

研究評価委員会
「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」(中間評価)分科会
議事録

日 時 : 2019年8月21日(水) 10:30~17:35

場 所 : WTC コンファレンスセンター RoomB (世界貿易センタービル3階)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 加藤 宏朗 山形大学大学院 理工学研究科 数物学分野 教授
分科会長代理 佐久間昭正 東北大学大学院 工学研究科 応用物理学専攻 教授
委員 赤城 文子 工学院大学 先進工学部 応用物理学科 教授
委員 石川 赴夫 群馬大学大学院 理工学府 電子情報部門 教授
委員 桜田 新哉 株式会社東芝 研究開発本部 研究開発センター 技監
委員 廣田 晃一 信越化学工業株式会社 磁性材料研究所 第二部開発室 室長

<推進部署>

吉木 政行 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
多井 豊 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
幸田 政文(PM) NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査

<実施者>

尾崎 公洋(PL) 産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター 研究センター長
菊池 芳正 高効率モーター用磁性材料技術研究組合(MagHEM) 理事長
立石 裕 高効率モーター用磁性材料技術研究組合(MagHEM) 専務理事

<評価事務局>

梅田 到 NEDO 評価部 部長
塩入 さやか NEDO 評価部 主査
福永 稔 NEDO 評価部 主査

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 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 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 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発
 - 6.1.1 FeNi 超格子磁石材料の研究開発
 - 6.1.2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発
 - 6.2 磁石とモーターの MagHEM 内連係
 - 6.3 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援および共通基盤技術の開発
 - 6.3.1 共通基盤技術の開発－モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発（1）
 - 6.3.2 共通基盤技術の開発－モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発（2）
 - 6.3.3 共通基盤技術の開発－モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発（3）
 - 6.3.4 特許・技術動向調査・特許戦略策定支
 - 6.3.5 共通基盤技術の開発－磁石製造の要素技術開発、先端解析技術ならびに磁気特性評価技術の開発
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

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6「プロジェクトの詳細説明」および議題7「全体を通しての質疑」を非公開とした。

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資料4-1～4-5をまとめた資料に基づき説明した。

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た。

5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われた。

5.3 質疑応答

5.1及び5.2の説明内容に対し以下の質疑応答が行われた。

【加藤分科会長】 技術の詳細につきましては、議題6で扱いますので、ここでは主に事業の位置づけ・必要性、マネジメントなどについて議論します。ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等、お願いいたします。

【桜田委員】 2点お聞きします。推進部署からの「研究開発マネジメント」の説明では、第2期はモーターの試作は行わない、シミュレーションだけ、という話でしたが、尾崎PLの「研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し」に関する説明では、試作も行うということですが、その辺はどうなのか。また、その試作モーターに使用する磁石は省ネオジム磁石ですか。

【尾崎PL】 これは、プロジェクトの変遷に関係します。プロジェクトが、第1期の結果を踏まえて、見直され、第2期の予算が大幅カットされたので、第2期の当初の2017年では、非常にコストがかかるモーターの試作は難しくこれを目標にできない、シミュレーションだけにとどめるということでした。しかし、我々は、最終的にはこのプロジェクトの本筋は、材料プロジェクトとモーターのいわゆるアプリケーションプロジェクト、両方合体した1つの大きなプロジェクトという認識なので、シミュレーションとモーター試作とをばらばらにやっても仕方がない、シミュレーションによるデータだけのやりとりだけであれば、それは実現できないと考えました。取り組めるところは取り組んでいこう、予算は何とかやりくりできるだろうとの想定のもと、試作まで手を伸ばそうということ。我々は、意欲的に取り組んでいこう、目標とは別にさらに高いところまで行なおうということ。まずは省ネオジム磁石で試作をしようということ。

【赤城委員】 今のご説明は、試作は省ネオジム磁石にするということ。あと、超ネオジムと希土類フリー磁石があります。これは、ここに一応具体的な取組として載せていますが、これはできたらというような感じでしょうか。

【尾崎PL】 これも研究開発なので約束はできないが、磁石そのものができれば、当然プロジェクトの中でやっていこうと考えています。最終年度までには、何とか1つでも2つでも、そういう形で供給できるような動きを出せればと期待してやっています。

【赤城委員】 今のところ見通しはいかがでしょうか。

【尾崎PL】 そこに関しては、非公開セッションのところでお話しします。

【赤城委員】 わかりました。ありがとうございます。もう一点質問します。

資料5の33ページです。新しい磁石なので最初は製造プロセスコストが高くなるが、大量製造技術等を開発すればコストは低くできるだろうということ。見通しとして、どのぐらい低くできるか、今のプロセスに対してどんな感じかというのを教えて下さい。

【尾崎 PL】 プロセスコストの試算は、まだできていないと思います。これも、午後の非公開セッションでそれぞれの事業者にご確認いただきたい。我々は、研究開発ですので、コスト度外視ではやってはいいませんが、良い材料をつくるためには必要なことは全てやるという動きでやっています。

【赤城委員】 まずは最初の目標の省エネなどを重視するということですね。

【尾崎 PL】 そうです。実際にものをつくったらできそうとなったときに、プロジェクトの中でやるよりも、プロジェクト終了後に、どの様に製造コストを下げるかを事業者で考えてもらうということになります。それが実用化につながると考えます。

【廣田委員】 中間目標の温度の設定の根拠をお聞きます。180°Cで50MGOeは非常に高い目標だと思います。将来、磁石を利用したモーターを想定した上で、耐熱温度は必ずしも180°Cという高温ではないと考えますが、こういった温度を設定された根拠を説明していただきたい。

【尾崎 PL】 実は180°Cに明確な理由はありません。ただ、8年前のプロジェクトの開始当初では、自動車に使われるモーター、ハイブリッド等々のモーターが200°C近くまでなるという話でした。各自動車メーカーにヒアリングしましたが、その辺はなかなか教えてもらえず、「200°Cではちょっと高過ぎる」ということはヒアリングで出てきたので、180°Cを経済産業省との基本計画策定の中で設定しました。その場合のBHmax（最大エネルギー積：Maximum Energy Product）の目標値は、当時のネオジム磁石は大体25MGOeでしたので、その2倍を目指すと設定しました。なので、目標値の数字に、プロジェクトの開始当初は大きな根拠はなかった。未来開拓事業なので、突出した性能を出す研究開発をするというのが大前提でしたので、その材料の目標は、当初は5倍とか10倍とかにならないかとも言われましたが、さすがに材料の側から無理ということで、2倍という性能で落ち着いたところです。材料の目標値に関して、私も色々ところで批判を受けてきましたが、このプロジェクトの中で、その数字を事業者の皆さんで目標として取り組んでいただいたときに、こういう材料が可能性として出てきたというのが大きな成果だと思っています。もう一つは、その目標数値がモーターの効率化にきちんと効くことを証明したことが、このプロジェクトの大きな成果だと思っています。

【廣田委員】 わかりました。ありがとうございます。

【佐久間分科会長代理】 今、シミュレーションでそれが証明されたという非常に心強い発言がありました。率直に言うと、40%エネルギー損失低減に対して、2倍のBHmaxを目標値にするということを知っていて、随分シビアな話だと思いました。実際のところ、シミュレーションは相当難しいというか、結果にかなり幅があると思います。BHmax一つで性能が決まるわけではなく、保磁力が幾つでBs（飽和磁束密度）が幾つなのか、など複数のファクターがあって性能が決まる。BHmaxだけでは難しい。

【尾崎 PL】 このシミュレーションに関しても、午後の非公開セッションで説明があると思います。BHmaxに必要なBr（残留磁束密度）とHcJ（固有保磁力）を定めて、それぞれの温度を定めて、そのときの効率マップを作っています。

【佐久間分科会長代理】 磁石の性能は、バルクの性能の評価そのものは比較的有利なのでしょうけど、実装したときの本当の性能の評価のほうが、よほど難しいと思います。シミュレーションによる場合ですね。実験もそうなんですけれども。その辺のいわゆる技術的なものは、どの辺まで行っているのか。それは午後の話になるわけですね。

【尾崎 PL】 詳細は、午後の非公開セッションで説明があります。このシミュレーションも、いろいろ議論しました。モーターを開発する方はやはり、ある磁石で最高性能のモーターをつくりたいということになると、設計が全然変わってきます。それでは評価としての意味があまり出てこないの、このモデルは、いわゆる電気学会でよく使われているdモデルというのを想定したシミュレーションになっています。なので、別に2倍を達成しなくても、実はモーター設計の側でもっと効率の良いものができる可能性があります。

【佐久間分科会長代理】 わかりました。ありがとうございました。

【加藤分科会長】 私も、エネルギー積 2 倍でモーターパワー 1.4 倍というのは非常に気になっているので、午後のセッションでのご説明を楽しみにしています。

ほかに、いかがでしょうか。マネジメントとか、事業の位置づけ・必要性などについてのご質問もぜひいただければと思います。

それでは、私から。国内外の状況説明に関する質問です。中国は非常に技術力が上がってきて、論文も増えて、ネオジム磁石をつくる技術も上がってきて、生産も上がってきているという状況と、残念ながら日本では、第 2 期は MagHEM の予算が大幅に削られてしまっているという情勢を踏まえて、NEDO として、今後どのような作戦を考えているのか、教えて下さい。

【尾崎 PL】 MagHEM として、考え方を説明いたします。前期と後期、大きく違っているという認識です。前期は、とりあえず良い材料を見つけるというプロジェクトでした。モーターに関しても、どういう設計をすれば良いモーターができるかというものでしたが、後半は、きちんとものをつくっていくということも取り入れていますので、予算も、シミュレーションだけではなくて、実証するというのであれば、そこもモーターの側にきちんとお金をつけるということをマネジメントの中でやってもらいたいと思っています。

【桜田委員】 新しい磁石を入れたシミュレーションでモーターの特性を評価するということになる、BHmax だけではなくて、抵抗率ですとか、強度ですとか、ほかの特性も必要になると想像します。その場合、磁石として、どういう特性が想定されるとしてやられているのでしょうか。

【尾崎 PL】 詳細は午後の説明されると思いますが、私が確認している限りにおいては、保磁力と残留磁束密度、その 2 点、温度依存性は入っていますけれども、新しい磁石を想定した数値を入れているという感覚です。あとは、磁石のサイズです。それは入ってはいますけれども、いわゆる電気抵抗等々のもう一段高いシミュレーションはやっていないと思っています。

【桜田委員】 サイズは固定しているということですか。

【尾崎 PL】 サイズは変えてもらっています。

【佐久間分科会長代理】 第 1 期で打ち切りになったジスプロシウムフリーですが、目標性能 1.5 倍という話になっていました。差し支えない範囲で、実用化とか、実際に実装された例とか、その後の展開というか、その辺のところはどうなっているかも、教えて下さい。

【尾崎 PL】 ジスプロシウムフリーの開発は、2 つの分室で行っていました。2 つのテーマで、HDDR (hydrogenation-decomposition-desorption-recombination : 水素不均化脱離再結合法) の粉末をつくるということは愛知製鋼、もう一つは、インターメタリックスさん—今、ダイドー電子になっていましてけれども—で行っていた微粒化のネオジム焼結磁石です。微粒化のほうは、まだ研究開発は続いています、実用化には至っていないと聞いています。もちろん、ダイドー電子でやっている、ジェットミルを使って微細化させるというのは、事業化はされていますので、そこに応用展開していくとは考えています。

愛知製鋼のほうはボンド磁石を製造販売していて、今、その技術は中に組み込まれていると思っています。ただ、実際に実用化している性能は、まだこのプロジェクト第 1 期でやった性能には及んでいないと思います。ただ、ここでつくり込んだ技術を、そのまま製造には使っていると聞いています。

【佐久間分科会長代理】 モーターへの実装試作というところまでは至っていないということですか。

【尾崎 PL】 開発した材料そのものを持っていくということはやっていないと思います。

【石川委員】 モーターのシミュレーションについてですが、目標のところ、実装環境下での高精度ということをやろうとしたときに、特に車などを考えますと、加速したり減速したりいろいろあり、そのときにはすごい電流を流すみたいな話です。そうすると、車の加減速時にシミュレーションが、高精度にな

るかということに関しては、やはり試作し実測してみないと高精度という評価ができないような気がします、それはどうお考えですか。

【尾崎 PL】 我々もそういうふうには考えています。ですので、これに関しては、シミュレーションだけで終わらない。目標は、シミュレーションで良いということになってはいますが、我々の中では、シミュレーションだけでは多分難しいので、ちゃんと試作まで含めてやっていこうと考えています。

【石川委員】 そうですね。ですから、そのシミュレーションした技術が、試作したら 10%ぐらいで合いますという、そういう評価がある程度できれば、設計するのに使えるでしょうけれども、わからないとなかなか。シミュレーションをやって、2割も3割も違っていたら意味がないとなるので、やはり高精度という評価には試作が必要です。

【尾崎 PL】 おっしゃるとおりです。試作はしないとイケないと、技術研究組合の中ではなっています。当然お金もかかりますけれども、予算の配分を考えてやろうとは考えています。

【桜田委員】 最終ゴールが BHmax180°C・50MGOe ということになると、完全にフルデンスで結晶配向させた異方性焼結磁石になると思います。新材料の場合は、まずは粉末で特性が出るという場合が多いですね。ボンド磁石としての成果もあると思いますが、そこについてはどのようにお考えですか。車載用の主機モーター向けではボンド磁石は難しいのかもしれないが、そこはもうあえて見ずに、最終ゴールの 50MGOe・180°Cを推進していこうとお考えなのか。それとも、中間成果というか、ボンド磁石としてのアプリもお考えなのでしょうか。

【尾崎 PL】 もちろん、最終的に焼結磁石で、焼結というか、塊の磁石でというのが良いんでしょうけれども、我々としては、やはり磁石としての性能が出れば良いと考えています。ですので、いわゆる粉末の状態でも良いということで、粉末の状態、その粉末の特性が 50MGOe 出れば、それで良いと考えております。まずは、そこが 1 点ですね。ですので、ボンド磁石にしたときには、塊としての性能は当然落ちるけれども、材料としての性能がそこまで行けば良いと考えています。

【加藤分科会長】 よろしいでしょうか。どうもありがとうございました。それでは、時間が参りましたので、これで終了したいと思います。

(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

【加藤分科会長】 それでは、議題8、まとめ・講評です。まず廣田委員から始めて、最後に私という順序で講評をいたします。

【廣田委員】 本日はありがとうございました。今回の事業の位置づけや必要性、背景については、概ね妥当だと感じております。目標に関してですが、高い磁気特性で、なおかつ、自動車の幅広い用途で使うことを目的とした目標ということで、高い目標ではありますが、一定の成果が得られていますので、成果につきましても概ね評価できます。今後、事業後半に向けて、モーターに実装して評価していくことになると思いますが、高い特性のところを目標とするのではなくて、ある程度目標とするモーター用途とかを限定して、その中で評価していくのも一考かなと感じました。

【桜田委員】 今日はどうもありがとうございました。全体を通して感じたのは、非常に高い目標をあえて設定したからこそ、いろいろ見えてきたというか、発見できるものがある、ということです。非常にすばらしいと思いました。最終ゴールの損失40%低減、パワー密度40%アップに向けて、それぞれがどういった関係を持っていて、どういった寄与をしているというような全体のまとめを、もう少しわかりやすくしてもらえば良いと思いました。最初に尾崎PLが言われたように、今の磁石を使って単にモーターの設計変更をただけではもう立ち行かない状況にあって、やはり新しい磁石が生み出す価値で、目標性能のすばらしいモーター特性が出るということが、背景にあります。そこを明確にして欲しいという感想を持ちました。

【石川委員】 本日はどうもありがとうございました。事業の位置づけとか必要性、大変すばらしいと思いますし、研究開発マネジメントも大変良いと思います。それぞれの発表項目で少しΔがあったので、成果は、あと2年間ぐらいで頑張ってください。あと、目標の高効率、損失40%削減、パワー密度40%の向上というので、個人的には、シミュレーションによる計算だけでなく、そういうのが実際にできたという事例ができるの良いなと思っています。国際学会に行くと、「シミュレーションではこのくらい行くよ」と言っても、中国からの人に「つくったのかい」と言われて、それで一言で終わってしまうというところも経験して、つらいなと思っていましたので。

【赤城委員】 今日はどうもありがとうございました。背景とか、必要性とか、本当に立派な目標だと思います。最終的なすごく高い目標に向けて頑張っている。頑張っているだけではなくて、ちゃんと成果も出している。いろんなテーマの方がいましたけれども、もう結構目標に達しているとか、もうちょっとだけ目標を達成しそうだとか、様々ありましたが、この最終目標に向かって頑張ってください。それに向けて、各テーマの連携はすごく大事なので、しっかりやっていただければと思います。あと、私、自分がシミュレーションをやっている関係から、すごくシミュレーションは気になります。今回お話しされたシミュレーションで磁石の開発をするということですが、立派なシミュレーションができるの良いなと思っております。期待しております。

【加藤分科会長】 佐久間先生、お願いします。

【佐久間分科会長代理】 第1期から大幅に要求特性が上がって、今日前半でこれを聞いたときには、大変なことになったなと思い、どういうふうにとどろき持っていくのだろうと、随分心配しました。午後、具体的に成果発表をお聞きし、非常に感心させられました。特に、材料の開発に関して、大変勉強になるというか、参考になるアプローチ、結果が随分出されていて、到達目標、達成度というのはともかく、とにかく間違いなく進化しているし、これからも進化するだろうと、非常に大きな期待を持って聞きました。それから、実装というか、モーター特性評価ですけれども、磁石に対する要求性能を出してしまった以上、やっぱり重い責任があるというか、いわゆるモーターとしての性能評価は非常に重要になってきたと感じています。それをどういうふうにとどろき持っていくかというところで、シミュレーション技術と評価技術、昔に比べると相当上がったと思いますけれども、もう一歩、実際に本当に磁石にこういう性能が必要なのかも、いま一つ、実験とともに明らかにしていければよい。目標を変える必要は全くないと思いますが、実験的にもこういうところを明らかにしてもらえれば、より充実したプロジェクトになると思いました。

【加藤分科会長】 先生方からご意見いただいて、特に改めて付け加えることはそれほどありませんが、やはり私も、このプロジェクト、最初のほうから見させていただいて、180°Cで50MGOeと非常に高い目標、本当にできるのだろうかという懸念は、ずっと持っていました。今日の発表をお聞きし、機械学習をうまく上手に使っているいろいろやると、まだ上がる余地があるというのに、非常に感銘を受けました。このアプローチを進化させると、最終年度の最終目標クリアもそんなに難しいことではないと思うほどの、まだ実態は見えないところはいろいろありますが、非常に楽しみな展開になったことがよ

くわかる発表でした。それから、1-12系といいますか、従来のものに関しては、残念ながら、まだそれほどうまくいっていないところもあるようですが、それ以外のNd₂Fe₁₄Bに限らず、いろんな希土類、鉄系とか希土類、遷移金属系は、これからもあるのかなとは思っております。それから、モーターのほうは、私はあまり専門分野ではありませんが、非常にきちんとしたプロジェクトとして進めているということに感銘を受けております。

本日はいろいろと有意義な発表をいただきまして、私からも感謝申し上げたいと思います。

【福永主査】 ご講評ありがとうございました。推進部長及びPLから一言あれば、いただきたいと思います。

【吉木部長】 今日は一日ありがとうございました。我々としても、もう10年プロジェクトでやっています、5年のところで予算が大分減りましたが、目標は変えずに、連携を強化しながら、また、重点項目をつくりながら進めてきました。連携も大分深まり、いろんなところからサジェスチョンをいただいています。モーターメーカー、車メーカーも加わっていただいて、アドバイザー会議等もやって、目標クリアはもちろんですが、実用化に資する方向に持っていきたいと思っておりますので、今後ともよろしくお願いいたします。

【尾崎PL】 本日は、長丁場ありがとうございました。材料のほうは、高い目標を掲げて取り組んできた中で、出てきた派生的な技術もたくさんあります。このプロジェクトが最初に採択されたときに、目標数値の話をしたときに、私、大分批判されましたが、それに対して、皆さんすごく頑張っていたいて、目標を達成できそうなところに来たというのがすごい、と感じています。もう一つは、それで培った技術が無駄にしないということを皆さんやってもらっているので、私としては非常によかったと思います。それを本日の評価委員の先生方が、皆さん評価してくださり、その辺につきましても、またよろしくお願いいたします。ありがとうございました。

【加藤分科会長】 それでは、以上で、議題8を終了させていただきます。

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 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における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 事業原簿（公開）
- 資料8 今後の予定

以上