

**研究評価委員会**  
**「イットリウム系超電導電力機器技術開発」(中間評価)分科会**  
**議事録**

日 時：平成22年9月1日(水) 10:30~18:15

場 所：大手町サンスカイルーム27階D会議室

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 原子炉工学研究所 教授
分科会長代理	森 俊介	東京理科大学 理工学部 経営工学科 教授
委員	喜多 隆介	静岡大学 創造科学技術大学院 創造科学技術研究部 教授
委員	佐藤 義久	大同大学 工学部 電気電子工学科 教授
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	三浦 大介	首都大学東京 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 准教授
委員	室山 誠一	(株)NTT ファシリティーズ総合研究所 通信エネルギー技術本部 エネルギー技術部 部長

<オブザーバー>

島村 邦夫	経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部電力基盤整備課 課長補佐
竹村 文男	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 産業技術統括調査官
角谷 愉貴	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職
堀江 武弘	経済産業省 製造産業局 非鉄金属課 ナノテクノロジー・材料戦略室 係長

<推進者>

佐藤 嘉晃	NEDO エネルギー対策推進部 部長
酒井 清	NEDO エネルギー対策推進部 主任研究員
川上 耕司	NEDO エネルギー対策推進部 主査
山下 恒友	NEDO エネルギー対策推進部 主査
瀬村 滋	NEDO エネルギー対策推進部 主査

<実施者>

塩原 融	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 所長(主管研究員)
清川 寛	(財)国際超電導産業技術センター 専務理事
奥田 昌弘	(財)国際超電導産業技術センター 常務理事
田島 克己	(財)国際超電導産業技術センター 常務理事
田辺 圭一	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 副所長
大熊 武	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部 部長(主管研究員)
和泉 輝郎	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 線材研究開発部 部長(主管研究員)
三村 正直	(財)国際超電導産業技術センター 標準部 部長(主管研究員)
山田 穰	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 特別研究員(主管研究員)
高橋 保	(財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 企画部 部長代理(主管研究員)

定方 伸行 (財) 国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 企画部 部長代理 (主管研究員)  
 友金 仁志 (財) 国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 企画部 部長代理 (主管研究員)  
 五所 嘉宏 (財) 国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部 部長代理 (主管研究員)  
 安藤 拓哉 (財) 国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部 主任研究員  
 丸山 修 (財) 国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部 研究員  
 長屋 重夫 中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 研究主査  
 平野 直樹 中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 研究主査  
 林 秀美 九州電力(株) 総合研究所 電力貯蔵技術グループ グループ長  
 岡元 洋 九州電力(株) 総合研究所 電力貯蔵技術グループ 主幹研究員  
 雨宮 尚之 京都大学 大学院工学研究科 電気工学専攻 教授  
 石山 敦士 早稲田大学 理工学術院 教授  
 井上 至 古河電気工業(株) メタル総合研究所 部門総括  
 坂本 久樹 古河電気工業(株) メタル総合研究所 マネージャー  
 福永 隆男 古河電気工業(株) 環境・エネルギー研究所 部長  
 向山 晋一 古河電気工業(株) 環境・エネルギー研究所 マネージャー  
 八木 正史 古河電気工業(株) 環境・エネルギー研究所 主査  
 大松 一也 住友電気工業(株) パワーシステム研究所 次世代超電導開発室 グループ長  
 増田 孝人 住友電気工業(株) 超電導エネルギー技術開発部 主幹  
 齋藤 隆 (株)フジクラ 超電導プロジェクト室 室長  
 青木 伸夫 昭和電線ケーブルシステム(株) 技術開発センター 超電導技術開発室 室長  
 青木 裕治 昭和電線ケーブルシステム(株) 技術開発センター 超電導技術開発室 開発グループ長  
 吉田 茂 太陽日酸(株) 開発エンジニアリング本部 つくば研究所 超電導プロジェクト プロジェクトマネージャー  
 矢口 広晴 (株)前川製作所 技術研究所 課長  
 池内 正充 (株)前川製作所 技術研究所 超電導プロジェクト担当  
 加藤 丈晴 (財) ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 主任研究員

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長  
 松下 智子 NEDO 評価部 職員  
 梶田 保之 NEDO 評価部 主査

一般傍聴者 6名

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、自己紹介
2. 資料の確認、分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明および質疑
  - 4.1 「事業の位置付け・必要性」および「研究開発マネジメント（超電導プロジェクト全体関係）」
  - 4.2 「研究開発マネジメント（本プロジェクト関係）」、「研究開発成果」および「実用化の見通し」
  - 4.3 質疑
5. プロジェクトの概要説明および質疑
  - 5.1 超電導電力貯蔵システム（SMES）の研究開発
  - 5.2 超電導電力ケーブルの研究開発
  - 5.3 超電導変圧器の研究開発
  - 5.4 超電導機器用線材の研究開発
  - 5.5 超電導電力機器の適用技術標準化

(非公開セッション)

6. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

7. まとめ・公表
8. 今後の予定
9. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

1. 開会（分科会成立の確認、挨拶）
  - ・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）
2. 資料の確認、分科会の公開について
  - ・資料の確認
  - ・事務局より資料2-1及び2-2に基づき説明し、議題5.「プロジェクトの詳細説明」を非公開とすることが了承された。
3. 評価の実施方法について及び評価報告書の構成
  - ・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。
  - ・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。

#### 4. プロジェクトの概要説明および質疑

##### 4.1 「事業の位置付け・必要性」および「研究開発マネジメント（超電導プロジェクト全体関係）」

推進者より資料6に基づき説明が行われた。

##### 4.2 「研究開発マネジメント（本プロジェクト関係）」、「研究開発成果」および「実用化の見通し」

実施者より資料6に基づき説明が行われた。

##### 4.3 質疑

【嶋田分科会長】 この超電導のプロジェクト、ものすごく長くやっていますね。それで、特に発電機の時なんか非常に華々しくやっていたわけですが、いつの間にか消えてしまった。

それで、今、思いますと、超電導の電動機が最近また脚光を浴びてきている。特に船などで、スペースの限られたところで大きな出力を出したいと。さらに欧米では、飛行機を電動化したい。フライ・バイ・エレクトロニクスということで、超電導のモータでファンジェットを回してやるというのができてきて、かなり試作されて小型にもなっています。もう一度、回転機関係もプロジェクトの中心の一部になるべきではないかなというのをつくづく最近は思っています。

というのは、あの超電導発電機というのは、実に回転機に対するいろいろな問題点や、それから冷凍機の連続運転とか、いろいろなことを解決しましたが、あれが終わってしまうと、やっぱり回転機には超電導は無理なんじゃないかと、まだ開発が必要なんじゃないかということで終わりになったと思われている節があるのが残念に思いました。

そのほか、超電導ケーブルもすばらしい成果だと言っているのですが、あれが必要な場所というのは、もう既に説明にもありましたけれども、東京というような、いわゆる都市計画もなしに大きくなった都市は洞道を拡張できないという、そういうローカルなニーズがあって、これが必要なのは大阪と、あとニューヨークと。パリ、ドイツは要らない。なぜなら、パリは大きな地下の下水道があって、あそこにくらでも大きな断面積の銅のケーブルを置けば、それで済むじゃないかと。また、同じような地域が上海とか、アジアにはいっぱいあるので。特にムンバイとか、ああいうところでは、こういうのがいいのかもしれないがね。だから、非常に限定的だということをおわかってもらわないといけないと思っていたのですが、今日の説明でも、洞道を拡張するよりはコストが安いという、そういうことを言っていたので、説明する方もちゃんとわかっているのだなというのがわかりました。よかったです。

むしろ交流というよりも、直流ケーブルにして世界連携を行うような構想はここから出てこないのかと思います。もうご存じだと思いますけど、地中海をぐるりと回るようなケーブル。それはヨーロッパのスマートグリッドにありまして、太陽熱とか、太陽光とか、自然エネルギーを北ヨーロッパに運ぶということで、ドイツが何兆ユーロだか忘れちゃったけど、すごい投資をするぞということをおわっているのに、それに対するアジア版がない。これを日本が今言い出さないと、絶対、中国が言ってきて、日本は、それこそ太平洋の孤島になるかどうかという。せめて韓国と一緒にあって、台湾、朝鮮半島との連携ぐらいのプロジェクトをやるのに日本が主導できるのは、この超電導部門だと思っています。

そういうことで、いろいろ出口をきちっと探していかないとだめで、これがなければこっちもさっちもいかないというような産業分野を見つけて、そこにぴったりなものを供給してあげられるというイノベーションをやっぱりそういうニーズがあるところじゃないと。取替え需要なんていうのをやっているのは、今までの技術を持っているところが1円入札みたいに安く出してきた場合に、受け入れる方が、やっぱり今まで信頼性のある設備の方が良いとのことで、受け入れる方が急にサラリーマンになってしまって、新技術が世に入らないということがある。例えば私が思うのは、超電導変圧器などは新幹線の車両に載っている変圧器に是非すべきである。それはさらに難しい要素がいっぱいある

が、そこにチャレンジしないと、単なる取替え需要でというのは難しいと思う。だから、今後、2年後に新しい実用化に向けて実証するということには、さらに技術が必要だと思いますが、難しい要求に耐えて、あえてここでピョンと飛び出すような勇気を持って進めるようなところに行かないといけないと思いました。

このプロジェクト、長く続き過ぎて、何回も何回もやり過ぎて、だんだん細かいところに行ってしまう。今回、80何億使っていますが少な過ぎであり、1桁ぐらい大きくなって、世界に冠たる日本の超電導技術と言ってもらいたいのですけど、こころで1回、新規巻き直しをやらないと。明らかに超電導は中国あたり、韓国も追いつこうとしてきているから。今のところは日本が圧倒的優位ですが、5年後は、10年後は分かりませんね。非常に重要なときに今、来ていると思います。

**【三浦委員】** ターゲットが一応、国内だと2020年のリプレース機器という、チャンスということですが、電力会社との本当のコンセンサスというのは取れているのですか。メンバーに電力会社の人何人かおられますけれども、例えば太陽光とか風力も電力会社の導入が遅れて、日本はちょっと開発が進まなかったという経緯がありますよね。その辺も踏まえて、ほんとうに今、いいスペックも出ていますし、世界初、世界最高というのがいろいろあるので、その辺のほんとうのコンセンサスというか、10年後にそれができているかどうか、まずお願いします。

**【塩原PL】** まず、プロジェクトの中で、これまで応用基盤プロジェクト、このイットリウム系のプロジェクトの前身のプロジェクトでは線材をつくる研究が主体でして、このイットリウム系のプロジェクトから電力機器ということにキーワードがなって、先ほど簡単に説明させていただきましたが、サブリーダーにはすべて電力会社の人に入っていて、エンドユーザーの視野で、2020年頃からの本格導入に対して、このプロジェクトの5年間で何をすべきかと。少なくともデモ機の試験をプロジェクト内で行って、その後の2013年度から7年間しかございません、長期信頼性試験をやらないと、日本の電力は非常に安定ですので、長期信頼性試験を7年とるのが精一杯ということで、是非プロジェクトの中で、まずデモ機の試験をやる。これは電力会社を含めて行っております。

それから、2013年度以降のシナリオに関しましても、電力会社のヒアリングを始め、経済産業省、それからNEDOを含めて、将来の計画をイメージしつつ進めております。

それと、もう一つ重要なことは、この電力機器というものを導入するには、やはり「鶏と卵」問題が必ずあって、線材のコストが高いからできない、一方、市場がないからできないという、いろいろな裏腹もこの3年間、いろいろ問題解決をどのようにする必要のあるのかということも一緒に含めて検討を行っております。

現在のところ、変圧器、ケーブルに関しましては本プロジェクト終了後のという形で、ほぼイメージができております。SMESに関しましては、非常にコストの課題が顕在化してきています。NaS電池、あるいはバッテリー、キャパシタ等々、進展が著しいところとのコスト競争がさらに熾烈になっているということで、アメリカの方でも、SMESに関してはコスト次第だねというのがASCの国際会議では発表があったと伺っております。コストの競争が非常に激しいところがSMESで、今のところ、実証試験の計画を再度検討しようというふう聞いております。電力等を含めて、説明させていただきます。

コストに関しましては、また質疑のときに説明させていただくということで。一応、チームとしては、電事連も含め、電力会社と連携を非常に深くとって進めているというのが現状でございます。

**【三浦委員】** あともう1点あるのですが、国内の2020年のリプレースはターゲットの1つなんですけど、今、ほかの外国はいろいろ、また中国とか韓国とか追い上げが出ているという話もありましたけれども、外国の必要なところに新しく布設するだとか、そういうターゲットもこれからどんどん出てくると思うので、国内のリプレースだけ待たないで、いい技術が出てきたら、どんどん輸出するみたい

な、そういうイメージでは是非やっていただきたいなと思っています。

**【塩原PL】** ええ。まず、中間目標の成果が出ると、要素技術はほぼきれいにまとまってきます。それに合わせて、国内では、先ほどイットリウム系の特徴を活かした6万Vの大電流、27万Vの高電圧というところに置いていますけれども、海外ですと非常に容量の小さいレベルで入れるというところがあります。それに関しましては、この要素技術が十分適用できると考えております。海外と比べて非常に特徴のある成果がいっぱいありますので、この中間目標終了後、NEDO、あるいは原課の経産省の方々とも了解を得つつ、海外への進出というものも進めていく方向は頭の中にあります。

**【三浦委員】** わかりました。

**【塩原PL】** そういうことで、今後は、いろいろな道があるかと思えます。

先ほどの分科会長のコメントにありました、電力機器以外への導入というのは当然重要でございます。私の中にも、風力発電であるとか、電動機であるとか、それから、新幹線への横型変圧器の軽量化であるとか、ロスの低減であるとか、いろいろなところ、それよりも私なりに、導入開始が2020年の前に書いたというのは私の意思表示でございます。この技術、つまり、イットリウム系のプロジェクトの技術開発の要素研究というのは、こういう風につながっていくのだということで、景気がいい悪いが多少は影響しますけれども、中間評価終了後においては、外への動き方、技術の提供ということには——目的以外に研究開発を進められませんので、技術の提供という観点での応援はしていきたいと思っております。

**【森分科会長代理】** どうしても海外の話という分科会長の今のご指摘、同じような話になってしまいますけれども、しかし、限られた線材開発の資源を考えますと、その範囲でまず、この機器開発の足場を固めたという方向は、私は1つ正しかったと思えますし、これで売り込めると思いますが、ただ、この後、まず、66kVと275kV以下のものは、多分これは応用できますけれども、中国で昨年末にできた中国直流送電は800kVですよね。ですから、ここで出された線材が、今度は交流をターゲットにしたものが、その技術は直流系の直流送電、あるいは、その直流を今度は高圧して実際送電するときに、ここで挙げられた機器というものはどうしても必要になるわけですが、そのインターフェースは簡単に延長線上につくれるのかどうかですね。ここまでにつくられた線材開発の技術をもってすれば、800kVなんて簡単だといって、直流800kVなんてすぐできると言ってもらえると、私は大変未来があると思うのですが。

つまり、なぜこういうことを申し上げたかと申しますと、やはりヨーロッパでも国際送電は直流が非常に注目されていますが、現実にこれだけ長距離実用化したのは中国がおそらく世界最高水準で、800kVがデファクトスタンダードである危険を私はちょっと意識しています。

**【塩原PL】** 直流ケーブルに関しましては、私は今、アメリカのDOEのグループとも相談しながら、いろいろ見ております。先生おっしゃるように、80万Vクラスという話は当然出てきますが、直流は、やっぱり距離に伴う電圧降下という問題をどうするか、あるいは耐電圧絶縁をどうするか、いろいろな課題は当然出てくると思います。まずは27万Vの絶縁はどうなるのかということが手元で見えてきますので、絶縁に関してどうするか。

また、ロスという観点で、いわゆる直流の場合の交流損失ロスというものがないので、そういう面では構成は比較的楽になるという考え方を持っています。ただ、日本でどこまで使えるのかなという話を、まずは足元から見ていこうということで、DOEの委員会での結果を見ますと、約500マイル以上の送電でないと、なかなかメリットが出てこない。つまり、直交・交直変換器のロス分がかぶってしまって、そういう結果がこの1月にDOEが出してきたりしていますので、そうすると、東京から大阪以上まで出すことなくという数字が逆に今のところ出ている。それを打破するには、やはりコスト低減、ロスの低減、あるいは効率向上というものがどれだけメリットがあるのかということまで持

っていかないといけない。

ただ、ケーブル構成技術に関しては、絶縁を除いてかなりの、テープ形状の線材の大電流化というものに対しては、基礎技術は使えるのではと考えております。

【嶋田分科会長】 ちょっとそれについて私もコメントしますと、中国はもう 100 万 kW の、800kV の直流送電網を内陸と沿岸部との間に毎年のように 1 本、2 本運用を開始している。電力の需要の伸びが、2 年に 1 つぐらいの東京電力分ぐらいの発電設備がつくられている。この前、私もインドのムンバイに行きましたが、もう電気が足りなくて、日に 2~3 時間停電しているのは当たり前。そういうところでは何でもいから新技術を入れて、それで実系統ですぐ試験してほしい。日本からの技術、ウェルカムだということで、実証試験をインドでやるとか、中国と一緒に開発するとかいうような、そういう枠組みをやっていかないと、また、最終的には国内よりも海外に産業として売ろうというときに、一緒に開発したものだったら売りやすいし、向こうも信用してくれる。そういう観点で、海外も視野に入れ始めたということよりも、こちらで大きく向きを変えて、国際連携こそ重要であり、市場は多分アジア、隣の国にあるということだと思います。

それから、直流ケーブルは簡単ですよ。交流ケーブルよりもほんとうに簡単です。誘電体損がありませんし、それから、誘電体の直流耐圧は交流に比べて何倍もありますのでね。ただ問題は超電導にする必要がないのですよ、断面積を大きくすれば良いのですから。送電線を蜘蛛の巣のような細い線でやっているのは、あれがコストミニマムであるからであって、長距離になってきたらそれは石油のパイプラインぐらいの太さの送電線にしたら全然ロスありません。

交流の場合は表皮効果などあるから、超電導のところもメリットあるのですが、直流はそんなにないですよ。例えば私が最近調べたのですが、ノルウェーのところからオランダまで真っすぐ海底ケーブル、直流で 700km ぐらいですね。それ全設備、工事費まで含めて、交直変換所まで含めて 700 億円だった。それを ABB がやりました。コスト的にも、効率もおそらく 5% ぐらいのロスは見込んでいますけど、そんな悪くないです。こういう直流送電、700 km ぐらいになると十分メリットが出てくると。日本なんかの場合も、もう海底電線で北海道から風力を直接、東京湾まで持ってくるよりも、朝鮮半島と結んだ方が、ずっと経済メリットがありますよと言っている人たちもいっぱいいます。いよいよグローバル化ですよ。

そういうことで、最終実施者も、電力会社ばかりじゃなくて、世界中から手を挙げていただいて。おそらく、インド、中国から 1,000 億、2,000 億円の経済的援助がつくと思いますよ、これだけ技術があれば。

【塩原 PL】 直流送電に関しましては、ほんとうにいろいろなメリットとデメリット——デメリットというか、競争相手というか、ほんとうに超電導の必要性をどこまで説明できるかというのがキーかなとは思っています。それが線材のコストは銅よりも安いこととか、そういう話になっていることになります。

また、民主党政権の中で、新成長戦略分野の中で、日本がドルをどういう風に稼ぐかという分野の中に先端分野で超電導が入りましたので、今後はその方向への、プロジェクトをその方向に持っていくのではなくて、その方向へどういうふうに技術協力できるかという形を含めて、NEDO を含め、経産省等と、議論させていただいて、系統安定化以外の分野、例えば風力発電、電動機、そういうものを含めて、研究開発には秘密主義で守ることなく、広い視野で協力していきたいというレベルのコメントで勘弁いただければと思います。

【佐藤部長】 プロジェクトの範囲を超えた話になっているので、NEDO もコメントさせていただきます。経産省の概算要求で、NEDO の新技術システムの国際展開支援機能の強化がうたわれており、また、スマート・コミュニティー・アライアンスの事務局もやらせていただいております。インド、中国とも

NEDO の役員レベルで交流がございます。国際協力的な話は NEDO の中でも検討させていただきたいと思っております。

**【塩原 PL】** 繰り返しになりますけれども、このプロジェクトの成果を要素で分けますと、この左の緑の中に入ったものがあると思っております。これはいろいろなものへの要素としての基盤研究としての成果は非常に重要なものを持っていますので、そちらの方向の展開にはどんどん協力していきたいと思っております。

**【下山委員】** やはり 10 年、20 年後に、超電導の産業というのが日本に何らかの形で、できれば大きな形で根づいてほしいというのが皆さんの願いで、我々も願っているわけでございますか、それに向けて、このプロジェクトというのは、かなり大きな割合を占める役割を担っているのではと思います。

NEDO のプロジェクトでは、いろいろな課題があつて、これは何年か前に決められた課題ですけど、このまま全部、二重丸がつくように、最終、終わりのときまで進むことがほんとうにいいのかどうか。要するに、これは 5 年位前に大体基本の案ができて、3 年前からスタートした。今から 2 年たったときに、やはりいろいろな、嶋田先生なんかのご指摘にもありますように時世が変わってきています。ほんとうにこのまま続けていくことが、10 年、20 年後に日本が産業として強く超電導を持つことができるかどうか。他国に奪われてしまうとか、先行されてしまうとか、そういう危惧を抱かざるを得ないですね。

どれも優等生になる必要は、私はないと思いますが、やはり日本のカラーをどこで出すのかというのは、今のお話を聞いていて、よくわからなかった。全部に優等生、全部 60 点とるけれども、ものを限って 90 点をチョコチョコ取る国に負けちゃうとか、そういうような心配を抱いたのですが、それは質問になるかどうかわかりませんが、これからちょっと計画を見直すというか、ちょっとメリハリをつけて強みを打ち出すような考えはあるのかどうかということを教えてください。

**【塩原 PL】** 非常に重要なコメントというか、質問だと思います。実際に実用化につながるという話というものと、プロジェクトスタート、あるいはプロジェクトスタートの 1 年前にどういうことをやるべきかを検討しました。その当時から比べると、いろいろな競合相手機器を含め、あるいは各国の状況を見ると、この中間評価の後に、出口志向で再度見直す必要性というのはなきにしもあらずと。当然のことだと思っております。先ほど分科会長のおっしゃる 80 億円じゃ足りないよと、900 億円あれば、すべて 100 点を全部狙おうという案もございましてけれども、とりあえずは現状の計画のままでいくにしても、やはりどんどん、もやしを 3 本、4 本つくるよりは大きな 1 本、あるいは 2 本の木をつくる方がいいという話は当然、話の中で出てくると思っております。

また、私はちょっと違うのは、すべて 100 点が欲しいというのであって、60 点で我慢しようなんていう気はなくて、例えば性能はすべていいと、あとは生産性であるとか、長さであるとか。いわゆる基盤技術としては世界最高で 100 点をとってしまおうと思っております。プロジェクトリーダーとしては、中間評価まで、中間目標の段階までは、すべて 100 点を狙おうと。その後は実用化に近いものから順番にメリハリをつけていくというのは当然あるべき姿だと思っております。

そのためには優先度というのは、これも私一存では決められませんのでエンドユーザー。まあ、エンドユーザーって言い過ぎだと言われるかもわかりませんが、実際に実用化を持っていくところ、それと原課、それから予算当局、それから NEDO を含めて、メリハリのつけ方を含めて、また、先生方のコメントも大いに参考にして、嶋田先生のおっしゃるような方向にも、お約束するわけじゃないですけれども、そういう方針はしかるべきと思っております。

**【室山委員】** 後ろの方でご説明いただいたのですが、アメリカと日本は戦略が違うというお話がございました。多分、日本の戦略は、今ご説明いただいている中身だと思うのですが、アメリカの取り組みについて何かコメントいただくと、ちょっと知りたいのですが。

【塩原 PL】 日米で電力機器と、それから線材という観点で、簡単な説明になってしまって語弊を招くかも知れません。まず、線材でいきますと、横軸が長さで縦軸が電流で旗が書いてあったのがありました。アメリカは、これも適切な表現かどうかは別として、ベンチャー企業が線材をつくっております。そういう観点で、すぐにまずは量を売り出そうという戦略があつて。ですから、長いものを、量と長さが必要になってくる方向が、やはりアメリカの線材の開発の志向でございました。

日本は、やはり基盤技術、それから線材企業の大きさ、エンドユーザーとリンクしているの、国のプロジェクトとしては一番重要な基盤研究というのは性能向上だろうと。性能向上の中で歩留りを入れていって、将来、長尺につなげて線材会社に技術を移すということで、いわゆる企業体制の違いが線材には出ていると。

それから、電力に関しましては、日本の電力は、先ほどちょっと言いましたけれども、非常に安定な電力を持っていて、電力会社も地域できれいに分断されていて連携されていると。アメリカというのは、言い方は悪いですけど、日本のガス会社のように数百社の電力会社が入り乱れておられて、グリッドも、いわゆる網目形といいますか、メッシュ構造になっているので、いわゆる超電導ケーブルの入れ方、グリッドの入れ方が非常に違って、例えばメッシュ構造になっているが故に限流器が非常に重要であるとか、負荷率に関しても、串形のように二回線とかいうイメージがないので、80%、90%負荷率の系統がいっぱいあるというところで、ちょっと導入の形態が違ってきていると。そういう観点で用途が違ってきています。そうはいっても基盤技術は同じなので、日本の性能のよさが今後出ていくのではないかと。

そういうことも当然見ながら、私も、また線材のサブリーダー和泉も、DOE のピュアレビューの審査員で参画できておりますので、そういう情報も取りながら、アメリカに抜かれることなくというのがこれまででした。先ほど分科会長のお話しありましたように、韓国の追い上げが最近、非常に激しくて、おしりに火がついた状態になっているところもふまえて今後進めていきたいと思っています。

【嶋田分科会長】 実に日本の超電導技術は世界でトップになっていまして、諸外国はもうあきらめてしまった。そうすると、日本人もいつの間にか、この研究はもう話題性がないなと思ってしまって、トーンダウンしています。日本人は追いかけるのはうまくて好きだけど、トップに立つと、かえって困ってしまっているという、そういう状態で、特に金属系の超電導線は世界を完全に席巻しています。そこをうまくこれに乗って、超電導は日本でということ、韓国、中国も仲間に入れてあげましょうというぐらいの太っ腹でいかないといけないですよ、今こそ。

【塩原 PL】 わかりました。

【嶋田分科会長】 お願いします。

【三浦委員】 マネジメントの話ですが、このプロジェクトが終わった後に、メーカーへの技術移管がスムーズにできるというお話がありましたけれども、この成果というのは、入っているメンバーの会社の方々は自由に使えるのですか。要は、以前、NEDO のプロジェクトがあつたときに、成果は全部 NEDO に吸収されて、なかなか使えないという話を聞いたことがありまして。要するに、こういうすばらしい技術を最後、プロジェクトが終わったときに自由にメーカーが使えれば、いろいろそのサイドでまた考えられますよね。その辺は大丈夫でしょうか。

【塩原 PL】 知財の取り扱いのところで説明させていただいたのですが、いつの年かちょっと忘れちゃったけど、バイドール法ができて、NEDO の方から委託先に知財が帰属するという原則ですね、そういう形というのは、もう動いております。共同研究体という形で、いわゆる個別契約でありながらも共同研究体をつくっておりますので、共同研究体の中で自由に使える方策というものも説明で書いている。そういうルールを設けて使えるようにしておいて、独占実施で固まるようなことのないように、共同研究体の中の成果に関しては、少なくとも発明者の実施というものに関しては無償で、かつ自由度を

持たせると。それは発明者が寄与した場合。共同研究体のメンバーで発明者じゃない場合においても実施権を与えるという方向で進めたいと。そういうルールで動いております。

ですから、先生おっしゃるように、昔は確かにすべてが NEDO に帰属という形だったのですが、パイドール法以降、そういう形になっている。うまくというか、それに準じて知財協定を決めております。

【嶋田分科会長】 それについては私も意見ありまして、特許の数が少な過ぎますね。ほとんど出してないと言っているぐらいの数字じゃないですか。100 を超えて出して初めて1つの特許になるという。1つ、2つだったら幾らでも無視されてしまいます。

【塩原 PL】 特許に関しましては、プロジェクトの特許というのは、まだ2年しか経ってないので。

【嶋田分科会長】 ああ、そうですか。これからですか。

【塩原 PL】 申請中であるのも、まだ今、精査している段階で、海外に関しては、徐々に増えていくというのが今後のパターンかなと思っています。数百は出るのかどうかというのは、日本の場合の特許というのは、要求項目をたくさんかけますので。海外に出るときには、それを個別に分けていきますから、そういうふうな観点で、今までの流れとしては、特許はできる限りまとめて申請しております。あと、事後評価の段階には、かなりの数が出てくると思っております。

## 5. プロジェクトの概要説明および質疑

### 5.1 超電導電力貯蔵システム (SMES) の研究開発

実施者より資料 7-1 に基づき説明があり、質疑応答が行われた。

【三浦委員】 フープ力のテストを行っていますよね。

【長屋 SPL】 はい。

【三浦委員】 最初のやつは電極が壊れたという。

【長屋 SPL】 はい。

【三浦委員】 それは、もうちょっと詳しく言うと、どんな感じだったのでしょうか。

【長屋 SPL】 実はこれ、YBCO の線でございます。250°C ぐらいかけると、ハンダづけの際に、その温度が気になってきます、大丈夫かなと。後で酸素が抜けたからといっても何ともなりませんので、ハンダの接続ハンダの温度を気にすることになります。コイル自体が、まず電極部とハンダづけされて、この2つのコイルを重ねるときに、さらにその電極と電極をまた電極でハンダ、2段にハンダづけしたんですけれども、そうなりますと、融点がなかなか 200°C 以下にバラエティーの富んだハンダがございません。このときの問題点は、この2つのコイルをつなげるハンダ、電極に使ったハンダがウッドというか、非常に 80°C ぐらいのですね……。

【三浦委員】 ウッドメタルですか。

【長屋 SPL】 そうです。ウッドメタルを使いましたので、これが結局もろくて、きちんとついてなかったと。そこで、ヘリウム中の試験で焼けてしまったというのが内容でございます。そういうことがわかりましたので、2回目は、そのハンダの部分と電極構造を変えて、こちらのコイルになりますが、電極の問題はクリアしていると。

【三浦委員】 それで、そちらの方で、次のやつで2種類の線材……。

【長屋 SPL】 これですね。

【三浦委員】 そうですね。どっちが、CVDの方がよくなかったのですか。

【長屋 SPL】 CVD は、こちらです。この PLD の方です。CVD の線材は、 $I_c$  が 200A 級で揃えていますので、これ、コイルに巻いたときに 100A ぐらいの  $n$  値で、100A ぐらいの電流で  $n$  が立っているのですが、PLD の線は、もともとこの 1.5 倍、300A クラスの線になっておりますので、このウニャウニャと

している、見えてないのは、まだこれ、 $I_c$ が上だと。ここでもう立ち上がってきてしまっているのがございますので、これはかなり劣化が進んだと。

【三浦委員】 その原因というのは、わかっていますか。

【長屋 SPL】 原因は、これ、CVDの線もそうなのですが、実際にマグネで成形する場合に見落とされがちなのは、この線は強いので、こっちですね、層間剥離。これは積層線材になっていきますので、もともとこれは非常に弱い線というのがわかっておりましたので、やはり層間の強さ、剥離力ですね、こちら辺の見極めというか、線材にかけられる剥離力をいかに小さくして、かつ線材の方は、それに耐えられるように、できるだけ高剥離力というか、低剥離耐性というか、そういうものを考えないといけない。

実はCVDの方は、当初からSMESに適用することを考えて、また、CVD自体が、そういうことが強いというのはわかっておりましたので、この線は、さらにそれをある意味磨きをかけて、よりこの線間剥離力を上げた線になっています。

【三浦委員】 その剥離というのは、フープ力がかかったときにずれる……。

【長屋 SPL】 いや、結局、フープでかかりますね。

【三浦委員】 線材応力みたいな。

【長屋 SPL】 線と線の間にはエポキシありますね。ここでコイル、やはり大きくなりますから。径方向にも広がりますから。広がったときに、線と線の間で、こういう力です。

【三浦委員】 そういうあれですね。じゃ、それは、対策は今後いろいろ考えられるということですか。

【長屋 SPL】 はい。

【三浦委員】 それとあと、磁場中で、それは試験をやっていますよね。最初の方ですか。そのバイアス磁場かけて、模擬的にフープ力を起こしていますよね。

【長屋 SPL】 はい。

【三浦委員】 実際やるときは、そういうあれじゃないじゃないですか。

【長屋 SPL】 そうです。

【三浦委員】 そのときの、ほかの何か不安定要素はないのですか。

【長屋 SPL】 実は、まさに、これはある意味、SMESのコイルにとっては一番つらいやり方をしています。これが外に、マグネット外部磁場がありますから、このSMES、実際にはSMESの使い方というのは、自分自身の自己磁界しかつくりませんから、トロイドを配置したとき、実はコイルの外というのは磁場がないのです。ということは、コイルは、もう一番外側はリジッドでいますので中だけ考えればいいと。この場合は外に強い力がありますからコイルを引き離す。先ほど言った線間の剥離ですね。これが通常想定しているよりも強い形でコイルにさらされることがわかっていますので、まあ、そういうことから、これに耐えられれば十分だよということと設計しております。

実際には、最終的には、トロイドコイルを設計する場合は、この線材に剥離がかからないように、コイルの中には圧縮応力がかかるように応力を想定したコイル構成を実際には設計しております、まあ、強めのところで大丈夫なら、この後は実機のトロイドコイルは大丈夫だという設計で進んでおります。

【森分科会長代理】 先日、現地調査させていただいたときに、線材の今、あそこ、設備の関係で200mが上限であると同ったのですが、今回、この2GJ級のSMESというのは、これはその線材の、そちらの機械の方の製造装置の関係の上限なのでしょうか。それとも別のターゲットでしょうか。

【長屋 SPL】 すいません。2GJ級となりますと、径が3mのコイルになります。そうしますと、2GJを想定したときの線材の長さというのは、1本が1kmぐらいのものがないと2GJのコイルはちょっと構成できなくなります。このプロジェクトでは、今、私どもが抱えているCVDのプロセスに関して言えば、

200m 級の線でございますので、それで構成できるマグネットで考えていくと、やはり 20MJ クラスがちょうど無理をせず、きちんと線材の安定製造ができるということで想定しておりまして、これが将来、20MJ が 200MJ、2GJ と上がっていく中では、当然、線材の短長というのは、それに応じて長くなっていったらいい。これは今後、線材メーカーが設備導入されて、もう一部では 500m 級の線材はできておると聞いておりますので、そういうものを使い込んでコイルの径が大きくなっていくものだと考えております。

**【森分科会長代理】** そういたしますと、現在ある設備で IBAD 法を使うと 200m だけれども、同じ方法で拡大できると伺ってよろしいですね。

**【塩原 PL】** 当初、IBAD-MOCVD で SMES 用のコイルをつくるというところで、それを担当する中部電力と古河電工のところは 200m の設備がある。NEDO の技術委員会で報告させていただいたように、また、ここでもまだ剥離が問題で出てきましたけれども、IBAD-MgO に変えたグループ、そのグループは 500m 長の線材ができる設備で、かつ高性能になるということで、横の連携をとることによって将来につなげていくということです。200m は標準的な線材の長さで、IBAD-PLD、IBAD-MOD に関しては 500m 長ができるような設備になっております。今後はそういうところも踏まえて拡大していく予定です。

**【室山委員】** 冷却システムについて教えてほしいのですが、今回、ガスを循環させて冷却するという話だと思うのですが、ガスを使うことによって、シールとか、そういう何か難しい問題が出ているんじゃないかなど、何かその辺、ちょっとご紹介いただければと思うのですが。

**【長屋 SPL】** これ、実は非公開情報もこの後ありますので簡単にご説明させていただきますと、実はガスを使っていますけれども、これはやはり法規制とか、いろいろなことを考えて、今後の一般展開を考えていきますと、やはり高压ガスとか、そういう規制を受けると、なかなか使いにくくなるということで、実際には、これ、コンプレッサと書いていますけれども、これ、循環ポンプです。ガス圧としては 10 キロ以下、数キロのガス圧で循環ができるようなラインにしております。

ということで、もともと高压をかけずに、ただ、ある意味、ガスポンプぐらいがあれば、簡単に循環できるぐらいの圧損、圧力で駆動できる径にしています。ですから、これはスウェージロックの普通のガスラインで簡単に構成できる……。すいません、ほんとうは現地調査が我々のところに来ていただけると、これがあったのですが、見ていただくと非常に簡便という。これは一応、今年の後半、私どもの変電所に置いて試験をする予定にしておりますので、そこでまた機会があれば、ぜひ一度ごらんになっていただくと、ああ、ここまで来たかと、超電導、使えるところにやっと来たかなと見ていただけたかと思えます。

**【室山委員】** わかりました。

**【下山委員】** このプロジェクトで目指されている SMES、最終目標まであるのですが、実際に普及するための技術としては、もっと先があるはずなのですが、2GJ に行くために、このプロジェクトで目指しているものは、それに対して何%ぐらいの達成度というか、技術レベルでしょうか。

**【長屋 SPL】** 何%……。2GJ を目指す。2GJ というか、大きさ……。大きさというよりは、今回のこの構成の中で、実際にこれ、容量……。何と申しましょうか、一番ですね、もし 2GJ を実用化していくというときの一番の制約条件は、線材の生産量と、それからコストになってきます。これもコスト、後半のときにご紹介させていただきますけれども、2GJ をもし 1 個つくろうとすると、線材 1,000 キロ要ることになります。では、1,000km の線材、今 1 年でできますかという、今とてもじゃないけど、まだそんな状況ではないと。

今、手の届く線材量で実際に物をつくっていかうと考えますと、大体 20MJ、この 20MJ が、これ、シャープの亀山にも入っています。それから、今、半導体工場にも導入が始まり、それから、1 万キロ級の太陽光発電に連系実証試験という話も同じく 20MJ 級なので、ここら辺のサイズからまず導入が

始まっていけば、将来の2ギガ導入のときに線材の量、長さがついてくれば、システムとして枯れた技術になりますので見えてくるだろうと。

今回、このY系の中で確認すべき、もしくははたかったことは、やはり金属系と差別化するために大きな力がかかる。かかっても大丈夫なコイル。それから、電力機器に使えるような電流と電圧が耐えられるものであると。あと、冷却系が1年に1回メンテナンスすれば、最悪2年ほったらかしておいても大丈夫だと、年間とまらないというものを確認しましょうということで、今回、そのすべてを盛り込んでおりますので、多分、何%、3割位という話もあるかもわかりませんが、この最終年度まで、このプロジェクトの今の計画、特に大事になるのは、ここになると思います。ここでY系のコイルの実力が判定できますので、目標どおりのものがここで得られれば、この後は、あとはこのマーケットのシーズと仕様に合わせて込みながら考えていけると、ものになると思います。今、これを目指して、ちょうどそれぞれの必要なものの一応確認が今できたということなので、今後、ここをうまくきちっと検証できれば、この後につながると考えております。

**【下山委員】** それで、20MJという話だったのですが、そうすると瞬低用になるわけですが、競合技術でリチウム蓄電池とか、キャパシタとか、どんどん進んでいる技術がありますね。そういうものと比べたときに、今の超電導の設計で普及できるだけの魅力があるのかどうか、それをちょっと教えてください。

**【長屋 SPL】** これも後ほどお見せしますが、実は瞬低用途で、このY系ができれば、リチウム、キャパシタに比べて圧倒的に競争力は持ちます。今は実は金属系を使ってせめぎ合っていますので。冒頭、PPに1枚、塩原PLのPPの中にSMESのコスト比較でありましたけれども、非常にY系というのは金属系に比べてコストがどんどん下がりますので、瞬低応用に関しては、もう値段半額というか、3分の2位になりますので、どんどん普及が進む機器になります。

そこから上は、逆に短時間用途ならば、何もいない海をいう、まあ、ブルーオーシャン戦略みたいに、ライバルのいないところで泳いでいけると。どちらかという、SMESは、この後、最後にご紹介したような周波数調整とかという用途は、電池が得意とする時間の長い方に向かっていきます。時間軸の1秒から10秒、10秒から1分、1分から10分という、そういう電池の得意な時間領域の方へ頑張っていくということに、戦略としてはそうなるかと思えます。それはすべて、コストとの比較になってきますので、いかに安くできるか。そのときにSMESの持つ一番の魅力は、大容量化、大型化すればするほどコストメリットが強くなるという技術だということになります。

**【喜多委員】** ランニングコストとか、性能と関連すると思うのですが、実際、冷却技術が進んできた場合に、実機の動作温度ですね。動作温度は、どれくらいを想定されているのでしょうか。

**【長屋 SPL】** これも実は線材の性能と裏腹になってきます。動作温度は20から40と書いてありますが、今は20Kを想定しております。もし線材性能が上がると値段は上がります。線材性能は高いけど、値段が高いとなると一緒になりますから、性能は上がるのだけど、値段は同等となれば、これを例えば30K温度で使ってやろうとか、そういうことになってきますから、どんどん楽な方向に行きます。今は20Kです。これは冷凍機が一段で到達できる温度を想定しております。

逆に、これより下げて使うやり方もございます。ヘリウムの中にいっそのこと漬けてしまうというので、もっとコンパクトにして高磁界を立てるというやり方もありますけれども、これは、今は伝導冷却で、ヘリウムの温度からはちょっと解放された形のSMESに今、仕上げると。それはやはり瞬低SMESで、これまで我々、計4機、4台つくってききましたけれども、その中で、やっぱり冷却の信頼性を維持するために、かなり労力がかかりますので、この部分を、まあ、かからないものになりたい、フリーにしたいということを想定しております。

**【嶋田分科会長】** 私、ちょっと聞きたいのは、トロイダル構成のSMESしか考えてないのですか。

【長屋 SPL】 実は、この SMES のプロジェクト、金属系で低コストを行った時に、ちょうど 2000 年のプロジェクトですけれども、酸化物の線材を想定して、いろいろな形、コイルの形が制約されずに、いかに、ある意味、使えるためにはコストが効いてくるので、線材量を最少にして合理的につくれる設計はどうかということ、Bi の場合は、2212 は丸線を使い、2223 の場合は従来の今のテープ線材。まあ、Y 系もテープ線材ですけれども、それぞれ、将来、10 年後及び 15 年後位にできるだろうと想定した性能をそこに落とし込んでデザインをやっております。

その中で、線材量を最少にして一番合理的にできるのは、Y 系の場合はちょうど偏平の五円玉みたいなものの方がいいでしょうということで、このトロイドに始まっていますけれども、当時の想定したものと若干、線材のスペックも微妙に今、変わりつつありますので、そういうことを考えていくと、ソレノイドもあるかもしれないし、この後、技術の進展によってですね。当時はとにかくペラペラ、非常にきし麺でしょうと。これ、束ねるものも一苦労でしょうと、どうするのと。転位してするという話もあったのですが、できないねということがあって、それを生かすのはこれだよ。

ただ、この後半、線材のセッションでもありますけれども、線幅をいろいろコントロールしながら、いろいろやっておられますので、例えばソレノイドに巻くとか、いろいろ出てくるかもしれません。そうすると、またデザインも変わってくると思います。

【嶋田分科会長】 そうすると、線材当たりのエネルギー貯蔵量なんか、ソレノイドの方が良かったりしますね。このトロイダルでも、実験をフープフォースしかやってないですけれども、トロイダル構成すると、内側から圧縮力が出てきたりして、またトロイダルならではの難しさが出てくるので、注意していただきたいなと思います。

【長屋 SPL】 はい。

【嶋田分科会長】 あと、これはコメントになるのかもしれませんが、将来、SMES がやはり絶対必要だろうという中で、これ以上、原発が増えてきた場合、お正月と 5 月の連休の真夜中は原発をとめなきゃいけないということになるわけで、ベースロード以上になってしまうわけです。現在でもそうですから。今後、25%削減ということに向かって原発をつくることになるだろう。それしか日本は選択肢がないだろうと思うんですけど、そのときに、原発 1 基当たり、昔は揚水発電所が 2 基必要だった。九州の玄海原子力発電所 2 号機の運用開始が遅れたのは、すぐ隣の揚水発電所が国立公園にかかっている、その立地問題で建設が遅れたから。

それまで原発のエネルギーを蒸気で海に捨てていたのかなと思いますけれども、そういうことがあってはならないので、これからそういうエネルギー戦略の中に大規模な電力貯蔵計画というのを必ず入れておかないと、原発はつくったけど、夜は止めるという稼働率の悪いものになってしまう。今、エネルギーの 40%は原発ですとか言っているけれども、それ、何基つくっても少しも上がらないよという状態になってきます。夏のピークだけ動く原発なんて全然意味ないですからね。そういう点で、その辺をもっと SMES の将来は大規模にやると。なのに、今、瞬低対策で電気二重層なんかもどんどんコストが安くなってきますし、リチウムも大量に自動車に使われれば安くなりますから、そういうところで競争していると永久に勝てないですよ。

もう一つ言いたいのは、この大容量の貯蔵所を都市部に置けるという点ですね。それがいいと思います。都市のエネルギーセキュリティにかかわる。揚水発電所も……。まあ、電池もコンパクトでいいのかもしれないけど、ちょっと危険ですよ。エネルギー密度が高過ぎるからです。TNT 火薬に何 kg 分というのは非常によくない例えだと私は思いますけれども、超電導の SMES は、その点、全く安全です。短絡はまるきり事故にはなりませんし、冷えているものが急に温まるわけではないので、そういう点で都市部における安全な貯蔵装置。夜の間に送電してくれればいい。都市部でためて、昼間は 2 倍使えるというようなエネルギーの構想をぜひ入れておいていただきたいなと思いました。

## 5.2 超電導電力ケーブルの研究開発

実施者より資料7-2に基づき説明があり、質疑応答が行われた。

【森分科会長代理】 このパワーポイントでいきますと、25/43 枚目になりますね。電流密度に関しては、かなり達成できたと。線長についての達成のレベルが少しばらばらな感じがするのですが、2020年にリプレースするとなると、最終的にはケーブル線長は何kmが目標になるのでしょうか。基本的には線材を4km位は作製できている。ただ、中間層に関しては16.2kmという数字が出ていますが、最終的目標はどれくらいでしょうか。

【大熊部長】 今回、例えば大電流ケーブルの方でいきますと、15m長システムをつくるのに大体4kmぐらいの線材が必要になってくるかということ考えています。主に後半2年の方でシステム検証用の線材をつくっていくという話になりますので、ここで挙げていますのは、どちらかという要素技術開発に必要な線材として利用しております。

【森分科会長代理】 ただ、先ほどPLのご説明でも、あまり時間がないという話がありまして、信頼性まで考えますと、どこかで必要な線長を早くつくらないといけないわけですが、それは一体、目標は何kmぐらいのところにあるのでしょうか。

【塩原PL】 先生のご質問に対してですが、2020年度までの手前の段階で、実証試験のときにどの程度の線材総長が要るのかということかと思えます。

【森分科会長代理】 そうです。開発のロードマップですね。線長のロードマップの目標値のようなもの。

【塩原PL】 単長の長さというか、総量の方がその場合は重要になってきてまして、本質的に年産100kmレベルのものを線材会社がつくれるという前提で動いておりまして、先ほど言いましたように、15～16mのケーブルに対して4～5kmの線材が要するという比率をそのまま考えて、数百mから数kmのケーブルを持っていくときには、100kmの線材が要ります。そこまでの線材製造設備について、別のプロジェクトでも含めて、線材製造をやっていききたい。このプロジェクトの中で大電流ケーブルシステム検証用に必要な線材は4kmから5kmです。

【森分科会長代理】 信頼性の試験が今後必要になってくるわけですが、4kmであれば、実用の信頼性試験は大体間に合うと、こういう考え方になりますか。

【塩原PL】 違います。4kmで15mのケーブルの要素試験ができるのであって、例えば今、Biの実証ケーブルプロジェクトが東電の旭変電所で動いておりますが、ケーブル長は200～300mでやっています。200～300mぐらいになると、冷却も含めて、いろいろな意味でのケーブルの長期信頼性試験ができる。だから、実用の信頼性試験では数百mのケーブルが必要としますと、15mのケーブルを造るのに4kmの線材長が必要なので、その10倍の線材長は要りますよね。それがどの程度の電流であるか考えると、年産100kmぐらいの線材作製能力がないと無理でしょうというレベルの考え方です。

【森分科会長代理】 もう1点、質問させて頂きたいのは、前のプロジェクト、2003年の時ですけれども、冷却基盤をつくったときに、やや流量に振動があらわれたという記載があるのですけれども、今回、そういうことは起きていないでしょうか。

【塩原PL】 すいません、前回のプロジェクトで……。

【森分科会長代理】 2003年度の報告ですけれども、その時に一旦、液体窒素が冷却を達成した後で、温度がまた上がってしまい、流量振動の発生が観測されたという、そういう記載が実はちょっとありまして、今回、どうなったかなと思ったのですが。

【塩原PL】 交流基盤のプロジェクトですか。

【森分科会長代理】 はい。

【長屋 SPL】 交流基盤で、500m 長をやったときに、液体ヘリウムじゃなく、加圧のガスですね。ここのところで溶け込んで、いろいろトラブルを。実布設を模擬して上がり下がりをつくりましたので、ガスだまりができて振動が起きたということがありました。

【塩原 PL】 前フェーズといいましても、これはイットリウムプロジェクトじゃなくて、Super-ACE の別の交流基盤のプロジェクトの中での 500m の横須賀のケーブル試験の結果で、最初、圧送するときのヘリウムが溶け込んだやつが、それが流動につながったというのは聞いておりますけれども、そのようなことが今後はないように、それは1つの知見として使えると思っております。

【嶋田分科会長】 18 枚目ですけど、275kV のブッシングですね。このブッシングで、この超電導の温度勾配をうまくつくりながら入れるというのは大変だろうと思うのですが、試験してうまくいったということですが、通電していないとき、しているときで、どういう具合になったのか。両方やったのですか。

【大熊部長】 はい。一応、設計で 120W 相当で、今、ちょっとデータが手元にないのですが。

【嶋田分科会長】 つまり、うまい温度勾配ができるように、通電、SMES とか、磁場コイルの場合は連続通電だから、温度がうまい具合に設計できますよね、それは定格電力に合わせて。

ところが、ケーブルの場合は、夜はほとんど電流が流れてないし、昼間は目いっぱい流れるなんていうような状況が実際、毎日繰り返されるわけですよね。

そういうところで、この 275kV のケーブルのブッシングの技術、これはちゃんと検証されているのでしょうか。

【大熊部長】 大電流化でやりました試験は、負荷変動は模擬してないのですが、定格電流通電時と無負荷時での試験はやっていますけれども。

【嶋田分科会長】 この 66kV の超電導ケーブルは、ある特殊な地域ではニーズがあるだろうということは昔から言われているし、私もそうだなと思っているのですが、275kV ケーブルにはあるのですか。275 kV のケーブルに経済性があるのだろうか、開発し終わっても買ってくれるところがあるのですかということですか。

【大熊部長】 1 つは、先ほど先生がおっしゃられたように、66kV 系統については、都内の連系線ということで考えられるのですが、275kV ケーブルでは、その容量から、先ほど申したように架空線相当の容量が今ありますので、どちらかという、外輪から都内に入っていくところの線長に生かせるだろうと。そういう所では老朽化のケーブルがありますので、その張り替え、リプレースということで用途はあると思います。

【嶋田分科会長】 だから、66kV の超電導ケーブルができれば、関東平野の外郭から 66kV のまま都心部に送れるというのが 66kV の超電導をつくる意味でしょう。

【大熊部長】 はい。1 つ、外輪線でいいますと、275kV 系統がないと、そこで 66kV にしても今度は横との連系がとれなくなりますので、275kV は 275kV で外輪を抑えてあげて、都心部に入ったときに電圧を降圧し、66kV に持っていくというところで、外輪での連系にも使えるかなと思います。

【嶋田分科会長】 以前、電力会社の人が、275kV から 66kV に落とすと変電所が要らなくなるのが、またコストメリットだと。

【大熊部長】 はい。1 つは、そのメリットもございます。

【嶋田分科会長】 だから、275kV は本当に架空線、元々、外はあれですね、500kV、1000kV になるのでしょうけれども、500kV からいきなり 66kV に落として、あとは地下ケーブルでということで、275kV は規格としても要らないのでは……。

【大熊部長】 そうではなくて、1 つは、やっぱり先ほど申しました 275kV 同士の連系線にも使えるだろうということですね。

【嶋田分科会長】 その辺は架空線の場合は冷却能力が抜群にありますから発火にも耐えるが、このケーブルはまたケーブルで、ケーブルの浮遊容量Cの問題も出てきて、なかなか大変ですよ。直流ケーブルですと、その辺が完全にクリアされると思うのですが、この275kVの経済性については大いに疑問だと思います。

【三浦委員】 交流損失のことで聞きたいのですが、7ページ、8ページで、このコーテッドコンダクターを使ってフォーマに巻きつける形をとる限り、線材幅を細くして交流損失を減らそうとしていますよね。2mmだと、その端部がダメージを受けて、そこでジュール損が発生するからロスが大きくなっているというイメージですか。

【大熊部長】 2mmも4mmも端部の劣化はあるのですが、やはりそうですね、ジュール損失分ロスが大きくなると。

【塩原PL】 端部のところで垂直磁場が入り易くなって、垂直磁場の変動が交流損につながります。幅方向に均一な臨界電流密度分布を持っていると、その辺のところは大丈夫だけでも多角形になるので垂直成分がどうしても効いてくる。完全同心円状の真円断面になれば垂直成分は上の層には効いてこないが、多層化するときに、エッジのところでは垂直成分が上層の線材に効いてしまっていて交流損につながる。だから、多角形にすればするほど円には近くなるが、ギャップが増えていくと、またマイナス効果も出てくる。

【三浦委員】 それとのトレードオフ。

【塩原PL】 それとのトレードオフ。それともう一つは、2mmに切ったときのエッジの劣化部が、また悪さをするのでという。

【三浦委員】 2つあるのですね。

【塩原PL】 そういうところで、いろいろなものがトレードオフ関係にございます。交流磁場の変動が交流損になる。特に垂直磁場です。

【三浦委員】 それで、切って丸に近づければいいという話ですが、結局、切る時ののりしろとか、いろいろ話もありますので、やっぱり2mmぐらいが限界とお考えですか。

【塩原PL】 この後の変圧器の場合は、もっと垂直成分が効くので、2mmよりもっと細くしないといけないことになりますけれども、ケーブルの場合は真円形状に近づけるということで、トレードオフが一番合うところが2mm程度。ただし、もう一つ、ここで詳しく説明していませんけれども、比較的柔らかい可撓性のある線材は銅フォーマに沿わせて巻けますので、そうなってくると、4mmでもいけるわけですね。そうすると、2mmのエッジの劣化部がない、4mmの可撓性を使ったケーブルも考えており、すべて2mmがいいとはまだ言い切れません。ケーブル導体の交流損失の目標達成はしているので、これから後、数ヶ月のうちで方針を決定してケーブルに持っていく。先生がおっしゃるように、いろいろなトレードオフ関係をどう考えるかというのは、そこにあると思っています。沿わせて巻くのも1つの例。ただ、変圧器の場合、後で出ますけど、そういう風にはできないので、別の問題になります。

【三浦委員】 わかりました。それで、ロス、目標値に対しては、その形で何とかかなりそうだという話ですね。それで、ケーブルの場合、誘電体損失がありますよね。19ページですか、Tyvekで巻けば大分、誘電体損失が防げるという話で、だから、もしケーブルの交流損失低減の方があんまりうまくいかないのであれば、誘電体損失の方をもっと低減させるよう考えた方がいいのではと、これはちょっとコメントです。

それと、あともう一つは、コーテッドコンダクターの場合、要するにフィラメント化はなかなか難しいですから、これ以上、ドラスティックに損失を減らすことはちょっとできないですよ。例えば根本的に何か構造を変えとか、そこまでは、まだ求めないということになるわけですかね。

【大熊部長】 構造的な変更は考えてなくて、1つは、こちらの絶縁紙の方について言えば、66kVの方に

については、誘電体損が非常に小さいので、誘電体損がほとんど無視できるようなところなのですが、275kV ですと電圧が高くなりますので、その分、誘電体損が効いてくるということで、交流損を下げるといふよりもそちらの方でいけると思っています。

あと、交流損の低減につきましては、冒頭の実験結果の方で、 $J_c$  の高いものができれば交流損が減っていきますので、将来的に  $J_c$  の上昇分を見込んでみても、今、目標値の 2W/m とか、0.8W/m に収まっていくということで考えています。

【三浦委員】 わかりました。

【下山委員】 将来、超電導ケーブルを使うということになると、ライフラインになるわけですが、心配しているのは、温度の依存性というのは調べる予定はありますか。要は、液体窒素の温度というのは圧力によって幾らでも変わります。もちろん冷凍機で冷しながらでも、いろいろな事故で温度の変動があると思います。これは  $I_c$  がどれぐらいで設計されているのか、ちょっとわからないのですが、V 系の一番の悩みどころというのは、例えば温度が 82~83K になったらかなりまずいですね。そうなってくると  $I_c$  が下がり、交流損失がどんどんでかくなっていくので、だんだん暴走して飛躍的に過熱しちゃうようなことが起こりかねない。それに対して、どれぐらいの安全設計を見ているのかなというのがちょっと気になる。もしできれば、何か温度依存性みたいな評価ができれば、ケーブルとしてどれぐらい信頼できるのかははっきりすると思うのですが、その辺はどうですか。

【大熊部長】 こちらのプロジェクトは、1 つは、冷却に関しては、この中ではやってなくて、これまでやられてきたような実証試験、先ほどの Super-GM の結果とか、そういうところの冷却技術については参考にさせて頂いておりますけれども、こちらの負荷率とか、運転電流については、大体 50~60% の負荷率で検討して、その温度の検討というのは、こちらの方ではやってないです。

【塩原 PL】 ケーブルの冷却をどういう風に考えるかというのは当然長さとか、いわゆる交流損、外部侵入熱、そういうバランスを含めて、どこまでのケーブルの長さまで冷却できるのか。例えば液体窒素で圧送しようとするのと高圧にする。高圧にすると温度がつかい方向に行くわけです。ですから、初期はサブクール窒素にしておいて圧送していく。そうすると、何メートル後に圧損があつて何度まで温度が上がりますかという、元々の冷却の考え方は、先ほどのご質問あつた 500m のケーブルの中で、そういう技術そのものがある程度は出ております。

ここで重要なのは、ケーブルの中での、いわゆる発熱による交流損失という全体損失が幾らあつて、その中の液体窒素が入り得る断面積はどの程度あつて、どの程度の圧力損失に対していけるかというので、当然、温度に関しては 64K から 77K、それ以上に関しては出口の長さをどこまで長くするかの方角に行くと思います。

ケーブルの中でスラッシュ窒素を入れている一番の理由は、一番低い 64K まで落とせるところです。それが何メートルもつかという話は、当然ありますが、そういう意味での基礎基盤研究はやっていて、長尺冷却に関しては、Super-GM の交流基盤のプロジェクトの成果を使いつつ外部侵入熱や流体圧力損その辺のところは考えの中に入れていきます。

【下山委員】 500m 試験のときは、かなり電流値としては低いレベルの試験だったと思うんですけど。

【塩原 PL】 それに関しては、圧損という形でコルーゲート管の圧損、抵抗損がどうなるかという話であつて、まずはケーブルの中での流体が圧力輸送できますかというデータは、そのまま使えるわけであつて、その中の損失は、そのまま伝熱計算である程度いけるなと考えているということです。

【下山委員】 わかりました。

【和泉 SPL】 線材開発を担当しております和泉です。今下山先生のご質問に対して、線材側の立場からちょっとケーブルと強くリンクしているテーマもございまして、特性の把握ということで、経年劣化でしたり、それから  $I_c$  を超えたところで線材がどういう挙動を示すかというのをちょっと調べてい

る内容が我々のテーマの中にありまして、結論から言いますと、冷却とのバランスで温度が絶対値で大体 500K を超えないところまでは、1,000 時間以上、 $I_c$  を多少超えたところで電流を流していても、線材に対しての劣化はないというところが見えております。

【塩原 PL】 短絡で流れています。

【和泉 SPL】 だから、熱暴走が起きて、ドーンと温度が上がって行って 500K を超えてくると、線材に強く劣化が起きてきますが、その以前のところで我々が勝手に決めた  $I_c$  よりも高いところの 120% ぐらいのところでも、冷却とバランスさえしていれば、線材の方に劣化は長時間——長時間といっても、我々ができているのは 1,000 時間程度ですけれども、その程度、通電していても、材料に対する劣化はないというようなところまでは今見えているということで、あとは、このデータをもとにしてケーブルの方でどういう形で耐久性、安全性等を検証していくことになろうかと思えます。

【下山委員】 冷凍機の方は、やっぱりきついですよね、温度が上がってきたときは。

【塩原 PL】 定常と非定常、両方調べているということです。定常時と事故時の非定常時、ともに調べた上で。

【和泉 SPL】 先生の先ほど 80K になるというのは、いわゆる、ちょっと負荷率が上がってくることになるので、相対的には同じような関係になろうかと思えます。 $I_c$  を超えたところ、厳しいところに来ると。

【下山委員】 はい。

### 5.3 超電導変圧器の研究開発

実施者より資料 7-3 に基づき説明があり、質疑応答が行われた。

【室山委員】 冷却システムは難しいシステムで、設置後に定期的なメンテナンスも必要になってくると思うのですが、メンテナンス時の変圧器の冷却については、どのように考えているのでしょうか。

【林 SPL】 冷却システムの選定にあたっては、長寿命でメンテナンスフリーの条件下で世の中の各種方式を検討し、タービン方式でシールド部が非接触のものとなりました。動く機器ですから、ある程度のメンテナンスは必要です。また、冷却システムの一次系はネオン系で、二次系は液体窒素系として分離しているので、二次系を予備機と組み合わせるなどのメンテナンスに有利な形態も考えられます。さらに、冷却システム自体のメンテナンスサイクルは長くなるように設計していますが、メンテナンスの必要時に実機の運用に支障がなく、かつ短時間の停止でメンテナンスが可能な形態にしていくように、今から考えていこうと思っています。

【室山委員】 わかりました。あと、仮にポンプが停止すると変圧器本体は、どうなるのですか。冷却系が止まってしまうと、動かなくなりますよね。

【林 SPL】 そうです。

【室山委員】 それはどのくらいの時間で冷却系が止まると、超電導変圧器はすぐだめになってしまうというイメージなのですか。

【林 SPL】 個々の故障内容によりますけど、タービン方式は核融合研でも長期間運用されています。

【室山委員】 ミリ秒オーダーなのか、分オーダーなのか。

【林 SPL】 止まる時間ですか。

【塩原 PL】 今のご質問、冷凍機が止まる時間というよりも、冷凍機が止まった時の変圧器の液体窒素がどうなるのかということだと思います。

【室山委員】 そういうことです。

【塩原 PL】 先ほどの限流器動作のときには、一気に短絡電流を流したり、各種の試験もやっています。

高温超電導の一番のメリットは液体窒素の熱容量が大きいことなので、ある程度のエネルギーが熱として入ったとしても、温度は液体ヘリウムのようにはすぐには上昇しませんので、秒オーダー以上は維持できるという認識は持っています。ただ、1時間、2時間もつような期待はしておりません。

今後の研究の中で、どのような温度上昇になるか、サブクール液体窒素、液体窒素で、77K を超えるとどうなるのか、バブルがどうなるのか、絶縁破壊など、その影響について検討する予定です。その中で、高温超電導のメリットとして低温より1,000倍以上の比熱の大きな熱容量が使えるので、低温の液体ヘリウムのような反応(即クエンチする)は起きないと考えています。それを実験で確認することが必要だと思います。

【林 SPL】 電力システム全体から見たとき、設備計画では「N-1」事故の考え方があって、1ヶ所、不具合があっても予備機の過負荷で継続運転が可能な系統構成になっています。例えば変圧器が3台あるのも、そういう理由からです。また、変圧器は全てがピーク負荷で運転していることはないの、メンテナンスの時間は運用上は差し支えないと思います。既存の油式変圧器と同様なメンテナンスで対応可能と考えています。

【室山委員】 わかりました。

【三浦委員】 25ページの分割したときに各フィラメントの臨界電流の差が大きい。転位はインダクタンスバランスの話でやっていて、ヒステリシスの低減のために分割してやっている訳ですね。

【林 SPL】 そうですね。

【三浦委員】 大分劣化していますよね。足し算にはなっていないという話でしたよね。

【林 SPL】 はい。

【三浦委員】 そのときに、やっぱりロスには大分影響してきますか。

【林 SPL】 このバラツキの不均衡分がロスに影響してくるかということですか。

【三浦委員】 はい。

【林 SPL】 バラツキは、臨界電流が異なるのでロスに影響してきます。

【塩原 PL】 この図の下に書いてある、まず細線化することによって $I_c$  (臨界電流) がどう減少するかというのが一番、例えばPLD線材の場合には、もともと150Aが、すべての総和だと129Aですね。ただし、その上のところでは40A以上を狙っています。どういうことをいっているかということ、ミニマムの $I_c \times 3$ 本でないという意味がない。つまり、3本ともが超電導状態でないといけない。総和であったら全く意味がないので、ミニマム $I_c \times 3$ の方法で評価しています。そのため $I_c$ 値は下がっているという表現になります。

また、もう一つのご質問は、こういうバラツキがロスにどう関係するのか。当然、バラツキはない方がいいです。つまり、流れてもないのに線材のボリュームを増やすわけですから、その分ロスが大きくなるのは先生がおっしゃるとおりです。そのためには当然、均一化が重要になってくるのですけれども、定常時そのもののヒステリシ損を減らすには、ミニマム $I_c \times 3$ をまず定格で運転しないといけないということが重要です。おっしゃるとおり、バラツキはボリューム増加になり、ロス増にも影響するため、今後は均一化対策が大きな課題と考えています。

【三浦委員】 わかりました。

【林 SPL】 この例えば $10A \times 3$ というのは、この最低のところをとって、3倍して今のミニマムということですか。

【三浦委員】 そうということですね。わかりました。

【塩原 PL】 余っているところはボリュームが多いので、ロスにつながります。

【三浦委員】 この変圧器は、限流器の機能を兼ねているとのことですが、線材の安定化対応が多いと限流性能が低下するという話はよくあります。これに関しては、今回、限流効果が1/30になってので、

特に安定化とのトレードオフは考慮しなくていいのですか。

【林 SPL】 安定化の定義は、いろいろあると思いますが、今、線材の安定化の件ですか。

【三浦委員】 コーテッドコンダクターの上につけていますよね。

【林 SPL】 安定化銅のことですか。

【三浦委員】 今回、限流のいい性能が出ているので、特にそこら辺はそんなにシビアではない、金属系みたいにシビアではないと考えているのですか。

【林 SPL】 これは限流機能というのは、もちろん短絡電流に対して安定に運転はできなくてはいけないのと、それと積極的に抵抗を出してロス抑えるということで、きちっと本当は抑えてしてやらないかんですね。安定化はそこまでの耐力は要らないのですけどね。実際、この辺の電流というのは、計算値で、実際はこうですから、そういうふうになれば理想的ですけど、今はその安定化をもって限流機能を持てるような状況の巻線設計みたいなことを考えています。

【塩原 PL】 ちょっと補足させていただきますと、ご質問は、銀あるいは銅の厚みというものが常電導の抵抗に当然影響してくるので、限流効果と何十分の1というのが影響、普通はしてきますよねと。それに対して、今、これだけの何十分の1かになっているので、今、この設計でできるだろうというところはあります。ただ、従来の限流器と一番違うのは、変圧器には必ず励磁突入があり、そこで限流が起きると困るので、そのトレードオフの条件下で、どの程度までの安定化層をつけるかというのは当然、普通の限流器以上に厳しい。

それから、無誘導巻きは一切できませんので、そういう観点で安定化銅、銀の厚み、あるいはそういうものを含めて、ある程度のラフな計算の上でやったところ、こうなった。もうちょっと詰めていく必要はあるかと思います。ただ、現状のところは、それほどシビアに考えなくてもいい。ただ、先ほどおっしゃったように、細線化した上でどうするかという話の中には大きな問題があるかもしれません。それは今後の課題だと思います。

【三浦委員】 わかりました。

【塩原 PL】 限流機能の評価に関しては、できているということがまずあります。ただ、その目標以上に、さらに効率を上げていこうとするならば均一性が必要だし、そういう風な課題は、まだまだ実用化、普及・導入までには残っていますよと。ただ、今回の検証においての目標値の達成、つまり、十分、他の機器との競合できるレベルは検証できたと考えています。

【林 SPL】 今回、限流機能の最適化までには至っていません。しかし、現象としては確認し見極めていること、理論的にも押さえていることから、今後、最適化ができると考えています。

【嶋田分科会長】 実証するということですね。

【林 SPL】 今回、小規模モデルで実験値と理論値の整合はとれましたが、工程が全体的に少し前倒しになったため十分な実証はできていません。

【嶋田分科会長】 まだ中間ですからね。

【林 SPL】 はい。

【嶋田分科会長】 配電用の変圧器を、今も 99. 何%いっているのを、0.5%効率を上げるために超電導を導入するかということですよね。

【林 SPL】 はい。

【嶋田分科会長】 42 ページに単相変圧器で、鉄道総研が単相用の開発 2005 年というのがあるでしょう。それはもう明らかに導入するところがあるわけですよ。そういうのがありながら、ここで配電用変圧器をやる必要があるのか疑問です。

【林 SPL】 単相、電圧構成など殆ど仕様が異なります。なお、鉄道用でも数 MVA はあったと思いますけど。

【嶋田分科会長】 変圧器を搭載する新幹線車両では3分の1が変圧器ですから、たとえロスが多くても変圧器を小型化したいというのが鉄道の要求で、そういうところには超電導変圧器が最初に入っていく余地は十分あります。

【林 SPL】 プレゼンの冒頭に、配電用変圧器に関して、小型化は同一スペースで容量が増えることと同じことなので、リブレース時期を繰延べ可能、地下式への適用が有利などのメリットを紹介させていただいたつもりです。

【嶋田分科会長】 それですと、大きくなると無理かもしれないけど、今、原子力発電所の単機容量を180万kWに上げようという、そういうときに運べる変圧器は超電導変圧器しかありませんよとかの言い方ができないのですか。

【林 SPL】 まあ、そうできればいいんですけど、原子力発電所はスペースたくさんありますから、設置スペース面では問題ないと思います。

【嶋田分科会長】 いやいや、工場から鉄道で運べる大きさ。まあ、船でもいいけどね。船なら幾らでも運べるか。

【林 SPL】 また、原子力発電所では利用率は100%（運転時）近くあり、超電導としては最も良い条件とも考えられます。

【嶋田分科会長】 ちょっと目標が難しいね。という感じがします。

【林 SPL】 鉄道用の効果をおっしゃいましたが、変圧器は各種の用途があります。特に工場などの変圧器の利用率が高いところでは、超電導のメリットが多く出せます。

【嶋田分科会長】 それで限流効果を組み合わせたのだと思いますが、限流機能付変圧器の設置点から下（負荷側）の機器の短絡容量が要らなくなるので、その経済効果も含めて欲しいですね。

【林 SPL】 わかりました。

【嶋田分科会長】 どの変圧器も、どの遮断器も、その下の機器はみんな、0.1秒間ぐらい、定格の何倍も、10倍ぐらい流せることがスペックとされており、力学的に大変なことをしています。それが上流にその限流機能付加変圧器が入って、定格電流の3倍程度で常に終わるということになれば、その経済効果は随分あるはずですよ。

【林 SPL】 もちろん、それは存じていますが、技術基準に抵触することですし、大胆な話なので説明はしていません。それをすれば、今、6.7倍の短絡電流が1/30になれば、機器定格は6倍が1倍でいいわけで、機器耐量は現在の20%程度で済みます。

【嶋田分科会長】 全部安くできる。

【林 SPL】 それはものすごく大きい効果です。

【嶋田分科会長】 そうです。

【林 SPL】 しかし、そこまで話が行くには限流機能の信頼性が必要であるため、控えていました。そういうご意見があったということは、わかりました。

【下山委員】 先ほど三浦先生が聞かれた抵抗が出てきている曲線がありましたね。MOD線材とPLD線材で抵抗の出方が違いましたけれども、二十何ページか……。

【林 SPL】 さっきの細線化の分ですね。

【下山委員】 これは初めから抵抗が出ている方がMODだと思うのですが、何ケルビンまで下げても、その形は変わらないと思うので全く使えないと思います。この実験というのは、そもそもどちらの方で使ったものを使うかという選定のためにやったわけでは多分ないとは思いますが、いい方を選ぶとしたと思うのですが、悪い方が見つかったという印象でよろしいのでしょうか。同じような格好をしたときに、かなりの違いが出ていますよね、加工前と加工後の変化。ゼロAちょっと過ぎた段階でも抵抗が出ていますね。この辺の違いというのは、かなり深刻だと思うのですが。

【林 SPL】 この後、和泉 SPL から線材のこの辺の進捗状況の話があると思います。本データは、各線材の特性を向上させている過程の段階的な特性のため差が生じています。また、MOD 線材は機器コスト低減に効果が大きくなると想定されることから適用対象としています。

【下山委員】 こういう I-V カーブが生々しく出てくるのは殆どない。1 $\mu$ V 基準での  $I_c$  とかで数字だけ示されることが多いので、生を見るとよくわかります。ありがとうございます。

#### 5.4 超電導機器用線材の研究開発

実施者より資料 7-4 に基づき説明があり、質疑応答が行われた。

【喜多委員】 低コスト化に関してですが、線材は安ければ安いほどいいという要件はかなり厳しいと思うのですが、いろいろな SMES、ケーブル、変圧器の中での線材トータルのコストのパーセンテージと見ますか、線材が、例えば 0 円になっても、そんなに値段は変わらないよというような状況ならば、かなり厳しいと思うのですけれども、その辺はいかがでしょう。

【和泉 SPL】 むしろ私よりも各サブ PL の方々から答えていただいた方がいいかと思うのですが、まだ正直言うと、線材の値段というのはキーになっています。線材は安くしていかなくちゃいけない。今回、設定しております 3 円/Am というのは、それぞれの機器を実用化に持っていくための必要条件としていただいている数字でありまして、それ以降、それをスプレッドさせていくためには、より安い 1 円台になるような線材が求められるというのが今課せられているタスクだと認識しております。

【下山委員】 PLD 法と MOD 法の、今後、用途の棲み分けと見ますか、使い分けはどのような目標がありますか。

【和泉 SPL】 現状でいきますと、一言で言いますと、特性を非常に高いものを求められるものが PLD 法、比較的安くてコストを求められるものが MOD 法というところかと考えております。なぜかといいますと、長尺における  $I_c$  としても、今いいものが出ているのが PLD 法で、なおかつ磁場中での特性の劣化度、磁場をかけていったときに、どれくらい落ちてくるかというのは手法によって依存性がございしますが、比較的、PLD 法の方が全体的に、磁場に対する耐性というのが強くなっています。それに対しまして、MOD 法は、装置上、非常に安くなっていますので、これから条件を、まだ緩い条件でするので、高速化していく、また、 $I_c$  がまだ上がっていくということで、まだ低コスト化が期待できるプロセスとして、安い線材に対しては MOD 法の方で期待するということなんです。ただし、若干残念ながら、磁場をかけたときの特性の劣化というのは少し PLD 法よりも大きい。これをピンでどれだけ補えるかというのが、これからの課題だと思っています。

【下山委員】 実用的な観点も考えますと、例えば 77K で 30A/cm-w という値というのは、あまり魅力がない、逆に言って。どちらかという、 $J_c$  で例えば 1 万ありますとか、そうすると、いろいろな機器に使ってみようという気がしますので、その条件をいかに広げていくかというのが多分重要じゃないかと思っています。例えば、さっき膜厚を変えるとピンの効き方が変わるという話もありましたけど、SMES の場合は非常に低温で使いますから、あまり膜厚がなくなると、ボルテックスの性質というのはピンが効きやすくなる。一方、65K とか 70K ぐらいの運用になってくると、膜厚がものすごく重要な意味を持ってくる。薄い場合には全くだめで、厚くなってくると、どんどんよくなってくるとかですね。そういういろいろな特徴がありますので、例えば今、77K の評価、もう少し短いレベルでもいいので、温度と磁場の関数として、この線材はこれぐらいのフィールドまで使いますよという、何かマップをつくられた方が見えやすいような気がするのですが。

【和泉 SPL】 下山先生のおっしゃることは、よく理解しているつもりです。用途によって磁場、温度が

異なってきた、それによってピンの効き方が変わってくる。そうすると、我々がつくるべき線材というものの目標も変わってくるというところだと思います。このプロジェクトを開始した段階で、すべてを20K等の低温に持って行って評価することができないので、指標として77Kでの3テスラというのを設定してやっておりますが、この過程で、やっぱり今言われたようなことが非常に顕著になってきておりまして、高温では効いていたけれども、低温で逆に効かなくなってきたピン止め点も存在します。今まさにそこら辺のマップをつくって、ほんとうに必要な、我々がコントロールするべき組織というものを考えていこうという段に来ております。

【下山委員】  $J_c$ に指標を変えてみるというのは、いかがですか。

【下山委員】 今のところは $I_c$ でいっていますけれども、 $J_c$ に指標を変えてみた方がいいのかもしれない。

【和泉 SPL】  $J_c$ となりますと、基板の厚さ、安定化層の厚さ、これが非常に効いてきますので。

【下山委員】 まあ、そういう意味では $J_c$ かな。そうしますと、 $J_c$ で1MA/cm<sup>2</sup>ぐらいですかね。

【和泉 SPL】 ただ、実際に機器の方で欲しいのは、1本に何A流れるかと思います。

【下山委員】 そうです。

【和泉 SPL】 一方で $J_c$ の考え方も、よくわかります。コンパクトにするためにという意味では非常に重要な指標になってきます。

【下山委員】 いずれにしても、もう少し魅力的な数字、例えば $I_c$ が今30Aを目標にしていますけど……、ああ、50Aとかですね。

【和泉 SPL】 77K、3テスラで。

【下山委員】  $I_c$ は、やっぱり80Aとか100Aぐらいが、どこまで実現するかという。

【和泉 SPL】 もちろん温度を下げれば、そこまですみますので、例えば50K応用だったら、40K応用の回転機に何か使いましょうみたいなところを考えた時に、これはどのようなポテンシャルを持っているのか。それから、もっと低温に持っていったときに、SMESの本場の今使おうとしているところに、今、この30Kのこの線材はどんなポテンシャルを持っているのかというような評価というのは必要になるかと思っています。ただし、残念なことに、それ、長尺物で出来ませんので、短尺で今まさに進めているところでございます。

【下山委員】 わかりました。1つコメントで、我々なんかも似たような研究をやっていて、イットリウムの123というのは一番悪いと思っていたら、実は50Kより下でガドリニウムの123よりいいとか、変な現象が起こるのでですね。イットリウムの123の方がピンが効きやすい。

【和泉 SPL】 ああ、そうですか。

【下山委員】 ええ。いろんなことがあるので。

【和泉 SPL】 今回、DOEのピアレビューに行ったときには非常に興味深いデータが出てまして、77Kではガドリニウムが良いのだけど、それ以下にするとイットリウムが逆転する。

【下山委員】 そう。それは単結晶でもバルクでも確認されています。ですから、そういうことを踏まえて、ちょっと材料の選択もやっていただけたらと思います。

【三浦委員】 ちょっと細かいところですけども、20ページの、交流帯磁率で損失評価していますよね。

【和泉 SPL】 はい。

【三浦委員】 これで下がるのはわかるのですが、これ、変圧器用ですよ。基本的に変圧器って、そんなに磁場かからないので、セルフフィールドロスが主になりますよね。まあ、少しは磁場かけますけどね。そのときに、これ、線をただ分割しただけで、実際、通電するわけで、これでほんとうに、交流帯磁率だとヒステリシス損で出ていますけど、ほんとうにロス下がるのかというのが、ちょっと疑問に思ったというのがあるので。長尺で測れるということも言っていましたので、ぜひ通電法でロスを測って、本当にその分割の効果が、まあ、磁場が強ければ出てくると思うのですが、それをちょっと

確認していただきたいなというのがあります。

【和泉 SPL】 今日紙面の関係で、すべてをご説明できなかったですけれども、これまでも鞍型ピックアップコイルとあって、やはり交流磁場をかけてヒステリシス損失をはかっている。これが短尺評価でして、それを長尺に持って行ってコイルに巻いて、ロスが下がるまで検証しております。従って、基本的に、磁場ではかったもので下がっていることが、長尺に持っていったときに全く違う現象を起こすとは今のところ思っておりません。ただし、それができたのは、長さが7mぐらいのやつをジョイントしながら組んでいったコイルなので、本当に必要な変圧器用の線材というのは、長いものを1本物でちゃんとコイルにしたものです。そのときの磁場も、今考えていますような0.02テスラとか、0.1テスラとか、弱磁場でもエッジのところになりますと垂直磁場が入ってきますので、そこでのロスがベースになってまいりまして、それで評価することが必要です。ですので、一応できると思っておりますが、ただし、これは実証しなきゃいけないので、この50m線材を持って行って、なおかつコイルにして電流を流してロスを評価しようと考えております。

ただし、この長さですと、発生磁場が十分ではなく実態のロスというのが評価できないかもしれないのですが、均流化できているということは、原理的にはロスゼロになっているということと一緒にありますので、以前もそういう評価をしておりまして、そういう形で九州大学に持ち込んで評価をしようとして今、考えているところです。

【三浦委員】 わかりました。あともう1点だけ。先ほどもちょっと話ありましたが、分割すると各セグメントのV-I特性が変わってきてしまうと。実際、通電で流したときに、これ、非常に小さい電圧なので、応用にとっては、そんなに支障ないかもしれないのですが、このV-I特性、少しは効きになるので、その辺が、だから、通電損失にどのぐらい影響を与えるのか。与えなければ別にこのままでいいと思うのですが、その辺もできたら評価していただきたいなと思います。

【和泉 SPL】 今、I-V特性を変化させる要因としては、やっぱり線材の中で不均一があって、5分割したときに必ずしも $I_c$ 特性が均一ではないので、切ったときに弱いところが端にあると、そこが非常にまず落ちてしまいます。

その次に、切ったところから、今エッチングしている液が横に入っていくという現象が少しあります。それは結晶性が悪かったり、それからMODなんかでは特に顕著で、先ほど下山先生の方からご指摘あったのは、エッジの方で少し盛り上がり厚くなっていると、クラックが入りやすくなったりするんですね。そういうことがあると、そこからダメージを受けやすいというのがあって、解決はしなきゃいけない問題だと思っております。まさに、ここのところは均一化をより進めて行って、それから加工の方の技術を上げていく予定です。究極は、ちょっと非公開のところでお話しようと思いましたが、エッチングにかわるような技術開発をして、この横に入っていくようなことが完全になくなるような技術というのを開発していかなければと、今、進めているところであります。

【下山委員】 剥離の話がさっき出ていたと思うのですが、表面の改善というか、そういうことについての方向は今、示されなかったのですが、いかがですか。

【和泉 SPL】 剥離という言葉であっても、どこで剥離するかによって原因が変わってきておりまして、実は与えられる負荷によって、それから線材種類とかって、まだ特定できてない部分がございます。例えばMOD線材は、超電導と銀のところ剥離しやすいみたいなことがあって、これは比較的、MODというのは下から成長して、上に要らないものが溜まるような傾向がありますので、ここでの密着性が悪いとか、抵抗が若干高いとか。それから、下地のところでの中間層と超電導層と、それから金属基板と中間層、いろいろなところがあります。下の方であり得るのは、熱膨張率が違うようなところで急激な温度変化で、そういうものが入ったりする可能性があるかなというようなことを考えています。もっと言うと、銅をつけるときの条件で、ハンダがランダムについていたりとかいうことでも剥

がれたりしているというのがあって、それが見えて問題化してきているのがつい最近でありまして、今、問題をちょっと整理しているところであります。

先ほど長屋 SPL の方から PLD 線材でという話もありましたが、あれ、ワントライですので、今の段階で言うと、あの原因をもうちょっと突き詰めていかないと、線材起因なのか、それとも後からの加工起因なのか、線材の構造によるものなのか、そこは今、一概に線材種が原因であると私のは思っていないので、しっかり原因は追及していかなきやいけないかなと思っています。

【喜多委員】 13 枚目の耐久性試験ですけれども、それぞれ、例えば or でおそらくクリアすればいいということでしょうけど、例えば湿度で若干劣化したようなものがいろいろな歪みを受けたり、and で効いてくるような場合というのは、これは想定されないのでしょうか。

【和泉 SPL】 申しわけありませんが、時間的な問題があって、今のところは個別試験になっていまして、今、ようやく複合試験の方に入っております。例えば曲げた状態で少し負荷がかかっている状態で湿度劣化を与えた場合に、フラットな場合と挙動が違ってくるか否かというようなことというのは1つの線材においても必要になってくる。実は、この特性把握の後半でのターゲットというのは、そういう複合効果と、今、ケーブルで必要とされる耐久試験みたいなものはやったのですが、それに加えて、ほかの機器で特別に必要となっているものをそこに加えて、耐久試験なりの特性把握をしていこうというのが次のテーマとして挙がっているということで、後半の2年間にそのところを少し詰めていくと考えております。

【室山委員】 今の関連ですけれども、耐久性試験で非常にいい成果だと私は感じています。

【和泉 SPL】 ありがとうございます。

【室山委員】 今ここにご紹介いただいている結果が 275 kV の高電圧ですけど、ほかのものについてもやられていると考えてよろしいでしょうか。

【和泉 SPL】 今回のテーマ、ケーブルに対してはいずれも目標値として我々設定しておりますので、今回、ちょっと時間の関係で 275 kV にフォーカスしましたけれども、原簿の方には両方とも載せてありまして、最終的には同じように条件を設定しております。大きく違うところは、過電流に対する耐性というところで条件が違ってきているところが主に違うところでありまして、他はほとんど同じような条件です。

【室山委員】 わかりました。ありがとうございます。

## 5.5 超電導電力機器の適用技術標準化

実施者より資料 7-5 に基づき説明があり、質疑応答が行われた。

【嶋田分科会長】 私はあまりこういう方面は、開発の最前線にいたもので詳しくないので、私の思うところはちょっと違うかもしれませんが、やはりこういう委員会でも国際的に輪を広げまして、そこでの人と人のつながりというか、そういうのが非常に重要であると思います。ですから、日本が幹事国になり、それからセクレタリーを提供するとかいうことで、決まった人がいつも同じ会議に行って、向こうも同じような人が来て、そして多分、会議の前にいろいろ下打ち合わせや段取りなんかで、ほとんどのことは決まるというような。

【三村部長】 はい。まさに先生のおっしゃるとおりでして、正式会議前の準備段階のネゴシエーションを非常に丁寧にしつつこくというか、やらないと会議で賛成はいただけないということで、先生方には、非常にその辺のところ、ご尽力いただいているところです。

【嶋田分科会長】 是非とも長く1人の人にその委員をお願いして、例えば会社ですと、3~4年でポストが

変わったり、昇進したりして別の人が来る、または、いけないのは日本の国のお役所の人はしょっちゅう変わるのも、また、その場で何も答えなくて持ち帰って答えますみたいな、そういうのではなくて、専門家の人がずっとそれをやっていて、そこで答えたやつが最終的な答えであると、信頼がだんだん集まってきているのではないかと思うのですが。

【三村部長】 そういう先生方に相当ご尽力いただいています。

【森分科会長代理】 おそらく分野によると思いますけれども、分野によっては非常に競争が激しくて、国の反対が、対立するということもあれば、わりあい素直に、わりとスムーズにすっと通ってしまうということもいろいろあるかと思います。今回の場合、ライバルが実はあまりいないような気がするのですが、それでもかなり対立と申しますか、ネゴシエーション、かなり厳しいものがあるのでしょうか。それとも日本の提案がいくのか。これが1点です。

もう1点は、規格が通ったときに、できるだけ間髪を入れずに日本が製品を出せないと何にもなりませんので、その辺の兼ね合いについての見通しをちょっと何か、ご感想でもお聞かせいただければと思います。

【三村部長】 それでは、最初のご質問ですが、超電導の方でも、実は線材の方は対立軸があります。商売になっているのは金属系の低温超電導ですが、それを取り込むか、取り込まないのかということで非常に議論になっておまして、日本からの提案は、やはりユーザーからいくと、高温だろうが低温だろうが超電導線ということで、ユーザーの観点から立つと、やはり一本でやった方がいいだろうということで日本は提案しているのですが、アメリカとか、それからヨーロッパは反対されています。アメリカの方は、少しずつ考え方が変わってきたかなというところでございます。

それから、比較的うまくいったという例は、これは実際やられた先生は非常に大変だったと思うのですが、電流リードです。これは簡単ではなかったと思いますが、早く標準規格が成立いたしました。これはあまり対立がなかったということも1つにあるのですが、ちゃんと製品ができていたということで、必要性和、それから皆さんの国際合意が早くできたという一例だと思います。

ケーブルにつきましては、今まさにいろいろと検討しているところです。これは国際間の駆け引きはありそうです。

2番目のご質問で、日本がせっかくとったのに、それが商売にならないとどうするということに対しては、金属系の超電導はもう個別のMRIとかNMRとか、そういう個別の市場ができておりますので、あえて国際標準というところまでいなくても製品が流通していますけれども、酸化物の超電導超電導ケーブルですとか、そういったインフラ関係になりますと、やはり国際的な流通するような手段になると思いますので、高温超電導に関しては、絶対にこういった国際標準というのは今後必要になってくると思っております。

【三浦委員】 環境関係の標準化もやられるということで、非常にいいことだと思うのですが、今、超電導の材料をつくっていますよね。

【三村部長】 はい。

【三浦委員】 それのリサイクルとか、そういったのは、どういう感じになっているのか。

【三村部長】 その辺のライフサイクルコストということで、排出コストとか、そういったものも調査を今、しているところで、まだ具体的な数値とか、そういうものはちょっとはじけていないのですけれども、できるだけそういうものを標準規格に織り込んで、超電導の線材とか機器というのは、こういう環境にも優しい商品だというようなイメージを盛り込んだ規格にしたいと思っております。

【三浦委員】 特に今話題になっているレアアースを結構使っていますので、実際つくられた機器は当分使うので、それは良いのですけれども、それまでの試作の段階で、いろいろ要らなくなったものとか出てきますよね。

【三村部長】 はい。

【三浦委員】 そういったのも、できれば何かこういうのはこういう風にやればサイクルできるというのができてくると、超電導が環境にも優等生だというような裏の面からも言えるかなという気がしますね。

【三村部長】 一応規格の中に、そういうドキュメントというか、文言を入れようと我々は考えていますが、まだ実績がないもので、あまり規格の方で先走ってもあまり実がないとは思いますが、一応さりとそういうところは入れたいなと今思っております。

【喜多委員】 信頼性とかに関してですが、先ほど和泉 SPL の方から、いろいろと各機器に応じて要求される信頼性の項目が出てきたと思うのですが、その辺は、これの通則素案ですね、その辺は何か取り込まれているのでしょうか。

【三村部長】 はい。ちょっとタイムラグがございますけれども、例えば線材の方でいきますと、このグループに入っていただいております機器側の方の委員の方々から、各機器の要求事項というようなものを出していただいております、その中にいろいろ、耐久試験とか、そういったものを織り込むような形で調査しております。ただ、プロジェクト前半につきましては、1 回サーベイしたというところがございますので、後半戦は、先ほど申しましたように試験の方にもう少し重点を移したような技術調査を再度——先ほど和泉部長の方からありましたケーブルにつきましては、耐久試験、ああいった成果は前半戦ではまだ出ておりませんでしたので、後半はそういったものを取り込んだ形で、測定方法の標準の素案にそういった成果を反映させていきたいと思っております。

【嶋田分科会長】 私もつい最近、ドイツのアーヘン工科大学に行って、あそこは電力機器のいろいろな、省エネとか、またスマートグリッドの試験場として大学校内がもう発電所になっています。大学内でやると、すごく公開性があり学生がそこにいるので嘘はつけない、学生は正直ですから。そういうところでやるのを見せながら、多分それも戦略だと思うのですが、国際標準化をいろいろリードしていこうというやり方がありますね。

だから、日本もぜひ大学、狭いからそんな場所ないのですが、必要な試験はドクターの学生にとってはちょうどいい仕事になりますので、手間のかかるような仕事でもいいですから大学におろしてくれるとその場所を見てくれる。そこにはどの企業の人も、また、どの国の人も気楽に入っていくと、いろいろそこでディスカッションできると。また、外国の留学生も、そこに加わって、もちろん中国や韓国やアメリカや、そういうところの留学生も一緒にいるところでやっていると、あれは本物だねと、ほんとうのデータだね、それを積み重ねて、ここに出てきたというのがあって、そういうのも大事だと思います。それぞれ企業の中でやったデータが出てきましたといっても、そうですかという訳には、なかなかいかないと思います。

我々も核融合で JT-60、世界最高のデータを出しましたと言っても、なかなか、アジアのあんな国から来たデータというので信じてもらえなかった時があるのですが、そこに必ずヨーロッパから、アメリカからの研究者も一緒に研究して、その人たちが国際電話でいろいろ、裏事情の説明してくれると、すぐそれで通るといようなことがありましたね。そういうことで、国際標準をやるときには、ぜひそういう大学の場とか。

それから、日本は、産総研みたいな機関がそういうところを主にやらなければいけないのでは。風力なんかでは、ドイツはカッセルに IWES というウインドーエナジーの研究所があって、そこはもう国際標準をやる、もちろんドイツの風力技術は世界一だろうと思いますけど、その上に更にやるということで、いろいろな太陽電池パネルとか、そういうものを持ってくると、屋上に置いて、1 年間使って、当社比でないものを——当社比というのばかり日本は多いんですけど——出すというのをやって、多分それは相当、国策的にお金を出しているんじゃないかと思えますけどね。そういうのをやってもらいたいと思います。

【三村部長】 産総研のお話が出まして、ちょっとだけ産総研のお話をすると、こちらの方は、あまり産総研の先生方に参画していただけていないのですが、TC90の国際・国内委員会の方には産総研の先生、数多くご参画いただきまして、国内の審議をしております。

【嶋田分科会長】 そうですか。はい、わかりました。

(非公開セッション)

6. 全体を通しての質疑  
省略

(公開セッション)

7. まとめ・公表

【室山委員】 私の結論的には、非常に期待が持てる結果が得られているなと思っています。最初ご説明いただいた目標設定から、そのプロジェクトの推進、それから、いろいろな達成成果を見ましても、非常にうまくいっているのではという感想を持っています。

あともう一つ、特許については少ないというコメントが委員長の方からありましたけれども、論文発表とか、そういうのを見ますと、400件近く出ているので、これに実際に携わっていらっしゃる多分若手の大学の学生さんとか、それから企業の研究者、そういう人たちの育成ですとか、それから技術力の向上とか、そういうすそ野のアップ、そういうところにも非常に貢献されているのではないかと思います。

あと、導入先がこれから難しいというような話もありますが、とにかくどこかできるところを見つけて、ものをつくって、入れて、実際見せてほしいと感じます。特に、私の関わっているデータセンターとか、そういうところにも省エネに貢献できるようなソリューションとして、ぜひ導入できる日が来ることを切に願っているというような状況でございます。

【三浦委員】 詳しい説明、どうもありがとうございます。私の方も、いろいろ見せていただきましたけど、非常にいい結果が中間発表としては得られていると思います。それで、NEDOのこの高温超電導の88年から要素技術とかがいろいろ始まって、今回はほんとうにターゲットをしっかり持ってやられているなという感じを受けております。それで、この高温超電導体を、このシナリオに沿って、ぜひ実用化していただきたいというのが、私というか、皆さんの願いだと思いますので、今日いろいろ質問されたことを踏まえて、ぜひ実用化に向けて努力していただきたいと思います。

私もいろいろ勉強させていただきましたけど、非常にいい結果が今得られていると思いますので、外国のメーカーにとにかく負けないように、日本独自の技術ということで実用化をぜひお願いしたいなと思います。

【下山委員】 本当はもう1日ぐらいあると深いディスカッションができて、非公開の時間がもっと長いとおもしろかったと思います。中間目標に対しては、ちゃんと進捗があるということがよくわかりまして、逆に非常によく進捗している中で、1つや2つ、もっと飛び抜けて素晴らしい結果が出てきていてもいいのではないかなと思ひまして。今、最初、基礎固めの3年間で致し方ないと思いますけれども、あと2年間のプロジェクトの中で予定にない高い数値が出てくるような、みんな元気になるようなのも含めて進めていただけたらいいのではないかなという感じがします。もっとアピールして。

正直言って、この3年間、比較的このプロジェクトの活動って地味に映りました。ですから、もう少し派手に見える方向に動いていただけるといいのではないかなと思いました。特に日本の中で一番、この超電導の活動ぶりを示すインパクトのあるプロジェクトですので、そういう自負を持っていただいてやっていただければと思います。

**【佐藤委員】** 先日の現地調査会から今日のご発表まで通して、線材開発から製品まで、非常に幅広く、かつ着実に成果を上げていることはよく分かりました。ただ、聞いておきまして、出口の製品のシステム設計でしょうか、あるべき姿、あるいは目指すべきスペックから逆算した、例えば線材の開発になっているのかなということが先日来ずっと気になっておきまして、今日、線材のところ、各機器の方から線材のスペックを求めるところなると。それをもう一度並べかえて、こういう開発をしたというところで非常によく分かりました。そこは非常に良かったのですが、ただ、やはり最終的な目標が、電力ケーブルですと断面積が1/3相当、変圧器だと重量が1/2で設置面積が2/3とか、現在あるコンベンショナルな機器のリプレースのスペックでやっているの、ある意味、非常に現実的とは言えるのですけれども、でき上がって、それを本当に、今日も何度もいろいろな委員から質問がでてきましたけど、置きかえてもらえるのかという不安みたいなものが残りました。

今日の間目標と、それから最終目標は、これはNEDO委託事業では、こういうある意味、現実的なスペックでやられるのは仕方がないことだと思うのですが、電流密度を1桁上げたら、あるいは重量を1/10にしたらという、超電導でなければできない革新的な参考値に—これを達成しろとは言わないですが—あるべき姿みたいなものがあって、それで、今回のプロジェクトは、その目標100に対して最終目標が50を、現実的なところを狙っていましたが、中間目標としては、そのどこまでいきましたということだと非常に何か期待が持てるのかなと。今、これで私の総合的な評価としては非常によくやられていらっしゃるという評価ですが、最終目標のところはコンベンショナルな機器と同じなで、何か世間からの注目度がそこで下がってしまうのではないかなということで、先生と同じような感覚を持ちました。

**【喜多委員】** 今日のご説明、いろいろとありがとうございました。目標設定も極めて現実路線に沿ったものですし、今後のエネルギー需要を考えると、非常に期待される達成度だなと思います。今、佐藤先生にありましたように、やはり超電導という、もう少し夢があるなというイメージがいつもありまして、既存のものに今のように置きかえていただけじゃなくて、超電導しかできないものを一般社会にアピールして、いわゆる一般人にも超電導をもっとすぐアピールできるような何か現物を早く社会に出していただきたいなと、その辺は強く感じました。ぜひ今後の成果を期待しています。

**【森分科会長代理】** ほんとうに、いい意味でも悪い意味でも言ったら失礼かもしれませんが、足が地に着いたプロジェクトで、ここまで来られたということは大変に感銘を受けております。四半世紀前に高温超電導の現象が発見されてから、それから線材だけではなくて、その周辺機器もやっぱり要るということで実用化して、そして2020年に導入するという、そのはっきりしたターゲットを持ってやってこられたということは、ちょっと失礼な言い方になるかもしれませんが、NEDOらしくないといえますか、そういうプロジェクトであったような気がします。ムーンライト、サンシャイン、それから太陽光線、大コンピューターとか、いろいろありましたが、向こうはちょっと夢を語り過ぎて、それに対して、こっちは足が地に着き過ぎたかなというような印象もちょっとなくは、どうしてもそれを思ってしまう。でも、とにかく、ものにならなければ話になりませんから、その点はほんとうに高く評価されるべきだと思います。

ただ、私もほかの先生方と同じように、ここまでできているなら、どうしてもっと大きな夢を海外に売り込んでくれないのだろうかというような、そういう気持ちがどうしても出てきてしまいます。ここまでR&Dとしては大変優れたものだと思いますが、次はおそらくマーケティングを一体誰に何を売り込むかという視点が、これは一段と、このプロジェクトを日本発の超電導技術というためには、何かその辺の視点が必要になっていくのではないかと。超電導というと、一方では、いつもマイスナー効果ばかりテレビで見ても、片方は非常に地味な既存の機器のリプレースとなりますと、何かもう一つ欲しい気はどうしても私はしてしまいますので、何かその辺りもご検討いただければと思います。

【嶋田分科会長】 みんなに言われてしまって、何も私、言うことないのですが、どうもシーズプッシュ・ニーズプルと言われてはいますが、シーズの方がどんどんできて、それは良いのですが、ニーズプルがないと、どうしても世に出ないですよ。先ほど森会長代理が言われましたけれども、出口に向かって、本当に企業家、またはこれを使いたいという、そのスポンサーを、エンジェルを探さないとだめですね。それは多分、日本にはいない。それは電事連とか、そういうところは電力税など、それで役に立つ研究しか認めないのかもしれないし、海外展開は外務省の仕事だといって及び腰なのかもしれないけれども、それではだめで、世界に日本がリードできる珍しい分野なので、それを活かすためには、標準化もそうですけれども、世界と手を結ばないと、どうにもならないのですよね。

新しい技術を喉から手が出るほど欲しいという人たちが中国やインドにおります。私も一月前ぐらいにムンバイに行ったのですが、もうトランスから湯気が上がっている、そういう所です。どんな技術でも持ってきてほしいと。そして、欧米の使い古しのものを持ってこられては嫌だと。それは植民地でさんざん経験しているので、日本、アジアから新しい技術が欲しい、一緒に開発しよう、そういう機運がすごくあります。インドの大金持ちがポンと1,000億円位出してくれますから、そういうのを探す今後の2年間にしてほしいなと思いますので、よろしくお願いします。

#### 8. 今後の予定

- ・今後の予定について事務局より資料8に基づき説明が行われた。

#### 9. 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 事業原簿（公開）
- 資料 6 プロジェクトの概要説明資料（公開）
  - 4.1 事業の位置付け・必要性および研究開発マネジメント
  - 4.2 研究開発成果及び実用化の見通し
- 資料 7-1 プロジェクトの概要説明資料（公開）
  - 5.1 超電導電力貯蔵システム（SMES）の研究開発
- 資料 7-2 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
  - 5.2 超電導電力ケーブルの研究開発
- 資料 7-3 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
  - 5.3 超電導変圧器の研究開発
- 資料 7-4 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
  - 5.4 超電導機器用線材の研究開発
- 資料 7-5 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
  - 5.5 超電導電力機器の適用技術標準化
- 資料 8 今後の予定
- 資料 9 事業原簿（補足資料）（非公開）

以 上