授　退室）

（上坂委員長）それでは、議題２について事務局から説明をお願いいたします。

（中島参事官）今後の会議予定について御案内いたします。

次回の定例会議につきましては、令和８年１０月７日水曜日、１５時から、場所は中央合同庁舎８号館８階８１６会議室になります。議題については調整中であり、原子力委員会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。

それでは、青砥参与、畑澤参与、岡嶋参与、小笠原参与から退任の御挨拶を頂きたいと存じます。それでは、よろしくお願いいたします。では、青砥参与から。

（青砥参与）挨拶の機会を頂きましてありがとうございます。

まず、上坂委員長をはじめ、ここにおられない前任の方も含めた委員の方、それから事務局の方に様々な面でお世話になりました。どうもありがとうございました。

また、参与というポジションではありますが、今日も含め委員会の中での議論、講演者のすばらしい講演の中で、むしろ勉強させていただくことが多かったと思っています。

そうした中で、私が誤解していなければ、上坂委員長色の委員会の中では講演者の方々、あるいは様々な方に対して必ず応援エールを送る、そしてエンカレッジする、元気付けをする、その上で皆さんの活性化を指導していくという基本方針をお持ちであったと思います。具体的には現在の知識と経験、実績を踏まえた、今後の将来に向けた新たな体系化の模索、

更には関係分野を密接につなぐネットワークやその創生と相互連携を目指すという形を様々な言葉でお話しになっておられました。例えば原子力教育ですとか、あるいはそれらのネットワークの話ですとか、医療用ＲＩについても具体的に、かつそのように指導されてきました。

私としてもそういう基本方針に沿った貢献にできるだけ努めてきたというつもりですが、今終わって振り返ってみると全く不十分だったなと思わざるを得ません。ですから、今日退任させていただきますけれども、今後様々な場面でここで得た知見や今のような取組にできるだけ貢献したいと考えております。今後とも何とぞよろしくお願い致します。どうもありがとうございました。

（上坂委員長）それでは、畑澤参与、お願いします。

（畑澤参与）このような内閣府原子力委員会参与という役を与えていただきまして、大変ありがとうございました。

これまでとは全く違う分野、それから先生方とお会いできて、自分自身、個人的には大変実りの多い時間でありました。委員長をはじめ委員の先生方、それから一緒に会議に参加しました参与の皆さん、それから原子力委員会を支えていただいたスタッフの皆さん、審議官の方、大変いい機会を頂きましてありがとうございました。

原子力委員会は上坂先生がよくおっしゃいますように、社会の羅針盤になるということをよくおっしゃっておられました。やはり放射線、それから原子力、放射性同位元素という分野はリスクとメリット両方裏表にある分野だと思います。その中で、この情報を社会に信頼性の高い情報を発信していくと。皆さんが物事を考える基盤を提供するということが非常に大きな役割だと思っております。

私は医療の分野におりますけれども、日本人は決して放射線フォビアではなくて、メリットもあれば、例えばＸ線ＣＴの保有率は人口当たりでいうと断トツに多い訳です。それから、核医学という放射線被曝がある医療の手法ですけれども、日本で一番活発に行われているのは、人口当たりでいいますと１番は福島県でありますし、上位には長崎県、広島県が入っている訳です。

こういうことを考えると、やはりリスクがあるということはもちろん情報発信する訳ですけれども、またそのメリットも併せて情報発信するというデータを、知識を発信していくというのが非常に大きな役割ではないかなと思います。

そういう意味で、私は医療のことしか考えていなかったんですけれども、そうではなくて、

これは日本の社会全般に関わる問題であって、正しい情報発信をして、皆さんが考える基盤を作るというのが委員会の大きな役割であろうと思いますし、今後も私もそういう形で寄与できればいいなというふうに思っております。

大変お世話になりましてありがとうございました。今後とも原子力委員会、ますます存在価値が高まるように祈念しております。どうもありがとうございました。

（上坂委員長）岡嶋参与、お願いします。

（岡嶋参与）岡嶋です。

私は、ちょうど今から２年前、２０２４年９月末に参与に就任しました。この２年間大変お世話になりました。就任時に挨拶をする機会をいただきました。そのときに何を言ったかというのを振り返ってみました。そのときは、２０世紀前半に発展してきた原子核に関わる学問から発展した科学技術、すなわち原子力技術というのは私たちの暮らしを大きく変えて、これからの様々な課題を解決してくれる可能性があると考えられる。これからの未来に向けて人類の幸福と福祉に役立つように、この科学技術を安全かつ有効に利用していこうと言い、そういう観点からここに関わっていきたいと申しました。

このように申したように、この２年間対応してきたつもりなのですけれども、果たしてどこまで対応できたかというのは皆さんから評価していただきたいと思っている次第です。

ただ、２０１１年の福島で起こった事故によって、原子力委員会も大きく在り方が変わったということは事実です。在り方の議論の結果ですけれども、原子力利用に当たっての大きな方向性を示す羅針盤であろうという形で位置付けを見直されたというふうに記憶しています。

昨今、地球温暖化だとか、それを受ける原子力エネルギーの利用の仕方とか、あるいは高レベル放射性廃棄物の処理処分において、それぞれ国民がどのように理解しているかとか、あるいは日本の地域住民がどのように理解していくかだとかという状況を考えるときに、思い起こすのがアルビン・ワインバーグが言ったトランス・サイエンス的な課題。すなわち科学に問うことはできるけれども、科学はそれをどこまで応えるか分からないが、全部応えることはできないだろうという課題があるということが言われていまして、そういうことがやっぱり今後の原子力利用の中では十分な大きな課題になってくるだろうと思います。

今後、原子力委員会は、これからも羅針盤として方向性を示すという点からすると、この科学技術に係る課題のみならず、トランス・サイエンス的な課題についてもこれまで以上にやっぱり取り上げていく必要があるだろうというふうに思います。その結果として総合的な

判断に向かっていくことが重要であろうと私は思ってならないです。

ということで、最後にこういうことを言って申し訳ないんですけれども、今後、原子力委員会はやっぱりそのような形で羅針盤を示してほしいと思います。その上で、必要であれば微力ながらでも力になれるのであれば、いつでもお役に立ちたいとも思っています。

ということで、今回私の退任の挨拶にさせていただきたいと思います。この２年間本当に委員長をはじめ、事務局の方々に大変お世話になりました。どうもありがとうございました。

（上坂委員長）小笠原参与、お願いいたします。

（小笠原参与）この２年間、原子力委員会の参与を務めさせていただいたことを大変光栄に存じます。

この２年間、私の観点から見ましても結構大きな進捗もあったと思いますので、簡単に振り返って、特に印象に残った点を申し上げさせていただきたいと思います。

最初の点ですけれども、今年の６月に刊行された令和７年度版の原子力白書ですが、これは核燃料サイクルの特集を組んだ、このことは大変時宜にかなっていたことだと考えます。

特に原子力白書に関しては次の二つの点で意義が大きかったと考えます。

第１に、我が国では六ヶ所村の再処理工場及びＭＯＸ燃料工場の竣工が重要な局面を迎えております。その中で核燃料サイクルの全体像を国際的な側面も含めて示していただいたこと。第２に、ホルムズ海峡の封鎖で原油価格が高騰し、エネルギー安全保障の重要性が改めて浮き彫りにされる中で、エネルギーの海外依存の低減に貢献する核燃料サイクルに改めて光を当てられたこと。こういった点で今年の原子力白書の意義は非常に大きかったのではないかと考えます。

それから、第２点目ですけれども、過去２年間この定例会議の場で日立ＧＥさんですとか、あるいはＩＨＩさんといった、日本企業による原子力の技術、装備の海外展開について、新たな進展が紹介されました。私個人的にも海外展開の法的基盤となる二国間協定の締結に外務省で長く携わってきたこともございますので、この新たな展開を高く評価したいと思います。

このような日本の原子力産業による海外展開は、原子力人材の確保といった、より大きな文脈でも意義があろうかと思いますので、これを引き続き原子力委員会としてもその立場から支援されることを期待したいと思います。

第３点目ですが、原子力委員会では令和４年に「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン」を策定されて、その後、関係府省庁における取組を促進してきまし

た。この定例会議の場でも大変有意義な議論が数多く行われましたが、今年の４月には「放射性医薬品の開発製造利用の促進及びサプライチェーン強化に関する専門部会」が設置されました。放射性医薬品の利用に関しては、原子力規制法、ＲＩ法、医療法等、多面的な規制が行われており、分野横断的な視点が極めて重要であります。

私もこの原子力委員会の今の原子力政策に関するコンフィギュレーションの中で、その存在意義というものに関して時々考えることがございましたけれども、原子力委員会には原子力利用の分野横断的な基本的な考え方を定めるということが求められています。また、この分野の第一人者であられる畑澤参与もおられるので、原子力委員会が取り組まれるのに大変適したテーマと考えます。今後同専門部会、この分野横断的な観点から有益な成果を更に上げられることを期待したいと思います。

最後に、私の自由な発言を許してくださった上坂委員長、それから委員の皆様、また深い見識に基づいた御発言から多くを学ばせていただいた参与の皆様、しっかりと原子力委員会の活動を支えてくださった事務方の皆様に深く感謝したいと思います。どうもありがとうございました。

（上坂委員長）ありがとうございます。

それでは、上坂からもコメントさせていただきます。

青砥参与におかれましては、ＪＡＥＡにおける高速炉の開発のリーダーの御経験から、革新炉、それからプロジェクトマネジメントに関する貴重なアドバイスを頂きました。

畑澤参与は核医学の世界の権威であられて、原子力委員会の医療用等ラジオアイソトープ製造等に関するアクションプランの策定と実行に御指導いただきました。現在、改定のための専門部会を実施中であります。引き続きその委員として御指導の方よろしくお願いしたいと存じます。

岡嶋参与は元原子力学会会長であり、原子炉物理・工学の世界の権威であり、原子力コア本流からのアドバイスを多々頂きました。

また、小笠原参与は原子力平和利用、核不拡散の外交官として世界で活躍されました。その視点で国際的事項につき非常にシャープな御助言を頂きました。誠にありがとうございました。

今の原子力はこの定例会議でも議論していましたように、経験豊富な専門家による知識伝承が重要でございます。引き続き様々な形で後進の指導をお願いしたく存じます。

本当に長い間、原子力委員会参与としての職務を全うしていただきましてありがとうござ

いました。

その他、委員から何か御発言はございますでしょうか。

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。

－了－