

研究評価委員会
「希少金属代替材料開発プロジェクト」
Nd-Fe-B系磁石を代替する新規永久磁石及びイットリウム系複合材料の開発
超軽量高性能モータ等向けイットリウム系複合材料の開発」
(事後評価)分科会
議事録

日 時：平成23年10月18日(火) 13:00~17:40

場 所：東京国際フォーラム G610 会議室

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	熊倉 浩明	(独)物質・材料研究機構 強磁場ステーション	ステーション長 筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
分科会長代理	杉本 英彦	福井大学 大学院工学研究科	特命教授
委員	浅野 克彦	(株)日立製作所 電力システム社 日立事業所	主管技師長
委員	下山 淳一	東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻	准教授
委員	星野 勉	明星大学 理工学部 総合理工学科	教授
委員	前田 敏彦	高知工科大学 環境理工学群	教授

<推進者>

佐藤 嘉晃	NEDO 省エネルギー部	部長
松林 成彰	NEDO 省エネルギー部	主任研究員
楠瀬 暢彦	NEDO 省エネルギー部	主査
三輪 肇	NEDO 省エネルギー部	主査

<実施者>

塩原 融	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	専務理事・特別研究員
奥田 昌宏	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	事務局長
和泉 輝郎	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	特別研究員 (テーマリーダー)
山田 穰	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	特別研究員
定方 伸行	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	技術開発部 部長代理
宮田 成紀	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	技術開発部 主管研究員
齊藤 隆	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	佐倉分室 室長
青木 伸夫	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	相模原分室 室長
高橋 保	産業用超電導線材・機器技術研究組合 (iSTERA)	総務部 部長代理
伊藤 暁彦	東北大学 金属材料研究所	助教
吉田 隆	名古屋大学	准教授 (開発責任者)
一野 祐亮	名古屋大学	准教授
岩熊 成卓	九州大学	准教授 (開発責任者)
木須 隆暢	九州大学	教授
石山 敦士	早稲田大学理工学術院	教授 (開発責任者)

<企画調整>

中谷 充良 NEDO 総務企画部 課長代理

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長

三上 強 NEDO 評価部 主幹

吉崎 真由美 NEDO 評価部 主査

室井 和幸 NEDO 評価部 主査

一般傍聴者 5名

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明
 - (1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - (2) 研究開発成果、実用化の見通し
 - (3) 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明
 - (1) 超長尺イットリウム系複合材料における希少金属使用量低減技術開発
 - (2) イットリウム系複合材料の製造工程における希少金属利用率等の効率向上技術開発
 - (3) イットリウム系複合材料を用いた回転機要素技術開発

(非公開セッション)

7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会 (分科会成立の確認、挨拶、資料の確認)
 - ・開会宣言 (事務局)
 - ・研究評価分科会の設置について、資料 1-1、1-2 に基づき事務局から説明。
 - ・熊倉分科会長挨拶
 - ・出席者 (委員、推進者、実施者、事務局) の紹介 (事務局、推進者)
 - ・配付資料確認 (事務局)

2. 分科会の公開について

資料 2-1、2-2、2-3 及び 2-4 に基づき事務局から分科会の公開について説明し、「議題 7. 全体を通しての質疑」を非公開にすることが了承された。

3. 評価の実施方法について

資料 3-1～3-5 に基づき事務局から評価の実施方法について説明し、事務局案通り了承された。

4. 評価報告書の構成

資料 4 に基づき事務局から評価報告書の構成について説明し、事務局案通り了承された。

5. プロジェクトの概要説明

事業の位置づけ・必要性、研究マネジメント、研究開発成果の概要、実用化の見通しについて、資料 5-1、5-2 に基づき推進者、実施者から説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【熊倉分科会長】 どうもありがとうございました。議題 5 のプロジェクトの概要説明として、事業の位置づけ・必要性、研究マネジメント、研究開発成果、実用化の見通しということでご説明をいただきましたが、ただいまのご説明に対して何かご質問、ご意見等はございますか。技術の詳細については、この後の議題 6 で議論いたしますので、ここでは主に事業の位置づけ・必要性、マネジメントについてご意見をいただければと思います。いかがでしょうか。

【浅野委員】 まず長尺化の位置付けとして 1km というのがありますが、ご説明の中でも強度のことと損失のことが書かれていますが、それが絶対に必然か。つまりそれがもし実現できなかつたら成り立たない、たとえば接続したら全然成り立たないとか、そういう数値根拠のようなものがあれば知りたいというのが 1 点です。事業原簿を拝見しますと、電流減衰率も問題にされています。そのあたりのところは今回のご説明の中で、モータということでは、もちろんその後の色々な応用も考えられているとは思いますが、当該品としての目標としてこれを書かれている必然性はどこにあるのか教えていただければと思います。長尺化の意義はわかっていますので、その位置付けをもう少し定量的にデータ等があれば知りたいと思います。

【和泉 (テマリーダー)】 実際にそこに接続がいくつか入ったらこの効率がどれだけ落ちるかというところまでの具体的な評価はしていませんが、少なくとも浅野委員からお話がありました永久電流減衰率に関しては、これまでのリニアモーターカーを検討した実績に基づいて、ある試算はしています。

【浅野委員】 強度的に成り立たないということはあるのでしょうか。

【和泉 (テマリーダー)】 これはモータの中の強化の構造をどういう形で作るかということと当然リンクしてきますが、その自由度がかなり狭められることはあろうかと思っています。今回の設計の場合には 1800 回転で振り回すような形になりますので、それに対して今の形では接続部さえなければしっかり巻いて、そのコイルを固定することによって強度を持つことができます。

それに対して一部その線材の中にかかっている強度に関して強いところが内側にあった場合には、そこを何とか補強してやらないといけないということで、より負荷的な構造の設計が必要になってくると考えています。その自由度がかなり変わってくると理解しています。

【浅野委員】 長尺化すればコスト低減とかトータルの意味での品質の問題等も改善できるので、その意義は認識しています。私が質問させていただいた趣旨は、やはりもっと長いもの、もっと大型のものというときに、ではその接続が絶対あったらだめだとなると、適用できる範囲が限定されるかもしれませんが、それがこの技術を使ってより大型のものに適用できることがわかると、この意義がさらにはっきりしてくると思いました。接続との関係でこういう展開もあるというのがあると、より良いのではないかと思った次第です。

【和泉 (テマリーダー)】 接続部でもコイルを巻いた中で一番端のところでは接続ができるような形での調整ができるようであれば、そこは逃げる価値はあると思います。でもそのときにできるだけ長いほ

うがいい、大型になればなるほど端部から端部までの長さが長くなってきますので、そういう意味でも長尺の線材が求められていて、一つの試算として先ほど 500kW のときのモータを考えると 1km で、これから先は少なくともこれ以上は必要になってくるだろう長さがこれとご理解いただければと思います。

【杉本分科会長代理】 いまのことに関係しますが、表の見方について教えていただきたいのですが、20 ページを見ると 534A/cm 幅があつて、ものすごくいい特性が出ています。一方で 10m のときには、どこかにあつたと思いますが、それが 400A ぐらいになっています。これは 1km 全体ではどんな感じになるのですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 この場合には途中で話ししましたが、震災の影響があつて、ここ 1カ所を見ていただきますと、これは別にグラフの切れ目ではなくて、ここは接続をしています。詳細説明でまたご紹介しますが、ここからここまでは接続をしていますので、超電導電流は流れません。ですからここで I_c は 1 回 0 になっています。ですから 1km としては、超電導電流は流れません。

【杉本分科会長代理】 先ほど質問があつたように、接続してもそれが短ければ全体としてはいいのではないかとということになるのですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 ただ、ここでの技術開発の目的は何かというと、1km をつくる技術をここで見通すことになりまますので、今回の場合にはこの震災の影響があつて、これ 1 本ものでつくっていたのですが、そうすれば先生のご質問に答えられて今回こうですという話になるのですが、残念ながら。

【杉本分科会長代理】 わかりました。なぜそういう質問をしたかということ、10m 長で 400A に落ちていると見るというのは。

【和泉 (テーマリーダー)】 違います。申し訳ありません。その誤解を与えてしまったのなら私の説明が足りなかったということです。これを見ていただければわかると思うのですが、ここでより大きく、これは 500A と書いてもいいのですが、ここで出ているのが少なくともここよりは上ということだけで、このポイントを見ていただければ、ほぼ保証されるだろうというのはこのポイントになります。最低値です。ここはありませんから、500A 級が出ていますが、こういうところで青い線、ヒゲが出ているというのは最低値が少し落ちているところがあるという意味です。青い線のこの一番低いところを見ると、この 400A よりも上であるから、これは言えるでしょうと。

【杉本分科会長代理】 そうするとたぶん全体的に 400A 以上になるでしょうということですね。

【和泉 (テーマリーダー)】 ここに関してはそうです。全体に関しては、こういう落ちているところ、もしくはこういうところがありますので、全体通電としては今回の元々の基本計画でもなぜ平均としているかということ、さまざまな立ち上げ要因で出てくるこういうドロップはあるけれども、一番大事なのは冒頭お話ししたようなトレンドとして後半に落ちてくるような、こういうものを解決することが長いものをつくったときの一番の主目的です。ということは、これの平均として、しっかりまっすぐできていることをまず確認しましょうということでしたので、こういうヒゲはとりあえず置いておいて、平均値を評価するというのがこちらの評価です。

ところが、だからとは言って、ある長さをちゃんと 300A 以上のものが見えていないと、そのあとレベルとしては足りないということで、その平均値の目標値がこの 200A です。基本計画の目標値は 300A です。基本計画の目標値のある長さで実証することが一方で必要だろうということで、二つの確認項目からできあがっています。そのもう一つです。

【杉本分科会長代理】 わかりました。同じような質問ですが、②で I_c が 100A/cm 幅ができましたよ、そのときの原料収率は 45.7% で非常にいいですねということで、その下だとまた 56.1% で、ただ電流は 3MA/cm² が 1.4MA/cm² になっているので、少し下がるのではないかと思います。いまの話ですと、その 100A が 400A だったり、500A だったりするので、それを考えるとこれはこのまま原料収率と考えればよろしいのでしょうか。

【和泉（テーマリーダー）】 超電導の特性、 I_c というのは、単純に乗っている量だけではなくて、そこに乗っている結晶の質が大きく関わってきます。まずは乗っている量がどれぐらいしっかり乗っかりますかというのが原料収率だと思っていただければいいと思います。その乗っているものがきれいに並んで、しっかりした電流を流せる能力を持てるか否かは、その付け方の技術開発が必要になってきます。そのベース、ある程度のところまで来た目安はこのあたりの 1M とか、3M は非常に高い値です。今後やらなければいけないのは、ここで高い収率で得られるものをより厚く、そのきれいな結晶のまま付ける技術は、まだ検討が必要です。

【杉本分科会長代理】 だからこれは厚みが違うということですか。

【和泉（テーマリーダー）】 厚みも違います。

【杉本分科会長代理】 だから同じような土俵で、電流は変えていない。

【和泉（テーマリーダー）】 テーマ①とテーマ②をいまは同じ土俵で見るわけにはいきません。

【杉本分科会長代理】 そういうことですね。そうすると、これは材料の厚みが何 μm ですよ、片方は何 μm で片方は何 μm だと書いてあればわかりやすいのですが。

【和泉（テーマリーダー）】 詳細説明ではそれが出てこようかと思えますので。

【杉本分科会長代理】 そうですか、わかりました。それからもう一つ、少し細かいことすみません。モータの 10 年度で 2 億 5900 万円という費用がありますが、要素技術開発で 2 億 5900 万円というのは、どういうものですか。材料についてはこの前見せていただいて、ああ、これは 10 億円はかかるのだろうかということがわかりましたけれども、モータの開発で 2 億 5900 万円というのは、何をお買いになったのでしょうか。

【和泉（テーマリーダー）】 具体的にモノは買っておりません。一つは、このモータを検討する中身は、先ほどご紹介しましたが、概念設計を行うということで、モノを買ったとすれば、シミュレータをつくるためのコンピュータ系のもは導入させていただきました。でもそれは何億というものではありません。ここで必要なのは、シミュレータを開発していくところはシミュレーションをやるためのコンピュータを導入しました。それを使って概念設計しましたが、概念設計は基本的なところは組合が担当して、それを実際に計算させるところは外注で実施しました。そういうところにお金がかかっているのが理由の一つです。

もう一つは、コイルをつくって、それから冷却技術として冷凍機の試作を行っています。そのためには線材をつくるためのお金と、それをコイル化するためのお金というところで費用がかかっています。

【杉本分科会長代理】 でも線材はまだこのときには間に合っていないのではないですか。

【和泉（テーマリーダー）】 もちろん 1km 級のこのプロジェクトの中で開発している、このプロセスでの線材は間に合いません。ですからこの成果を使うことができない分だけ、自社で持っている装置を使って、このコイル用の線材は、別に短いものを作っています。つまりこの中でのコイル化技術は、小型コイルでの成立性をチェックしていますので、1km まで要りません。ということで、自社設備を使っています。

それと冷却の試験をするための試験設備も比較的本格的につくっていますので、そこにも費用がかかっています。

【杉本分科会長代理】 わかりました。希土類が 130 分の 1 になったことは、成果として非常に強調されていて、130 分の 1 というのはすごいと思うのですが、もともと希土類の種類が違うのですが、同じような土俵で、同じ材料で 130 分の 1 ですよと言われると、すごいと思いますが、材料が違うのですが、違ってもすごいというのは、どういう感じから言えるのでしょうか。

【和泉（テーマリーダー）】 一つお答えしなければいけないのは、ネオジウムとディスプロシウムも希少度が違います。現地調査会でご紹介したかと思いますが、一番厳しいのは、やはりディスプロシウムで

す。それに対してガドリニウムかイットリウムを超電導では使うわけですが、そういう意味でガドリニウムとディスプロシウムが同じ希少度になります。

加えてディスプロシウムというのは、今回の基本計画のテーマになっている戦略物質としての扱いになるわけですが、ガドリニウムはそこまでなっていません。むしろそのまま置き換えというよりは、同等の希少度のものに置き換えて、なおかつそれはいま戦略物質になっていないものに置き換えるという理解をしていただければよろしいと思います。

【杉本分科会長代理】 130分の1はそのまま、いま130分の1と思えばいいですね。

【和泉（テーマリーダー）】 考え方としてはネオジウムとディスプロシウムを足したものに対して、これを希土類という見方をしています。それに対してガドリニウム、1種類に置き換わるわけですが、それを全部レアアースとして分母がネオジウム+ディスプロシウム、分子がガドリニウムの重量比で出したのが130分の1です。言い方を変えるとディスプロシウムで言えば0になります。ネオジウムも0になります。ただしガドリニウムが何十g使いますということになりますが、それでは評価としてなかなか難しいので、希土類として重量比で評価したというのが130分の1です。

【杉本分科会長代理】 はい、わかりました。

【下山委員】 要するに希少度としては130分の1以下ということになるわけですね。

【和泉（テーマリーダー）】 はい、そうです。

【下山委員】 だからそれ以上の効果があるということですね。位置付け・必要性のところ、やはりこれは出口としてモータを検討されているということですが、500kWクラスのモータに対して、こういうのが使えるかどうかを検証してきた中で、冷却の問題がどうしても関わってくるのではないかと思います。希土類が足りないからこれで置き換えるだけではなくて、やはり冷却の問題もクリアしないと、モチベーションは出てこないと思うのですが、そのあたりについての見通しは、どのようにお考えでしょうか。

【和泉（テーマリーダー）】 冷却の手法は、まだまだ開発の余地があって、その技術が今回の要素技術開発の一つになっていたことは事実です。ただし、この先、冷却をまったく無視して効率を考えていたわけではありません。先ほど九十何%という効率が期待できると言ったのは、後ほど山田のほうからテーマ③でもご紹介しますが、常電導モータの誘導と同期、それから永久磁石の同期モータ、HTSの半超電導という界磁だけを超電導にした場合と、全超電導にした場合にしていますが、ご注目いただきたいのは、この水色のところは冷却ロスです。冷却を考えた上でも効率的にメリットが出る、期待できるということで、いまこの超電導のモータを考えています。

【下山委員】 要するに効率面での冷却ではなくて、モータとしての価格やメンテナンス、そういうことで使われるモータになるための要件の中で、冷却はどうしてもマイナス要素になるのですが、それがクリアできるかどうかということが重要なのではないかと思います。

【和泉（テーマリーダー）】 一つは、回転機に適した冷却技術があってもよからうと思っています。特に動かないものであれば、それを冷やすという技術があろうかと思いますが、回転している、特に界磁モータに超電導を使っているということは、回転している回転体を冷やさなければいけない。

そういうことで、通常冷却するためには冷媒を入れて取り出してやるという、入りと出の軸が二つ必要になってきますが、今回のサーモサイフォン方式は、一つのパイプの中に液体が入っていて、落ちて、回転体の中をぐるぐると内壁にへばりついて、気化したものがそのパイプの中を帰ってきます。軸を一つにしてできる、比較的回転機に向けた冷却方式だというのが大きなポイントです。

そのほかにも、まだまだ冷却装置が回転体の中では開発要素はあろうかと思いますが、この中では解決できない部分が残っていますので、それを踏まえて、今後実用化に向けて開発していかなければいけないと考えています。

【前田委員】 短い期間で非常にすばらしい成果を上げられたと思いますが、収率に関して確認をしたいと思

います。まず目標設定として 40%と出ていますが、この 40%にした根拠があれば、教えていただきたい。それから、調べておられれば教えていただきたいのですが、いわゆるほかの超電導ではないプロセスの実用化されている薄膜技術において、普通にこれぐらいの収率があれば成り立つという数字、もちろん物質によっては違うと思いますが、一般的にもしそういうものがあれば教えて下さい。

【和泉 (テーマリーダー)】 私の理解でご紹介させていただきますと、もともと 40%に設定されている理由は、通常今もう一方で行われているイットリウム系の機器開発プロジェクトの中で、機器の開発に提供する線材というのがあります。今の材料収率の一つの目安が 30%になっています。やはりそれを凌駕していく、つまりここで言うこれから開発しようとする超長尺の線材開発プロセスを超えていかないと、ここでやる価値はありません。その一つの目安として 30%を 40%にしようということで、40%が設定されています。

もう一つのご質問は、それぞれの材料、プロセスおよび用途によって相当変わってきます。

【前田委員】 それは承知の上で 40%の目標を設定されたのでしょうか。

【和泉 (テーマリーダー)】 機能性によってどれだけの付加価値が得られるかによっても変わってきます。ただ一つ言えるのは、例えば実績としてご紹介したいのは、今回ここで取り上げたレーザ CVD は、他の単純な、例えばジルコニアとかで言うと、70~80%の材料収率も出ていますので、そこまでを期待してできるのではなかろうかと、今回取り組んできたというところですよ。

【前田委員】 補足ですが、少し気になったのが、つまり今が 30%だから目標を 40%に設定するという理解でよろしいのでしょうか。

【和泉 (テーマリーダー)】 今回のテーマ②の設定が、どういう設定かという、テーマ①で携わっているプロセスほど長尺はできていないけれども、それを将来凌駕するようところが期待できるプロセスを今のうちにしっかり仕込んでおこうということなので、現存する今の複合材料を作っているプロセスの材料収率の一つの基準になろうかと思えます。

【前田委員】 ありがとうございます。

【熊倉分科会長】 将来的にはもっと高いものを目指すということですね。

【和泉 (テーマリーダー)】 はい、もちろん高ければ高いほど安くなります。

【熊倉分科会長】 そうですね。この方法だと先ほど 80%の収率が出ているとのお話でしたが。

【和泉 (テーマリーダー)】 レーザ CVD でそれぐらいの収率があったというのを聞いたことがあります。

【熊倉分科会長】 それぐらいを目指すということですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 全体でできるだけ高いところを目指すということになると思えます。

【星野委員】 今のお話は、要するに飛んでいるものを全部受ければ収率がよくなるのだけれども、均一性が悪くなるから性能が悪くなるだろうというトレードオフの話だと思うので、できあがったものをちゃんと使ってみて評価しないと非常に難しいと思えます。

私の質問はそれではなくて、プロジェクトマネジメントの話ですが、先日も現地調査会で見せていただいたのですが、このプロジェクト自体は、長尺のものをつくり、目標の値をクリアするということであり、それができたということです。プロジェクトとしては投資に対して成果が出たということだと思います。

この前現地調査に行ったところは、あそこはモノが置いてあるだけで、あそこの実施者の場所を借りてプロジェクトのモノが場所を占めているという状態に見えました。つまり今使っていないのではないか。せっかくお金をかけて作ったものが、プロジェクトが終了したらそのままなのか。それはマネジメントとしてどうすればいいのかというところは疑問に思った点です。

特に今回は、製造装置を開発して作らないと 1km のモノはできないということで、そこはお金が要るわけです。できたあとにはモノが残ります。そのモノをどうやって今後活かしていくか。ではこれができたから、次にもう少しいいものをつくりましょうといったときに、実施者のところに、また同

じモノをもう一回つくり直しなさいという話は、二重投資になるような気もしますし、かといってプロジェクトでつくったものをどうやって活かすか。現状動いていないのは非常にもったいない。マネジメントとしてそこはどうか。個別の問題はまたあとの詳細のところで聞きます。

【松林（推進者）】 ご見学いただいたときは停止状態です。現在、イットリウム系の複合材料に関しては、さらなる効率向上、性能向上ということで、このプロジェクトとは別に研究開発が進んでおり、来年度いっぱい実施していただく予定にしています。今回のこちらでつくりました設備に関しては、基本的にはそちらのプロジェクトで有効利用していくということで、現在処理を進めていますので、その結果としては有効に使っていただくというマネジメントをしているところです。

【熊倉分科会長】 その装置はいつぐらいから使えるようになるのか。

【松林（推進者）】 可及的速やかということで、近々にというか、そんなに1年もというところではございません。もうすぐにでも使っていただくようなことで、まさにNEDO内で処理を進めているところです。

【熊倉分科会長】 そうすると実用化の見通しのところで、2012年度以降のご説明をされましたが、ある程度そういう予算的な裏付けがあるということでしょうか。

【松林（推進者）】 国からの支援事業という観点では、まさにわれわれが検討しているという段階です。まだ予算的な裏付け等、確実にやっていただけるということは、残念ながら今の段階では回答できかねる状況でございます。

【熊倉分科会長】 せっかくあれだけの投資をした設備ですから、星野先生がおっしゃるように有効利用をぜひ図るべきだと私も思いますので、何とかよろしくお願いします。

【松林（推進者）】 もちろんトータルの超電導の技術に関しては、ご説明を差し上げましたように世界のトップレベルを進んでいるということで、決してこういった開発を止めることは考えておりません。プロジェクトとして今後どういう形でやっていくのか。例えば出口をもう少し具体的に見据えながら、具体的なアプリケーションとしてやっていくのか、あるいはやはり線材の性能をもっと上げるべきなのか、あるいは長尺に向かうのか、そういったところを整理しながら、プロジェクトを今後進めていきたいと考えています。

【星野委員】 あと一つ、最初のところの希土類の4000tを1000tぐらいに減らすということでしたか、このモータだと減るのが300gですか。そうするといったい何千万台作るのかということでもちょっと話に飛躍があるのではないかと思います。ではその500kW以上のモータではどのぐらいの台数になるのでしょうか。

【和泉（テーマリーダー）】 ご注意いただきたいのは、削減量としてこれを計算していますので、実際に使う量は4100t×1/4の130分の1で、モータをつくることになります。ですからこちらは削減する量なので、実は1025tの8tぐらいを使ってモータを作るという形です。すみません、台数というのは、そのまま今すぐ出てきませんが、後ほど山田の方から出てくるとは思いますが、1台当たりに必要な量で割ったという形になるかと思えます。

【下山委員】 1台150gぐらいと私は今計算したのですが。

【和泉（テーマリーダー）】 そうですね、百数十gになると思えます。

【杉本分科会長代理】 最近聞いた話では、世界中で1000kW以上の回転機が作られるのは、年1万台だそうです。それはまったく本当に最近聞いたばかりの話ですので、たぶんメーカーから聞いた話で正しいとは思いますが、これは何万台ぐらいを考えておられるのですか。

【星野委員】 8tを150gで割ればいい。

【杉本分科会長代理】 そういうことになりますが、おそらくそれはA社などがいろいろ言っている資料から出てきたものなので、おそらく正しいとは思いますが。わかりました。

【和泉（テーマリーダー）】 一つだけコメントをさせていただきますと、最近の動きとして1台でも大量に

使うだろうと言われるのが、風力の数 MW、5MW、7MW、10MW に対する永久磁石です。これに使う量は、線材に置き換えたときにも非常に大量の線材を使うことになろうかと思います。だからその領域が広がってくるか否かというのは、具体的にこういう数字が、これがアンダーエスティメートなのかオーバーエスティメートなのかというところを決めてくる重要な因子になってくるのではなからうかと思います。

【杉本分科会長代理】 風力が非常にたくさん使うのはよくわかっています。今回 1800 回転の回転数がたぶん 2M とか 5M とかになれば、もう 20 回転ぐらいですので、100 倍のトルクが要りますから、たくさん要るのはわかるのです。しかし一方で課題が色々違ってきます。遠心力は要らないとか、ずいぶん課題が違ってきます。100m も上にあるものをどうやって冷却するのかとか、色々あるので、あまり話は大きくしないほうがよいと思います。

【和泉 (テマリーダー)】 ただ基盤技術として、今こういう横にエッジワイズで曲げにくい複合材料を使って、たとえば傘型のコイルにしていくところの要素技術は、十分適用可能なところだと思います。

【杉本分科会長代理】 それはよく理解しています。

【熊倉分科会長】 それでは予定の質疑応答の時間もオーバーしていますので、この辺で議題 5 の質疑応答は終了させていただきます。

6. プロジェクトの詳細説明

(1) 超長尺イットリウム系複合材料における希少金属使用量低減技術開発

事業の詳細について資料 6-1 に基づき実施者から説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【熊倉分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、ただいまの発表に対して、質問、コメント等がありましたらどうぞ。

【浅野委員】 とられたアプローチに関して、出口という観点と、事後評価ということで今後のプロジェクト等への反映というのがあるので、その観点からですが、PLD と MOD を採用されたというアプローチは妥当だと思いますが、結果として出てきた成果も踏まえて、一言で言えば棲み分け、つまり、それぞれに磁場や温度に対する特性など、材料も含めてですが、色々あります。今回は、例えば 500kW の永久磁石のモータの代替ということではターゲットが割とはっきりしています。そうすると、今回の成果で二つの製法に対してより効果的に適用するにはこういう考え方が、さらに今後のことを考えると、二つの方法をこういう形で棲み分けていくという知見が得られていればいいと思って、その質問です。

また Y 系で超電導の電力機器の技術開発で、短いものでは評価もされています。それと比べて今回の長尺の製法やプロセス管理に関するものは、短いもので良い特性が出ているのと等価、例えばコストや耐久性、磁場中特性などがだいたい同じと考えているのかどうか。これはプロジェクトの範囲外であればそれはそれで結構ですが、将来のことを考えると非常に重要だと思います。

【和泉 (テマリーダー)】 浅野委員の指摘は非常に大事なポイントで、われわれもそこは重要だと思っています。この中ではそこまではやりきれなかったもので、今われわれが持っている知見、もう一つでやっている機器開発プロジェクトでの知見を今回のところに適用して、どこまで見込めるかという答えになると思います。

一つわれわれが考えなければいけないのは、ここではベースの能力として、77K の自己磁場の下での特性と長さを基準として考えたわけですが、実際に回転機に使うときには、磁場中での特性が必要になってきます。それを改善するためには、超電導の線材で言うと、人工ピンの導入が非常に有効です。その技術は PLD でも MOD でも行われています。

どこを目指すかということ、もう一つ基軸を考えなければいけないのはコストだと思います。これも

もう一つのプロジェクトで技術コストを試算しており、PLD に比べて MOD のほうが低コストを見込め、一日の長があるという位置付けです。一方で、磁場中特性、これは人工ピンを入れない素の状態だと間違いなく PLD にメリットがあります。人工ピンを入れてもまだ PLD にメリットがある。そうすると、いまモータの適用性の 2 大要素である磁場中特性とコストを考えたときに、特性は PLD、コストは MOD というのがそれぞれの特徴と言えます。

では将来の両方とも満足する線材はどちらだと言われると、今のところどちらも可能性があります。例えば PLD はコスト低減を図っており、MOD は人工ピンを入れて磁場中の特性を上げているところ です。一つの答えとしては、なぜこの二つを選んだかの答えにもなりますが、どちらが生き残っていくかまだ決めたい部分があって、今回は両方ともトライしました。

いま一言言えるのであれば、高付加価値で高コストのものをよりコンパクトにして強い磁場の下でも良いものが必要となれば、PLD を選択して下さい、という話になるでしょう。よりコストが大事になってくるところで安い仕様のものとなると、こちらを選択してはいかがですか、ということで MOD、そういう棲み分けの方向性があると思います。

今回作った線材が他方で開発している線材に対してどういう位置付けにあるかという、今人工ピンは入れていません。つまり、無垢の超電導体の膜を作っているだけで、そこにあえてバリウムジルコネート、非超電導体の粒を散らすということはしていません。ただし、それを入れていないもののベースとしてはほぼ同等のものができているので、そこに人工ピンを入れる技術開発を付加すれば、磁場中での特性改善が十分見込めるベースのものではできていると思います。それは MOD についても同様です。

【浅野委員】 よくわかりました。関連して、逆の見方ですが、長尺で開発されたプロセスの管理や製法などを短尺に適用する。今短いもので良い性能が出ています。言ってみれば向こうのものをこちら、こちらのもを向こうにというのは、成果の意義という観点で、どのくらいまでやれるのでしょうか。

【和泉 (テーマリーダー)】 先ほど松林主研が紹介されましたが、このプロセスで導入した装置はイットリウム系の機器開発プロジェクトへ移管してアシストするようにしています。そこでは、あちらで開発している技術を長尺に乗せる。具体的には、特性上は少なくともあちらに一日の長がある。当然そこを目指してやっているわけですから。それを乗せることで、アンドで長い線材で良いものを作ることが期待できる融合効果は立証できるのではないかと考えています。

【浅野委員】 そういう理解でよろしいですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 はい。

【熊倉分科会長】 その他いかがでしょうか。

【星野委員】 まずテープの I_c の基準、クライテリアは。

【和泉 (テーマリーダー)】 $1\mu\text{V/cm}$ です。

【星野委員】 7m で測っていたわけで、もっと上げられるのではないですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 もっと低くできるのではないかとということですか。

【星野委員】 はい。

【和泉 (テーマリーダー)】 やる気になれば、下の方ではできないことはないと思います。ただ、これまで超電導の中で、それは下山先生にお聞きしたほうがいいかもしれませんが、一つの基準として、 $1\mu\text{V/cm}$ で I_c を定義してきたので、ここではそれを基準としています。

【星野委員】 なぜ $1\mu\text{V/cm}$ だったか。それは測定器の限界がそこだったからです。

【和泉 (テーマリーダー)】 今長いものについてはできます。

【星野委員】 なぜかという、ノーマルスポットなどがあつた場合、全体のコイルの中でどのような働きをするかがまだ議論されていません。長尺でやると、どこか弱いところがあつても、隠れて見えなくなるところがあつて、それで大丈夫とするのかどうか。大丈夫だったらその評価でいいけれども、そこ

がはっきりしていません。ものをつくった人間、コイルをつくってモータにしてみたといい評価がない時点で、それで大丈夫かというのは、いつもクレジットを付けておく必要があるのではないのでしょうか。

もう一つは東日本大震災があって、電源が落ちて、計画停電もあって、結局、1kmのものが作れない。これからも1kmをやろうとしたときに、どこかで落ちるといことがあったらどうするのでしょうか。発電所をもう1個用意しておくのかということも含めて、もっと短くて速い時間でできるプロセスといまやられたプロセスとのトレードオフをどう組み上げるのかが気になっているところで、二つの方法がありましたが、1kmを作るのにどのくらいの時間が必要ですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 一つ目の質問で言うと、長尺線材について、長尺をそのまま使ったときの課題は、 I_c を $1\mu\text{V}$ で規定しただけでは見えない部分があるという指摘だと思います。それを I_c で評価するのか、 n 値で評価するのか。低電界側の n 値は一つの評価法だと思います。ただし、このプロジェクトの中での評価基準は基本計画で設定されたものに従って評価したというのが答えになって、それはこの手法だということです。

ただ、長尺のコイルに関して、われわれもリニアモーターカーでやったときに同じようなことを経験していますが、 10^9V レベルでの低電界側での n 値が下がってくると、例えば永久電流モードがなかなか維持できない、劣化の原因になるといったことがあるので、そのような評価はコイルに進めていく段階では必要になってくると思います。しかし今回、コイルになってうまくできたかどうかはわかりません。1kmではありませんが、後ほど山田から、200m、400mのコイルについての評価は出てきます。

停電等の問題はわれわれのプロセス、手法に限った話ではないので、私のような立場の人間が答えるべきかどうかわかりませんが、一つは事業所自体で、ほかの製造技術とともに、会社としてどう考えて対応されるのかということになると思います。この前、佐倉の分室に来ていただいたときにも、分室長の齊藤から、それは所として考える対応で、SMES等もありえるという話になったと思います。

今回のプロセスで時間がどれくらいかかるかですが、それぞれのプロセスが20~30m/h程度のプロセスの寄せ集めです。ですから基板から続けていって、20~30m/hから50m/hの速度で作っています。1kmをそれで割ると、最終的な超電導層はその時間が必要になってきます。ただし、その前にも必要になってくる。製造量としては、全部パラレルで進めるので、1回ドーンと落ちたら一連ものがダメになってしまう、ということになるかと思っています。

【下山委員】 PLD法は1kmできていなくても、順調に動けばすぐできるでしょう。MOD法は目標達成がかなり遠いと私は見えています。これは化学反応であって、パッチ式で貼っているのではなく、もの出入りなどを検証しないといけないので、例えば100mでも200mでもこの装置を使っていろいろな場所で固めて反応させて大丈夫というほうが信頼性はある結果になった気がします。ですからこれについては私個人としては保留したいと思います。化学反応は少しでは済ませられません。

それからPLDとMODを比較したときに、MOD法の場合、膜厚の制限が出てきます。PLD法は上限がない状況で開発が進んでいると思いますが、MOD法の場合は表面が荒れてくるなど色々な問題が同時に起こってきているのではないのでしょうか。それについて今回は話が特に出てきていませんでした。イットリウムとガドリニウムの違いなどに視点を置かれていたと思いますが、根本的にそのあたりの違いがまずあって、膜厚が稼げないから、 I_c も限定される宿命を持っています。

ただし、安いというメリットと、温度を下げて使ったときに、イットリウムとガドリニウムの差がほとんどなくなる可能性がある、そう考えたときにメリットは出てくるかもしれません。まだ捨てられない部分はもちろんありますが、別の要素があるのではないか、それはどう考えているのかが一つです。

もう一つはMODでどういう形でRTRを実現するのかを教えてください。

【和泉 (テーマリーダー)】 まず今回のパッチの評価ですが、おっしゃるとおり化学反応なので、ここできたから良いわけではなく、全体でどれくらいの反応ができるかが重要です。ただ、ダミー試料の位置付けとしては、ダミーのところには IBAD のベースはないけれども、その上に化学反応する材料は付けているということで、全体のボリュームを評価できるシステムでやっていれば、いま先生がおっしゃったほど不確定ではないと思っています。

【下山委員】 ただ、反応はずれます。

【和泉 (テーマリーダー)】 確実に同じ成長速度で行っているわけではないので、ずれは起きてきます。だから実際には長いものをやるべきだろうと思います。ただし、PLD と化学反応との大きなギャップを埋める一つの手法は、間にダミーで、下地は違うけれども、あるガスを必要として出すものがあるということだから埋められていると思っています。

もう一つ PLD 法と MOD 法の差で、膜厚限界という理解ですが、現状では必ずしもそうなっていません。膜厚限界の定義をどうするかですが、PLD 法の場合、厚膜の成膜はできます。しかし、a 軸がいっぱい出てきて、結晶性がどんどん落ちてきます。ところが、MOD 法は比較的丁寧に作ってやれば、 L_c と膜厚の関係で直線性が維持できています。そういう意味では、むしろ Reel-to-Reel でディップしていったときに、端が少し厚くなって、そこからクラックが入ってくるのが MOD 法の膜厚限界を決めています。具体的に言うと、最近では MOD 法でも $2.5\sim 3\mu\text{m}$ の超電導層の特性をある程度維持して成膜する技術ができ上がってきているので、膜厚自体でのメリット、デメリットはそう大きくない。ただ、磁場中での特性などに関しては PLD に一日の長があるというのはその通りです。ですからそこでの棲み分けはありえると思います。

Reel-to-Reel の件ですが、大型装置を今回、相模原分室に入れてあります。そのベースになるのは、このプロジェクトではありませんが、ISTEC の中で、Reel-to-Reel の長尺プロセス開発を行っています。それはリールがあって、何ターンかします。ここが反応領域になります。これに対して上からガスを吹き付けて、ターンしている中からガスを引き抜く。そうするとガスが上から吹いて下から抜くところに向かって、仮焼膜、アモルファスの膜が入って行って、ぐるぐる行って出ていく形のシステムです。これでも非常に均一で、200m で $300\sim 400\text{A}$ のものができるようになっています。これも一つのアプローチかと思って、この中で取り入れてきたものです。

【熊倉分科会長】 MOD で、処理温度の許容範囲はどれくらいあるのですか。結構狭いのですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 材料の選択は、組成が $1:2:3$ からバリウムを少し減らすことによって広がってきています。全くピュアにしてやると、その幅は比較的狭かったのですが、いま組成を変えたり仮焼の条件を適正化することによって、 50°C ぐらいの幅があります。もちろん特性を厳密に絞っていけば、それがだんだん縮まってくると思いますが、少なくとも $20\sim 30^\circ\text{C}$ 以上はあります。

【杉本分科会長代理】 PLD は $20\sim 50\text{m/h}$ の寄せ集めで作っているということなので、作製プロセスでもそのくらいでやっておられるのでしょうか。先ほど厚くするためには何回も薄いのを繰り返すとおっしゃったのですが。

【和泉 (テーマリーダー)】 プロセス速度としては、それで終わった形です。最終的にでき上がるために何 m/h 、例えば 100m/h で 5 回塗りしたら 20m/h ということです。

【杉本分科会長代理】 ここに 200m/h とありますが。

【和泉 (テーマリーダー)】 これは移動速度です。

【杉本分科会長代理】 実際にやるのは？

【和泉 (テーマリーダー)】 例えば 100m/h で 3 回塗りしたという類のことです。

【杉本分科会長代理】 実際に塗られる回数は 3 回ぐらいですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 その程度だったと記憶しています。

【杉本分科会長代理】 それで 30m/h 程度ということですね。了解しました。

【前田委員】 I - L の絵が何度か出てきていますが、各社各グループのデータで、何百 m×何百 A と書いてあるのは、実際のメータの通電のデータと考えてよろしいですか。

【和泉 (テマリーダー)】 End-to-End では必ずしもありません。というのは、これだけの長さになると、End-to-End の巻棒をつくるだけでとてつもないサイズになって、それを入れるお風呂をつくるだけでもとんでもないことになります。ですから基本は先ほど MOD のところを出したように、尺取りとって、各パートで取っていった値での一番低いところを取るか、平均で取るか、ばらつきは若干あります。ただし、このレベル以上というところはどちらかの形での評価になっています。

【前田委員】 これだけたくさんデータがあって、全部同じ土俵で比べられるものかと思っていたのですが、例えば赤の矢印でこうなりましたというデータがあります。これは同じ土俵に乗せても全く問題ないデータと思ってよろしいですか。

【和泉 (テマリーダー)】 今回の成果は必ずしも End-to-End ではないということと、全部を 1km にわたって尺取りで測ったわけではないので、ほかのものに比べれば、そこに相当する技術と理解したほうがよろしいと思います。

【前田委員】 気になったのは、せっかくこういう成果が出たけれども、これを世界一になりましたと出してよろしいものでしょうか。

【和泉 (テマリーダー)】 そこは先生がおっしゃるように、ここの中で同じですと言うにはまだ早いと思います。ヒゲを全部落として、尺取りで取って一番低いところを評価して、500A が出たら、ここに打っていいという理解でいます。

【熊倉分科会長】 ヒゲの原因はわかっていますか。

【和泉 (テマリーダー)】 いろいろな要因があって、プロセスを担当している人に聞くと、開発当初に出てくるものが多いようです。例えば MOD では、炉を入れて、しばらく使っておいて、焼いて酸化して安定する層が炉の内面にできないといけません。真空装置ですと、ベーキングして内面が安定するまでは時間が必要です。その時間もないくらいところで突っ込んでいかなければいけなかったのが今回です。そういうところが主に利いていると思うので、比較的多くのものについては立上げ当初に出てきたものは自ずとなくなっていくと理解しています。

【熊倉分科会長】 これを見ると、後ろにいっぱい出ていますね。

【和泉 (テマリーダー)】 それは追ってなくなっていくと思います。

【下山委員】 当初目標としていた 1km 長で 300A に対して、結局、地震もあって、代わりのデータを出すことになったのですが、いずれ再開するとして、技術課題がいくつか残ったままになっています。当初目的はどれくらいの期間でクリアしようと考えていますか。

【和泉 (テマリーダー)】 ご理解いただきたいのは、1km300A の技術を見通すというのが基本計画であり、1km の平均が 200A で、10m 長で 300A を出したら、見通したと定義するというのがプロジェクトの実施計画書にうたわれている構成です。そこを大きく逸脱せずに、特に PLD のプロジェクトに関してはそのままのことができています。

ただし、使う線材としては、全部クリアになったもので初めて使える技術だから、そこにあとどれくらい必要かという質問だと思います。切り分けて言うと、プロジェクト上の目標は行っています。しかし、そこから先、まだ残っているものを早くやらなければいけません。私の感覚ですが、あと 2～3 カ月続けていくことができたなら、そこはかなり収束していくのではないかと考えています。

【下山委員】 それくらいでできると、すごく楽しみです。

【和泉 (テマリーダー)】 私もそう思っています。

【浅野委員】 先ほど熊倉先生がおっしゃったことが私も気になるのですが、今回取った方法に本質的に起因して出てきていて、まだまだ解明されていないところがあるのか、もの作りをやっていく中で自然に消滅していくのか、いかがでしょうか。

【和泉 (テーマリーダー)】 イットリウム系の機器開発プロジェクトでは、数百 m のものが安定して、例えば分布が数%以内に入っています。その技術は何かというと、今回こちらで完全に絞りきれていないのは、下地から全部、積層です。そうすると基板材を 1km きれいに研磨してあるといっても、実際に使ったものは開発途中のものを引っ張り出してこななければいけなかったというのが一つあります。中間層を付けているものも絞り込むほどの時間を与えられずに、あるレベルのものを作ろうという、それぞれの装置で経年があるところの重ね合わせ、掛け算になってきています。

そこは大丈夫かということ、私が比較的自信を持って大丈夫だと思っていますと言うのは、同じような経験を踏まえてきた中で、いまの機器開発プロジェクトでの線材提供、数百 m 数百 A というのはきれいなシグマ (標準偏差) 数%の中で収まっている技術があるので、いま持っているプロセスを下のほうから一つずつ詰めていけば、必ずそこに行けると考えています。一番問題だったのは、大きなトレンドで落ちてきてしまうものはいままで経験していないから戻すことができません。それを解決するのがこのプロジェクトだったので、その所期の目的はできていると思っています。

【浅野委員】 PLD で最初のほうが下がっているのは本質ではないと理解していいですね。もちろん目標は達成しているので、数字は問題ないのですが。

【熊倉分科会長】 その他いかがでしょうか。よろしいですか。それでは、議題 6 の 1 番目はこれで終了とします。ここで 10 分間の休憩を取ります。再開は 15 時 40 分からになります。よろしくお願いします。

(休憩)

6. (2) イットリウム系複合材料の製造工程における希少金属利用率等の効率向上技術開発

事業の詳細について資料 6-2 に基づき実施者から説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【熊倉分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、ご質問、ご意見がありましたらお願いします。

【浅野委員】 目標を達成しているのは明確ですが、いわゆる前提、具体的には超電導特性、酸素圧力の関係で、こういう特性を持っているのは非常に有益な情報だと思います。そうは言っても、言い方が悪いかもかもしれませんが、超電導特性を無視すれば収率はいくらかでも達成できるように見えるので、そのあたりの考え方をもう少しお聞きしたいと思います。超電導特性のこのあたりを考えて、収率の 40% を達成するように考えたとか、そのあたりのところですか。

【和泉 (テーマリーダー)】 内部目標で持っていたのは、先ほどの PLD や MOD の開発の経験も含めていくと、一つの目安が 1 MA/cm² です。1MA/cm² が、イットリウム系の超電導薄膜線材の良さを出す一つの線になります。それを超すくらいを一つの目安としてやっていきたいと思いますというのが内部目標でした。

ここで言うと、1.4 MA/cm² はそれを超して約 40% なのか。こちらはそれには未達かもしれないということが、自分たちの内部目標に関してのことになるかと思いますが、一つの目安は 1 MA/cm² と考えています。

【浅野委員】 わかりました。ついでのような質問ですが、先ほどの説明にも長いものやスループットを上げるものはまだまだということで、それはよく理解できます。このプロジェクトは、テーマ 1、3、全体が連動していると思います。そういうものを結びつけて、たとえば今回の成果をテーマ 1 でやった長尺化にも結びつける。そうすると、130 分の 1 という効果はきつともっと大きくなります。その辺の考え方、アプローチも提示いただくといいかと思います。

【和泉 (テーマリーダー)】 これは一つの算数で、スタートのときにこれくらいのができたらこれくらいの効果が見込めるだろう。130 分の 1 になったらそれが 4 分の 3 くらい、もしくは今回、56% をそのまま数字として使わせていただければ、5 分の 3、5.6 分の 3 くらいはさらなる低減として期待でき

ます。

では、それに対してどういう考え方でこのプロジェクトに臨んでいるかという、必ずしも長いものを実証してはませんが、プロセスとしてはそこにつながるプロセスを目指してやっていました。レーザー CVD も YAG レーザの PLD も、いずれも Reel-to-Reel の装置で最後には、評価しましたということで、まだ小さい装置です。何百メートル、キロとは行きませんが、少なくとも今の PLD、MOD も最初はそういうところからスタートしてだんだん長いものにつなげていきました。小さい固定成膜から次のステップに入ってきているところを、このプロジェクトの中では実施しました、というお答えをさせていただければと思います。

【浅野委員】 たとえば YAG レーザの PLD にしても、距離との関係とかいろいろ評価されています。長いものに対してはまだまだということと、考え方として導入できるものとか、この中にもいくつか要素があるのではないかと聞きました。

【和泉 (テマリーダー)】 非常にギャップがあるのは、固定成膜をしている、われわれのラボレベルで一番はじめに始めたころの条件や成果と、それを Reel-to-Reel で動かしながら作りますというところには、だいぶハードルが高いものがあります。ファーストステップのところは全部、最後の評価、ここを出てきているのも Reel-to-Reel での成果です。実際にテープを動かして作っています。

先ほどレーザー CVD で特性を見ていただいたものも、動かしてものを作っています。そういう意味では、長尺に向けたファーストステップとして階段を昇るようなことを仕込んで終わったと考えています。

【浅野委員】 わかりました。

【熊倉分科会長】 実用化を考えた場合、収率はどのくらい大事ですか。最終的にはコストがどうなるかということだと思いますが、もし収率が非常に大事であれば、まずこれを真っ先にやるべきだと思います。

【和泉 (テマリーダー)】 いまの分科会長のご質問へのお答えとしては、このプロジェクトの中での位置付けは、レアメタル、レアアースをどれだけ少なくするか、線材を作るにあたって必要な希少金属量をどれだけ減らせるかということなので、そこはダイレクトに効きます。

もう一方で、いまご指摘があった実用線材、実用複合材料としての見方はどうかといいますと、われわれは別プロジェクトの中で、コストの計算を技術コストとして行っております。ロイヤリティやベネフィットはそこに入れておりません。その中で言えるのは、比較的高いコストのとき、たとえば数十円/Am と言って比較的高い領域はコストの中で何が一番大きな部分を占めているかという装置費用です。原料費用ではないので、ここでの収率コスト内の比率はそう大きくはありません。

それがだんだん落ちてきて、たとえば 3 円/Am を切ると、高速化が実現できて装置の減価償却が比較的スムーズにできるようになってコストが下がってきます。そうすると、原料比率は相対的に重くなります。より進めば進むほど低コスト化、原料の収率がコストに効いてきます。3 円/Am、2 円/Am になると無視できなくなってくるとご理解ください。

【下山委員】 そのあたりの概念についてまず聞きたいのですが、たとえば収率が 30% でも I_c が 5 倍になれば 5 分の 1 の線と同じだけの機能が果たせるので、結果的に希土類は使わないことになります。たとえば 40%、50% の技術が出てきても、 I_c が従来の技術の半分も行かないところで止まってしまえば効果はないと私は見ます。それについてどうお考えですか。

【和泉 (テマリーダー)】 先生がおっしゃることは正しいです。いま私が答えるのであれば、いまこの段階で言うと、ある最低限のレベルの特性を持った上での成膜技術としての高収率化ができますかというのが今回のここでの評価技術です。この先、このままで PLD や MOD にはとてもかかないません。特性を上げていかないと対抗できません。

【下山委員】 一つ、懸念材料だと思ったのは、最初に CVD の場合です。TiO₂ の場合は単体金属酸化物なので非常に楽でした。私も CVD をかじったことがあって、何か条件を変えるとすぐいろいろなことが

狂ってしまいます。普通の MOCVD に比べてレーザを用いることは確かに堆積や収率を上げるかもしれませんが、逆に均一度を下げってしまう心配がなきにしもあらずです。

要するに長尺化したとき、ここでは L の最大値しか出ていないので長手方向の均一度がわかりませんが、非常にコントロールが難しいという記憶があります。そのあたりはいかがでしょう。

【和泉 (テマリーダー)】 今ここではまったく実証していないので、それに対して「そんなことはありません」と言えるほどのデータはここにあります。ただし、レーザを与えているということは、反応に対してのいままでの不安因子だった、ガスの供給に対しての不安定性や表面に至るまでの不確定性を、レーザで励起させることで全部促進していると期待はしています。

東北大学の伊藤さんに聞いた方が良くかもしれませんが、今レーザ CVD にしたからといって、TiO や TiO₂、ジルコニア系のものをつくったときに再現性で不安定な状況はあるかということ、それは聞こえてきていません。そうならないのではないかと期待しているところです。

【下山委員】 全体の組成は合っている、仮に 1:2:3 以外のフェーズの分布が場所、場所で変わってしまうと。

【和泉 (テマリーダー)】 困ります。特に多元系の場合は、先ほどもご紹介したように難易度はべき乗で効いてくると思います。その難易度が上がってくることは一つの大きなテーマです。

【下山委員】 少なくとも MOCVD は S 社の線材で実績があります。それに対して、これを足した意味があるかどうか。

【和泉 (テマリーダー)】 そうですね。そういう意味で言うと、長尺をつくる実績は S 社が出してくれています。そこにデフォーカスしたレーザでアシストすることで高速化、高収率化を図るという概念で言えば、開発を行う意味はあろうかと考えます。

【前田委員】 個人的に YAG レーザの PLD には非常に興味があるのでお聞きしたいのですが、大変収率が上がりました。特性もそこそこと言っていいのか、良い結果だと思います。

少し気になったのは、均一なレーザスポットで収率が上がると言っていますが、その確証はどこかにデータはあるのですか。YAG でやったら必ずエキシマより収率は良いのか。いま個人的に感じたのは、インブルームでやったことが結構大きいだろうと思います。そのあたりについて、何かデータはありますか。

【和泉 (テマリーダー)】 考え方としては、一つのブルームに対してレーザの均一性がブルームの均一性に反映しているのはたぶん「あり」だと思います。それが見えてきたのがこれだと思います。

では、PLD と比べて、それぞれについて PLD がだめで YAG は良いのかどうか。エキシマでも別の努力をしています。マルチブルームにするときに、分布を弱めるがために別なところに何箇所か分けることによって分布をなますようなことをしています。比較的インブルームでも成膜できるよう、こちらはこちらで努力しています。ただし、単ブルームや少ないブルームの中での効率は、インブルームにできている、逆に言うと単ブルームでできているのは YAG レーザの特徴だろうと思います。

【前田委員】 まだわからないところがありますが、ありがとうございます。

【星野委員】 細かいことを聞きますが、12 番のスライドで 10mm×10mm のサブストレートの線があります。これは何のためですか。

【和泉 (テマリーダー)】 基礎条件の検討です。基礎的に YBa₂Cu₃O_y をちゃんと成膜する条件を詰めていくのに、固定成膜で行っています。必要以上に大量の基板があるわけではありません。決まった基板を有効に使うがために、ある程度の狭まった領域の中での温度、酸素分圧、組成の条件を詰めていくことを 10mm で行っています。ある程度山になっているところは、こちらの温度域のほうが良からうというところの周辺を広い領域で確認しているのが開発のステップです。

【星野委員】 20mm×25mm を調べた温度領域ではないということではないですか。

【和泉 (テマリーダー)】 この場合、いまの領域の全体が均一に同じような山を持っているわけではあり

ませんでした。だからこそ、その周辺を探っています。

【星野委員】 20mm×25mm で成果を出した、目標を達成したものは 680℃くらいでしょう。収率がピーク、40%を超えているのは赤い線ですね。そちらはどちらですか。

【和泉 (テマリーダー)】 このプロセスを説明しなければいけません。予備加熱は基板を事前に温めています。その上にレーザを照射すると温度が上がります。最終的に成膜している温度は、予備加熱温度+レーザによって得られたエネルギーによって感じている温度です。

これも実際に表面の温度は測っていませんが、基板直下に熱電対を置いて評価しています。ここに書いてある右側の予備加熱温度は、ベースで、ヒーターで加えたときに、成膜にレーザを照射する前の温度です。それに加えて、レーザを照射した、実際に成膜したときに基板の裏側で感じている温度はグラフの横軸です。

【星野委員】 横軸が上と下、二つあるから聞いているのです。

【和泉 (テマリーダー)】 ケルビンと℃です。

【星野委員】 温度スケールが違うということですね。わかりました。

【杉本分科会長代理】 先ほどもお聞きしたと思いますが、 J_c 、 I_c の関係です。 J_c は、超電導体そのものの単位面積当たりの電流ですね。

【和泉 (テマリーダー)】 そのとおりです。

【杉本分科会長代理】 I_c は、それを線材としてつくったときの値ということですか。

【和泉 (テマリーダー)】 J_c ×膜厚で線材幅です。

【杉本分科会長代理】 ②-2 の目標達成度が◎になっていますが、 J_c が 1.4 で、3MA に比べれば小さいですね。それで◎になっているのは、どう判断するのですか。

【和泉 (テマリーダー)】 ここでの判断は多少恣意的なものが入っていますが、56.1%は実際、Reel-to-Reel で確認したというところで、もともとの収率確認は固定成膜で 40%以上を確認しようというのが目標値で最初にお見せしたところです。

それに加えて、YAG レーザは移動系で 40%以上できているので◎にしました。上は固定成膜での 40%なので、そのまま目標どおりのことができているから○です。下はアドバンスで、移動した系でもそれができているので◎にしています。

【杉本分科会長代理】 上のもので移動はまだないのですか。

【和泉 (テマリーダー)】 移動して特性を測っていますが、ここでの 40%は、レーザ CVD は領域も含めてまだできていません。

【杉本分科会長代理】 数字がないけれども、まだできていないと。

【和泉 (テマリーダー)】 元々の目標値のこれを見ていただくと、短尺で 40%を証明してということが基本になっています。

【杉本分科会長代理】 そういう細かなことはよく読んでいないのでわかりませんが、上は固定、下は移動ということですか。

【和泉 (テマリーダー)】 そうです。40%、50%と言っているところの数字をどういう手法でつくったか。

目標値どおりが上、下はそれよりアドバンスなところまで行ったという意味で◎にしています。

【杉本分科会長代理】 わかりました。上の移動は、まだ 40%には行っていませんが。

【和泉 (テマリーダー)】 原理的なところは確認できました。

【杉本分科会長代理】 目標ではないので問題ないではないかということですね。

【前田委員】 細かいことで恐縮ですが、レーザ CVD についてです。この図を見ると、レーザは YAG を使ってコンティニアスで 250W と書いてあります。ちなみに波長はどのような波長ですか。書いてありますか。

【和泉 (テマリーダー)】 波長はレーザ源のところですか。1025nm です。

【前田委員】 そのまま使っているのですね。

【和泉（テーマリーダー）】 はい。

【下山委員】 2倍波にしたら溶けると書いてありましたが。

【和泉（テーマリーダー）】 それはYAGです。少しパワーを上げてやればということですよ。

【下山委員】 収率が上がるのではないかと、期待してやられたということですか。

【和泉（テーマリーダー）】 そうです。この中ではご紹介していませんが、こちらまでの成果には至っていません。

【星野委員】 たぶんターゲットされた中に入っていないと思いますが、原料は外へ捨てられるのですか。

【和泉（テーマリーダー）】 たとえば45%だったら残りの55%がどこに行くかというご質問だと思います。チャンバの中と、排気して外に出て行くのと両方です。

【星野委員】 組み立てと全然違う話ですが、収率を上げるというのは、その部分を回収する考え方はどうですか。要するに、きれいにつけると言ったときに、ブルームのきれいなところだけを使ってきれいなものを仕上げて、残りのものはつかないけれども回収してもう1回回せば全体としては上がるだろうと思います。

先ほどのYAGレーザのPLDのものも、楕円形になっています。3本、当てていたら、端のテープは右側と左側でブルームの当たり方が違うのではないかとイメージを持ってしまいます。そこは本当に端まで全部使ったらいいのか、よく見えないところです。

【和泉（テーマリーダー）】 回収という意味で言うと、回収したものを純化して使うことが見合うかどうか、大事になるかだと思います。原理的にはそういう考え方もあろうかと思いますが、そこはコスト的にペイするかどうかかと思っています。

端の課題は、PLDのマルチターンに関しては、あります。一つのブルームに関してやっていると、必ずそういうことがあるかと思っています。できるだけそれを小さくしていきましょうという方法は、分布がより広がってくるところの手前で全部回収してしまうのも一つです。もう一つの手法はマルチブルームという手法で、ブルームをいくつかに分けてやることによってそれを軽減してやりましょうというアプローチも別途行っています。そういう技術は、ここにもアプライできるのではなかろうかと思っています。

【熊倉分科会長】 よろしいですか。それでは時間になりました。どうもありがとうございました。3番目、三つ目のテーマについて説明をお願いします。

6. (3) イットリウム系複合材料を用いた回転機要素技術開発

事業の詳細について資料6-3に基づき実施者から説明が行われた後、以下の質疑応答が行われた。

【熊倉分科会長】 ありがとうございました。それではご質問、ご意見はいかがでしょうか。わからなかったのですが、液体Neで冷やしてコイルのところは40Kくらいになるということですか。

【山田（実施者）】 少しまぎらわしかったです。ものが違うので今現在はここに銅ブロックの試験用のものをつけています。SUSの厚さにもよりますが、この界面では試験装置は30Kで、まだ10Kくらい余裕があります。コイルがついてこちら側にもっと分厚いものがつきますが、40Kで結構大きいものでも大丈夫ではないかという見通しです。

【浅野委員】 500kWの回転機の設計があつて、最適化という言葉はあまり適切ではないですが、最適化されたと考えていいですか。最適化というのは、希土類の最小化になっていると思いますが、実際はたとえばコストや別の指標もあります。どの視点ですか。これはあくまで低減という観点で最適化されていると理解していいですか。

【山田（実施者）】 種々の事情、期限、資源の面もあり、フルにカバーはできなかったのですが、実機は今

言われた通り、ある程度成り立つもので Y 系でやりました。ただ、検討は報告書に書いてあるように九大の先生などと一緒に、設計、検討上、どういう形状が良いか、効率、線材量の最適化である程度の指針は得ています。実機、あるいは最終の電機子まで含んだ詳細設計は行っていませんが、ラフな検討はしています。

【浅野委員】 モータとしては単独ではなく、全体的なシステム的な検討も要るかと思います。線材に関しては、今回得られたテーマ 1 の 600A で 77K にする。最大限これを考慮しているのですか。

【山田（実施者）】 加えて、今回のプロジェクトではないのですが、800A など 100m、200m 級で報告されています。

【浅野委員】 そういうものも報告されているのですか。

【山田（実施者）】 はい。今回は 600A にかなり近い。このレベルは結構期待できるのではないかと考えています。

【和泉（テーマリーダー）】 この設計では、先生がおっしゃるように 600A での設計をしています。コンパクト、軽量で、しかも線材量をできるだけ少なくするという概念は含んでいますが、最適化までは行けていません。先生がおっしゃるように、最適化は一言では済みません。コストミニマムなのか、線材ミニマムなのか、重量ミニマムなのか、いくつかあると思います。実際にラフな計算をしても、そこはそれぞれ方向性があります。その中でユーザが何を目指してやっているのか、用途によって何を指すか、今後詰めていかなければならないところが残っています。

ただし、出発点で良い線材を使っていける中で、小さくすべくどれくらいのところを目指していくかというファーストライでこの設計をしました。まだ最適化の余地は残っています。

【浅野委員】 わかりました。先ほど下山先生もお話があった冷却はかなり重要だと思いますが、液体 Ne のサーモサイフォンもいろいろな検討をされた上でのこういうセッティングかとは思いますが。このあたりはいまどうアプローチでこの設計になっているのでしょうか。例えば水素でやるとか、もう少し温度を変えてでも、全体的にはこちらの方が得をするとか。特質を評価された上でこの設計になったのかという意味です。

【山田（実施者）】 先ほどパーフェクトなものを出しにくいという話をしましたが、冷却可能な運転温度が一番大きいでしょうか。液体窒素でできれば一番いいですが、77K では Y 系でも 5MW 回転機になると、報告書にあるように検討していますがアペンディックスで 5T です。そうすると I_c がかなり落ちるので、40K で数百 A を流すシステムが、まず取っ掛かりとしてあります。そこで選びました。

では、水素ほかはどうなるか。詳細はやっていませんが、COP は 20K と 40K で倍違います。先ほど棒グラフに出てきましたが、1% でかなり大きい。そうすると、できるだけ高温のほうがいいのではないかとこのところでは。

【浅野委員】 わかりました。もう 1 つだけ。コイルをつくって評価されたのも成果としては出ています。この試験は、実機で設計されたのはどこまでですか。たとえば歪みとか製作の段階での話もありますが、運転している状態ではどこまでが模擬されていて、どこはまだか。まったく等価ということはないですね。

【山田（実施者）】 おっしゃる通りです。1km の線材は、同時並行開発中であり、世界でもなかなか例がありません。写真でお見せしたのは 200m 級で、長さが違います。できあがったスケールは、実際の設計で長辺が 50~60cm と書いてありますが、その 3 分の 1 くらいで、30cm、20cm 程度です。ただし、それで無造作にやったのではなく、段差、あるいは曲率を一緒にしてやっています。機械的特性の模擬になっています。

【浅野委員】 それは製作のときですか。

【山田（実施者）】 そうです。大きなコイルの製作時の機械特性が特に気になりますが、そういったところは実機作製でも問題ないのではないかとこのことです。

【浅野委員】 運転状態はどうでしょう。通電しているわけですね。磁場や通電による力の話がありますが、そこはどのくらいの量までですか。

【山田（実施者）】 力の話は、たとえばここは 40K、50K で 1T 程度でしょうか。先ほどの表によると中心磁界で 3T なので 3 倍くらい違います。そこでまさにシミュレータをやった甲斐があります。

マックスのところでも剥離応力限界の 50MPa の半分程度で、機械的にはシミュレータの結果と設計の結果を合わせると、実験をやらなくてもとは言いませんが単純なフープ力あるいは電磁力も計算していますが、一応、大丈夫ではないかと思えます。

【浅野委員】 実際のものと同様にはできないと思えます。例えば支持機構とか、模擬できないところもあるのではないのでしょうか。この結果自身を否定しているのではありませんが、この結果でここまでできています。ここから先は、たとえばシミュレータの中で解析上どうやればいいかがわかっている。それに対して、いまの設計で実現できる。その辺をどこまで見通せるかという質問です。

【和泉（テマリーダー）】 補足すると、先生がおっしゃるとおりここはスモールスケールでやっている分だけ、加工性という意味で言うと小さく作らなければいけないので若干厳しいところもあります。作製上の負荷は、ある程度確認できたと思えます。

ただし、スケールで比例してくるような電磁応力に関してはできていません。その部分はシミュレーションで見っていますが、一方、実用化の見通しのところでご紹介した助成事業で実用規模のコイルをつくり、そこにかかる電磁応力を確認しましょうというものをそこでやります。もう一つ残っているのは、回転したときにかかる機械的負荷です。次のフェーズか何かでやっていかないと、最終的に検証できない項目だと思います。

【浅野委員】 わかりました。

【杉本分科会長代理】 界磁がシャフトに被っています。界磁の一番内側は 3T を超えると思えますが、シャフトはかなり励磁されていることになりますか。磁石になってしまっていないか。

【山田（実施者）】 それは非磁性のものでやっています。

【杉本分科会長代理】 非磁性を使っているのですか。

【山田（実施者）】 はい。設計上ですが。

【杉本分科会長代理】 ステンレスか何かで取り出すということでやっているのですか。

【山田（実施者）】 はい。パイプですか。

【杉本分科会長代理】 そうすると、かなり太くしないと機械的に問題が出ませんか。

【山田（実施者）】 機械的などは委員会でも議論しました。先生がおっしゃるように今回やれていないところもありますし、やらないといけないところでもあります。機械強度云々ですが、それは私どもでも課題です。

【杉本分科会長代理】 とにかくこれは非磁性のシャフトだということですか。

【山田（実施者）】 はい。

【杉本分科会長代理】 わかりました。先ほど風力の話がありました。低速で動きますが、伝導で十分、冷却できるとっておけばいいですか。

【山田（実施者）】 はい。先ほど浅野先生から質問があった模擬できたところ、できないところ、一つ模擬できたのは、冷却の仕方です。サーモサイフォンでコイル試験をやっていないで、GM (Gifford-McMahon) 冷凍機で直接に伝導でやっています。コイル相当部位を設置して伝導で冷やすところはできています。風力はもう少し回転数が遅いので、これがはがれる心配はないだろうと思えます。だから、さらによく冷やせます。

【和泉（テマリーダー）】 先生がおっしゃるように、低回転の 10 回転、20 回転のところまでにサーモサイフォンがどれだけ適用できるかは難しいところがあるかと思えます。いまのところ、設計した 1800 回転でこれが適用できるでしょう。風力に応用するのであれば、ギアが入っていれば羽の回転数

は 10 回転、20 回転ですが、界磁が回るのはもう少し回転数が大きくなります。そのときにはまた別の考え方で可能になってくるかなというところがあるかと思います。

【杉本分科会長代理】 いまのことについては反論があります。いま 2MW くらいまで来ているのは、ギア付きで来られるからです。それを超えるとギアがもたないので、M 社は別のところでいろいろやられたりしています。10MW はギアレスとは違うのですか。

【塩原（実施者）】 例えば、超電導ではありませんが、ヨーロッパの V 社の 7MW の風力発電は、永久磁石のギア入りです。M 社でギアが非常に厳しいのは、メンテナンスの事故の確率（事故発生原因）がギア部はだいたい 25%あるので、洋上での事故は非常に大変です。ギアフリーにしたいということはありませんが、現時点ではギア入りということも全然否定していません。

【杉本分科会長代理】 A 社は 2MW でもギアレスですね。

【塩原実施者】 そうです。ギアに得意な会社と得意でない会社の両方あるのはご存じだと思います。

【杉本分科会長代理】 ギア付きになるかギアレスになるかはよくわからないし、M 社もイギリスの会社を買収して別の減速機を考えているようです。高速でそのまま行けるかもしれないし、その辺はよくわかりません。

いずれにしても、100m 近くの高さに冷却機を置いて、かなりの頻度でメンテナンスをしなければいけないものが存在するのかわかりません。その辺の知見があれば、よろしくお願ひします。

【塩原（実施者）】 下山先生がおっしゃったように「超電導は冷却が必ずデメリットなので、風力で百何メートル上の冷却をどうするのか。そこにどうやって冷媒を持っていくか。冷凍機は上だよ」という話になったとき、どの程度の冷凍機能力が要するのか、先ほど効率の中で冷却効率があったと思いますが、逆算すると COP を逆算するだけのワット数の冷凍機が要るときに、いわゆる交流損がなくなる形のものでない限りはかなりの冷凍機がいらいます。

ただし、今電力で使われているような想定 of 冷凍機までは要りません。数 kW、数十 kW の冷凍機、冷却が要る形にはなっていない。それほど大きなものはありません。それをどうするか。そこへの給電などのほうが逆に問題です。いまのところ、タービンを使ってメンテナンスフリーの冷凍機で小型化していくところをどうするかが次の課題です。そうしないと、GM を適用するとかなりきついのは事実です。

まだありますが、このプロジェクトでは産業用のモータの中の波及効果でコイルはこう使えますという位置付けでご理解いただき、冷却、冷凍機、風力までを明確にしているプロジェクトという認識は、まだ次の段階だと思います。

【杉本分科会長代理】 そう思っていました。風力が出たので、そういうふうにお話ししているだけです。

【塩原（実施者）】 ただコイルに関して言うと、風力発電機回転子界磁巻線の嵩密度を上げることができるし、効率が上がってきて冷却損も減ってきたので、基盤研究として波及効果の基礎研究はできたという位置付けです。

【山田（実施者）】 付け加えて言うと、私見ですが、風力に関しては先生がご存じのように径も非常に大きくなります。設置する曲率も条件がゆるやかになります。すなわち、コイルも作りやすくなるかと思ひます。冷却に関しては現状機でも色々なものを冷やすので、超電導ではないですが、そういうものがすでにタワーの中、ナセルの中にあるようです。超電導は重さもずいぶん軽くなって、10MW とかが可能になると言っているのが有望ではないかと思ひます。

【杉本分科会長代理】 ギア付きだという話でしたが。

【塩原（実施者）】 ギア付きも考えています。

【杉本分科会長代理】 C 社へ行ったときに、ギアレスで 10MW の設計例を見せていただきました。

【塩原（実施者）】 ギア入りですと言っているのではなくて、ギア入りを否定はしていないということです。ギアフリーのほうがいいのは確かです。メンテナンス上は当然良いし、超電導のメリットは出ます。

- 【星野委員】 Neの冷却については、ヒーターを4Wまで加熱していますが、熱侵入はあったのですか。
- 【山田（実施者）】 熱侵入の定量値は失念しましたが、そこそこはあります。その理由は、シャフトが短く、モータとしての全体の最適熱設計を行っていないからです。
- 【星野委員】 質問は、4Wのヒーターパワーが熱侵入に対して妥当かを見積りたいのですが。
- 【山田（実施者）】 妥当かというのは。
- 【星野委員】 熱侵入の熱量が多ければヒーターパワーはあまり影響を受けないからです。
- 【山田（実施者）】 システムとしての熱設計ですね。それはおっしゃる通り。わかります。
- 【星野委員】 熱伝達係数を出しているのです。
- 【山田（実施者）】 数値的には覚えていませんが、また後ほど説明したいと思います。この試験の目的は、いきなり最適な冷却システムを使えるようにするのではなく、日本で初めて遠心力下での熱伝達係数を得て、今後も設計を生かせるようにすることです。
- おっしゃるように熱侵入量は、たとえばFRPのシャフトの円板を熱絶縁するのに使ったりしましたが、それでも不十分だったりするので多かったのは事実ですが。理解していただきたいのは、主目的が熱伝達係数を得ることで、すぐ使える冷却全体系をいきなりこれで作ろうというのはまだできていません。
- 【星野委員】 熱侵入が大きい、小さいという話ではなくて、ヒーターを使用しない状態で熱がいくらあっても、それに対してどのくらいの割合が入ったのかを押さえるべきではないかと思って質問しました。
- もう一つは、モータ、回転機の基本設計です。出力500kWだと電機子電流はいくらになりますか。
- 【山田（実施者）】 この表では、確か700Aとか1000Aくらいでした。結構大きいです。
- 【星野委員】 1000Aですか。とても力率が悪いですね。モータとしてそんなにならないはずです。悪くても700Aを超えないと思います。
- 【山田（実施者）】 報告書に書いてあると思います。
- 【星野委員】 それに対して界磁電流230Aは、割合として大きくありませんか。こういうモータを使うのでしょうか。
- 【山田（実施者）】 界磁電流が230Aで多くないですかというのは、これは超電導なので特性が良ければ電流はいっぱい流します。
- 【星野委員】 モータとして、電機子電流に対して、界磁電流は普通の人間は小さいものを使います。
- 【山田（実施者）】 それは常電導ですか。
- 【星野委員】 常電導です。
- 【山田（実施者）】 これは超電導で抵抗ゼロです。
- 【星野委員】 超電導だから今まで使っていたものと違って界磁電流は大きいものを使えというのは、ユーザが使うかという話です。
- 【杉本分科会長代理】 それはちょっと問題です。ブラシとスリップリングがありますから、大電流にすると大変です。
- 【山田（実施者）】 それは超電導全体への話ですね。
- 【杉本分科会長代理】 超電導は細い線を使えばいいですね。
- 【山田（実施者）】 そうするとLが大きくなって、超電導からすると励磁するのにものすごく時間がかかります。
- 【星野委員】 超電導の特性が良くても、このプロジェクトは基本的にモータ向けの話でしょう。
- 【山田（実施者）】 細い線にすれば良いという電氣的な要請があります。だけど、Lがものすごく大きくなって、たとえばダンプしたときにもものすごく高電圧が出て破壊するとか、超電導の電気の専門の方の課題ですか。
- 【星野委員】 それを言い出したら使えないという話になってしまうから、このプロジェクトの組み立て自体

がまずいわけです。

【山田（実施者）】 いや、それはちょっと言い過ぎではないかという気がします。

【星野委員】 モータ向けという話だから、そこへ行くためにどういう課題があって、そのために今回はその中でこれを設定しましたという説明をちゃんとつけてもらわないといけないということです。この設計自体がいけないと言っているのではありません。

【山田（実施者）】 先生がおっしゃることは、今よくわかりました。ただし、それを広げると、これまでやったビスマスとかいろいろなものを含めて、もう 1 回考え直さないとはいけません。もう少し別の枠組みの中でやるべきではないかと思います。今回は、イットリウムに対して検討したということです。

【星野委員】 このプロジェクトの頭に「モータ用」とついているから、そういう話になってしまうのです。

【熊倉分科会長】 時間も過ぎていきますので、このプロジェクトの詳細説明はこれで終わりたいと思います。このあとに非公開の全体質疑が入っていますので、そこでまた議論いただければと思います。どうもありがとうございました。

(非公開セッション)

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【熊倉分科会長】 それでは、まとめと講評に移りたいと思います。長い間議論していただきましたが、評価委員の先生からそれぞれ講評をいただきたいと思います。前田先生からお願いします。

【前田委員】 長時間にわたり詳細なプレゼンテーション、ありがとうございました。大変勉強にもなりまして、感謝申し上げます。講評ということですが、私のような若輩者が言うことでもないですが、感想程度をお話しさせていただきます。

何人かの先生方もおっしゃっていましたが、日本でなかなかできなかった 1km の線材ができそうだということは、私も端くれにいるものとして大変うれしく思います。それが見えてきたことは、ある意味世界一が見えてきたということでもあり、大変うれしく思います。それがほとんど全体の感想ですが、若干、細かいことを申し上げます。

その部分で私自身は非常に喜んでいますが、タイトルと中身について、レアメタル、実質的には希土類の代替材料、使用量を減らすという観点で見ると、皆さんの努力は十分理解しますが、きつい言い方をすれば少し無理があるという感じがします。

ただ、先ほど言ったように、私の印象としては、それを補ってあまりある技術的成果を上げていただいたと感じています。最初に話があった、せっかく作ったすばらしい装置なので、これを無駄にしないように、できるだけ早く稼働して成果を上げていただければと思います。以上です。

【星野委員】 1 年間という非常に短い期間の中で、成果を出されて非常に敬服しています。プロジェクトの中でやられた成果、努力を非常に評価していますが、成果が最初から前面に上がっていれば、先ほど申し上げるようなことはなかったと思います。

もう少し、周りの整理をきちんとされたら良いのではないのでしょうか。いわゆる専門家が知っている分には問題ないのですが、一般の方が見えたときにいろいろなことを言われて揶揄されないように、きちんとした説明をつくっていただければ非常によろしいのではないかと感じています。機器の専門家がたくさん入っていない中で難しいかとは思いますが、その辺も考慮していただけると非常にありがたいと思います。以上です。

【下山委員】 当初、このプロジェクトを立ち上げるときに、1 年でできるのか、1km をつくる装置の納入時

期が2月下旬の予定だ、それでは間に合わないではないかとか色々な心配事がありましたが、当初予定していた形にはなったのではないかと思います。

一番心配していたのは、装置導入がある意味、一発勝負でした。後で細かな修正が利かない状態で勝負をして、それなりのことができたことは、現在まであった装置の拡張版ではありますが、その技術がある程度確立されていたことの実証になったのではないかと思います。MODのクエスチョンはまだ少し残っていますが、PLDはホットウォールタイプでロングレンジのものができる。あのやり方が一つの解であるとはっきり示せたという印象を持っています。思った通りの成果で良かったと思いました。

モータ等々の設計については、私も常々言っているのですが超電導材料は育っている材料です。現時点での性能での最適設計はできるかもしれませんが、杉本さんが言われたように、2020年とかを考えるとそのときの線材は今よりもはるかに良いはずです。そういうものを用いたとき、一番信頼感を勝ち得るようなものをつくっていきける。育っていくものを見ながら設計を自由に変えていく、設計を変える道筋を作っていく。そんな方向ができてくると本格的なのではないでしょうか。

今はとりあえず1点を与えられて解はこれですという形で出していますが、新しい学問ではないですが、流れができてくると本来のものではないかという印象を持ちました。以上です。

【浅野委員】 長時間にわたり詳細なご説明をいただき、ありがとうございました。先ほどもお話ありましたが、非常に短期間に、しかも震災もあった中を克服してこれだけ立派な成果を上げられたことに敬意を表します。

もう一つ、今回、蓄積されてきた色々なものがこういう形で結びついているのは、投資ということもあるとは思いますが、推進者、実施者の皆さんがここまでプロジェクトを立ち上げた着想も含めて、大変価値あるプロジェクトだったのではないかと思います。

技術的成果はきちんと達成された立派な成果ですが、一つ、二つ申し上げます。事業化までは求めていないにしても、実用化という中ではリプレースするにしても何がもっと必要かという観点、一方ではこれだけ卓越した成果が出れば、卓越したものから色々なものが派生的に出てきます。リプレースだけではなくもっと新しいものにつながるものも、ぜひ継続してご検討いただければと思います。

もう一つ、これも成果がきちんと達成された上でのことですが、目標が高ければ高いほど課題も出てくるはずです。新たに出てきた課題を整理していただき、ぜひ関連するプロジェクトに結びつけていただきたいと思います。今リチウム系でも進めているものがあると思いますが、そういうものと連携して、強化して進めていただくことが、日本の技術として世界をリードしていく形になると思います。ぜひ今後ともよろしく願います。以上です。

【杉本分科会長代理】 今日はいろいろ勉強させていただき、どうもありがとうございます。たった1年間30億円を使うのはすごいなと最初はびっくりしましたが、ああいう使い方をするのかと思った次第です。

テーマを見ていて、一連のテーマの中で(2)は本当に必要だったのかと思うことはあります。将来を見越してということだと思います。ただ、将来を見越してという話だと、先回のNEDOの別の関係で、岩熊効果という線材が出てきた、非常に良いという話も聞いています。こういうものは日々刻々改良されています。そういう中で、どういうふうにかこの技術を使っていくのか。そのまま単に置き換えて使えるものかどうかよくわかりません。

先ほど塩原さんが「ちゃんと2020年には使えます」とおっしゃいましたが、まだまだ良い線材が次から次に出てきていると思いました。そのあたりが、よくわからないところです。いずれにしても、超電導は今まで非常にたくさんのお金を使っています。ぜひ成功させていただければと思います。

【熊倉分科会長】 どうもありがとうございました。私も下山先生と一緒に、このプロジェクトの事前評価を担当させていただきました。そのときは、たった1年で、非常に大きなお金で、果して十分な成果が

出るのだろうかと少し心配しました。今日の話を知り、あるいはこの前の現地調査会でのお話を伺い、非常に大きな成果が得られて良かったと考えています。

補正予算なのでやむをえないですが、できればもう少しゆとりを持てればよかったですと思います。時間に追われたという感じが非常にしました。もう少し時間に余裕を持って研究をやるのが非常に大事ではないかと思いました。

そういう意味では、これからどうやってこのプロジェクトをさらに発展させていくのかが気になります。これは実施者にお話しする話ではないかもしれませんが、30億のお金は無駄にはならないと思いますが、これを土台にして、さらに日本の超電導が発展するようにご努力いただきたいと思います。

もう一つは、前田先生が言われたように、いろいろ事情があったと思いますが、タイトルを素直に「線材開発」などにしていれば星野先生の疑問もおそらく湧かなかったのではないかともしました。

9. 今後の予定、その他

10. 閉会

配付資料

資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について

資料 1-2 NEDO技術委員・技術委員会等規程

資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について（案）

資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について

資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について

資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて

資料 3-1 NEDOにおける研究評価について

資料 3-2 技術評価実施規程

資料 3-3 評価項目・評価基準

資料 3-4 評点法の実施について（案）

資料 3-5 評価コメント及び評点票（案）

資料 4 評価報告書の構成について（案）

資料 5-1 プロジェクトの概要（公開）

資料 5-2 事業原簿（公開）

資料 6-1 プロジェクトの詳細説明（公開）

(1)超長尺イットリウム系複合材料における希少金属使用量低減技術開発

資料 6-2 プロジェクトの詳細説明（公開）

(2)イットリウム系複合材料の製造工程における希少金属利用率等の効率向上技術開発

資料 6-3 プロジェクトの詳細説明（公開）

(3)イットリウム系複合材料を用いた回転機要素技術開発

資料 7 今後の予定

以上