

研究評価委員会
「リットリウム系超電導電力機器技術研究開発」(事後評価) 分科会
議事要旨

日 時：平成25年8月9日(金) 10:15～17:50

場 所：WTC コンファレンスセンター Room A (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	嶋田 隆一	東京工業大学 名誉教授
分科会長代理	熊倉 浩明	(独)物質・材料研究機構 超伝導線材ユニット 特命研究員
委員	浅野 克彦	(株)日立製作所 電力システム社 日立事業所 主幹技師長
委員	市川 路晴	(一財)電力中央研究所 電力技術研究所 電力応用領域 リーダー 上席研究員
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	長嶋 賢	(公財)鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 部長
委員	室山 誠一	(株)NTT ファシリティーズ総合研究所 EHS&S 研究センター 上級研究員

<推進者>

佐藤 嘉晃	NEDO 省エネ部 部長
楠瀬 暢彦	NEDO 省エネ部 主任研究員
臼井 賢司	NEDO 省エネ部 主査
本田 昌弘	NEDO 省エネ部 主査
矢野 正樹	NEDO 省エネ部 主査
三輪 肇	NEDO 省エネ部 主査
丸内 亮	NEDO 省エネ部 職員
鍛冶 日奈子	NEDO 省エネ部 職員

<実施者>

塩原 融	(財)ISTEC 超電導工学研究所	所長 (PL)
和泉 輝郎	(財)ISTEC 超電導工学研究所	部長 (SPL)
大熊 武	東京電力(株)	部長 (SPL)
長屋 重夫	中部電力(株) 電力技術研究所	研究主査 (SPL)
林 秀美	九州電力(株) 総合研究所	グループ長 (SPL)
小西 昌也	住友電気工業(株) パワーシステム研究所	主席
増田 孝人	住友電気工業(株) パワーシステム研究所	主幹
江口 徹	九州電力(株)	
岩熊 成卓	九州大学 大学院システム情報科学院	准教授
平野 直樹	中部電力(株)	研究主査
向山 晋一	古河電工(株)	部長
山本 潔	古河電工(株)	マネジャー
齋藤 隆	(株)フジクラ 環境エネルギー研究所	副センター長
小泉 勉	昭和電線ケーブルシステム(株)	主査

矢口 広晴	(株)前川製作所 研究所	課長
富岡 章	富士電機(株) 研究センター	主任
吉田 茂	太陽日酸(株)	プロジェクトマネージャー
横江 大作	(財)JFCC	
清川 寛	(財)ISTEC	常務理事
渡邊 勉	(財)ISTEC	常務理事
戸井 朗人	(財)ISTEC	研究統括
高橋 保	(財)ISTEC 総務企画部	
坂井 直道	(財)ISTEC 総務企画部	

<企画調整>

梅田 信雄	NEDO 総務企画部	課長代理
-------	------------	------

<事務局>

竹下 満	NEDO 評価部	部長
保坂 尚子	NEDO 評価部	主幹
内田 裕	NEDO 評価部	主査

一般傍聴者 4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
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 超電導電力貯蔵システム (SMES) の研究開発
 - 6.2 超電導電力ケーブルの研究開発
 - 6.3 超電導変圧器の研究開発
 - 6.4 超電導機器用線材の研究開発
 - 6.5 超電導電力機器の適用技術標準化

(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
10. 閉会

議事要旨

(公開セッション)

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

事務局より資料 2-1 及び 2-2 に基づき説明し、議題 7.「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。
3. 評価の実施方法

評価の手順を事務局より資料 3-1～3-5 に基づき説明し、了承された。
4. 評価報告書の構成

評価報告書の構成を事務局より資料 4 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。
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
推進者より資料6-1に基づき説明が行われた。
 - (2) 研究開発成果及び実用化、事業化の見通しに
実施者より資料6-2に基づき説明が行われた。

6. の（１）および（２）の発表に対し、以下の質疑応答が行われた。

主な質疑内容

- ・ 重要なのはやはり線材で、線材にプロジェクトの力点が移ったことで、それが成果になって現れてきている。すべての点において諸外国を追い抜いているので、今後、諸外国と一緒にになって国際プロジェクト化して、海外展開を図るべきである。しかし日本はトップランナーで走るのは下手なので、デファクト・スタンダードを持つためにも、ぜひこの次のプロジェクトは国際プロジェクトでお願いしたいとのコメントがあった。
- ・ CO2 削減効果は線材に依らず機器で決まると考えてよいか、また、本プロジェクトの費用対効果はCO2 削減に基づいて算出したかとの質問があった。これに対して、CO2 削減効果は2030年時点の機器の予想消費電力から算出しており、線材性能によらない。また本プロジェクトの目的は電力供給の安定化であり、電力安定供給に資する機器を作り、その副次的効果として省エネに、CO2 削減が可能になるとの回答があった。
- ・ 高温超電導機器の適用拡大ケーススタディの結果は今後どのように生かされるか、鉄道変電所への適用はどうなっているかとの質問があった。これに対して、委員会は鉄道関係も含めいろいろな人から構成されている。具体的に導入準備が見えてきたので、NEDO で出来るところについては技術開発、実証の計画に生かしていきたい。鉄道変電所への適用について、現在、計画を準備中との回答があった。
- ・ 冷凍器に関して冷凍能力（65k で2kW）、COP（80k で0.06）と温度が異なるのはなぜかとの質問があった。これに対して、冷凍能力はサブクール窒素を使う前提で65K の値で、COP については、一般には80K カタログ値が出ているので比較のため80K のCOP を示したとの回答があった。
- ・ 冷凍機にはネオンを使用しているか、使用しているとしたら価格が高いのではとの質問があった。これに対して、冷媒としてではなく膨張、圧縮の作動ガスとしてネオンを使っている。価格は高いが、循環して使用する。空気中に存在しており、資源の問題はないとの回答があった。
- ・ ヘリウムの供給量が非常に不安定になっている。何年前の中間報告では、金属系の超電導で液体ヘリウムを使う超電導でSMES は出来るのだから、わざわざ高温超電導にしなくてもいいのではないかとはいいましたがとの質問があった。これに対して、冷媒、あるいは作動ガスというものを考えたときにやはりネオンであった。ネオンは融点・沸点が27~28K です。圧縮を考えると30K を超えてはじめて作動できるから、30K 以上の超電導を実用で使えるとなるとイットリウム系しかないということであるとの回答があった。
- ・ イットリウム系が追い付き、追い越して、もうビスマス系に置き換わるような位置付けになったかとの質問があった。これに対して、ビスマス系は長年の実績があり、長い線材も歩留まりがいい、量をたくさん出せるというところでは優れている、イットリウム系はコスト、磁場特性、機械強度、交流損失、限流機能で優れ、これからの頑張り方しだいでY系は伸びていくとの回答があった。
- ・ 線材開発に大きく予算が配分されているが、プロジェクト評価も線材中心でやればいいのかとの質問があった。これに対して、線材のところは真空プロセスを使い、装置費等は高めく、また、各機器に供給するために、特に前半においては線材の開発に設備費も含めかなり投入した。しかし、本プロジェクトの位置付けは最終的には電力機器の開発なので、ケーブルもSMES も変圧器も線材と同じ位置付けと考えていただきたいとの回答があった。
- ・ 個々に見ると成果はすばらしい。今回のケーブルや変圧器、SMES をトータルシステムで考えたらもっと大きな効果が出るのか、あるいはひとつひとつの単品を追求するあまりにシステムで考えると必ずしも効果が出てこないという視点でなにか検討を行ったかとの質問があった。これに対して、特にパッケージ化で適用していくというところまでは検討していない。むしろ、早く実用出来るところから

使用して実績を出し、課題を抽出して、それが冷凍機開発などほかの機器開発等で波及効果を生んでいくと考えた。ケーブルと変圧器のグループは冷凍機開発も含めて、COP はどこまでいけばこちらではどの程度のメリットかというところまで密接にやったが、1 つの冷凍機でケーブルと変圧器全部冷却したらどうなのかというところまではいまのところは考えていないが技術委員会の中で検討している。との回答があった。

- 大震災の最終的な成果への影響について質問があった。これに対して、24年度の4～8月の間は線材作成装置が動かなかった。線材供給を全面的にバックアップするため、線材開発部隊がかなり最終年度のノルマが厳しくなった。ただ、投入量が非常に少ないということで、何とか目標は達成できた。時間的制限がやはり非常に厳しかった。また、NEDO から加速資金で修理すべきところは修理して、歩留まり向上も加速することができ、ギリギリ成功した。ケーブルの検証も2カ月、3カ月遅れで最後の最後にやっと検証できた。実施者とNEDOとの間で何とか成功にこぎ着けたということで感謝するとの回答があった。
- ここで得られた技術の海外展開の予定についての質問があった。これに対して、NEDO は最終年度を中心に、実施者と一緒に海外のニーズを把握し、企業や研究者も含めたワークショップを開催するなど積極的に海外にPRをした。その結果、線材ベースの引き合いはきていると聞いている。ケーブルについては、何らかの手を打てないかを検討している。聞く限りでは海外は欧州を中心にケーブルに関心が高く、今回は15m、30mという比較的短いところでの工場テストの段階だが、もう少し進めば実用化したいという声はかなり具体的に聞こえている。それ以外の電力機器については、特にグリッドの構造が楕形の日本とメッシュの海外でかなり違いがあり、限流器に対しての重要性がアメリカ、ヨーロッパで多い。また、直流ケーブルが海外ほど大きく人気が出ていて、日本のデータセンターの中でどういうふうに持ってくるかというのは、このプロジェクトではないが、鉄道あるいは医師会といったところで動いているとの回答があった。
- 特に震災以降は電力の状況が大きく変わった。超電導の技術では日本が世界一であり、直流層電網を日本で作るのには日本を元気づける科学技術のショック療法的サプライズ施策ではないか。超電導のケーブルがだんだんと小さくなって、普通の電線と同じものになってきたということで、応用範囲が一度に広がってきた。kAオーダーの電線が2020年に普通の値段で出るという予測をしたときに、SMES、変圧器だけでなく、いろいろな開発がされてきた。NEDO が指導しなくても研究開発費の税金を免除するぐらいで進展するのではないかとコメントがあった。これに対し実施者よりこのプロジェクト終了後の展開は、リ튠系（リチウム）のメリットをうまく使えるようなところを再度サーベイして、どういうメリットがあるのかということで、いろいろな分野への波及効果を狙う。NEDO、経済産業省、エネルギー庁で努力いただいて、せつかく日本が世界をリードしている技術ですから、電力機器以外にも含めて発展出来る方向に動けばありがたいとのコメントがあった。
- 加速資金の意味合いは前倒しするために効果があったのか、それとも東日本大震災の遅れを防止するために行なったものかとの質問があった。これに対して、変圧器の加速資金は前倒しをして中間目標評価を早めに達成するため、後半については1つには震災に対する遅れ対策、二つ目は世界的にもトップレベルの成果が出てきたので、もともとやる予定ではなかった線材を使ったケーブルでの検証を追加するなど実用化を前倒しするコンセプトで加速資金を投入しているとの回答があった。
- 都心部における電気のセキュリティは社会のセキュリティである。ある程度のエネルギーを自分の近くに保存しておきたい、そうすれば電力系統がなくなっても高層アパートが動く。電力状況が新しくこの震災以降変わった中で、もう一度SMESの位置付けを考えながらやってもらいたいとのコメントがあった。これに対して、SMESについては、震災以降の変化等も含め、状況も変わっているので、それも踏まえてのちほど長屋SPLのほうから実用化を目指した取り組み等につきましてもご説明を行うとの回答があった。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 超電導電力貯蔵システム (SEMS) の研究開発

実施者より資料 7-1 に基づき説明が行われた。

発表に対し、以下の質疑応答が行われた

- ヨロイコイルの名前は新しいが、そのものは昔から常電導のコイルでも積層のパンケーキは同様に作っていたのではないかと質問があった。これに対して、比較的いちばん近いのはコンポジット導体だと思う。イットリウムは線が強いからそれを生かすコイルを考えていたが、その過程で剥離が出てきたので接着させずにテープ状のイットリウムをパンケーキ状にし、含浸して一体化せず力をすべて側板に伝える構造にしたとの回答があった。
- ヨロイコイルは経年変化などが問題だと思う。熱サイクルでの耐久性はどうかと質問があった。これに対して、本来このコイルを使ったトロイドコイル検証が、後半プロジェクトの計画自体が変わったことによって、先送りされているのは残念だが、このコイルプロジェクト内ではいろいろな測定に使われていて、初期特性から何ら変化はしていないとの回答があった。
- コストに関して、キロワットあたり 2~6 万円という幅の意味は何か、また、いつの時点でのことで、そして到達過程が入っているのか。ロードマップの線材の低コスト化 (2015 年付近で 5,000 円/m) との関係について質問があった。これに対して、コストのキロワットあたり 2~6 万円は用途に応じた出力密度 (kW) とエネルギー密度 (kWh) により変わる、また線材コストはメーター 5,000 円ぐらいであれば線材メーカーが供給してくれる価格ということで決めたとの回答があった。
- コストには、建設コストとオペレーションコスト、あるいはリプレースがふくまれているかとの質問があった。これに対して、ふくまれているとの回答があった。
- 非常に強度の高いコイルということで、リニア等にも使えないかと興味がある。パラフィン含浸コイルを実際に使用するかと質問があった。これに対して、パラフィン有りのコイルとパラフィン無しのコイルが今後併存していくと思う。ヨロイコイルの場合はパラフィン非含浸で、金属系では許容できない温度上昇になるが、もともと酸化物は温度が高いので、今年の後半にかけて NI コイルが出てきたときに、パラフィンレスのタイプのコイルが評価検討されていくとの回答があった。
- アメリカで昔はマイクロ SMES というのがあったが、外国で現状動いているのはあるのかとの質問があった。これに対して、AMSC のマイクロ SMES はもうないのではないかと思う。また、フランスや韓国も我々のものをコピーして、また違う概念でやっている。最近フランスでは飛行機で機内のバッテリーに SMES を持ち込むという話も聞いているとの回答があった。
- 超電導フライホイールは、大容量化のところで単体容量がメガワットだと並列化が必要だという話になっている。並列化は誘導電動機フライホイールでは並列化も出来る。交流出力で、系統安定化のため、瞬停対策のためならばいいと思う。大容量の揚水発電所に匹敵する電力貯蔵では、フライホイールではだめだから SMES しか残らないのではないかとコメントがあった。
- ヨロイコイルの経時劣化はどうかと質問に対して、開発して 1 年であるが、1 年間では劣化はないとの回答があった。
- 実機にしていく上で、何がいちばん課題になるかとの質問に対して、システムの信頼性の観点から見ると、冷凍機の高信頼性、すぐにバックアップ可能で、4 時間以内で復旧出来るシステムにしないと実用化にはならない。それとコイルの組み合わせ試験であるとの回答があった。

6.2 超電導電力ケーブルの研究開発

実施者より資料 7-2 に基づき説明が行われた。

発表に対し、以下の質疑応答が行われた。

- 実用化するとケーブルのこう長としては数 km キロメートルになり、入り口と出口でかなり温度が上がって交流損失は増える。今回得られた短尺の 30m のケーブルでの交流損失は実用化における交流損失として十分目標を達成しているかとの質問がなされた。これに対して、シミュレーションの段階であるが、実際に交流損が増えていくことを加味して行った結果、km オーダーで何とか冷やすことは可能であり、それほど問題ないと考えているとの回答があった。
- 事業原簿 250 ページ記載の COP は変圧器などの COP に比べるとかなりいい数字になっているが、その根拠はどの質問があった。これに対して、変圧器などはスターリングでなくブレイトンであり、それでカルノーが低い。変圧器はブレイトンだったので 0.06 の目標で、無摺動でメンテナンスフリーをねらった。こちらはスラッシュ窒素を作るために、いちばんいい効率のスターリングを使った。この部分はちょっと不十分なので、温度も含めて容量も見て再度、直すべきなら直すとの回答があった。
- 交流損がスリットを入れて減ったが、いま実用レベルでどのくらいのところまで来ているかとの質問があった。これに対して、ケーブルのほうについては 2 ミリ、ケーブルの場合は平行磁場変動なので、真円になれば交流損失は大丈夫ということで、スリットまでは考えていないとの回答があった。
- 交流損失としてもうあとどれくらい下げれば実用レベルになるかとの質問があった、これに対して目標に挙げている交流損失で十分実用レベルと考えているとの回答があった。
- 長尺ケーブルで実用レベルは数 km で、いまは数 10m だが、いまの技術を単にスケールアップすれば出来るのか、新たに何か技術開発要素が出てくるのかとの質問があった。これに対して、数 km といっても、マンホール内接続で考えるとだいたい 500m か 600m あればいい。中間接続も導体も検討した結果、長尺に対してはそれほど大きな壁はない。今後、冷却関係で技術課題が出てくる。超電導層の層数をどれだけ減らす、当然コスト低減と考えているとの回答があった。
- 高電圧ケーブルの長期通電試験は実際の使用条件で考える加速条件になっているか、また、試験には冷却部分も含んでいるかとの質問があった。これに対して、現用ケーブルの ON-OFF や CV のケーブルを参考にして、試験を行っている。冷却部分は含まずケーブル自体の特性を試験しているとの回答があった。
- 冷却がかなりのポイントであるが、例えばスラッシュ窒素で貴重なデータがとれているが、本当に実用化するためにさらに 1 歩進んだご見解があるかとの質問があった。これに対して、今回モデル試験を行い、高電圧ケーブルの形状について使えるかどうかというのを数値解析の数値解析で検討している。長さ方向まではつめていないとの回答があった。
- 交流損失などの評価でいろいろな温度のデータが出てきているが、いちばん条件の厳しい 77K でも十分に目標はクリア出来ていると見ていいのかとの質問があった。これに対して 6 万のケーブルで、64K と 65K の固定での試験は行っている。そのかわり交流損失の測定などについては 71K や 74K とか実際に実用化に使うような高温域での測定での検証は行ってきているとの回答があった。
- 目標値に温度はちゃんと規定しなかったのかという質問があった。これに対して、最終目標、中間目標については温度の規定はなかった。本質的にケーブルを設計するとき I_c とアイオペの比率が明確に分かれれば 77K の線材はこうあるべきだという話にもなるので、 I_c を高いことを模擬するために低温で評価をまずやった。最終的にフジクラの I_c の高いものでは 77K まで明確にして、アイオペと I_c の比率と、研究のためにそういう温度変化も測ったというように見ていただきたいとの回答があった。
- これは交流用に作ったケーブルだが直流通電の試験は行ったことはあるかとの質問があった。これに対して、 I_c 測定時に 1 万数千 A の直流を流したことがあるとの回答があった。
- ケーブルの過電流特性で温度の復帰特性として 10 分以下ということが今回得られているが、5 サイクル程度の短い事故遮断でどのくらい温度が上がって復帰時間はどのくらいかということは検討してい

るかとの質問があった。これに対して、実際に系統を考えたときに地中線の故障の場合は再作動しないので、何時間でもいいことになるとの回答があった。

- ・ ケーブル事故の場合再作動しないが、ケーブル付随機器の場合はどうかとの質問があった。これに対して、数kAとか非常に小さい電流なのもって復帰が早くなると思うとの回答があった。
- ・ 275kVのケーブルに挑戦するのは大変すばらしいが、用途がないのではとの質問があった。これに対して、海外では架空線を嫌うということがあり、地中線で非常に高電圧のものもやっている。超電導ケーブルはコンパクトで大電流が流せるのでいいのではないかとの回答があった。
- ・ 大容量、長距離になるとやはり直流になるから、ヨーロッパあたりはどんどんやっている。直流の超電導ケーブルに大きなニーズがあり、それは交流よりずっとやさしいのでいつでも出来るかとの質問があった。これに対して、直流送電に関しては、このプロジェクト以外で動いているものがある。シールドと導体の2つを直流の土に使用すれば単心にちょうど合うしACロスの巻線技術の難しさは逃げられると考えているとの回答があった。
- ・ 侵入熱は計算に入れて冷却出来ると考えているかとの質問があった。これに対して、今回のシステムは外部の侵入熱と、端末の熱侵入も考慮した上で冷却システムを設計しているとの回答があった。
- ・ 常温での初期冷凍の縮みに対する対策について質問があった。これに対して、電中研で500mのケーブルの冷却をしたときに、スネーク構造部を作るとか、いろいろ検討している。直流では、端末で1mか2m動かせるようにする。もう1つ3心の場合は管径を大きくするのであれば中の縊りでうまく出来る、そういうようなアイデアは出し合っている。今回のプロジェクトは短期間なので検証は非常に厳しいので、実際には電中研の結果でいけているという前提ですとの回答があった。
- ・ 超電導のこのケーブルは都市計画のない東京、ニューヨーク大阪などには必要だけど将来新しいニュータウンが出来たときにはきちんとした洞道が作られて普通の電線で必要な電力が送れる。このケーブルは一過性のものではとの質問があった。これに対して、近いマーケットと考えている揚水発電所などスペースの限られたところの引き出し線などでは電流が5kAであればそれなりの相当の発電機まで1本で送れて具体的に超電導のよさが出てくる。また、建設コストも考えると洞道はかなりのコストがかかるので、洞道を作るよりも管路で通せるほうがより安くなるとの回答があった。
- ・ 2020年には既存の電線と同じくらいのコストになるという目標が見えてくると、ケーブルばかりではなく産業用の常時ジュール熱を出しているいろいろな機器を超電導化するなど、応用が一気に増えてくる。その最初の目標が66kVキロの地中送電線であったということで、275kVが実用化しなくてもいろいろなところに影響を及ぼして花が開くのではないかという気がするとのコメントがあった。

6.3 超電導変圧器の研究開発

実施者より資料7-3に基づき説明が行われた。

発表に対し、以下の質疑応答が行われた。

- ・ 昔は過電流で常電導化して限流すると思っていたが、限流するためのキックはどのようにしているのかとの質問があった。これに対して、銅の厚さやキュープロニッケルで抵抗を制御し、過電流に対してSN転位を付加している。スタートアップは過電流であり、温度ではないとの回答があった。
- ・ そうすれば、直列につながる遮断機などの容量も3倍の電流が切れればよくすごい効果であるとのコメントがあった。
- ・ いま需要地系統ということでループ系統にしようとしているが、遮断機の容量が大きくなってしまっているのでキュービクルに入らないという問題で太陽光発電の普及も遅れている。変圧器をこれにすればよいのではとの質問があった。これに対して、この場合だといろいろな制御と関係なく自動的に電流だけで遮断出来るので、信頼度が確立出来れば下流系統の短絡対策は全部要らないのですごく経済効果

になるとの回答があった。

- ・ 冷凍機の目標値の 2kW は何から決まったのか、冷凍機の重さはどのくらいかとの質問があった。これに対して、概念設計で 20MVA の機器の場合の侵入熱や交流損失を概算し、尤度をみて 2kW あれば充分とした、重量は 2kW 級で 1 トンから 5 トンくらいである。基本的な概念としては低交流損失化と外部侵入熱を低減して冷凍機 2kW 、 2 トン以下で動く変圧機の基盤技術との回答があった。
- ・ 短絡は 0.25 秒の試験を、配電で 0.4 秒だが、それでも非常に短い復帰性能を有していると考えていいかとの質問があった。これに対して、復帰性能とエネルギー量に関係があり、入力エネルギーがどのくらいになるかで見極められるとの回答があった。
- ・ この減流機能があれば、実際に事故が起こった場所での事故点でのエネルギー、つまり公衆災害に結びつく可能性が非常に低くなり、コストには出てこない面の有意性が非常にあるとのコメントがあった。
- ・ プロトタイプを作って、実際に変圧器を 1 つ作ると、どれくらいの年数とコストがかかるかとの質問があった。これに対して、コストの話は非公開のところであるとの回答があった。
- ・ 信頼性を現行の静止器と同等に担保出来るような、あるいはメンテナンス性を改善できるような方策、やプランはあるかとの質問があった。これに対して、巻線自体は冷凍保存している MRI と同じような感覚でとらえられる。冷凍機自体は今回非接触の電磁式になり機械的なものを緩和できるとの回答があった。
- ・ この技術の拡張性、発展性についての質問があった。これに対して、巻線技術の構築は、線材技術を開発しながらやっていくということで、仕上がりのところを見通せるのがいまのものが限界である。それ以外のはスケーリングで出来る。すでに設計が終わり、機器を作製してから世界最高級レベルの線材ができたので、フィードバックしていくとさらに最適化出来ると考えているとの回答があった。
- ・ 素線数が二十何個あるが、その分布の原因等は今見る必要はないのかとの質問があった。これに対して、の 2 キロワットを流したときの状況等を見てみるとそんなには問題ないと考えているとの回答があった。

6.4 超電導機器用線材の研究開発

実施者より資料 7-4 に基づき説明が行われた。

発表に対し、以下の質疑応答が行われた。

- ・ どの会社もこれから 2 年以内にはどんどん出荷していくのかという質問があった。これに対して、少なくとも販売は始めるということは間違いないとの回答があった。
- ・ 用途別に棲み分けることを考えたときに、この製法は MOD、この製法は PLD というような図式はもう出来たと考えてよいのかとの質問があった。これに対して、まだ出来ていない。それぞれの長所が別に存在しているというのが実態であり、低磁場で使い出来るだけ安いものがあるというときには MOD を、高磁場で非常に高いスペックのものには PLD を選択することが現状ではまだ必要だとの回答があった。
- ・ 基板は何がよいかとの質問があった。これに対して、製造速度が非常に早くなり、価格が低下したので、IBAD がいいと思うとの回答があった。
- ・ MOD による高 Ic の製造法が二つ示されているが、違いはバッチ式と連続式なのかとの質問があった。これに対して、MOD の工程には液体を塗って熱分解させてアモルファス層を形成するため低温で処理する仮焼するプロセスと次に超電導層を作るために水蒸気の中で高温に上げて熱処理をする本焼という 2 つのプロセスがあり、仮焼プロセスはスループットの関係でリール・トゥー・リール方式（連続式）です。本焼プロセスにはバッチ方式と連続方式があり、両方を試験したとの回答があった。

- ・ 将来的にはやはりリール・トゥー・リールなのかとの質問があった。これに対して、線材のとう長が非常に求められる用途についてはリール・トゥー・リールを使わざるを得ない。一方で一括処理をして早く処理してより安く作りたい時にはばッチ式のほうに一日の長があるとの回答があった。
- ・ MOD タイプの厚膜が少しばらついているが、原因がある程度分かっているかとの質問があった。これに対して、本焼の時にいったん 500~600°Cの熱処理で入れる中間熱処理（ポアをなくし高密度化させる）を上手に使いきれる状況になっていなかったためであるとの回答があった。
- ・ 200m 線材内の Ic 測定で一部低下しているところがあり、長さ方向（時間経過）にシステムティックに少しずつ下がっている。この原因はなにかとの質問があった。これに対してまだ解析が十分すんでいないが、ターゲットに対してレーザを当てているとだんだん掘れて、照射条件が少しずつ変わってくる、また、レーザを入射している窓がだんだん曇ってくるために後半になって悪くなるということがよくある。それから、セリアをつけるときにどうしてもテープが治具を削って出てくるカスが乗ったりする、取りきれないとこのように局所的にぽつと落ちたりすることがある。最終年度の最後の最後に、ワンチャンスしかなかったというのが本当のところ、最後の最後にやるのが精一杯だったとの回答があった。
- ・ これだけすばらしい性能が出ていて、いまいったようなことがいろいろなことで分かってくると非常に安定なものができると思うとのコメントに対して、いろいろな用途を考えたときに均一性がすごく求められる線材がある。長手方向だけではなく幅方向も含めて 2 次元で均一化していかなければいけないときに避けては通れないテーマであり、これから取り組むとの回答があった。
- ・ 技術コストに歩留りの項は入っているかとの質問があった。これに対して、大本のところでは歩留りが入るようにはなっていて、例えば材料費に反映される。現状は歩留りが低いが、コスト試算には高い値で入っているとの回答があった。
- ・ 普通にコストと言わずに技術コストという理由はとの質問があった。これに対して、今回のプロジェクトの前のプロジェクトで議論して定義したもので、技術開発している中では計算出来ないスケールアップ時のコストを加味したコストであるとの回答があった。
- ・ [P43/48] の数字はコストかとの質問があった。これに対して、この数字はプライスで、各メーカーに PL がヒアリングして聞き取りで得た情報を基に作成したとの回答があった。

6.5 超電導電力機器の適用技術標準化

実施者より資料 7-5 に基づき説明が行われた。

発表に対し、以下の質疑応答が行われた。

- ・ 11 ページの Y 系の臨界電流の読み取りが電界基準ということで、ラウンドロビンテストでは $1\mu\text{V/cm}$ である。 $1\mu\text{V/cm}$ というかとの質問があった。これに対して、電界基準を採用するというだけでは意見が一致したが、実際の読み取りについては、 $1\mu\text{V/cm}$ が適当かそれとも別のものにするかまた議論が必要であるとの回答があった。
- ・ 実際の読み取りはアプリケーションによって変えたほうがいいのではないかとの質問があった。これに対して、前回基準採用はだいたい皆さん合意だが、基準値については今後の課題だとの回答があった。
- ・ 規制緩和と国際標準との関係がよく解らない。国内向けの話かとの質問があった。これに対して、IEC 等とは関係のない話で、国内では高圧ガス保安法がいろいろな意味で障害になっているので取り組む必要があるので進めたとの回答があった。
- ・ 関連するが、海外の規制緩和の事例がどうなっているかということも考慮に入れてこういう活動をしているのかとの質問があった。これに対して、フェルミなどの海外の研究機関でどのような活動をしているかを調べ、高圧ガス保安法に対してどうしていくかということで話し合いを進めたとの回答が

あった。

- ・ 変圧器やケーブルには既存のシステムと超電導という2つの見方があるが、既存のものを引用しながら超電導特有のものを売り込んでいくアプローチとったのかとの質問があった。これに対して、通常の機器を参照しつつ超電導という部分をどのようにしていくかというかたちで進めたとの回答があった。
- ・ 例えば構成や仕様条件について、超電導の世界は可能性がいろいろあり、盛り込む内容が広い内容になるが、纏める上であまり支障ないのかとの質問があった。これに対して、付属書に機器の仕様例を追加して、変圧器を事例として入れている。個別の項目についてまだ詰めきれていないので、標準化素案を受け取って活動していくのがTC90になるので、そちらでフォローするとの回答があった。
- ・ 低温工学超電導学会でも安全性検討委員会などでも規制緩和の取組をしている。そちらとも連携しているかとの質問があった。これに対して、昨年の暮れに超電導学会の冷凍部会で環境法規制に関するワークショップに参加した。こちらで作成した提案を冷凍部会のほうに提出して、それを含めて活動をお願いするようなかたちにした。今後情報交換していくことになったとの回答があった。
- ・ こういった規格は今後もずっと続くので、特に海外との折衝などは顔と顔で決まるところが多い。ずっと担当者をやっていただいて、こういう提案をしようと思うけどどうだという話が来たときにさっと答える。それが国際標準を作る上でいちばん重要なことだと思う。1つ譲ったら2つとるとか、そういうギブアンドテイクもいろいろあると思う。特に、今後も日本が世界の中でトップでいこうと思ったら、諸外国とのうまい連携が大事で、国際プロジェクトをやるときには基準の話や特許の話でうんともめる。そのあたりはどうなっているのですか。この予算が終わったので海外出張費もないよという状態にはなっていないのですよねとの質問があった。これに対して、プロジェクトが終わってしまっただけで財源的には昨年度に比べて厳しくなっているが、TC90の幹事国でずっと20年以上やっていて、そちらの実施予算や経産省等のいろいろなサポートの枠組みがあるのでそういうものに参加して進めている。また、IEC/TC (Technical committee 90)の幹事国であると同時にこのプロジェクトのメインで研究しているISTECが事務局をしているという関係がありますので、これは続けていきたいとの回答があった。

(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)

【室山委員】 情報通信やデータ通信の場で電源供給システムの検討をやっているが、消費電力が大きいということで省エネが課題になっている。いままでは直流化、太陽光、燃料電池がアイテムだったが、超電導も近々出来そうだということで非常に嬉しく感じている。特に単にケーブルによる送電だけでなく、限流という新しい機能も付いて、それもうまく使えそうだということで非常に参考になった。ぜひ、今後とももうひとがんばりしていただいて、ものとして提供もらえればと思う。また、論文や研究発表が千件を超えていて非常に多くの研究者の方が携わっていて、学術レベルでも底上げに貢献している。

【長嶋委員】 鉄道向けの観点から超電導技術を見てきたが、日頃いろいろ疑問に思っているところを率直に聞かせてもらった。どこまで技術が進んでいるのかよく理解でき、今後使用する上で、非常に勉強になった。冷凍をやっているが、超電導機器がものになるためには冷凍機が必要で、超電導の性能向上と冷凍機の性能向上は表裏一体のところがあり、超電導の性能が同じでも、冷凍機で作動温度を下げればシステムの性能が良くなる。冷凍のほうにも力を入れてやっていただきたい。今後も実用化の面でも先頭を走っていただきたい。

- 【下山委員】 線材開発は「良」や「優」のレベルであり、性能・生産性向上の見通しも確かなものが得られている。線材の大量生産にはそれを使う機器のニーズが必要である。現状は強いニーズがなく、ニーズを掘り起こす重要な時期だと思う。それが遅れると、線材技術で先行したアドバンテージが取られてしまう可能性がある。線材特性はコピーペースト出来ない超アナログな技術なので、早くこの優位性があるうちに上手にチャンスを見つけて、伸びていけるような土壌作りをお願いしたい。そうしないと、超電導技術はほかの先端技術の中で見てみると「優秀けどなかなか使ってもらえない」と言われてしまう。どんどんこの成果を訴えて、いろいろな角度で切り込んでいっていただきたい。
- 【市川委員】 線材開発は飛躍的に進展しており、超電導技術に関してはかなり成熟していて、実用化の一手手前という印象を受けた。冷凍技術、断熱技術のあたりが逆に追い付いてきていない。今回は線材に特化して進んできましたが、実用化には周辺技術を含めたすべての技術の進展が必要であり、今後は周辺技術も同じように新たな進展が起きることを期待したい。
- 【浅野委員】 非常に広範なテーマでかつ高い目標レベルを本当に見事に達成している。技術開発の状況を踏まえながらいろいろな視点で開発がなされて、マネジメントしても良かった。ただ、線材の技術はかなり進み、そのアプリケーションも連動して進んできているが、これから実用化するためには、いろいろな課題をいかにうまく取り込んでいくかということが非常に大事だと思う。実用化のためには今日お話しになった安全性、信頼性、低コストが重要です。開発の中ではそういうものも取り込まれていた、その中で今回何が出来て、何が残っていて、それが実用化、普及のために必要かということを整理すると次につながるのではないかと思います。いろいろな成果が出て、高い目標を可達したものがいろいろある。そうしますと新たな気づきや、ここまで出来たら次にこういうことも出来るのではないかという発展性が出てくるので、ぜひともそういうところを考慮して、この成果をぜひ実用化という形で花が開くように皆さまの最後までのご健闘を祈念している。
- 【熊倉分科会長代理】 非常に多くの目標があって、ほぼすべての目標を達成し、あるものについては目標をはるかに上回る成果が得られたということで高く評価出来る。イットリウム系開発の大きな流れの中で今回のプロジェクトはどういうところに位置しているのか、すなわちこのプロジェクトをやる前の研究開発状況と、今回のプロジェクトの目標達成でここに来て、実用化にここまで近付いたということがよく見えてこなかった気がした。一般の人はあともうこれぐらいです、これぐらいで実用化ですといったところが知りたいと思いますので、そういう視点の話があるといいなと感じた。
- 【嶋田分科会長】 中間評価以降、本当にマネジメントも、担当の人も、それぞれの方々もずいぶん頑張っていた。いろいろありましたが、冷凍技術が心配だということも皆さんから聞こえてくる。線材ももうすぐにでも出てきそうですが、やはり重要なのはニーズです。それを探さないといけません。ある程度の特許は公開だし、この成果をどんどん使ってくださいというのが NEDO のやり方ですが、むしろベンチャー企業が例えば変圧器を作って1年以内に市場に出すぞと言えば株価も上がる、資金も集まるということであればそういうのをどんどん応援してあげることが必要だと思う。いまの企業は、言うては悪いが、何もしないで沈む船で我慢比べをしています。日本市場では人口は減っていますし、高齢化している。私としては海外プロジェクトとうまく連携して、アジアで数を売っていただきたい。いま一步、二歩リードしているこの超電導技術を次の日本が食っていけるネタにしなければいけないので、ぜひとも何か新しい方法、いままでの NEDO のやり方ではない方法で、経産省や外務省、JICA といったところとつなげてプロジェクトを立ててほしいと思います。ニーズを開拓しなければいけないと思う。
- 【ISTEC・塩原 PL】 国際進出に関しては、ISTEC を主体として International Industrial Summit、これはヨーロッパ、アメリカ、いまは韓国やニュージーランドも入って、産業界のトップレベルが集まったサミット会議を年に1度やっていて、今年日本で開催します。ニーズの掘り起こしというのはシーズ研究からはなかなか難しいので、産業界の意見を聞きなが

ら持っていくということをやっている。冷凍機に関しては、いまから 20 年前、25 年前は冷凍機は買ってあげればよいというものでしたが、冷凍機はちゃんと開発しなければ COP も上がらないしメンテナンスフリーにならないということで、冷凍機の開発というテーマを作ってプロジェクトを進め、メンテナンスがフリーに近いブレイトンでやるということをはじめた。また、いまはどういうレベルだというのがありましたが、これはケースバイケースで、例えばエネルギー輸送に近いような電力機器応用の場合には均一性というものよりも、まずは Ic のグレードアップが主体だったが、今後は細線化等を考えていく。ただ、それが要らないような応用についてはほぼ出来て、あとは量産化でプライスを下げるような技術になると思う。精密構造が必要なマグネット等に関してはもうひと工夫いるレベルではないかと思う。ただ、スーパーマンのような 1 本の良い線材はまだ出来ていませんので、ひと言では言いにくい状況です。私も超電導の Y 系と応用基盤を含めると過去 10 年間 PL をやらせていただきまして、実施者の皆さまには頑張ってもらっていて、地震があったわりにはびしっと締められたのではないかとということで、感謝しております。

【NEDO・鈴木部長】 世界のトップに立ってこの技術を広めていくという責任を日本が負う立場になっている。これまで追い付くほうの技術開発は我々も慣れていたが、これを広めていくところに知恵を絞っていかねばいけないということは指摘のとおりで、肝に銘じてやっていきたい。シーズから実用化まで 1988 年から四半世紀経っていますが、NEDO としては研究開発から実用化までには長い期間が必要であり、長い助走期間を経た技術こそが長い寿命を持って今後世界に役立っていくということ、我々のほうから経産省等予算を措置していく機関には申し述べていきたい。これまでは基盤技術ということで、日本全体での技術開発はありますが、一部線材、ケーブルについてはある程度競争領域にも入り出している。とはいいつつ、力を結集しなければいけない部分もありますので、世界トップの研究センターである ISTEK の役割は今後さらに重要になっていくので、可能な限り NEDO としても支援をしていきたい。実用化の話ですが、電力基盤整備ということで電力会社ありきのプロジェクトとして立ち上げたが、国内の電力の状況から見るとそれ頼みはもう出来ない、国際展開を考えていかねばいけない。NEDO の中では別途国際技術実証という予算枠があり、この中で超電導の開発された技術を国際的なサイトで技術実証していき、それを起点として国、その周辺地域で日本企業が市場を獲得していくというモデルに何かつなげていきたい。それから電力以外の用途ともありますが、やはりケーブルとモーターという 2 つが線材を大量に使うという意味では注力していく技術分野ではないかと個人的には思っている。これからは競合技術との競争になってきます。この技術がただいいというだけではなく、他の競合技術との比較もちゃんと見きわめた上で、どの分野、どの地域、どこの企業なりと組んで実用化していくのかということ、特に国際的な展開の場で考えていきたい。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

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	事業原簿(公開)
資料 5-2	事業原簿(非公開)
資料 6-1	プロジェクトの概要説明資料(NEDO)(公開)
資料 6-2	プロジェクトの概要説明資料(PL)(公開)
資料 7-1	プロジェクトの詳細説明資料(SMES)(公開)
資料 7-2	プロジェクトの詳細説明資料(ケーブル)(公開)
資料 7-3	プロジェクトの詳細説明資料(変圧器)(公開)
資料 7-4	プロジェクトの詳細説明資料(線材)(公開)
資料 7-5	プロジェクトの詳細説明資料(標準化)(公開)
資料 7-6	プロジェクトの詳細説明資料(非公開)
資料 8	今後の予定

以上