

## 第8回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 平成31年3月5日（火）13:30～14:51

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館5階共用C会議室

3. 出席者 内閣府原子力委員会  
岡委員長、佐野委員、中西委員  
内閣府原子力政策担当室  
竹内参事官  
名古屋大学  
鬼柳特任教授

### 4. 議 題

- (1) 日本の中性子利用研究と施設連携（名古屋大学 鬼柳善明氏）
- (2) その他

### 5. 配布資料

- (1) 日本の中性子利用研究と施設連携

### 6. 審議事項

（岡委員長）それでは、時間になりましたので、ただいまから第8回原子力委員会を開催いたします。

本日の議題は、日本の中性子利用研究と施設連携、二つ目がその他です。

本日の会議は15時を目途に進行させていただきます。

それでは、事務局からお願いします。

（竹内参事官）放射線利用につきましては、これまでも大学、学会等からヒアリングで話を伺ってきておるところでございます。

本日は日本中性子科学会の会長でもあり、名古屋大学工学研究科の特任教授でもある鬼柳先生をお招きし、中性子源の現状や研究、産業応用の状況等について御説明いただく予定と

なっております。

それでは、鬼柳先生、どうぞよろしくお願いたします。

(鬼柳教授) どうも御紹介ありがとうございます。名古屋大学の鬼柳と申します。ずっと中性子をやっていまして、多様な中性子研究に携わってきたのですけれども、今日はその中の幾つかを紹介させていただきたいと思います。

(鬼柳教授) 今日は中性子源の現状とか中性子の特徴とか、既にお話を聞いているところもあるかと思いますが、重複するところがあっても御容赦いただきたいと思います。以前、J-PARCの金谷先生が来られてお話しされたと聞きましたので、小型中性子源を中心にした話題にして、最後に施設連携に向けてという話をさせていただきたいと思っています。

ちょっと分量が多いですが、余り長くならない程度に進めていきたいと思っています。

これは世界の主な中性子源ということで書いています。赤が原子炉で加速器が青です。ここでは余り小さい加速器は入っておりません。ざっと見ていただいて、よくお分かりと思いますけれども赤が圧倒的に多い。ただし、それでも随分減ってきております。今、活躍しているORPHEE、パリの郊外にある原子炉、それからHZB、ドイツのベルリンの郊外にある施設、これが今年末までに稼働停止と聞いております。あと比較的大きいのもあるのですけれども、タイなんかは非常に小さな原子炉、昔トリガー炉と言われたものが非常に普及しましたけれども、そういうのはまだ残っていて使われていたりします。大きなところは日本のJRR-3、それから隣の韓国のHANAROで、研究炉として一番大きいのはフランスのILL、アメリカのHFIR、ハイファという、この辺が一番大きい。最近、オーストラリアでOPALというのを造っていますし、今、アルゼンチンで原子炉を建設中です。

これは加速中性子源ですけれども、この黄色が核破砕中性子源で1MW、それより少し弱ぐらいのところでは、アメリカのSNSというのが一番大きくて1.4MWを目指していて、日本が1MWを目指していて世界ナンバー2。その次がISIS、イギリスですね、それからロスアラモスの2か所です。チャイナが今、造ってまして、まだ0.1MWまで行っていませんが、25kWとか50kWというような状態です。写真を入れますとこんな感じでは、ヨーロッパがヨーロッパ連合でスウェーデンにユーロピアンスポレーションソースということで、2020年ぐらいにできると、これが世界で一番大きな加速中性子源になります。あと小さなものは、日本が多くて、北大のHUNS、理研のRANS、京大に二つありましてKUANSというのと、京大の原子炉LINACというのが。これが今の日本の加速中性子源全体で、BNCTがちょっとピンク色とオレンジ色のもので、ピンク色が専用マシンで、

オレンジ色がちょっと多目的という感じで、7台あります。中性子の散乱とかイメージングとかに使われているものでは10台あります。

最近、青森県に量子科学センターというのができて、これは中性子イメージングとボロン中性子キャプチャーセラピーの動物実験までやるという、そういう装置ができています。これが今、産総研に建設中です。J-PARCのMLF、これが一番大きくて1MWです。ほかはkWオーダー、数kW、あと民間としては住重があるというような状況で、日本は結構、中性子源がたくさんあります。

この中でBNCTを除いたものがこれだけあります。J-PARC、JRR-3が最も大きくて、J-PARCのイメージング装置では $10^8 \text{ n/s/cm}^2$ ぐらいの強度になっていまして、JRR-3と大体似たような強度です。次が京大の施設です。これはイメージング用ビームラインの中性子強度です。あと青森県が結構強くて10の5乗ぐらい。また、住重も強い。あと理研と北大が同じぐらいの強度で、京大理学部がその1桁ぐらい下という状況になっています。日本では、今JRR-3が動いていないので、J-PARCが一番強い装置として動いて、いろいろな成果を出しているということです。

中性子がどんなところで使われるか、昔からやられているのは水分測定とか油田検層、今日、この話はしないのですけれども。次が半導体シリコンドーピング、これもJRR-3が動いていたときは日本でやっていたのですが、今はやっておりません。ボロン中性子捕捉療法というのが最近、日本で若干、施設が造られている。それから比較的新しい話としてはソフトエラーの加速試験がある。今日はこの二つのお話をさせていただきます。あと、J-PARCに代表されるような散乱とかイメージングとかいうのがありまして、これはいろいろなところで行われています。中性子施設といったときに、主にこのようなものを指していることが多いです。

これは、中性子とX線の違いでよく出るグラフですけれども、原子番号に対して、相互作用の強さを書くと、これは100keVのX線ですけれども、コンスタントに原子番号とともに大きくなっている。X線エネルギーによって違うので、100keVぐらいというのはちょうど透過撮影、レントゲン撮影に使われるエネルギーです。中性子は、原子によっていろいろばらばらであると。それは、X線は電子の数でその作用が決まるのに、中性子は原子核反応、核ポテンシャルとの反応なので同位元素でも違うし、原子ごとにその作用も違うということではばらけます。特徴的なのは水素、リチウムというところが非常に相互作用が強いということなんです。それから、隣接した元素でも物によっては、コバルトとかニッケルと

かありますけれども、違ってきます。それから同位元素でも違うので、そういう効果を使うとX線では見えないものが見えたりしますと、そういう特徴があります。

それで、これがよくいろいろなところで使われている図ですけれども、X線でこれを見てやる。実際にはこうやって水があるのですけれども、中性子では水素との相互作用ということで水が見えるけれども、X線はそれが全然見えなくて、むしろ中の金属が見えて、中性子はプラスチックが見えているというような、そういう相補的なデータを出せるという特徴があります。これが一つの見え方の違いなんです。

それからもう一つは、透過力の差というのがありまして、これは中性子の、横軸がエネルギーで、鉄の透過断面積ですね。ここにぎざぎざが出るのは、後ほどお話ししますが。断面積はこう、中性子の相互作用によってこうなっていて、この一つ一つのぎざぎざが  $n\lambda = 2d \sin\theta$  というブラッグの式の  $n\lambda = 2d$  のところに一致します。こういう理解で、ここで中性子は回折が起きるエネルギー、X線の方のエネルギーは低くて10 KeVぐらいのところになります。同じくこの回折のところのエネルギーで見て、透過率50%というところで考えてやると、中性子だと6mmぐらいで、X線のこのエネルギーで見てやると数 $\mu$ m。実際にX線で鉄を調べるというときは、この薄い表面だけを見ているということになる。エックス線を透過に使うエネルギーまで持っていくと結構厚くなるのですけれども、中性子の方は同じ厚さです。なので透過でX線で見ようとしてやると、回折が起きない領域に入ってしまう。厚いものを見ようとする、ということになってしまうということで、中性子では厚いものも回折できるのですけれども、X線ではそういうことができない。バルクの情報は中性子が得意で、X線は薄いものの情報を得るのに使う、そういう違いです。

最後、これはちょっと式多くてあれなのですが、中性子は小さな磁石です。後でちょっとその例をお見せしますが、磁石なので磁場の中を進んでいくと、こういう磁石の向きが磁場の中ですくすく回るという現象が起きます。ラーモア運動といいますけれども、その度合いを偏極度というもので測ってやると、ここに書いてありますけれども、磁場の情報を得ることができます。これはX線と比べても中性子が非常に得意な部分だと考えられています。

それで、いろいろな応用の話ですけれども、J-PARCから小型の北大の中性子にHUNS、それから理研のRANSなどを使ったいろいろな研究がされています。それらをちょっと網羅した形で紹介させていただきたいと思います。

リチウムバッテリーって、今どこでも研究が盛んですけれども、こんな構造をしています。

カソードがこうなっていて、アノードがこうなって、ここにグラファイトの層があります。グラファイトに、このリチウムが入っていくとだんだん間隔が広がっていきまして、グラファイトだと0.3354 nmという面間隔なのですけれども、層間隔と言ってもいいかもしれませんが、それがステージ4、余り入っていないときには、ちょっとだけ広くて、たくさん入ってくるとだんだん面間隔が広がっていくと、そういう現象が見られます。

この広がりはどう変わっていくかというのをチャージ・ディスチャージで見てみようというような研究が行われています。これは北大でやられた実験。北大はJ-PARCと比べると何万分の1というような強度ですけれども。これは中性子の透過です。リチウムって中性子を非常に透過しないので、なかなか実験しにくいのですけれども、透過率0.3%ぐらいのところ。ここに、こういうディップが出てきていますけれども、ここが $\lambda = 2d$ という、格子面間隔、先ほどのこの値に対応したものになります。これが、だんだんチャージしていくと、長い方にずれていくというのが分かります。更にここを拡大してやると、ここではきちんとピークと言うかディップになっているのですけれども、だんだんなだらかになるということは、この面間隔が分布を持っている、即ち均一さが失われているということの意味します。

この辺の情報を絵にして表したらどうなるか。これは中性子のビームサイズの大きさで、市販のバッテリーを充電しながら見ていったというものです。これはブルーですからほとんどグラファイト、充電前で、だんだんこういう黄色がふえていって充電されてきているということが分かります。4,000 mAhぐらいまでやっているわけですけれども、mmオーダーの大きさで不均一に分布しているという、そういうことが分かる。こういうのはどうしてできているかというのは、これからの具体的な研究になっていくと思います。

これは、J-PARCのSPICAというバッテリーの専用の研究装置ですけれども、ここではこういうバッテリーについて22時間の充電と放電、それから2.2時間、10分の1の速さで充電、放電をしたという二つのデータ分析。数字が丁度1桁間違っていますけれども、ここでも、やはり層の表れ方が全然違うということが分かると思います。こういうふうにリアルタイムで結晶がどうなっているかということも中性子で見て、その辺の反応の仕方というのを調べていくということもやっています。

それから、もう一つはこれもJ-PARCで電池のイメージングをしたのですけれども、通常の実験状況を模擬した場合と、改良した実験状況を模擬した場合で、充電量によって不均一性がどう変わるかというもので、上が普通の状態で、この辺からちょっと濃淡が見える

ようになりますけれども、改良したものと非常に均一になっているということが分かります。同じようなものでも、ちょっと改良すると充電の仕方がよくなっているということが具体的に分かるという例です。

次が、これが磁場の可視化です。モーターというのはいろいろなところで使われていて、消費量の57%ぐらいがモーターに使われていると言われていています。効率1%アップで100万kW級発電所約1基分の電力を削減可能ということで、ちょっとでもそのロスを少なくすることが大事だということです。加工したり組立てたりしているので、設計値と実際の値が違うということで、その原因が分からないかということです。

実際、そのためには機器そのものの磁場を直接観察して、シミュレーションと合わすということが必要になります。それで組立て後の性能を把握して設計に反映するということをやりたい。これは先ほど言いましたけれども、中性子が磁石だということで磁場の周りで歳差運動しているということを示しています。中性子はこういう磁場の中にこうしてやって、どれぐらい回転しているかということを見てやると磁場の状況が分かる。これはモデルモーターですけれども、モーターを回転をして見えています。遠くからだと見にくいかもしれませんが、実はモーターが動いていて、少し像が変化しているというのが分かります。こっちは先程の偏極度解析というものを示しているわけで、ここにいろいろ磁場が出てきて、どう漏れてきているかということを示しています。こういうことをシミュレーション計算と併せて見ることによって、計算コードの方のインプルーブにつながる、そういう基礎的なデータが得られるということになります。

それからこれはもう一つ、トランス試験体の漏洩磁場観察ということで、これでも磁場がどこで漏れているかというようなことが分かって、それを改良するというようなことに使えていくだろうというふうに考えています。これはJ-PARCでやって、大型でないところまでのことはできないという、そういう例です。

それからコンクリートというのも、いろいろ今大事なのですが、一つ最初にやったのはKUR、東京理科大の先生がやられたものなのですが、高強度コンクリートを使っているのですが、緻密で、火災時に発生すると爆裂が懸念されるということで。これは兼松先生という方がされて、爆裂前と爆裂後でこのようなふうになる。どんなことが起きているかというのが分からないので、水の移動とかそういうことが関係しているのかなと言われているのですが、それを実際にやっています。

これは京都大学の複合原子力科学研究所、ここの原子炉でやったものです。実際にコンク

リートをあぶってやって、どうやって爆裂が起きるかというのを見ています。中性子ビームがこちらから来ていまして、原子炉の場所がこちらになります。中性子が来て、ここで試験体を容器の中に入れて、ガスバーナーで実際にあぶるということをやっています。なかなかこういう実験ですと J-PARC では、いろいろな制約があつてしにくいですが、京都大学ではこれができる環境があるということで、初めてできたということです。これは実際のサンプルの絵ですが、ここにコンクリートの加熱面があつて、バーナーであぶっています。実際にこのようなふうにして、これは爆裂後の写真です。

それを中性子で見てやると、こっちが気中乾燥の試験体で爆裂が起きたもの、これがイニシャルですけれども、イニシャルのデータで固定してやって1分後から1、3、5、爆裂前後の6分というところを見ています。だんだん水分がなくなっていって、爆裂後にはこのようなふうに分けてしまっているということです。こちらはポリプロピレンの繊維を混入した試験体で、この場合にはずっといっても爆裂がなくて、だんだん水がなくなっていくのですけれども、この繊維が溶けた後で水分などの通り道ができているのではないかとということで、うまくそういうものを逃すことによって爆裂を抑えているのだろうというようなことが、推測されています。

それから、これは理研のRANSで行われている実験ですけれども、インフラの検査、これは道路に穴があく前にそういうのを見られないかということ、中性子で見たいということでやった実験です。中性子の反射イメージング、これはX線でもやられていますけれども、普通は透過してイメージを撮るのですけれども、そうすると検出器をこっちに置かなければいけないのでちょっと大変だと。こちら側からぶつけて戻ってくる中性子を見てやって、ここに検出器を置いて測定するというのを理研の大竹さんたちのグループがやっております。

中性子が入って反射して返ってくる。これは空隙がある場合と水、代わりにアクリルを入れているのですけれども、入れた場合ということで見ています。空隙だと中性子の反射強度がへこみます。これは入れてからある時間たってから見てやるということで、水とかアクリル、水素があると反射が大きいので強度が増えますということです。それをこの面に対して画像で撮ってやるとこんなふうに変ってきて、これは100mmでタイミングが0.2から0.6msぐらいということで、きちんとそういう状況を見ることができるといことが分かりました。

それから鉄鋼材料というのも一つ大事なものですけれども、それについては高張力鋼の開発で、軽い自動車を造るための材料というのをやっています。それで、そういうもののこ

これはテンサイルテストで、引っ張っているわけですがけれども、引っ張ったときにどんなふうに結晶面がそろっているかというのを見えています。ビフォーがブルーで、この小さい方のピークです。ここの(1, 1, 0)面を見てやると、引っ張ってやるとこの面の強度が大きくなっていますので、今測定しているこの方向に対して、この面がそろっているということが分かります。というようなことで、結晶がどう配向していくかという、集合組織と言っていますけれども、それによって鉄鋼の材料が変わるというのを、小型中性子源では簡単に身近に測ることができるのが特徴だということが分かりました。同じ測定は当然 J - P A R C でできますけれども、J - P A R C だと、すぐにお問い合わせというわけにいかないというところがあります。

それから同じようなことですがけれども、複相鋼中のオーステナイト相分率評価。オーステナイトという結晶格子とフェライトという普通の鉄の格子ですがけれども、そういうのが混ざっているのを見てやろうということです。これは回折ピークですがけれども、先ほど説明し忘れましたけれども、一つのピーク、この、ちょっと見にくいですが、グリーンのピークがあって、重なっているところと重なっていないところで、F C C、B C C と書いていますけれども、ここでは B C C のピークだけが見えているということです。というようなことで、実際成分分析をしてやると、大体実際の体積比と同じぐらいの結果が出ているということで、こういうことにも小型加速器中性子源は使えて、簡単にこういう分析的なこともできますということを実証しました。

それからもう一つ、これは北大の大沼先生たちがやっている仕事ですがけれども、小角散乱というのがありまして、それは中性子の強度から、中に入っている介在物を見ようということです。強度のファクターが、ここにある成分の情報、これは密度によるのですが、それで表せるということです。中性子と X 線、X 線はこうなって中性子はこのようにばらつきますと、最初にお話ししたようなことなので、それで中性子前方散乱、この横軸は角度と考えていただいてもいいのですが、角度の浅い方に行くと、散乱が強くなっていくということです。

ここの差を見ると、形は X 線でも中性子でも一緒に、ここの強度差が、この散乱強度の差で出てくるということです。実際に北大でこういう分光器を造りまして、前方に散乱してくる中性子を、アルミの合金サンプルでその差を見て、ある介在物物質を仮定してやると、大体この差と同じぐらいの値になるということで、介在物がこれじゃないかというようなことが分かります。このように、金属材料の研究に使えるということで研究を進めています。

それから先ほど言いましたが、この辺を中性子が入って透過していくと結晶構造に応じてこのようなディップが出てきます。それぞれが2次元位置に対応していきます。これは結晶面ですけれども、この辺を解析してあげることによって、結晶の配向とか結晶のサイズとかいうのが分かります。これは北大でやった溶接鉄と元の鉄というので見たもので、普通のラジオグラフィックで見ると隙間、これは見えますけれども、溶接部は余り分かりません。波長を分けてやる、この0.4 nmぐらいのところだと何かちょっと溶接部に違いが見える。更にこれは透過の例ですけれども、標準が黒で、その赤いのが配向が強くなった場合、結晶子、鉄の粒子が大きくなると透過率が増えるということがあるので、そういう情報を引きだしてやると、溶接部分で結晶のサイズ、鉄の粒子が小さくなっていることが分かります。それから、これは鉄の溶接面の垂直方向ですけれども、こっちの方が粒子が大きくなっています。それから配向がどこも強いのですけれども、この溶接した部分は、向きも元に戻って等方的になっているというような情報が得られる。

ちょっと日本刀をやっているのです。今4本の日本刀、室町時代と昭和に造ったものということ、このような人たちと一緒にやっています。これはX線の透過ですけれども、X線だと刃文とかは見えないのですけれども、中性子は何となくこういうふうに刃文が見えると。これは今の刀とは違うものですが、これも一つのX線と中性子の差を示しています。

これは鉄の粒子の大きさを見たものですが、14世紀、ここは15世紀、刀によって全然その粒子の大きさが違う。これは最近のもの、というようなことが分かります。

それから、これは焼入れがどう入っているかということ、結晶的に見た。盛景という14世紀のもの、備前ですが、余り入っていない感じです。則綱、ここから50年ぐらい後、同じ備前ですが、もう少しきちんと入っている。それから資正、更に100年ぐらい後ですが、これも結構入った焼入れが見える。それから最近の現在刀はもっと強く焼入れが入っているというようなことが分かりました。こんなのを続けていって刀の特徴が分かればいいのかということなのです。

それから次、ソフトウェアですけれども、余り時間がないので。ソフトウェアというのは今いろいろなところで起きていて、これはNTTのグループと一緒にやったもので、NTTは普通のソフトウェアを見ているけれども、多分、携帯電話でもその辺の自動販売機でもみんな同じことが起きていると。NTTみたいな通信機器の場合には、日本国中幾つもそういうものがあるので、それがエラーが起きたということが分かるというのですけれども、一応自動的に通報するようになっているのですが、サイレントエラーということが起きたり

すると、どこでエラーが起きたか分からないので修理に行く場所が分からないというようなことで、結構長時間のトラブルになるということで、小型加速器を用いてソフトエラーを再現させるということをやりました。大きな加速器では前からやられているのですけれども、さすがに、そこで日常的に実験することは不可能なので、最初に北大で実験をしました。

それで、その標準化というのを、これからということで、今、やっている。ハードエラー、これは機器のリカバリーというかリスタートみたいなものでリカバーできないもので、ソフトエラーというのはリセットすることによってリカバーできるもの。この横軸がデザインルールで、密度ですね。デザインルールが小さくなる、要するに、より密になるとエラーが起き易くなるということで、ますます重要になってくる。

今、このFITというのは単位ですけれども、そういうもので通信装置を設計した場合に、通信装置が1,000台あると、1万FITのLSIを6個搭載した通信機器を1,000台用いたとすると、1日当たり1.5回ソフトエラーが発生している。この回数をできるだけ減らしたい、機器の保障をしたいということで、加速試験をやろうということです。

北大でやってみようということで、最初、シミュレーションをやって数分から10分ぐらいで北大では発生するのではないかと予測しました。これが東京辺りの自然界の中性子の強度です。それから、これが北大の加速器ですけれども、こちらがソフトエラーの起き易さです。中性子のエネルギーで10MeVということで急激に立ち上がっていく。ここで比較してやると100万倍ぐらいの差があるということなんです。資料は間違えていますけれども、シミュレーションでもと書いてあるのですが、シミュレーションでこれぐらいでできるということが実験でもきちんと証明できたので、シミュレーションだけではなくて、実験でも数分から10分程度で発生するというので、加速試験ができるということを実証しました。北大はアカデミアなので、それを住重、商用で中性子を供給しているの、そこで実験をやって、今ソフトエラーサービスが一応、日本ではできるようになっています。それが検査です。

それからITUというところで国際標準を制定しました、そういう動きがあつて。横軸はいろいろな素子のタイプを書いていて、番号で書いていますけれども、それぞれの素子に対応しています。名前が出るのは、ちょっと差しさわりがあるので外しますけれども、これはJRCというベルギーの電子加速器でやった結果の加速係数です。それから住重アテックスでやった加速係数で、大体同じなのですが、この辺の素子ではちょっと違ふと。ベルギーの方がよりエネルギーの小さい中性子の成分が多くて、その素子がたまたまその感度

が高いのではないかというようなことを思っています。というようなことで、ここに書いてありますけれども、100万倍の加速係数でいろいろな実験ができるので、新しい素子ができて、それを実機に組み上げたときに、本当にどれぐらいエラーが起きるかというのを小型中性子源でやるということをやっています。

国際標準として今もう認められているのですが、日本がそれをどうリードしていくかというところが今は考えどころかなと思っています。外国は意外と使える実験施設がないなと思っていて、そういう実験施設を開拓すること、測定法の標準化と普及、新たに素子が出てきたらまたその加速係数を測定する、こういうことについて日本がリーダーシップをとればいいなというふうに思っています。

次は、ボロン中性子捕捉療法ということで。がん細胞にボロンを先にデリバリーしておいて、後で中性子を当てる。ボロンは中性子を非常に吸収しやすく、吸収したらリチウムとアルファを出して、それが大体このがん細胞の中に集まるということで、がん細胞を殺すということです。これまで原子炉を使ったのですが、原子炉を医療機器というわけにはいかないのです、加速器中性子源の利用というのが不可欠になっているということで、加速器で作ろうということです。

この二つは人の顔が写っているので資料として載せていませんけれども、ここにがんがあります。これがBNCTでやると、このようにきれいに治っているということです。粒子線とかX線でやるとやけど的になるのですが、BNCTの場合には結構きれいに治るというメリットがあります。

それから、これは、かかとのところですね。二つの例が出ていますが、一旦ちょっとケロイドみたいになるのですけれども、きれいに治っているというのは。外科手術をすると、この辺全体取らなきゃいけない、実際には歩けないようなことになってしまうのですけれども、BNCTだときれいに治るというメリットがある。

どんなものがやられているかというと、これは日本の結果ですけれども、脳腫瘍が初期の頃多かった。それから、悪性黒色腫、皮膚がんですね。最近、頭頸部、本当にこの辺り、顔の辺りというのが増えてきています。それから、中皮腫というものも実際あるということで、昔と比べると応用される分野が広がってきているということが分かります。

放射線治療というのはかなりのがんにも効くわけですが、粒子線治療と普通の放射線治療というのは大体似ているところがあります。一部、粒子線がいいとされています。BNCTは、そこをちょっと外れた、再発性とか広がったがんとか、そういうところを目指して

やろうということを考えています。

これは原子炉ベースのBNCT施設ですけれども、ずっといろいろなところでやられてきました。でも、ほとんどがシャットダウンしてしまいました。それで、現在は京大、それから台湾、それからアルゼンチンで、最近、中国は専用の原子炉を造りました。今はこの4か所という状況になっています。

それで加速器でやろうというのは、世界的な機運です。加速器で中性子を出すときには、これは陽子のエネルギーで、中性子のイールドですけれども、今、日本では30 MeV陽子をベリリウムに当てるという反応、それから比較的低いエネルギーですと、陽子をリチウムに当てる。海外、アルゼンチンですが、重水素をベリリウムに当てるといような、そういう方式もやっています。

これは日本のものですが、一番最初にできたのは京都大学のベリリウムターゲットで、30 MeVで1 mAの施設、これは加速器です。それから、南東北病院は、これと同じような方式のものを造っています。それから大阪医科大学、これも同じ方式で造っていて、今はもう装置としては完成しているものです。

国立がんセンターがリチウムターゲットで2.5 MeV、20 mA、電流値が非常に大きいですが、エネルギーは低いという装置です。同じようなものを江戸川病院が使用しています。

それから、茨城BNCTが、茨城県で、それこそJ-PARCの真ん前、東海村ですが、8 MeVの陽子エネルギーで、5 mAを目指した装置を作っています。名古屋大学も、僕らの大学ですが、2.8 MeV、15 mAというものを作っています。この二つは、名古屋大学は特にBNCT装置の工学的特性を調べるということでやっていますし、茨城の方はメインに治療ですが、中性子イメージングですか、そういうのにも使おうとしています。

中性子減速材があって、発生中性子は、MeVからそれ以下のところで、高いエネルギーが出ます。それで実際は、体の中に入って中性子が減速する。遅い中性子の方がボロンは吸収しやすいので、体の中でちょうどいいエネルギーになるように、深部がんに対してちょうど良いエネルギーになるように、この辺の0.5から10 KeVの中性子が多いような中性子分布をこの減速材で作って照射してやって、体の中で熱中性子0.25 eVの強度が大きいものを作って、ボロンに吸収されるということをやっている。これにはIAEAの基準というのがありまして、大体それに則って進めています。

これは日本のBNCT施設の中性子スペクトルの例ですが、R e a c t o r といっているこのブルーが京都大学で、こっちの黄色、ちょっと見にくいですがけれども、これはJR R-4でシャットダウンしたものです。ここが結構強かった。あと京都大学のスペクトル、名古屋のスペクトル、それから茨城です。茨城は、これは2 mAで計算していますのでちょっと小さくなっていますが、こんな感じのスペクトルでR e a c t o r と加速器ではちょっと違ったスペクトルになっているというのが分かります。

これは、世界最初の治療用のC y c l o t r o nをベースにしたBNCTで、ここに中性子減速材があって、人がここにいて照射するという事です。これが加速器になります。このタイプだけが現在治療に至っています。世界でこれだけです。

ホウ素薬剤としては、B P A、B S H、B P Aのフッ素がついたもの。これはP E Tで分布を調べるというために、これにフッ素がついたB P Aというのを作っています。このG B-10というのはアルゼンチンのグループが悪性黒色腫、中皮がんに使っているものです。

第一世代、第二世代、第三世代となっていて、薬剤も対応するがんも変わってきていて、今はもう基本的にB P Aということで、中性子線としても加速器が主体という状況になっています。

それぞれの薬剤の特徴ですけれども、B S Hって余りがん細胞の中まで入っていかない。ある条件を満たすと入っていくというようなことなので、今はがん細胞の中に入るB P Aというのが使われているということです。これをフッ素を入れたものを使うとP E Tができるということで分布が測れるというのが特徴になっています。

加速器ベースの中性子源というのは、今こんなふうになっていて、ヘルシンキ・フィンランドが、今、正に建設中で、ここ数週間のうちに設置が終わるかどうかなというような所です。

ロシアのB u d k e rというところに加速器があって、動物実験まではやっているという。それから、イタリアも計画があって、チャイナは今、二つ計画があります。X i a m e nというところで、病院を作っていて、来年から動かそうということです。

それから、イスラエルでは液体リチウムを使ったものが造られていますが、まだです。

それから、アルゼンチンでも、今、加速器を開発して、建物も建てているという状況です。

日本が一番多くて、こんなにありますということで、これは次の表で、日本は京都大学のC y c l o t r o n、南東北病院、筑波大学、がんセンター、関西BNCT、江戸川病院、名古屋大学で、大阪大学、京都府立大学、岡山大学は今計画中。あと、海外はこれぐらい動いていて、チャイナはさっき言いましたように、D-BNCTというのが、ここ数年でBN

CTをやろうということで動いています。

IAEAのTECDOCというのがあって、これは脳腫瘍の治療をメインにしたもので、皮膚がんとか新しいところの頭頸部は考えていない。それから原子炉が中心で、加速器は考えられていない、余りきちんとしたシミュレーションもしてないということで、最近の進展に合わせて、新しい基準を作りたいなということで、日本NCT学会、国際NCT学会、IAEAも入れてやっていければなということで、僕も含めて比較的若い人と一緒に、こういう標準化の話を進めています。

今、国の機関、厚生労働省、経済産業省で、こういうガイドラインが出て対応している。捕捉療法学会でもガイドラインを作成中と聞いています。

それから、ICNCTというのでは、我々も参加して、物理の方の条件の内容の検討中で、できれば、IAEAに頑張ってもらいたいというふうに思います。

日本の医療施設で治療実績が早く上がることが期待され、医療機器としてきちんと使われていくことが意義がある。先ほどもお話ししたように、海外でも結構BNCTをやろうという機運があるので、今、日本はリードしていますけれども、それを維持するにはかなり努力が必要かなと。

最後の話題ですけれども、中性子施設ということで、今何か連携できないかということを考えています。

小型中性子源がいろいろな中性子実験に役立つことが実証されてきた。当然、J-PARCとは性能的に落ちるわけですがそれでもいろいろなところで役に立つだろうと。日本はお話ししたように、小型から大型までの中性子源があるので、それをうまく中性子資源として効率的、効果的に利用したい。中・小型でできることは中・小型で、それから大型ですべきものを大型でということで、大型の負担を減らして更に効率的にやっていく。

情報を共有することで、測定レベルの不断の向上というようなこともできるようになる。

それから、人材育成、これはいろいろなところで、企業も含めてですけれども、いろいろな中性子利用の普及・向上を行うということで。ただ、それも大型でできること、世界拠点、J-PARCみたいなところでは、実験手順の一番後ろのデータ取得して解析するということができる。中型だと実験装置までたどれる。小型だと全部できる。それぞれの特徴を生かした人材育成、教育ができる。

こういうことをするために、人、モノ、情報、もう一つは本当はお金というのがあるのかもしれませんが、そういうものが要だということで、中性子施設連携を確立したいという

ことです。

これは加速器中性子源連携についてで、ずっと今までやっています。1995年にビーム制御研究会というものを立ち上げて、仲間を誘って、NOP、ニュートロンオブティクスですけれども、中小規模中性子源研究会みたいなものやってきました。UCANSという小型中性子源の国際組織ができて、JCANSというのを、この流れで作って。京大とか理研の中性子源、それから産総研の中性子源、その後青森もちょっと関与していますけれども、いろいろコントリビューションするということで、JCANSというのができています。産業界も含めて、こういう活動を進めていきたいなということで今やっているわけですが、更にいろいろなところを含めてやりたい。

今、小型というのがあって、大型は世界拠点中性子源、小型は施設中性子源、その間に地域拠点中性子源というのがあるといいなと、京都大学なんかはそれに該当するかと。それから、今、造っている産総研も将来的にはなれる。青森県と住重は強度は大きいのですけれども、イメージングとかに偏っているので、いろいろなアプリケーションには対応できない。ただ、こういう施設をうまく連携していきたいなというふうに考えています。

今、連携に向けてということで、学会会議マスタープランに中性子施設ネットワーク、これは名前は仮ですけれども、出したいなと思っています。

それから、J-PARCワークショップということで、「小型から大型までの中性子施設の連携研究会」というのを中性子科学会とJ-PARC、JCANS共催で、日本の施設が一堂に会する初めての研究会ということで、この研究会の後で連携の議論をしたいと思っています。

資料にプログラムを載せてありますけれども、講堂をお借りして3月28日に行いますので、もしお時間がありましたら是非参加していただければと思います。

最後、駆け足であれですけれども、まとめですが、中性子というのはJ-PARCができて新たに注目を浴びるようになってきたという感じがあります。小型、中型、大型施設を階層的に利用した学術・産業利用が進むと考えられる。

中性子源施設の連携を行って、より効率的、効果的中性子利用ができるような環境整備を進めている。ほかにも似たようなことを考えているところもあると聞いていますので、そういうところともすり合わせて進めたい。

小型加速器中性子源を用いたソフトエラー試験というのが行われてきて、国際標準が認められまして、こういうソフトエラーというのはますます重要になってくると思われま

BNC Tについては、これまで日本は世界をリードしてきたけれども、海外でもいろいろな始められようとしているということで、日本での更なる開発、治療の実施が望まれるということですが。

どうも、以上です。ありがとうございました。

(岡委員長) ありがとうございました。

それでは質疑を行いたいと思います。

佐野委員、いかがでしょうか。

(佐野委員) 大変詳細にわたるご説明ありがとうございました。

中性子は様々な分野、医療、BNC Tのみならず、産業、鉄筋コンクリート、それから素材、更にはソフトエラーという非常に広範な分野で大きな可能性を秘めていることがよくわかりました。その中で日本の立ち位置、学術研究、産業利用など、先ほど紹介いただいた様々な分野において日本がトップランナーだと考えてよろしいでしょうか。先ほど、中国も出てきているというお話もありましたけれども、特に産業利用、自動車の例もお話いただきましたが、今後各国との競争も激しくなる中で、特許など知財をめぐる状況もあるかと思いますが、その辺りをお聞かせ願えますか。

(鬼柳教授) 産業利用を進めるという意味でも、扱いやすさということが必要で、J-PARCでも、産業利用に特化したビームラインというのを茨城県が造ってしまっていて、そこは40%以上が産業利用です。また、J-PARC全体としても28%ぐらいが産業利用ということになっています。これは、ほかの国の大型施設と比べても、断然多い比率です。なので、産業利用というものについては、日本はかなり進んでいると思います。

あと、占有して使うと金が高いといったいろいろな問題があるのですが、そういうところも改善しながら、今、日本の大きな企業とタイアップをして、更に産業利用を進めていこうということを目指し、おっしゃるとおり電池だとか、それから燃料電池、リチウム電池、それからこれから出てくるであろう固体電池等々については、世界競争なので、その辺は一つのターゲットとして進めていくという、そういう機運にあります。

(佐野委員) 知的財産を守るという特許の面では日本の申請は進んでいるのですか。

(鬼柳教授) そこまでは我々の方では余り把握できてないのですが、先ほどSPICAという装置の話をしましたけれども、電池に特化した。そこで中性子が結構使われていて、成果としては、知財の関係じゃなくて、中で閉じているのですが、その中では産業界が入った会合の中で成果は評価されているというふうには聞いています。

基本的には、J-PARCはオープン、お金を払わないで使うときはオープンだと思うので、そうするといろいろな情報が漏れるのですけれども、今、SPICAは特別に外部資金で造った装置なので、そのプロジェクトに関してはクローズして使えるという。

それから、お金を払えば当然知財を保存したまま、その会社だけのデータとして持てるという、そういうシステムです。

(佐野委員) BNCT、日本の医療施設において治療実績がどんどん増えていくことが重要で、BNCTに限らずほかの応用の分野でも、実績を現場で見えていく必要があるということですね。

(鬼柳教授) そうですね、BNCTは日本が先陣を切って、本当に医療として治療するという実績を出してほしいなと思っています。ここまでリードしてきたのに、ぐずぐずしていると、結構規制が緩い国があるので、造ったらすぐ治療みたいな感じになられると、最初の病院としての実績がそっちにとられるのは嫌だなという、そういう思いです。

ほかのいろいろな分野については、中性子の応用部分は非常に広いので、特にこういう物質研究だとか、産業のその分野分野によって日本の立ち位置というのはやはり違ってくると思っています。

いろいろな手法については、J-PARCはとにかく世界のトップクラスの装置ばかりなので、そこは非常に進んでいるので、とにかく海外でできているようなものは当然できるし、先駆けてやることは当然できるというふうに。

(岡委員長) 中西先生、お願いします。

(中西委員) どうも御説明ありがとうございました。中性子利用というのは放射線利用の大きな柱の一つになっていくと思うのですが、例えば電池について、先ほどご説明いただいたように、携帯から車まで幅広くて、非常に難しいのと思いますが進んでくれたらいいなと思います。また、中性子科学体そのものがこの方で割合新しいのですよね。

(鬼柳教授) はい。

(中西委員) でも、着実に伸びていっていると。また、先ほど原子炉によるBNCTが減ってきているというお話がありましたが、それは世界中が加速器に移りつつあるということでしょうか。

(鬼柳教授) そうですね。中国だけです、新しく造ったのは。ほかの国はBNCTを原子炉でやろうというのは聞きません。やはりいろいろな規制の絡みがあると思うので。中国はもうBNCT用といって、本当に小型の原子炉を造って、それも病院だというふうにしちゃっ

たのですね。日本ではさすがにそれはできないだろうと。

この間ちょっとイタリアの研究会に行って、BNCTの話をちょっとしたのですけれども、原子炉でやっているときは緊急事態に対応できるような、そういう処置室がないです。そういうところで医療はできません。だから加速器になったので、BNCTもかなり医療機器としての実用化に近づいたというようなことを言われました。

(中西委員) BNCTも日本は世界のトップランナーで続けていくのだと思うのですけれども、やはりその最後に言われたように、グループ化、プラットフォームといいますか、皆さんが集まれる組織があるといいなと思いました。特にBNCTのことや原子炉のこと、やはりみんな集まらなければできないこともあると思いますので、非常に日本的といいますか、和を持ってできるのは非常に魅力的だと思います。グループ化、今いろいろ苦勞されて、新しい学会を作ったりされているようですけれども、それはやはり研究者の人たちが集まって、意見を取り入れて、後押しなども考えてやっていく方針でしょうか。

(鬼柳教授) 今、二つありまして、BNCTはこれは中性子捕捉療法学会ですね、そこがありまして、今もガイドラインを作っているということで、日本でまずきちんとしようと、日本から発信していこうということで、学会中心で動いています。

ただ、医療の難しいところは、機器が絡んでくるとメーカーが入ってきて、メーカーが情報を握っているところはなかなか表に出せない、そういうところがあります。ただ、そうはいつでも、いろいろな治療のところとか、僕らが物理側でやっているところで標準化できるものは、機器に依存せずにオールジャパンでやっていきたいなという、そういう動きであります。

それから、今度28日に中性子施設が一堂に会して研究会をやるわけですけれども、まずは施設の人で集まって議論しよう。ただ、その中にはメーカーの人も入って議論する予定です。更に施設側で余りばらばらなところでメーカーの人が入ってきて話をすると、もっとばらばらになりかねないので、まず施設側の意見調整をして、また更に新たに会を設けて産業界も巻き込んだ、そういう活動にしていきたい。産業界の意見も取り入れて、こんなことをしてほしい、あんなことをしてほしいという意見を取り入れて、更に発展させていきたいなというふうに思っています。

(中西委員) 是非、オールジャパンの連携ができることを期待しております。どうもありがとうございました。

(岡委員長) ありがとうございます。

私は大学教員の時、BNCTを原子炉でやっていたことがありまして、そのときに放医研にそれができないかと、当時の先生方が相談されたことがあります。放医研の方々には、街中でやるとなると原子炉では難しい、そんな話がありました。当時の中性子源は加速器ではBNCTのためには、原子炉よりは弱くて使えませんでした。それを可能にした技術的なブレークスルーはどのようなふうなんでしょうか。

(鬼柳教授) 結局は加速器になるのですけれども、加速器屋さんは工業用のX線ぐらいの加速器と、それからもっと大きなJ-PARCみたいな加速器、その両側に行っていたのですけれども、BNCTが最初は住重ですけれども、住重がやっていたときは、その中間ぐらいということで加速器を設計してくれまして、それでうまくいった。

それから、加速器の技術が特に大電流で、余り高いエネルギーでない加速器ができてきたということです。住重はエネルギーを30ミリオンにして電流が1mAで。1mAでも結構大きな方ですので。それがほかの施設、茨城が8ミリオンで10mA、実際にはちょっとオーバースペックで2mAか3mAぐらいで間に合うというふうに、実際の今の状況はそういう状況です。

今までそれぐらいの加速器で、その電流を出せなかった。それから、がんセンターとか名古屋大が3MeV以下ですけれども、そっちはもっと電流が高くて10mA以上。だからその辺の技術が進んでBNCTができるようになった。

(岡委員長) ビームのところですけども、どこが進歩したんでしょうか。

(鬼柳教授) 当然、大電流用電源を造らなきゃいけない、それこそJ-PARCみたいに大型予算ならできると思うのですけれども、それをリーズナブルな値段で造って出すということ。それから大電流はやはりビームをトランスファーしてくるということはなかなか大変で、電流が弱ければ、ただぶつかっておしまいですけれども、大電流はどこかでぶつかる穴があいてしまうので、そういういろいろなコントロール技術というのも必要だと思います。

(岡委員長) それは超電導磁石ではなくて、電磁石でしょうか。

(鬼柳教授) それで今やっています。

(岡委員長) 中性子光学素子開発と書いてあるのは、これはどういうものですか。

(鬼柳教授) 中性子光学素子というのは、中性子を収束させるとか、そういうものです。中性子もエネルギーが低くなると、鏡に光がぶつかるような感じで収束させたり、反射して持っていったりすることができます。

(岡委員長) 低エネルギーのこと。

(鬼柳教授) はい。

(岡委員長) 先ほどの電池のお話も、再生可能エネルギーの活用と関係し、イノベーションということで大変すばらしい。この間、J-PARCの方にもいろいろな分野で、いろいろな使い方ができるようになったとうかがいました。その関連でもうしあげると、何か新しいことが急にできるようになるのがイノベーションと考える方が多いかもしれないのですが、実際のイノベーションは、すでに使われている技術に、新しい要素が加わって生じています。汎用技術であるモーターが小型化しました。モーターが分散してシステムに組み込まれました。チャップリンの映画では、大きな動力源であるモーターが工場に一つあって、それから歯車とベルトを介して、工場内に動力が伝えられていた。モーターが小型化したことでいろいろなイノベーションが可能になっています。

(鬼柳教授) 僕らも中性子を使っていろいろなことができないかなと思っています。実際、自分たちが見ている範囲ってどうしても狭いので、いろいろなところから情報を頂いて、これなら中性子でやったら見られるかもしれないというのが頂けると非常に有り難いと思っています。

磁場の話は、今までは素子を突っ込んで測るしかなかったですので、ああいうふうに動いている状況は見られなかったのですけれども、動いているところを見たというのは多分、世界で最初だと思います。これもいろいろな磁場の強度まで出せるというのは今、日本の我々が開発したこのシステムだけです。もう少しすると、そういうところもアメリカのSNSという大きな中性子源でも同じようなことをしようとしていますので、だんだん技術の優位性だけでは保てないかなという、そういう背景があります。

(岡委員長) 最後お話しになった連携の話は大変すばらしい、聞いてて思ってたんですが、例えば海外の富裕層がタイに行って治療を受けるそうです。中性子の治療法も海外に広がる可能性がある。いろいろな広がり方が可能性としてはあるなと思いつつ聞いていました。申し上げたいのは、まずは国内でももちろん広がっていけばいいんですが、海外も視野に。

(鬼柳教授) 今おっしゃられたとおり、まずは国内とは思っていて、それで我々もJCANSという小型中性子源のシステムを作り上げて、これはプライベートなものなのですが、一応助け合いの互助会みたいなシステムでして、韓国も似たようなのを作りたいと、KCANSを作ろうかという話があって、それで今度はチャイナへ行ったらチャイナでこれを、ヨーロッパもやはり原子炉をだんだんシャットダウンするので、加速器で大きなESSみたいなのはそんなに造れないので、もうちょっと中型、小型でやっていこうと。ヨーロッパはヨ

ヨーロッパで何かそういうグループを作ろうという話があるので、そういうところと将来的にはコラボしていければなというふうに思っています。

(岡委員長) その他、委員の先生方何かございますか。

(佐野委員) 研究、学術分野での協力の後、実用分野における競争が企業間であると思いますが、その辺りはどういうふうに整理するんですか。つまり、先生方の研究データが日本の企業でなくてもグローバルな企業に使用してもらっても良いわけですか。

(鬼柳教授) 10年先は。

(佐野委員) 将来。知財が保障されれば、日本初の研究成果が諸外国で活用されてもいいのですが、産業間における競争はどういうふうに進んでいくのでしょうか。

(鬼柳教授) 難しいところはあると思うのですが、一番簡単には、比較的身近にあるものをクローズでやっちゃうというのが一つ。それから、いろいろな固体燃料電池とかを開発したときに、一応仲間内でやって、成果としては特許を取って、それから発表する。この場合には後で特許を取ったりするのでオーケー、そんなやり方がある。

ただ、やはり産業に近いところは野放図に発表してしまうと、もう公知の技術になってしまうので、そこは気をつけなきゃいけないかなというふうに思っています。特に産業界と一緒にやっているところは、そこが時々問題になってきていて、今回はいろいろな電池の研究の話をしましたけれども、似たようなことは実は市販だけじゃなくて、その産業界が持っている電池でもやっているのです。こっちは市販だからオープンにしてもいいです。産業界の試料はオープンにしちゃ駄目です。そんな使い分けもしています。

(佐野委員) それからこのESS、これはEUのプロジェクトですが、場所はスウェーデン、4MWとかなり大規模だと思うのですが、これは来年ですか。

(鬼柳教授) 来年。ちょっとまた延びているかもしれないですけども。

(佐野委員) EUも中性子源に相当力を入れているということですか。

(鬼柳教授) 今そうですね。やはり先ほどもお話ししましたが、結構有力な二つがシャットダウンする。今、大きなところは、ミュンヘン工科大学の原子炉と、あとフランスのILLと、この二つしかなくなってしまって、ESSがILLと同じぐらいの強度を目指して造られています。5MWと言っていたのですが、ちょっといろいろな問題があって、今は4MWらしいということで、資料では4MWと書いていますけれども、中性子科学というのをやはりヨーロッパとして、トップのいろいろな研究基地として維持していくと、そういう気持ちだと思います。ちょっと方式が違うので。J-PARCは陽子の時間幅は非常に短く1

$\mu$ 秒ぐらいの施設で、その方が我々は使いやすいのですけれども、向こうは、結構陽子パルスの時間を長く造っているんで、パワーもちょっと大きくできる、ターゲットの熱負荷もすこし楽になる。ただし、その時間幅を細かく切って使うというようなことを考えています。

(中西委員) 私は前に磁場を、磁力線はどうなっているかなど、教科書に書いてあるようなことをそのままの画像として見て、非常に驚いたのですけれども、基本的な技術の開発というのは、日本原子力研究開発機構もすごくやっていますね。例えば中性子をどうやって集積するのだろうといった、あれは日本が世界に誇る新しい技術ですね。中性子線を絞れるという。その一番の基本の特許、知財の部分を日本原子力研究開発機構は余り押さえていないんじゃないかと思うのですが。

(鬼柳教授) スーパーミラーの造り方そのものは、もう公知なのですけれども、もっと効率のいいものを造っているんで、そこを押さえている方がちょっと僕も把握していないけれども。

(中西委員) はい、多分いろいろ難しいこともあると思いますので、また別の機会です。

(鬼柳教授) はい、ありがとうございます。

(岡委員長) この53ページの名古屋大学の15mAぐらいの加速器は大体どのぐらいの値段で。

(鬼柳教授) これがなかなか、値段が難しい。いろいろな事情が混ざってきたので、元の値段は僕はよく分かっていないです。

(岡委員長) 国立がんセンターの方は。

(鬼柳教授) いや、値段は僕は分かりません。あれは日立のアクシス、アメリカの子会社ですけれども、そこから買っているんで値段は分かると思うのですが。

(岡委員長) 分かりました。他に委員から何かございますでしょうか。ないようですので議題1は以上です。どうもありがとうございました。

(鬼柳教授) どうもありがとうございました。

(岡委員長) 続いて議題2について事務局から説明をお願いします。

(竹内参事官) それでは今後の会議予定について御案内いたします。次回、第9回原子力委員会の開催につきましては、日時、3月12日、13時半から、開催場所は8号館5階共用C会議室、議題は調整中です。議題については、後日原子力委員会のホームページ等の開催案内をもってお知らせいたします。

(岡委員長) ありがとうございます。

そのほか、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は終わります。ありがとうご

ございました。