

研究評価委員会
「高温超電導実用化促進技術開発事業」(事後評価) 分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2021年10月26日(火) 10:30~17:00

場 所 : NEDO 川崎 2301/2302/2303 会議室 (リモート会議)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 市川 路晴 一般財団法人 電力中央研究所 赤城試験センター 所長
分科会長代理 三浦 大介 東京都立大学大学院・システムデザイン研究所
電子情報システム工学域 教授
委員 後藤 美香 東京工業大学 環境・社会理工学院
イノベーション科学系/技術経営専門職学位課程 教授
委員 高畑 一也 自然科学研究機構 核融合科学研究所 ヘリカル研究部
装置工学・応用物理研究系 教授
委員 馬場 旬平 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授
委員 吉田 隆 東海国立大学機構 名古屋大学大学院 工学研究科 電気工学専攻 教授

<推進部署>

吉岡 恒 NEDO 省エネルギー部 部長
原 充 NEDO 省エネルギー部 統括主幹
中原 裕司(PM) NEDO 省エネルギー部 主査
木下 晋 NEDO 省エネルギー部 特定分野専門職
赤城 協 NEDO 省エネルギー部 専門調査員

<実施者>

岡田 道哉(PL) 産業技術総合研究所 TIA 推進センター 副センター長
富田 優 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 部長
福本 祐介 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 超電導応用研究室 主任研究員
荒井 有気 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 超電導応用研究室 副主任研究員
小林 祐介 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 超電導応用研究室 副主任研究員
釣本 崇夫 三菱電機株式会社 開発本部 先端技術総合研究所 電機システム技術部 部長
殿岡 俊 三菱電機株式会社 開発本部 先端技術総合研究所 電機システム技術部
磁気応用・電磁ノイズ技術グループ グループマネージャー
松田 哲也 三菱電機株式会社 開発本部 先端技術総合研究所 電機システム技術部
磁気応用・電磁ノイズ技術グループ 主席研究員
服部 泰佑 三菱電機株式会社 開発本部 先端技術総合研究所 電機システム技術部
磁気応用・電磁ノイズ技術グループ 主席研究員
三浦 英明 三菱電機株式会社 開発本部 先端技術総合研究所 電機システム技術部
磁気応用・電磁ノイズ技術グループ 研究員
加東 智明 三菱電機株式会社 開発本部 開発業務部 国際標準化・産学官連携推進グループ 担当部長

木須 隆暢 九州大学 大学院システム情報科学研究院主幹教授
津田 理 東北大学工学研究科 教授
長崎 陽 東北大学 助教
中村 武恒 京都大学大学院 工学研究科 特定教授
古瀬 充徳 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門
電機システムグループ 研究グループ長
吉田 良行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門
超伝導エレクトロニクスグループ 研究グループ長

<オブザーバー>

前田 哲彦 経済産業省 産業技術環境局 エネルギー・環境イノベーション戦略室 産業技術総括調査官
川上 博司 経済産業省 産業技術環境局 エネルギー・環境イノベーション戦略室 研究開発専門職

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長
緒方 敦 NEDO 評価部 主査
佐倉 浩平 NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発
 - 6.2 高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発
 - 6.2.1 高温超電導コイル実用化及びマグネットシステム最適化技術開発
 - 6.2.2 高温超電導線材の超電導接続技術開発
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
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開について説明を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見直しについて

引き続き推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【市川分科会長】 ご説明ありがとうございました。それでは、ここから質疑応答に進みます。技術の詳細に関しては次の議題6で取り扱うため、ここでは事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントに加え、概要説明のあった成果、成果の実用化に向けた取組及び見直しについて議論を行います。事前にやり取りをした質疑応答を踏まえた上で、ご意見、ご質問等がありますか。

高畑委員お願いします。

【高畑委員】 核融合科学研究所の高畑です。資料5の26ページ、き電線の達成状況についてお聞きします。最後の行に「1,565mのシステムで循環性能確認」とあり、達成度が「◎」になっています。私の理解では、1kmを目標にしていたところを1.5kmと大きく上回ったことにより「◎」の判断をされたと捉えますが、その部分のイメージをもう少し具体的に教えていただけますか。

【NEDO 省エネ部_中原 PM】 委員のおっしゃるとおり、長くなればなるほど断熱管あるいはポンプの性能向上が必要となります。また、キロメートル級というのは、最低でも1kmになります。ですので、それに対し、1.5kmまで対応できる物を開発できたということから「◎」と判断いたしました。

【高畑委員】 追加してお聞きします。1.5kmというのは、何か制限があった上での数値なのでしょうか。

【NEDO 省エネ部_中原 PM】 制限というわけではありませんが、都内等の変電所間の距離を見ると、3km程度が結構多く、その中間の位置に供給することを考えた場合には1.5kmは必要だという判断の下、その数値で検証しました。

鉄道総研から、何か補足があればお願いします。

【鉄道総研_富田】 特にございません。

【高畑委員】 ありがとうございます。

【市川分科会長】 電中研の市川から質問をいたします。資料の10ページ、MRI市場についてです。MRI技術は今、医療分野において必要不可欠な技術になっています。そういう部分もあって、2030年においては国内市場で約1,000億円程度の市場が見込まれるとされています。説明の中では「海外市場についても想定している」とおっしゃっていましたが、例えば2倍、3倍になるなど、大ざっぱな規模で構いませんので、海外を含めた場合にはどの程度になるか伺いたいです。

【三菱電機_服部】 三菱電機の服部です。ご質問ありがとうございます。何倍になるかといった数値については、後ほど非公開セッションで補足をさせていただきます。

2030年度にMRIマグネットでは年間65GWhの省エネルギー効果を試算していると資料に載せておりますが、この計算は、国内だけでなく国際規模として考えています。その中で、ある程度の割合、高温超電導マグネットで3Tマグネットを造れた場合、これくらいのものが試算できるといった計算をしています。数の詳細については、非公開セッション内で説明させていただきます。

【市川分科会長】 分かりました。ありがとうございます。もう一点、質問があります。資料のページは50ページです。成果の普及ということで年度における外部発表等の数が件数の記載があります。2020年度については、コロナの影響を多大に受けていると思いますが、実際コロナによって国際会議等の発表等に大きな影響はあったのでしょうか。

【鉄道総研_富田】 鉄道総研の富田です。鉄道総合技術研究所の超電導き電線に関しては、やはりコロナの影響を受けております。我々の実際業務の中では、なかなか出張に出られないという制約がありまし

た。ですが、昨今においてもこれだけすばらしい成果が上がってきているため、2021年度以降も少し、まとまったところで部外発表を行いたいと考えています。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。

【NEDO省エネ部_中原PM】 三菱電機からはいかがでしょうか。

【三菱電機_服部】 三菱電機の服部です。コロナの影響に関してですが、やはり昨年度は国際会議への出張が難しい状況でした。それに伴い、国内での発表にとどめたという状況がございます。本年度以降は、成果について国際会議での発表を行えたらと考えています。そういったところで、コロナの影響で減った分もきちんと発表をしていきたいです。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。

【NEDO省エネ部_中原PM】 産総研からはどうでしょうか。

【産総研_古瀬】 産総研の古瀬です。私どものほうでもやはり影響がありました。特に再委託先の大学において、学生が準備できない等様々あり、国際会議の発表を見送った部分があります。その分、三菱電機等と同様に今年度以降の発表を予定しております。また、悪いことばかりではなく、コロナで一度立ち止まり、そして振り返ったことによって、新しいアイデア技術を試そうという気分にもなりました。そういったところでは、良い点と悪い点の両方があったように感じています。

【市川分科会長】 ありがとうございます。それでは、三浦分科会長代理をお願いします。

【三浦分科会長代理】 都立大の三浦です。資料8ページの「他事業との関係」について伺います。日本医療機構で高磁場のマグネットの開発が行われ、3TでMRI画像がきれいに撮られているという話でした。これを拝見しますと、コイルの形状は、今回この倍くらいの大きさになっているので、いろいろスケールアップに対する技術はあると思います。NEDO省エネ部からは、「この事業をさらに念頭において」という説明がありましたが、この事業の結果から、今回どの程度の進展があったのかをもう少し分かるようにお示しいただきたいです。

そして、確かに REBCO 線材でこういった大きいマグネットを高磁場で造るというのはすごく難しいと思っています。先ほど説明のあったコロナの影響もあったでしょう。ですので、その努力はすごく評価いたします。また後で細かい技術的な話が出てくると思いますが、結果的にはまだ3Tのマグネットを造られていないわけです。それに対して、最後の市場の話はどうこう言うのは若干時期尚早な気もいたしました。NEDO省エネ部にも伺いたいのですが、今後これで終えてしまうのか、それとも、せっかくここまでいったのですから、サポートの必要性を考えておられるのか。そういった検討も踏まえて何かコメントをいただけないでしょうか。

【NEDO省エネ部_中原PM】 では、2つ目のほうにつきまして、NEDOから回答いたします。おっしゃるように、まだ完全なものにはなっていない状態ですから「△」という評価をせざるを得ませんでした。ただ、今回の劣化を発見したことによって、製品化をする際の大変重要な知見を得られたということで、これを前向きに捉えていこうという考えです。一方、NEDOからの支援がどうなるのかということですが、残念ながら今の段階では具体的な支援については考えておりません。

また、1つ目のミニコイルとの違いについてですが、今回、特に苦勞をした点が多々あると思っています。ですので、公開セッションでは簡単にその部分を簡単に説明していただき、後は非公開セッションにおいて深く説明させていただいてもよろしいでしょうか。

【三菱電機_服部】 三菱電機の服部です。ご紹介いただいたとおり、細かい話については午後のセッションで改めてさせていただきます。

コイルが非常に大型化したということで、特にこの周りにシールドコイルと呼ばれる大型のコイルを作製するといったところが1つ大きな課題でした。そのコイルですが、最大1.2m径で、今日のスライドでも巻棒で造っていた図を載せておりましたが、その1.2mのコイルでもきちんとした精度を出し、

また R 方向で 0.1 mm 以下の誤差で巻線をするといったところが大きな開発項目だったと感じております。その成果として、超電導劣化の関係により 0.3T で終わってしまいましたが、その 0.3T できちんと磁場均一度を出すことは成功しています。それによって、以前より大きなサイズである 5 cm ほどのマウスの撮像に成功しているわけで、大きくはなりましたが、精度を出すところはきちんと開発できたものと捉えています。また、先ほど NEDO の中原様からもご指摘いただきましたが、今回これだけの長距離かつ線材も非常に多くの数を使うことになりました。その中で、いろいろと劣化が出てきて、今後歩留まりが 100% のコイルを造るにはどうしたら良いか、そのところできちんと重要な知見が得られたことは大きな成果として考えています。その詳細については非公開セッションの中でお話しさせていただきます。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。

そのほか、何かご質問等ございますか。馬場委員お願いします。

【馬場委員】 私も少しマグネットについてお聞きます。まず 1 つは、資料 14 ページについてです。高温超電導マグネットシステムの市場展開時期の目標が 2026 年とあり、そのところで 3T 級以上の MRI というような記載をされていました。今は 3T 機が出ているわけですが、それよりも高い磁場のマグネットシステムとして、2026 年以降には市場がどう立ち上がっていくのか。そういった予測はあるのでしょうか。

2 つ目は、資料 15 ページのマグネットの部分と超電導の運輸分野についてです。これが途中で委託事業から助成事業に変更になったという説明でした。委託から助成になったことによって、何か進捗に障害や困難は生じたのでしょうか。以上 2 点について伺います。

【NEDO 省エネ部_中原 PM】 ありがとうございます。まず 2 点目について NEDO から回答いたします。2018 年時点で経済産業省からの指示ではありますが、先ほども申しましたように「実用化促進」というタイトルもそうですが、実用化に近いといった内容であるならば、民間事業者に対しては助成が妥当であろうという上からの判断がありました。その結果として、事業の内容の一部見直しは行っております。MRI については、もともと 2 分の 1 サイズの 5T のマグネットまで造ろうというところまでいっていたのですが、今回の 7T ですが、ごく小さな高磁場確認用のコイルにとどめたということがございます。そういったところや端々で予算をいろいろと切り詰めたことがありました。そういう意味で、事業者の方にとっては若干やりにくい部分もあったのではないかと想像しております。そのくらいしか申せないのですが、2 点目についての回答とさせていただきます。

1 点目の 2026 年に 3T 級以上の読みという観点については、三菱電機から回答をお願いできますか。

【三菱電機_服部】 三菱電機の服部です。まず 2 点目について少し補足をさせていただきます。先ほど小型の 7T 検証コイルになったということでしたが、小型の 7T 検証コイルでも高磁場化を目指し、今後のフルサイズのマグネットを造るに当たって、必要な線材の強度、高磁場・高電流密度に耐えられるといった検証はできたと捉えています。

1 点目の市場予想の話ですが、まず 2026 年度という段階では、今の 1.5T 機の置換えとして 3T という数値を上げています。ですので、直近の 2026 年から 5 年、10 年のオーダーでは、基本的には 3T 機をとという考えです。ただ、医療の要請として、今後、さらに高精細となった場合、その価値があることを見込まれた場合は、さらに上の磁場というものを開発していく考えを持っています。ですので、現状としては 2026 年段階からすぐに 3T より上の 7T、10T といった磁場での MRI の市場予想があるわけではございません。

【馬場委員】 ありがとうございます。高磁場のほうにも今回チャレンジをされているということですが、残念ながら、3T という物は低温の物でも大分、今マーケットに出ているわけですから、もっと高いところを先導的に何か開発をされて市場投入をしていくと、優位性が出るのではないのでしょうか。そのた

めにも市場がどう広がっていくのかを把握しておくことは悪くないと思い、質問をさせていただきました。

【三菱電機_服部】 ありがとうございます。

【NEDO省エネ部_中原PM】 ありがとうございます。

【市川分科会長】 それでは、ほかにご質問ありますか。

吉田委員お願いします。

【吉田委員】 名古屋大学の吉田です。スライド7 ページ、鉄道き電線の事業の位置付けについて質問いたします。鉄道き電線の場合、現在日本が比較的優位に研究を進めていると記載ありますが、一方、知財などは海外のことも含めると、将来的にはいろいろな展開を考えているものと思います。そこで、この事業の位置付けにおいて、鉄道き電線における日本国内の独自と海外への展開といった際の課題みたいなものが何かあれば伺いたいです。教えていただける範囲で構いませんので、よろしくをお願いします。

【NEDO省エネ部_中原PM】 鉄道総研から、回答をお願いしますか。

【鉄道総研_富田】 今後まずは国内ということで、我々のターゲットとしては当然ながら国内になるのですが、特に都市部を中心に考えています。また、今のお話で海外についてとなれば、DCが日本では大体1,500Vという路線区間があることに対し、海外ではもう少し高圧のところもあり、全く日本と同じ仕様ではない部分がございます。ですが、主要国のフランスやヨーロッパ各国の中では日本と同じ電圧帯を持っているところが結構ありますので、まずは日本で実証をしっかりとった上で、そういった場所をターゲットにしていきたいと考えています。

【吉田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【市川分科会長】 そのほか何かご質問ございますか。後藤委員お願いします。

【後藤委員】 後藤です。ご説明どうもありがとうございました。資料5の51 ページでは研究成果の取組に向けた今後の取組について説明いただき、長距離冷却技術については、さらに長距離化を目指した研究開発を進められるということでした。先ほど30 ページの辺りでも1.5 km級のシステムの構築をされたということで、非常に大きな成果が上がったとおっしゃられていました。また、都心部の変電所の間隔が3 kmくらいであるという中で、ちょうど良い頃合いの1.5 kmということでしたが、実際に今後開発をしていくに当たって、長距離化をすると技術の難易度が上がるなど、いろいろな問題も出てくるのではないのでしょうか。一方で、社会実装をしていく上では、実際に鉄道がどういったところを走っているのかは現場や市場の想定とも関係してくると思います。そういった費用対効果的な面も考えながらの開発計画とは捉えています。どれくらいまで長距離開発をされていくのか、その辺りの想定について教えていただきたいです。

【NEDO省エネ部_中原PM】 鉄道総研から回答、よろしいでしょうか。

【鉄道総研_富田】 鉄道総研の富田です。まずは、今の1.5 kmというのは、このプロジェクトに関しましても予算に限りあることや、いろいろな諸事情がございます。また、鉄道の変電所については、先ほどからお話をしているように、都市部であれば3 kmくらいの変電所間隔というところがあります。そうすると、その中間地点である1.5 kmというのを我々は到達したかったという思いです。ただし、変電所間隔の全てが3 kmというわけではございません。3 km、5 kmなどがありますが、少なくとも短いところでは3 km程度というところで、我々は今、現実的なところに手が届いたという現状です。そうしますと、これから先を考えた場合、研究開発の中では今1.5 kmをやっていますが、例えば3 kmにしっかりと到達すると、比較的距離の短い変電所区間をつなぐことができます。ですので、当面の我々のターゲットとしては、そういった実験、研究開発においてその目標を立てています。ただ、繰り返しになりますが、3 kmというのは短いところですので、より市場を伸ばしていく、もっと長距離を試していけば、そ

れなりの選定路線が広がっていきます。そういった意味では、より長距離を目指したいと考えますが、短期的にはそのような考えです。

【後藤委員】 ありがとうございます。具体的に何キロを目指すというのは当面考えていないという理解で正しいでしょうか。

【鉄道総研_富田】 予算もありますから、我々としては、どれだけのものを早く実証できるかというところ です。どうしても長い物を目指すとなれば、それなりの予算がかかってしまいます。ですので、今は 1.5 km、次の一つの区切りとして 3 km を目指している。現状としてはそこまでを考えています。

【後藤委員】 分かりました。ありがとうございます。

【NEDO 省エネ部_中原 PM】 中原です。今の後藤先生からの質問には、技術的なハードルという意味合いも含まれていたように思いました。ですので、例えば 1.5 km を 3 km に伸ばすときに断熱管の径を一緒にせざるを得ないということであれば、単純にポンプの性能を上げる必要が生じてくるのでしょうか。鉄道総研から、その辺りについて説明していただけませんかでしょうか。

【鉄道総研_富田】 詳しくは、また非公開セッションの中でお話できると思いますが、今のお話のように、例えば距離が長くなるとすれば、ポンプの性能をとということになります。そこにおいて、では、ポンプをそのまま増強していくのか。というよりは、今あるポンプを例えばタンデム運転してやっていくことも考えられます。ですが、まだ我々はそうした試験を実施していないため、これから先そういう研究開発が必要になるものと考えています。

【NEDO 省エネ部_中原 PM】 ありがとうございます。

【市川分科会長】 ありがとうございます。そのほか、ご質問等ございますか。

それでは、時間がまいりましたので、議題 5.3 「質疑応答」についてはここで終了といたします。ご質問、ご回答をいただいた皆様どうもありがとうございました。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

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

【市川分科会長】 それでは、議題 8. 「まとめ・講評」です。冒頭にお伝えしたとおり、吉田委員から始まり、最後に私という順番で進めていきます。それでは吉田委員からよろしく願いいたします。

【吉田委員】 名古屋大の吉田です。本日は、3つのグループの発表者の方々、NEDO の皆様、非常に貴重な発表をありがとうございました。この研究プロジェクトの成果について十分理解いたしました。まずは鉄道総研での開発についてですが、き電線ということで、非常に多くのことが進んでおり、この先のことまでよく考えられていました。今日の内容で、この先も十分に展開が図られるものと思っています。また、海外への展開等も含めて十分価値があるでしょう。次に三菱電機での開発ですが、MRI ということで、多分一番質問をお受けされたのではないかと感じます。私自身は、High-Tc 材料というものを何か形として物をつくると言えば、MRI だと思っています。この MRI の技術が結局、後の日本の医療に、

そして、高温超電導の技術にもつながっていくでしょう。そういった技術を確立するためには、誰かが絶対にこの道を通らなければなりません。そういう意味では、今回三菱電機がやられたことは、日本の産業技術において必ず必要であり避けられないところを一つ一つ克服していったものと捉えます。ですので、私としては、ここで得た知見は、三菱電機の社内での技術構築であるとともに、日本の大きな財産だと思っています。ですから、三菱電機の社内で確立して物を造っていくことと同時に、いろいろな意味でぜひ日本国内に公開してほしいです。海外にはあまり公開されると困りますが、技術伝承という意味でも、周りの人間をきちんと巻き込む形で、次の一步を進めていっていただきたいと強く感じました。最後に産総研での開発ですが、基礎技術の観点から接合ということで、今度のMRIの次の研究として永久電流モードといった発想に向かっておられました。着実な技術であり、しかも現場でできる技術を確認なさっているものと捉えます。ですので、この技術をぜひ線材メーカーやほかの技術に展開しながら、知財も含めて確立して行ってほしいです。どちらにしても、High-Tc材料というのは、今現在ご存知のとおり、人工ピン入り・なしを含めて、市販線材として日本国内外のベンチャー、または線材メーカーが競って造っております。その技術を使って国内外のいろいろなアプリケーションがどんどん展開していることは皆さんご存じでしょう。MRIも含め、そういった技術を日本が先導していく必要があるにもかかわらず、何か少し遅れてしまっているのが非常に残念でなりません。ですので、今回いろいろな課題も見えてきた技術をうまく使いながら、ぜひまた日本が中心になり、新しい省エネルギー社会をつくって行ってほしいです。そのためにも、今後とも皆様どうぞよろしくお願いいたします。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。次に、馬場委員よろしく願いいたします。

【馬場委員】 研究を推進された皆様及びNEDOの皆様、本日は本当にありがとうございました。ほとんど吉田委員がおっしゃったことと同じなのですが、私の印象としては、非常に真摯に研究開発に取り組まれていると感じました。鉄道総研の研究は、直流のケーブルということで、低電圧大電流ですから、超電導を適用するにはものすごく適した応用だと思っていました。ですが、それを単にケーブルを引くというわけではなく、システムとしてどう構築していくのかということまで非常によく検討されていたことに感銘を受けました。適用できそうな箇所もいろいろあると思いますが、少し積み残しの課題としては、もう少し長い距離のシステムをつくる等々あるでしょう。そういったところもぜひ継続して検討していただきながら、実用化に向かえたら非常に良いと思います。三菱電機のマグネットシステムについては、残念ながら、コイルの劣化という伏兵に随分悩まされたということでした。それに伴い、なかなか3Tまでの磁場を得ることが難しかったわけですが、コイルの劣化の要因については非常によく検討をされておりました。ですので、ある程度のめどが今回の技術開発において立ったのではないのでしょうか。ぜひともその知見を活かし、早く3Tなり5Tなりのそういった実用的なコイルのモデル機を開発していただき、今後、液体ヘリウムレスのMRIや高磁場のMRIといったところに適用してほしいです。そして、できれば世界をリードしていくような製品を開発してもらえたらと思います。産総研での開発は超電導線材の接続技術ということで、これは昔からHigh-Tcの物をどう接続していくのが非常に大きな課題でした。ですが、いろいろな困難に直面されながらも多々工夫をされており、とても実用的な接続法を今回開発していただいたと思います。特にマグネットの応用やそういったところとして、非常に重要な技術を完成度が十分高い形として造られたのではないのでしょうか。ぜひとも、この技術についてもブラッシュアップをしていただきながら、今後の高温超電導体の応用に適用できたのなら非常に良いと感じます。なかなか、まだこれら高温超電導体の応用というものが普及していない状態ではありますが、今回かなり開発が進んだと思いますので、実用化に向けて、皆様また努力をしていただけたらと思います。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。次に、高畑委員よろしく願いいたします。

【高畑委員】 核融合科学研究所の高畑です。今日一日話を聞かせていただき、事業者の皆様のご努力に非常に感銘を受けました。き電線についてですが、これは実用化に近い印象を受けております。世界でいろいろな超電導ケーブルのプロジェクトが立ち上がったたり、立ち下がったりしてまいりましたが、なかなか超電導ケーブルが世界中で普及していない現状におきまして、今回のき電線のプロジェクトは世界で第1号の超電導ケーブルのアプリケーションになるのではないのでしょうか。そういう期待を持ちましたので、ぜひ早い時期に実用化をしていただきたいです。MRI と接続については一緒に述べますが、どちらも非常にチャレンジングな開発目標を設定されていたように感じました。それにより一部課題も残ってはいますが、実用化を見通すことのできる重要な成果が上がっていたと思います。MRI というのは、将来はヘリウムフリーが不可欠だと思います。ですので、いち早くヘリウムフリーかつ High-Tc の MRI が実用化されることを一国民としても願っております。以上です。

【市川分科会長】 ありがとうございます。次に、後藤委員よろしく願いいたします。

【後藤委員】 東京工業大学の後藤です。事業者の皆様、事務局の皆様、本日はありがとうございます。個別の要素技術の開発についてしっかりとした目標を定め、着実に実施されてきたことを確認いたしました。開発の過程で新しい課題が見つかりながらも、その解決のためにまた新たな検証を積み重ねられ、学術的な成果や特許などの成果も出されてきたことに皆様の多大なるご努力を感じました。一方で、実用化に向けた製品化や量産化、コスト低減の面においては、もう少しの段階にあるのかと思います。今後実用化に向けて投資資金なども必要になってくると思いますが、昨今日本が世界に売れる技術、製品が少なくなってきたという声も聞かれる中、省エネ、インフラ投資などを通してカーボンニュートラルにも貢献できるこの技術開発をぜひ継続していただき、日本固有の技術、製品によるビジネスとして世界から投資を呼び込めるようになることを期待しています。本日はどうもありがとうございました。

【市川分科会長】 ありがとうございます。次に、三浦分科会長代理よろしく願いいたします。

【三浦分科会長代理】 皆様、今日は本当にお疲れ様でした。高温超電導体の実用化促進技術ということで、NEDO は昔からいろいろと超電導のプロジェクトに関わられてきており、交流の超電導ケーブルもありますが、様々な芽が出てきて、もう本当に実用化寸前だという技術が幾つか立ち上がっていることを目の当たりにしました。特に直流の鉄道にき電線への適用は、ほかの皆様もおっしゃっていましたが、比較的ハードルが低いところがあり、かつ日本だからこそ集中的な鉄道網があるわけです。ですから、まず日本で本当に実用化をしていただき、そのメリットをほかの世界の大都市に売り込んでいくというシナリオが思い浮かびます。本日、研究成果を詳細にお聞かせいただいたことで、本当にあと少しのところ、き電線のほうは導入できるよう感じました。同じく実用化促進ということで、マグネットについてですが、やはりスケールアップにおける難しさを改めて感じました。モデルコイルで成功していたのでそれほど難しくはないだろうと少し思っていたのですが、いろいろ細かいところを聞くと、スケールアップに伴い、非常に難しい技術になっていくことを再確認いたしました。ですが、大学の先生方のいろいろな新しい技術もあって、その原因が非常に明らかになっていることは非常に大きな成果なのではないのでしょうか。それらを一つ一つ潰していけば、きっと道は開けると思います。これから三菱電機が単独で続けていくということでしたが、多分いろいろなサポートを今後とも受けられると思います。昔から「REBCO の最大の活かし方というのが高磁場 MRI だ」と皆がおっしゃっていましたが、ようやくここまで来ました。本当にあともう一歩進めていただければ物になるという希望が私の

中でも非常に強くなりました。やはり造られれば、これは必ず売れる物だと思います。研究開発は非常に大変だと思いますが、ぜひ情熱と信念を持って今後とも頑張ってください。超電導接続のほうも、その接続技術は特許も出したということですから、非常に期待ができると感じました。ですので、ぜひ高磁場のMRIを世の中に出していただきたいです。どうもお疲れ様でした。

【市川分科会長】 ありがとうございます。それでは、最後に私から講評をさせていただきます。本日は報告者の皆様、非常に貴重な報告をいただきありがとうございました。まず、鉄道総研のき電線に関しては、皆さんがおっしゃるとおり、超電導ケーブルの適用に最も適した応用先だと思います。要は、直流・低圧・大電流という3つの条件は、これまでの電力超電導ケーブルで非常にネックとなっていたわけですね。交流で損失がある。超高压で絶縁が厳しい。そういう課題が既に克服された状態であると。今日お聞きした報告におきましても、基本的に電氣的なところに関しては何一つ問題がないので報告がなかったものと認識しております。特に電力超電導ケーブルにおきましては、ケーブル末端が一番技術のネックになるのですが、き電線においては、はっきり言ってほとんど問題にならないところでしょう。そういう意味でも非常に実用化に近いところにあります。その上で一番問題なのが冷却です。それにつきましては、今日の報告でほぼ長距離に関するもめどがついている状況ですから、今後どのようにき電線に適用していくかというロードマップの辺りが一番重要になってくるのではないのでしょうか。特に日本のような過密の鉄道網に関しては非常に重要な技術となっていきます。ですので、ぜひともこれを実用化に向けて進んでいただけたらと思います。次の三菱電機のMRIについては、最後に課題等が出てきてはいましたが、歩留まりが悪い状態ではありますが、そういうところに関しては既に原因も分かっていますし、それは技術的に克服できる課題だとお聞きしながら感じていました。そういう意味でも、MRIというのは低温超電導で築いた唯一の超電導の独占市場と言えるでしょう。そこにぜひとも高温超電導を適用していただきたい。そのためには、やはり日本が最初に適用することが重要です。特にMRIは今後非常に需要が高くなっていく分野だと私は確信していますので、今後も開発を続けていただき、世界で一番はじめに実用化をしていただけたらと思います。最後に産総研の材料接続技術ですが、これは様々なところで最後のキーとなってくる技術なのではないのでしょうか。そういう意味で、非常に重要な技術ですし、説明の最後にはいろいろと新しいアイデアも出ていましたので、ぜひそれを発展させていきながら、いろいろなところに適用できる技術として仕上げてもらえると将来的にも大きな発展を見せると思います。以上になりますが、本日は皆さん本当にありがとうございました。

【緒方主査】 ありがとうございます。それでは、プロジェクトリーダー及び推進部である省エネ部の部長からコメントをいただきたいと思います。

まず、プロジェクトリーダーの岡田副センター長からお願いいたします。

【産総研_岡田 PL】 発言の機会をいただきどうもありがとうございます。プロジェクトリーダーの岡田です。今日は評価委員会ということで、本日様々な角度からご指導いただいた市川分科会長をはじめ、評価委員の先生方に厚く御礼を申し上げます。このプロジェクトは5年前からスタートをして本日に至りました。その間、ご指導、ご支援をいただきました経済産業省の皆様及びNEDOの関係者の皆様にも厚く御礼を申し上げます。特に、プロジェクトマネージャーの中原様、ご担当の木下様には、ここにいる実施者全員が大変お世話になってございます。厚く御礼を申し上げます。

最後に、このプロジェクトに関する私の感想を少し述べたいと思います。この5年間、高温超電導の技術開発は当初から考えていたとおり、やはり大変難しいものでありました。き電線もMRIも決して

簡単な技術開発ではありませんでした。これによって得られた一番大切な宝物は何だろうかと考えると、私は若い人材が育ったというところにあると思います。高温超電導を1988年にスタートして、もう30年を超えました。当初スタートした時点の若い研究者の皆さんはリタイアのタイミングに入っているのですが、実はこの開発によって参加した機関で若い研究者がぐんぐん育ちました。このことに関して私は一番御礼を申し上げたいです。引き続き、ご指導、ご支援をいただければと思っています。本日はどうもありがとうございました。

【緒方主査】 ありがとうございます。次に、省エネ部の吉岡部長よろしく願いいたします。

【NEDO 省エネ部 吉岡部長】 本日は会場で参加いただいた委員の皆様、リモートで参加いただいた皆様、また、岡田PLをはじめ、事業者の皆様、本日は説明いただきまして誠にありがとうございました。今日は、いろいろとあと一息というところも含めて成果や目標が上がってまいりました。達成具合は様々でしたが、R&D（研究開発）は試行錯誤の繰り返しですから、課題が残ったものも、課題が明らかになったものも、実用化に向けての対策や基本方針が立ったことが成果だと思っております。この知見はまさに日本の財産だと思いますので、そこは前向きに捉えているところです。まさに今後き電線もMRIも日本で最初に実用化をして、日本固有の技術またビジネスとして巣立っていくことを願っております。2050年のカーボンニュートラルに向けて電化社会というのが前提になっています。今年の政府の成長戦略にもそれが明記されておりますが、高温超電導が来るべき電化社会、水素化社会において、徹底した省エネのためにいよいよ必要となってくる技術だと確信しているところです。特に実用化に近しいところについて先鞭をつけたのはこのプロジェクトだと思っております。その成果についてきちんと評価をいただき、世の中に出していければと考えます。ですので、ご評価のほどよろしく願いいたします。改めまして、本日はどうもありがとうございました。

【緒方主査】 ありがとうございます。それでは議題8.「まとめ・講評」は以上で終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料1	研究評価委員会分科会の設置について
資料2	同、公開について
資料3	同、秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料4-1	NEDOにおける研究評価について
資料4-2	評価項目・評価基準
資料4-3	評点法の実施について
資料4-4	評価コメント及び評点票
資料4-5	評価報告書の構成について
資料5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料7-1	事業原簿（公開）
資料7-2	事業原簿（非公開）
資料8	評価スケジュール
番号無し	質問票（公開 及び 非公開）

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「高温超電導実用化促進技術開発」

(事後評価)分科会

質問票

資料番号 ・質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可 ／非公開	説明	
資料 5 P32 1.5 km 級システム の構築	復路に比べて往路の圧力損失が大きいようですが、その理由は流路面積の違いによるものですか。計測された圧力損失は設計どおりでしょうか。	公開可 【鉄道 総研】	流路面積の違いによるものです。往路、復路ともにコルゲート管を用いており、設計範囲の圧力損失が計測されています。	高畑一也
資料 5 P32 1.5 km 級システム の構築	断熱管出口温度が 77K になっているようですが、二相流になっていますか。復路で二相流になっても大丈夫な設計になっているのでしょうか。	公開可 【鉄道 総研】	本試験では、ベース圧（系の最低圧力）を 0.15 MPa としています。このときの冷媒の沸点は 86 K となるため気化せず、二相流にはなりません。	高畑一也
資料 5 P47 1. 高温超 電導線材の 超電導接続 技術開発	冷凍機による低抵抗接続アシストは、合理的な方法であると思います。もしこの方法を MRI などに適用する場合に課題があれば教えてください。接続部の冷却は冷凍機 1 台でよいと思うので、コスト面でもさほど負担にならないと思います。	公開可 【産総 研】	ホールボディ MRI のような、多数の接続があるマグネットシステムにおいても、冷凍能力としては 1 台の冷凍機でアシスト可能であることを明らかにしました。しかし、すべての接続部の温度を許容温度より十分低く保つためには、熱接触や伝熱方法について、更なる工夫が必要になると考えられます。例えば、熱伝導度の高い材料の使用、ヒートパイプの適用などが考えられ、実機開発において検証していく必要があると考えています。	高畑一也

資料 5 p 45	b の開発に関して、これまでの他のグループの接続開発（例えば NIMS など）と違いや性能などの観点からの特徴はどんなものがあるのでしょうか？	公開可 【産総研】	接続に Pb 系超電導はんだを使用する点は他グループと共通ですが、間に Nb 系材料を介する点が特徴です。REBCO と Nb 系材料の超電導接続が実現すれば、すでに LTS マグネットで確立している超電導はんだ接続技術が適用できるようになると見込まれましたが、残念ながら、REBCO 層と異種超電導材料が接触すると高抵抗層が形成され、十分な低抵抗接続は実現できませんでした。	吉田隆
資料 5 p 45	なぜこの方法が良好な特性を示しているのでしょうか？また今後の展開を見据えての知見としてはなにがあるのでしょうか？	公開可 【産総研】	室温で成膜された Nb 薄膜は、Tc が 8.2K 程度と若干の劣化はあるものの、超電導に転移していることが確認されています。しかし上記の通り、REBCO 層の上に成膜した場合、高抵抗層の発生を抑制することができておりません。そのため開発方針を変更し、REBCO 層と良好に接続が可能な Ag を介した接続方法の低抵抗化に取り組むことにしました。REBCO 層と Ag 保護層の接続の改良により、従来線より大幅に接続抵抗が低くなる新線材の開発につながりました。	吉田隆