

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）平成22年度フォローアップに係るヒアリング
（原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発とその応用）

1. 日時 平成23年9月28日（水）16:00～16:30

2. 場所 中央合同庁舎4号館12階 共用1202会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

本庶 佑 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

青木 玲子 総合科学技術会議議員

川本 憲一 政策統括官（科学・技術政策・イノベーション担当）付参事官（最先端研究開発支援プログラム担当）

4. 説明者

臼井 勲 科学技術振興機構イノベーション推進本部（研究支援統括者）

長我部信行 株式会社日立製作所中央研究所所長

小野 義正 理化学研究所基幹研究所単量子操作研究グループ副グループディレクター

5. 議事

【川本参事官】

それでは、これより研究課題「原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発とその応用」の平成22年度フォローアップに係るヒアリングを始めさせていただきますと思います。

本日の総合科学技術会議側の出席者はお手元の座席表のとおりです。

このヒアリングにつきましては非公開で行います。また、関係者がフォローアップを通じて知り得た情報は、フォローアップの目的のみに使用させていただきます。ただし、後日、今後の研究発表あるいは知的財産権等に支障が生じないということを確認させていただいた上で、議事については概要を公開させていただきます。

時間配分につきましてはあらかじめご連絡しておりますが、研究課題側からのご説明を10分、その後、質疑応答を20分、合計30分ということで時間厳守でお願いをいたします。説明に当たりましては、終了3分前に予鈴、終了時間に本鈴を鳴らさせていただきます。時間が来ましたら、質疑応答を優先するというので途中であっても、そこで説明は一旦中断をお願いしたいと思います。質疑応答につきましては終了3分前に予鈴を鳴らさせていただきます。

それでは説明のほうをよろしく願いいたします。

【説明者】

それでは、説明に入らせていただきます。私はこのプロジェクトの研究支援機関、JSTの臼井でございます。本日はこのプロジェクトの説明として、共同事業機関の日立製作所から長我部中央研究所長、それから理化学研究所のグループから小野副グループディレクターが参っております。ひとつよろしく願いいたします。それでは、早速、説明に入りますが、初めに研究推進体制と支援体制につきましては私のほうから、その後、研究内容、研究成果と進捗状況について、長我部・小野両氏からご説明させていただきます。

まず、研究の目標でございますが、説明資料の一番下でございますが、原子レベルでゲージ場を可視化する世界初の観察装置、ホログラフィー電顕を開発するというのがこのプロジェクトの目的でございます。

そのための研究推進体制としましては、共同事業機関が2つございまして、一つは日立製作所、こちらのほうは本体開発と要素技術開発を分担しており、ここの責任者が長我部中央研究所長でございます。もう一つは理化学研究所でございますが、こちらのほうは予備実験（応用技術開発）を担当しております。この2つのグループの研究実施場所は日立の中央研究所の鳩山にございます基礎研究サイトで、この鳩山に2つの研究グループが同居してございまして、日常的に密接な連携をとりながら研究を進めるという体制になってございます。毎月1回、日立グループ、それから理化学研究所グループから重立ったメンバーが集まりまして、私たち科学技術振興機構のほうも入りまして進捗状況、研究推進に当たってのいろんな問題とか課題、こういうものについていろいろ議論して、そこで中心研究者の外村からいろいろ指示を仰ぐ、というような形の研究の進め方をしております。

研究分担・開発につきましては、先ほど申しましたように日立製作所、理化学研究所となっております。後ほど詳しいご説明はしますが、本体開発と要素開発が日立製作所、それから理化学研究所のほうで予備実験という分担で、先ほど申しましたように同じ場所でやっております。

すので、お互いが連携をとりながら進めているということでございます。

私たち支援機関としましては、昨年3月のスタート段階では鳩山サイトに私たちの支援室を設けまして、技術のスタッフ、そういうものを常駐させまして、いろいろなお世話をしております。最近では効率化を図るためにJST本部のほうにその機能を集約いたしまして、JST本部のほうからいろいろご支援を申し上げるという形の仕事の仕方をしております。

また、広報推進、それから社会還元というあたりにつきましては、説明資料のような形でアウトリーチ活動、それから昨年11月に開催しましたが、世界トップレベルの専門家による公開研究会と、こういうものを設けまして、いろんな世界各国の重立ったメンバーと連携をとりながら、この電頭開発を有効に進めていくということで、アウトリーチ活動も進めております。

この後は、長我部・小野両氏からご説明いたします。

【説明者】

続きまして、本体開発と要素技術開発の概要をご紹介します。これが、目的とする装置でございます。全長約10メートルに及ぶ装置でございます。通常の電子顕微鏡鏡体の他に高圧の発生装置等々がついております。ここに書いてございますようなプロジェクト体制で、お約束した性能の達成を目標に進めております。

その中で、主な要素技術開発とその課題をまとめてございます。先ほど線表をお示しましたが、進捗はおおむね良好ですが、幾つか1カ月、2カ月単位で遅延をしているものがございます。加速管の開発、また高圧ケーブルに関しては3.11の津波を受けて、冠水をいたしました。幸い、その後のリカバリーで1.5カ月の遅延まで挽回しております。総合的にはこうした遅延も最終的な目標日程に間に合うように進めております。

水色で囲みましたものにつきまして、やや詳細な説明をさせていただきます。

まず、本体全体の開発状況でございます。これは直近の写真でございますけれども、8月31日にこの装置を入れます建屋が完成し、建設会社から引き渡しを受けました。早速、9月に入りまして既に高圧のケーブルでございますとか、高圧のタンクの搬入を始めております。こちらはオンタイムで進んでございます。

要素開発でございます。分解能目標や、ゲージ場を観察するためにいろいろなところで技術的なチャレンジがございます。コヒーレントな（周波数、位相、波面がきれいに揃った）電子をとるために高安定、高機能な電子銃を目指して新しい極高真空をつくる技術を開発いたしまして、従来よりも1けた高輝度な電子ビームを実現する見通しを得ております。

その他の要素技術でございます。ここにございますように、安定度の高い電圧をかけて電子の波長を揃えます。そのために必要な抵抗を持った高圧ケーブルを開発しておりますが、現在のところ、順調に進んでおりまして、従来の1けた上の安定度を達成する見込みでございます。そのほか、収差補正、対物レンズ、また、徹底的に振動をブロックするという事で超低擾乱、超高安定な環境を構成することに成功してございます。概して本体開発、要素技術に関しましては、線表どおり、スケジュールどおり進んでございます。

以上です。

【説明者】

続きまして、予備実験を担当しております理研の進捗状況を報告いたします。

予備実験として2つ書いてありますが、実質的には両方同じような形で進んでおります。一つは開発予備実験で、これは実際に開発している電顕を使う前にいろいろと検討しておかなければいけないということで、特に三次元用のフォルダーなどをつくって、今、解像度が2ナノメートルぐらいのところまでできています。それから、応用予備実験のほうは約束しています1,000分の1波長の位相変化を検出するために現存の装置を使って進めていまして、今のところ、磁場の実験やシミュレーションを用いて、大体100分の1波長ぐらいまで確認しています。現在、これはもう少し進んでいますので、1,000分の1波長は達成できると考えています。

昨年度は、本体資金だけではなくて加速強化資金をいただきましたので、それぞれに対して研究・実験を進めるために幾つかの装置を入れさせていただいています。星がついているものが本体資金で、他の多くは加速強化資金で入れさせていただきました。1年目は装置を入れる、それらを動かし始めるというところでございましたので、あまり大きな進捗はございません。

それで、どういう装置を入れさせていただいたかということを図でもってお見せいたします。まず三次元の計測をするための装置、それから、それ用のサンプルをつくって見る装置です。それから高精度位相計測に関しましては、バイプリズム（電子波を干渉させる装置）が電子線ホログラフィー観測で非常に重要なコンポーネントになります。これが測定中に余り大きく動くと困る、ということで、ピエゾ素子を用いて少しずつ少しずつ動かすようにしています。それから現存の装置でもう少し高性能で測定できるようにするために、新しいレンズシステムを入れております。このように現在ある装置プラス新しい装置を使って、研究を進めているところでございます。

この研究の成果を新しい1.2ミリオンボルトの電子顕微鏡の開発が完成したときに使う、そ

れから、その先どういうふうに研究を進めていくか、また他研究者と共同で進めていくときに使えるように、いろいろな方法とか、それからマニュアル的なものもつくっていくのが我々のほうの担当になっております。

以上でございます。

【川本参事官】

どうもありがとうございました。

それでは、これより質疑応答のほうに移りたいと思います。ここからの進行については、奥村先生、よろしくをお願いします。

【奥村議員】

ご説明をどうもありがとうございました。

このプロジェクトは最初、はるかに大きな予算の申請をいただいて、私どもの都合で大幅に減額されて幾つかのことができなくなって、軌道修正もしていただいたのですが、それで、現在の状況の中で、今回のレビューアアの中の問題にもあったと思うのですが、結局、目標としている性能、点分解能が0.04ナノで、位相の検出頻度が1,000分の1波長とか、一体、これで何を見るんですかという極めて素朴な疑問、これがご回答もいただいているんですが、今回の、やっぱりはっきりしていないのです。だから、これはきちっとどういう世界が期待されるので、こういう目標を置いているという、その2つがあって初めて意味をなす数字だろうと私も理解しておりまして、それでない限り、0.04とか1,000分の1というのはほとんど意味をなさないもので、そのことをぜひとも言っていただきたい。

これは恐らく研究のアイデアにもかかわることなので、恐らくなかなか表に出しにくいところはあるのかもしれないのですけれども、工夫をされて出していただく必要があるのではないかという点について、どうお考えかということが1点と、それから、このプロジェクトの特徴として、今、一生懸命、装置構成に努力されている途中でもあるので、なかなか成果として見えにくいですね。特許もありませんと堂々とお書きになられているのですが、これもちょっといかがかなと私は思っているのですが、学会発表も少ないし、ならばこそ、第1の指摘した点、期待値みたいなことはきちっと言っていただく必要があるのではないかということなのです。

それから、ちなみにコメントしておきますと、別のプロジェクトでいわゆる原子レベルの回

折像では例えば金属中の水素が見えたとか、収差補正をして電顕で。そういう成果が出ていますので、それで、まだ、何かさらに極端な分解能を要求しているけれども、これは何を見るのかというような話が出てこないとも限らないので、やっぱり収差補正自身も進んできていますから、したがって、ますますこのプロジェクトに期待されるスペック、達成目標の数字の意味をきちっとお話しいただくということが重要だと思うのですが、いかがでしょうか。

【説明者】

それでは、私のほうから答えさせていただきます。一つは中心研究者の考えるターゲットを果たすということはあると思うのですが、ご質問にございましたように、目標性能の中でも、この装置で特筆すべきなのは位相観察機能、三次元観察機能、それから超高加速電圧であって、厚いものが三次元的に見える、それから位相が見えるという事は、電場や磁場（ゲージ場と総称しています）、そういったものが見られるということでございます。通常の電子顕微鏡の分解能でも水素が見えるというレベルまで達成しているというお話がございましたが、そのとおりですが、そこに加えてゲージ場が観察できるということが特長で、例えば産業的な例で申しますならば、今、問題になっているような希土類磁石を重希土類元素なしでつくるといような研究開発を行うときに、従来型の材料研究のアプローチではなく、なぜ保磁力なり、残留磁化が大きいのかということナノレベルで明らかにした上で研究開発していくというようなところは非常に重要だと考えます。シミュレーションや理論とあわせて、磁石の粒界で原子配列の3次元的な構造がわかり、かつ非常に小さな領域の磁場が観察できるといった情報が必要だと思っております。

これは中性子や、X線などの計測技術開発がなされていますけれども、そういうものと、この装置のオンリーワンの技術もあわせて、現象解明を通じて、材料研究に貢献することが重要だと認識しています。以上は一つの例ですが、基本的にはゲージ場、電場、磁場にあわせて高分解能という特長を生かした一番いい使い方をすることだと考えております。また、それに関しましてはこのチームだけの知見ではなくて、日本のいろいろな知恵を集めて、一番、この装置の性能が生きる、かつ経済的にもアカデミックにも効果があるというようなターゲットをこれから検討する検討会のようなものを、立ち上げ中でございまして有識者にいろいろご意見を伺っています。そういった活動の中から、役に立つようなアプリケーションも探していく事を考えています。

【奥村議員】

もう1点、お金の使い方の報告書で日立製作所のほうで、経費Aでその他のところで3,400万という支出が出ているのですが、注釈がついていないのです。結構な金額なので用途が何なのかと事務的に確認して、事務局にご連絡ください。

【説明者】

わかりました。

【相澤議員】

今、ディスカッションのあったことに続いてお伺いしたいのですが、一つは理研で進められているほうの予備実験、それから応用実験の位置づけがちょっとわかりにくいので、これは一体、どういうためのもので、この段階で成果としてここに掲げられたことは、結局、どういう意味のある成果なのかという、そのあたりのところをご説明ください。

【説明者】

わかりました。新しい装置はなかなかすぐには使えるようにならないだろうということで、いろんなことを検討しなければいけないのと、ユーザーフレンドリーな使い方がまだまだできないような装置になるだろうと、まず、最初は。

それで、例えば三次元の実験に関しましては、2つのことをやっています。1.2ミリオンボルトの電顕での実験に向けて300キロボルトの現存の電子顕微鏡を使って実験を進めて、どういうところに気をつけなければいけないかと、それからどういうサンプルをつくれば見えるかとかを検討しています。それから、位相の検出精度を1,000分の1波長にするということもについても、どうやって進めていけばいいか、どのようなバイプリズムの使い方をしていけばいいとか、どのような測定をしていけばいいかというようなことをモデル装置として加速・強化資金で購入した電子顕微鏡を使って検討しており、以上述べた問題点を押さえていくというのが一つの大きな仕事になっております。ですから、1.2 ミリオンボルトの電顕ができ上がったときにスムーズに実験できるようにするための予備実験という位置づけにしております。

それで、成果につきましては、三次元計測では我々のところではまだ実際に測定器具やサンプルをつくって見ていくということはやっていなかったものですから、フォルダーをつくって、

Ptのサンプルを用いて実際に動かしてみても、どこまで攻め込めるかというようなことを進めております。それで、空間分解能は2ナノメートルを達成し、回転制御は0.01度以下までいっています。この論文は今審査中です。これは途中経過でございまして、現在どこまでいけるか、どこまで詰められるかというところを購入した顕微鏡でやっているところでございます。

それから、1,000分の1波長に関しても、ナノメートル領域での磁場や電場の観測やシミュレーションを用いて検討しており、100分の1波長まで達成しています。これからどうやっていけばいいか、どのような像のとり方をするといいか、平均をとるとか、電子ビームの動かし方をどういうふうにするか、そのような細かい実際の実験のやり方についての検討をしているというのが今理研メンバーがやっている研究です。

【相澤議員】

やはり伺っていても、この研究開発プロジェクトにおける位置づけということで、本来、目的としているところにつなげるという意味がわかるけれども、これが独立して、やはり、ここでも素晴らしいステップのところを進めて、そして達成しているんだと。だから、研究成果というものが独立にきちっと評価できるようなものをおられるのかどうかということなのです。だから、そういうようなことをきちっと対外的に、こういうような単純な整理ではなく、先ほど論文もというふうな言い方をされていましたが、これ自体が外にもわかるような研究成果としてアピールされるべきものではなからうかと思っているのですが。

先ほど来の説明は全部、本体のために、そのステップなんだということで、それ自体の先端性というか、そういうようなものがちょっと感じられないように思います。

【説明者】

すみません、説明の仕方不十分でした。電顕開発担当の日立と一緒にやっているということで、理研サイドとしては開発している電顕を使った研究にコントリビュートすることに重点を置いて説明しました。しかしそのステップでやっていることが新しいことであり、今までやられていないことをやってきましたから、そこは論文にして出していきます。そういう研究成果が最終的に大型の電顕の使い方に生きてくると、そういう位置づけでやっています。

【相澤議員】

ですから、そうすると成果のあらわし方が違うのではないかというふうに思います。つまり、

ここで成果として書かれていることは何の意味があるのかということが全く触れられていないので、これだと全く本体のあるステップをやっている補助的なことに映るわけです。ぜひ、それを見せていただきたい。というのは、こういう整理の仕方をしてしまうと、先ほどの全体としての研究成果がしばらくでない可能性があります。ちょっとそれも大変もったいないことで、それぞれのステップのところでやっておられることは大変重要なことではないかと思うので、それが外にわかるようにされることが必要ではなかろうかと思います。

もう一つは、日立とそれから理研とが機関としてかかわっておられるということは組織的にわかるのですが、この研究プロジェクトの共同研究者というのか、研究チームとしては固有名詞が出てくるような形で組織されているのか、あるいは日立として、これを全体的に日立の中研が例えばこれを全体的にバックアップしている、そういう位置づけなのか、これは経費の動かし方にもかかわる重要なことではないかと思うのですが、その辺はいかがでしょうか。

【説明者】

これは対等な2つの共同研究機関として、今、運営しております、場所は同じ場所でございますけれども、完全に部屋も分かれた状態で独立な研究機関として、その上で協力し合うという体制でございます。

【相澤議員】

ですから、研究者が特定されているのですね。ですから、それが見えるほうがいいのではないかと思います。今の推進体制が、理研においても日立においても、それが研究チームだという、これがないと多分、いろいろなところで問題になるのではないかというふうに思います。

【説明者】

おっしゃる点については、経費を執行するに当たって、どなたの人件費を見ているかという話になりますので、その意味では研究者等の名前が特定されていて、その方がいつからいつまでプロジェクトに参加しているかをもとに、その分をお給料として負担する形になっています。

【相澤議員】

実態としてこういうふうに把握できるように、そういうことをやられているのですか。

【説明者】

ホームページには全部、名前が載っていて、誰が参加しているというのが分かるようにしているのですが、説明資料には記載しておりませんでしたので、はっきりさせるようにいたします。

【奥村議員】

それからもう一つ、お伺いしたいのは全体システムを取り纏めるといいますか、建設中ということもあるかもしれないのですけれども、それなりにポストクというか、外部の人間を雇っているようですね。この人たちの育成ということを考えると、何か研究論文も少ないし、ほとんどが外村さんのお話しか上がってこないし、何かどんなふうにお考えになってポストクを雇っておられるのかと思います。ちょっとそのあたりが懸念なのですが、この点に関してはいかがでしょうか。

【説明者】

理研のほうでポストクを雇っています。

【奥村議員】

何人ぐらい雇っていらっしゃるのですか。

【説明者】

今、ポストクは3人です。みんな、プロジェクトなので5年間の任期つきです。

【奥村議員】

このプロジェクトで任期つきでやっているのですか。

【説明者】

そうすると3人です。

【奥村議員】

3人。日立は何人ですか。

【説明者】

ポスドクはおりません。

【奥村議員】

ポスドクというか、研究者で、ここの人件費計上を上げているのが20人いるのですが、これは職員でこの仕事に従事している人の人数ですね、日立さんの場合は。では、そういう意味では任期付きの人間はいない。

【説明者】

はい。

【奥村議員】

理研は3人。

【説明者】

はい。日立にはおりません。理研では、ポスドクは3人です。昨年4月、5月に、一人ずつ雇って、それからことし3月に新しく一人雇っていますので、そういう人たちが、今、実際に一生懸命、実験をやっている、論文を書いて投稿し、査読を受けている最中です。前からいけばすんなりいくのですけれども、電子線ホログラフィーを使った研究をするのは初めてというメンバーもあり、そこで着任後1年間は外村が毎日、鍛えて、やっと使い方に習熟し、それから物性評価もできるようになった段階でございまして、これから成果を出していけると思っております。この人たちも成果がないと次のステップもないということもございまして、そこは研究を進めていって、パブリッシュ・オア・ペリッシュという世界がやっぱりこういうところにもあるということをはっきり認識させて、しりをたたいているところでございます。

【奥村議員】

ぜひ、日立所属の研究者の20名の方も積極的に学術も発表していただかないと、全部が外村さんだけというのはやっぱり異様なので、ぜひ、そのあたりのご指導もよろしくお願ひしたいと思ひます。

【説明者】

はい。

【川本参事官】

それでは、先ほどの経費の関係については、また、事務局のほうでちょっと確認させていただきますので、よろしくをお願いします。

それでは、本日のヒアリングについてはこれで終了させていただきます。どうもありがとうございました。

—了—