

第 10 回原子力機構報告会
「原子力機構の新たな出発
～研究開発成果の最大化と課題解決に向けて～」

日時:2015 年 12 月 1 日(火)

場所:有楽町朝日ホール



国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

御挨拶

文部科学副大臣 富岡 勉 様

皆さん、こんにちは。御紹介いただきました、文部科学副大臣を拝命しております富岡勉と申します。本日は第10回原子力機構報告会がかくも盛大に開催されますことをまずもってお慶び申し上げます。昨年4月に新しいエネルギー基本計画が閣議決定され、この中で、原子力はエネルギー需要構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源と位置づけられております。

文部科学省としまして、本計画を踏まえ、広範な原子力の基礎基盤的研究開発に取り組んでいます。具体的には、東京電力福島第一原子力発電所の安全な廃止措置等を推進するため、国内外の英知を結集し、安全かつ確実に廃止措置を実施するための先端的技術研究開発と人材育成に取り組んでいるところでございます。また、原子力が抱える課題に正面から向き合い、原子力の再生を図るため、原子力の安全研究、基礎基盤研究や人材の維持・発展、高温ガス炉の研究開発、核燃料サイクルや放射性廃棄物の減容化、有害度低減の研究開発を着実に進めていることは皆様方もよく御存じのところでございます。

特に福島第一原発の廃炉に向けた最近の取り組みとしては、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」に基づき、本年8月に原子力機構に設置した廃炉国際共同研究センターの国際共同研究棟を福島県富岡町、私と名前が一緒でございますが、富岡町に立地することを決定いたしました。さらに、本年10月には、遠隔操作機器技術の開発・実証を伴う櫛葉遠隔技術開発センターが一部運用を開始したほか、福島県が整備しました環境創造センターの三春町の本館が10月に、南相馬市の環境放射線センターが11月に、それぞれ開所いたしました。これらの研究拠点では原子力機構が重要な役割を担っており、福島復興に向けた成果を上げることができるよう、文部科学省といたしましても引き続き積極的に支援してまいります。

また、原子力分野の人材育成については、個別の事業の推進に加え、今後の原子力人材育成政策のあり方について、今年4月に人材部会を立ち上げ、検討を進めています。

原子力機構は、我が国唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関として、我が国の原子力を支えるために多岐にわたる重要な取り組みを実施されているところでございますが、本年4月には、研究開発成果の最大化を第一目的とする国立研究開発法人に位置づけられるとともに、民間から児玉新理事長を迎えられ、新たな中期的目標期間を開始されました。

一方、高速増殖原型炉もんじゅについては、原子力規制委員会からこれまでたびたび指摘を受け、今般、文部科学大臣に対して勧告が発せられました。このような状況に至ったことを私も大変重く受けとめており、本勧告を受け、文部科学省では、可能な限り速やかに課題を解決されるよう、大臣のもとに有識者による検討の場を設け、もんじゅの今後のあり方等について速やかに検討を進めてまいりたいと思

っております。ちょうど今の時間、閉会中審査、文教委員会が開催されております。こちらの児玉理事長、そして馳文部科学大臣が出席して答弁されている時間帯だと思います。

児玉理事長のもと、原子力機構が国民の信頼を取り戻し、今後ともその社会的使命に真摯に取り組んで成果を上げていくことを期待申し上げます。

最後に、御列席の皆様のさらなる御活躍を祈念して、私からの御挨拶とさせていただきます。

本日はまことにおめでとうございます。

開会にあたって
副理事長 田口康

皆さん、こんにちは。副理事長の田口でございます。ただいま富岡副大臣の御挨拶の中にありましたように、理事長はただいま国会に呼ばれてございまして、本来この開会に当たっての挨拶、説明は児玉理事長から差し上げるところでございますが、かわって私からさせていただきます。

本日は、本当に平日のお忙しい中、この機構の成果報告会にお越しいただき、まことにありがとうございます。

これも先ほど富岡副大臣から言及していただきましたが、原子力機構が誕生して今年で10年になります。この10年目の今年に、研究開発法人という新しい制度が独立行政法人改革の中でできたわけでございますが、国立研究開発法人として新たなスタートを切らせていただいております。4月に児玉理事長が着任いたしまして、かつ新しい法人としてのスタートということで、機構としては、新たな方針、新たなスタートラインに立って今後取り組んでいく所存でございます。

〔パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP〕と表示

P) 以下、それについて簡単に御説明させていただきたいと思っております。

P) まず国立研究開発法人としてのスタートのポイントでございますが、今年の4月1日から7年間の中長期計画期間が始まっております。国立研究開発法人制度の1つのポイントは、研究開発成果の最大化を図っていくということでございます。加えまして、機構の原子力の総合機関としての役割によって社会への貢献、国の政策への貢献といったものを図っていくということでございます。

この中長期計画の中身につきましては、この後、理事の大山から詳しく御説明申し上げますが、私からは、児玉理事長が本来ここで述べる予定でございました今後の機構の経営の方針といったものをお話しさせていただきたいと思っております。

このスライドに、まず業務実施のポイントということがございますが、原子力に関係する法人でございます。したがって、安全最優先を一番最初に掲げさせていただいております。それから、研究開発法人としての経営機能の強化。さらには、組織・業務改革の定着化。これまで機構はさまざまな形の改革を進めてまいりました。これをきちんと組織の中に定着させることが重要だと考えてございます。さらには、トランスパレンシー、積極的な情報の提供・公開。それから、社会、立地地域からの信頼確保。こういうことを業務の基本として取り組んでいきたいと思っております。

さらには、研究開発法人として、大学や産業界との積極的な協力あるいは国際的な協力、さらには安全研究というのもやっておりますが、その大きな柱の1つは原子力安全規制行政の支援ということになります。

こういったことを基本に取り組んでいきたいと考えてございます。

P) ここに現状の機構の課題ということで挙げさせていただいてございます。

もんじゅについては、先ほど副大臣から言及がございました。それ以外にも、機構が抱えている多くの施設の高経年化対策、あるいは廃棄物の問題、バックエンド対策、これが機構の経営上非常に大きな課題となっているのが現状でございます。

そういった中、安全確保を最優先に、第3期中長期計画に従って自律的に変革・成長できる組織にしていきたいと考えてございます。

児玉理事長は、民間で培った企業経営の手法を導入しながら、マネジメント改革、あるいは合理化といったものを進めていきたいということでございます。

ここに赤く、「マネジメント改革」、「情報の見える化」、「コミュニケーション強化」、「施設の更なる重点化」、これを課題解決の4本柱に位置づけてございます。このうち「マネジメント改革」と「施設の更なる重点化」について、少し詳しく述べさせていただきたいと思っております。

P) これは、児玉理事長が4月に来られて以来、MVSと言っていますが、ミッション、ビジョン、ストラテジー、組織の使命をきっちり認識し、将来像を描き、それに合った戦略を立てていくということでございます。ここに書いてございますのは機構全体としてのMVSでございますが、これを各部門にまで落とし込んでいって、それぞれの部門においてもMVSをしっかりと認識した上で、組織のストラテジーを立てて行動していくという方針でございます。

P) この戦略の部分につきましては、ここにBSCと書いてあります。バランスド・スコア・シートという経営評価の言葉になってございますが、こういったことを考えながら戦略を立てていかなければいけない。1つは組織・業務プロセスという観点、それから人、ヒューマンリソースという観点、それから財務や設備の視点、それから最もアウトプットとして重要なのは顧客の視点ということになろうと思っておりますが、この4つの視点をうまくバランスさせながら業務を進めていくということでございます。

P) もう一つ、施設集約化・重点化でございますが、我々は三位一体と言っていますが、施設の安全確保と集約化・重点化、それからいわゆる廃止措置のバックエンド対策、これを三位一体で進めていかなければいけないと考えてございます。

皆さん御存じの方が多いたと思いますが、原子力研究開発機構は多くの事業所を抱え、その中にさまざまな原子力関係の施設を保有してございます。その中には非常に老朽化が進んだもの、あるいは今後新規規制基準の対応が必要なものもございまして。機構の予算は限られてございますので、これを拠点ごとというよりは機構全体でマネジメントして、これから使っていく施設、廃止措置をしていく施設、こういったものをきっちり戦略的に進めていこうということでございます。

例えば、既に廃止措置の方向性が出ております東海の再処理工場といったものも、早く廃止措置に向けてリスクの軽減なんかを図っていかなければいけない。あるいは、研究用の原子炉、今はとまっただままでございますが、これも早く動かしていかなければいけない、あるいは動かしていくものと動かしてい

かないものをきっちりと分けていかなければいけない。我々はこれをトリアージと呼んでございますが、かなり思い切った改革が必要になるものと考えてございます。

P) その上で、現時点における機構の業務運営の重点施策、機構の業務の重点分野ということで 5 つ挙げさせていただいてございます。

1 つは、福島復興の支援でございます。福島に関しては、原子力界だけではなく、日本社会全体の大きな課題になってございます。機構の持っている原子力の総合的なポテンシャルを生かして福島復興に貢献していく、これが特に最近重要なものでございます。

2 つ目は、施設の安全な稼働というのがございました。先ほどの三位一体にもつながりますが、高経年化対策や新規規制基準対応なんかをきっちりやって、試験研究炉を初めとする原子力施設を安全に稼働させていく。

真ん中にございますのが、原子力の課題の解決、いわゆる先端的な研究あるいは安全研究、さらには原子力の人材育成、これはエネルギー基本計画でも、原子力発電を 20%程度ということでキープしていくためには、人材、基盤になる技術、こういったもののベースをきっちり原子力機構で確保していく必要があると考えてございます。

もんじゅについては、後ほど詳しく説明いたします。

それから、バックエンド対策。この中には、研究所等廃棄物とあって、電力の放射性廃棄物ではなくて研究所から出てきた RI も含めた廃棄物の処分といったものも、日本全体の処分の役割を機構が果たすことになってございます。これをしっかりやっていかなければいけないということです。

P) 次はもんじゅについて説明させていただきます。

もんじゅにつきましては、皆さん御存じのように、11 月 13 日に規制委員会から文部科学省に対して勧告が発せられてございます。JAEA としては、こういう事態になったことを大変申しわけなく思っております。ただ、一方、今現在もんじゅを預かっているのは機構でございますし、今もんじゅが抱えている保守管理の問題は原子力機構自身が解決していかなければいけないということで、今、現場一丸となって保守管理問題の解決のための取り組みをしているところでございます。

P) 現状の課題と対応につきましては、11 月 2 日に規制委員会と理事長との意見交換で理事長から発表させていただいた内容でございます。3. を特にごらんになっていただきたいのですが、根本的な課題の解決にオールジャパンの体制で取り組むということで、今、現場にメーカー・電力の人間が集結しつつあるところでございます。

また、1. のもともと問題になりました保全計画の見直しとか未点検機器の解消といったものは、来年春までに終了させるべく着実に作業が進んでいるところでございます。

P) これが全体のスケジュールになります。来年 5 月には、とりあえず今のオールジャパン体制によってもんじゅをきれいな状態にしたいという計画でございます。

P) 以下、少し駆け足になりますが、この 1 年の主な動きということで、幾つか紹介させていただきたいと思っております。この 1 年の研究成果で主なものとして、この後のプログラムで、ローレンシウムとか塩水で育つヨシなんかの話は別途説明がございますが――

P) そのほかの研究成果として、ここには 2 つ挙げさせていただいておりますが、医療用のテクネチウム、これは従来は原子炉で製造してございましたが、これを加速器で生成して、かつ医薬品の基準をクリアしたとか、あるいは、これは高崎の TIARA という放射線ビームの装置でございますが、そこで花を自在に品種改良していくという技術を実用化したということがございます。

P) また、福島におきましては、今年非常に大きな動きがございました。

先般、これは安倍総理にも参加いただきましたが、櫛葉の遠隔技術開発センター、これは、福島の原子炉のモックアップをこの中に置いて、さまざまな解体のための技術開発をしようというものでございます。

それから、今後、デブリの取り出しも含めて東電の福島原発の廃止措置を進めていくためには、かなりブレークスルーが必要でございます。そのためには基礎基盤に返って研究開発を行う必要がございます。その中核として廃炉国際共同研究センターを春に設立いたしまして、先ほど副大臣からございましたが、富岡町で建設が始まったところでございます。

そのほか、福島環境創造センターということで、これは環境省と一緒にやっている事業でございますが、これもこの秋に開所式を迎えてございます。

P) 原子力科学研究においても、ここにありますようなウラン化合物による強磁場下での超伝導特性の解明とか、J-PARC におきましても、より強度の高い中性子が発生できる技術が確立されてございます。

P) また、東海再処理施設でございますが、これもプルトニウム溶液を着実に処理していくという作業が進んでございますし、今後、ある意味で最も原子力の開発・利用にとって重要な高レベルの放射性廃棄物の処分技術の研究開発も幌延と瑞浪で着実に進んでございます。

P) また、核融合につきましては、ITER の建設が現地で始まってございますが、トロイダルコイルという大きなコイルを日本で製作して、幾つかのものがもうでき上がって、今後現地に運んでいくということでございます。

それから、青森と那珂研究所で行っているブローダーアプローチ、これは EU との協力による事業でございますが、那珂研あるいは青森にヨーロッパからの機器が運び込まれて、着実に成果が上がりつつあるということでございます。

P) さらに、安全研究といたしまして、これは CIGMA という非常に大きな装置でございますが、シビアアクシデント時の炉内の気体の挙動を解明するための装置。

あるいは、高速炉においては、ここは後ほど詳しく説明がございますが、カザフスタンでの研究開発などが進んでございます。

P) 以上、駆け足になりましたが、最後にもう一度、機構の今後の方針を確認させていただきます。

今年、国立研究開発法人として新たなスタートを切りました。さらに、理事長を4月に民間から迎えまして、民間手法を導入した新たな取り組みということでマネジメント改革を行っております。

さらに、資源は限られてございますので、事業の重点化を施設の廃止措置なども含めて進めていくということでございます。

いずれにせよ、原子力機構が今後とも我が国唯一の総合的な原子力の研究開発機関あるいは専門機関として能力を発揮していくためには、こういった経営面の再生が必要だと考えてございます。それによって機構がこれからより社会に貢献できるように努力していきたいと思っております。私も副理事長として児玉理事長を支えて、今機構が取り組んでいる課題の解決に向けて一歩二歩前進させていきたいと思っておりますので、皆様、どうぞよろしくお願い申し上げます。

御静聴ありがとうございました。

研究開発成果の最大化に向けて

－第3期中長期計画－

理事 大山真未

〔パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示〕

P) 皆様、こんにちは。ただいま御紹介がございました、原子力機構理事の大山と申します。どうぞよろしくお願いたします。私からは、原子力機構の第3期中長期計画の概要について御紹介したいと思います。

本題に入ります前に、まず原子力機構は今年度大きく3つの変化があったと考えております。

P) まず1つ目でございますが、田口副理事長の話にもございましたが、国立研究開発法人になったという点がございます。旧制度におきましては、全法人一律の制度だったわけでございますが、例えばより中長期の目標管理とするなど、研究開発の特性を踏まえた制度設計となっております。目的は研究開発成果の最大化を目指すということで、人材育成とか大学・民間等との連携協力を図りながら、科学技術イノベーションの創出を目指してまいります。

P) 2つ目でございますが、これから御紹介いたします新しい中長期目標・計画の期間が今年度スタートしたということでございます。この目標につきましては、国主務大臣からいただきまして、これに基づいて機構としての中長期計画を策定したところでございます。機構としては、新しい児玉理事長のリーダーシップのもとで、安全確保を大前提としつつ、7年間の目標期間で研究開発成果最大化を目指してさまざまな研究開発に取り組んでいくことにしているところでございます。

P) 3つ目の大きな変化でございますが、児玉新理事長が就任し、田口副理事長、そして5名の理事が新任という新しい体制で業務に当たっているところでございます。

P) こちらは、機構の全国に広がっている研究開発拠点でございます。東海、大洗、敦賀を初めといたしまして、北から南に拠点が広がっているところでございます。

P) それでは、ここから本題の機構の第3期中長期計画の御紹介に入っていきたいと思います。

大きく6つの柱に沿って研究開発に取り組むことになってございます。1つ目が東京電力福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発、2つ目が原子力安全規制行政への技術的支援と安全研究、3つ目が原子力の基礎基盤研究と人材育成、4つ目が高速炉の研究開発、5つ目が核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造、放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発など、6つ目が核融合の研究開発ということでございます。以下、この6つの柱に沿って順次御紹介していきたいと考えております。

P) まず1つ目でございます福島第一原子力発電所事故への対処でございます。

大きく2つ。1つは廃止措置等に向けた研究、もう一つは環境回復に係る研究に取り組んでいくということでございます。

本年4月に設置されました廃炉国際共同研究センターを中心として国内外の英知を結集し、福島第一原子力発電所の安全確実な廃止措置等に貢献していくことを目指しております。例えば、ロボット技術を集約した遠隔操作技術の開発、シミュレーション手法の開発といったこと、あるいは廃棄物や汚染水対策の検討などに取り組んでいくことにしております。また、今年度、今後にかけて新しいセンターも運用開始していくということでございまして、今年度は櫛葉の遠隔技術開発センターがスタートし、今後大熊の分析研究センターが平成29年度に運用開始を予定しているということでございます。

P) また、環境回復につきましては、放射性セシウムによる線量や今後有効な対策について科学的な見地から提言しまして、合理的な安全対策の策定とか農林業等の再生、自治体の帰還計画立案等に貢献していくことを目指しております。例えば、人が容易に立ち入れないような広範囲な山林、湖沼等の線量を高精度にモニタリングする技術開発とか、将来にわたっての広域の放射線影響を評価するといったことに取り組むことにしております。実施に当たりましては、福島県や国立環境研究所とも連携しながら進めることにしております。

福島に関しての取り組みにつきましては、本日この後パネルディスカッションを予定しておりますので、そちらで詳しくお聞きいただければと思います。

P) 私のプレゼンの中では幾つか研究者の活動風景なども御紹介したいと思っておりますが、こちらは、福島に関しまして放射線モニタリングを行う無人ヘリコプターの動作確認をしている風景でございます。

P) 続きまして、原子力安全規制への技術的支援と安全研究、2つ目の柱に入りたいと思っております。

原子力施設の安全確保のための研究開発によって安全規制行政を技術的に支援することを目指しております。機構の有しております研究炉とか試験施設をしっかりと活用いたしまして、さまざまなテーマに取り組むことにしているところでございます。

まず燃料安全に関しましては、事故時の燃料の破損挙動の把握と影響の評価といったこと、また、材料・構造安全の分野につきましては、重要機器等の経年劣化とか放射線影響の評価をするといったことを進めてまいりたいと考えております。

それから、原子力機構につきましては、災害対策基本法などに基づく指定公共機関としての役割もございまして、原子力災害時等における人的支援、技術的支援を行うこととしております。訓練等を通じて原子力の防災対応の実効性を高めて基礎基盤を強化するといったことを支援したり、あるいは人材の育成をするということ、さらには国際貢献をするというようなことを予定しているところでございます。

P) 続きまして、3つ目の柱に入りたいと思っております。原子力の基礎基盤研究と人材育成でございます。

こちらは、原子力利用を支える科学的な知見や技術を創出して、挑戦的・独創的な研究を進めていくことを目指しております。原子力のこういった基礎基盤の知見があつてこそ、福島への支援とか人材育成、オ

ールジャパンにとっての原子力分野の人材育成も支えていくことが可能になると考えているところでございます。

例えば、研究テーマといたしましては、原子炉内の現象を理解するための中性子、原子核等の反応に関する知見についてのデータベースの拡充とか、環境中での放射性物質の移行・蓄積過程の解明等の研究を通じて福島への支援、貢献といったことを目指しております。このほかにも、例えば物質中の電子が持つスピン、磁気を利用したエネルギー変換あるいは情報伝達のメカニズムを解明することにより耐放射線性電子デバイスの開発に貢献するといったことも目指しているところでございます。

こういった先端基礎研究の一例が、「Nature」、有名な雑誌の表紙を飾ったということで、この成果については、この後また詳しく御紹介があるところでございます。

P) こちらも研究者の活動風景でございます。森林中の放射性セシウムの動きを調べるために、川に水に含まれる放射性セシウムを捕集するカラムの取付作業をしている研究者の姿でございます。

P) 続きまして、原子力の基礎基盤の続きでございますが、原子力機構の研究炉の中で最近特に注目されておりますのが、高温ガス炉でございます。このガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発を通じまして、発電、水素製造など、原子力利用のさらなる多様化・高度化に貢献していくことを目指しているところでございます。

この高温ガス炉でございますが、固有の安全性を有しているということが注目されております。1 つには、セラミックスの被覆燃料を使うということで、高温でも放射性物質を閉じ込められる。そして、黒鉛の構造材を使っている。こちらも耐熱温度が非常に高いということでございます。また、ヘリウムの冷却剤を使っておりますので、高温でも安定的で水蒸気爆発といったことがないということでございます。特徴として、冷却剤が喪失しても自然にとまるといったことも挙げられているわけでございます。

また、この高温ガス炉は経済効率性も高いということで、80%近い熱利用率であるところでございます。

また、エネルギーの安定供給という観点からも、高温の熱利用によりまして水素の安定供給を目指しているわけでございます。

このガス炉につきましては産学官の協議会の場も設けられておりまして、将来の実用化像とか課題についての議論も今年度から始まっているところでございます。機構といたしましては、この高温ガス炉を再稼働いたしまして、固有の安全性の確証、そして水素製造に関する運転制御技術、信頼性の確証を目指しているわけでございます。このようにいたしまして、産学官が連携してリードプラントの概念構築等を目指していくことを考えているところでございます。

P) 続きまして、原子力の基礎基盤研究のもう一つでございます量子ビームの応用研究を御紹介したいと思います。

量子ビームの高品位化、利用技術の高度化などを通じて、科学技術の発展、新分野の開拓、産業振興に貢献していくことを目指しているところでございます。

この量子ビーム研究は、こちらの絵にもございますが、生物、物質・材料、環境・エネルギーと、非常に幅広い応用につながる研究分野でございます。私ども原子力機構は、量子ビームプラットフォームとございますように、研究炉の JRR-3 とか大強度陽子加速器施設 J-PARC など多様な施設・設備を有して、広く社会にも提供しているところでございます。

こちらの研究の取り組みの例といたしましては、例えばマイナーアクチノイド、毒性が高くて長寿命の核種であり、使用済燃料に含まれるわけでございますが、この分離等のための新しい抽出剤の開発、あるいは放射線技術を用いてのセシウム捕集剤の開発などを通じて福島支援に貢献するといったこと、また、中性子や放射光を用いて大型の構造物内部のゆがみ等を評価する技術を開発しまして、発電プラントの安全性確保などにも貢献していきたいということを狙っているわけでございます。

また、この量子ビーム研究の 1 つの応用例ということで、植物分野での成果について、この後詳しくプレゼンテーションがございますので、お聞きいただければと思います。

それから、J-PARC につきましては、1MW 相当の世界最強の中性子パルスビームの安定供給を目指すということにも取り組んでいるところでございまして――

P) こちらは J-PARC での研究風景でございます。地球内部と同様の高温高压を実験室で再現して鉱物、水の振る舞いを解明しようということで、高压実験の準備をしている風景でございます。

P) 続きまして、高速炉の研究開発でございます。

冒頭、副理事長の田口からも紹介がございましたが、もんじゅにつきましては、原子力規制委員会からの保安措置命令への対応に機構を挙げてしっかりと取り組んでいくということで考えております。

また、高速炉全体につきましても、性能、信頼性、安全性の実証、技術基盤の確立を通じて我が国のエネルギーセキュリティ確保に貢献していくことを目指しているところでございます。

後ほど担当の部門より詳しく現状を御紹介いたしますが、もんじゅにつきましては、運転・保守管理の体制をしっかり強化していくことを目指しております。

また、高速炉につきましては、実証技術の確立、そして日仏、日米あるいは多国間の国際協力を通じての開発推進に取り組んでいくことを目指しているところでございます。

P) 続きまして、6 つの柱のうちの 5 つ目の柱でございます、核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造、放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発でございます。

放射性廃棄物を減らすいわゆる減容化、有害度低減の研究開発でございます。高速炉あるいは加速器を用いた核変換などによって放射性廃棄物の処理処分の幅広い選択肢を確保していくことを狙いとしております。

ここでは、マイナーアクチノイドの分離回収、そしてマイナーアクチノイドを含む燃料製造に関する技術的成立性を評価しまして、既存の施設を用いて小規模な MA サイクル、分離して燃料をつくり、また燃焼させてといったサイクルを実証する試験に着手することを目指しております。

また、常陽を活用して燃料照射試験をするということで、アメリカ、フランスとも共同で照射試験を実施しまして、マイナーアクチノイドの量の増減を評価するといったことを進めたいと考えているところでございます。

また、核変換実験施設の建設に向けましては、必要な要素技術開発、施設の検討といったことに取り組むことを予定しているところでございます。

P) それから、核燃料サイクルの続きでございます。使用済燃料の再処理等に関する技術開発でございます。

再処理技術の高度化、あるいは東海再処理施設の廃止措置に向けた取り組み等によりまして、核燃料サイクル事業、民間事業者への技術的な支援を含め、再処理施設等の廃止措置技術体系の確立に貢献するという狙いとしております。

高レベル放射性廃棄物のガラス固化に関しましては、新型のガラス熔融炉につきまして長寿命化などを目指した設計開発。さらには、MOX 燃料につきまして、燃料製造等、基盤技術を機構として開発することを目指しております。また、プルトニウム溶液の固化、安定化等につきましても着実に進めていくこととしております。

原子力施設の廃止措置、放射性廃棄物の処理処分に関しましては、機構が原子力施設の設置者でございますので、設置者の責任といたしまして、安全確保を大前提として、原子力施設の廃止措置、廃棄物の処理処分を計画的に進めていくこととしております。

低レベルの放射性廃棄物につきましては、廃棄物に関するデータの管理とか、あるいは廃棄体化の処理手法の検討といったことを計画的に実施することとしております。また、埋設処分事業につきましても、国の基本方針に基づき工程を策定していくということで考えているところでございます。

P) 核燃料サイクルに関しまして、もう一つ、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発でございます。

こちらは、地層処分の実現に必要なとなります技術基盤を整備することで、処分事業者、そして国による安全規制に対して技術基盤を提供するというところで貢献していきたいと考えているところでございます。

機構といたしましては、岩質の異なる 2 つの地域に研究のセンターを有して取り組んでいます。1 つは、岐阜県の東濃地科学センターでございます。こちらは結晶岩質でございます。もう一つは、北海道幌延にございます幌延深地層研究センター。こちらは堆積岩でございます、それぞれ地下の坑道で研究開発を進めているところでございます。

研究テーマといたしましては、例えば岩盤中の物質移動モデル化技術の開発、いわば天然のバリアの研究といったことを東濃で、また実際の地質環境での人工バリアの適用性確認といったことを幌延で行っております。また、地層処分のシステムの構築・評価解析技術の先端化・体系化といったこと。さらには、代替処分のオプションとしての使用済燃料の直接処分の研究などにも取り組むこととしております。

また、実施に当たっては、人材育成、理解促進といったことにも留意しているところでございます。

P) こちらはまた研究者の活動風景でございます。地下 300m の坑道で岩石中の有機物、微生物などの成分分析をするために試料を採取している姿でございます。

P) それでは、6 つ目、最後の柱でございます核融合の研究開発でございます。

核融合につきましては、恒久的な人類のエネルギー源として大変有力な候補であるということで注目されているわけでございますが、この核融合エネルギーの実用化に向けまして、国際協力のもとで研究開発をしっかりと進めていくこととしております。

まず ITER、国際熱核融合実験炉計画につきましては、世界 7 極の協力により進めているところでございまして、真ん中上のほうにございますフランスの ITER サイトの近況、こういった状況で進んでいるところでございますが、我が国としては、日本が調達責任を有する ITER 機器、例えば超伝導トロイダル磁場コイル等につきましてしっかりと設計・製作・試験を継続いたしまして、機構としての責任を果たしていくということで取り組んでいくこととしております。

また、幅広いアプローチ、ITER 計画を補完・支援します日欧のプロジェクト、BA 活動でございますが、左の写真にございますように、茨城の那珂にございます JT-60SA、こちらで ITER での研究に先立ってプラズマ運転手法等の確立を目指すということで、こちらは 2019 年の運転開始を目指しているところでございます。

また、青森六ヶ所のサイトでは、スーパーコンピュータによるシミュレーション計算によって将来の原型炉開発の技術基盤の構築を目指すといったことにも取り組んでいるわけでございます。

P) こちらはまた研究者の研究風景でございます。JT-60SA のトロイダル磁場コイルを構成するパンケーキコイルの確認をしている姿でございます。

P) 以上、私からは第 3 期中長期計画の 6 つの柱に沿って御紹介させていただいたところでございます。

原子力機構は、この後、来年 4 月にまた 1 つ大きな変化がございます。最後にそれについて触れたいと思います。一部の業務の移管・統合ということでございます。

こちらは昨年度までの原子力機構の機構改革で方針が示されてきたものでございますが、基本的な考え方といたしまして、機構の社会的使命、役割を念頭に置きまして、原子力機構の業務を重点化することが狙いでございます。

分離・移管される業務を具体的に申しますと、量子ビーム応用研究の一部ということで、場所で申しますと、関西光科学研究所、そして高崎量子応用研究所、そしてもう一つは核融合の研究開発でございます。那珂、六ヶ所の研究所について移管することになっております。これらを国立研究開発法人の放射線医学総合研究所に移管・統合することになっております。そして、この旧放医研と量子ビームの一部、核融合が、新しく平成 28 年 4 月からは国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構として業務を開始することになっております。移管される業務も、新法人で機構のときと同様引き続きしっかりと推進して

いただくということでございますし、必要に応じて新法人と私ども原子力機構とで連携を図っていくこととしております。

P) 最後にまとめでございます。

原子力機構は、今年度から国立研究開発法人として新たな出発ということでございますが、安全最優先で社会の皆様からの信頼確保に努めながら研究開発成果の最大化を目指して、こちらにございますような東電福島事故への対処、原子力の安全性向上、基礎基盤・人材育成、核燃料サイクル技術の確立、放射性廃棄物の処理処分といった諸般のテーマにしっかり取り組んでいくこととしております。そして、エネルギー資源の確保、科学技術イノベーションの創出を目指していきたいと考えているところでございます。

P) 最後に、原子力機構はダイバーシティにも取り組んでいるということでございますが、原子力機構には、ごらんのように、女性の職員、そして外国人の職員、さまざまな能力や特徴を有した職員がたくさんおります。こうした多様性を生かして、それぞれの能力を発揮しながら、よい研究成果、開発の成果を上げていけるようにと考えております。皆様の御期待に沿えるような取り組みを展開できるように役職員一丸となって業務を推進していきたいと考えております。今後とも御指導、御支援のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

御静聴ありがとうございました。

103 番元素が解く周期表のパズル

ーローレンシウム(Lr)のイオン化エネルギー測定に成功

原子力科学研究部門 先端基礎研究センター 副センター長 永目諭一郎

〔パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示〕

P)ただいま紹介いただきました基礎基盤研究の中の 1 つで、先端基礎研究センターというところがありますけれども、そこで最近得られました「103 番元素が解く周期表のパズルーローレンシウムのイオン化エネルギー測定に成功ー」という成果を本日は御紹介したいと思います。

P) これは「Nature」誌の本年 4 月 9 日号に掲載されたもので、そこでさらに表紙に採用されたということです。「Nature」に掲載されるだけでも私たちにとっては非常に光栄なことですが、表紙に取り上げてくれたということです。表紙には extreme chemistry として紹介してあるのですが、「究極の化学」あるいは「極限の化学」と言えるかもしれません。「希少なローレンシウム原子が周期表の相対論領域を照らし出す」と記載されております。相対論領域というのはまた後ほど説明したいと思いますけれども、この表紙は立体的な周期表でありまして、バーの高さが各元素のイオン化エネルギーの値を示しております。

P) 本日の内容ですが、まず、余りなじみがないかと思っておりますけれども、103 番元素ローレンシウムとはどういうものかということと、なぜローレンシウムに着目したかということです。注目して、もちろんあるブレークスルーがあってこれができるわけですが、その辺の究極の化学分析に至った経緯、そのあたりを御紹介させていただきます。そして、成果とその意義、最後に、化学界において反響がありましたので、その辺を御紹介したいと思います。

P) これは元素の周期表ですが、国際純正・応用化学連合、IUPAC と呼んでいますが、ここが認定している、今最も標準的な元素の周期表です。下のほうにランタノイドとアクチノイドというのが別枠で表示されておりますけれども、これらの元素はそれぞれがよく似た性質を示すということで、ここに別枠として扱われております。現在は、周期表第 3 族の第 6 周期にランタノイド元素が、第 7 周期にアクチノイド元素が入るとされております。これは、1940 年代にシーボルクがアクチノイドの概念を提唱しまして、アクチノイドもランタノイドの類推として同じような性質を示すから、こういうアクチノイド系列をつくってもいいだろうということで、このようになっております。これに従いますと、ローレンシウムが一番最後で、右下のところにあります。

しかしながら、こういう重いアクチノイド元素というのは、特に原子番号 100 を超えるような非常に重い元素になりますと、イオンビームを使って人工的に合成せざるを得ません。原子炉では合成できませんので。そういう意味で、わずかな量しか手にすることはできないということです。したがって、電子構造あるいは化学的性質などはほとんど調べられていないというのが現状です。したがって、アクチノ

イド元素がローレンシウムで終わるということ自体も実験的にはまだわかっておりません。

P) ローレンシウムは、先ほど言いましたけれども、人工的に合成されます。1961年、アメリカのローレンスバークレー研究所で初めて人工的に合成されております。ローレンシウムという名前は、アーネスト・ローレンスという人の名前を取っております、この人はサイクロトロンという粒子加速器を発明した人で、その功績で1939年にノーベル物理学賞を取っております。サイクロトロンの開発と人工放射性元素、この人工放射性元素というのは、先ほど青い色で示しましたけれども、超ウラン元素の合成というところ

P) ではこういう重い元素に特徴的な電子配置はどういうのがあるかということで、簡単に御紹介いたします。

上の図は一般的な原子の構造をあらわしておりますけれども、中心にプラスの電荷を持った原子核があります。その周りをマイナスの電荷を持った電子が回っているわけですが、元素の化学的性質は最も外側の電子配置に支配されるということはよく知られたことです。ある軌道が電子で満たされると、その外側にまた電子が入ってきますので、その周期が周期表としてあらわれているということになります。

しかし、ローレンシウムも含めて非常に重い元素になってきますと、非常に特徴的な描像があらわれてきます。つまり、中心の正電荷が非常に大きくなってきますので、プラスの電荷が強くなってきます。そうするとプラスの電荷の近くを回っている電子が原子核に引きつけられるようになりますので、それに打ち勝つ力で円運動して回らなければいけないということになります。そうすると電子の速度が光速に近くなってきて、相対論領域に入ってくるということになります。相対論領域に入りますので、質量が重くなって、軌道半径が収縮してくるということになります。これが内側の電子です。この効果を受けまして、原子核のプラスの電荷が内側の電子で遮蔽されますので、外側の電子はその遮蔽効果でプラスの電荷を受けにくくなります。そうすると外側の電子は逆に広がってくる。そういう現象が予想されています。これを相対論効果と呼んでいます。そうしますと、最も外側の電子配置に変化が生じて、周期表のほころびが生じるかもしれないということが言われているわけです。

P) ではなぜローレンシウムかということですが、ローレンシウムは、一番外側の電子配置が周期表とは異なって、違う電子配置を持つということが理論的に予測されております。したがって、ローレンシウムは周期表の予測から逸脱する可能性があるということが考えられるわけです。このため、幾つかの実験が挑戦されまして、こういうローレンシウムの異常性についてどういうのがあるかということで、実験の試みがなされたのですが、最初のほうで言いましたように、こういう人工的に合成される元素はわずかな量しか手に入れることができません。ローレンシウムに関しましては、核反応で合成しますが、数秒間に1原子ぐらいです。しかも寿命が短くて、約30秒ぐらいの半減期しかないということです。したがって、私たちが手にできる量としましてはそのときに1個しかないということで、シングルアトム化学と呼んでいます。非常に制約された条件下での実験ですので、もちろん実験的な検証はあり

ません。したがって、これが究極の化学ということになるわけです。私たちが今生活している世の中では、いわゆるアボガドロ数ですから 10^{23} 個ですけれども、これを 1 個で分析するということになります。

P) ここで私たちが着目したのは何かといいますと、ローレンシウムのイオン化エネルギー、正確には第一イオン化エネルギーと呼びますけれども、これは原子の基本的な性質の 1 つで、原子から電子 1 個を取り去るために必要なエネルギーです。これが得られますと一番外側の電子配置の情報が得られるということで、これに着目したわけです。

これまでイオン化エネルギーを測定されたデータはもちろんありまして、最近ではレーザーを使った共鳴イオン化法というのがありますが、それでは最低でも約 1 兆個の原子、 10^{12} 個ぐらいの原子が必要とされています。しかし、シングルアトムにはもちろん適用できません。ですから、ここでブレイクスルーが必要となったわけです。

私たちの着想ですけれども、表面電離という過程に着目しました。この表面電離という過程と、質量分離法と、私たちが得意とする放射線計測を組み合わせることによってシングルアトムでのイオン化エネルギーの測定ができないかと着想したわけです。

表面電離と質量分離に関しましては、原子力科学研究所にオンライン同位体分離器という装置があります。これは、核反応生成物を連続的に取り出して、イオン化して、質量分離して、短寿命の原子核を調べるとい装置ですけれども、これを私たちは持っております。この装置を使いまして、これまでに新しい同位体の発見などの実績を有しておりますので、この装置があるということで、これに着目しました。

それと放射線計測ですけれども、ローレンシウムはアルファ壊変することがわかっております。アルファ壊変は、検出器に入りますと、1 個でも検出できます。しかも同位体固有の壊変エネルギーを持っていますので、アルファ線のエネルギーを測定すれば 1 個でも同定が可能ということで、そこに着目してアルファ壊変の精密測定を行う。そういう複合装置を考案いたしました。

P) まず表面電離です。これはよく知られた現象ですけれども、熱せられた金属表面に原子を接触させると、表面を通して電子が移動して、原子がイオン化される現象です。ここで表面電離でイオン化される割合は、主に次の量に依存します。まず金属表面の温度です。ここの青が金属表面です。あと金属の種類、これは金属の仕事関数と呼んでいますが、金属から電子 1 個を取り去るためのエネルギーです。それと原子のイオン化エネルギー。これでイオン化効率が支配されます。式としてはこのように熱運動としてあらわすことができます。これをうまく使えないかということです。

P) これを使ってローレンシウムのイオン化効率の測定を行いました。

これは東海の原子力科学研究所のタンデム加速器施設というところで実験を行っております。このタンデム加速器施設は非常にユニークな施設でして、放射性のアクチノイド、今回私たちが使いましたのはカリフォルニウムという非常に放射性の高い物質ですけれども、こういう放射性物質とか核燃料物質、ウランなどを標的として使えるということで、世界でも非常に貴重な加速器施設です。ここで実験を行いまし

た。

用いたのはカリフォルニウムの標的ですが、それにホウ素ビームを加速して衝突させてローレンシウムを合成します。この半減期が 27 秒で、生成率が数秒間に 1 原子ということになります。これをジェット気流に乗せて迅速にこのイオン化部へと導入します。このイオン化部で表面電離を起こすわけですが、ここを 2,700~2,800K の高温に加熱して、これに私たちは今回タンタルの金属を用いております。ここでイオン化いたします。イオン化されたローレンシウムイオンは電極で引き出されて、質量分離して、最終的にアルファ線の検出器に打ち込みます。ここで打ち込んだ後、アルファ壊変が起きますので、そのアルファ線を測定するというプロセスです。

ここでは一応流れを御紹介しましたが、非常に多くの技術開発を要しまして、約 3~4 年ほどの試行錯誤を繰り返しながらの技術開発を要しております。

P) これは実験のセットアップですが、先ほどのジェット気流で運ぶというのが、キャピラリーと呼んでいますけれども、この白い細い管を生成物が通ってきて、このあたりにイオン化部があります。ここに今接続しているところです。

P) これから結果に移ります。

これは、ローレンシウムがイオン化されてちゃんと質量分離されているということを確認するデータです。2,700K の温度で約 33% というイオン化効率を得ることができました。これはアルファ線のエネルギーを正確に測定しておりますので、間違いなくローレンシウムが来ているということがわかります。

このイオン化効率からイオン化エネルギーを求めるわけですが——

P) まずこの手法が正しいかどうかということで、確認の実験を行いました。

左の図は、イオン化効率とイオン化エネルギーの関係、この式をあらわしているものですが、まず既知の元素を対象にテスト実験を行いまして、イオン化効率とイオン化エネルギーの関係を得ました。そうしますと、この式で非常によくフィットできるということで、私たちの手法が使えるだろうということです。これで今回測定しましたイオン化効率 33% の値からこの値を読むわけですが、これは実効イオン化エネルギーと読んでいまして、正確にはさらに原子の基底状態から、励起準位の影響がありますので、そこを補正して、最終的にイオン化エネルギーとして 4.96eV という値を得ることができました。

P) この値がどのようになっているかということで、左側の図が、ほかのアクチノイド元素のイオン化エネルギーあるいはランタノイド元素と比べたものですが、青で示しますのがランタノイド元素の第一イオン化エネルギーです。なじみのない元素かもしれませんが、原子番号が大きくなるに従ってイオン化エネルギーが大きくなります。ランタノイドの一番最後の元素ルテチウムで非常に小さい値を示しています。これは、電子が順番に満たされていって、ルテチウムの前のイッテルビウムというところで軌道が電子で満たされて、さらにその外側を 1 個回っているという状況を反映しています。これはよく調べられた結果です。これがランタノイド元素です。

アクチノイド元素はどうなっているかといいますと、100 番元素のフェルミウム以上はまだ測定されたデータがありません。今回私たちが測定したデータは、ローレンシウムのここになります。これは類推で、多分こういくだらうということはある程度推測できるわけですが、今回はローレンシウムが非常に小さい値を示したということです。それと、今回は海外の理論研究者と共同研究を行いまして、理論計算を行っていただきました。この星印がその計算値で、非常によく一致していることがわかります。この値は相対論効果の影響を考慮した電子配置で、一番外側の電子が非常に緩く結合しているという計算結果です。したがって、ルテチウムと同じように、ローレンシウムは一番外側の電子 1 個が緩く回っているということをこの実験で確認することができたということで、ルテチウムが最後のランタノイド元素であるということに対して、ローレンシウムも最後のアクチノイド元素であるということが明確に言えたということになります。

P) 意義としましては、シングルアトムスケールでのイオン化エネルギー測定の開発に成功いたしました。これによりアクチノイドの概念の実験的検証、今の周期表のパズルの 1 つのピースをはめ込むことができたということで、ローレンシウムが最後のアクチノイド元素であるということがわかったということです。この手法は、今後、さらに重い領域、超重元素領域、あるいは相対論領域の化学と呼べるかもしれませんが、ここに大きく一歩踏み出すことができた成果だと思います。これまで超重元素の原子の電子配置に関するデータはありませんでしたし、今回初めて相対論効果を考慮した電子配置を示唆することができたということで、今後さらにこの領域に踏み込める機会が得られたということです。今まで理論計算でしかアプローチできなかったところにこれからは実験で入っていけるということと同時に、理論計算に対して信頼できるベンチマークを与えたということです。

P) 以上が結果ですが、この後、これを受けて化学界における反響がありましたので、簡単に御紹介したいと思います。

これは最初にお示した周期表で、ここにランタノイドとアクチノイドがあるわけですが、これが現在の周期表です。

これに対しまして、今回私たちの得られたデータをもとに、ルテチウムとローレンシウムをこの一番最後に入れなさいということが提案されています。これは以前から提案されていたことではあったのですが、ローレンシウムのデータがないということで単に提案だけだったのですが、今回、ルテチウムとローレンシウムに関しては電子配置がほかのランタノイドやアクチノイドとは少し違うのではないかとということがわかりましたので、それを受けた提案です。

P) 現在こういう周期表になっているのが、この間にランタノイドとアクチノイドが入って、3 族がこうなるということです。したがって、ランタノイドはイッテルビウムで終わって、アクチノイドはノーベリウムで終わる。こういう提案がなされています。

P) 今年の夏の IUPAC の会議の無機化学部門がこれを扱うわけですが、ここで議題で取り上げ

られて、今議論が始まったところですが、周期表の改訂につながっていく可能性もあるということで、注目していきたいと思っております。

P) 最後のまとめですが、究極の化学分析法を開発いたしまして、ローレンシウム(Ionization Energy)のイオン化エネルギー測定に成功いたしました。70年を経てアクチノイド系列を確立することができました。これは従来の周期表に従ってということです。これにより相対論領域への挑戦を可能にしたということで、この領域にもっと踏み込めば、周期表のほころびがもっと明確に見えてくるかもしれません。

一方、この成果を受けて周期表の改訂につながるような議論を巻き起こすことができました。

今後はこの究極の化学の分析法を使いまして新しい領域を開拓していきたいと思っております。そういう領域には元素全体の理解につながるかぎが秘められているフロンティア領域だと考えております。

御静聴ありがとうございました。

ヨシはなぜ塩水でも育つのか

—根の中でナトリウムを送り返す動きをポジトロンイメージングで観ることに世界初成功—

原子力科学部門 量子ビーム応用研究センター

バイオ・医療応用研究ディビジョン 植物 RI イメージング研究グループリーダー

藤巻 秀

[パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとに P) と表示]

P) 量子ビーム応用研究センターの藤巻と申します。農業と植物の課題に放射線イメージング技術で取り組んだ研究成果について御報告いたします。

P) これからお話する内容は、原子力機構の活動の中では、量子ビームの農業・植物科学分野への貢献の 1 つとして位置づけられます。

量子ビーム応用研究センターのウェブサイトでは、量子ビームの 3 つの重要な機能として、「見る」、「創る」、「治す」が挙げられています。

農業・植物科学の分野では、例えば「創る」のところには、イオンビームによる育種が挙げられています。そして、「観る」のところには、私たちのグループの活動として「植物の物質吸収／移行／蓄積機能を視たい」と書いてあるのですけれども、これは、残念なことに、育種に比べると少しわかりにくい概念ではないかと思います。

そこで、この背景について少し御説明いたします。

P) 植物と人間の物質的なかわりを考えますと、植物が環境中から集めた元素に依存して人間は生きていくという事実につき当たります。

環境中には植物にとっての必須元素 17 種類が存在し、そのほとんどは土の中に含まれ、根から植物体内に入り、導管を通過して葉に届きます。炭素は CO₂ として大気中にありまして、光合成によって葉で有機物となり、篩管を通り、先ほどのミネラルと一緒に収穫部位に向かいます。そこに蓄積した栄養物質を我々人間が利用しているわけです。

しかし、その一方で、カドミウム、ヒ素、放射性セシウムといった好ましくない物質あるいは元素も同様の仕組みによって収穫部位に集まってきてしまいます。

そこで、植物におけるこうした元素の動きを解析し、輸送の仕組みを解明、さらには人為的に制御して安全な生産物の安定的な収穫を目指そうというのが農学・植物科学の分野の大きな目標の 1 つとなっています。

ではどうやって植物体内の元素の動きを解析するのかというところに私たちの植物 RI イメージング技術が登場します。

P) これまで私たちのグループでは、植物体内のラジオアイソトープすなわち RI の動く様子を非破壊的

に観測するイメージング技術の開発とそれを利用した植物研究を行ってまいりました。

代表的なイメージング技術が、Positron-emitting Tracer Imaging System、略して PETIS です。

左の写真のように、左右一対の検出器の間に生きた植物を置き、その芽や葉に液体や気体の形で RI を与えます。この RI は、ポジトロンという特殊な放射線を出すタイプのものです。そうしますと右の図のようにそのポジトロンからガンマ線が発生しまして、左右の検出器で捉えられます。これを繰り返していきますと、RI の動きをコンピュータ上に画像化することができます。

下の動画は、実際にダイズの葉に放射性の CO₂ を与えまして、光合成産物が葉から根に動いていく様子を捉えたものです。

この計測原理は医療用の PET にも使われているものですが、私たちのシステムは、光、温度、湿度などの制御をしまして、植物研究に特化したものとなっています。過去 15 年ほどの間に、私たちは多様な RI の製造と投与の技術や画像解析技術などを開発し、農学・植物科学の分野で成果を得てきております。

P) さて、これからお話しする研究が対象とする元素は、ナトリウムです。

ナトリウムは我々人間にとっては非常に身近で、また必須の元素ですが、ほとんどの植物にとっては必須でないどころか有害なものです。ナトリウムは海水に多く含まれるため、高潮などで海水をかぶった田畑では塩害が発生します。また、ナトリウムは土壌中の水分にもある程度含まれるため、世界中の乾燥地域ではそのナトリウムが農地の表面近くに集まってきてしまい、作物が育たなくなり、砂漠化が進行するという大きな問題が起きています。

一方、ナトリウムを含まない水、すなわち淡水は貴重な資源であり、その不足は世界的に深刻さを年々増しています。よく地球は水の星などと言われますが、そのほとんどは海水で、人間が利用できるわずかな淡水のうち実に約 70%が農業用水として使われているというのが現状です。この状況を緩和するために、多少塩を含む水でも農業に利用できるようにならないかという発想が生まれてまいります。ですから、もしナトリウムに耐える作物があれば、耕地の現象と水資源の枯渇のどちらの問題に対しても理想的ということになります。

P) しかし、残念なことに、世界人口の半数が主食としている、最も重要な作物であるイネは比較的ナトリウムに弱い植物であることが知られています。

イネの根が土の中からナトリウムイオンを吸収しますと、根から葉に向かう導管の水の流れに乗って茎を通り、葉に届きます。ナトリウムイオンは葉のイオンバランスを崩し、光合成などの重要な働きを阻害してしまい、これによってイネが枯れてしまうというのがその主要なメカニズムです。

これをどうにか人間の力で変え、品種改良などでナトリウムに強いイネをつくるにはどうしたらよいかというのが次の課題になります。

P) イネを改良していく上で参考にすべきものは、イネに近縁であるにもかかわらずナトリウムに強い植

物です。私たちの共同研究相手であります東京農業大学の樋口教授はこのように考えて、ヨシに注目しました。

ヨシは世界中の乾燥地や湿地に自生し、さらには海水が混ざる河口付近でも育つほど耐塩性が強い野生の植物です。同じイネ科でありながら、どうしてイネと違ってヨシはナトリウムに強いのか、この謎に取り組んでいくことになります。

P) さて、一般に植物がナトリウムに強くなるための戦略には、幾つかの可能性が考えられます。根の中にナトリウムをそもそも取り込まないという方法、体内の安全な場所にナトリウムを隔離してしまうという方法、あるいはマングローブのように葉の表面から塩粒を体の外に出してしまうといった例も実際にあります。

ではヨシの場合に実際に体内でナトリウムイオンがどう動いているのかについては、樋口先生やほかのグループによる先行研究で幾つかのことが明らかになっていました。

その 1 つ目が、ヨシはナトリウムイオンを吸収しないわけではなく、根の中心を通る導管にまでナトリウムは入っているのですけれども、なぜかそれがわずかしか地上部に届かないということでした。そしてもう一つ、ヨシの茎のつけ根の細胞を熱で殺してしまいますとこうした現象が起こらなくなってしまうということもわかっていました。

こうしたことから、ヨシは導管の中を通るナトリウムイオンを選択的に、かつ積極的にどこかへ排除してしまっているらしいと研究者たちは想像していました。

そこで、本研究では、PETIS を利用してこれを検証することにいたしました。

P) 私たちが実際に行いましたイネとヨシにおけるナトリウムイオンの動きを解析する実験のデザインを説明いたします。

基本のコンセプトは、植物を一定の塩条件に置いたままにしながら、目に見えないナトリウムイオンの流れを RI を目印として追跡するというものです。RI としては、半減期 2.6 年のナトリウム 22 を利用し、イネとヨシそれぞれ 6 個体ずつを実験に供しました。植物には実験の期間中ずっと、海水の 10 分の 1 程度のナトリウムを含む、つまり塩分の高い水耕液をを与えました。このナトリウムは、通常の、放射性ではないものです。

まず実験の初めに、この水耕液の中に目印となる放射性ナトリウム 22 をごく微量加えました。これは物質質量としてはわずか 10 億分の 5g でしかなく、生理的な影響は全く無視できます。

PETIS によって水耕液から植物体の中にナトリウム 22 が動いていく様子を 24 時間観察しました。これを撮像前半と呼ぶことにいたします。

これが終わった後、目印のナトリウム 22 を水耕液の中から除き、既に植物体内に入っているナトリウム 22 がそこからどこに動いていくのかを 18 時間追跡しました。これを撮像後半と呼ぶことにいたします。

P) イメージングの結果を示します。

まず撮像前半からです。

左にあるイネでは、開始から 1~2 時間でナトリウム 22 が葉に到達し、その後もどンドン葉の中に移行し続けていくことがわかります。

一方、右にあるヨシでは、茎のつけ根のところにナトリウム 22 が強く集積するものの、それより上の茎や葉にはほとんど全く移行していません。ヨシではナトリウムイオンが地上部に行きづらいという予想どおりの結果ではありましたが、いざ実際にこれほど明瞭なイネとヨシの違いを目にして驚いたというのが正直な感想です。

P) 続いて撮像後半の結果です。

体内に吸収されたナトリウム 22 の動きを追跡したいので、根のほうがよく見えるように視野を少し下にずらしてあります。左にありますイネでは、根の内部のナトリウム 22 が上のほうに引きずり込まれるようにして減っていき、葉へと移行していく様子がおわかりになると思います。

さて、いよいよ右側のヨシの結果ですが、根から茎のつけ根にかけて集積したナトリウム 22 のその後の動きは、見た目の第一印象ではそれほどはっきりしません。ただ、上の茎や葉への移行がほとんどないことは明らかです。そして、水耕液の放射能をはかりましたところ、ナトリウム 22 が水耕液中に排泄されているという事実も確認できました。ということは、この動画像をもっと丁寧に見れば、ナトリウム 22 が下向きに動いている様子が見えてくるはずです。

そこで、この動画像データを数値化して解析する方法を考えることにいたしました。

P) ヨシの体内に集積したナトリウム 22 が動いていく向きを明らかにするため、非常にシンプルな解析手法を考えました。動画像データ上に植物体の軸に沿ってこのようにセクションを細かく設定しまして、それぞれのセクションの中のナトリウム 22 が時間当たりどれだけふえるのか、あるいは減るのかを数値化しました。例えば、もしある同じ時間帯に根の上部で減少していて、一方、下部では増加していったならば、それは上から下にナトリウム 22 が動いたことを示していると考えerわけです。

P) 解析の結果を示します。

まずはイネのほうです。画面を横切る水平の薄緑色の線が茎のつけ根の位置をあらわしています。グラフは、右へ行くほどその部位でナトリウム 22 が大きくふえていることを示し、左に行くほど大きく減っていることを示しています。イネでは根の上部でナトリウム 22 が減少し、同時に茎のつけ根から葉にかけて、地上部全体で増加しています。このことは、イネでは根の中のナトリウム 22 が上の葉に向かって動き続けていたことを示しています。

P) 一方、こちらがヨシの結果です。イネの場合と同様に、やはり根の上部でナトリウム 22 が減少していることがわかりました。しかし、イネと違う点は、同じ時間帯に根の下のほう、先端側で増加していることと、地上部の葉では一貫して全く増加が見られないということです。これらの結果から、ヨシの根の中ではナトリウム 22 が確かに下向きに動いていたということ画像から証明することができました。

P) 以上の結果をまとめますと、本研究では、左の図に示しますように、ヨシの根は高濃度のナトリウムイオンにさらされている間もずっと、一度吸収したナトリウムイオンを下のほうに U ターンさせて排除している、いわば吐き戻しているということが明らかになりました。

この成果は、植物分野のトップジャーナルの 1 つに論文発表するとともに、プレスリリースを行いましたところ、日本経済新聞、毎日新聞、読売新聞、朝日新聞など 9 紙に掲載され、また、NHK の科学番組「サイエンス ZERO」で取り上げられるなど、大きな反響を得ました。

今後の展開につきましては、現在ヨシの遺伝子を探索中であり、将来的にはイネを遺伝的に改変し、ナトリウム濃度の高い土地での栽培を可能にすることを目指します。さらに、究極的には海水での栽培、海岸での稲作につなげられればという夢を持っております。

P) さて、それと同時に、私たちの本分、本業であります植物 RI イメージング技術の発展も忘れてはおりません。

PETIS による研究の展開としましては、きょう御説明しましたナトリウムのほかにも、さまざまな元素を対象とした研究を行っております。

例えば、左側は放射性炭素 11 を利用した例です。トマトの温室の中の CO₂ 濃度を上げていきますと、葉での光合成は盛んになっていくのですが、そのできた産物を果実に運ぶほうの効率が悪くなってしまうために農業の生産性としては頭打ちになってしまうということを定量的に解析したものです。

また、右側は放射性のカドミウム 107 を利用した例です。カドミウムに汚染された水田を浄化するための高吸収イネの候補品種を解析しましたところ、期待どおり、カドミウムを地上部に運び上げる能力が通常の品種に比べて 2~3 倍以上高いという評価を行ったものです。

このように、私たちは PETIS の農学分野への応用の幅を広げてまいりました。

P) そして、イメージングの手法も、PETIS 以外の選択肢を広げていっております。

例えば、セシウム 137 はポジトロンを放出しませんので、原理的に PETIS で見ることはできないのですが、私たちは名古屋大学、東北大学と共同で植物研究用のガンマカメラを開発しまして、右上の動画のように、ダイズにおける特徴的なセシウム 137 の動きを既に明らかにしております。

そのほか、複数元素を同時に見分けながら画像化するコンプトンカメラとか、右下の写真のように、離れた位置からでも非常に解像度の高いセシウム 137 の画像化を可能にするチェレンコフ光イメージングなどの開発も現在進めているところです。

P) 私たちは、以上のような植物 RI イメージング技術の発展のその先に新しい学術分野の確立を目指しています。それが「核農学」です。御存じのとおり、人間の体内の薬剤分布を PET などの RI イメージング技術で解析することによりがんなどの診断と治療を行う手法は、「核医学」という大きな分野を既に形成しています。それならば、植物の体内の元素動態を RI イメージング技術で解析することにより作物の栽培条件や品種などの評価と改良を行おうとする私たちの目指す分野は「核農学」と呼んでもよいだろう

うと考えたわけです。農業の課題は、先進国、途上国を問わず、全世界にありますので、先進医療にひけをとらないフロンティアがそこにはあると私たちは考えています。

なお、この核農学の理念ですけれども、「核農学 植物の中を見る」というタイトルで、この夏、読売新聞の科学欄に掲載されました。

P) まとめです。

私たちは、東京農業大学と共同で、植物 RI イメージング技術を用いてヨシ特有の耐塩性機構を証明いたしました。

今後も高耐塩性イネの作出に向けて研究を続けてまいります。

また、植物 RI イメージング技術のほうは、核農学の確立を目指して展開してまいります。

発表は以上です。御静聴ありがとうございました。

高速炉サイクル確立に向けた研究開発の現状と今後について

高速炉研究開発部門 企画調整室長 中村博文

〔パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示〕

P) 御紹介いただきました、高速炉研究開発部門の中村でございます。本日は、ここにあります高速炉サイクル確立に向けた研究開発の現状と今後について御報告させていただきます。

P) まず今日の報告の内容でございますが、最初に、この高速炉サイクルというのを我々は長年やってきておりまして、震災を契機としてその開発が変遷しております。そのお話を差し上げ、また、それまでにどういう成果が上がっていたか、我々はどのレベルまで来ているかという御説明をするのが、FaCT フェーズ I の成果の概要というものでございます。それから、現在の高速炉サイクル技術開発の意義、それからもんじゅの役割について御説明させていただきます。こういう前段でありまして、その後、今後の研究開発の展開を成果を交えながら御報告させていただきます。

P) 最初に、震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷でございます。

P) 我々はもともと、高速炉サイクルの実用化研究開発、これは FaCT と申しておりましたが、これを震災前までずっとやっておりました。2010 年度、2011 年 3 月末にフェーズ I の成果をまとめようとしていたちょうどその矢先、3 月 11 日に震災が起きました。その翌週にまとめをやる予定でございました。この震災を受けまして、FaCT のフェーズ II への移行は一旦とめようということが 2011 年に決まりました。

そこから我々は、下にありますように基盤技術の維持や安全性向上に取り組んでおりましたが、2013 年に文科省でやられました委員会でももんじゅの研究計画が定められました。さらには 2014 年にエネルギー基本計画が定められまして、ここでももんじゅの研究計画を中心に高速炉は推進しようということが定められております。我々はそれに基づいて研究を今やっているという状況でございます。

P) ではどこまで我々の技術ができていたのかというのを御紹介します。

P) FaCT フェーズ I の成果はほとんどまとまっておりましたが、大きくは炉システムと燃料システムの 2 つに分けられます。

炉システムについては、新しい技術、10 課題と申していましたが、これのほとんどが採用可能だという判断を当時しております。実際にどのレベルかというと、実証炉の概念設計に移行可能な段階でございました。だから、あと 5 年これをやれば次の基本設計に移れる、そんな段階まで我々の研究レベルは来ていた。

燃料サイクルシステムにつきましては、再処理、燃料、それぞれ課題がございまして、これもおおむね採用できるだろうと。ただ、幾つかはもう少し時間がかかる。炉よりも少しおくれた感じの結果になっておりました。ここについては、ここには LF と書いてありますが、L というのは軽水炉です。軽水炉から F、高速炉への移行を考慮したプロセスや、あるいは工学規模の装置に関するさらなる基盤研究を進めてい

うというのが現状でございます。

これらをまとめたときに我々は性能目標を定めまして、それについても評価をしております。開発目標として、安全性・信頼性や経済性、持続可能性、核不拡散性、こういうものを挙げまして、それに対して設計要求とその達成度を定量的に定めまして、これを評価いたしました。そのときの指標が、ここにありますような、シビアアクシデントの発生確率が非常に低いとか、経済性が今のほかのエネルギーとも競合できるとか、マイナーアクチノイドをちゃんと扱える、こんなことを評価しまして、それも達成できるという見通しを得ておりました。

P) そういう技術を持ってありますが、今、我々が高速炉サイクルの技術を保有するというのはどういう意味かというのをもう一度ここで確認したいと思います。

P) 今、日本では、1万7,000t余りの軽水炉から出てくる使用済燃料がございますし、原子力は我が国のエネルギー安全保障からも非常に重要なものと定められております。これを進めるためには、使用済燃料の問題や、あるいは核燃料サイクルをどんどん推進していくということが非常に大事です。

これを進めていくに当たって、日本が高速炉サイクル技術を保有することが、ここにありますウラン資源の有効利用や環境負荷の観点から非常に有望であると考えております。

P) その資源有効性という意味では、高速炉を使うことで、皆さん御存じのようにウランをプルトニウムに変換して1,000年以上エネルギーとして使えるということと、今、地球にはウランが100年程度は埋蔵されているだろう、100年ぐらいは使えるだろうということがあります。ただ、100年であぐらをかいているわけにはいかない。というのは、高速炉サイクル開発にしても、数十年の単位での開発時間がどうしても必要だと。また、世界各国でも原子力発電は今ふえている状態ですし、その中でウランを本当に日本が今獲得しているだけの量ちゃんと将来も獲得できるか、この辺のセキュリティの問題があると思います。

また、環境に優しいという観点からは、高放射性廃棄物の量を減らすことが高速炉では実現可能だと。特にマイナーアクチノイドを減らすことには大きな意義があると考えております。これは使用済燃料のボリュームですが、それに対してガラス固化体、今やっています軽水炉で再処理するだけでも2割ぐらいには減りますし、さらに高速炉にすればそれからまた減らすことができるというものでございます。

P) こういう中で我々は、今、田口副理事長などからももんじゅの話がありましたが、そのもんじゅについて、研究の観点からどういう意義があるかを御紹介します。

まず3つの大きな意義があると考えておりまして、1つは、高速増殖炉技術の成果を取りまとめる。これは日本が自分たちの力で1つの発電プラントをつくりました。ここを出てきた設計や製造、建設のノウハウ、こういうものからさらに、プラントを動かしてそれを改良していくということが非常に大事だと考えています。

また、新しく出てきました廃棄物減容・有害度低減。これも、集合体規模での試験ができるということと、もんじゅの炉心の中には、アメリシウムというマイナーアクチノイドの1つでございますけれども、これが

2%ぐらい既に入っております。長年置いていたということで、増えたということですが、結果的には、アメリカシウム入りの燃料を今後動かすことによって、それがどういう特性になっているかというのをデータとして得られるということがございます。

それから、実プラントを使った安全性強化のためのいろいろな研究の場としても使えると考えております。

P) こういう意義を持って、我々機構としては、第3期中長期計画の中で、高速炉の開発を大きくはこの2項目に分けて整理しております。

1 つは高速炉の研究開発で、これはもんじゅを中心とした研究開発、それから、それ以外のところでの安全性強化を目指した研究開発や、あるいはフランスとの共同での ASTRID の開発、こういうものをやる。

また、燃料サイクル関係では、再処理や燃料製造技術のほかには有害度低減の研究開発を進めるとなっております。

それから、こういう研究を進めるに当たりましては、試験フィールド、これは日本では機構しか持っていないフィールドがほとんどでございますが、もんじゅ、これは早期の保安措置命令解除を頑張っているところでございます。

それから、高速実験炉常陽、これはトラブルを起こしましたが、それは既に今年解消しました。今、来年の変更申請に向けて準備中でございます。

それからプルトニウムの第3開発室、これがもんじゅや常陽の MOX 燃料をつくるところでございますが、これにつきましても加工事業化を進めております。

また、ホットラボや照射後試験施設など、これについては試用施設でございまして、新たにできました新規性基準に対応する形での変更申請の準備を着々と進めております。

また、コールド施設でありますけれども、ナトリウムを扱う施設、これについては古い施設もございましたので、そういうのを集約しながら、新しい Athena という施設もございまして、こういうところに集約しながら試験をできる環境を整えているという状況でございます。

P) 我々は、今御紹介しましたような研究をやっていくことで、次の段階、実証技術を確立する段階にいろいろなデータを出していこうと。上が炉でございますが、設計へ取り込んでいったり、あるいは運転に反映させる、また、廃棄物低減については、その成立性を確認していこうと。そして将来的には実用のプラントあるいは実用の炉を目指していきたいと考えております。

P) 個別の研究成果でございますが、まずもんじゅでございます。

もんじゅについては、先ほども申しましたように、みずから設計・製造・建設したもんじゅを活用しまして、そこから出てくるデータを次の炉の設計に反映したいと考えています。

具体的にはこういう試験項目がありまして、それに対して、例えば炉心ですと、炉心設計手法、炉心管

理技術の検証あるいはそれを改良していくというものに使えますし、機器・システム設計したものを、実際にループ型炉の動特性評価手法あるいは遮蔽評価手法、こういうものを用いてつくったわけですが、その妥当性をもう一度プラントで確認できるなど、実際のものを動かさないと出てこないデータをもんじゅで得たいと思っております。

P) また一方では、設計するに当たって安全の基準もつくっていかなくてはいけなくて、我々は今、世界の高速炉の安全性向上に向け、世界的な協力をしながら我が国主導で安全設計の要件を構築してきました。

具体的には、GIF という国際的な会議の中で、2013 年に SDC、安全設計クライテリアというものを承認していただいて、その後、ロシアや中国、インドでもこれを安全設計に実際に反映するという意向が示されております。さらに、これはクライテリアですので、次の段階として、現在、それを設計に持つていくためのガイドラインを組み上げていこうとしております。

P) それから、基準という意味では、構造材料規格基準についても既に今つくってきておまして、国内整備をして、それを国際規格へ反映していこうという取り組みをしております。これは、プラントのライフサイクル評価に基づく合理的な設計、できるだけ無駄のない、裕度を取り過ぎない、そんな設計を目指しますが、そういうことをするためにしっかりと規格をつくることを考えております。これももんじゅを実際に動かしたデータ、あるいはとったデータに基づいて、さらに裕度を適正に設定できる、それで維持基準や信頼性評価ガイドラインができると考えております。

実際、我々が JSME 等に既につくっているものもございますし、アメリカの ASME にもこれを反映していく、あるいは既に一部反映している。こういう活動をしております。

P) 一方で、過酷事故、シビアアクシデントの評価研究ということで、これはカザフにあります IGR という炉で、ここで 2000 年から始めておりますが、EAGLE という実際のウランを入れた燃料を溶かす試験をやっております。今年からは、EAGLE-3 といひまして、溶融した燃料がどのように下に落ちていくか、この挙動を実際にウランを使ってやってみるという試験をカザフと共同で進めているところでございます。

P) また、国際協力という意味では、フランスと ASTRID 協力をやっています。これは首脳同士が合意しまして、既に 2014 年に締結しておりますので、我々は始めております。

まず手始めに、シビアアクシデント対策として安全設計の考え方を日仏で共有化して、我が国の設計技術を ASTRID に生かすということ、またそれをフィードバックして我々の設計に反映する。こういう活動をしております。

具体的には、ここにありますような、設計では崩壊熱除去系の設計や炉心停止、あるいは免震技術、こういうものをそれぞれ研究しているところでございます。

P) また、高速炉サイクル全体で見ますと、廃棄物低減の研究をサイクル全体を通してやろうと考えておまして、炉としては常陽あるいはもんじゅを使ってやりますし、再処理としては CPF という施設や、燃

料製造としてプル燃あるいは大洗の燃材施設、こういうものを使って、それぞれ個別の研究をやるとともにサイクル全体の評価をする計画を持っております。

P) 具体的には、SmART サイクルというものを考えておられて、これは、常陽から出てきた炉心燃料から CPF で MA を分離して、これは 1g 程度をとろうと思っておりますが、実際に溶解試験までやっております。分離してとれたものを今度は大洗の AGF に持ってきて、アメリカウムだけではなくて、炉からとれたアメリカウム、キュリウム、ネプツニウムを燃料にして、それをまた常陽に戻して照射試験をしようと、こんな計画を進めております。

これをするに当たって、既に我々は MA の分離技術については、これは試験管レベルですけれども、MA は 99.9%とれるとか、既に MA の燃料ペレットをつくって、その物性をとったり、あるいは、常陽がトラブル前に既に MA 入りの燃料を照射しております。それによって、アメリカウムはこのように中心に分布が高くなる、再分布している状況がデータとしては出ておりますが、こういうデータを用いながらこのサイクルをやっていきたくて思っております。

P) 今申しました常陽でございますけれども、常陽につきましては、平成 19 年 5 月に、MARIGO というもの、照射リグが十分に切断できずにトラブルを起こしました。それから時間はかかりましたが、今年の 6 月に壊れた炉心内部の上部構造とかを全て取りかえまして、現在はもとの形に復帰しております。新規制基準対応をやらなくてははいけませんので、今その準備を進めているという状況でございます。

P) 最後に高速炉サイクルの研究開発の向かうべき方向ということでまとめさせていただきますが、実用化に向けまして、まだ政策が具体化されておられないので、具体化されるであろう時点でここにあるような成果がすぐに提示できるような研究開発をやっていきたくて我々としては考えております。

まず研究インフラ整備としては、もんじゅや常陽、今止まっている施設を早期に整備して、再稼働して、とにかく動かさなければだめだと思っております。また、もんじゅ、常陽、核燃料サイクルを使った高速炉サイクル技術を支える人材とその基盤技術の整備・蓄積もやっていかなければいけないと考えています。

また、研究開発としましては、福島事故を踏まえまして、安全性強化策を反映した、先ほどの FaCT フェーズ I の成果にさらにこういうものを反映した技術の確立をやっていきたくて。それから、国際的な安全設計要件を取り込んで、高速炉のリファレンスプラント概念を用意していきたくて。それから、廃棄物の減容あるいは有害度低減の技術については、その成立性を見通しておきたい。そして、こういうことを踏まえて実用化までの道筋を我々の案として提示したいと考えております。

こういうことをやるに当たりましては、ステークホルダーとの対話、情報共有を現時点でもやっていって、そういうものを研究開発の方向性に反映していきたくて思っております。

そのためにも、人材育成、技術継承を具体的に実行するということをやりながら、先ほど申しました新規制基準対応を素早くやり、安全を優先した上で試験施設をちゃんと操業していきたくて思っております。

以上、私の報告であります。御静聴ありがとうございました。

パネルディスカッション

－東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発－

○司会 後半は、パネルディスカッション形式にて、「東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発」をテーマに御議論いただきたいと思います。

それでは、登壇者の紹介をさせていただきます。

モデレーターは、原子力損害賠償・廃炉等支援機構理事長の山名元様。

パネリストは、株式会社東芝電力システム社理事の飯倉隆彦様。

東京工業大学原子炉工学研究所教授の小原徹様。

東京電力株式会社福島第一廃炉推進カンパニープロジェクト計画部燃料対策グループマネージャーの村野兼司様。

原子力機構福島研究開発部門福島研究基盤創生センター所長、河村弘。

同じく福島研究開発部門廃炉国際共同研究センター長、小川徹。

それでは、山名様、よろしく願いいたします。

○山名理事長 皆さん、こんにちは。これからパネル討論を始めたいと思います。

午前から午後にかけて JAEA の成果が報告されたわけですが、福島第一原子力発電所の廃炉に対する取り組みにおける JAEA の役割は非常に重いものがあると思っております。その観点から、このパネル討論では、JAEA の廃炉国際共同研究センターと福島研究基盤創生センターが取り組んでいく活動についてディスカッションしていきたいと思います。

まず最初に、JAEA のお二人の代表から、それぞれの活動について簡単な紹介をいただきたいと思います。

それでは、小川センター長からお願いいたします。

○小川センター長 ありがとうございます。廃炉国際共同研究センターの小川です。

それでは、スクリーンの図を用いながら御説明したいと思います。

[パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示]

P) まず、この廃炉国際共同研究センターですが、今年の4月20日に発足式を行いました。この組織が一体何をするのか、そもそも皆さん、このセンターができたということも場合によっては御存じないかもしれませんので、その概要をお話ししたいと思います。

言うまでもなく、福島第一原子力発電所の廃炉の事業主体そのものは東京電力であります、その全体を統括する組織、戦略的な中心として、NDF、きょうは山名理事長もお見えですけれども、その NDF になります。また、そこに持ち込むような実用的な段階に近い技術開発は、IRID という組織、これはスクリーンの左側に書いてありますけれども、こういう組織が存在します。

それに対して日本原子力研究開発機構はどこを担っているのかということですが、福島第一原子力発電所の廃炉という非常に難しい課題を解決していくためにまだまだ新しい物の見方とか新しい技術を必要とするだろうということで、その研究開発。しかし、日本原子力研究開発機構が我が国唯一の総合的な原子力研究開発法人だとはいっても、そこで持っている技術のワンセットでは必ずしも解決がつかない、非常に多様な課題を抱えています。

そういうことで、国内外のいろいろな知識、技術を集める仕組みが必要だということで、この廃炉国際共同研究センターができたわけです。私の後で河村所長からお話がありますけれども、この廃炉国際共同センターは、同時に、櫛葉にできました遠隔技術の施設、それから大熊にこれからできます分析センター、そういうところを結んで、基礎基盤という立場から廃炉の問題に貢献していこうではないかということです。

ここに英語名も書いてあります。Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science というわけですが、略して CLADS(クラッズ)と呼んでおります。皆さん、この CLADS という名前を覚えていただけるとよいかと思います。

P) 国内の共同研究ということもとても大事ですし、国際的ないろいろな知見を生かすということも大事です。ここでは、まず国外・国内でどれぐらいの広がりを持って現在取り組んでいるのかということで、一々このリストを説明はしませんが、既に大変広範な協力関係を築きながら活動を始めているところです。今後この活動の輪をさらに広げていき、そういうところで有効な新しい知見、技術を育て、福島第一の廃炉の現場に届けていきたいと考えております。

P) 今の福島第一原子力発電所の状況ですが、この図では、1号機から3号機について、まず使用済燃料プールの中の燃料を取り出すということで、このリスクの低減を図ることがこれからなされようとしているわけですが、さらにその先には、壊れた原子炉の中に落ちているデブリを取り出すという作業にこれから挑まなければなりません。しかし、図にもあるとおり非常に高い線量で、そのような環境の中でこれを実施していくという非常に難しいことに取り組む課題になるわけです。また、その対象とする物量も非常に大きなものである。そういう現実があります。

P) それから、廃棄物です。これは決してデブリにとどまる話ではなく、普通の原子炉の廃炉ですと廃棄物の総量は50万tとか60万tで、そのうち放射性廃棄物として扱わないといけないものはせいぜい2~3%となっているのですけれども、福島第一の廃炉の場合には非常に多種多様な廃棄物が出てくる。この廃棄物の問題についても、どのように見通しを立てるのかということこれから考え、技術開発をしていかないといけないわけです。

P) NDFで、国の戦略プランとしてこういう5つの項目を立てました。安全とか確実、迅速とか現場感覚といったものをしっかりとやっていきたいと思います。この中でも安全性、確実性ということが非常に高い課題として出てくると思います。そういうところで基礎基盤としてやるべきことは非常に多い

だろうと思います。

P) この廃炉の進展に応じてどのような課題があって、何に取り組み、いつまでにどのような成果を届けるのか、こういうことをしっかり、これは事業の実施側、プロジェクト側ともしっかりコミュニケーションをとりながら、タイムリーにいろいろなものを届けていかないといけない。そういうことで、研究開発のマップづくりがとても大事になってきます。時間の関係で細かくは説明しませんが、多様な課題があるということで、事故進展から始まって、最後は廃棄物の処理処分というところまで、そこを基礎基盤としてどのような手順で取り組んでいくのか、そのあたりのことにこれから取り組んでいかなければなりません。

P) 今現実に取り組んでいるのは、燃料のデブリに関する研究開発。それから廃棄物の処理処分にかかわる研究開発。それから遠隔技術関係、特に遠隔モニタリング。これは、原子炉の中の状況、格納容器の中の状況を正確に把握して、しっかりした廃炉戦略を立てるという意味でとても大事な技術になってまいります。幾つか事例を紙芝居的に見せたいと思います。

P) 1 つは、デブリの特性を遠隔ではかろうということで、レーザー技術を積極的に利用できないか。これを国内共同研究として取り組もうとしています。

P) それから、幾つか外国との共同研究があるのですけれども、これは水中のロボットとソナー技術、遠隔での放射線技術、こういったものを組み合わせて炉内の状況を把握しようという日英共同研究も始まっております。

P) それから、汚染水を処理した二次廃棄物の安定化にかかわる研究、これも日英共同研究としてまさに着手したところです。

P) こういういろいろな研究を活発に進めて、今、世の中ではレジリエンスという言葉がしきりに言われていますけれども、廃炉作業のレジリエンス、いろいろな事態が今後出てくる、それに対して柔軟・強靱に取り組む、そういうところで基礎基盤研究のコミュニティが大きく貢献できるだろうと思っています。基礎基盤研究ですから、まさにいろいろな方向を向いた人たちがいる、そのことがリスク管理に資する、また技術開発の全体に対してレジリエンス、粘っこさ、強靱さを与える。そういうことを図っていきたいと思っています。

P) 今、私たちは、国内のいろいろな大学、特に文部科学省の廃炉の人材育成のプログラムがありますけれども、ここで採択されました東北大学、東京大学、東京工業大学、それから今年度新たに追加されました 4 つの拠点、こういったところと一緒になしまして廃炉の基盤研究のプラットフォームをつくっていききたい。そして、そこで非常に多様なアプローチをしていって、基礎基盤研究とプロジェクトとの間のダイナミックな交流をつくっていききたいと考えております。

時間の関係で細かい説明をしていく時間はないのですけれども、できましたら、この後の質疑の中でもう少しこのプラットフォームについて御説明させていただければと思います。

時間が限られていますので、私からのお話はここまでとさせていただきます。

○山名理事長 小川センター長、ありがとうございます。

それでは、引き続きまして河村さんから、研究拠点の整備と関連する研究開発についてお願いいたします。

○河村所長 福島研究基盤創生センターの河村です。

では、説明します。

[パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示]

P) 私は、今、小川さんが説明した研究開発を支援するための研究拠点の整備と、その施設の高度化を図っていかないと施設が陳腐化していきますので、そのために行っている研究開発を一例を挙げて説明します。

P) 新たな研究基盤の創生ということで、2 つ、例えば建屋内における調査・作業、あるいは燃料デブリの取り出しといいますと、人間が入っていけないところでの作業になってきますので、遠隔操作機器とか装置、あるいはそれらを用いたシステムの開発・実証が必要になってきます。

一例として、国家プロジェクトで進められている 2 号機の格納容器下部の水が漏れているところの止水技術開発。これは後から説明しますが、櫛葉を用いた研究開発として行われるための準備が始まっております。

もう一つは、放射性廃棄物の処理処分にかかわる問題で、1F サイト内には放射能で汚染された放射性物質、コンクリートとか石とか木とか、そういうものがいろいろあるのですけれども、それらを放射性廃棄物にするために、おのおの放射能で汚染されたものに対して分析を行って、どんなもので汚染されているかを明確にしていかなければだめだということと、効率的・効果的にやっていく手法の開発等を行う必要があります。そのために、大熊町につくろうとしている拠点がございます。

これら 2 つの拠点を つくることにより研究を支援するとともに、それに関わるいろいろな機能の高度化のための研究開発を行っています。

P) 研究拠点の概要ということで、ここに書いていますが、我々は 20km 圏内に 2 つの拠点を整備します。

1 つは櫛葉につくっている櫛葉遠隔基盤開発センターで、研究管理棟、試験棟、その付属建屋から構成されています。これは後から説明したいと思いますので、研究管理棟と試験棟から構成されているということだけ覚えておいてください。

もう一つは、1F サイトのフェンス隣につくろうとしている分析研究センターです。これも同じように、施設管理棟という管理機能を備えた建物と、第 1 棟、第 2 棟と 2 つのホット試験を行う施設から構成されます。これについても後ほど説明します。

P) 整備状況と役割ですけれども、ここに書きました 4 つの大きな役割がありまして、まず第 1 は廃止措置の推進、これは中長期のロードマップで国で定めたスケジュールに基づいて行っている研究、ある

いは小川さんが説明されたような科学技術の向上にかかわる基礎基盤研究とか、福島イノベーションコースト構想と申しまして、福島の復興のためにいろいろな産業を創生していくための研究開発、あるいは1Fを廃止措置していく関係があるので、規制庁的に言ってもいろいろなデータ、構造材のデータ等をとっていく必要があります。

ここに書いたスケジュールで、特に2015年の話はこの色のついたところですが、具体的に言いますと、櫛葉遠隔基盤開発センターにつきましては、今年の9月中旬ごろに研究管理棟が完成した関係で、9月24日から我々はそこに行って仕事を始めております。

それから、10月19日に、安倍首相、県知事、町長あるいは関係大臣、副大臣の方々に集まっていたかきまして、盛大に開所式を開かせていただきました。

それから、試験管理棟は、まさにきのう——きのうというのはファンクションという意味ではなくて、イェスタデイという意味です。済みません、英語で言って申しわけないですが、きのう完成したという、まさにホットな状態です。これはコールド施設ですけれども。

もう一つは放射性物質の分析研究施設、これはまさに今詳細設計をしているところでございます。

P) 櫛葉には2つの施設、研究管理棟と試験棟があるのですが、研究管理棟の中に、事故が起こった後の原子炉をコンピュータ内に再現して40年間の廃炉作業を推進していくというバーチャルリアリティシステムを整備しております。これは、実際の現場作業を行って得られた成果をバーチャルリアリティシステムに入れて、そこでつくった作業計画とかを使いながら実際に実証試験を行い、それをもって確実な作業の実施を行うために、安全・確実で効率的な作業を実施するためのシステムとして整備しつつあるものです。これは、現在、1Fの2号機の1階と地下階を、東京電力さんで実際にロボットを入れてレーザーで位置情報を入手しているものに対して、点群データを色づけして実際の画像にしてコンピュータの中に再現しております。今後引き続き、2号機の2階から5階とか他号機の全階を再現しまして、ここに来ればいろいろな作業の円滑な計画策定等ができるようにしていきたいと考えております。

P) もう一つは試験棟、これは遠隔機器を実験するための施設で、80m×60m×40mという建物の中で行われるわけですが、日本にここしかないというだけではなくて、世界でも余り類例を見ない施設でございます。

この中で今まさに組み立てている作業ですが、格納容器下部を模擬したモックアップをつくっています。モックアップといいましても、私たちがつくるプラモデルとかそういう意味ではなくて、20m×18m×18mという大型のモックアップ試験体をつくらうとしています。これは、原子炉をケーキに例えて、そこにイチゴが8個ついているのを1/8にカットしていきまして、それが1/8セクターというもので、そういう意味で言うと非常に大型のものがつくられることになります。

それから、南側の要素試験エリアというところには、モックアップ階段とか水槽とかモーションキャプチャ、これは8mとか10m規模の高さを有する大型の試験施設です。例えばモックアップ階段というのは、1

号機から 3 号機まで、階段の寸法とか傾きとか階段のステップとかがみんなばらばらになっていて、そこをロボットが動いていくと、ロボットは人間ほど賢くないものですから、転げたり落ちたりすることがあって、そういうモックアップ試験が実際に 1F の中に入れるときに必要になってくるということです。

それ以外に、付属建屋の中には、例えば研究者の方々が試験棟の中で使ったロボットを修理したいとか改造したいというのができるような工作工場、あるいは 50m² ぐらいの研究室が 7 室設けられています。これは基本的には 1 年中活動可能なエリアですので、ぜひ使っていただければと思っています。

P) それから、研究拠点を支える技術開発ということで、ここに書きましたロボットの実証試験をやる場所とか、ロボットのシミュレータの開発を行うようなシステムも整備しています。これは 1F の環境データが使っていけるようなものになっております。こういう活動をしながら、施設が陳腐化していかないような技術開発も並行して行ってっております。

P) 今後の課題ですけれども、1 つは、櫛葉のセンターの整備は、外構工事といひまして、芝生を植えたり道路をつくるということを除きまして、11 月末で完了しまして、来年度からの本格運用にめどが立ちました。

この 2 年間、我々の研究所ができてからまだ 2 年半ぐらいしかたっていないのですけれども、この間におきまして、大学とか産業界とかいろいろな関係機関の方、有識者 50 名以上の方が参加して、適正な料金はどうすべきとか、いろいろな議論をして、やっとここまでたどり着くことができました。

今後は、イノベーションコースト構想、イノベーションハブになって福島県の浜通りのいろいろな遠隔技術開発に貢献していければと思っております。

P) それから、大熊の分析研究センターは 3 棟の詳細設計を開始したところで、敷地の中の線量測定とかを行っております。放射化物を扱わない施設管理棟、事務機能を備えた施設に関しましては、来年度から工事を始めようと思っております。

これも東京電力と一体になって、安全管理のもと、適切に運営できるような体制を構築しようと思っております。さらに、そこで働くいろいろな特殊な技術を持った人たちも実際にしっかり確保していくことを行っていきたく思っております。新たな試験・調査や分析・研究内容等の検討の結果に対応可能な、柔軟性を持った、融通性を持った施設をつくるように検討しているところでございます。

以上です。

○山名理事長 ありがとうございます。

今のお二人のお話で、どういう基礎研究がなされていくか、施設がどのように整備されていって、どういう工学的な技術開発が進められていくかということがおおむね分かったのですが、少し確認させていただきたいことがあります。

小川さん、今のお話の中で国際共同研究棟というのがスライドの中に出ておりましたが、これはどういうものでしょうか。

○小川センター長 それでは、もう一度、小川の 1 枚目のスライドを出していただけますでしょうか。

これは富岡町につくろうということで構想が動き出しております。敷地の面積が 1ha ぐらいで、建屋としては延べ床面積 2,500m² ぐらいというものですから、決してそんなに大きな施設ではありません。しかし、ここは櫛葉の施設、大熊の施設と結んで、富岡町というのはその 3 つの施設を結ぶのにちょうど適当な場所にあります。そして福島第一のサイトにも非常に近いということで、ここで基礎基盤的な研究、例えば遠隔モニタリングに係るような研究とか事故進展解析に係るような研究、こういったことをやっていながら、1 つのシンクタンク的な機能も担っている。それから、ここで国際セミナーといったものをどんどん開いていくといったことで、ここが廃炉国際共同研究センターの、そして福島への廃炉に係る基礎基盤研究のまさにセンター機能を担う、そういう施設にしていきたいと考えております。

○山名理事長 中核的な施設が福島サイトにできてくるということで、大いに期待したいところですが、そうしますと、河村さん、今、施設を整備されているのですけれども、でき上がった施設を誰がどのように使っていくのか、その仕組みとか全体像がありましたら、お教え願いたいのですが。

○河村所長 まず櫛葉の遠隔技術開発センターですけれども、これは今まさに建設途中で、試験棟がきのうやっと完成したという話をしましたが、既に 10 月から、IRID が今述べました 1/8 セクターという試験体の組み立てを開始しております。来年 3 月、今年度いっぱいにはできるだけ試験体が完成して、来年度から本格的な実証試験が始まると聞いております。

こういう国の大きなプロジェクトとか要素試験におきましては、我々の拠点の周りに、櫛葉の南工業団地とか、広野の工業団地とか、いわきの四倉の工業団地というのがあります、そこに中小企業がいっぱいおられて、ロボットの開発をされている。そういう人たちが我々のところに 10 件近く相談しに来ておられます。そういう意味で地域の方々も使っていけることになるかと思えます。少し変わったところでは、防衛省の方々が、一番最初に事故が起こったときに防衛省が入って行って、いろいろな環境観察をしたりするドローンという飛行機を飛ばすのですけれども、ヘリコプターというのですか、そういうものの開発のために 2 カ月間ぐらい使いたいというような利用申込もされてきています。そのようにしてこの施設を有効活用していただけるのではないかと考えております。

もう一つ、大熊の分析研究センターはまだ詳細設計段階ですけれども、これは、一番最初は、1F にある放射性物質をいかに効果的・効率的に放射性廃棄物にして、それを廃止措置に向けていくかという研究開発を 5~6 年行うことが決まっております。それ以外に大学の先生方等から基礎研究をやりたいという御要望も来ておりますので、そういうのにも応えていきたいと考えております。

以上です。

○山名理事長 ありがとうございます。

今のお話で、JAEA さんの全体像の計画は大体よくわかったと思います。

きょうは、パネリストとして東電とメーカーと大学の三者の方においでいただいています。

まず、こういった研究開発の最後の反映先になる東京電力のお立場から、村野さん、どうお考えかを聞かせていただけますでしょうか。

○村野グループマネージャー 東京電力の村野と申します。

スライドを用いて見解をお話しさせていただきます。

〔パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとにP)と表示〕

P) 廃炉において何が重要かということで、廃炉機構さんから5つの考え方が示されているところがございますけれども、我々が実際の廃炉をどうやっていくかということを決めるに当たっては、技術の難しさとかリスク、便益、コストといったものを考えて総合的にそれらを最適化していくことが必要です。

P) ただ、どういふことをやっていくかというのは簡単ではない状況でございます。なぜならば、事故を起こした原発の廃炉というのは我々にとっても初めての作業であって、経験がなかなか生かせないということもありますし、目の前の作業をやることによってどんなリスクが生じるのかとか、本当にそれでいいのかといったことがなかなかわからない作業が多いです。基盤技術ということワードで聞きますと、そういったことを我々がこれからやっていくに当たっての作業の解決の糸口になるのではないかと期待が出てまいります。

P) これから廃炉作業を行っていくに当たりましては、真ん中に図を描いてございますけれども、事故当初はリスクが非常に高い状態でありましたけれども、近年だんだん下がってきていると認識しております。ただ、これからいろいろな作業をするに当たってはそのリスクがまた上がっていく可能性もあるわけでありまして、そういったリスクを下げっていくというところに技術適用があるわけがございますし、基盤技術があったとしても、すぐにそれが現場に使えるというわけにはなかなか参らないという現状もあると思います。それから、我々にはわからないことも多く、世の中にある技術を知らないということもありますので、こういったところが現場で実際に作業を行うに当たっては障壁になってくると思います。

P) そこでどのようにやっていくかということについては、研究機関という立場と事業者という立場、それぞれ何かをやるに当たっては大分格好が違うということになります。キーワードとしては、英知の発信をしていただいて我々に気づかせていただく。それから、それを現場に適用するに当たってどういふことを考えていかなければいけないかという現場なりの視点を研究機関さんに持っていただく。それを現場に適用するに当たってはほかの技術と統合していくということも出てまいりますので、我々の慣習で言えば、プラントメーカーさん等をお願いしながらそういったことを達成していくというのが考えられると思います。

P) これは基盤技術と言っているのかどうかわかりませんが、現場にロボットを適用した事例をお話しさせていただきます。

Packbot、Warrior と書いてありますけれども、これはアメリカの iRobot 社というところが国防省の支援を得て開発したロボットで、実際に紛争地帯で活躍しているロボットです。

ここでは原子力格納容器の貫通部の除染を行っている姿を写真で示していますが、なぜこれを使っているか。ここだけではなくていろいろな場面で使っているわけですが、1 つは早く情報提供があったということです。事故の後、翌日には情報提供がございました。

それから、全体最適と先ほど申しましたけれども、当初は調査をするとか除染を早く進めるというニーズが非常に高かったという、ニーズにマッチした、それから信頼性が高いなどの特徴があるものでございます。

それから、技術の統合という意味では、これはいろいろなものを載せられます。写真の左側が Warrior というロボットですが、実際に掃除機の先端をつまんで床を掃除しているというのがこの写真でございまして、右側の Packbot はその作業を監視するカメラを搭載しているという状況です。

これは簡単な例ですが、今後どんどん難しくなって、応用問題が多くなっていくという状況が考えられます。

P) まとめでございますけれども、研究機関さんには、情報発信に基づく、これからの難題を解くための糸口を与えていただくということを期待したいですし、現場からの発信としては、リスク、便益をよく考えて適用する、それから最後には、情報発信、最適化、技術の統合という 3 つのキーワードを忘れずに連携していきたいと考えてございます。

以上です。

○山名理事長 ありがとうございます。

それでは、技術を実際に現実にしていくというメーカーのお立場、あるいは応用技術開発の IRID のお立場から、飯倉さん、どうぞお願いします。

○飯倉理事 東芝の飯倉でございます。

日々設計をし、現場で作業をし、あるいは応用研究を進めている立場として考え方をまとめさせていただきました。

[パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとに P) と表示]

P) 基礎研究をいかに現場に適用するかということでございますけれども、多様な機関、組織の連携に基づいて現場の状況に適合した開発を進めていかないと、速やかな現場適用あるいは現場に役立つ開発ができないというのは今までの経験からもわかっております。

ここに 3 つ大きくカテゴライズさせていただいて、期待を込めて提言という形で書かせていただいております。

1 つ目は、1F の廃炉への取り組み、考え方。この仕事に従事する全ての人がこの考え方を正しく理解して、1 つの目標に向かっていくということが極めて重要であろうと。特に現状、大きな背骨と言ってもいいと思いますけれども、それが NDF さんが提示しております戦略プランであります。先ほど小川センター長も提示されておりましたけれども、5 つの基本的な考え方ですね。後ほど私のスライドにも書いてござ

いますけれども、あるいは原子力安全文化。原子力にかかわる人が必ず知っておかなければいけない。こういうことをしっかり理解するというのが1つ目。

2つ目は、この廃炉という仕事は、連携はもちろんですけれども、いろいろなステージ、あるいはいろいろな取り組みが時間とともに変わっていく、あるいは検討条件が変わっていくところですから、これに適切に対応することが非常に重要であるということでございます。したがって、先ほど御紹介がありましたプラットフォームの活用等が極めて重要である。

最後は、現場指向の基礎基盤研究をぜひやっていただかなければならないということでございます。基礎基盤研究をいかに現場に役に立つものに仕上げていくか、あるいはつなげていくか、これが非常に大きな課題であろうということをお互い認識しながら、協力して取り組んでいくということでございます。

P) それぞれ簡単に申し上げますと、1つ目の考え方、理念でございますが、ここに明確な目的・目標・適用先と。福島第一の廃炉については、目的・目標は明確で、いかに速やかにリスクを減らしていくか、廃炉にしていくか。適用先は福島第一のプラントですが、ここについてのいろいろな開発に対して、検討条件が非常に不明確である、不確かさの幅が大きい。これに伴って開発をいかにしていくかということが重要でありまして、例えば、特に燃料デブリについて、3つの重要なところを考え方として書いてございます。1Fの事故廃棄物をどうやって原子力安全を守りながら扱っていくのか、あるいは1Fの特殊性をいかに理解して開発していくのか。先ほど御紹介しましたNDFの戦略プランをここに5つ掲げてございませけれども、このような考え方をいつも判断基準として開発を進めていくという考え方の統一、あるいは考え方を整理しておくということが非常に重要だろうと。

P) 2つ目は、私どもメーカーの立場で基礎基盤研究に期待している、燃料デブリにかかわる3つを時間の進展とともに書いてみました。

1つは、燃料デブリの場所、量を特定する。これは、どこにどれくらいあるのだろうと。

そして、燃料デブリの取り扱い方。これは、我々は取り出し方法の検討をしておりますけれども、どうやったら安全に取り扱うことができるかというところ。

そして最終的には、これらの放射性廃棄物の保障措置をしなければいけないのですが、どのように安定的に管理していくか。

このあたりの基礎基盤的な知見をもとに、右側に現場適用化、システム化、実証とありますけれども、これをいかにプラントにつなげていくかということが共同してやっていかなければならないところであろうと考えています。

P) 最後にまとめさせていただきましたけれども、共通の理念、あるいは場、プラットフォームという言葉もございましたけれども、それに基づいて、徹底した三現主義ですね。現場に適用できる開発を進めて目標を達成するというので、基礎基盤研究から実機適用研究まで多様な人材、特に私どもメーカーとしては、インターンシップを活用したり、研究の連携・交流が非常に重要であろうと考えております。

一番下に、最後に 1 つつけ加えておくべきだろうということで書かせていただきましたが、これらの活動が福島の廃炉の進展に大きく貢献して、それが適切に評価され、あるいは処遇されるということが重要であろうと考えております。

以上でございます。

○山名理事長 飯倉さん、ありがとうございます。

それでは、大学のお立場からこの全体の取り組みをどうお考えになるか、東京工業大学の小原先生からお願いいたします。

○小原教授 東京工業大学の小原でございます。

それでは、スライドをお願いいたします。

[パワーポイント映写。以下、場面が変わるごとに P) と表示]

P) 私はきょうは大学の人間ということでお招きいただいたのですが、現在、廃炉に向けて各大学がいろいろな取り組みをしております。高等専門学校でもいろいろな取り組み方をしております。全部を包括して御説明するのは無理なので、例として私のいる東京工業大学ではこんな取り組みを始めましたということをお紹介いたしまして、きょうのパネルディスカッションの切り口にさせていただければと思っております。

P) 昨年度から文部科学省の委託事業として、「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」というタイトルで 5 年計画のプログラムを東京工業大学では開始しております。これは、人材育成と研究の両面を同時に大学で推進していくプログラムでございます。

どういうことを目的としてやっているかと申しますと、1 つは、現場で工学的に適用できる実用的な技術の開発を目指していくこと。大学の研究というのは往々にしてたこつぽになりがちで、現場のニーズからかけ離れたものやっけていきがちだということをおとかなくしていきたい。

それから、教育のほうでは、現場で実際に物に触れることができる技術者・研究者の育成ということで、これは別に廃止措置に限らず、工学教育に共通したことですけれども、やはり実験とか物を触らないといけない。この廃止措置の場合は、デブリの扱いとか放射性の汚染水の扱いが必ず直面する課題であるわけで、そういうものを実際にハンドリングしたことがないのでは技術開発もままならないだろうし、マネジメントを考える上でも適切な判断はできないだろうという考え方があります。あと、廃止事業に高いモチベーションを持つ人材の育成ということで、こういう教育をやっても、そういう分野で自分は仕事をしようという意欲を持ってもらわないと、結局全然関係ない分野に行ってもらっては我々としてはうれしくないわけで、そういうモチベーションを持ってもらうにはどうしたらいいか。

あとは、こういった研究開発がいろいろな分野に波及するというのもぜひ期待していきたいと考えています。

P) これはごちゃごちゃした図ですけれども、現在行っているプログラムの概要を 1 枚のスライドでまとめたものです。左側が研究開発で、右側が人材育成となっております。

研究開発のほうでは、テーマが幾つもあるのですけれども、分析、除染、回収・固化、遠隔計測、臨界安全というような分野について、それぞれの専門分野の教員が、連携している大学、東京医科歯科大学、東京都市大学、芝浦工業大学、東海大学と連携して実施しております。

右側の人材育成のほうは、東京工業大学は原子力教育については大学院しかございませんので、その大学院に新たな授業科目を幾つも設定いたしました。上の 3 つは、実験の授業科目を大学院に新たに開設いたしました。実験の科目を開設するというのは手間もお金もかかります。新しい装置とかを入れないとなかなかできない。核燃料物質を扱える実験室で分析するような実験をしようと思うと、そういう装置を RI の管理区域の中に入れておかないといけないのです。そういうのにも非常にお金も手間もかかります。そういった実験とか、あとは 4 番目で講義も立ち上げております。一番下に書いてございますのは、インターンシップやセミナー等をやって学生さんのモチベーションを高めてもらおうと。モチベーションを高めるのに一番効果があるのはインターンシップだろうと私自身は思っておりまして、現場で働いている方の思いとか気持ちを肌で感じるということが、将来の人生設計を考える上で非常に大きな刺激になるということはいろいろな例で我々はよく認識しておりますので、そういうものに力を入れていきたいと思っております。

こういった活動をやっていくわけですが、きょうは、小川センター長、河村所長からいろいろお話を伺って、こういった大学での取り組みが JAEA の活動にいろいろ関係する、要するに我々としてはぜひ御協力いただきたいという部分が多々あるのではないかと感じました。

P) これは実際に実験をやっている風景ですけれども、こういった大学で保有している核燃料施設で RI とか核燃料物質を使った実験を継続していくということです。

大事なことは、これは予算は 5 年間ですけれども、大学は 5 年終わったらやめますというわけには参りませんので、東京工業大学としては、たとえこのプログラム予算が終わっても、こういった人材育成活動を継続していける体制は整えていきたいと考えております。

以上です。

○山名理事長 小原先生、ありがとうございました。

以上でそれぞれのお立場からの見解をお伺いしたわけですが、特に今気になったのは、最後に大学のお立場から聞きました人材育成です。

小川センター長、JAEA の活動の中で人材育成についてどういう取り組みをされるか、何か計画はお持ちでしょうか。

○小川センター長 実はプラットフォームという言葉で説明が途中で終わってしまったわけですけれども、現在、文部科学省の人材育成のプログラムに採択された 7 つの拠点と一緒にあって、人材育成も含め

て基礎基盤研究にしっかり取り組んで、その成果を現場に届けましょうという活動を始めているところですが、その中で人材育成をどう見るのかというのは、国際協力という問題とつなげて考えていきたいと考えています。

1 つ典型的な問題として廃棄物の問題を考えてみたいのですが、福島で出てくる多種多様な廃棄物は、今まで日本の原子力が想定していたような廃棄物の定型の中におさめようとする、非常に難しい課題が、量から言っても、種類から言っても、いろいろ出てくる。しかし、実はアメリカ、フランス、イギリスといった核兵器開発国は、平和利用が本格化する前に非常に雑多な廃棄物を歴史的に抱え込んでしまっているということで、そういういろいろな困った、扱いにくい廃棄物に対しての経験、技術開発、その中には非常に最近の新しい科学的な視野に基づく取り組みもありますが、こういった経験と国内の活動とをしっかりと結びつけていくということをやりながら人材育成に生かしていきたい。そういうところに一つ CLADS の役割があるのではないかと考えています。また、そこでうまく CLADS を使っていただくという意味でこのプラットフォーム活動を位置づけていきたいと考えています。ですから、このプラットフォーム、あるいは富岡町にできる国際共同研究棟、こういったものが、言ってみればどこでもドアのような感じで、外国から見ると、ここに来ると福島第一につながっている、国内から見ると、ここに来るとそういう国際的な、今まで日本の視野には入っていなかったようないろいろな原子力技術の世界に触れられる。そういうところで新しい人材、福島に役に立つ人材を育てていきたいと考えています。それが1点です。

もう一つは、先ほどリスクという言葉が村野さん、あるいは飯倉さんから出てきたと思いますけれども、リスクをちゃんと管理していこうと思うと、しっかりした地図をつくらないといけない。実は、この無定型な問題に対して基礎基盤が地図をつくる、こういう活動が本来あってしかるべきですが、日本の原子力の研究開発の中ではそれほど目立ってやってこなかった活動かなと思っています。そういう地図をつくる、地図を更新するという活動に若い人たちがかかわってくる、大学院、あるいは場合によっては高専の段階からそういう活動にかかわってくる、これは、狭い領域の研究開発をしながら、しかし広い視野を身につけるのに最適の体験になるのではないかと考えています。そういう点でも大学と一緒に新しい人材育成の仕組みをつくっていききたいと考えています。

○山名理事長 ありがとうございます。

国際的な協力関係と国内の人材育成と両方大事だというお話ですが、飯倉さん、産業界として、若い人たちが技術者として活躍していくことになるのですが、産業界のお立場ではどう考えておられるのでしょうか。

○飯倉理事 産業界メインとして、私の個人的な考え方も含めてお話ししますと、産業界、特にメーカーとしては、私のスライドにもありましたとおり、私のスライドには「双方向インターンシップ」という言葉で書かせていただいておりますけれども、インターンシップというのは、小原先生の御指摘にもありましたとおり、非常に有効な手段であろうと思います。双方向と書いたのは、大学生がメーカーに来るのもいいかも

しれませんけれども、メーカーの人間が大学に行って基礎基盤研究をやり、これをメーカーに戻って実機に適用するというようないろいろな種類の、「インターンシップ」という言葉で代表されるような交流ができるとよいのかなと思っています。そういうことによってこの廃炉という仕事は技術的にも比較的オープンな環境で研究が進められると私は感じておりますので、多種多様な人材が多種多様な機関に適材適所で適切な形で貢献するような形が最も望ましいのではないかと、それが全体的に産業界としてもよい方向に行くのではないかと私としては考えております。

○山名理事長 ありがとうございます。

人材育成を中心に話を伺ってきたのですが、ここからは、JAEA の今後の活動に対してそれぞれのお立場でどう期待しているかをもう一度確認したいと思うのです。

まず村野さん、東京電力というこの闘いの最前線に立っているお立場で基礎基盤側をもう一度見たときに、今後どういうことを期待していきたいかということがありましたら、もう一度お聞かせいただけますか。

○村野グループマネージャー 東京電力は 4 年半前に事故を起こしたわけで、それ以来、廃炉という道筋の中で多くの方に御支援をいただいております。特に JAEA さんには、きょう御紹介がありました CLADS や大熊、楢葉の施設といったところで非常に大きく御協力いただいていると認識しておりまして、感謝申し上げたいと思います。

特に例を挙げて申しますと、楢葉の遠隔技術開発センターにつきましては、御紹介にありましたように、原子炉の施設の大きさを模擬した大きさであるということで、そういったメリットを最大限に生かして現場で活用できる技術を開発していくということを切に望んでおります。

我々としても、先ほど私のスライドでお話しさせていただきましたように、そういった技術を適用するときには別のリスクが生じないのかとか、果たして現場でそういうことが本当にできるのかということをよくよく考えながら一緒に検討していきたいと思っていますところでございます。特に JAEA さんには積極的にいろいろな調整の場を設けていただいているという背景もございますので、それに感謝しつつ、一緒に検討していきたいと思っています。

以上です。

○山名理事長 ありがとうございます。

小原先生にお聞きしたいのですが、私も大学にいた人間ですが、東京電力のこのプロジェクトに対して、大学のお立場からは、障壁が高かったというか、なかなかタッチできなかった、情報も来なかったという問題があったと思うのです。しかし、今、小川さんや河村さんのお話を聞くと、こういう基礎基盤のプラットフォームのようなものをつくってくださるということであれば、大学と東電などの距離感が縮まる、例えば実用や基礎の間が縮まるというようなことがあると思うのです。大学のお立場から、実際に文科省のプロジェクトでやっておられる中で JAEA に今後どういうことを期待されるか、何かあったらお聞かせください。

○小原教授 先ほど東工大でやっているプログラムを紹介いたしましたので、皆さん御説明でおわかりいただいたかと思うのですが、例えば実験をやるという場合に、大学ではなかなかできないものもあるのです。人材育成に関して、大学の実験施設は非常に老朽化しているとか、使えるものが限られている、あるいはロボットの実験をするにしても非常に限られた内容しかできない。そういう場合に今回建設された 1F の近くの JAEA の施設を活用させていただければ、より充実した教育活動ができるだろうと。あるいは、先ほどどこでもドアというお話がありましたけれども、大学では学生の教育も重要ですが、若手研究者の育成も重要だと私は考えていて、この分野は 30 年、40 年続くということだと、その分野を支える技術者・研究者をちゃんと養成しないとイケない。そのときには、若手の研究者がいろいろな研究テーマを見つけられるような場を JAEA で提供していただけるなら、それは大学にとってこの分野の活性化につながると思っております。

○山名理事長 ありがとうございます。

それでは、時間も余り残っていないのですが、会場の皆さんから質問を受けているので、これに基づいてディスカッションしたいと思います。

まず、人材育成については先ほど既に議論してきたのですが、1 つ目の質問は、技能や技術的なことを長期にわたって確保していくためには本当に何が大事かという全体的な大きな仕組みのあり方のようなことを聞いておられる質問が 1 件来ております。これについて皆さんの御意見を聞きたいところでありますが、まず小川センター長、この廃炉のプロジェクトは、40 年とか、非常に長い闘いです。ここにどうやってノウハウや技術やスキルを継いでいくか、何かお考えがありましたらお聞かせください。

○小川センター長 これは本当に難しい課題で、福島の事故が起きなくても、日本の原子力が抱えている非常に難しい問題であることは事実だと思うのです。特に日本の場合、どうしてもその時々流行り予算のつき方や何かがある程度左右されてしまうということで、福島の廃炉は長い間に幾つもリスクの山が来るでしょうという、そのリスクの 1 つの山を乗り越えた先のリスクをしっかりと見て、そこに幅広い立場から手を打っておく、そういう意味での全体のマップを、単に関係者だけではなく、社会とある程度共有していきながら、しかし実際にやっている主体が強い意志でそれを貫いていく、この活動に尽きるのかなと思っておりますが、その中で原子力機構の役割がとても大事になってくると思います。実は私もまだ 60%は大学人なのですが、もともとは大学がそういうものをずっと保持するというのが役割であったわけですが、どこの国でも大学はそういうことが難しくなってくるとなると、原子力の研究開発法人である原子力機構が大学、企業と結んで、常にそういう全体像を持ちながらしっかり人材育成をやっていく、そのところを整えることが一番大事ではないかと思っております。

○山名理事長 ありがとうございます。

もう一つ質問が来ているのですが、これは河村所長に伺いたいと思います。この御質問は、JAEA で開発されている研究開発の成果が現場にどうやって技術移転されて反映されていくのだろうかという御

質問です。河村所長、長らく JAEA で研究開発に携われてきた中で、実用に向けてどのように技術が伝わっていくかについてお考えはありますか。

○河村所長 実用に向けていろいろな技術開発をするというのは、まず現場がわからなければだめですよ。今、東京電力の 1F サイトでどんなことが起こっているかというのは、多分情報として我々は十分に持っていないところがあるかもしれませんが、具体的に言えば、例えばファイバーを使って線量を分析するとか、そういうのは既に 1F のサイトの中で適用されているとか、我々がつくっている中性子の検出器とかいろいろな検出器、試験研究でつくられた技術は 1F のホットなエリアでも使えるだろうとか、いろいろな話がありましたが、現場第一主義というか、そういう意味で言うと、我々の技術と電力メーカー、原子力メーカーさんが困っているものとのマッチングをいかにしていくかというのが結構重要になってくるのではないかと。我々が持っている技術が実際にそこで使えるかわからないということも多々あると思うので、実際にこれからプラットフォームとかを小川さんのところでつくられていく中でそういうのが具現化されてきて、そこで現場で困っていること、あるいは基礎基盤でやろうとしていることとのマッチングがされていくのではないかと考えております。

以上です。

○山名理事長 今のお話にありましたように、ニーズは東電の現場にあるのでしょうか。それから、大学や JAEA にはシーズがある。この 2 つをどうマッチングさせるかというのがキーになってくるだろうと思います。

村野さん、ニーズ側のお立場で、シーズ、例えば何か本当にどこか抜けている情報があって、それがあつたらすぐ助かるとか、こういうものがあつたらいいというのがあると思うのです。ニーズの側から JAEA や大学にどういう期待を持たれるか、何かありましたらお聞かせください。

○村野グループマネージャー 私の見解の中でも少し触れさせていただいたのですけれども、なかなか我々が気づかない視点があるかと思えます。発電炉ですと、基本的に扱う放射性物質は腐食生成物になるわけですけれども、今回は核分裂性の物質ということで、まず扱うものの性質そのものが違うというところを起点にいろいろなことが起きていると思えます。これは例えばの例ですけれども、幾つかの我々が気づかないところを気づかせてくれるようなところにまず期待したいと思えます。

それをいかに現場に適用するかということですが、我々もいろいろな困ったことが目の前にあって、新しい技術があればそれをすぐに使いたいと思うことはよくあります。ただ、それを使ったときにどういうことが起こるのかということをも十分想像しておかないと、その先、別の悪いことが起きてしまうということもありますので、そこは慎重にじっくりと取り組む姿勢も必要だというのが最近考えているところございまして、そういったじっくりと考える時間の中でいろいろな人の意見を聞く場があつて、考える時間を取って現場に適用していくということも必要だと思っております。

○山名理事長 わかりました。

ちょっと視点が変わりますが、河村所長、こうやって福島に新しい研究施設を JAEA が建てていかれるということで、きっと地元にとって何かメリットやプラスがあるはずだと思うのです。この地元に対する貢献というようなものがありでしたら、お聞かせいただけないでしょうか。

○河村所長 今年の 6 月に中長期のロードマップが改訂されたのですが、その前の中長期のロードマップにおきましては、施設の整備とあわせて、地域の産業の活性化を踏まえて新たな産業をつくり出しながら整備をしていきなさいと書かれています。そういう意味で言うと、我々の施設をつくっていくプロセスにおいても、例えば櫛葉で使ったお金の 15%ぐらいは福島に落ちて、福島の方々に作業をしていただいています。

これからこれが完成した後になくなっていくかということですが、完成していくプロセスにおいて、私もどこがおもしろいのかよくわからないのですが、福島高専の建設科の方々が大林組が建てている試験棟を見て、おもしろい工法で建てているらしいのです。そういうのを見ていろいろな勉強になったということで、学生が非常に興味深く我々に語っていたのを今思い出しております。

さらに、これから使っていくプロセスにおいては、先ほども述べましたように、我々の周りに工業団地があって、しかもそこにロボットでいろいろな開発をしていきたいと思っている会社が 10 数社あるわけです。そういう方々が我々のところに頻繁に来られていて、これからどうやっていくかという議論をしています。そういう中で、小川さんもおっしゃいましたように、我々のところは、ある意味、大学の先生方とも接点がある。中小企業の方とも接点がある。その中小企業の方々と大学の先生をつなぐことも我々は可能になってくる。そういう意味で、我々のところに来たら施設を使えるだけでなく、人脈も共有化できて、町の中小企業の方々が大学の最先端の技術を使っていろいろな産業を興していくようなことにも役立っていければ。我々の拠点がそういう集まる場所であってほしいと思っております。

以上です。

○山名理事長 福島では、イノベーションコースト構想と言われる構想が今政府で検討されています。ここに産業や新しい研究機能、教育機能を持たせて地元を復興させていこうというプランが進んでいて、JAEA はその先頭を走っているという理解でございますので、ぜひ地元の復興にもお力をいただければと思います。

それから、また視点を変えまして、小川センター長、原子力機構ではオフサイトの汚染地域の除染とか修復についても研究されている。これとこれからの研究の関係はどういうことになるのでしょうか。

○小川センター長 今、福島部門で福島の環境の問題に取り組んでいる大変大きな組織があります。最近新しい施設もできたわけですが、そこで除染の問題、環境の動態の問題、それから既に環境の中に放出されているさまざまな物質の検討といったものが進んでいるわけですが、そのサイトの外の情報が、実はサイトの中に役に立ついろいろな情報を含んでいる。例えばエアロゾル一つを見ても、サイトの外で見つかるエアロゾルをしっかり見ることで事故進展についての大変貴重な情報がとれるとか、サ

イトの外での除染の経験あるいは廃棄物の取り扱いの経験がサイトの中で今後出てくるいろいろな廃棄物の問題に対しても役に立つということで、これは実は山名先生のお言葉を使わせていただくのですが、オフサイトからオンサイトの側への展開といったこともうまく考えて、これは実を言うと、今、環境の人たちと私たちが新しい取り組みをしようとしているところですけども、そういうことを積極的にやっていきたいと考えております。

○山名理事長 ありがとうございます。

あと、質問をいただいているのですが、詳しくお答えする時間がありませんが、大事なことを指摘していただいているのは、例えば、原子力安全規制委員会とこの廃炉の対応がどうなっていくか、規制のおくれが生じないかというようなご御指摘。それから、核燃料物質の計量管理とか保障措置が重要であるという御指摘があります。それから、トリチウム水の問題があるという御指摘も来ております。いずれも重要な問題ですが、議論し始めますと非常に時間のかかるテーマでございまして、ここではこのような貴重な御指摘をいただいたということの紹介にとどめさせていただこうと思います。

そろそろ時間も迫っているところですが、小原先生、大学のお立場として、小川さんがおっしゃったように、大きなマップをつくってそれを支える社会が要るのだということで、大学は東京工大だけではないのですけれども、もっと大学や公的な研究所などが広い裾野をつくるということが特に大事だと思うのです。この点についていかがでしょうか。

○小原教授 大学で一番大きな問題は、情報が余りないということです。多分、現場では日々、これが問題、あれが問題ということがよくわかっていると思うのですけれども、大学あるいは大学の研究室にいると、そういう情報を得る機会が非常に少ない。そういった情報を中継していただけるようなプラットフォームのようなものがあると、たまたま今は我々がやっているわけですが、ほかの大学も徐々に参画していったら、そういった活動が広がっていくことは十分期待できると思いますので、大学側としてはぜひそういう活動をお願いしたいと考えております。

○山名理事長 わかりました。

最後に、もう時間がございませんので、私のほうで感想を申し上げたいと思うのですが、今伺った御意見はこういうことになるかと思えます。

まず、原子力機構は今、福島に施設をつくりながら基礎基盤研究を強化しようと頑張っているということです。ここではプラットフォームをつくらせたりして、国内の関係する技術者のネットワークを広げる、あるいは国際的な窓口をつくる、福島にどこでもドアをつくるという努力を進められている。これをしっかりとやっていただけるように我々は応援する必要があると思います。

それから、何よりも、きょうは東京電力の村野さんにおいでいただきました。この目標は全て、福島第一原子力発電所の廃炉を加速するという共通目標であります。ここを目指して、例えば基礎基盤の人たち、応用開発に携わっている IRID やメーカーの人たち、それから実際にその技術を適用して廃炉を進めて

いく東京電力、基礎基盤の中のかなりの部分を占めている大学・教育機関、こういったところが全て連携して、基礎から実用まで広い範囲を、情報を共有しながら、成果が実用に向けて生きていくような体制を強化していかないといけないと思います。これが 30 年、40 年継続的にできていく、この強い基盤が日本にあれば、福島第一の廃炉はきっとできるだろうと思うのです。そのためには、実用側の東電がとって行く行動、それから一番底辺部分にあるはずの大学などがどうネットワークをつくってやっていくかという行動、それを受けて基礎と実用のところをつないでくれる非常に貴重なプラットフォーム、ファシリテーター、あるいはマッチメーカー、そういった役割を JAEA が果たされるのではないかという期待も持つところがあります。また、そういった成果をメーカー、IRID が本当に実用できる技術として開発して、東電に反映させていく、こういう形が形づくられていくのだろうという期待を強く持ちました。

そういう意味で、最後に私から、原子力機構の新しい取り組み、CLADS の取り組み、それから河村さんの研究施設の取り組みがますます着実に進んで、日本全体の連携強化を進めていただけるということをお祈りするということでこのパネル討論を締めくくりさせていただきます。きょうはありがとうございました。

会場の皆様、御静聴ありがとうございました。

閉会挨拶

原子力機構理事の森山でございます。本日は、第 10 回原子力機構報告会に多数御参加いただき、厚く御礼を申し上げます。

また、インターネット中継でご覧いただいた皆様、本当にありがとうございました。

今回の報告会は、国立研究開発法人として新たな中長期計画に基づく最初の報告会でございます。もんじゅの問題などを含め、機構がどのような課題を抱え、どう解決しようとしているのか、また国立研究開発法人としてどのように研究開発の成果の最大化を図ろうとしているのかについて、短い時間ではございましたが、まず御説明させていただきました。具体的な研究成果として、サイエンスの最先端の分野、中でも比較的生活に身近なテーマ、さらには高速炉サイクルの取り組みについて御紹介いたしました。

福島第一原子力発電所の廃炉につきましては、今回初めてパネルディスカッションというスタイルを試みました。これは、パネリストの皆さんによるディスカッションを通じまして私たちの取り組みをしっかりお伝えする、また、今後の活動について御議論いただくことでこの報告会そのものを私どもの今後の活動に生かしていくためでございます。

研究開発成果の最大化を図るということにつきましても、組織改革をしっかりと成し遂げるという点におきましても、課題解決という点からすると共通でございます。私は、研究機関の最も重要な資質・能力は課題解決能力にあると考えています。課題解決を図るという観点から、まさに今、原子力機構にその能力そのものが求められているということでございます。

本日パネリストの皆様からいただいた御意見、御指摘、それからパネルディスカッションに関して皆様からいただいた御質問あるいは御指摘、さらには、さまざまな場面で JAEA に対する御希望とか御指摘をいただいておりますけれども、そういったものをしっかりと受けとめ、今後の活動に生かし、より進化した姿を皆様にお見せできるよう取り組んでまいります。

今後とも引き続き御指導、御支援のほどよろしくお願いいたします。

簡単ではございますが、以上をもちまして閉会の御挨拶とさせていただきます。

本日はありがとうございました。