

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）中間評価に係るヒアリング
（新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用）

1. 日時 平成24年9月4日（火）13:00～13:50

2. 場所 中央合同庁舎4号館12階 共用1211会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

今榮東洋子 総合科学技術会議議員

橋本 和仁 東京大学大学院工学系研究科教授（外部有識者）

北川 宏 京都大学大学院理学研究科教授（外部有識者）

小柳 光正 東北大学未来科学技術共同研究センター教授（外部有識者）

田原 修一 日本電気株式会社中央研究所支配人（外部有識者）

吉野 彰 旭化成株式会社フェロー（外部有識者）

中野 節 内閣府官房審議官（科学技術政策担当）

中川 健朗 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（総括担当）

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

細野 秀雄 東京工業大学フロンティア研究機構教授（中心研究者）

西山 和徳 東京工業大学研究推進部部長（研究支援統括者）

熊倉 浩明 物質・材料研究機構超伝導材料センター長

田辺 圭一 国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所副所長

室町 英治 物質・材料研究機構理事

5. 議事

【事務局】

定刻になりましたので、これからFIRSTの研究課題「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」の中間評価に係るヒアリングを始めさせていただきたいと思えます。

中心研究者である細野先生初め、皆様方お忙しいところお集まりいただきましてありがとうございます。

それでは、本日の出席者でございますが、お手元の座席表のとおりでございます。紹介は割愛させていただきます。

それと、配付資料、これもお手元に一覧を配らせていただいておりますので、ご確認いただきたいと思えます。

このヒアリングにつきましては、非公開で行いますが、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した上で、議事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、研究課題側からの説明が15分、質疑応答35分ということで、時間厳守をお願いをしたいと思います。

なお、説明に当たりましては、あらかじめお願いしておりますが、課題全体の研究の進捗度合いと目標の達成見通しについて、国際的な優位性とサブテーマの役割、相互関係を含めて、簡潔かつ明瞭なご説明をお願いしたいというふうに思えます。

説明では、終了5分前に予鈴、終了時間に本鈴を鳴らさせていただきますので、時間が来ましたら途中であっても説明のほうは終わらせていただきたいと思えます。

質疑応答では、終了3分前にベルを鳴らさせていただきますと思えます。

それでは、これより課題側からの説明のほうをよろしくお願いいたします。

【説明者】

中心研究者の細野です。

この提案のもとになりましたのは、2006年から2008年の鉄系超伝導体の発見、これは我々のグループが行ったものですが、実は透明酸化物半導体の研究から見つかったものです。

それで、このように本来の目的に少し関連するものから新しいものを見つけるというのが優れた研究者というもので、必ず物質系というのはそういう特徴があると私は信じています。

ですから、このプログラムでもこの探索の中に超電導以外のものを必ず、これは意識的に混

で込んでいます。もちろん新超電導メインですけれども、その中に新しいものを見つけるということを意識的に入れております。またそういうチームをつくっております。

それから、もう一つは新超電導体の線材化ということをご中で行っております。

現在、超電導では世界の論文の70%が鉄系超電導になっております。このチーム編制は、探索のほうは超伝導物質及び電子機能材料の創出のエキスパート、日本のエキスパートと考えられる方をこの中にチームとして入れております。

4つありますけれども、全部おのおのが違った得意技を持っております。

これはどちらかというと、ケミストリーが強いのですけれども、物性物理がないとつらいので、物性物理とはこの連携ということで、JSTのTRIPのメンバー、これが動いておりますので、そちらと連結しております。足りない部分について連携をしております。

それから、線材チームはISTECとNIMSです。それぞれ方法が違います。薄膜線材とPIT法、これを用いております。

自己評価ですけれども、これは5つの目標を掲げておいたわけですけれども、まず1番目、 $T_c = 77\text{K}$ 以上ができるか、これは三角です。わかりません。ただ、できる可能性が、ストーリーが見えてきたということをご後で紹介いたします。これは三角です。

あとは丸と二重丸ですが、2番目、物質系に広がりのある新しい超伝導体を見つけるということなのですが、これは実は後で表が出てまいりますけれども、20種類以上の新規母物質を見つけております。これは20種類を見つけたチームというのは、世界的に今までないはずで

それから、3番目は際立った関連機能の発見ということごです。今日出てまいりますけれども、アンモニア合成の触媒をこの中に見つけております。これも後で紹介いたします。

4番目はこういう目標の鉄系及び新超電導のメートル級の線材ということで、これは今年から主な注力点になっているわけですけれども、本質的にこの鉄系ということが有利だということがわかりました。これについて紹介いたします。

それから、5番目はジョセフソン接合などのデバイスを鉄系で一番最初につくるということごを公約していたわけごですが、これは実現をいたしました。これが自己評価ごです。

それで、成果をどういうふうにご公表しているかごですが、これは成果の統計ごですが、論文、学会発表、特許申請、図書、アウトリーチごとか、雑誌は大体ここに書いてあるような雑誌に出ている。特許が少ないというご指摘を受けておりますごが、実際に役に立たぬ特許は取っておりません。

それから、それはお手元にごありませんけれども、このプロジェクトで見つけた新しい物質ご

いうのは60種類です。ただ、似たような物質がたくさんありますので、ペアレンツの物質が一番重要なのですが、新ペアレントの物質は20種類です。これは超電導になったものです。

どのくらい試したかということなのですが、これです。ここに書いてあるのが少なくとも400は書いてあります。400試して、これはサンプルができたものです。結晶ができないものはたくさんありますので、それを除いて400以上試しております。ある方針で試しているわけですが、このうち超電導になったものがさっきぐらいのものです。ところが、赤の部分は真ん中で見て新しい機能を見つけて、超電導以外のもので外部発表ができたというもの、それはお手元に配ってはおりません。

それで、これから大きい成果について紹介をいたします。まず、鉄系超電導です。

これは我々が見つけたものですが、非常に大きな進展がありました。

どういうことかといいますと、鉄系超電導、これは一番温度が高いサマリウム系ですが、アンチフェロが消えて、キャリアが消えたところで超電導が出てくるということなのですが、今まで実は10%しか電子が入らなかったのです。

これは酸素をフッ素に入れて、電子をドーピングするのは、これは我々が2006年ぐらいからやってきた方法なのですが、世界中この方法をやっておりますが、実はここまでしかできていないのです。

こちら側は何もわかってなくて、多分こうなるだろうということでいろいろなことをやってきたわけですが、フッ素ではもう無理です。希土類と酸素のフッ化物ができてしまって、これ以上できないわけです。これに対して我々が考えたことは、酸素を水素で置換する。水素をマイナスで置換するということを考えたわけです。これは非常に斬新なアイデアだと思います。

これは、ただ普通の方法ではできませんので、少し合成法を工夫いたしまして、この超電導ドームを初めてつくりました。実はこんなドームではなくて、こんなふうに広がっていて、こういうピークがあるのではなくて台形のドームであるということです。

これを他の系で拡張いたしますと、まず一番プロトタイプになりましたランタン系です。

ランタン系はこういうふうだと、我々は一番最初にこの結果を報告して、皆さんもその後追従したわけですが、実はこちら側にもっと大きいドームがあったということです。我々はこちらしか見てなくて、こちらのほうが大きくて T_c が高いんです。これは性格がまるで違います。

この後出てきますけれども、ランタンから希土類を小さくしていきますと、これが系統的に

変わってきます。実はこれも今までこの辺しか報告されてなかったわけですがけれども、こんな広いドームで、なおかつピークの位置がこちら側にずれるということで、初めてこれで超電導のドームが完成したということです。

これに対しまして、 T_c の高いところで何が起きているかということですが、実は T_c の高いところでは、これはフェルミレベルですが、鉄の3つの軌道がちょうどこのピークのところでフェルミレベルで重なるんです。軌道縮退というのが非常に高い T_c 、この系の T_c をもたらしている決定的な要因であるということがこの証拠です。

実際に、これは鉄系超電導が出た後、理論家が最初に言って、皆さんこれを信じたわけです。こういうフェルミ面、ここにホール面が2枚あって、電子面があって、この間にホール面とエレクトロン面の間で電子がペアを作って、クーパー対を作るというのが、これがいいと言われていたのです。実はそうじゃなくて、今までよりも3倍も4倍も電子が入ったほうがいいということです。このエレクトロン、ホール面はほとんどなくなるわけです。

この形状は四角になっています。この間に実はペアリングができるようになりますので、このフェルミ面が高い T_c に対して非常に重要だというのが、我々が見出したことです。これは非常に大きな手がかりだと思います。

それから、具体的なものの探し方としては、実空間では金属イオンの平面正方格子を持つ超伝導体というのをこの鉄系からヒントを得ましてやっております。

具体的には、遷移金属の磁石になる3つの元素、鉄、ニッケル、コバルトの内、コバルトを除きますと、既に我々も2006年から2008年で超伝導体を見つけていたのですが、コバルトだけは全然できない、いつも磁性体になってしまいました。これもここをボロンに変えること、これは新しい物質ですがけれども、ボロンに変えることによって、この物質が実はバルク超電導を示すことを見つめました。

ですから、鉄、ニッケル、コバルトという磁性の大きな磁気モーメントを持つ物質がすべてバルク超電導になったということです。磁性と超電導が、相性が悪いということは、完全にこれにつぶしたということです。

それから、いろいろ細かいところがあります。

チタン系ですがけれども、これはキュープレット (Cuprate) のちょうど銅の逆側で d^1 ですがけれども、これは酸化物ではできていませんでした。これを混合アニオンにして縮退を外してやるとできるということです。これは陰山グループの結果です。

これは山中グループの結果ですがけれども、インターカレーションを使いまして、これは Ti

NC1というのは山中先生が昔見つけたものですが、この物質に実はナトリウムを入れると、これは電子キャリアができます。それから、中性分子を入れますと、この間で層間を変えられます。

ですから、キャリアと層間距離と構造を独立に変えられるわけです。そうしますと、 T_c と距離との間にこういう関係があるということが初めてわかりました。この手のことはたくさん実は出てまいります。

これからデバイスのほうですけれども、デバイスのほうにつきましては、これは室町グループですけれども、ナノワイヤ・ウィスカーができました。これはこんな形で、サブミクロンの太さでして、曲げても非常に強いものです。これは驚いたことにジョセフソンを作りますと、SISの明確なジョセフソンが出ております。

それから、鉄系のエピタキシャル超電導薄膜を使って、ジョセフソンを世界中で最初に作る、ということを公言していたわけですが、これができる。Jcが4メガアンペアのエピタキシャル膜ができましたので、これでジョセフソンを作って、スクイードを約束どおり一番最初に世界で作りました。

それから、これから粒界の線材応用をするわけですが、線材応用で一番重要なのは粒界です。どのくらい粒界の角度を大きくしてもJcが落ちないかということはこのエピタキシャル薄膜をツインの単結晶基板の上で作って測ったわけです。

そうしますと、これはYBCOのラインですが、YBCOは4度ぐらいで落ちてしまうのですが、 10^6 アンペアの電流値で、実は9度まで保ちます。9度まで保つということは、隣の粒子と粒界が5度ではなくてその倍までいいということで、こんな大きい粒界というのは非常に少ないものですから、実用的にはこれは非常に希望の持てる結果だということです。

我々はその次にやわらかい金属の上にバッファ層を組んで、それで線材をつくろうとしたわけです。バッファ層はMgOですが、MgOは面内で7度もぐらぐらしています。それでもその上でエピをしますと、実は単結晶基盤と上につくったものとほとんど同じものができるということで、これも線材応用に対して極めて有利な結果だろうと我々は思っております。

それから、これはそれに基づいて磁場中のJcのほうですけれども、こういうものを作っております。これはクリーンなサンプルができるということです。

それから、PIT法、ちょっと古いのですが、これは実用的なことを考えまして、粒界特性が非常にいいですから、出発物質を入れて溶かして作りますとこのようなものができる

す。20テスラぐらいになると、今まである線材よりも J_c は高い値が保たれます。

機能関連物質では、これは C12A7、セメントですけれども、これの超電導を我々が見つけたわけです。さらにこの物質はワークファンクションが2.4と低いので、何とかアンモニア合成に使いたいということが10年来の私の夢ですので、これを試みてみました。

そうしますと、これはルテニウムなのですけれども、ルテニウムを触媒と担持にしますと、今までのルテニウム触媒よりも1桁ターンオーバーフリークエンシーが高く、反応速度半分、それからこれは水素で被毒してしまうのは常識だったのですが、実は水素に対して被毒しない、さらに反応次数が、これはプロが見ると仰天するのですけれども、0.5です。0.5というのは、窒素原子への乖離がスポンテニアスにしている可能性があるということです。

これはなぜこんなことが起きるかといいますと、金属アルカリと同じぐらい電子を供与しやすく、なおかつ水素が入りますと、水素は H^- としてケージの中に入りますので、被毒しないわけです。必要なときに出てくるわけです。こういうものを使いましてアンモニア合成触媒、これはちょうど論文が通ったところですが、かなり大きな産業的インパクトがあるだろうと思っています。

それから、あと関連機能としましては、ここに示しましたような4つ、それなりの雑誌に出たものを書いております。

これからどういう方向に持っていくかという最後の展開になるわけですが、まず探索チームのほうは、今までいろいろなものをやってきました。各探索チームとも大体2つぐらいに絞ってくれというので、絞っております。

例えば、我々のグループですと、このフェルミ面を持つものをこれは k 空間ですけれども、これを実空間でこういうものを探すとということです。

それから、エピ膜の電解誘起超電導、陰山グループについてはミックスアニオン、それから室町グループについてはナノウイスキーと超高压、それから山中グループについてはこういう拡張を行うことで、それからこういうものを開発してきましたので、これから連携を強くして、ゴールに向かって行きたいと思います。

それから、線材応用につきましては、これは本質的に有意なことが見つかったわけです。これを使いまして、PIT (Powder-In-Tube) と薄膜線材両方使いまして世界最高をつくろう。薄膜では世界最高ですが、PIT法では7月にフロリダ大学のグループがHIP (Hot Isostatic Pressing) を適用して高い値を出してしまいまして、これが世界記録になっています。

これを、HIPを使わないで、もっと現実的なプロセスでつくろうというのが熊倉グループのアプローチです。田辺グループにつきましては、人工ピンを今まで入れておりません。それから、中間配向層も余り厳しいものではないものを使って実用的なものをつくろうと。

実は初めの計画でも、後期でここに注力をするということで。前期のうちは余り確かに成果が上がってないように見えますけれども、後期についてはここに注力をするということです。

以上です。

【事務局】

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いては奥村先生、よろしく願いいたします。

【有識者議員】

それでは、これから質疑応答に入りたいと思いますが、議論の進め方として、かなり性格の違う目標が5つ出ている。ですから、いきなりいろいろやりますと混乱しますので、まず超電導の探索機能の話と、それからもう一つ探索とデバイス系、それから違った機能が一つ出ています。もう一つは線材、大きく3つに分けてちょっと質疑をさせていただきたい。

事務局

【有識者議員】

35分ですから、余り時間がありませんので、恐れ入りますが、先生方のほうから逆にこの5つと3つのカテゴリーの最初の本質的な鉄系超電導の新しい物質の探索と用いたデバイス、この件に関してご質問あればお願いしたいんですけれども、いかがでしょうか。

【外部有識者】

細野さんの鉄系超電導のオリジナルをやった人としてどんどん進めていっているということは大変すばらしいことで、感嘆に値するんですけれども、よく細野さんが言われているように、中国が物すごい勢いでやってくるという中で、頑張っただけでさらに数としては多分中国に負けているけれども、ものとして、新しいものとして勝っているぞと、こういうあれだと思えるんですけれども、今後の戦略的なことを考えたときに、だからここまでは僕はいいと思うんですけれども

も、今後の戦略的なことを考えたときに、やってもその後すぐ何かちょっとマイナーチェンジで追い抜かれてしまうみたいなことを考えると、多分特許の取り方とか、何かそういうようなことで工夫をする必要があると思うんですけども、細野さんのことだから考えているんじゃないかなと思っっているんですけども、それはどういうふうに。

【説明者】

実は鉄系超電導は、皆さん我々がやった後、中国が全部やられたと思っっていますけれども、実は特許を取ってあるのです。特許で相当苦勞していますので、そう抜かりはないと思っいます。

ただ、今回余り特許を取れなかったのは温度が低いためです。超電導は温度が低いと特許にするだけばかばかしいので、実は温度が低いということが鉄系の今現状よりも高い温度、あるいは J_c が 1 桁高いとか、明らかに優位性がないと、僕は特許を取る必要ないと思っっています。橋本さんが言われたように、特許に関しては非常に気にしてあります。

それで、中国の追い上げが厳しいというか、日本の超電導は強かったのですけれども、大分中国に勢いとして負けそうになってきているものです。ただ日本からオリジナルな母物質というのは、結局超電導のオリジナリティは何で決まるかという、ペアレンツの物質ですよ。誘導体ではないです。ペアレンツの物質を探す強さというのは、日本が断トツに強いし、我々はこの数は今 20 種類ですけれども、20 種類見つけたチームがあるはずがない。これだけは断言できます。

【外部有識者】

これは特許的に今鉄系を押さえているとおっしゃったけれども、例えば今回のものなんかも、そういう場合、押さえているものに基本的には全部含まれるんですか。

【説明者】

T_c が低いので、取っっていないです。僕は取らなくていいと。

【外部有識者】

だから、取ってないということは、だからその中に……。

【説明者】

意味がないということ、実用的に。

【外部有識者】

だから、入ってないということですよ。

なので、私はよくわからないから、細野さんがよく言ったように、中国がばばっ、ばばっを取ってしまうんだと言っているじゃないですか。それに対する対応もできているという意味ですか。

【説明者】

本当にいいものが見つければ、系統的に特許は取ります。今までも実はランタン系を見つけたときに、希土類によって変えたものは全部特許を取っています。ただ、取っても成立するかどうかというのはまた別の話です。

【有識者議員】

どうぞ。

【外部有識者】

400以上のテーブルの中からいろいろ探索されたということで、あれが秘中の秘というのはよくわかるのですが、恐らくテーブルの中から選んでいく過程に先生なりの考え方があるんじゃないかなと思います。その考え方というのは何か、差し支えない範囲で教えていただけますか。

【説明者】

それは構いません。僕は3つだろうと思います。

1つは、結局超電導はペアレンツに何を使うかです。親に何を使うか。親は絶対にあるエネルギーを持っていなければならないし、ある自由度が死んだときに揺らぎになって超電導が出るわけです。ですから、ペアレンツとしては反強磁性のものが一つです。アンチフェロ、実は本命はマンガンなのですけれども、マンガンはアンチフェロが強過ぎて消えないです。鉄になったわけなのですけれども、それからもう一つはSDWというチャージトランスファーでもいいのですが、チャージオーダー、それを消すか。

それから、もう一つ考えられるのは、秋光先生が見つけたMgB₂がそうですけれども、やはりフォノンで、要するに結合の強いところでハイフリークエンシーなものでいこうと、この3つだろうと思います。僕はハイフリークエンシーなものは見つけていない、やらないです。おもしろくないからやらないのです。

超電導の研究というのはこれからずっと続くわけです。続いて、あきらめてはいけないのです。そのときに、どこまでペアレンツとして次の世代に引き継げるものを見つけられるかというのも我々の責任です。ですから、BCSは基本的には僕はやらないという方針です。

【外部有識者】

目標がT_c = 77K以上ということで、現在大体……。

【説明者】

57です。

【外部有識者】

57まで来ているということですか。

それを今後目標の77Kまで持っていくに当たり、工程表といいますか、考え方というんですか、その辺はどんなふうにお考えなんでしょうか。

【説明者】

これは超電導のどの専門家に聞いてもいいのですけれども、ストーリーのある人はいないのです。キュープレット (Cuprate) の超電導が見つかったとき、あの前はBCSの壁で23Kは超えられないという理論まであったわけです。キュープレット (Cuprate) が見つかって、その後鉄系まで20年以上かかっています。

T_cを定量的に予言できる理論が何もないです。これはだれに聞いてもそうです。世の中にそういう物質が存在しないということではなくて、一番単純には何を思い浮かべていいかといいますと、超電導ギャップの大きさというのは77Kでもたかだか15ミリです。15ミリ eVを、定量的にそれをなおかつ電子がペアをつくって、バンド理論が成立しないわけです、競争関係ですから。それを理論で解けるものというのはないのです。

ですから、これは今の超電導に関しては世界中どうなっているかといいますと、リスクーだ

からみんなでお互いに知恵を出し合って、リスクを分担してやろうということをアメリカが言っているわけです。中国は冗談じゃない、我々でやると、僕もできる限りやろうと。

これをやっていく過程で、漠としたアイデアは、先ほど説明しましたようにアイデアはあるわけで、それにあわせて物質づくりのプロが、あるいは理論家とのコラボを通じて得たアイデアを試しているというのが実情です。非常にこれだけ進んだ時代で、何で超電導が予想できないのかと、と言われても、本当にできないのです。

もしできていれば、もっと早くいっているはずなのですけれども、非常に難しい。これが現状です。77Kまでのストーリーに定量的ストーリーはないです。

【有識者議員】

どうぞ。

【外部有識者】

研究の全体が超電導物質の探索と線材デバイスというふうに分かれていると思うんですが、超電導物質の探索に関しては、1番目がハイフリケンシーで目的がはっきりしていて、これに関しましてはいろいろなことを検討されていて、そこを実現するための何となくメカニズムなんか少しずつ見えてきているというお話だったですね。

2番目に関しては、今度物質的に広がりのある新しい超伝導物質探索というのをつくって、これもまたちょっとターゲットが違っているわけですね。

それから、3番目はもうちょっとまた違っているわけですね。

これを実際進めていく上で、どういうお考えで、それからそれぞれのお互いの関係と申しますか、それも含めて、全体としてはどういうお考えで進めておられるか、お聞かせ願えれば。

【説明者】

超伝導体のある考えのもとで全部作って行って、 T_c を測って出ないというのは、ほとんどの物質は出ないのです。全部それで捨ててしまったら、研究費が死んでしまうのです。それをどうやってそこを救って、お金を使った対価を回収していくかというのは、これはプロジェクトリーダーの僕の思想です。

それは必ずその物質、その近辺には新しいことがあるということを探していくわけで、優れた物質科学者というのは必ずそれができるのです。僕は自分が優れた物質科学者だと思ってい

ますから、今回はアンモニア合成触媒、これを見つけたわけです。これは実は10年かかってずっとやってきたのです。

この母物質というのは超伝導体です。この超伝導体を、 T_c を上げるのと同時に、新しい特性を持っているものですから、いろいろなところに試していくところを、ですから新しいペアレンツ物質を見つけるということと、新しい機能を見つけるということは、物質屋としては同じ方向なのです。

デバイスの方から見ると、何を言っているのかわからないということは確かにあるかと思えます。でも、物質をやっているこのメンバーの中では、それほど違和感のあることではないと思います。

【外部有識者】

例えば、high- T_c の実現を目指していろいろな材料を探索されて、今言われましたように、それが実現できなくても、別な視野で言うと新しい可能性を持っていると。

私はどっちかというデバイス屋なものですから、そういう視野で物を見るのは難しいのですが、今おっしゃりますように、ある意味では新しい材料の探索というのは、いろいろな角度で見ないとだめなので、多分そういうやり方は非常に大事じゃないかと思うんですね。

ただ、そうしますと多分新しい材料がどんどん見つかった場合、それに対してそちらのアプリケーションに対して、また深めていかないとだめなわけですね。そうしたときに、そういう分野の人たちとの連携といいますか、それが非常に大事になっていくと思うんですね。

【説明者】

ですから、おっしゃるとおり余り広げてしまうと、今度は何のプロジェクトかわからなくなってしまうので、企業の連携というのはその前に実は入れています。

それから、このちょうど見直しの時期があったものですから、酸化物半導体というのはこの中に入れていたのですけれども、これはiPadに使われたものですから、もういいと。それから、念願のバイポーラもできたものですから、これはこのプロジェクトではやめようということで切りました。ある程度の形になったものはこの中から切っておこうと思います。超電導がメインであることは間違いのないわけですので、余り拡散させないで収束を考えております。

【有識者議員】

私のほうからお伺いしますけれども、やはりこのテーマの一番の期待は三角のついている一番上ですね。これは先生が一番ご存じの話で、この見通し感、これは道順じゃないよと言われてればそのとおりで、それで恐らく先生の頭にしかないわけです。

それで、どこまであるかわかりませんが、期待値としてこれまで400探索されたというお話で20種類、そういう延長といいますか、そういうスキームで考えたときに、あと残された期間で、当然制約は探索できる物質の制約、数はありますよね。100なのか200なのかということだと思んですが、先生の思いとしては、目星という表現になって、よくわからないんですけれども。

【説明者】

それは超電導になるかならないかというのは、目星がつくのです。

【有識者議員】

T_cは読めない。

【説明者】

T_cが読めない。

【有識者議員】

読めないですね。そういうことですね。

【説明者】

世界中だれも読めないと。

【有識者議員】

読めないで、ですからT_cについては読めないということなので、そうすると、この1番目は将来どうなりますかというときには、なかなか明確な答えはしにくい、そういうことですよ、1番についてはね。

【説明者】

はい。

【有識者議員】

わかりました、それは一応確認。

ただし、今日ご発表になった中で、いわゆる磁性材料の鉄、コバルト、ニッケルがすべて超電導になるのではないかと、これはある意味では非常に大きな従来の理論枠組みを崩す大きな学術的成果だろうと私は認識しております。

そうしますと、この最初のテーマについては、あとはいろいろ頑張っていたきたいということしか出てこないんだと思うんですけども。

【説明者】

T_cについては、いつどこで何が出てくるか全くわからない。

【有識者議員】

いやいや、ですからそれは先ほど……。

【説明者】

でも、それはただ今400ありましたよね。あれは400じゃないです。できなかった物質を入れたら800ぐらいあるのです。

【有識者議員】

あそこになる結晶がね、材料が。

【説明者】

だから、それは日和らないでやるしかないです。だから、それを次の世代に引き継いでいくということは、僕は絶対に必要だと思います。

【外部有識者】

これまでの成果については、だれも口を挟むことは特にないと思うし、私も学生時代、超電導の開発をやっていたので、そう簡単ではないということはわかっています。

それと、超電導開発、超電導物質の探索の中で新しい物質がたくさん出てきたという過去の世界中の経緯がありますから、その中でそういう視点でやっておられるというのもよくわかります。

ただ、先ほどおっしゃられましたように、このプロジェクトで、先ほど20のペアレント化合物を見つけたとおっしゃられたましたが、そうなのですね。

【説明者】

そうです。

【外部有識者】

そうしたら、新しいマザーマテリアルであるならば、先ほど橋本先生がおっしゃったように、中国がマザーマテリアルを改良して誘導体を開発すると思うので、これだけの多額の研究費を使っているのに、10件しか特許を取られてないというのは少なすぎる。20ものマザーマテリアルが出ているんだったら、しかも物質として新しいとおっしゃったから言うんですけれども、物質特許として取るべきじゃないか。

【説明者】

特許は取れると思いますけれども、そんな特許の取り方をしていたらだめです。そういうくずな物質の特許を取らない。

【外部有識者】

だけれども、先生は新しいマザー物質とおっしゃっていたので。

【説明者】

マザー物質としては、特許は取れます。

【外部有識者】

末端の物質はいちいち取っても僕もしようがないと思うんですけれども、そのときに新しい物質群となり得るような卵であるならば、やはり私は先生の考え方と違います。取るべきだと思います、国民に対して。

【説明者】

それはもちろんそうなのですけれども、 T_c が30Kを超えないと取りたくないです。

【外部有識者】

だから、先ほど言いましたように、橋本先生が言われた観点と同じで、それは海外で我々より人口が10倍も多いところで、どういう物質開発されるのかわからないので、大もとのところ
で取っておくということが可能ならば、僕は取っておくべきだと思います。これは私の意見で
す。

それと、もう一つ山中先生もこれまでかご状のシリコンの化合物で非常にいい成果を出して
おられる。だれもが認めるところなんです、あれはここ10年以上、多くの方がいろいろとい
じって、例えば金研におられた岩佐さんがいじっておられましたし、ただなかなか転移温度が
上がらないんですね。だから、あそこからの飛躍的な何かシナリオというのは持っておられる
んですか、大変失礼なことを言っているんですけども。

【説明者】

あれはいろいろな機能が出てきて、まずシリコンで初めて超電導が出たというので、随分有
名になった物質ですけれども、あれだけではだめなので、三成分系に広げたりとか、シリコン、
アルミニウム、もう一つは細野先生、ちょっと余りウエートを置いてないとおっしゃっておら
れましたけれども、ユビキタス元素でどこにでもあるような元素で超電導を作りたいというの
が私たちの夢なのです。

そのためには、どういう物質と組み合わせて、どういうものができるかというので、クラス
レートはそのうちの一つですけれども、それ以外にもいろいろなものがあります。その中にも
ペアレンツになる物質が見つかっております。ですからそういうもの、クラスレートにこだわ
るということではなくて、そういうもの。

それから、もう一つはできれば炭素でああいうものを作りたいなというのが私の夢なのです。
炭素でかご状のものを作ってやりますと、理論的には室温を超えるような T_c になるのではな
いかと言われてはいますが、そういうものを作りたいと思っているのですが、なかなか結
晶性のものがない。それは本当にこのプロジェクトが始まる前から、ずっとやっておら
ますけれども、なかなか結晶性のものできなくて困っているということがあります。

【外部有識者】

ぜひそういうのに期待したいと思うんです。

何かハロゲンをちょっと置換したり、違うものを入れていじっても、なかなかこの系というのは、何となくこの10年以上見ていると上がらないのかなと思いますので、山中先生はその辺の第一人者なので、チャレンジしていただいて、新しい系も含めてやっていただきたいと思います。

【有識者議員】

特許のご指摘があって、先生は先ほどT_cは予言が難しいとおっしゃっているわけです。

確かに、実験された材料のT_cは低いと、数Kとか、でも先ほどおっしゃったことからすれば、その派生系でT_cが高くなる可能性というのは、これは中国の人がやるかもしれませんね。

そうしますと、ある程度そういう先生の測定された材料が低くても、ある種のまとめで基本的な考えに基づいて特許を申請するというのは、将来に対するリスクを減らすという意味でも、何かお考えいただいたほうがいいように私も感じますけれども、T_cは予言できないというお考えなので。

【説明者】

確かにそのとおりですが、ただ、超電導工学研究所が典型的なのですが、取ってみんな放棄して、超電導をみんな山のように放棄しているわけです。あれを見ていると、さすがに余り無駄金を使ってはいけないなというのがあります。

【有識者議員】

ですけれども、違う体系を発見されているわけですから、違う体系ですから。

【説明者】

わかりました。そういうお赦しが出れば……。

【有識者議員】

お赦しが出るかというか、ぜひそういうお考えでご検討いただいたほうがよろしいんじゃないかな

いかというのがここ何人かの方の先生のご指摘なんですよね。

【説明者】

特に I S T E C なんか非常に厳しい状態にありますので、それからもう一つは J S T が特許を国際特許にするときに、国内特許に実用性をかなり厳しく言いますので、そこで通らないと国内特許も今キャンセルなのです。

だから、ある意味では特許申請は超電導のほうが書くのが楽です。新しい方はみんな特許になってしまうわけですから、そういう時間を費やすのは、何の意味があるかなと。

【有識者議員】

そこは先生のお考えと見識です。

【外部有識者】

京都から、J S T にヒアリング 1 件のためにわざわざ 1 日つぶして来てますよ。

【説明者】

そんなことだったら、物質を探したほうがいいです。

【外部有識者】

ちゃんと取らないといけないと思うので。

【有識者議員】

ほかの件で、みんなまとめてあとやりますので、どうぞ。

【外部有識者】

触媒の話、細野さんの説明を聞いていると、すごい何かわかったような気になっちゃうんだけど、触媒はそんなに簡単なものじゃないので、学問的なことは置いておいて、これは中を見ると、実用化を見据えて企業に委託研究を出してとなっているじゃないですか。

これはまして細野さんより私のほうが詳しいので、こういう話になると。これはかなり専門家が入ってやる段階にあるんだと思うんですよ。これを見きわめをつける。これは委託研究な

んですか、共同研究。

【説明者】

実際共同研究です。三菱化学です。

【外部有識者】

三菱化学とね。ここに委託研究と書いていたので、委託じゃなくてもっとがっちり組んでやったほうがいいんじゃないかなと。

【説明者】

もうそのステージだと思います。おっしゃるとおりです。

【有識者議員】

これのこの成果の脈略がよくわからなかった。

【説明者】

アンモニアですか。

【有識者議員】

そうそう、アンモニア。

【説明者】

アンモニアはどういうことかという、C12A7は、これはもともと超電導になるのです。僕らが見つけたセメントの超電導、それがこの物質の特徴というのは、電子を非常に与えやすいのです。電子を与えやすい、アンモニア触媒、ハーバー・ボッシュ法というのですが、2つの意味があるのです。

鉄が窒素をつかまえて、窒素のアンチボンディングに電子を共有して結合を切ると。ところがこの物質（C12A7）は金属カリウムと同じぐらい電子を共有しやすいのです。そうすると、それに金属カリウムなんかは今この辺にあったら燃えてしまいますけれども、これは極めて化学的に安定です。

それから、これはやってみて驚いたのですけれども、普通ルテニウム触媒というのは水素で被毒して、高圧で使えないのですけれども、水素を高圧にしても被毒しないのです。これは審査員が非常にびっくりして、これは本当かと言われて、これは実際に被毒しないのです。

【外部有識者】

水素マイナスと言っているから、そこがポイントなんでしょうね。中に多分吸蔵されているような感じになっちゃって。

【説明者】

そこを被毒しないのは。

それから、もう一つは窒素のボンドを切るときの。

【外部有識者】

あそこはこれで、こんな絵にかいた、でも言っているんだったらそれは。

【説明者】

でも、0.5乗です。

【外部有識者】

だから、それはちょっとデータが見たいなと思って。

【外部有識者】

ちょっと前に、私はNEDOで全く同じプロジェクトをやったんですけれども、確かに今のところルテニウムがよくて、電子リッチにしたほうがいいんですよね。我々もセシウムを添加したり、あと単体も変えたりしていろいろやったんですが、ちょっと質問は、余り聞いちゃ本当はよくないのかもしれませんが、答えられる範囲で結構ですけれども、どれぐらいの温度、圧力まで下がってきているんですか。

【説明者】

あそこを書いてあります。350℃で、そのデータは室温です、常圧。

【外部有識者】

常圧部ですね。それはいいんですが、温度はどこまで下がっていますか。

【説明者】

温度は……。

【外部有識者】

温度で、それとコンバージョンです。コンバージョンはどれぐらいしているんですか。我々の成果だと……。

【説明者】

ターンオーバーフリークエンシーで。

【外部有識者】

ターンオーバーで言ってもだめで、どれぐらいのコンバージョンがあるか。

【説明者】

コンバージョンで今書いてない。

【外部有識者】

コンバージョンで出さないとだめだと思いますね。

【説明者】

コンバージョンというのはもうちょっと先の話で、一番重要なことはターンオーバーフリークエンシーと、まず物質の特性を見なければしょうがないので、活性化エネルギーの半分ですから、これはネイチャーケミストリーの審査員が仰天して、本当かということ。

【外部有識者】

論文とまた現場とは違うので、どれぐらいまで下がったのかなと思って、我々のところも常圧まで落ちているんですけども、温度のほうは……。

【説明者】

そんなもの見えすいた見え見えの手口というのは、それではだめだ、本当は。

【外部有識者】

だから、聞いたんです、温度を。

【有識者議員】

ごめんなさい、時間がなくなってきたので、線材のことでお伺いしたいんですが、当初の計画でメートル長さでお作りになって、Jcが 10^5 というのは、低温と書いてあるのは、これはヘリウム温度のことですね。ヘリウム温度で 10^5 と。

これはまず長さのほうというのは、どのぐらい今できているんですか。

【説明者】

長さですか。例えば、薄膜線材でも小さな成膜装置しかないので、1センチとか2センチとか、それくらいのレベルです

【有識者議員】

その方法で長くは。

【説明者】

それは成膜装置、I S T E Cでは酸化物の線材を作っていますので、どうやって長いものを作るかという経験があるので、それを活かして装置を導入する予定です。

【有識者議員】

つまり1メートルじゃどうしようもないので、終わるまでにどのぐらいの長さの線材ができそうだと、長さのほうも何か記述いただけるようになるんですかね。

【説明者】

どうして1メートルと書いているかという。

【有識者議員】

当初の計画は1メートルなんですけれども、1メートルでは余りどうしようもないので、線材としては。見通し感というのはどんな感じですか。

【説明者】

我々は銅酸化物の経験があるのですが、最初は短い短尺の薄膜から始まって1メートルにする。かなりそこで大きな技術バリアがある。それは均一度を出すのがかなり難しく、それは成膜装置自体もそういう長時間の成膜に耐えるような工夫をしなければならぬし、ターゲット材料もかなり安定度のあるものを作らなければいけないだろうということです。

【有識者議員】

最後まとめるときは恐らく要するに仮に T_c が77Kを超えないという前提で考えたときに、ほかの既にある酸化物系、金属系、実用になっている、そういうのと比べてこれがどういうメリットがあるのかと。

【説明者】

これは説明資料にも一部書いてありますけれども、現在 T_c が鉄系で55Kですから、低温で使えるような線材を目指すのが一番だろうと。低温で使うとなると、ニオブ酸スズを超えるかどうかというのがまず一番、ですから20テスラ以上の磁場を低温で発生できるような線材ができるかどうかです。

ただし、正直なところを言いますと、イットリウム系の銅酸化物というのは冷やせばかなり J_c が高いので、イットリウム系に比べてメリットが出ないとだめだと考えています。イットリウム系の場合は、厳密な配向制御が必要ですので、かなり扁平なテーブル状の線材となり、これはマグネットを巻くときに精度が出にくいとか、いろいろな問題点があります。鉄系の場合には、かなり配向度に対しての制約が緩いということがわかってきていますので、ベストで言えばPIT線材で丸線ができれば、非常にマグネットとしては使いやすいものができる。

【有識者議員】

そのときの粒界の配向性とかに許容度が大きいということも、寸法との関係でそのメリットが出てきますよね。短いものをつくれれば、多少手間ひまはかかっても、粒界の角度を制御することができるでしょうし、ですからどれだけの長さができるときに、その粒界の角度のアローアンスの広さがメリットに働くと、そういう報告を最後はしていただく必要があるかなと思います。そういう考え方でよろしいですね。

わかりました。余り時間ありませんが、あとほかのことを含めてジェネラルでどうぞ。

【外部有識者】

今の線材の話ですけれども、 T_c が一番高い材料を目指すことと、線材に一番向く材料というのは違うのではないかと思います。そのフィードバックといいますか、考え方といいますか、それがうまくリンクしていかないと、本当に産業応用として一番いい材料は得られない。田辺さんもずっと銅系系のデバイス開発には苦労してこられたと思いますので、その経験を生かし、線材の視点から見たときのメリットは何で、どういう視点で材料を探さなければならないのかという、適切なストーリーが欲しいと思っています。この点について何かご検討をされていれば教えてください。

【説明者】

基本的に線材応用で重要なのは、異方性が小さいこと、あと結晶粒界特性の2つです。ですから、 T_c が少し低くても、その2点で優れていれば実用性ではできる可能性があるということです。

鉄系の中で言えば、今のところその T_c の一番高い1111よりは122というのが、少し T_c が38Kなど低いですが、異方性が小さいと。異方性が小さいので、これは非常にピンが効きやすいです。銅酸化物はかなり異方性が大きくて、しかもコヒーレンス長が短いですからピンが効きにくいですが、この鉄系の多い122というのはかなりピンが効きやすいという、そういう性質も明らかになってきていますので、低温で高磁界を発生するような材料としては今のところいいだろうというふうに考えています。

ただし、もちろん今後は新たに発見される新材料については、当然我々応用の側からいろいろ意見を出して、材料とあわせて議論して、本当に役に立つような材料が出てくればいいというふうに考えております。

【有識者議員】

あとほかにご質問ございませんか。

【外部有識者】

線材のメーカーが入っていると思うんですけども、材料系の企業というのは三菱化学が担当するのでしょうか。物質として、いわゆる線材としての材料メーカーという意味じゃなくて。

【説明者】

それは熊倉さん……。

【説明者】

線材としてのじゃなくて。

【外部有識者】

線材としてじゃなくて材料、マテリアルとしてのいろいろな使い道があると思うんですけども、そういうところのことは余り考えておられない。

【説明者】

線材以外のところ。

【外部有識者】

そうです。

【説明者】

線材以外のところは、幾つかメーカーがあります。三菱だけじゃなくて、旭硝子とか幾つか入っています。

【外部有識者】

それはこのプロジェクトの中では特に。

【説明者】

必要に応じて相談という形で、このフォーメーションの中には余り入れると大変になってしまうので、ただ実際にはそれをやっています、中では無理なので。

【外部有識者】

このプロジェクトに直接関係ないのかもしれませんが、以前 J S T の理事長と一緒にプレス発表されて、サムソンに特許のライセンス契約したというのがありましたよね。あのとき私は国内メーカーに対する宣伝活動がどうだったのかとか、そのことをちょっと思ったんですけれども。

【説明者】

全部やっています。

【外部有識者】

やっていますが、あれは見向きしなかったんですか。

【説明者】

全部やって、言い出せば切りがないくらい、30分かかりますので、言いませんけれども、国内メーカーに全部やって、国内メーカーはサムソンがやったから、慌てて私のところに下さいと来たわけです。

【有識者議員】

このプロジェクトの範疇の外になるんですが、理論的な検討が従来の超電導の議論のある種の破綻を証明したわけですね。新しい理論の構築というのを従来の前のランタン系でもまだできてないと思うのです。ましてこの先生の発見された鉄系というのはまだまだだと思うんですが、さはさりながら、先生にも基本的小考えがあるし、得意な人を……。

【説明者】

もうそれはやっています。

【有識者議員】

やっている、入れ込んでやっている。

【説明者】

理論家は中にいても外にいても変わらないものですから。

【有識者議員】

中にいても外にいても変わらない。

【説明者】

中にいるとき理論家に引っ張り回されてはたまらないのです。

【有識者議員】

そうですか、それは先生のマネジメントで。

【説明者】

ただ、それは実際には黒木さんとか、アメリカのイゴールマジーンとか。

【有識者議員】

そうですか、そういう人を仲間にしてやっている。

【説明者】

もちろんそうです。

それから、向こうが我々のところは新しい物質が出てきて、新しいのが出てくるから、向こうから全部アプローチしてくれるのです。だから、そういう意味では理論家とのコラボというのは非常にうまくいっていると思います。

【有識者議員】

中国の動向を気にしてますが最近では頭数だけではなくて、頭の質もそうですし、かなり一網

打尽にやりますので、中国がそういう世界の知恵を味方におそれているわけです。ですから、何がしかのお金を援助して、それで先生のところで少しでもお金を出すと、より多くの仲間がふえるというのであれば、そういうこともご検討いただいたほうがいいかなと。

今お話を伺うと、ある意味ではそういう仲間をつくりつつあるという話なので、それを見守りたいと思います。

【説明者】

ただ、中国も日本の人とどんどんコラボをやっています。そんな一国主義ではもういかないのです。

【有識者議員】

いかないと思いますけれども。

【説明者】

僕らは中国の人と共同研究をもちろんやりますし、知財は別にしまして、一国主義でいけるようなサイエンスの状態ではないです。むしろお互いに強いところを協力して一緒にやってくというスタンスにして。

【有識者議員】

ぜひ協調しつつ、競争してやってください。どうもありがとうございました。

【有識者議員】

あとその他いろいろ研究の中身だけじゃなく、支援体制ですとか、何かありましたら。

【外部有識者】

さっき特許の件があったのですけれども、細野さん1人でばつとこんなことに頭を使ってもしょうがないとか、いろいろ言っておられて、それはよくわかるので、その辺の要するに細野さんが自分でほとんどやらなければいけない体制になっているんだったら問題だと思うんですよ、特許のところね。

【説明者】

特許は違います。

【外部有識者】

違うんですか。

だから、細野さんがわざわざ J S T と何十分もやらなければいけないとさっき言っていたので、それは大丈夫なわけ。

【説明者】

それは大丈夫です。

【外部有識者】

そこは頭は使うけれども、時間はそんなに使わなくても大丈夫と。

【説明者】

はい。

【外部有識者】

だったら、さっき言われたようなことはぜひやるべきですよ。

【説明者】

温度が低くても T c ……。

【外部有識者】

だから、何度も言うけれども、とりあえず言っていることはわかっておられると思うけれども、温度が低くても、ベースとなるようなもので取れるのであれば取るべきであると、新しいもの、新しい物質の中であれば。それが取れないのであれば、それは取ってもしようがないですよ。

【説明者】

今までから言うと、超電導の場合はほんの何か加えたというもので特許が取れてしまうわけです。

【外部有識者】

でも、マザーで押さえておいたら、何かあってもその中に引っかかってくるんじゃないですか、それで取れたにしても。

【説明者】

マザーはなかなか認めてくれないです。

【外部有識者】

取れないわけ、そういうんだったら、それはそれで。

【説明者】

特許を温度が低くても取れるものは取ろうということで、それはやろうと思います。

【有識者議員】

ぜひご検討ください。

それから、報告書に全然違う視点ですが、人材育成の件がいろいろ書いてあって、たしか准教授の方が何名が教授になったとか、いろいろ書かれているんですが、これは結果はそうなっているんでしょうけれども、何か具体的なやり方とか工夫、何かグループ全体として、システム的な何か工夫をしているのか、皆さん個人、個人が優秀な研究業績を上げられて、言ってみると、個人のアチーブメントでそういうポストにつかれているのか、何かそのあたりのことがあれば教えていただけるとありがたい。

【説明者】

今現在はグループ全体で例えばいく場所を探すとか、そういう体制には今のところなってないです。むしろそれぞれのサイトでこのテーマにを使って、人材をそれぞれ作っていると、その結果、非常にお互いに競争もしますし、いろいろな意味で刺激がありますものですから、今の段階では相当いい流れになって、いいところにいけていると。ですから、おっしゃるように非

常に組織的にやっているわけではないということです。

ただ、そういう意味ではかなり手厚い予算的なバックボーンがありますので、その場で若い人が働けていますので、彼は非常に幸せだと私は思いますが。

【有識者議員】

お金があるから幸せだというふうに聞こえたので。

【説明者】

それはそういう意味ではないです。それから例えば半年に1回ずつ細野先生のところで成果報告会がありますが、そこに皆さんで非常に厳しい雰囲気の中でやる。そういうところで切磋琢磨するという、そういう雰囲気も非常にいいのではないかと思います。

【説明者】

それから、もう一つは我々のところでもそうなのですが、基本的には週1回の報告会を全部英語にしています。そのくらい当たり前、英語を公用語じゃないと無理ですので、それを徹底しようかと思えます。

それから、ジャーナルも世の中でアメリカ人が出すジャーナルに出そうよと、そうじゃないとどうしようもないよと。

【有識者議員】

残念ですけれども。

【説明者】

残念ですけれども、そういうことを強く奨励しております。

【外部有識者】

英語でのミーティングはぜひおやりください。これから必ずそういう時代になってきます。企業でも英語の問題で困ることが多々ありますので、ぜひお願いしたいと思います。

それと、これまでは探索的だったので、それほど組織的ではなかったとおっしゃったのですが、これから少し絞っていかなければならない時期に来ているのではないかと思います。先ほ

どの産業へのフィードバックも含めて、それぞれの組織間のインタラクションがもう少し強くなるような仕組み、あるいはアクションがあったらいいのではないかと思います。

【説明者】

具体的に確かにおっしゃられるとおりで、今までは前半は各グループにある意味では任せた部分があるわけですがけれども、今度フォーカスをしますので、もう少しタイトな連携ではなくて、共同研究にしていこうと思います。それはそうしないと、収束しませんので、ぜひそれはありがとうございます。そのつもりでおりますので。

【事務局】

先生、時間となりました。

【有識者議員】

どうもありがとうございました。

【事務局】

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。