

研究評価委員会

「超電導技術研究開発／イ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 議事録

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 主研
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。

【嶋田分科会長】 ありがとうございます。事業の位置付け・必要性、NEDOの研究マネジメントについての概要、研究成果、実用化・事業化の見通しまで概要をご説明いただきました。詳細については午後にご説明がありますが、時間は40分とっておりますので質疑をお願いしたいと思います。まず私からです。中間評価のときにも同じように座長をやらせていただきまして、SMESはすべて目標を達したのだからもういいじゃないか、もっと海外展開を図るべきだということを申し上げましたが、それがそのようになったような感じがしまして大変嬉しく思います。特にあのときに申し上げたのは、諸外国が日本よりはるかに遅れてしまって、超電導は日本がやればよいということで海外が研究開発の手を緩めました。しかし日本はトップランナーになってしまうと、急に話題がなくなってしまう。追いかけるのは好きだけれども、トップランナーで走るのは下手です。当時、例えば中国の広州や香港地区などは夜昼の電力差が大きく、近くに大きな水力発電所もなく、まさに大型SMESを国際プロジェクトで核融合のITERのようなことを日本が言い出したら、もちろんアメリカもドイツもフランスもついてくるし、設置場所は中国で、お金も中国に出してもらったらいけないかという話をしました。結局重要なのはやはり線材だというようなことで、そちらのほう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ます。イットリウムを開発を始めると言った5、6年前に「これは無理だ。ステンレスの薄膜にレーザーでアブレーションさせて、それで作った電線が銅やアルミの電線に匹敵するようなコストで出来るわけがない」と言って、このプロジェクトを批判していた人がありました。しかし先ほどの最後の説明にもありましたが、それが見事にもう試験開発用の電線は供給出来て、2020年には銅やアルミの電線よりも安くなる可能性があるという話はまさに嬉しい限りです。すべての点において諸外国を追い抜いているので、ぜひこの次のプロジェクトは諸外国と一緒に国際プロジェクト化していただきたいと思います。先ほどの最後の標準化などもいちばんデータを持っている者が主導して決めてい

きますから、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ます。中間報告のときにも海外展開を言いましたら、それは外務省の仕事で NEDO は国内産業の振興だからと言われましたが、ちゃんとやっていますね。それをぜひやっていただきたいと思います。私ばかり話をしてもいけませんから、評価委員の方からももう少し詳しくとか、またここに来ていらっしゃる方々への説明にもなりますので質問を頂ければと思います。

【長嶋委員】 [P7/23] に最初の楠瀬さんのお話の中で、プロジェクト実施の効果ということで CO2 削減のことが書いてありましたが、削減効果の数字にはかなり差があると思いました。これは線材に依らず機器で決まるものでしょうか。

【NEDO・臼井主査】 私のほうからお答えします。書いてあるとおり、技術ロードマップのローリング調査のときに試算をしているもので、機器ごとに消費電力の比較をしております。SMES は比較する対象がないということもありますが、変圧器とケーブルに関しては 600V CV です。変圧器はいまの油入りの変圧器と比較して、その当方で 2030 年に予想される性能で消費電力がどのくらい違うかと、その消費電力の違いから CO2 削減を算定しています。いろいろな考え方がありますので、そのあたりは少し違いがあるとは思いますが。

【長嶋委員】 要するに機器で決まるということよろしいのでしょうか。

【NEDO・臼井主査】 そうです。機器で決まるということです。

【長嶋委員】 ビスマス系やイットリウム系という区別はしていないのでしょうか。

【NEDO・臼井主査】 していません。

【長嶋委員】 このプロジェクトの目標としては CO2 削減だとすると、この数字で費用対効果は考えられたのでしょうか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 本プロジェクトの目的は CO2 削減だけではなく、そもそもの目的は電力供給の安定ということですから、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なり、温暖化ガスが減る、製造プロセスも含めたところは副次的効果ということで考えております。ですから CO2 削減効果だけで費用対効果は少し違うと思っておりますが、安定供給というところは数値的表現が難しいので、これは代表的なものとして CO2 削減効果とすればこのくらいあるということで示しております。

【長嶋委員】 [P23/23] の高温超電導機器の適用拡大ケーススタディに関して、鉄道という言葉が出ましたので気になるのですが、このケーススタディの検討結果は今後どのように生かされることになるのでしょうか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 こちらの委員会には鉄道関係も含めいろいろな方に入っていていただいておりまして、こういうところから具体的に導入準備が見えてきましたので、そういうところを目指して、NEDO で出来るところについては技術開発、実証というところの計画に生かしていきたいと考えております。

【長嶋委員】 具体的にはいまの計画上には乗っていないということでしょうか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 いまちょうど検討している段階です。

【長嶋委員】 私は冷凍をよくやっていたものですから気になったのですが、塩原さんの 15/46 ページのところ、冷凍能力は 65K で 2kW としていて、COP が 80K で 0.06 というふうに温度を変えているのはどういうことになるのでしょうか。

【ISTEC・塩原 PL】 まず冷凍能力に関しましては、液体窒素の下限ということで、実際の電流機器を考えたときにサブクール窒素を使うだろうということで、冷凍能力そのものは Y 系にも使えるというかたちをとりました。冷凍効率に関しましては、一般のパンフレットで使われる COP の基準は、ほかと比べてときにスターリング、パルスチューブも含めて一般に 80K カテゴリ値が出ていますので、そこと比較したほうがいいだろうということです。実際にスターリングの場合、小型ですが

0.07 というのが 80K で世界最高値です。これはブレイトンのカルノーサイクル上どうしても両端に完全カルノーが出来ませんので、その分は負けるのですが、メンテナンスフリーで、無摺動というメリットで 0.06 という、それがスターリングの 0.07 と比較してどの程度かということで、ここに入れました。当然、65K にしますとその分効率が下がりますので、それは単純にカルノーの効率の比率も下がるということになると思います。

【嶋田分科会長】 ついでにお聞きしたいのですが、私はあまり冷凍のほうは専門ではありませんが、これはガスとしてネオンを使っているのですね。

【ISTEC・塩原 PL】 作動ガスとしてネオンを使っています。膨張して圧縮するという作動で、それを別に冷却そのものに使うわけではありません。ヘリウムよりも質量が高く、融点・沸点が 20 数 K です。たしかにヘリウムともども希少材ですが、作動ガスはループで取れます。

【嶋田分科会長】 ネオンというガスは高いガスだということですね。

【ISTEC・塩原 PL】 高いのですが、ヘリウムのように石油から出てくる副産物ではありません。少ないですが、大気中のネオンが採れますので、戦略的問題よりも、精製が難しい。コスト高なので、このへんはがんばっていただくしかありません。また、これを垂れ流すのであれば誰も使いませんが、圧縮と膨張と熱交換をループで運用するかぎり、かなりの効果が出ると考えております。

【嶋田分科会長】 限られた量しか使わないということですね。そういうことで、いまヘリウムの供給量が非常に不安定になっております。また再開するだろうと言われていますが、何年か前の中間報告では、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言いました。それが見事に当たりましたね。液体窒素でいいのですから。

【ISTEC・塩原 PL】 当たったというか、追い風になったと言われたほうがありがたいと思います。たしかにマグネット等大電流で巻線数を減らしてコンパクト化を狙うというのは、低温にすることによってコンパクト性があるなどいろいろメリットはありますが、冷媒というもの、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した。しかしネオンの場合は融点・沸点がたしか 27～28K です。そうしますとそれ以上の温度ではじめて作動できるということです。圧縮を考えると 30K を超えるということですから、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す。今後マグネットや回転機といった動作温度はそのぐらいになるのではないかと、ますます Y 系、ビスマス系を含め出番があるのではないかと感じています。

【嶋田分科会長】 ヘリウムから離脱した超電導技術がうまくいく、ちょうどいいタイミングでした。

【室山委員】 ビスマス系とイットリウム系の比較の話でご説明いただきましたが、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と考えてよろしいでしょうか。そのあたりの関係はどのように考えればよろしいのでしょうか。

【ISTEC・塩原 PL】 個人的に周りを落として自分がいいと言うのは嫌なのですが、性能だけをずばり言いますと、まずイットリウム系は先ほどコスト、磁場特性、機械強度、交流損失という 4 つテーマで比較しました。性能そのものは高温化、あるいはメリットがありますが、ビスマス系は長年の実績があり、長い線材も歩留まりが高いこと、量をたくさん出せるというところでは優れていると思います。ただ、実際の機器開発、長期信頼性をやるときにすべてチャンピオンのもので作らなければいけないかということ、システムそのもの、冷却を含めたシステム検証ではビスマスもいま動いています。また、磁場特性が重要でないようなケーブルに関していいいますと、比較的競合する技術ではないかと思っています。イットリウム系の 4 つ以外のもう 1 つの利点は、限流機能のようなかたちで、ノーマルになったときの抵抗を十分に上げることが出来ます。つまり銀があまりないのでそういうメリットもあります。そういうことで、性能そのものは十分合いますと言っていいレベルまで Y はきました。この後、線材会社さんのほうでさらなる量産化への投資、それから開発のほ

うではさらなる性能向上を行います。これは Ic で運転しませんので、安全を考えると悪くても Ic の 70%以下の電流で流します。それも含めて動作温度と電流値とオペレーション電流、そういう組み合わせでやっと土俵に上がってきたというふうに考えております。ちょうどコストのところでは 2013 年はクロスオーバーしますので、これからの頑張り方しだいで Y 系は伸びていくと考えております。

【熊倉分科会長代理】 予算の投入量が違ってきます。5 つサブテーマがありますがずいぶん違います。これを見ますと線材が非常に多く、線材は重要だというお話しでしたし、私もそのとおりでございます。5 つのサブテーマの中で重点的に研究するのは線材ということはあるのでしょうか、それともこの 5 つのサブテーマは平等に扱っているということなののでしょうか。どういう視点で評価すればいいのでしょうか。例えば線材中心に評価をしてもいいのか、あるいは 5 つのテーマは平等だという視点なののでしょうか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 プロジェクトの予算の配分については線材のほうに大きく費用が乗っているように見えますが、これはどうしても線材のところは真空プロセスを使い、装置費等は高めになってしまうということも含めて多いと思います。また、各機器に適用するために、特に前半においては線材の開発にも設備費も含めかなり投入しました。事実としてはこうなっていますが、我々としては本プロジェクトの位置付けとは最終的には電力機器の開発ですので、線材の開発は電力機器に適用できる線材ですし、電力機器の開発としての位置付けと考えております。プロジェクトとしては電力機器の開発です。ですからケーブルも SMES も変圧器も線材と同じ位置付けと考えていただければと思います。

【浅野委員】 事業の位置付け・必要性について 1 点教えてください。このプロジェクトはいままで単独でやっていたものが集大成したような形になっていまして、今回の開発成果は本当に素晴らしいものだと思います。個々に見た場合にトップレベル、世界最高のもので、もともとの目標の電力安定供給にもっていくために必要なことはやれていると認識しました。楠瀬さんのご説明の 3/23 にもありましたように、せつかくこのように纏めてやっている中で、例えば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 1 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か、このへんのところはプロジェクトのスコープ外かもしれませんが、せつかくこういうプロジェクトの位置付けにしていますので、そういう観点で見る必要があるのではないかと思います。そのへんで何かご検討されたことがあったら教えてください。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 こちらで絵を示させていただいたとおり、当初の計画では都市部を中心にまさに組み合わせたような利用法でした。また、特にケーブルと変圧器は当然同じようなところで使われますので、一緒ということはありませんが、震災等の影響もあって、選択と集中、あるいは開発ステージもケーブルと変圧器ではまだ少し時間差もありますので、それ自体を一緒になって 1 つのものをやるというところと少し歪みが出てくるところもあると思います。したがって、そこについては後半 2 年では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おりません。むしろ、早く実用出来るところから使って、実績を出して、そして課題を抽出して、それが例えば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ましたので、そこは重点化させていただいております。

【浅野委員】 分かりました。いわゆるリブレース事業など出来るところからやるとか、効果を早く出すというのは賛成です。申し上げたかったのは、例えば冷凍の技術でいうと、それぞれの動作温度が変わっていますのでシステム的にはこうだとか、逆にいうとその視点に立って全体システムを見たらこういうアプローチもあるとか、そうするともっと大きな効果が出るとすれば、一緒にやったという意味ではこのプロジェクトの意義がさらに出てくると思います。その点は興味深いのですが。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 具体的な開発とそのような全体システムの検討はちょっと……。

【ISTEC・塩原 PL】 先生のおっしゃるように確かに全体の電力機器システムは SPL の責任ではなく、PL と NEDO でどのように調整して、オーバーオールでどれだけのメリットがあるかを検討すべきだということで、実際のシステムをどこかの大きな変電所の中で SMES からケーブル、変圧器というところを中国でやろうとしているところがあります。それでも全部は違います。そういうことまではしていませんが、このプロジェクトの中の委員会の中でいまおっしゃっていただいた冷却に関していえば、ケーブルと変圧器は液体窒素で何とかしよう、そしてケーブルも初期はサブクールから高圧輸送ということで、では冷凍機をどちらで開発しようかというところでは、ケーブルと変圧器のグループは密接に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はやりましたが、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おりません。ただ、技術委員会の中で検討させていただいております。それからもう1つは、これも NEDO の超電導技術委員会のほうで毎回のようにご指摘を頂いたのですが、例えば線材というのは共通的に開発できるものだろうと、SMES 用の場合と変圧器はある磁場がかかるというふうなこと、あるいは交流損失はケーブルと変圧器ですなということで、機器ごとに線材開発をするのではなく、各テーマを寄り合わせて、この技術をどこにどう波及して使えるかということです。線材のほうでは共通して開発できますし、標準化に関してはすべてを一体化して IEC/TC90 の超電導の部会で日本が纏めるということで、先生が期待されるようにハードウェアで纏めるところまでは出来ていませんが、今後につなげるためでメリット、波及効果も含めた検討はさせていただいております。

【浅野委員】 そういうものに繋がるということもよく分かりました。ありがとうございました。

【下山委員】 中間評価後に大震災がありまして、いろいろ予定が狂った部分があったと思いますが、大震災の結果、最終的な成果への影響というか、何かが出来なかったなどそういうことはありませんでしょうか。

【ISTEC・塩原 PL】 直接的な説明はしていませんでしたが、3月にありましたので、次の年度の4、5、6、7、8月の間は線材作成装置が動きませんでした。そうしますと、機器開発で予定しておりました巻き線やケーブル化であるための線が手に入らないということで、何を重点に置こうかということとを相談させていただきました。先ほどの楠瀬主研の話にもありましたが、これは電力機器の開発が主体であるということで、その1年間は線材開発については短尺だけにしてくれということで、線材供給を全面的にバックアップするというので、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のは事実です。ただ、投入量が非常に少ないということで、ハラハラドキドキでこれを失敗したら作ることが出来ないという状況がありましたが、何とか目標は達成できました。時間的制限がやはり非常に厳しかったと思います。また、NEDO のほうから加速資金を頂きまして、修理すべきところは修理して、歩留まりも向上させるために加速することが成功し、ギリギリ成功したということです。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ということで、あの検証で失敗したらおそらく事後で間に合わず、今年度に入って無理矢理評価しなければならぬというところはあったかと思えます。現実的にはそういうレベルで、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、実施者の方には感謝いたします。

【下山委員】 関連して大震災以降電力機器に対する見方、これからの電力の姿の見方が変わったと思います。ただ、日本の中だけで見るとそのように見えてきますが、既に引き合いがある等、ここで得られた技術の海外展開のご予定はありますでしょうか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 NEDO も最終年度を中心に積極的に海外に PR をやらせていただきまして、実施者の方と一緒に海外のニーズを把握したり、企業や研究者の方も含めたワークショップを開催しました。その結果、線材ベースの引き合いはきていると聞いております。ケーブルにつきまして

は金額が大きく、単独でやるということは海外企業も難しいということですから、我々としても何らかの手を打てないかを検討しているところです。聞く限りでは海外は欧州を中心にケーブルなど関心が高く、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ですが、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きております。

【下山委員】 ケーブルについてはいくらかそういう話がありますが、それ以外の電力機器は海外ではどういう見方をしているのでしょうか。

【ISTEC・塩原 PL】 先ほどの先生のご質問への答えですが、楠瀬さんの資料 20/23 で、当初はプロジェクト終了後、実用化、技術開発、長期信頼性試験ということで電力会社が主体となって電力機器としてどう入れていくか、そして2020年までの約7年の間に何とかコスト低減も含め、長期信頼性をいけば追いつくという形でしたが、3.11以降、やはり電力エネルギーに関しての議論がいろいろとされている中、なかなかここに対して研究開発をやっていくという段階にいけなくなったのは事実です。いまケーブルメーカーさん、線材メーカーさんのほうで自主研究していただいて、その出口として国内あるいはヨーロッパのケーブルも含め海外への展開を検討していただいております。最後のご質問ですが、ケーブルはかなり世界でも競争が激しいということで、ほかの電力機器でいいますと、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ます。限流器に対しての重要性がアメリカ、ヨーロッパで多いです。今後、新エネルギーが入ってきて、再生可能エネルギーが入ったときの限流器はどうあるべきかということで、当然そのあたりのところが今後の競争になると思います。そこにおいては限流器そのものに関してはイットリウム系ならではの特徴が使えますので、いま変圧器に対しての限流機能が来ていますので、効率を上げるために限流器単体も可能だと思います。またケーブルに限流器を付けるというのもアメリカと競争して今後進めなければいけない大きなテーマだと思っています。あと、電力機器の中に入れるかどうか分かりませんが、発電機を含めた形に対してはまずはモーターのほうから動こうとしているということになります。SMES に関しましては、アメリカ、ヨーロッパの ABB 社との違いですが、4.2Kの30Tがアメリカ、ヨーロッパで、日本は20K以上というかたちで、ヘリウムの重要性の考え方が違うせいだと思いますが、ただし日本の長屋さんのところの成果は誇れる成果で、あとは市場がどうなるかで決まるのではないかと思います。それ以外の機器に関しては直流ケーブルというのは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ありませんが、鉄道あるいは医師会といったところで日本では動いていると聞いておりますので、そちらのほうで動くのではないかとというのがいまの私の正直な意見となります。

【嶋田分科会長】 特に震災以降は電力の状況が大きく変わりましたし、国民が電力の重要性を再認識したということもあり、そこにこの超電導の技術がいろいろなところで展開されるという、申し訳ないのですが、電力関係にとってはいいショック療法になったのではないかと思います。ともかく、電力会社頼みのプロジェクトを計画していたのが、もう電力会社がそれどころではなくなりましたので考え直さなければいけませんし、地域独占もいままではそれ以外の話をしてはいけないような状況が、もうそういうこともありません。私が前から言っている直流層電網を日本で作りましょう、国土交通省がやりなさいという時に、超電導の技術では日本が世界一だと、それはやるべきだと、これが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と思います。また、モーター等も特にアメリカなどは軍関係が小型で強力なモーターがあれば魚雷が潜水艦に近寄ってきたときに船の幅だけスッと動けば避けられるということで、ものすごい勢いで開発をしているようですが、それを動かすインバータが出来ず、船に載らずに困っているらしいです。モーターだけは出来ているということです。今回のプロジェクトばかりではありませんが、過去の超電導のプロジェクトを見ますと、最初は40kAの導体でしたが、だんだんと小さくなってもう数kAと、も

う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ました。SMES、変圧器ばかりではありません。直流送電のところにはDCLという1ヘンリーのインダクタンスがありますが、それは水冷しているのだと思いますが、あれは今であれば超電導化すればあそこで数百キロワットの電力ロスが減るだけでも、コストパフォーマンスが出るのではないかと、電気代も高くなっていますしこれは超電導にしてみれば運転コストが安くなるのではないかとということで、kA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、いろいろな開発がいつぺんに出てきます。ですから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の補助で出てくるのではないかという気がします。

【ISTEC・塩原 PL】 委員長のおっしゃるとおりで、ここまでは電力の系統の安定化というかたちで変圧器、ケーブルとSMESということで、線材を含めると磁場応用であったり、大電流密度化であったり、あるいは機械強度であったりと、ほとんどが応用の基盤技術になると思っています。ここでは本来の目的の電力系統安定化というシナリオで2020年と書いてありますが、このプロジェクト終了後の今年度以降の展開は、イットリウム系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があると思います。NEDOさん、経産省さん、エネ庁さんのほうでなんとかご努力いただいて、せっかく日本が世界をリードしている技術ですから、電力機器以外も含めて発展出来る方向に動ければありがたいと思っております。

【浅野委員】 研究開発マネジメントで1点です。加速の件ですが、先ほどの下山先生のお話と関係しますが、東日本大震災、それから中間目標での評価を反映されて、加速資金の投入が大きかったのだと思います。その中で思いましたのは、例えば変圧器のところでは前倒しでやったというお話がありましたが、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われたものなののでしょうか。それが1点です。[P19/23] もう1つはその観点でいいますと、最初の2年間、3年間の加速資金は違う意味なののでしょうか。例えば新たな価値を見出しているとか、これがあることによってこんなことが出来たという意味の加速資金だったのか、そのへんが分かりませんでした。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 ご指摘のとおりです。加速にもいくつかの位置付けがあります。前半は研究をスムーズに立ち上げて、ここにも書いてありますように、変圧器のところでは前倒しをして中間目標評価を早めに達成する、あるいは少し早めにやるということです。後半については1つには震災に対する遅れが生じてプロジェクト全体が延びてしまう、プロジェクト期間で終了しないことがないようにということで、震災直後の23年度についてはそこに対して手を打つということで使わせていただきました。24年度につきましては、プロジェクトの成果として世界的にもトップレベルの成果が出てきましたので、それをさらに実用に向けて必要なところとして、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予定を上積みするような形で検証を追加するというように、他の用途に使うという意味も含めて考えています。次のモデル機をいろいろところで作ることを想定したときに、どういうスペックで設計すればいいかということを考えたときには、標準偏差のようなことが考えられる状態があればよりスペシフィックな設計が出来ると考えまして、そういうことを追加する、つまり我々としては実用化を前倒しするというコンセプトでやっております。

【浅野委員】 加速の意味が分かりました。ありがとうございます。

【ISTEC・塩原 PL】 私のほうもこれはNEDOさんのほうに加速を提案し、説明していた関係からお話いたします。私の認識では加速は2つ、3つの理由があります。1つの成果をさらに広げていくことと、次年度の予定のものを前倒しして、次年度の機器開発への設計につなげるということです。成果そのものに対する加速は、時間軸と成果を幅広くするという2つがあると思います。限流

機能に関しましては、限流機能変圧器を前倒することによって、2MVA の設計にも役立つということが見通せそうでしたから、早めに限流機能そのものを変圧器で見るのが 2MVA、最終的には 20MVA の変圧器の設計に関係するというので、時間軸をいじらせていただきました。それから現地調査で見ていただいたケーブルに関しましては、大電流ケーブルは交流損失が難しいということがあります。交流損失の低減は大電流 Ic 化だということになりますと、フジクラさんのチャンピオンの線を使えばそれが実証出来るのかということで、そういう面で幅広く加速しました。3.11 以降に関しましては、これは加速というよりは、現実的にいまこれだけの技術があるのに止まってしまっていると、これはその時間での成果を加速したいということで成果の加速とは違って、スピードアップしなければ間に合わないというところも含めてやらせていただきました。このように 3 つか、4 つの理由で申請させていただきました、NEDO と経産省、エネ庁のほうで決めていただき、実施したという経緯があります。

【浅野委員】 どうもありがとうございます。プロジェクトの目的を達成するためのマネジメントとしての管理、それから技術開発状況に基づいていろいろなことを考えながら進められたというのはよく分かりました。

【嶋田分科会長】 特に我々が見学させていただきましたが、最後の年に集中的に大電流ケーブルの実証試験をやられたというあたりは、いままでにない NEDO のマネジメントだと思いました。中間報告のときの我々の提言も少しは役に立ったと思いました。その中で、SMES はもういいのではないかという話をしましたが、あのころは夜間の原子力発電の余剰電力を貯めることをしなければこれ以上の原子力化は日本では無理だというのがあったので、何らかの貯蔵装置が必要だと、そして都心部におけるのは SMES だけだからこれが重要だという位置付けがありました。しかし、今後、原子力はどうなるか分かりませんが、これ以上は伸びないだろうというところで、今後の SMES の重要性をもう一度考えなければいけません。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す。最近ヨーロッパを舞台にして「ブラックアウト」という小説が話題になりました。電力メーターが IT 化され、オン・オフを一斉に繰り返したために電力系統が崩壊してしまい、その後 1 週間、2 週間でヨーロッパ社会がまったく原始状態になってしまいます。そういうところに対する不安もありますので、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と、そうすれば電力系統がなくなっても高層アパートではエレベーターが動きます。そういう意味での電力貯蔵、夜・昼の電力貯蔵の容量の大きいのは、電池ももちろんありますが SMES もありますので、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思います。特にヨーロッパは大きく風力に行こうとしています、電力貯蔵が重要で、スイスあたりに国際的に使える巨大な揚水発電所を作る、そしてそこに行くケーブルは北海からスイスまで運ぶのは直流だということで、そこに超電導が使えるかどうかは分かりませんが、高圧直流送電であるということは当然です。そういうことで、世の中の電力環境は大きく変わっていますので、そこにこの超電導がうまく具合に入っていけるといいなと思います。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 SMES についてはいまご指摘のとおり、震災以降の変化等も含め、状況も変わっておりますので、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させていただきます。そちらのほうでご確認いただければと思います。

【嶋田分科会長】 時間になりましたがよろしいでしょうか。今回は概要ですから、詳しい説明の後、また質問を頂くことが出来ると思います。予定の時間がまいりましたのでここで 60 分間の昼食時間をとります。再開は 13 時で、議題 6 の「プロジェクトの詳細説明」を行います。

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。

【嶋田分科会長】 ありがとうございます。それでは質疑は 20 分予定しておりますのでお願いいたします。

ヨロイコイルの名前は新しいのですが、そのものは昔から常電導のコイルでもそういう積層のパンケーキはああいうふうに作っていたのではないのでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 これに比較的いちばん近いのはコンポジット導体だと思います。四方を全部囲ってまして、中に超電導の線がどかんと入っています。強度自体はコンポジットが受けます。ただ、線自体は中で動いていますから、電磁力を受けているのは線ですが、それを束ねた力を全部その四角の箱で受けます。当たり前ではないかと言われますが、コロンプスのタマゴ的な話で、力をどう受けるのかと言ったときに、もともとイットリウムというのは線が強いからそれで受けましようということ、それを生かすコイルを考えていたのですが、その過程で剥離が出てきましたので、その剥離に対して逃げ道を探すと結局は逃げ道がなく、線を強くするという話もありますが、製品を考えて、何百キロという長さで線材の品質管理をしきれぬのかという話になりますので、やはりそこは何かの違う解が必要だということです。その中で、接着させずにテープ状のイットリウムおよびビスマス系だからこそ出来たパンケーキ構造になります。普通は含浸して一体化しますが、これは逆に含浸させず、力をすべて側板に伝える機構がいちばん大事で、ですから外枠はわざと切れています。自由に広がるように外周リングはリングではなく、こんな形になっています。そしてその力を側板が全部支えるというもので、これは従来の金属系にはなかった考え方になります。

【嶋田分科会長】 その昔の常電導の JT60 のトロイダル磁場コイルはこういう大きさの銅の板が絶縁されて、72 ターン巻いてあり、結局側板で力を押さえています。昔の銅のコイルはそうでしたが、それが最後の銅のコイルでした。それ以降はすべて超電導になりました。超電導では新しいということですね。あとは経年変化などが問題だと思います。熱サイクルを常温にすることもあると思えますし、冷やすことも何回か繰り返した後に大丈夫かという心配についてはこれからでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 もう既にそれはやっていますが、びくともしません。あっちこっちでこのコイルはいろいろな測定に使われています。けっこう痛めつけられていますが、初期特性から何ら変化はしていません。本来このコイルを使ったトロイダルコイル検証が、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ですが、先ほど先生がおっしゃられたリアクトルなんかにはいいのではないかという話で、1 ヘンリーまでは OK だという話で、それに関しては社内で小型の、いま数百ミリヘンリーのヨロイ・トロイダルコイルシステムを作っておりますので、そのうちお見せ出来ると思えます。

【嶋田分科会長】 加速器の電源のバッファに使いたいと思っています。

【浅野委員】 どうもありがとうございます。[P31/33] の各種の電力貯蔵装置との比較で、長屋さんが強調されていたように、コストの話に目がいくのですが、キロワットあたり 2~6 万円という幅がついていて、その幅の意味は何でしょうか。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でしょうか。もう少し言いますと、その前にロードマップがありましたが、そこに線材の低コスト化があって、2015 年ぐらいで 5,000 円/m という数字も入っていますが、この線材との関係等そのへんのところを教えてください。

【中部電力・長屋 SPL】 これはいろいろな考え方がありますが、私どもが「こんなものだろう」というところです。いろいろな話がありますが、結局アンペアメーター (Am) と表記にしてしまいますと、例えば 300A の線が 1000A になると、見かけの Am は 3 分の 1 になりますが、機器を作るほうから考えますと、1000A の線が来ても、接続等いろいろ考えてくると実際には 1000 では全然使いものにならず、先ほど申しましたコイル電流密度との関係で瞬時に焼けるような、何かあったら燃えてしまうようなコイルが出来てしまいます。ですから、我々としてはメーターいくらでやろうと焼き直しています。Ic のほうも ISTEK さんのほうでこの後にご紹介いただけたと思いますが、どん

どん線材も性能を上げて、1,000A、2,000Aではなく、いっそうのこと10,000Aぐらいの線を作っ
ていただくと考え方が変わると思いますが、その過程の中でそこはそれで、例えば1基20メガの
SMESを作ろうとしてもY系の線材が100キロ~120キロ必要になりますから、その量を供給し
ていただくことを考えますと、値段も無茶なことも言えません。そうなりますと、メーター
5,000円ぐらいであれば供給していただける値段だと考えています。ですから、それぐらいのロー
ドマップの値段でどうなのかと、そしてそれが将来もうちょっと頑張ってください、1,200円ぐ
らいまでということなのですが、ただ1,200円という段階ではいろいろ既に話させていた
る線材メーカーさんでは「こんな値段で勝手に実用化の絵を描かないでほしい、誰が売ると
言ったんだ」というような話で、もう少し高めで、このへんでしようかという話もあるの
ですが、そこはそこで何とか工夫しながら機器側で線材の使用量を減らすなどいろい
ろなことを考えて、実用化のバンドはこのあたりの値段でしようということ
で考えた……。

【浅野委員】 31ページの比較のスライドです。

【中部電力・長屋 SPL】 このコストはSMESをどの出力にしますかということで、貯蔵装置を並べる
ときにkWとkWhを併記しなければいけません、こちらは黙っていても長時間、時間級です。
ただニーズとしては、時間は要らない、瞬停は1秒、2秒ですから。そういうところを考
えて、ここにバンドが付いております。といいましても、この代わりをこれがしようとは
全然考えておりません。ここにkWhというのを持ち込めばいいのですが、そうしますと
三次元になって何だか分からなくなってしまいますので、[P30/33]ここにくる主戦場、こ
こを想定しております。ですから、揚水はこのあたりですが、瞬停はこのあたりです。
実際にこれから再生可能エネルギーが入ってくる中で必要となってくるのはこのあた
りだと考えております。我々も1000メガのメガソーラをやっておりますが、[P29/30]
1000メガのメガソーラに付けている電池がこれです。実際にこのリチウムを付けて
実証試験をやっております。そしてそのスペックに合わせたSMESがこれになります。
そうしてきたときに、こういう値段のバンドと特性のバンドが出てきます。

[P31/33]あと産業応用で鉄道などを考えますと、やはりこのゾーンが欲しいけれども
なかなかいいものがないということで、それをこの表にまとめさせていただきました。
アメリカの計画も我々とほぼ同じようなレンジで考えていますので、そういう用途です
とこれが生きてくるのではないかと考えております。短時間で繰り返しの多いよ
うな再生可能エネルギーにマッチングさせるような系統に付けるような貯蔵装置とし
ては電池は貯蔵量は持っていますが、質量で考えたときに割高になり、かつサイク
ルが増えてくるとさらにそれが割高になるという比較です。ですから、これを見て
いただきますと、このフライホイールというのは非常にバランスがとれていいと思
いますが、弱点はここです。フライホイールは発電機との一体物ですから、大出力
といわれるとこれはつらくなります。ですから大容量の系統の繰り返し、バッファ
ー、系統安定化であればやはりこれが出てきて、キャパシタと勝負してきたとい
うところです。

【浅野委員】 用途によってということや幅の意味もよく分かりました。表にもあり
ますが、SMESは寿命のメリットもあるだろうと思います。コストを伸ばすとい
うことであれば、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の
話等いろいろありますが、そういうものも概念としては入っているとい
うことでいいのでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 入っています。

【浅野委員】 分かりました。

【長嶋委員】 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
と見ています。

20/33のところですが、このパラフィン含浸コイルは試験で効果があるとい
うことは分かっていますが、これは実際にお使いになるおつもりでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 言いにくいのですが、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

併存していくと思います。パラフィン無しコイルの場合にコイルの強度をどうサポートするのかというのがこれから問題になったときに、まさにこのヨロイになると思います。いま最もホットな話題は例のクエンチ保護をどうするのかということ。SMES の場合は積層導体なので実際に使うコイルは単線が多いわけです。MRI もリニアもそうです。その場合、いまいちばん集中的に研究されているのが NI (ノンインシュレーション) コイルになります。線がクエンチしたときにコイル全体で電流を受け持つというときに、パラフィンで含浸しますと絶縁になってしまいますので、基本的にドライ巻のコイルになります。このドライ巻になるとコイル全体の強度はどうするのかということで、実はこのヨロイコイルの場合はパラフィンを入れなくても非含浸でも温度がこんな程度で、金属系では許容できない温度上昇になります。もともと酸化物は温度が高いですし、熱容量がありますので、今後今年の後半にかけて NI コイルというのが出てきたときに、パラフィンレスのこのタイプのコイルが評価検討されていくかだと思います。

【長嶋委員】 分かりました。もう1つは、この資料には入っていなかった実用化例のスライドを見せてください。黄色は実際に使っているということですが、アメリカで昔はマイクロ SMES というのがあったかと思いますが、外国で現状動いているのはあるのでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 AMSC のマイクロ SMES はもうないのではないかと思います。電力の中でシグレという会議がございまして、学界等が主催している会議ではなく、世界の電気事業者がまとまって電力技術を議論している会議です。その中で超電導機器に対していろいろなワーキングが行われています。ただ、先ほど嶋田先生がおっしゃったように、超電導は日本に勝てないので日本に任せたと、日本でやってくれという話になっています。フランスや韓国もいろいろ言われていますが、それは我々のものをコピーして、真似たり、また違う概念でやっています。最近フランスがやっているのは、飛行機に載せるという話があり、SMES はエネルギー密度的に軽いので、飛行機で機内のバッテリーに SMES を持ち込むという話も ASC 等いろいろなどで発表があったと聞いています。

【嶋田分科会長】 先ほどの超電導フライホイールがやはりいいのではないかという点については、私もそのとおりだと思いますが、大容量化のところでは単体容量がメガワットだと並列化が必要だということになっています。フライホイールは既に 500 メガワットの JT60 のものが 25 年以上運転されていますし、大容量化はそのまま交流出力で、系統安定化のため、瞬停対策のためならばいいと思います。

【中部電力・長屋 SPL】 前言撤回させていただきます。

【嶋田分科会長】 並列化も誘導電動機フライホイールでは並列化も出来ます。この貯蔵装置はそれぞれに得意分野があって、それをどういうふうを選ぶかです。特に SMES がどこに入るのかということがありまして、ほかに取られてしまうので、SMES の行き場所は大容量の揚水発電所に匹敵するようなものになったときにあの容量では電池ではちょっと難しい、フライホイールはダメだから SMES しか残らないのではないかと思います。

【中部電力・長屋 SPL】 [P31/30] それもありますし、これも日本の場合は系統が非常にしっかりしていますので SMES の役目はどちらかというと系統に何かがあったときの擾乱やユーザー側でいえば瞬時それを保証するみたいな話です。

【嶋田分科会長】 それはフライホイールがいいはずです。

【中部電力・長屋 SPL】 海外は逆に系統が非常に弱いので、海外で何が起きているかといいますと、系統が弱いのために自衛手段としてみなさん自家発をしております。高品質の電力が欲しい場合には分散電源、自家発等を置きます。逆に単独系統でクロズドで動けば、その品質が保証されますが、逆にそういうものが導入されますと海外の場合は系統が弱いですから、電源が欲しいので系統になげると系統側が要求してきます。その場合にせっかく高品質の電力を用意しているにもかかわらず

ず、お国の事情で質が下がるというときに、接続点に SMES を置くと、系統側で事故があったときに逆に系統から切り離して高品位な電力を守るというショックアブゾーバー的な使い方ができます。それはフライホイールも出来ますので、このあたりは似たようなものです。

【嶋田分科会長】 いろいろ用途があって、SMES がほかに負けないいい用途が切り開いていけるといいと思います。

【下山委員】 ヨロイコイルのほうですが、経時劣化は調べられていますでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 まだヨロイが開発されて1年ですから、1年間はやっております。

【下山委員】 その間では繰り返しの能力低下は見られないということでしょうか。

【中部電力・長屋 SPL】 はい。

【下山委員】 もう1つ質問ですが、コイルの要素技術はある程度見通しが立ったということだと思いますが、実機にしていく上でまだいろいろブレイクスルーが要求されると思います。何がいちばん課題になりますか。

【中部電力・長屋 SPL】 超電導機器はどう使われるかによります。瞬低 SMES があれだけ使われたのは、並列機器になっていますから自分がずっこけてもほかに影響を与えませんから、何とかすればいいということで実証から実用にもっていきましたが、直列機器が入るような機器は死んだらみんな死ぬのかという話になりますので、超電導機器はこれから SMES も含めて考えていくことは、SMES のいちばん大きなトラブルがどこにあったかという冷却です。冷凍機がもつといてもやはりもちません。特性が低下し始めて、なぜかこれが正月とお盆休みに起きます。ひどいときには5月の連休にも起きました。いまだに覚えています、12月28日の会社の納会のときに亀山から「冷凍機性能異常」という警報が飛んできて、みんなが酒を飲んでいる中で「すいません、いまから亀山まで走っていきます」と言って冷凍機の点検をしました。やはり冷却系です。これは静止器になりますから侵入熱だけブロックしてあげればそれほど気になりません。ところが24時間、365日動く冷凍機だけは、冷凍機に実績があるといっても点検で止められるタイプです。止まったからといって何の支障もありません。ところがこれは絶対に止めてはいけないわけです。冷凍機が止まったら安全のためにシステムを止める設計にしていますから、システムの信頼性の観点から見たときに、冷凍機の信頼性がそのまま乗っかってきます。ですから、冷凍機の高信頼性、それも何かあったときにすぐにバックアップ出来ると、4時間以内で復旧出来るシステムにしてあげないと実用化にはならないだろうということで、このイットリウム系の場合は液体ヘリウムの制約から逃げる事ができますので、1段の冷凍機ではその信頼性が4.2Kの2段を使っていたがためにせいぜい頑張っても半年ぐらいだったものが、20K、30K ぐらいでとりあえず冷えていければいいという使い方になれば、そこから一気に信頼性が上がります。今後はその部分と、今回後半予算削減によって実施出来なかったコイルの組み合わせ試験が今後の課題になると思います。

【嶋田分科会長】 ほかにありますでしょうか。よろしいでしょうか。それではどうもありがとうございました。

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。

【嶋田分科会長】 どうもありがとうございました。それでは質疑をお願いします。

【市川委員】 今回のプロジェクトの中で実用化に不可欠である中間接続部の開発ということで非常にいい成果を出されたと思いますが、実際実用化になるとケーブルのこう長としては数キロメートルというこう長になってくると思いますが、今回得られた交流損失は短尺の30mのケーブルでの損失ですが、実際数kmというこう長になった場合、当然ロスによって上流と下流で温度が変わってきて交流損失が変わってくると思いますが、その場合今回の交流損失で達成した目標値は実際の実用化

における交流損失として十分目標を達成しているのかどうかということですが。

【東京電力・大熊 SPL】 おっしゃるとおり入り口と出口でかなり温度が上がっていくので問題になってくるだろうということで、シミュレーションの段階ですが最後に流体解析で行っております。km 当たりの検証も行ってまして、実際に交流損が増えていくのも多少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、冷却の能力によってきますが、それほど問題なからうと考えております。

【長嶋委員】 発表の中に熱収支の話がありましたが、そこはあまり詳しくお話がなかったのですが、事業原簿を見ますと 250 ページのところに COP などを書いてあるのですが、この COP の根拠は何でしょうか。線材が変わったからといって冷凍システムはそれほど変える必要はないのかと思いますが、ビスマスでやられている今回のものに含まれないシステムとはどういう関係になっているのでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 システムのほうでいいますと今回はあくまで検証でありますので冷却機は使っていませんので、電圧ケーブルの測定等をやっているだけでありまして、こちらのほうは先ほど先生が指摘された 250 ページのほうでいいますと、あくまでもこちらはスラッシュ窒素の検討を行うために使った数値です。

【長嶋委員】 この数値、午前中の変圧器などの COP に比べるとかなりいい数字になっていて、しかもあのときは 80K で 0.06 ということをおっしゃっていたかと思いますが、これはたぶんスラッシュ窒素などということは 65K とかそういう温度でも COP とするとかなりいい数字だなと思うのですが。

【東京電力・大熊 SPL】 63K とか 62K とか。

【長嶋委員】 そこはどういう根拠なのか疑問に思いまして。

【東京電力・大熊 SPL】 247 ページくらいの COP の求め方で冷却温度 / (常温 - 冷却温度) ということで、ただ単にここから計算してきたものです。それをベースに、今回スラッシュ窒素を使った場合にどのくらい上がるかというものを検討したものです。なので、先ほどのような変圧器でやっているような冷却系の測定のほうがとはまた違います。

【長嶋委員】 この式はカルノー効率ですよ。理想的な指標というか……、そうですか。0.054 ですか。これ (スラッシュ窒素を使った機械) についてもよく分からなくて、これが液体窒素をどんどん減圧して冷やしているだけで、機械 (冷凍サイクル) じゃないですよ、エネルギーを入れて冷却しているという機械ではないので、この COP という定義もよく分からないのですが。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 直接のお答えにはならないかと思いますが、先生がいまご指摘いただいた 250 ページの COP 0.08、という数字で午前中の話と比べて高いのではないかとご指摘だと思いますが、変圧器用に開発したものとご説明がありましたが、ケーブル用にいまビスマスのほうのプロジェクトで開発しているものとかでは単体で COP コンマ 0.1 を目標に開発しています。

【長嶋委員】 容量が大きいから大きくなるということは分かるのですが。

【東京電力・大熊 SPL】 ですからそういうことも含めて検討しています。

【長嶋委員】 ですからその根拠は何なのかなという。

【ISTEC・塩原 PL】 いちばん大きいのはまず午前中のものは冷凍機を開発してブレイトンで作ったのでスターリングではないですよ。それでカルノーが低いのが 1 つ。ただ 0.07 よりも大きいので何度かなと一瞬思ったりしています。ここに 80K なのか 90K、100K なのかちょっと分かりません。大型化になると COP が上がりますので、まず大きく違うのはたぶんスターリングとブレイトンの差、変圧器のほうはブレイトンだったので 0.06 の目標をやって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、そのときにあるいちばんいい効率のたぶんスターリングを使った。大きいやつと組み合わせたかどうか分かりませんが、ちょっと不十分です、温度

も含めて容量も見て再度、直すべきなら直します。

【長嶋委員】 分かりました。

【熊倉分科会長代理】 交流損がスリットを入れて減ったということですが、いま実用レベルでどのくらいのところまであるのでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 ケーブルのほうにつきましては2 ミリです。

【熊倉分科会長代理】 AC ロスとしてもうあとどれくらい下げれば実用レベルになるのでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 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ます。

【熊倉分科会長代理】 いまのですか。

【東京電力・大熊 SPL】 はい。一応それをベースに検討はしました。

【熊倉分科会長代理】 ではもう AC ロスの問題はないという。Ic が上がれば AC ロスも上がるから。

【東京電力・大熊 SPL】 Ic が上がれば負荷率がどんどん小さくなっていくので下がってくると思います。

【熊倉分科会長代理】 分かりました。それから長尺ケーブルで実用レベルは数 km だというお話がありまして、いま数十 m。数 km のケーブルは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きますか。

【東京電力・大熊 SPL】 ケーブルでいきますと数 km といいたまってもマンホール内接続で考えますとだいたい 500m か 600m あればいいと思っていて、それを中間接続部でつないでいって km に達成させるという話になりますので、ワンスパンでいうと 500~600m あればいいのかという気がします。いまここで検証したものでいきますと、中間接続もやりましたし導体のほうもやっていますので、長尺に対してはそれほど大きな壁はないと思っています。

【熊倉分科会長代理】 大きな技術課題はない。

【東京電力・大熊 SPL】 どちらかという冷却関係のほうで技術課題が出てくるのかなと思いますが。

【ISTEC・塩原 PL】 追加で答えますが、交流損の件でいうと彼もビスマスのことを一切言っていないんですが、ビスマスには実証しているところがありますね、東電。あそこがだいたい 2w/m です、3kA で。これは 27 万 kA で同じ 3kA で 0.2w/m なので交流損そのものも一桁くらい低い超電導ケーブルになっているわけです。5 キロアンペア級にしたところでここまで下げられているので、交流損にしては世界レベルでいっても 1 桁大きいし、そこでまずいいだろうという意識はもっています。ただ冷却長に関しましては当初 500m マンホール間隔にするのかあるいはもっとするのか、あるいは冷凍機は 1 キロ、2 キロまでやった上ですするのか、接続部だけをどうするのかいろいろ課題はあります。今後の課題としては超電導層の層数をどれだけ減らすのかということも当然あります。あとは当然コスト低減があります。冷却のほうでいうと、いまあまり長いもので出来ていないので、外からの侵入射熱を数十メートルですとあまり精度のいいものではなくて端末からの侵入のほうがかかなり効いてきてしまい、実際の km のときの 1W/m というのは本当なの、これかなり厳しいよねというところは課題かなと思っています。そのあたりはシミュレーションでやっているのですが、3 心一括のシミュレーションはあまりにも厳しくて出来ていないというところなんです。だいたい目安はつけているけれども、さらに実証、信頼性試験は要するということです。

【熊倉分科会長代理】 今後スリットか何かを入れて下げるのかなと思ったのです。

【ISTEC・塩原 PL】 こちらはどちらかという垂直磁場の幅方向の変動というよりも、真円構造のほうからずれているところだけの影響なので、出来るだけ真円にすれば平行磁場変動が主体になります。変圧器のほうにするということ。それで出来るだけ真円構造が大事なので、スリットを入れるというのはどちらかという変圧器のほうのコイルですね、どうしても垂直磁場が避けられないようなコイル構造ではさらに細線化が必要と考えています。ケーブルの場合は平行磁場変動なので、真円になれば大丈夫ということで、スリットまでは考えていません。

【熊倉分科会長代理】 分かりました。

【室山委員】 スライド 36 で高電圧ケーブルのほうで長期通電試験の結果が出ていますが、200 キロを 1 か月かけて 3 キロを ON-OFF させて 20 サイクルという条件だと思うのですが、これは実際の使用条件で考える加速条件になっていますか。

【東京電力・大熊 SPL】 一応現用ケーブルの ON-OFF や CV のケーブルを参考にさせていただいて試験を行っています。

【室山委員】 これが出来るといいですね。

【東京電力・大熊 SPL】 現用ケーブルでやっているような試験です。

【室山委員】 現行試験と同等の試験になっていると、分かりました。これは冷却とかそういうものも含めたものではなくケーブル自体の特性ということでよろしいのですか。冷却の信頼性は含んでいないんですね。

【東京電力・大熊 SPL】 そうです。あくまでも冷やしたケーブルに対する試験ということですよ。

【室山委員】 ありがとうございます。

【浅野委員】 主要項目に関して目標と成果がかなり定量的に整理されていて非常に分かりやすいのですが、一方要素試験とおっしゃっているところで、先ほどのスラッシュ室素の話もありましたがやはり冷却がかなりポイントだと思います。例えばスラッシュ室素でいろいろ流用性の検証を行うということが目的になっていますね。こういう貴重なデータがとれているのですが、これに対する評価、つまりいろいろなデータがとれたと。例えば連続生成するとか、これだけの流量が確保出来るとか、100 マイクロくらいの平均粒径で出ているということからすると、例えばサブクールでやっているシステムに対してこれがどういう位置付けになっているとか、本当に実用化するためにはここはこういうふうになっているのだということまで掘り下げていただくといいと思ったのですが、このあたりについては単にデータをとってこれだけ分かったではなく、さらに 1 歩進んだご見解がありますでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 [P40/50] 今回モデル試験ということでやっていますが、このデータを基に実際にケーブルシステムとして使われますので、数値解析のほうでやっています。これに対する長さ方向の検討はなくて、あくまでも今回のベースになっているのは高電圧ケーブルの形状のものを準備してそれについて使えるかどうかというのを数値解析的にやっています。

【浅野委員】 当然こういうことを取り上げてやったということは目的があるわけですね。例えばサブクールに対してここにあるように温度分布の評価もされていますが、これを導入すれば例えばいまの実用化のシナリオがこれだけ確実なものになるとか、そういうところはいかがでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 そこまではやっていなくて、やはり長さ方向の問題も出てきますので、やはり融解したときの長さがどれだけ求められるかということもまだアンノウンなところがありますので、そのあたりまでは詰めてはいないです。

【浅野委員】 分かりました。ありがとうございます。

【下山委員】 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のですが、実際問題としてカバーする温度域が例えば 69K くらいから 77K くらいのあいだを想定しなければいけないと思いますが、そういうことを考えて例えば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よろしいわけでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 今回の試験で申しますと例えば 6 万のケーブルでいうと出口端温度の固定じゃないですが実際に 64K ということで、電極能力の限界ではないですが、64K と 65K の固定での試験は行っております。そのかわり交流損失の測定などにつきましては 71K とか 74K とか実際に実用化に使うような温度の高領域のもの測定では検証は行ってきていますが。

【下山委員】 クリアしたという数字は微妙に 71K だったり 74K だったりするので、目標のところは温度はちゃんと規定しなかったのでしょうか。0.2 ワット以下とか、温度を変えたらいくらでも変わっ

てしまいます。

【東京電力・大熊 SPL】 最終目標、中間目標については温度の規定はなかったです。

【下山委員】 なかったのですね。現実問題として 77K ですよ、あるとすれば、例えば 77K と 71K では、直流の I_c は少なくとも 1.5 倍くらいになってしまいますね。

【東京電力・大熊 SPL】 高電圧のケーブルでいうと、温度は 74K の段階で測定結果が得られております。77K ぎりぎりというよりも 70K オーダーというか。

【下山委員】 まあいいです。もう 1 つの質問は、交流用に作ったケーブルですが、直流通電の試験はこれでやられたことはありますか。

【東京電力・大熊 SPL】 通電はないです。あくまで I_c を測定するものであって。

【下山委員】 個々の線の I_c を足しているだけですよね、これは。

【東京電力・大熊 SPL】 はい。

【下山委員】 ケーブルとして直流通電してみたことはないですか。

【東京電力・大熊 SPL】 I_c 測定するときは直流で流しています。

【下山委員】 全部に流していますか。

【東京電力・大熊 SPL】 はい。

【下山委員】 では 1 万何千アンペアというのは直流の値ですか。

【東京電力・大熊 SPL】 そうです。フジクラさんのものについては電源がなかったので足し算ということでやっていますが、住友さんや古河さんについては実際に流して I_c 測定をやっています。

【下山委員】 ありがとうございます。

【市川委員】 ケーブルの過電流特性ということでもとられておまして、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ますが、短絡試験の場合、規格ではこのような仕様になっているので今回のような試験をやっていると思うのですが、実際の短絡故障はここまで長い短絡故障は基本的にあり得ないことでして、この系統ですと非常に高速遮断ですから 5 サイクル程度の遮断になると思うのですね。そのようなときに高速再開路というかたちになりますので、10 分も復帰にかかっていると基本的にはどうしようもないというかたちになるのですが、今回こういう長い時間でやられていますが、5 サイクル程度の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されているのでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 やっていません。やっていませんが実際に系統を考えたときに地中線の故障の場合は再開路しませんので、極端な話、何時間でもいいだろうということになります。

【市川委員】 ケーブルでの事故という話ですよ。ケーブルに付随する事故の場合もそうですか。

【東京電力・大熊 SPL】 ケーブル系統の場合、地中線故障の場合は再開路しませんが、ケーブルに付随する事故、すなわち地中線ケーブルの外側系統で故障が起きた場合には、ケーブルを流れる故障電流の大きさは、先ほどおっしゃったように数 kA とか非常に小さい電流ですので、もっと復帰が早くなると思います。

【嶋田分科会長】 私からお聞きしたいのですが、275kV のケーブルに挑戦するというのは大変すばらしいことですが、66kV の場合はたしかに実用化する、または事業化される出口がはっきり分かりますよね。いまの洞道の中に入るのであればすぐにでもやりたいという電力会社があると思うのですが、275kV はないのではないですか。もちろんここで得られた成果は例えば誘電体損が損失の中で大きくなりますからそれを低減しなければいけない、出来た成果が従来の 59% 下がったとか、これは普通の温度の 275kV ケーブルにも使われるニーズになりますよね。この誘電体は低温だから効くというわけではなくて、Tyvek、PE、合成紙というのはいかがでしょうか。

【東京電力・大熊 SPL】 そうですね、この誘電体は現用ケーブルにも使えるとは思いますが現用の場合は非常に導体の損失の方が大きいので隠れてしまっているということがあります。超電導ケーブルの

場合、導体の損失が非常に小さいので逆に見えてしまった。275kV ケーブルの適用は、例えば海外でも非常に高電圧のものもやっていますし、海外では架空線を嫌うということがありますので、電磁界の影響とか架空線などを地中線化してしまうときには、あれだけ大容量のものを地中線でやれるものはないので、そういう意味からするとコンパクトで大電流が流せるのでニーズがあるのではないかと考えられます。

【嶋田分科会長】 日本の電線メーカーさんは世界のトップをいっていると私は思っているのですが、特に海底ケーブルなどはヨーロッパのメーカーが出来ないような電圧特性が変わっても大丈夫だよというものを、NEDO の予算ではなく独自に下北で実験したりして、これは会社としても 275kV の超電導ケーブルをやっているということは宣伝になりますよね。洞爺湖サミットに展示されたなどというのもまさに国の宝の技術だよということを展示したのではないかと思いますけどね。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 高圧例えば 275kV のケーブルのニーズについては午前中申し上げました海外のヒアリングをやっている中では、逆に我々が訪問したところはどちらかという配電ではなく送電系統の欧州の会社に行きますと、220kV あるいは 380kV のほうへの関心が高い。特にいま大熊 SPL からお話がありましたが、既存の 220 kV の架空線を地域の住民からの声等もあり地中化したいという明確なニーズがあって、ケーブルでは工事費もかかるのでそちらのほうにあれば商売ベースでも考えたいという話も聞いておまして、何百 kV というところまではまだないですが、5kV から 30kV くらいの範囲では具体的に高圧の 220kV とかそういうところの超電導ケーブルに対するニーズがあると認識しております。あとはコストと信頼性のところをどこまで見せられるかということだと思っております。

【嶋田分科会長】 大容量、長距離になるとやはり直流になってきますから、日本ではほとんどないですがヨーロッパあたりはどんどんやっていますから、そういうところに直流の超電導ケーブルというのも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よということでしょうか。275kV あたりで架空線じゃなくてよければある国ではとにかく架空線は戦争になったときに真っ先に目標にされるので地図の上に絶対書かないよというのが普通の国なのですが、日本は電力会社の支店に行くと地図をくれますがね、いまはくれないかもしれませんが昔くれましたよね。そういう安全ぼけしている国ではないところが普通なのです、やはり地中がいい。そういうところでは 275kV の超電導ケーブルは世界的には市場性が非常にあるのではないかと思います。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 これについてもニーズがあると認識しております。

【ISTEC・塩原 PL】 まずスラッシュ窒素の件、浅野委員からの話ですが、当初スタートしたときにスラッシュ窒素のメリットというのは比熱×温度差以上のエントロピー、つまり潜熱分が本当に使えるのかというときに流れるか流れないかということから見ていかなければいけないし、それが固相率なのかサイズなのかいつ溶けるのか、その基礎研究から始めない。基礎的に潜熱が本当に使えるのかなというところを明確にしたいレベルで、それなりに潜熱が顕熱に上回る効果があるというところまでを出せたのが精一杯です。あと交流損の温度変化に関しましては基本計画にないからという理由ではなく、本質的にケーブルを設計するときに 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 をそのまま上げようとすると I_c の高い線材を全部もってこなければいけないので、 I_c を高いことを模擬するために低温で評価をまずやる、中間報告まで低温で全部やったのは、まず I_c をどこまでやって 4 層構造にもっていけば 77K に使えるのかというためのデータも入っていますのでいろいろなデータが入っています。最終的にフジクラさんの I_c の高いものでは 77K まで明確にして、アイオペ、 I_c の比率と、その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ければありがたいと思います。最終的には 77K で評価しましたということになります。それから 27 万 V に関しては先生がおっしゃるとおりで海外と日本ではかなり違って、例えば韓国では 15 万 V クラスが大きいとかいろいろあるので、6 万 V

より高電圧側というものが海外では多いということで、国によっていろいろ違うというのは事実だと思っています。もう 1 つ直流ケーブルに関してはこのプロジェクト以外で動いているものがございまして、そのあたりにシールドと導体の 2 つを直流の土に使えるれば単心にちょうど合うよねというような、あと AC ロスの巻線技術の難しさは逃げられるかなということは考えております。

【嶋田分科会長】 他にありますか。鶴見の実証試験は Y 系ではなくビスマス系だったということですが、侵入熱、特にケーブル側の、日に当たっていてそこからの熱が問題だということが実証試験で分かって、赤外線を防止する白い塗料のいいものがあってそれを塗ったら大いに効果があったよということで、やはり実験するといろいろ分かってきて、それに対する対処の方法も現場の人たちはいろいろ考えてやってくれるのだなと思いました。これもですから 66 キロを一応いまは俵積み置きということですが、その周りに普通の常電導ケーブルがあってそれが触れないくらい表面が熱くなっていますから、そうすると同じように白い塗料を塗らなければいけませんね。そのあたりはいろいろ考えているわけで、侵入熱は当然計算に入れて冷却出来るということをやっているわけですね。

【東京電力・大熊 SPL】 そうです。今回のシステムのほうの外部の侵入熱と、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ますので、それもクリアするようにはしております。

【嶋田分科会長】 同じく鶴見で見たのは、常温で初期冷凍をすると縮みますね。それが 1 メートル近く動くよということで、それに対する動きを吸収する機構をつけていますね。あれを数キロメートルごとには置かなければいけないわけですね。それがいままでにないケーブルの在り様なのでちょっと心配な気がしましたが。

【ISTEC・塩原 PL】 まず縮む径に関しては、古河さんは特に電中研さんのほうで 500m のケーブルの冷却をしたときに、いわゆるスネーク構造部を作ってやるとか、いろいろあります。直流のほうでは、端末のほうで 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と思っています。今回のプロジェクトは短いものですからそれを検証するとなると非常に厳しいということで、実際には電中研さんの結果を使わせていただいて、それでいけているという前提です。もう 1 つ表面を白く塗るということは聞いてはおりますが、現実には先ほど言いましたがキロメートル以上になったときに外部侵入熱をどう考えるかということで 1W/m を前提に置いたというのもひとつ、それが本当にそうなのかというのは偏心構造をしているときにどうなのかというのは確かにまだ課題としては残っております。ただ 1W/m というのはかなり厳しいチャレンジングな目標だということも聞いています。そのあたりのところは超電導ではなくケーブルシステムとしての長距離化の課題としては認識しているということで、今回の短尺ではそれは評価出来ないということだと思います。

【嶋田分科会長】 他にありますか。この 66kV で大電流を流せるというのは非常にいいのですが、こういうものが必要な都市というのは東京とかニューヨークとか大阪くらいで、普通の都市というのは洞道も大きくて、パリの洞道などは大きくて、銅線を太くすれば容量を増やせるし冷却も必要ないしということですよ。アジアの都市は日本と同じように過密で洞道もなくそういうところに電力をいっぱい使っていますから必要になると思うのですが、超電導のこのケーブルが一過性のもので、都市計画のない粗末な都市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よというようになるのかなというような質問をされたらどうしますか。

【NEDO・楠瀬主任研究員】 大電流ケーブル、今回 5kA の 66kV ということですが、基本的には 5 キロアンペアという大電流というところが検証出来たということは大きな進歩だと思っていて、午前中説明させていただきましたが、近いマーケットと考えている揚水発電所みたいなスペースの限られたところの引き出し線などですと電圧は発電機直下ですので 2 万ボルトくらいになるかと思

いますが、電流が 5 キロアンペアであればそれなりの相当の発電機まで 1 本で送れる。そこへいまの水冷ケーブルでも当然ながら発熱しているところがほとんどなくなるということで、具体的に超電導のよさが出ていくところだと考えます。それがいままでの 2 キロとか 3 キロでは 2 条必要だったものが 1 本ですむということが、具体的な検討に乗るといことが今回の大電流ケーブルの成果ではないかと考えております。

【東京電力・大熊 SPL】 あと建設コストなども考えましても洞道はかなりのコストがかかりますのでそれも考慮しますと洞道を作るよりも管路で通せるほうがより安くなるということがございます。

【嶋田分科会長】 それは分かります。こればかりではなくて例えば 2020 年には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、何もケーブルばかりではなく産業用のいろいろな機器が、常時ジュール熱を出しているものを超電導化しようという、いろいろなところに応用が一気に増えてくるのではないかと思います。その最初の目標が 66kV 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思います。もちろん 66kV もいいと思いますが。

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。

【嶋田分科会長】 ありがとうございます。それでは質問をお願いします。限流で 3 倍になるのは非常にすばらしくて、3 倍にしかならないから電線も細くていいということで変圧器にとっても非常にいいということが分かりました。先ほどのオシロスコープなどもそうですが、限流するためのキックはどのようにしているのですか。自動的に、昔の限流というのは過電流で常電導化して限流するというのが限流機だと思っていたのですが、どのようにしているのですか。

【九州電力・林 SPL】 SN 転位するだけです。

【嶋田分科会長】 これも、自然に。

【九州電力・林 SPL】 先ほどの状態で銅の厚さやキュプロニッケルをというのはその抵抗をコントロールするということです。

【嶋田分科会長】 抵抗をコントロールして温度が上がって 3 倍になるところで止まるわけですか。

【九州電力・林 SPL】 そうです。温度に関しても対応した部分は、泡の発熱とかがあるのですが、これで限流するときは何秒で復帰するかということと入力エネルギーとの関係で試験してみまして、いまのは限流能力がこうなので 3 秒で復帰してしまいます。実機で 8 秒で復帰するというのでこれで十分です。やはり絶縁が気になるので泡が出て絶縁状態にならないことを検証することが重要です。温度を下げるだけでしたら上にヘリウムや窒素がたまればそのエネルギーで時間になるのですが、そのあたりのコントロールまで一応考えていたということです。

【ISTEC・塩原 PL】 温度を上げて無理やりやるのではなくてしているのは事実です。そのときの温度上昇はサブクール窒素なのでほとんどありませんということで、実際に過電流を流した上での話になります。スタートアップは過電流で、そのときの温度上昇はこれだけ少ないということで、温度で SN 転位させたということではないです。

【九州電力・林 SPL】 電流で転位させています。

【嶋田分科会長】 電流つまり磁界のほうで。だから効きがいいわけですね。

【九州電力・林 SPL】 そうです。

【ISTEC・塩原 PL】 そのときの抵抗値は重要ですとということで、温度でスタートさせたわけではありません。

【嶋田分科会長】 そうでないと定格運転したらはらはらしているのではないかと思います。

【ISTEC・塩原 PL】 そうではないです。

【嶋田分科会長】 変圧器は半日くらいかかってやっと温度が上がったりしますから、非常に熱時定数が長いですからね。

【九州電力・林 SPL】 そうですね。

【嶋田分科会長】 そうすれば最後のほうの話でもありましたが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いということになればすごい効果ですね。そして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ます、何がネックかという遮断機の容量が大きくなってしまいう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というのであれば、変圧器をこれにすればよい、必ず入り口、出口に変圧器がありますからね。

【九州電力・林 SPL】 そうですね。災害対策でもいろいろな意味でありますから。ですからこの場合ですといろいろな制御とかからまず自動的に電流だけで遮断出来るので、これの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ですね。ある意味いま6.7倍の機器があります。

【嶋田分科会長】 10サイクルもつものとして過大に、一生のあいだに1回もないような事故のためにものすごいものを作らないといけないという、過大な投資になっている、日本の電力会社は皆過大な投資なのですが、ぎりぎりのところをねらうとますますスリムなもの出来る。

【九州電力・林 SPL】 そうです。きちっと信頼度が確立出来れば数分の1になりますのでものすごい経済効果です。

【嶋田分科会長】 一度負荷開閉器遮断機をサイリスタ式にしたら半サイクル、1サイクルで切れるから結局それで直列の機器が全部過電流耐量が要らなくなったらすごくコストが安くなるので、サイリスタ遮断機を入れてもいいのではないかと、コストが安いのではないかと議論を30年前くらいに相当やったのですが。

【九州電力・林 SPL】 こういうことが実験で示されないうちで言ってもなかなか説得されなかったのですが、今回そういうことも言えるようになりますし、電力系統でもそうですし、ある1つの工場内部でも入り口で短絡対策をすればそこにきた電流を全部落とせるので非常に大きな効果なのですが、なかなかそれが表には出てこないのですが、実際そういうことがもうそろそろいいことになります。

【嶋田分科会長】 しかもそれが制御で遮断するのではなく物質の性質で動くというところに信頼性がありますね。

【九州電力・林 SPL】 そうですね、過電圧のアレスタのような感じで使えるので、それがいいと思います。

【長嶋委員】 冷凍機の開発をされて2kWですか、この目標値は何から決まったのでしょうか。いま2MVAと20MVAのお話が出ていますが。

【九州電力・林 SPL】 それは概念設計のところでロスをはじいていますが、こういう侵入熱や交流損失がありますので、20MVAの機器の場合にどのようにロスを見極められるかということと、尤度をどの程度見るかということを考えて、2kWあればということで見えています。

【長嶋委員】 損失の生数字は公開の場では言えないということでしょうか。

【九州電力・林 SPL】 そういうことではないです。[P30/38] 例えば侵入熱が460Wとか、負荷損は通電の状況によって変わりますが、これの4倍ですよ、侵入熱の場合。あとACロスの低減状況から見て1kWです。

【長嶋委員】 冷凍機が受け持たなければいけない熱侵入とか、運転している状態で冷凍機がとらなければいけない熱というのは何Wになるのでしょうか。2MVAと20MVAで。

【九州電力・林 SPL】 だいたいそれが先ほどの数百キロから1キロくらいです。

【長嶋委員】 2MVAでそうですか。

【九州電力・林 SPL】 先ほどのは2MVAですね。20MVAにもってきた場合は、それですと1.数kWで、尤度を少し見て2kWなら十分だろうということです。

【長嶋委員】 鉄道総研がやったものも挙げていただいてありがとうございます。我々は効率よりも、軽量化してなるべく車に軽いものを積もうということで開発していて、結局ビスマスをやったときはロスが減らずにいまは止まっているという感じですが、そういう意味で冷凍機の重さというのが、個人的な興味ですがうかがえたらありがたいと思います。

【九州電力・林 SPL】 重量は、実用機のとときに冷凍機を含んで半分にしてありますから実際の重量は冷凍機を含んでも実機の半分になるということで。冷凍機は先ほどコンパクトに出来るということでしたので、数字はちょっと覚えていないのですが、コンパクトに軽量化出来るということです。

【ISTEC・塩原 PL】 実施者の太陽日酸さんにその数字を言ってもらってよろしいでしょうか。

【太陽日酸・吉田 PL】 共同実施者の太陽日酸でございます。冷凍機の2kW級ですが、冷凍機としてはざっとですがいま2kWで1トンから5トンくらいのあいだです。写真でお見せしたパッケージで組んだ写真は全部骨組みからすべてH鋼だとか全部を組みましてこれが2.8トンです。冷凍機だけの要素を取り出しますとたしか1トンから1.5トンだったかと思います。

【ISTEC・塩原 PL】 まず外部侵入熱に関しては2MVAも20MVAも先ほど設計図をお見せしたようにほとんど変わらない状況です。実際にビスマスとイットリウムの大きな違いは内部の発熱の交流損失の発熱問題があり、このプロジェクトで初めてやるということで、3分割しかしていませんので、まだ損失を低減するという前提のもとでいくとかなりの交流損低減につながるという期待があります。ただ、細線化で本当にロスが下がるという基礎技術としてはここで成功させているということです。それから、鉄道のほうも考えてはいるのですが、変圧器側も横置き変圧器で本当に出来るのねという話も本当のことは考えないと、縦でサブクール窒素の浮上を使いながらバブルを消したりしていますので、横置きでどのように変圧器をサブクールでやるかということも含めて、まだ課題はあると思っています。ただ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の2トン以下、2キロワットでもするのだということを目指す基盤技術とご認識いただければと思います。

【九州電力・林 SPL】 表面積に侵入熱は比例しますのではほとんど変わらないということと、あと電流理論で流れる電流が10倍になるということで、電流理論はそれなりに低減技術がありますのであとはACロスになれば対応ということで、比例して増えるわけではないということです。

【市川委員】 限流機能付きということで、限流を設計によって自由に調整出来るということは非常にすばらしい技術だと思います。特に配電用変圧器ということでやはり配電ですと保護協調で制御が非常に要求されますので、設計でうまく出来るというのは非常にすばらしい技術だと思いますが、実際に短絡はコンマ25秒の試験をやられているのですが、配電ですとコンマ4秒ですがそれでもあのよう非常に短い復帰性能を有していると考えてよろしいのでしょうか。

【九州電力・林 SPL】 復帰性能とエネルギー量の間関係がありまして、試験機のほうは下のほうになっていきましたが、それが倍にいてもそんなに変わらず数秒になるくらいということなのでそれで見てもらえばいいと思います。入力エネルギーがどのくらいになるかということで見極められますので、このモデルでは、エネルギーが倍になっても3倍になっても数秒くらいになるということで、あとは時間の比例ですから。

【市川委員】 この減流機能があれば、先ほど嶋田先生がおっしゃられたように機器の低コスト化という面もありますが、それ以上に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ると思います。そういうコストには出てこない面の有意性が非常にあると感じました。

【九州電力・林 SPL】 ありがとうございます。我々も電力の人間なのでこの保護協調はぜひともしなければいけないということで考えて対応してきました。

【下山委員】 生臭い質問なのですが、ここではちゃんと設計されてポテンシャルを示されていますが、プ

ロトタイプを作って、実際に変圧器を 1 つ作ってみるということになった場合、どれくらいの年数とお金がかかりますか。

【九州電力・林 SPL】 先ほどの実用機の 20MVA まで見通せる技術ということになっていきますので、あと線材をいかに安くしてくれるかとか冷凍機を安くしてくれるかという、そのあたりの見通しは、非公開のところでもコストの話はしていきますが、コピーを作るというのは開発とは桁違いだと思います。

【下山委員】 結局こういういい話が出来ても全然ものが出てこずに終わってしまうケースになってしまうともったいないと思ったものですから。

【九州電力・林 SPL】 コストの話は非公開のところでもさせていただきます。

【室山委員】 実用化のテーマとして長期信頼性が挙げられていますが、現行のトランスですと静止器ですよ。今回超電導を使おうとするとどうしても冷凍機みたいなものが入ってきてしまうのですが、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対策のプランはお持ちでしょうか。

【九州電力・林 SPL】 この変圧器は、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ればいいと思います。そして冷凍機自体はいままでスターリング冷凍機になると機械的な摺動部があったのですが、それが今回非接触の電磁式になり機械的なものを緩和するということになってきています。当初そこがいちばんの問題だということで我々のプロジェクトを始めていまして、緩和出来ているということになります。あとは冷凍機の回転性制御やいろいろな電子的な機械がありますが、それは既存の配電盤機器と相当と考えればいいので、冷凍機をいま商用化しているということで、それなりの信頼度が確保出来ればあとは通電の先ほどの定格と、トラブル対策も限流動作で自分で保護しますからけっこういい状態だと思います。

【室山委員】 いまのお話を聞いて分かりました。ありがとうございます。

【浅野委員】 拡張性、発展性の観点ですが、20MVA かももとの目標にあって、2 キロアンペアは 2000 アンペアですよ、これは一応実証出来ていると。逆にいうと今回 2000 アンペアの実証なので 20MVA に制約を設ける必要があるのかということも分かると思います。市場性とかいろいろな観点でいったときに、今回得られた成果から考えると大電流化がまだ見込めるとか、低損失化で 1/3 というのが出てきましたが、巻線技術でもっと下げられるとか、このデータからいろいろな見方が出来ますよね。そうすると、こういうところまでまだまだ可能性があると、そのあたりのことはいかがでしょうか。

【九州電力・林 SPL】 [P8/38] 巻線技術を構築するところで話をしたのは、線材技術を開発しながらやっていくということがこのプロジェクトでしたので、そのあたりで仕上がりのところを見通せるのがいまのものが限界かなという気がしました。ただそれ以外のものはスケールで出来ると考えています。このあと和泉 SPL から線材技術の最善化、10 分割していくとか、コスト低減の状況の説明があります。信頼度向上とコスト低減が図れる線材が供給出来ればそれを組み合わせて出来る。ここはゼロからやっているのも無理なハードルがいけなかったということと、線材技術に関しましても世界最高級レベルの線材もプロジェクトの途中で、すでに設計が終わって機器を作製してからきましたので、こういうものをフィードバックしていくとさらに最適化出来るのではないかと思います。

【浅野委員】 分かりました。もう 1 つ、電流分率率は±10%というのは問題ないと思うのですが、これを見てると素線数が二十何個ありましたね。その分布の原因等はもう見る必要はないという感じなのか、あるいはまだ改善の視点が必要なのか、このあたりはいかがでしょうか。

【九州電力・林 SPL】 先ほどの 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ます。やはり先ほどのように 20MVA のロビンとかで設計して 10 分の 1 でやっていますのであ

る意味分布は少ないですね、10分の1ですので。そういうところを最適化していけば、多くなればそういう電流流のかたちももっとコントロールしやすくなるのではないかと思います。筐体が10倍の筐体で見ているので、そこは緩和していくべきと思っています。

【嶋田分科会長】 時間が来ましたので、どうもありがとうございました。

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。

【嶋田分科会長】 ありがとうございました。それでは質問をお願いします。

【下山委員】 中間評価のときにも線材の性能というのはいちばん重要で、そのとおり伸びてきてよかったですと思います。最後のスライドを見て思ったのですが、どこの会社もこれから2年以内にはどんどん出していくのですね。

【ISTEC・和泉 SPL】 どんどんと言っていいかどうか、市場のニーズに合うところからとか、研究開発用、プロト用、これをどんどん言うかどうかは別として、少なくとも販売は始めるということは間違いないと思います。

【下山委員】 5年前はこういう雰囲気ではなかったので5年間の進捗がいかに大きいかがいちばん端的にあらわれている表だと思います。

【ISTEC・和泉 SPL】 おっしゃるとおりだと思います。

【下山委員】 逆にどういう出口があるかということもはっきりしてきていて、非常におもしろいと思います。私からの質問ですが、いろいろなタイプのものを扱われてきていて、製法がいろいろございます。いつも議論になるのですが、今後やはり用途別に棲み分けることを考えたときに、この製法はこれ、この製法はこれというような図式はもう出来たと考えてよろしいのでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 まだです。はっきり言いますと、少し高いけれども磁場中特性とか均一性とか、非常に高仕様のものを求められる線材はやはり PLD が向いているかと思います。一方で、そこから大きく水をあげられることはないのですが、やはりそこでは特性的に落ちるかもしれません。安い線材が作れるであろう MOD というようなところでの棲み分けはまだあるかと思っています。すべてにおいて卓越した線材がこれから、安くて性能がよくてというものが出来ればそれが1人勝ちする可能性もありますが、いまのところそれぞれの長所が別に存在しているというのが実態です。例えば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 を選択するとか、やはり高磁場で非常に高いスペックのものを使うというときには PLD を選択するとか、そういうような選択は現状ではまだ必要かと思っています。

【下山委員】 基板はどうでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 基板は個人的な見解からいうと IBAD がいいと思います。もともといまから10年前には IBAD は特性はいいけれども高いといわれていました。それは製造速度が非常に遅いから高くなっている。一般的にいうと1時間当たり5m作るのがせいぜいだったのですが、いまは1時間当たり数十mから早いところでは200m作れるようになってきた。いままでお荷物であったプロセスがまったくお荷物ではなくなったことで安くなりました。そういう意味でいうと、IBAD のいままでのネガティブポイントはほとんどなくなったのではないかと個人的には思っています。磁性もない、配向性もいい。あるとすれば、特許に対して自分のところはそれを使わずに出せませよという、プライス面で企業戦略上そこをねらうということはあるかと思っています。

【熊倉分科会長代理】 [P22/48] と [P23/48] の MOD による高 I_c の製造法の違いがよく分からなかったのですが、バッチ式なのか、連続式なのか。

【ISTEC・和泉 SPL】 MOD の工程には液体を塗って低温で1回仮焼するというプロセスがございます。これは熱分解させてアモルファスを1回作り、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ます。仮焼プロセスではいっぺんに厚い膜をつけられないので薄い膜を少しずつつけていきます。このプロセスはリール・トゥー・リールの連続式でないとい 1 回塗ってまた出して入れてとなるととても製造速度としてペイしません。なので、ここは共通でリール・トゥー・リールの仮焼をやっております。本焼は 2 タイプ、同じようにリール・トゥー・リールでやるタイプと、こちらで紹介したようなバッチタイプと両方やっております。それぞれメリット、デメリットがありまして、こちらの場合には高速で一括処理出来ます。ただし線材のサイズはこのドラム長、炉のサイズにより限定されてそれ以上長いものは出来ません。リール・トゥー・リールの熱処理の本焼も出来るのですがそちらのほうは速度をかせぐのが大変ですが、ただし長さには制限がありません。今回長い線材作成で成果が出たのは共通して塗布、仮焼を連続式でやっています。両方とも本焼をやったうちで本焼で成果が出たのはバッチタイプでしたということがここでの成果です。

【熊倉分科会長代理】 将来的にはやはりリール・トゥー・リールなのでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 下山先生からのご質問と似たようなお答えになって申し訳ないのですが、用途によって、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状態です。一方で一括処理をして早く処理してより安く作りましようということであればバッチ式のほうに一日の長があろうかと思えます。

【熊倉分科会長代理】 もう 1 つお聞きしたいのは [P18/48] で、厚膜で、少しばらついていますが、MOD タイプですが、これは原因がある程度分かっているのでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 まだ中間熱処理を上手に使いきれる状況になっていなかったのです。中間熱処理はピンのところで [P22/48] これですね、本焼のときにいったん熱処理を 500~600℃で入れてやると、むしろこれは人工ピンなので先ほどはバリウムジルコネートという人工ピンのサイズと分散につきましてご紹介しましたが、こちらのほうのポアのサイズ、密度にも効きます。これが先ほどのばらつきに大きく影響を与えます。このポアをなくすことが出来る、この熱処理にはそういう作用もありまして、単に人工ピンを小さくするだけではなく高密度化する作用があり、これはとりもなおさず中でポアがあり電流が流れにくいところを作らなくすることで非常に均一性が上がってまいります。

【浅野委員】 PLD で、先ほど 200m の線材の I_c の測定で非常にすばらしい成果が出ていると思いますが、特性のデータを見ると先ほどおっしゃっていたように少し下がっているところもあります。この原因が何かということと、もう 1 つ、見ているとシステムティックに少しずつ下がってきたようなかたちになっていて、最後にまたぼっと上がってということで、何かシステムティックなものがあるのではないかと思うのですが、このあたりはいかがでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 本音ベースで正直に申しますと最後にぎりぎりに出てきたデータでしてまだ解析が十分すんでいないというところもあるのですが、こういう経時変化でよくある原因はターゲットの状態が、ターゲットに対してレーザを当てているとターゲットがだんだん掘れて、照射条件が少しずつ変わってくるのですが、それを反映しているということが 1 つあると思います。それとあとレーザで飛ばしているとだんだんレーザを入射している窓が曇ってきます。ですから後半になって悪くなるということがよくあります。それから、残念ながら下がったというのは、昔はどんどん下がっていたことから比べるとほとんど見えにくいではあります。先ほどクリーニングしてだいぶヒゲをなくしましたといったことの原因は、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に乗っかったりする、そういうものが取りきれないでいたりするとこのように局所的にぼっと落ちたりすることがよくあります。

【浅野委員】 あとのほうで上がってきたのは何か手を加えているのですか。

【ISTEC・和泉 SPL】 ここまで細かいところまで把握しておりません。

【浅野委員】 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さらにしっかりすると思います。

【ISTEC・和泉 SPL】 先生のおっしゃるとおりで、これから先いろいろな用途を考えたときに均一性がすぐ求められる線材があるかと思っています。それは長手方向もそうですし幅方向でもそうですし、それを切り刻んでいったときに細くしたフィラメントでちゃんと電流が流れなければいけないというようなことと言いますと、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かと思っています。これから取り組んでまいりたいと思います。

【ISTEC・塩原 PL】 言い訳を SPL にさせるわけにいかないのですが、私と NEDO のほうで線材研究開発を最終年度 1 年で全部やらせた関係で、SMES 対応の 3 テスラで 50 アンペアというのが短尺でやっと出来た段階で、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です。本当は短尺だと 3 ミクロンくらいの厚みがあったのですが時間を考えて 1.7 ミクロンにして確実に目標達成をするという、これは私の指示でぎりぎりになってしまったので、本来であれば 1 年かけてここは丁寧にやれたところなのですが、今回は申し訳ありませんが 5 年目の最後の最後にやるのが精一杯だったということで、言い訳になりましたがそういう状況です。

【浅野委員】 短時間の中でこれだけの性能がとれているというのはすばらしいと思います。

【ISTEC・和泉 SPL】 実態を言いますと、開発が終わったのが半年前で、調べる気があったら調べられるのではないかということですが、切るのがもったいなくて、2 次元の分布であったりさまざまな磁場中での特性であったりをもう少し調べてから切って調べようかということを考えております。

【浅野委員】 技術コスト 1.6 というのはすばらしい数字なのですが、私はたぶんコスト戦略というのは Ic を高めてアンペアメーター当たりの価格を下げるということだと思っておりますが、一方でそれに加えて歩留りの話がありましたよね。あの内容は技術コストに入っているのでしょうか、それとも入っていないのでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 歩留りという数字は入れるようにはなっています。ただし現状を反映したかたちで入れていますかということ、非常に高い値で入っています。

【浅野委員】 高い値ということはまだまだ下がる可能性があるということでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 逆に、現状は歩留りが低いので、それが高い値で入っています。

【ISTEC・塩原 PL】 将来技術コストのエスティメイトをしている関係で、将来は歩留りが上がるという暫定をしているということです。これは技術開発テーマなのかどうかということでもいろいろ議論をしています。

【ISTEC・和泉 SPL】 これが技術開発コストの内訳ですが、これを計算する際に大本のところでは歩留りが入るようにはなっています。例えば材料費とかそういうところでは入るようにはなっています。

【長嶋委員】 いまの式で分かったのですが、普通にコストと言わずに技術コストという理由は何なのでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 我々がどうしても技術開発している中では計算出来ないようなもの、コストの定義がそれぞれございますので、我々のコストというのはこういうプライスに入るまでの中間要素みたいなものは少なくともこういうものは入ってなくて最低限必要なものです。特に技術とっているのはアンペアが関連しているということが強くあります。単純に材料がいくらで設備費用、それを償却するのにどれくらいでということだけではなく、当然能力を加味した上でのコストというところです。

【ISTEC・塩原 PL】 具体的に言うと、研究開発の関係ではスケールアップコストというのは実際には出来ないのですが、分かりにくいのですが最高製造速度、例えば銀スパッタを年間 365 日をフル稼働に近いレベルまでもっていくには遅い速度のスピードの装置を複数台並べないと結局はコスト低減

につながらない。ですから将来最高製造速度装置をフル稼働するために IBAD であったり PLD であったりの複数を全部並べたとしたら量産化になります。ということは逆にいうと 840 キロ以上作らないとワンセットにならないというレベルを 1 個 1 個の技術開発でやっている関係で、いまのコストというのではなく、量産化のときにこうなります、そういうレベルでないと企業のほうの設備投資との関係がありますので、そこまで国で量産化の設備をずらっと並べるとということは頭の中に入れていないということです。今後の大きな問題だと思います。

【ISTEC・和泉 SPL】 コストというといまこれを作るために必要なコストはこれだけかかるのだねといわれるのとそのままではないということはいくつか含んでいるということで技術コストということたちで、これは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す。

【長嶋委員】 使う側からするとコストのことを逆に問われることが多いので非常に気になるのですが、[P43/48] を見ていただきますと、我々がいただいている資料の左上はよく見なれたグラフなのですが、その上に書かれているのはなんでしょうか。

【ISTEC・和泉 SPL】 これはプライスです。これは各メーカーさんに PL がヒアリングして聞き取りで得た情報を基にこれから先どれくらい、これは技術コストではありません。

【長嶋委員】 これは公開されるのですか。この場で印刷していないのはどういうことなのかと思ひまして。

【ISTEC・塩原 PL】 このあとでつけようということですので、事業原簿のほうにはあるかと思いますが。これは実際にこうですというわけではなくて、私のほうから各社さんに向けて実用化に向けてどういような、かなり希望的なヒアリングになっていますが、本当にどこまでいくのですかということヒアリングさせていただいた数値で、そういう関係で各社さんを入れてあります。これが 3.11 以後どうなったかはまた話は変わりますが、設備投資をどのようにするかは市場とのバランスで決まりますから、あのころは中間評価の前のときのヒアリングですので、設備投資のバランスとの兼ね合いになるかと思ひます。

【長嶋委員】 こういうデータが外向きで使えるようになるといいですね。

【ISTEC・塩原 PL】 これを線材会社さんにいうと、ちょっと待ってくれと、3 年前といまは違うよといわれる可能性があるんで個人的にはプリントアウトはやめておこうとしていたということで、別に非公開ということではなく、これは私の責任でヒアリングしたものを入れさせていただいたということで、これが表に出すぎるのはちょっと気にはなっているという。これはヒアリングで入れただけのものです。

【嶋田分科会長】 あとはまた全体の質疑もありますのでそのときに回してください。どうもありがとうございました。

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。

【嶋田分科会長】 ありがとうございます。それでは質問をお願いします。中間評価のときに説明うけたものに比べると格段の成果がいろいろ出てきてすばらしい成果だと思います。

【熊倉分科会長代理】 1 つだけお聞きしますが、11 ページ。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 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ で、 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ ということなののでしょうか。あるいは…

【ISTEC・角田氏】 電界基準を採用するというだけでは皆さん意見が一致したのですが、実際の読み取りにつきましても、 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ が適当かそれとも別のものにするかまた議論が必要だと思います。一般的に使われているのは $1\mu\text{V}/\text{cm}$ です。

【熊倉分科会長代理】 アプリケーションによって変えたほうがいいのかという気もするのですが。

【ISTEC・角田氏】 そのあたりの議論もありまして、これは宿題事項です。前回基準採用はだいたい皆さ

ん合意なのですが、基準値については今後の課題だと思います。

【長嶋委員】 20 ページの規制緩和というのは非常に大事なことだと思うのですが、国際標準との関係がいまひとつよく分からないのですが、これは国内向けの話でしょうか。

【ISTEC・角田氏】 これは IEC 等とは関係のない話で、電力機器に関する標準化と結びつくかどうかははっきりしないのですが、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だろうということで進めたものです。

【長嶋委員】 IEC とは関係ないのですか。

【ISTEC・角田氏】 IEC とは特に関係ありません。

【長嶋委員】 分かりました。

【浅野委員】 少し関連しますが、私は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されているのかと思ったのですがそういうわけでもないのでしょうか。

【ISTEC・角田氏】 活動する中で海外の研究機関、フェルミとかそういうところでどのような活動をしているかを調べてみたところ、例えばアメリカですと法律ではなく業界内の基準があり、それに基づいて安全を確保しているという状況でした。調べた範囲では法律で細かく決められているのは日本国内だけだと理解しまして、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ました。

【浅野委員】 分かりました。ただ海外がどうしているかとか、いろいろな規制緩和に向けて活動をするときに他の事例をいろいろ調べるとか、そういうアプローチかなと思ったのでそういう理解でよろしいのでしょうか。単に緩和しましょうだけではなく、何か根拠やもちろん安全性を担保するいろいろな評価が要るのだと思いますが、たぶんそういう活動でないとなかなか難しい気がします。

【ISTEC・角田氏】 そうですね。海外の進捗状況もよく把握して進めていきたいと思います。

【浅野委員】 事業原簿を拝見したのですが、例えば SMES は特殊だと思いますが、変圧器やケーブルですと既存のシステムと超電導という 2 つの見方があり、標準化ということになると当然既存のものかどうか。変圧器の事例を見ると、例えばすでにある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かなと思っているのですが、そういう解釈でよろしいのでしょうか。

【ISTEC・角田氏】 変圧器は既存の通常の変圧器がありますので、それ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す。

【浅野委員】 分かりました。そのときに例えば構成や仕様条件という項目があって、これの標準化と考えたときに超電導の世界だとまだ、きょうの話もそうなのですが、どういう部分がどうなっていくかという、可能性がいろいろあるような感じもするので、ここに盛り込む内容というものがある意味で広い内容になるのかなという気もするのですが、そのあたりは纏める上であまり支障ないのでしょうか。

【ISTEC・角田氏】 この付属書に機器の仕様例を追加しているのですが、それは先ほど説明のありました変圧器の事例を事例として入れていまして、個別の項目についてまだ詰めきれていないので、その部分は現在では素案ですが今後の進捗状況を見て、この標準化素案を受け取って活動していくのが TC90 になるのですが、そちらでフォローするようなことで進めていきたいと思います。

【長嶋委員】 先ほどの話に戻るのですが、規制緩和に向けた件ですが、低温工学超電導学会のほうでも安全性検討委員会などということとそういう取組をされていると思いますが、そちらとも連携されているのでしょうか。

【ISTEC・角田氏】 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がありまして、こちらから 2 名ほど参加して情報を仕入れてきました。こちらで作成した先ほどの提案も冷凍部会のほうに提出していきまして、それを含めて活動をお願いするようなかたちにしました。コメ

ントとしては冷凍部会のほうで考えている規制緩和の内容と、先ほどの提案内容がほとんど同じですというように理解され、今後情報交換していきましょうということになりました。

【嶋田分科会長】 こういった規格というものはこのプロジェクトが昨年終わったわけですがその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ので、ずっと担当者をやっていただいて、会議の前後でほとんどのものが決まりますから、こういう提案をしようと思うけどどうだい、という話が来たときにさっと答えられなければいけないので、それが国際標準を作る上でいちばん重要なことだと思います。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だろうと思いますし、特にこれから超電導は日本が世界の中でトップで今後もうこうと思ったら、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ますよね。そういうときに日本がいちばん昔からお金をかけていたところが強いわけで、よろしくお願ひしたいと思います。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。

【ISTEC・角田氏】 実際にプロジェクトが終わってしまって財源的には昨年度に比べて厳しくなっているのですが、一応 TC90 の幹事国でずっと 20 年以上やっていて、そちらの実施予算といえよいのでしょうか、それを使って、あと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ところです。

【嶋田分科会長】 それはぜひいちばん予算をたくさん使っているところが幹事になって、低温学会もいいでしょうが、もちろんそういうところにしかるべき人がいたら出張旅費を出してあげたりして、やはり人が大事ですね。よろしくお願ひしたいと思います。

【ISTEC・塩原 PL】 Y 系プロジェクトで Y 系に非常に特化した標準化ということで目指していて、ですから最終目標を設定したからといって、標準の場合には国際合意醸成というのは先生がおっしゃるように 1 個捨てても 2 個とれるくらいのイメージがあるので、なかなか難しかったのは事実です。ただやはり先生もおっしゃるように世界では日本がリードしているのだよということがあるうちにがんばっていったということです。それから 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思います。ただこれまでほどの予算が今年度以降も続くかということは難しいところがありますが、ここに来ている皆様方からの支援もいただきながら継続して何らかのかたちで続けたいと思います。経産省の標準化も含めて何らかの体制まで含めてもっていただければと思っております。このあとのプロジェクトやいろいろなものも含めて考えていかなければいけないと思っています。

(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)

【嶋田分科会長】 議題 8 の「まとめ・講評」です。はじめにお願いしましたように、各委員から講評を頂きたいと思います。順番は室山さんからということで、最後に私になります。全体で 15 分ですから 2 分程度、短くお願ひいたします。

【室山委員】 今日はありがとうございました。私は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していますが、消費電力が大きいということで省エネが解決課題になっています。いままでは直流化、太陽光、燃料電池がアイテムでしたが、今日、いろいろ聞かせていただきま

して、超電導も近々出来そうだとということで非常に嬉しく感じております。特に単にケーブルや、電流を送るだけではなく、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ということで非常に参考になりました。ものが出来るまでにはもう少し時間がかかるかもしれませんが、ぜひ、今後とももうひとがんばりしていただきまして、ものとして提供していただければと思います。それから言い忘れましたが、これは中間報告でも言ったかと思いますが、午前中の発表にあったように、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、そのへんの学術レベルでも底上げに貢献されていると思います。本当に今日はありがとうございました。

【長嶋委員】 今日の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いただきました。私どもは鉄道向けということで、ここに関係しているものをかなり浅く見てはきましたが、我々が今度使うとしたらどこまで技術が進んでいるのかを聞かせていただきまして非常に勉強になりました。ありがとうございます。ここでお願いしたいことというのは、私は冷凍をやっていますので今日も冷凍のことばかりお聞きしましたが、超電導機器がものになるためには冷凍機が必要で、超電導の性能を良くすることと冷凍機の性能を良くするというところでは、超電導の性能を良くしなくても温度を下げてやれば性能が良くなるという表裏一体のところがありますので、やはり冷凍のほうにも力を入れてやっていただけるとありがたいと思いました。日本が先頭を走っていますので、今後も実用化の面でも先頭を走っていただきたいと思っています。どうもありがとうございました。

【下山委員】 中間評価のときには全種目「可」を取ろうとするような進め方をするのはよくないということを申し上げましたが、今日の報告を聞いていましたら、少なくとも線材は「良」や「優」のレベルにきていて、もっと性能も上がりそうですし、生産性も上がりそうだとこの見通しも確かなものが得られているという印象を強く受けました。線材をたくさん作るようになりますと、そのニーズがないと作りません。では、そのニーズは誰がどうするのかというところでは、機器を作ろうという求めがないといけないわけです。そういうものが既に多数あるといいのですが、実はあまり強い要求はまだありません。それを今後どういうふうに掘り起こしてきて、逆に線材がこんなにたくさん必要ですというところにフィードバックをかけていくということがすごく重要な時期だと思います。それが遅れてしまうと、いまは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ります。ですから、機器等の設計は下手すればコピーペーストで持って行かれてしまう技術で、線材特性はコピーペースト出来ない超アナログな技術ですから、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と思います。これはY系に限らずほかもそうだと思いますが、超電導技術が超電導のムラの中だけで見ていると1番だと見えるのだと思いますが、ほかの先端技術の中で見てみると「優秀だけどなかなか使ってもらえない」というふうに言われてしまいます。その良くない印象を早く払拭していただけるような方向にNEDOのほうで、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ただければと思います。どうもありがとうございました。

【市川委員】 本日の報告を聞きまして線材開発は飛躍的に進展しているということを感じました。どちらかといいますと超電導技術に関してはかなり成熟していて、実用化の一手前という印象を受けました。おっしゃいましたように、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ということで、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すから、今回は線材に特化して進んできたわけですが、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と思います。どうもありがとうございました。

【浅野委員】 本日はどうもありがとうございました。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されているということで、これは推進者、実施者の皆さまのご努力の賜物だと敬意を表します。今日感じましたのは、中間段階の評価内容を反映したり、いろいろな検討をされている中で、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いると感じました。マネジメントしても良かったのではないかと思います。ただ、線材の技術はかなり伸

びたて、そのアプリケーションもそれと連動して進んできているというのが事実だと思いますが、これから実用化するためには、またいろいろな課題も出てくるだろうと思いますので、これ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います。言わずもがなですが、事業化は最終的には何を望んでいるのかということに行きつくと思います。実用化のためには今日お話しになった安全性、信頼性、低コストです。これは今回のプロジェクトの目標ではなかったのかもしれませんが、開発の中ではそういうものも取り込んでいただいていた。今回、そういう安全性、信頼性、低コストの中で何が出来て、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していただくと次につながるのではないかと思います。最後に、これだけいろいろな成果が出て、高い目標を可達したというものがあるいろいろなあります。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発展性が出てくると思いますので、ぜひともそういうところをご考慮いただきまして、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おります。以上です。

【熊倉分科会長代理】 熊倉です。私も今日お話しを伺いまして、非常に多くの目標がありまして、ほぼすべては目標達成で、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大変素晴らしいと思います。高く評価出来ると思います。感想ですが、イットリウム系の開発は非常に長く続いています。まずイットリウム系の発見があり、ゴールが商用化ですが、そ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はイットリウム系の研究開発はこういう状況で、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ました。私は線材の基礎をやっている、アプリケーションをあまり知らないからよけいにそう思うのかもしれませんが、そういう視点の話がありますと、今回の成果がより生きるのではないかと、より説得力が出てくるのではないかと思います。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そういうところが知りたいと思います。そういう視点の話があるといいなと、そういうことを感じました。以上です。

【嶋田分科会長】 私の言いたいことはすべて言われてしまいましたが、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という感じで、今回の事後評価でそれらをつまびらかに聞かせていただき、見せていただきまして本当に幸せに思います。いろいろありましたが、例えば冷凍技術が心配だということも皆さんから聞こえてきます。また、フランスあたりはそのへんでは世界一の技術を持っているとそぶいていますので、実は日本にもあるということを示さないといけないと思います。線材ももうすぐに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。我々が探すといけませんから、昔の西部開拓のときにセントルイスで「さあ、行け。新しい大陸が見つかったぞ、好きなだけ取れ」という競争をさせるような構図で、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 のやり方ですし、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います。いまの企業は、言うては悪いですが、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、高齢化していますが、ところが隣の国やマレーシアあたりでは新しいことをやりたいと、いままでインドあたりは欧米の在庫一掃セールで古いものを買わされていましたが、彼らもお金と実力を持ってきたので新しいことをやりたいようになってきています。そのときに日本人は正直なので日本と組みたいと思っているようです。日本では新技術はたぶん生きないだろうと彼らは言っています。日本の経営者が、失われた 20 年に育った人たちだからです。昔の本田宗一郎やソニーの創始者のようなことは出来ないだろうと言っています。そういうことで、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と思います。中国の国家电网の容量は東京電力の 10 倍です。南方電網だけでほんの一部、香港と広州地区ですが東京電力なみです。そういうところが変圧器を欲しがっています。電力貯蔵も欲しがって

います。彼らも日本に追い付こうとされていて、日本人に出来ることは自分たちも出来ると思っていて、すごい実験設備で、すべて超電導の変電所が出来たと聞いています。全部真似だろうと思いますが、日本人も昔はそうでした。いつか追い抜かれてしまいます。そういうときにいま一歩、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ませんので、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います。そういうことで、推進部長または PL のほうから何かありましたらひと言お願いいたします。

【ISTEC・塩原 PL】 ありがとうございます。PL の責任で説明不足だったところがあったようです。国際進出に関しては説明しておりませんでした。ISTEC を主体として **International Industrial Summit** というのがございます。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度やっておりまして、今年には日本で開催いたします。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をやっています。しかし、たしかにいまはリーマンショックあるは3.11の地震以降減少シジョンとしているので、何とかしたいと思っています。私ができる範囲は限られていますが、**Industorial Summit** のような場を借りてアピールしていきたいと思っています。冷凍機に関しましてですが、いろいろな超電導の研究開発がありますが、いまから20年前、25年前は冷凍機は買ってあげればよかった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、初めてに近いレベル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始めました。そうすると今度はアメリカがブレイトンを作り出すといったように、頭出しが出来ましたがもう少しフォローしなければいけません。それから、熊倉委員の感想の中で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**、**Iope** の比率から考える **Ic** のグレードアップが主体でしたが、今後は細線化等を考えていくと、まだ残っているものがあります。ただ、それが要らないような方向からまずいけるといことで、いろいろ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います。精密構造が必要なマグネット等に関してはもうひと声要るといレベルではないかと思えます。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だと思えます。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いたいて、地震があったわりにはきっちり締められたのではないかといことで、私も感謝しております。また評価委員の皆さまにはご理解いただきましてありがとうございました。以上です。

【NEDO・鈴木部長】 先生方どうもありがとうございました。この場をお借りしまして、実施者の方々、とりわけ多くの関係者を取り纏めて成果を上げていただきました PL、SPL の方々に感謝申し上げたいと思います。ありがとうございました。先生からもご指摘ございましたが、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と思います。そういう意味でこれまで追い付くほうの技術開発は我々も慣れていましたが、これを広めていくというところに知恵を絞っていかなければいけないということをご指摘のとおりだと思います。肝に銘じてやっていきたいと思っております。2つ目ですが、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だと、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と思っております。超電導に関して言いますと、これまでは基盤技術ということでこういう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ます。とはいつつ、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 さんの役割は今後さらに重要になっていくと思っております。可能な限り NEDO としても支援をしていきたいと思っております。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わけですが、国内の電力の状況から見ますとそれ頼みはもう出来ません。1 つは国際展開を考えていかなければいけないと思っております。NEDO の中では別途国際技術実証という予算枠がございます。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と思っております。それから電力以外の用途ということもありますが、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おります。最後ですが、そうは言ってもこれからは市場に入っていきますので、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と思っております。ありがとうございました。

(嶋田分科会長) ありがとうございました。

9. 今後の予定

事務局より資料 8 により今後の予定の説明があった。

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 8	今後の予定

以上