

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  
（高性能蓄電デバイス創製に向けた革新的基盤研究）

1. 日時 平成23年9月28日（水）14：00～14：30

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

水野 哲孝 東京大学大学院工学系研究科教授（中心研究者）

工藤 徹一 東京大学大学院工学系研究科学術支援専門職員（研究支援統括者）

日比野光宏 東京大学大学院工学系研究科上席研究員

5. 議事

【川本参事官】

それでは、これより研究課題「高性能蓄電デバイス創製に向けた革新的基盤研究」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あります。

このヒアリングにつきましては非公開で行います。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、知的財産権等に支障が生じない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をさせていただきます。なお、本課題では、今、お配りをさせていただきましたが、回収資料と明示されたものを配付させていただいております。これにつきましてはヒアリング終

了時点で回収をさせていただきますので、あらかじめご了解いただきたいと思います。

時間配分につきましては既にご連絡しておりますが、研究課題側からの説明を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をお願いをしたいと思います。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、説明が途中であっても、そこで一たん中断をお願いしたいと思います。質疑応答に当たりましては終了3分前に予鈴を鳴らさせていただきます。

それでは説明をよろしくお願いいたします。

#### 【説明者】

それでは、ご説明いたします。

お手元の補足説明資料、表紙をめくっていただきまして、その後、10枚、資料を作成してまいりました。1枚目の資料は革新的物質開発を基盤とした蓄電システム開発ということで、我々のプロジェクトの重要な課題でございます。この図では左側の革新的物質開発に関しましては、酸化物材料、有機物材料、あるいは有機物と無機物の界面を接合する新規な物質開発を通しまして、右側にあります蓄電システムの正極材料、電解質、負極材料、あるいは界面を設計し、こういう合成技術だけではなくてシミュレーションあるいはその場観察、超高压電顕を通じた分析、あるいは高分解のXPSを通じた三次元マッピングによる界面解析などを行っていることを説明しております。

ここで、大きく分類いたしますと、一番下に書いてあります1番目、原子・分子レベルでの合理的材料開発、2番目、新原理蓄電池の開発、3番目、高度な分析・解析技術の開発、ここではin situ観察法の開発、4番目といたしまして材料計算・シミュレーション技術の開発から研究グループが成り立っております。

2枚目をご覧ください。2枚目には研究実施体制、役割と平成22年度進捗状況が簡単に書いてございます。私をはじめといたしまして12のグループ、その中にはトヨタと日本触媒という会社、システムメーカーと素材メーカー、かつ産総研という官に近いグループも含めまして、12のグループが研究開発を行っております。今年度、研究は順調に進捗しておりますが、特に特記すべきことといたしましては、東大の加藤グループが三次元伝導パスを有する液晶材料を使いまして、電解質のバルク構造を三次元で制御することにより、 $3.1 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ の伝導度を有する物質系を見つけております。この系に関しましては、後で詳細にご説明いたします。

一方で、東大の山田先生のグループではリン酸鉄リチウム系の新規物質を見つけ出しまして、

この系におきまして、最も高い3.5Vの電位、容量といたしまして110mAh/gを達成しております。さらに、ここでは赤線で付しておりませんが、東大の高木先生のグループでは新しいコンセプトを用いまして、軌道をいかに制御して二相安定型を達成するかということ、ロジウムとリチウムの複酸化物系で達成しております。一番下から2番目、東大の幾原先生のグループではリチウムのみならず、一番軽元素であるプロトンまでもきちんと観察できるABF STEMという装置を作製いたしまして、その観察に成功しています。

3枚目をご覧ください。いかに12の研究グループが系統的に研究を行うかということでございます。参画者といたしましては中心研究者、私を中心といたしまして企業、トヨタ、日本触媒、かつ産総研、東北大学などのグループが一体となって研究を進めております。特に研究の中心は東京大学に置きまして、そこに日本触媒あるいはトヨタの研究者が常時あるいは定期的に研究をし、ディスカッションするという、一つの屋根の下で研究を行って、関係プレーをとっているという体制をとっております。

4枚目をご覧ください。そのような状況の中で、いかにして結果が出てきたかというのを特記すべき事項としてご紹介いたしたいと思っております。これまで酸化リチウム、5酸化リン、金属酸化物の系では、こういう相図に基づいていろいろな新規化合物の開発は行われていました。鉄には2価と3価の状態がありますが、相図を新たに見直して、2価の状態を使って新しい化合物を合成するという事に山田先生のグループが成功いたしました。

その次のページ、5枚目をご覧ください。そのようにして実際に新たに合成したリン酸鉄リチウム系の化合物の結晶構造を描いてございます。この系の特徴はリチウムの伝導パスが二次元の伝導パスとなっております。オリビン鉄系で現在、盛んに研究されている系では一次元の伝導パスとなっているために、ナノパーティクルをつくらないとリチウムの伝導性の確保が難しいという問題点がございまして、二次元にすることによって比較的大きな粒子でもかなり高い伝導性を保持できるという結果が得られています。

次のページ、6ページ目をご覧ください。これは実際に測定した結果で、一番上から3行目に書いてありますが、1 $\mu$ mという大きな粒子でも1電子理論容量動作の110mAh/gという容量が確保できるということと、3.5Vというポテンシャルが確保できているということと、図の中にちょっと書いてありますが、1回目から30回目のサイクル特性もほとんど損なうことなく再現性を保持できるという、良いリチウムイオン電池電極材料の開発に成功しています。

次のページをご覧ください。双連続キュービック液晶構造を有する高分子電解質の開発について示してあります。液晶という材料を使いまして、高分子電解質をつくりました。ここにい

ろんな構造の図が書いてありますが、一番上は三次元にネットワークが規則的に配列しているというイメージで捉えてください。2番目のアモルファスと書いてあるところは非連続でパスがあると。最後は、カラムがランダムに配向してパスが途切れていると。一番上の連続的な三次元パスを持ったキュービック構造が一番高い導電性を示すということになります。

さらに次のページ、8枚目をご覧ください。この材料がとても興味深いのは、自己集合によるこのようなナノ構造形成だけではなく、光重合による構造固定化ということが出来るために、非常に薄い膜として使うことができ、リチウムイオン伝導性としては $3.1 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ ぐらいの導電性を確保できます。このように薄膜化したり、あるいは温度をかけたりすることによって導電性を向上させることもできるので、実用に用いることができるのではないかと考えております。

9枚目をご覧ください。9枚目は幾原先生のところで開発したABF STEM法を用いまして、大切なのは例えば一番上の図でいうと黄色の場所に相当しますが、リチウムが見えたということです。リチウムは非常に軽い元素で見えにくいんですけども、ABF検出器という検出器を用いますと、散乱される電子のうち低角側の電子を非常に効率よくとらえることができ、高角側にあるような重たい原子だけではなくて、軽いリチウムからの電子線をきちんと確保できる、すなわち検出できるということでございます。

さらに10枚目をご覧ください。最後のページになっております。このような手法を用いますとリチウムだけではなくて、一番軽い水素原子も検出できるという結果でございます。この点に関しましては、幾原先生のところが最先端プログラムで雇ったポスドクを使い、さらに我々の資金を用いて装置の改良などを行って水素も見えるということで、東京新聞あるいは日経新聞あるいは朝日新聞などの記事として報道されたということでございます。

簡単ではございますが、以上です。

#### 【川本参事官】

どうもありがとうございました。

それでは、これより質疑応答に移りたいと思います。ここからの進行につきましては、奥村先生、よろしく申し上げます。

#### 【奥村議員】

どうもご説明をありがとうございました。

せっかく中心研究者にお見えいただいていますので、最初に今後の研究の方向性について若干の質問をさせていただきます。このテーマはもともと革新的ということで、ある意味ではいろいろなタイプの電池の原理をどちらかというと探索的にやってみようというところがあったと思います。ここに書かれているように、全固体から空気から、ある意味では何でもやるといった部分もありました。今日、ご説明があったのは新しいオリビン系の材料を見つけましたという話ですが、今後の展開を考えたときに、残った期間で、当初計画をこのままさらに進めるのか、今日、ご説明のあったような新しいリン酸系の材料を用いて、これを中心に集中的にやろうとお考えなのか、そのあたりの基本的なこれからの研究のスタンスを最初に教えていただきたい。それが1点目です。

2点目は、大変すばらしい材料発見をされた割には特許の出願が2件しかない。これだけ全方位的にされているにもかかわらず特許の出願が2件しかないのは私にはなかなか理解しにくいので、その理由があれば教えていただきたいと思います。

3点目は事実確認ですが、今、ご説明の中で幾原先生の収差補正した電顕で水素が見えたというお話がありましたが、この装置の改造にこのプロジェクトの資金が使われたということでしょうか。

#### 【説明者】

では、ご質問の3番目からお答えします。これは幾原先生にも問い合わせをして、ご質問も受けた事項ですので、まず、この研究自身は謝辞の欄にも書いてありますように、論文でもきちんと確認しましたが、謝辞のところにはFIRSTプログラムの謝辞しか書いてございません。かつファーストオーサーはポスドクの方でして、これもこのプロジェクトで雇っているポスドクの方です。これらの点からもわかるように、このプロジェクトで出た成果でございます。

1番目のご質問に関しましては、ここで出た成果に特化していくのか、あるいは全方位的に攻めるのかという戦略を奥村先生は聞かれていると思うんですけども、欲張りなんですけれども、今のところは両方です。というのは、本プロジェクトでは新しい物質開発をするプロポーザルをさせていただきました。これについて当初は全日本的なレンジで、そういう合成できる人を集めてはどうかというコメントを受けたんですけども、予算の関係もありまして東京大学を中心として、東北大学、産総研を含めて新しい物質材料開発を行うという観点で開発を進めています。

そういう開発の中で、電解質あるいはオリビン鉄に類似した構造を持つものに関しましては、

新しい材料系が見つかっております。それ以外にも、きょう、お話ししませんでしたけれども、例えば単純な遷移金属の例えばコバルトのようなカチオンを1個、2個、3個、4個と構造制御した化合物に入れていくと、1電子、2電子、3電子、4電子反応ができるので、その構造の電子を出し入れできます。これは酸化物の1電子還元、2電子還元、さらに3電子、4電子還元へと繋がります。そういうものの構造と特性との相関が今、だんだんわかってきています。そのようなことは基本的な開発路線としてはとても大切な重要な知見ですので、そういう基礎的なことはやっぱり詰めていく必要があると考えております。

一方で、見つかりましたおもしろい材料に関しましては、研究グループ体制で少し申し上げましたように、企業も来てやっておりますので、いろいろ話し合いながら、企業に持ち帰って実際に使えるかどうかという検討を行っていただきつつあります。ですから、そういう意味でちょっと欲張りなんですけれども、両方で攻めたいということを考えています。

ご質問の第2点目に関しましては、そういう出てきた材料に関しましては、一応、特許戦略としましては、我々はそれを発見した研究者と機関の間で特許をとるかどうかというのを決めてもらっています。東京大学はプロジェクトが5つございまして、そういう話し合いを産学連携本部も中に入りましてさせていただいているところでございます。2件が多いか、少ないかに関してですが、現在、出願中のところも何件かございまして、そこにはまだ書いていないものがございます。今日、申し上げませんでしたけれども、あるグループで見つけた新しい材料のものに関しましては特許出願中とか、そういうものは続々と出てきていますので、ちょっと過渡的な段階だと。今、お受けいたしましたコメントは持ち帰って、なるべくそういう特許化とか、そういうことを積極的に行ってくださいというのを大学の産学連携本部、あるいはここにおられる本部の方ともあわせて詰めていきたいと考えております。よろしいでしょうか。

**【奥村議員】**

それはぜひお願いしたい。特にこれを必ずしも主流としないで、ほかのものも当初計画どおり進められるということなので、残るのは権利関係だけの成果ですので、これはやはりきちっとやっていただきたい。お願いします。

**【説明者】**

ありがとうございます。

### 【相澤議員】

当初のプロポーザルの段階での私の理解は、いろいろと今まで営々たる電池研究があり、それを全部、根本から見直して新コンセプトの電池を出すんだというふうに理解したんです。その研究開発を進めていく中で材料が新発見され、いろんなことが出てくる。でも、今までとは違うんだという新しいコンセプト、それを新原理と言っているんだと思いますが、この新原理が、今日ご報告いただいたところでは分からないというのが私の印象で、それはどうなったのかと。これがここで言っている全固体ということだけなのかどうか、ということも含めて、それをまずご説明いただきたいと思います。

### 【説明者】

分かりました。新原理に関してですが、現在、出てきている中では、例えば今日口頭でだけ簡単に言ったんですけれども、ロジウムとリチウム系の話に関しましては、二相共存系の電極では体積変化をなるべく小さくしないと、サイクルによって壊れてしまうという話がございます。そういう系におきましては、ちょっと細かいことを話させていただきますと、 $t_{2g}$ 軌道と $e_g$ 軌道があって、 $e_g$ 軌道に一つだけ電子が入るような状況では、結晶が歪むため構造の崩壊が起きるとというのが研究者の間では感覚的なこととして分かっておりました。

そこで、ロジウムを使うと $t_{2g}$ だけで済ませられるので、構造の変化率も0.5%という非常に小さくできることを実証し、実際に非常に安定な電位が供給できるという結果は得ております。ロジウムというだいぶ高価な金属を使っていますけれども、このコンセプトに従って他の元素を組み込むことで、新しい組成・構造の電極材料をつくり出すことができると考えております。

一方で、同じグループからですが、固体電解質をキャパシタ系に応用すると、普通、カーボン系、炭素で言うと大体容量として $20 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ ぐらいに対して、そういう状況をつくってやると110ぐらいまで値が上がります。これは新しいコンセプトで、どうしてそういうものが発現したのかというのは、現在のところまだ分かっておりません。書類の中にも実は簡単に言葉では書いてありますけれども、この辺は原理的に非常に面白い現象が絡み合っていると思っています。

一方で、本当に新しい材料開発は少し時間がかかると考えております。例えば我々のケースでいうと、先ほど奥村先生にも少しお話したように、どんなふうな構造体と、どんなような金属がいくつ集まれば多電子還元ができるのかという基礎的な開発段階がございますので、これに関しましては必ず終了時にはこういうことができるというのを報告したいと思っております。

す。

一方で、例えば相田先生のグループでは、まったく新規な構造体を持ったような電池をつくるということで、今、合成を開始しております。そのような成果はやはり合成的な面でいうと、ちょっとできたよということではございませんので、一応、そういうコンセプトを持ちながら研究を進めているということを理解いただきたいと思います。

**【相澤議員】**

このプレゼンテーションの資料、ここが新電池であるという、これだと、今お話しいただいた新電池というのは何なのか、これはプロジェクトのフォーメーションを示しているに過ぎないのではないかというふうに思うんです。すると、この中の新原理、このところにも書かれているんですが、これが新原理の新電池なのかというところ、こちらの成果のところも、新原理のところは極めて弱いんです。ですから、こういうことだとミスリーディングになると思うんです。先ほどのご説明は、淡々と進めるというふうにしか見えないので、それでいい材料が見つかったら、それもちょうとやりますと、一番強く掲げた旗印を明確にして、本当に新電池というのは何なのかということを最初に掲げられるべきだと思うんです。

**【説明者】**

ありがとうございます。プロポーザルの段階で提出したものはこういうようなプロポーザルをさせていただきましたということで、ここは書かせていただきました。次回にはきちんと、相澤先生にご助言いただいたことを基に、ここに新しい電池のコンセプトはこういうところだということを掲げたいと思います。

**【相澤議員】**

それで、それは大きな可能性がありますでしょう。

**【説明者】**

例えば加藤先生のところのこういう液晶材料でも、先生は新規性を感じられなかったかもしれないんですけども、液晶材料でもやはり三次元ネットワークを連続してつくって、しかも一つの電解質の中の構造も制御して、ちゃんとイオン導電パスを確保しているような材料はこれまでにはございません。



【相澤議員】

材料としてそういう新規性は出てきているんだけど、新電池というところ。

【説明者】

物として考えています。

【相澤議員】

まさしくシステムとして、これを明確に。これですとどこに新規の電池システムというものがあるのかが、見えないんです。

【説明者】

例えばそれに関しましては、ちょっと日比野先生がやっている研究がございますので、少し紹介させていただきたいと思います。

【説明者】

私は、新しい電池が必要だということで今年度から水野グループで仕事をさせてもらっています。通常、電池といいますと、今、使われているものは電極と電解質を組み合わせる、いわゆるガルバーニ型の電池というものですが、実際に使うときにはその枠から外れられません。それは古いとは言っても、それをベースにしています。その中でここにもあるんですけども、リチウム以外のものを動かすことが考えられます。それはリチウムイオン電池の次の電池ということで、よくナトリウムとかマグネシウムとかがされていますが、そのようなカチオンでは今のリチウムイオン電池の延長になってしまいます。

今、私と一緒にやっているポスドクの人からもアイデアをもらってやっておりますが、新しい電池として、酸化物を使って酸素を動かす電池を開発しています。起電力などの問題はありますし、非常に困難は多いところなんですけど、酸素を動かす電池というのは非常にありふれた材料で安価にでき、元素戦略的のも有利です。実際に実証的なところは半分ぐらい成功しています。

【相澤議員】

そのようなところが、本当にこのプロジェクトで提起されるものならば、それをしっかりと軸にして、つまり、今、革新型電池とか、次世代電池とか、ポストリチウムだとか、言葉があふれているんです。このプロジェクトが採択されたときには、そのディスカッションもありまして、それでは、そういう従来の路線ではないようなものを打ち出すんだということなので、それをぜひ打ち出さないと、これだと埋没してしまうと思います。今までのいろいろな電池系と並列する形になってしまうと思います。

**【説明者】**

ありがとうございます。

**【奥村議員】**

今のお話と全く裏腹なことをもう一つ追加しますと、結局、積み上げ方のさっきの新材料の新しいオリビンみたいなのを開発するというのは、言ってみますと、今の電池の枠組みの積み上げの成果です。やはり、そういうことをやりつつ革新というのはなかなか難しいと思うんです。ですから、例えば先生が将来、金属空気だと、ポテンシャルを感じると、例えばそれを実現するには何をしないといけないのか。そういうブレークダウン型をしない限り、従来の積み上げ型の研究でこのプロジェクトは終始するのではないかと、私は懸念しています。

電池として今のご説明があったような、どういうイオン種でやるとか、それは電気屋にとって見れば大事な話ですけれども、普通の国民にとってみると、最後の電池としてのパフォーマンスなんです。大きさが極端に小さくなるとか、それから長時間もつとか、そういうパフォーマンスが革新的であることが革新的基盤です。恐らく私はこのプロジェクトが期待されたのは、そういうことだろうと思います。個々の要素は革新であることは必要ですが、その断面だけではなく、トータルのパフォーマンスとして革新的なパフォーマンスを示す電池だということを期待しているのではないかと考えています。

ですから、そこへつながるには、相当思い切って、中心研究者としてフィージビリティを含めたポテンシャルを見て、こういう電池の構成ではないかというような目標設定から、その目標設定に到達するために越えないといけない課題解決をしていくことをされないと、探索的なテーマが幾つか出てきて、断片的なご報告に終始しないかということを心配しております。

**【説明者】**

この提案を受け入れていただいた時点では、まず、各論的にいいますと、各電池のパーツにおいて新しい材料、それもこれまでに使われていないような新しい材料開発をする、プロポーザルの段階では20年後に物になるような材料ということでした。ただし、今、奥村先生が言われたように国民的なニーズに対しましては緊急性が余計増しているので、今、言われたようなコメントは重々考えている次第です。

それにしても、やはり、新しい物質をつくるという意味はわかっていただき難く、すごく時間がかかることです。そこをいかにしてやるということとともに、我々大学の研究者も、当然、工業化されたり、実際にみんなに使ってもらうことを念頭に置いて一生懸命やっていて、今、言われたようなことも非常に注意しながら実用化研究も行っていきたいと考えています。

#### 【本席議員】

このプロジェクトは特殊なオーガニゼーションをされていて、1グループになっており、それはインタラクションが良いということでされたんだと思いますが、逆に見ると、それぞれがサブテーマを持っていて、それぞれ得意なことをやっている。ベクトルが同じ方向に向いているということは、どういう形で先生はそれをやっておられるのでしょうか。

#### 【説明者】

それは定期的に例えば1カ月に1度、グループミーティングを行ったり、あるいは半年に1回、全体の会議を行ったり、あるいは工藤先生に定期的にいろんなグループに行っていて話を伺って、情報を得るとみんなにメールを流して、ここでこういう研究を行っていて、この材料はこちらで使えるんじゃないですかとか、そういう有機的な縦方向と横方向の糸は通している、情報を流通させています。先ほど本席先生が言われましたように、各研究グループが東京大学を中心として、やはり、一つの箇所に集まって情報をシェアし合う。それはやはり、こういう各サブグループのリーダーではなくて、研究している人たちが実際に集まって、情報を流し合いながら、シェアリングしながら、ここでこんなものが見つかったから使ってみたらどうだとか、そういう話し合いをするのが一番重要なことではないかと考えております。

#### 【青木議員】

せっかくですから伺いますが、この新物質は特許をとられるんですか。

【説明者】

もちろん、とります。

【青木議員】

それで、製造特許もとられるんですか。

【説明者】

要するに基本特許、物質特許をとるということです。

【青木議員】

今の製法というのは工業化がすぐにできる製法なんですか。

【説明者】

物をつくる製造法の特許と物質特許は全く違います。製造で特許をとるというのは大量生産できるかどうかという青木先生のご意見だと思いますが、それはまた、合理化とか、いろんなステップが必要になってきますので、それは企業サイドに送って考えてもらいたいと考えています。

【青木議員】

今のつくり方というのは、そういうのにはまだ……。

【説明者】

まだ、大量合成というのはなかなか難しい段階です。

【青木議員】

どうもありがとうございます。

【川本参事官】

それでは、これでヒアリングを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。資料のほうは回収をお願いいたします。

- 了 -