

研究評価委員会

第1回「超電導技術開発／高温超電導ケーブル実証プロジェクト」(事後評価)分科会 議事録

日 時 : 平成26年9月3日(水) 10:00～18:00

場 所 : WTC コンファレンスセンター Room B

(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 伊瀬 敏史 大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授
分科会長代理 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 市川 路晴 一般財団法人 電力中央研究所 電力技術研究所 電力応用領域 領域リーダー
／上席研究員
委員 木須 隆暢 九州大学 システム情報科学研究所 電気システム工学部門 計測制御工学 教授
委員 津田 理 東北大学大学院 工学研究科 電気エネルギーシステム専攻 電気エネルギーシ
ステム工学講座 応用電気エネルギーシステム分野 教授
委員 中澤 雅明 電気事業連合会 技術開発部 副部長
委員 長嶋 賢 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 浮上式鉄道技術研究部 部長

<実施者>

本庄 昇一 東京電力株式会社 技術統括部 技術開発センター 副所長
丸山 修 東京電力株式会社 技術統括部 技術開発センター 超電導技術グループ 副主任
増田 孝人 住友電気工業株式会社 超電導製品開発部・ケーブル技術グループ グループ長
渡部 充彦 住友電気工業株式会社 超電導製品開発部 ケーブル技術グループ 主席
町田 明登 株式会社前川製作所 技術研究所 所長
矢口 広晴 株式会社前川製作所 技術研究所 課長

<推進者>

植田 文雄 NEDO 理事
島 昌英 NEDO 省エネルギー部 部長
楠瀬 暢彦 NEDO 省エネルギー部 主任研究員
小坂 仁 NEDO 省エネルギー部 主査
木下 晋 NEDO 省エネルギー部 主査

<評価事務局等>

小笠原 有香 NEDO 技術戦略研究センター 職員
佐藤 嘉晃 NEDO 評価部 部長
成田 健 NEDO 評価部 主査

議事次第

【公開セッション】

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
- 5-1. 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて
- 5-2. 研究開発成果および実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて
- 5-3. 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明

高温超電導ケーブル実証プロジェクト

- 6.1. 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
- 6.1-1. 実証システムの構成・運転技術
- 6.1-2. ケーブルの設計・構築
- 6.1-3. 冷却システムの設計・構築
- 6.1-4. 実系統における総合的な信頼性検証
- 6.1-5. ケーブルの高性能化の研究
- 6.1-6. 冷却システムの高性能化
- 6.2. 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

【非公開セッション】

- 6.3. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

【公開セッション】

7. まとめと課題
8. 全体を通しての質疑
9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

議事録

【公開セッション】

- 1.開会、資料の確認
 - ・配布資料確認（評価事務局）
 - ・伊瀬分科会長挨拶
 - ・出席者の紹介（評価事務局、推進者）
- 2.分科会の設置
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
- 3.分科会の公開について
 - 評価事務局より資料2及び資料3に基づき説明が行われ、「6.3. 実用化・事業化に向けての見通し及び取

り組み」を非公開とすることが了承された。

4.評価の実施方法及び評価報告書の構成

評価の手順を評価事務局より資料 4-1～4-5 に基づき説明した。

5.プロジェクトの概要説明（説明、質疑応答）

推進者・実施者より資料 6-1 及び資料 6-2 に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【津田委員】 まず、定義的なものをご確認ください。電流容量については、今回は 66 kV、3 kA とのことですが、定格は 1,750 A となっています。この違いはどのように解釈すればよろしいでしょうか？

【本庄 P L】 プロジェクトとしましては、実系統に接続するという実系統側の制約条件があったということで、今回、場所の制約等を考えたときに、使用できるところが 200 MVA 級の変圧器の 2 次側ということで、まずそこが決まりました。そこから行きますと、電流容量としてはトランス容量が 200 MVA ですので、電流容量、定格としては 1,750 A になったということがございます。

一方、プロジェクトとしましては、3 kA 流せるケーブルを製作するというのを一つの目標としておりましたので、現地に適用したものは 1,750 A の定格のケーブルということですが、能力的には 3 kA を流す能力があるというものを開発しております。

【津田委員】 ということは、今回ケーブルには 3 kA は流さなかったが、3 kA 流せる技術を開発した、という意味でしょうか。

【本庄 P L】 旭変電所のケーブルにつきましては、3 kA の通電が可能になってございます。ただし、これまた午後ご報告しますが、交流損失につきましては 2 kA で 1 W/m という性能を持ったものが旭変電所に入っています。一方、3 kA で 1 W/m という性能については別途評価をしているということで、そこが 2 段階の構成になっています。

【津田委員】 わかりました。あと、このプロジェクトの位置づけですが、最近では、他国でも盛んに超電導ケーブルの研究開発が行われていますが、現在、日本で研究開発されているケーブルの特長は何か？ご説明の中では、高エネルギー密度というのを挙げられておりますが、海外に展開する場合や、基幹ケーブルとして実用化する場合は、その方向性も随分変わってくると思われまます。例えば、海外で、高エネルギー密度化が要求されているところで、もう少し大容量化や高電圧化したいという場合に、ビスマス系やイットリウム系、三相一括型や三相同軸型がある中で、今は 66 kV クラスの三相一括型の高密度型ケーブルしか対応できない、となると、立ち後れてしまう様な気が致します。こうした観点では、本プロジェクトをどの様な位置づけとして捉えられているのでしょうか？また、先程は、コスト削減や AC ロス削減の話もございましたが、それぞれを実現するケーブルがイットリウム系だったりビスマス系だったりすると、これまでのプロジェクトを振り返ったときに、同じ方向を向いてきているのかが疑問に思えてしまいます。その辺はどのようにお考えでしょうか？

【楠瀬主研】 それについては NEDO のほうからお答えさせていただきたいと思えます。このプロジェクトの売りはどこかという今の先生のご質問に関して申しますと、日本の超電導技術の優れているところは、材料からケーブル化まで一貫してできるところがまず 1 つ。ご案内のとおり、韓国にしてもヨーロッパのプロジェクトにしても、線材は他の国から買ってきてケーブル化をしております。

さらに言うと、我が国のプロジェクトの優れているところは、冷却システムまで含めて検証がきちんとできている。これにつきましても、韓国のプロジェクトは冷凍機のところはかなり苦戦しているやに聞いておりますし、ドイツのプロジェクトについては市街地だとかいろいろ、彼らなりの戦略は

あると思いますけれども、冷凍機は使っていない、使えるものがないというふうに理解しております。

そういう意味では、将来的な、ある意味、国プロですから、一番難しいところを狙ってトータルのシステムとして検証させていただいて、これを今度、じゃ、どういうふうにも実際に合わせて展開していくか。それぞれに合わせてグレードを変更していくような形になるのではないかと考えております。そういう形で今後は展開していくと考えております。

ですから、同じタイムスパンで今から実証を行うと、電圧階級はどこがいいのかとか、どういう冷却システムがいいかというのは、これまでの知見を踏まえながら、より詳細な設計をしていくことが可能ということではないかと考えております。

【津田委員】 ありがとうございます。それで、本プロジェクトで取り扱っているケーブルが、今までにない高密度であると言われているのは、同じ材料の線材に流せる電流量が年々増えており、その結果として高密度になった、ということでしょうか？

【楠瀬主研】 そうです。

【津田委員】 電流を増やすだけでしたら、超電導線を沢山巻いたり、超電導線に流す電流を多くしたりすればよいと思うのですが、高密度化を進めていく中で醸成してきた他の技術は何になりますでしょうか？冷却技術でしょうか？高密度化したことによって得られた、他には無い技術というと、どういう技術になりますでしょうか？

【本庄PL】 やはり最終的には、先ほど楠瀬主研からもお話しありましたけれども、システム全体で設計というのが非常に重要なテーマになってきているということで、最終的にここでシステムの総合試験ということで、組み合わせた試験ということでここにかかなりの力を加えております。

先ほど、たくさん巻くということで大容量になるということなんですけれども、そうすると、当然、交流損失の問題とかでロス自体が増えてくる。それに対して、冷却システムを組み合わせて、どれだけの冷却システムにしてどういう運転をしていくかということというのは、やはりケーブルだけ、あるいは冷却システムだけで見ているとなかなかやっぱり見えてこないところがあるということで、今回は実施者が3者とも集まってそれぞれが何を考えているのかということを見出しながらシステムを組み上げたということが一番大きなところじゃないかと思います。

【津田委員】 その辺のご苦労がよくわかるので、むしろそういうところを系統立ててアピールすると良い。日本というのはそういう技術を持っているというのはすごくわかるんですけれども、意外とある断面的にしか言われるケースがなくて、その辺をもうちょっとうまくアピールされるのがいいのかなというのはすごく感じたものですから。ありがとうございました。

【楠瀬主研】 ご助言ありがとうございます。そこはNEDO側のアピールの不足しているところです。このプロジェクトでは3kAでやらせていただいておりますし、もう終わってしまいましたけれども、リットリウムのほうでは世界最大電流の5kAをやっております。そして、電圧は低いですが、大電流ケーブルとして12kAも今、開発をいただいております。

そういう意味では、そういうところを通じて交流損の話あるいは冷却の話きちんと検証し、使えるように、どうしても電流が大きくなりますと、たくさん巻くとともに分流がきちんとできるかというようなところも課題が出てきて、そこもいち早く対応することで世界に先駆けてやっているというふうに自負しているんですが、それをうまくPRできてないところは我々がもう少し個々のプロジェクトではなくて、トータルで見ると日本はこういうところに有利性があるということをご説明すべきところですので、そこは今後そういう形にしたいと考えております。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 ありがとうございます。

他にございますでしょうか。

はい、どうぞ。

【長嶋委員】 最初に、超電導ケーブルのメリットというところで、コンパクト化、大容量化と、あと、省エネというのがあったんですが、やはりこれは両方やらないといけないのか、コンパクト化がうまくいって、もちろん省エネ化というのは必要なんですけども、それは後から来てもいいものなのかというか、どちらを重視するのかということをお聞きしたいんですけども。

【楠瀬主研】 これは適用ケースによって違ってくるというふうに、現時点では想定しております。例えば大電流の母線みたいなどころであれば、コンパクト化ということもですけども、現実的に大きな発熱を低減できるということで大きな省エネ効果も期待できます。逆に都市の中心部のようなところの老朽ケーブルの代替ということであれば、どうしても基幹系統であれば多重化していますので負荷率としては低くなりますので、必ずしも省エネ性が現状に比べて大きく出るということではないと思います。そこに対してはコンパクト性によって追加の工事費が要らないということで、社会インフラをそういう意味では低コストで維持あるいは高度化するというところにメリットがあるというふうになってくるのではないかと考えております。

【長嶋委員】 今のに関連して。本庄様をご説明された15ページの建設コストのお話で、ちょっと細かいところに入ってしまって申しわけないんですが、超電導のほうで工事費がないというのは、これは今のことと理解すればよろしいのでしょうか。

【本庄P L】 ここでの仮定としましては、超電導ケーブルは既設の管路が流用できるということで、この既設管路流用ということを条件にした計算になってございます。

【長嶋委員】 わかりました。

【伊瀬分科会長】 中澤委員お願いします。

【中澤委員】 今の長嶋委員のご発言について私のほうからもコメントさせていただきたいんですけども、楠瀬主研から4ページのところについてご説明があったと思うんですが、送電ロスについては、やっぱり我々としては必ず低減していきたいと思ってございます。

それから、大容量化、コンパクト化というところでは、電力需要の見通しというところでいきますと、3.11以降若干状況は変わっておるところではございますが、リプレース時、本庄P Lからもご説明あったように、既設管路を使いたいというそういう中で、系統によってはやっぱり大容量化したところもあるんですね。そういったところで、現状だとOFだとサイズのちょっと難しいというところでも超電導だと省スペースでいけるとかそういう可能性もあるので、やはり非常に有用な技術だと思ってございます。

なお、このような技術というのは、民間だけだと開発リスクというのは非常に大きいものですから、今回、NEDO様のご支援のもとメーカー様と東京電力様が一体となって開発したのは非常に意義があるかなと思ってございます。

【楠瀬主研】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 ちょっと私のほうから。これ、ビスマス系のプロジェクトで、並行してイットリウム系のプロジェクトがあって、将来的にはこの2つがどういうふうに位置づけ、すみ分けしながらしていくのかということをお伺いしたいと思います。

【楠瀬主研】 我々のほうでは2つのプロジェクトをまさに運用させていただいておりますので、実力と

いうのもある程度正確に、きちんと把握しているつもりですが、そういう意味では、当然ながら研究開発のスタートあるいは進捗からいって、5年程度の技術の差があるというふうに認識しております。

そういう意味では、やはり今の技術を、ビスマスの第1世代の技術できちんとケーブルをつくることによって、もしビスマスに匹敵する、あるいはそれを上回るイットリウム線の線材が量産も含めてできるようなになれば、適材適所で使っていくのではないかと考えております。

ただし、先生ご案内のとおり、イットリウムには片面にしか超電導層がついていないというようなことも含めて、まだやはり全く同じ構成ではないということもあります。その辺はケーブルとして長いものを今後つくっていく上での課題等も潰していって、最後はまさにそこまで行けば、今度は競争という形になるのではないかと考えております。

【伊瀬分科会長】 はい、下山委員。

【下山分科会長代理】 NEDOのプロジェクトについて、大体、私、同じことをいつも聞いているんですが、このプロジェクトを立ち上げる検討を始めたのが9年ぐらい前ですか。

【楠瀬主研】 そうです。

【下山分科会長代理】 それで、7年ぐらい前からスタートしていると。目標というのは、基本的に7年前、9年前の情勢に応じて設定されて実施されたものであると。実際技術の進歩を考えると、7年、9年たつと時代遅れということにもなりつつあるんですが、たまたまケーブルにおいては今でも高評価できる結果になっていると。ほかの、コイルとかだったらとてもじゃないですけども、遅れて大変なんですけれども。

これ、実施している途中で、もう少し目標を高目に持ってたとか、何かそういうようなところ。実施計画として全部○がついていたんじゃないですか。○なんだけど、これ、余裕の○なのか、ぎりぎり○なのか、いろいろな評価があると思うんですね。その辺の伸びしろみたいなのを何かちょっとコメントできたら、差し支えない範囲でお願いいたします。

【楠瀬主研】 そういう意味では、このプロジェクトは2度にわたりまして実施期間を延長させていただきましたが、それとともに、内容につきましても実はかなり大きく追加をさせていただいております。

というのは、1つが、当時の計画では、まずこのプロジェクトは実系統で接続しようということでしたので、スターリングの冷凍機を使って実際にはやっております。昨日も一部の先生に見ていただいた構成になっています。ただし、それではやはりCOPが低くて、あるいはメンテナンスのことで実用性が低いという判断のもと、ブレイトン冷凍機の開発を当初の計画にはなかったんですけども、それを追加しております。そういう意味では、途中で大きく見直しをしまして、実用性の検討の上で必要となる容量あるいはメンテナンス間隔ということでブレイトン冷凍機の開発を追加することを決めさせていただきました。

あとは、プロジェクトが進行している中で、どこに一番早く国内で適用できるかという検討をする中で、母線というようにところで大容量、10kAを超えるようなところで、低電圧だからゆえにロスが大きいところでは導入のメリットがあって、コンパクト化ということも含めて、コストパフォーマンスということで競争力もあるのではないかとということがある程度見通せてきましたので、低電圧、大容量ケーブルの開発も追加しております。そういうことで、本プロジェクトについては、開発内容を追加したけれども、それも達成できたので、そういう意味では伸びしろというわけではないと思いますが、ある程度フレキシブルに対応できたのではないかと考えてはおります。

何か本庄PLのほうからあれば追加をお願いします。

【本庄PL】 今、楠瀬様にご説明していただいたとおりということで、特に5番のケーブルの高性能化、それから、冷却システムの高性能化というところはかなり背伸びをしたチャレンジングな目標に対して今回チャレンジしたということで、何とか成果にたどり着いていますけれども、まだまだこの部分は両方とももっと上げていくべき技術だということです。特に冷却システムにつきましては、何とか工場での試験というところまでたどり着きましたけれども、これを実系統で本当にうまく使っていけるのかという、負荷変動に対してどうなのかといったところはこれから検証するべきところが残っていると考えています。

それから、ケーブルの高性能化につきましても、基本的な設計まではできたということですが、実際にそれが機器として成立するかどうかという検証というのはまだこの先にその技術開発は必要だということです。そういう意味ではかなりこの5番と6番はチャレンジングな目標に対して途中からチャレンジしたという項目になってございます。

【下山分科会長代理】 それで、やはりそういうふうにどんどん積み重ねていって、最終的な評価の時点でこのプロジェクトの今の位置づけというのをもう1回、他のその後走り始めたプロジェクト、世界での何かと比較していただいて、今の時点でのこのプロジェクトの独自性というか優位性、また欠けている部分があれば欠けている部分、そういうのをマトリックス的に分析いただくのが多分成果を評価するのに一番いいんじゃないかと思うんですけれども、そういう試みの予定はございますか。

【楠瀬主研】 今、下山先生からいただいた意見そのままではないんですけれども、そういう意味では、このプロジェクトの後継ということではないんですけれども、安全性と信頼性の評価のプロジェクトを今年度立ち上げました。その検討段階において、これまでのイットリウム系の事業、あるいはケーブル実証の事業、あるいは世界の情勢を踏まえて何をターゲットとすべきか、あるいはどういうことが欠けているかということを考えてみました。そうすると、やはり実用化する上で、まだ世界的に手がついていないのが、冷凍機の信頼性をさらに上げるということと、事故が起こったときにどういうふうなことが起こるか、あるいはどういうふうな対処を想定していけばいいかということについて、手がついていないのではないかとということ进行分析しまして、それをプロジェクトとして立ち上げ、予算要求させていただいたという経緯はございます。

【下山分科会長代理】 それは課題なんですよ。

【楠瀬主研】 はい。

【下山分科会長代理】 そうじゃなくて、だから、今のまだ優位性を保っている部分とか全部含めて何か総合的な比較があると、このプロジェクトの位置づけが強くアピールできるんじゃないかなと思います。以上です。

【伊瀬分科会長】 今の点はよろしゅうございますでしょうか。このプロジェクト、ここがすばらしかったという。

【楠瀬主研】 すばらしかったというのは、先ほども申し上げましたけれども、やはりトータルシステムとしてやり遂げたこと。だからこそ、今、海外の調査をやらせていただいていますけれども、海外の電力会社を訪問しても、ぜひ話を聞かせて欲しいという反応を頂いております。日本はこういう形で日本の国内で実系統に接続しているということを説明すると、それだったら、自分たちも話のテーブルにのりましょうということで、複数の国からそういう話を具体的に聞かせて欲しいと、あるいは導入メリットによってはケーススタディ的なことをやるようなところまで関心を持っていただけるというのは、我々のこのプロジェクトの、あるいは今までの超電導技術開発の成果だと考えております。

【伊瀬分科会長】 木須委員お願いします。

【木須委員】 研究の位置づけに関してなんですが、先ほどございました、材料からシステムまでやれるのが日本の優位性ということ、私もまさしくそうだと思います。それで、イットリウム系とビスマス系のすみ分けのような話もあったんですけども、今回やらえたケーブルのトータルシステムとして設計されて、さらに運用されたという部分においては、将来のイットリウム系のケーブルでも同じような、適用技術という意味では非常に適切な設定ではないかと思うんですけども、例えばビスマス系固有の問題とか、イットリウム系固有の問題があるのか、あるいは今回の技術というのは、ケーブルとしてはそのまま同じ技術として考えていいのか、そこらあたり、もし何かございましたらコメントいただけますでしょうか。

【本庄PL】 プロジェクトをスタートするときに、イットリウム系かビスマス系かという議論が社内でも当然ありました。今回は系統に接続するというので、やはりそこは信頼性の部分というのはどうしても譲れないということがありました。ビスマス系につきましては、既に100mあるいは500mのケーブルの検証試験を電中研様の横須賀の試験場のほうで行った実績もあるということで、それをベースにした技術ということで、ビスマス系であれば系統連系することに対する信頼性としては確認できるだろうということもありまして、ビスマス系を選択したというところでございます。

ただし、電力会社というか実施者としては、ビスマス系でなければだめだというわけではなくて、当然、将来的にはビスマス系、イットリウム系というのは、性能、コスト等で選択されていくものになるということです。今回入れるに当たっても、ビスマス系だからとかイットリウム系だからということを除いて、超電導ケーブルとして布設導入に対してどういう要件を持っているべきだとか、そういうことなどで評価しながら入れているということになってございます。

ご質問のビスマス系あるいはイットリウム系の特徴というところにつきましては、実はまだイットリウム系の超電導ケーブルに対する評価がまだ十分私どもとしてできていないところがありますので、そこについてはもう少し検証していく必要があるということは考えております。ビスマス系につきましては、やはりロス部分がどこまで今後性能が上がっていくかというところが、それは線材の性能向上、それから、機器としての設計の技術というところでは、ビスマス系に特化したところとしても、そういったところの課題というか、今後まだ性能向上していくという余地はあるのかなというふうに考えてございます。

【楠瀬主研】 NEDO側としましては、イットリウム系のプロジェクトの最後に、世界でも一番性能の高いフジクラさんの線材を使ったケーブルを単相ではありますけれども、作りまして、交流損の低減とかが材料の性能とどうリンクするかというようなところについて評価することを追加的に実施しました。そういう意味では、やはり高性能化によって交流損は減るといところまでは確認できておりますが、そちらのケーブルについても、例えば過渡的な応答とか限界試験的なところでどうなるかというところが残念ながらまだ検証できていません。

そこにつきましては、今年度からの新規プロジェクトの中で破壊試験的なことをやる中で、今度のプロジェクトは、ビスマス系、イットリウム系両方とも評価対象として体制に入っていて行きますので、その中で全体として同じような評価といっても、電圧階級等変わりますけれども、そのような評価を通じて、ビスマス系とイットリウム系でどこまで同じなのか、どこからが違うかというところは検討して参りたいと考えております。

【木須委員】 わかりました。冷却システムはもちろんそうだと思うんですけども、システムの運用に

関しては、将来的にも今回の知見がかなり生きるという理解でよろしいでしょうか。

【楠瀬主研】 はい、そこはそういうふうと考えております。

【木須委員】 あとは、マネジメントに関してなんですけれども、追加項目が2件ほどあってということなんですけれども、これはやっぱり推進委員会なんかからのフィードバックが適宜うまく活かした結果ということでもよろしいでしょうか。

【楠瀬主研】 まずは実施者様のほうの推進委員会が1段です。加えて中間評価のときにも冷却のところの拡充というのを強く意識するように意見をいただきましたので、そういう意味では外部有識者の先生方からの意見が強く影響したと考えております。

【木須委員】 ありがとうございます。

【本庄PL】 それに加えて、NEDO様の超電導技術委員会のほうで非常にたくさん有意義なコメントをいただいて、それもこの新しい検証項目に反映させていただいております。

【伊瀬分科会長】 あと、市川委員のほうから何かございますか。

【市川委員】 先ほど下山先生もおっしゃられましたけれども、今回、目標の達成度ということで、7項目が全て達成度〇ということになっています。やはりこのプロジェクトの中で最も難易度が高いものもあると思われましてけれども、そういう難易度というか、このプロジェクトで達成を最重要視していたものは何かという、そういうような難易度的なものが表現されていけば、評価するほうもそれを重点的に評価できると思います。そのあたりのめり張りというか、目標のめり張りを、後でもよろしいですけれどもはっきりとご説明していただければと思いますので、よろしくお願ひします。

【楠瀬主研】 はい、わかりました。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1-1 実証システムの構成・運転技術（説明、質疑応答）

実施者より資料7-1-1に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【市川委員】 質問ですが、短絡条件の検討のところでもらい事故でご検討されていますが、もらい事故の場合、約10kA、2秒ということで、短絡電流直後にまた課通電を行うという検討ということなんですけれども、10kAが超電導ケーブルに流れたときに、超電導ケーブルはこれはもう臨界電流を超えてクエンチ状態に入っていると考えてよろしいでしょうか。

【本庄PL】 細かいところはこの後のケーブルの機器開発の中で実際に短絡試験、地絡試験を30mの検証試験の中で行っていますので、そちらで増田さんのほうから説明してもらえらると思います。基本的には、定格としては3kA、I_cの合計で7kA程度ですので、そういう意味では10kAですと臨界電流を超える電流は流れているという形になります。

【市川委員】 そうすると、このケーブル設計へフィードバックというのは、これは実際に布設したケーブルへのフィードバックと考えてよろしいんですか。

【本庄PL】 この条件を30mのケーブル設計に反映させまして、この条件で短絡・地絡試験を実際に30mのケーブルで行いまして、検証した後に本番のケーブルを製造しているという形になります。

【市川委員】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 ほかにございますでしょうか。

では、下山委員お願ひします。

【下山分科会長代理】 これ、変電所を実施場所として選ばれて、そのときに起こり得る事故のケースを想定していろいろ試されているんですが、例えば普通の都市の送配電線の途中に使うとか、そういう場合にはまた別の条件が課される、もしくはこれよりもやさしい条件が課せられるのかと思うんですけども、この試験でいろいろなアプリケーションに対して事故対応が大体網羅されたというふうに見てよろしいのでしょうか。

【本庄PL】 実際の送電系統でも31.5kA、2秒という基準の中で現在の設備がつくられておりますので、そういった意味では今回の試験で31.5kA、2秒に対して超電導ケーブルが健全であるということを確認できたということですので、基本的な考えとしては送電ケーブルに対しても使用可能かと思えます。

ただ、1つ考えなければいけないのが、今回長さが240mということで、長さが長くなりますと、短絡直後は超電導ケーブルは大丈夫だと思うんですけども、その後じわじわと中から熱が発生して、それを液体窒素が奪う形になります。そうすると、液体窒素の流れがありますと、今回240mだと2時間程度なんですけれども、あっという間にもとへ戻ってきますので再冷却かかりますけれども、長くなると中でずっと温度が上がり続けていくということがあります。長さの問題というのは今回のところでは十分に把握し切れていないということになりますので、これは何らかの方法で検証する必要があると考えています。

【伊瀬分科会長】 津田委員、お願いします。

【津田委員】 ご説明ありがとうございました。1点お伺いしたいのは、保護・遮断の考え方です。実用化する場合には、今回の保護の考え方がベースとなり得るのでしょうか？今回の考え方は汎用性があるのでしょうか？それとも、今回は、旭変電所に適用することを想定した特殊なものなのでしょうか？通常のケーブルの場合は2回線布設するなど、事故時の対応や保護の考え方はいろいろあると思うのですが、保護や遮断についてベースとなる汎用性ある考え方については、今回はどの様に解釈すればよいのでしょうか？

【本庄PL】 通常の送電系統ですと3回線運用ということで、ケーブル系統で3回線引いているということになります。実は今回も3バンク構成のところに置いてありますので、そういう意味では3回線送電とほぼ同じような形態になっているということで、3回線という意味では同じような検証ができています。それから、今回ここにケーブルの事故検出リレーをつけて検出しているということで、通常のケーブルもこういう形で両端で内部故障を判別するということをやっていますので、そういった意味では今回は比較的標準に近い形の技術を使って検証できたと考えております。

【津田委員】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 では、中澤委員お願いします。

【中澤委員】 今のご質問に関連してなんですが、故障表示で重故障、軽故障とあると思うんですけども、これ、今回は変圧器の2次側だったんですが、送電線に適用する場合も同じような故障システムになるのでしょうか。何かシステムとして変わってくるかあるのでしょうか。

【本庄PL】 温度、圧力、リザーバの液面低下と、それから、ポンプ停止等というのは基本的には同じような考えでできるかと思えます。

【伊瀬分科会長】 よろしゅうございませうか。

では、木須委員お願いします。

【木須委員】 警報の設定について詳細な検討をされているんですけども、まず1点質問なんですが、

これ、いろいろなパラメータが途中に出てきているんですけども、これは実際のケーブルでそういう状況で測られて、それをベースに出されているという理解でよろしいでしょうか。

【本庄 P L】 はい。特にここにありますが、例えば温度上昇ですと、検出・評価用に温度センサーを全部で 13 点とっています。このうち、どういう条件でこの温度上昇の警報を出すかということで、1 つでも出たら温度上昇の警報を出すとなると一つ一つのセンサーに対しての信頼度が非常に要求されますので、今回は 13 点のうち 2 つ以上が同じ温度上昇という信号を出した場合には重故障を出そうということでアンド条件をつけているということで、基本的に温度とか圧力、それから、リザーバタンク等については、多重化を考えた設計をしています。

【本須委員】 わかりました。それで、今検討された警報を出すことによって、これでオーケーだというか、その検証みたいなやつはどのような形でチェックをされるんでしょう。

【本庄 P L】 2 つあって、1 つはこの温度でちゃんと出るかどうかという問題に対しては、系統に接続する前に模擬的な信号を入れまして、その信号で出るかどうかという検証をしています。もう 1 つは、温度センサー自身がちゃんとしたデータを示しているかどうかということもありまして、これについては検証中を通じていろいろなところのデータを比較しながら各点の時系列の推移等を評価しまして、故障がないかどうかというのを検証しながら進めていったというような実態です。

【本須委員】 わかりました。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 長嶋委員お願いします。

【長嶋委員】 事故時、携帯電話で呼び出すというような格好になっていますけれども、これ、実際動作の確認はどういうふうにしたのかということと、実際に誤作動か何かは知りませんが、それが機能したことがあったんでしょうかということです。

【本庄 P L】 2 番目の実際に動作したかどうかということについては、6. 1-4 か 5 の実証運転のほうの説明の中でさせていただきたいと思います。実際、5 種類ほどの軽故障が出ています。ただし、重故障は発生しておりません。

それから、もう 1 つ何でしたっけ？

【長嶋委員】 あったんであれば動作したということなんでしょうけれども、我々も似たようなことをやっているんですが、実際に本当に問題が起こったときにそれが機能してちゃんと呼び出しがかかるのか、そういうの確認です。

【本庄 P L】 確認は事前に系統接続前に、相当箇所一点一点全部出しています。それから、途中 2 回ほど性能評価のために系統から切り離して I c 測定とかしておりますけれども、そのときも停止するときに出るべき軽故障の信号が出るかどうかということもチェックするというので、多重でチェックして行っております。

【伊瀬分科会長】 そうしましたら、私のほうから。インピーダンスの関係で、従来の同電圧の機種と、ケーブルと比較をして、サージインピーダンスローディングが大きくて、大容量送電向きということなんですが、これ、電圧の波形を見ますとちょっと大き目に電圧が出て、これで大容量送電向きというのがどういうふうに結びつくのかなというのがよくわからないところです。

【本庄 P L】 サージのほう、こちらのほうでしょうか。

【伊瀬分科会長】 その結果と、それから、その前のスライドで、大容量送電向きというコメントがあるんですけどね。

【本庄 P L】 まず大容量送電向きという意味では、ここのサージインピーダンスローディングのところ

を評価してということで、通常の例えば66kVのCVケーブルですと、サージローディングインピーダンスローディングが95MWですから、95MW程度以上の電力を送ろうとすると電圧ドロップが大きくなってしまふということに対して、超電導ケーブルは400MWですから、400MW前後で流すと非常に安定性がいいというか、電圧ドロップがほとんどないという形になります。ですから、そういう意味では、これは同じ電圧階級で比べると大容量に向いているという、そういう意味をこの文章は示しているということになります。

【伊瀬分科会長】 それはどういうことですか。

【本庄PL】 これはリアクタンスが一桁小さいと。何で小さいかという、中に超電導のシールド層がありますので、導体層とシールド層の間の距離が非常に短いということでインダクタンスが小さくなる。一方、通常のケーブルですと磁気的なシールドがありませんので、ここと他相との間の相間距離がインダクタンスにきいてきますので、そういう意味では比較的距離があるのでインダクタンスが大きくなってしまふという形になります。一方、超電導の場合は、それぞれ自分の中で磁場がゼロになる場所がありますので、そういった意味で距離が短いので、インダクタンスが小さくなるということです。

【伊瀬分科会長】 それは今回そういう構造をとられたということであって、超電導線だからシールド層があるというわけでもないわけですね。

【本庄PL】 そうですね。ですから、つくり方によっては、例えば単相ケーブルでシールドをつけないというような設計をすればこちらになりますので、そういう意味ではこの一括のケーブルの場合とはいう前提条件つきということになります。

【伊瀬分科会長】 そういうことですね。そのために今回そういう設計を採用されたということなんでしょう。

【本庄PL】 ええ、採用した結果としてこうなったということになっています。

【伊瀬分科会長】 そういうことですか。線の簡単化というところから見ますと、シールド層がない設計というのも魅力的だと思うんですけども。

【本庄PL】 そうですね、確かにおっしゃるとおりだと思います。その場合は、こういった条件というのはちょっと外れてくるということです。

【伊瀬分科会長】 そういうことですか。わかりました。

ほかに。下山委員、お願いします。

【下山分科会長代理】 リアクタンスが一桁下って系統安定性が向上してあります。それ、シールド層のおかげですから、超電導のケーブル自体を使ったことによる系統に対するメリットというのは何かあるのでしょうか。

【本庄PL】 そういう意味では、超電導だからという意味でいくと、やはり通常の抵抗が小さいということがあろうと思います。送電系統からすると、抵抗とインダクタンスですとインダクタンスはるかに大きいので、送電に対しては抵抗はほとんど効いてこないということになります。ただし、抵抗が効くものとして、交流損失というか通電ロスが効いてくると思いますので、この通電ロスが超電導の場合は原理的に低くできる可能性を持っていると、そこが違うのかなと思います。

【下山分科会長代理】 例えば交流波形がきれいになるとか、そういうようなことはあまり？

【本庄PL】 あまりその効果は出ないんじゃないかなと思います。

【下山分科会長代理】 わかりました。

【伊瀬分科会長】 ほかにいかがでございましょうか。

では、市川委員をお願いします。

【市川委員】 最後に法規対応が述べられていますが、今回適用法令としまして電気事業法を適用されたということで、これまでの研究開発等では、やられていた超電導機器はほとんどが高压ガス保安法、こちらが適用されていましたが、これは今回電気事業法が適用されたということで、超電導機器も電力機器としての位置づけという形で大きな前進と思われませんが、海外もこのような法規対応というのはどのような状況になっているか、おわかりでしたら教えていただきたいと思います。

【本庄 P L】 増田さん、わかりますか。

【増田 G r 長】 知っている限りですけれども、海外は、法律というよりはスタンダード、規格で規定されている。アメリカでしたら A S M E で規定されており、そういう規格に対して試験をしたり、システムを構築するということになっています。だから、法律的に決まっているのは日本と韓国ぐらいですかね。最近スペインもそういうことがあるというのがわかってきましたので、今調べているところです。ドイツでは、スタンダードを遵守して作製したと、聞いています。

6.1-2. ケーブルの設計・構築（説明、質疑応答）

実施者より資料 7-1-2 に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【津田委員】 ご説明ありがとうございました。幾つかお伺いしたいのですが、、、。まず、4 ページ目ですが、交流損失の設定が 1 W/m/p h ということで、現在使用しているケーブルの 2 分の 1 以下というのが目標に掲げられていますが、このときの CV ケーブルの設計条件はどうなっているのでしょうか？超電導ケーブルの交流損失が 1 W/m/p h であれば、CV ケーブルは 2 W/m/p h 以上ということだと思のですが。

【増田 G r 長】 CV ケーブル側は電圧が 27 万 5,000 V で容量が 350 MVA なので、正確な電流値は忘れましたが、700 から 800 A ぐらいだと思います。それで、CV ケーブルの導体損失であったり、シース損失であったり、誘電損失を計算すると、1 m 当たり 100 W というのが出てきます。超電導ケーブル側は、導体交流損が 1 W/m/p h ですから、三相で 3 W/m。ここでの仮定は、断熱管は 2 W/m としています。そうすると、トータル 5 W/m。冷凍機の COP を 0.1 と仮定すると、これで 50 W/m の冷凍動力が必要。それで、50 W/m と 100 W/m を比べて 2 分の 1 としています。

【津田委員】 わかりました。あと、ケーブルのことですが、冷凍機の性能を上げる以上にケーブルの低損失化は重要だと思うのですが、ケーブル設計のときに、例えば、ケーブルピッチなど、どの様な考え方で低交流損失化をしようとしているのでしょうか？この様に構成すればロスが減る、という様な基本的な設計指針については、どのように考えられているのでしょうか？

【増田 G r 長】 いろいろとその検討はしていますが、4 層導体というのは電流容量から決まっています。この時、各層に流れる電流が等しい、均流化したほうが低交流損失になります。ただ、最近ではこのバランスを多少変えたほうが低損失になる結果も出てきています。

さらに、低交流損失化のためには、線材自身の損失を下げる必要があるということで低交流損失型の AC 線を開発し使用しています。この場合は、全部 AC 線にしたほうが低損失にはなりますが、費用対効果といえますか、4 層のうち内層 2 層を AC 線にするのと、4 層全部を AC 線に変えるのとは、

損失は大きく変わらなかったなので、今回はこの2層だけにしました。

それから、あとは線材に印加される磁場の大きさをできるだけ小さくしたい。ケーブルコアのサイズが大きいほうが低交流損失化には向くと思います。ただ、コンパクトという要求もありますので、そのあたりが取り合いになるというところですよ。

【津田委員】 昔は、電流分布がアンバランスだったのを均流化することが低交流損失化に有効とされてきました。しかし、ケーブルロス、通電損失より磁化損失が支配的で、磁化損失は経験磁場の大きさで決まりますので、電流分布を均一にするよりは、経験磁場を均一にして磁化損失を均一にする方が、ロスが小さくなります。そして、低損失化を突き詰めていくと、ケーブルの中でシールド層のロスが一番大きくなる、という結果も出ています。ですので、シールド層の損失が一番大きくなっていないということは、まだ導体層のロスを減らすことができる、ということの意味を意味していて、低ACロスの線を使うのは、導体層よりもシールド層の方が効果的、ということが考えられます。この様に、経験磁場ができるだけ均一になるように作るとか、交流損失が多いのはシールド層なので、シールド層に低ACロスの線を使うとか、その様な設計指針が明確になっているとよいと思うのですが、低交流損失化への設計指針がいつも曖昧になっているような気がします。ですので、その辺についてよくご検討いただきたいと思います。そして、もし知見が得られているのであれば、それらをまとめていただきたいと思います。

あとは、直流通電時の電流量は測定可能ですが、交流通電時には、ケーブルピッチなどが電流分布に影響してくるので、均流化するように設計していたとしても、実際にはどれだけの電流量になっているかの評価は難しいと思います。例えば、ケーブルピッチから計算したロスの量と、実測したロスの量を比較することにより評価するなど、色々と考えられると思うのですが、この件で何か検討されたことはありますか？

【増田Gr長】 交流損失の設計の指針に関しては、今ご指摘いただいたとおり、この当時はもちろん均流化ということで考えていましたけれども、最近はいろいろとやってみて、言われたとおり、磁化損が一緒になるとか、そういったほうがいいのかというふうには思っています。

あと、この後出てきますが、もっと大電流になった場合より顕著になっています。今日の発表で実はそこまでは説明してはいないですけども、各層の線材本数が違うので、それぞれの層のI_cが異なります。そうすると、各層が負担する電流の負荷率をどういうふうにしたらいいのかと、そういうところを最近検討して見せて、そこをいろいろと変えていくとさらに低損失になるというのが最近はおわかってきたところですよ。

【津田委員】 最後に、一番関心がある、というかお伺いしたいのは、今言われた負荷率の考え方です。これだけでロスが大きく変わってきますので。

【増田Gr長】 そうですね。

【津田委員】 今回の実証試験で実際に流している電流は、定格から比べると随分と低い値になっています。安全性を十分確保されようとするのはわかるのですが、負荷率が小さい状態で大丈夫とするのでは不十分で、大丈夫であることをアピールするには、実用化する場合と同レベルの負荷率で試験をして大丈夫であることを示すべきだと思います。また、小さい負荷率で運転する、ということは、その分超電導線を沢山使用しなければならぬことになり、低コスト化という意味でも矛盾することになり、今回の実施内容が、実用化する場合と乖離していると言わざるを得ません。今回の様に、非常に安全サイドで試験をして、「実用化する場合、本当にそんな低負荷率で使用するの？」

という質問に対して、「いや、実用化する場合の負荷率は50%程度だよ」と言われても、本当に信頼性が確保されているのかは疑問です。例えば、先程言った様な不均一な電流分布が生じると、電流マージンは設計時よりも小さくなってしまいます。そういった問題が起きる可能性がある中で実証試験をすることで、初めてシステムの信頼性を確保できるような気が致します。また、交流損失の目標値が1W/mと小さかったとしても、超電導線の本数を多くすれば容易に達成することができます。以上のことを考えますと、もうそろそろ負荷率について何か指針を出せるようにした方がよいと思うのですが、その辺についてどの様にお考えなのかを教えてくださいませんか？

【増田Gr長】 負荷率をどうすればよいという明確な設計基準があるかということ、今はそういうわけではないです。やっぱり実績を積んでみてということなので、今回は交流損失を下げるという意味と、安全率を設けて、ある程度負荷率を下げての設計になっています。先ほど言いました負荷率を各層で変えて設計したケーブルは、全体的にはもう少し負荷率が上がります。これは、線材量を減らすという目的もあります。今後そういうところの設計検討を続けて、指針を出していきたいと思います。

【津田委員】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 では、木須委員お願いします。

【木須委員】 すみません、今のACロスの件なんですけれども、多分ケーブルの性能としてはかなり大事なところということでいろいろ検討されていると思います。先ほどあったと思うんですが、今、ツイスト線を使われているということは、考え方としてはフィラメントのデカップルをしてロスを下げるということだと思えます。ただ、ご存じのように、コート線材なんかですと、モノフィラメントなんだけれども、幅を細くして真円に近づけることによってロスを下げるというような結果が出ていますけれども、今の場合は幅と厚さが薄くなっていますけれども、その効果はかなり効いているのか、あるいはやっぱり素線としてのデカップルのフィラメントのマルチ化、3線化というか、フィラメントの効果がきいているのか、それは今、どういうところまで来ているんでしょうか。

【増田Gr長】 なかなか分けて測れていないので難しい。

【木須委員】 例えば理論的には、ツイスト線だとこれぐらい下がるというのがフィラメント形状で大体出てくると思うんですけれども。

【増田Gr長】 デカップリングが完全ではないですね。AC線のツイストピッチは8ミリぐらい、さらに小さくするともっとデカップリング悪くなっていくので、計算よりはまだ悪いとは思っています。言われたように、薄くする効果も多少きいていますので、それをあわせて低交流損失になっていると考えています。割合はまだわかってないです。

【木須委員】 それともう1点ちょっとお伺いしたかったのが、温度の維持が冷凍機が止まっても2時間もつというのが曲がりて決まっていますよというお話だったと思うんです。6K/hということで、これ、直線部を見ると、2K/hですから、そういう意味だとあと3倍ということで6時間ぐらいは直線部だけであればもつと思うんですけれども、曲げのところの例えば熱容量を工夫してふやすとか、断熱をそこだけよくするとか、区間としてはそんなに長くはないので、そういった工夫をやるとかなりもつと稼げるとか、そういった知見というのは何か得られているんでしょうか。

【増田Gr長】 計算上は侵入熱と熱容量だけで計算していますので、もちろん熱容量をふやせば、あれだけ長く持ちます。

【木須委員】 今の場合は直線と曲がりも同じ仕様でやって、その結果3倍ぐらい違っているというふうに理解したんですけれども、曲げのところだけ特別に少し断熱を工夫するとか、そういったことをや

るような余地があるのでしょうか。そうすると、あと3倍ぐらい、6時間ぐらい持つということであれば、また大分違うような気がしたんですけども。

【増田G r長】 曲り部だけ構造を変えるということは、頑張ればできると思いますが、基本的にケーブルコアは管路を通ってくるので、そこだけサイズが大きくなったりするわけにはいかないんです。

【木須委員】 じゃ、スペース的にはなかなか難しいということでしょうか。

【増田G r長】 位置的には多分最初からここだというのは予測することはできますけれど、その部分を特別に何かプラスする、大きなものをつけるとか、構造的に変えるということをするのは難しいと思っています。

【木須委員】 わかりました。

【伊瀬分科会長】 では、下山委員お願いします。

【下山分科会長代理】 その絵が出ているので、まず簡単に1つ。この温度が上がっていったとき、負荷率がどんどん変わりますよね。

【増田G r長】 はい。

【下山分科会長代理】 それはカウントしているんですか。要するに、ACロスが温度が上がればどんどん上がってくるんですけども、それはもうカウントしなくてもいいぐらいの変化ですか。

【増田G r長】 この辺の温度が少し変わっても、ACロスの的にはそんなに変わらないというのは確認しています。

【下山分科会長代理】 ああ、そうか。負荷率が随分低いところで使っているから、そう見えるわけですね。

【増田G r長】 そうです。

【下山分科会長代理】 これが、だから、逆に言うと、負荷率が5割とかになってくると、温度の上昇によるACロスの変化が顕著に出てくるので深刻だということですね。

【増田G r長】 はい。

【下山分科会長代理】 あと、これ、どの人の発表で聞けばいいのかわからなくてここで聞くんですけども、断熱のことについて、多分前川さんからは発表ないと思うんです。いいですね。ここで聞くんですね、断熱は。

断熱の技術というのは非常に重要だと思います。それで、この試験ではわざとジョイント部をつかって、現地で真空引きをする、そういうようなことをされています。それについてあまり報告がないんですけども、こちらのほうには0.1 torrとかそういうふうに引けていることを確認したとあるんですけども、これ、もう少し改善の余地はないのでしょうか。特にさっき曲げのところは5mRなので、あれは現実的じゃないぐらい曲がっているんですけども、断熱層薄くなっているわけですね、あそこ。

【増田G r長】 そうですね。

【下山分科会長代理】 実際のケーブル設計で何Rぐらいまでならそのことは影響が出てこないとか、それから、真空度がもう半分、3分の1になったときに、どれぐらいの効果というか、要するに、これからケーブルを長くしていったときに管の壁から入ってくる熱がどんどん無視できなくなってきますよね。それをちょっとお聞かせください。

【増田G r長】 まず曲げ特性に関しては、把握はしています。どれぐらいの曲げRになればどれぐらい侵入熱がふえるかというのは把握しています。本日は、資料は持ってきていませんけれども、先ほど

の5 mRのところでは直線部の4倍から5倍ぐらい侵入熱が増えています。大体10 W/mは超えるようなレベルになっています。ですから、その10 W/mとを入れて6 K/hというのが計算されています。曲り部の侵入熱は非常に大きな値になっていますが、10 mRとか20 mRとかになると増加はあまり影響はないレベルです。

真空度に対する侵入熱の影響というのももちろん把握しています。真空度に関しては、大体マイナスの4乗からマイナスの5乗 torr、運転中でそのぐらいの高真空でないと今の理想の侵入熱を達成しません。マイナス3乗 torr になってくると侵入熱は増加してきます。そういうデータを持っていました、真空度をいかに維持するかというところが課題でありました。

断熱管の部分に関しては維持はできるんですけども、昨日見ていただきましたように管路を白く塗っています。地表面に出ているので、日射の影響で表面温度が非常に上がり、(遮熱塗料で)白く塗らないと70度にも80度にもなる。これはベーキングしているのと変わらないので、どんどんアウトガスが出てきて、真空度が悪くなる。それを避けるためにも白く塗ったということが実際です。

【下山分科会長代理】 真空度自体は、この運転の間保たれていることは確認できたんでしょうか。

【増田G r 長】 できています。一部課題として挙げさせてもらったのは、端末部分の真空度が我々の想定を超えて悪くなっている。それで、途中、メンテナンスのときに真空引きをしています。

【伊瀬分科会長】 では、次、中澤委員お願いします。

【中澤委員】 今、真空あたりのお話があったのですが、長期的な使用を考えたときに、電気的な接続の部分、ハンダ接続の部分で長期的にずっと使用した場合にリスクがあったりしないのかとか、そのあたりも教えていただきたいのですが。

【増田G r 長】 電気的な部分の長期的な特性と言われると、ハンダ接続での劣化要因としては機械的な振動や、引っ張り力などが考えられます。化学的な変化なども考えられると思いますが、液体窒素を使っているので、極低温での化学的な変化というのはほとんど起こらないと考えています。そうすると、機械的な張力による影響ですが、超電導線材この部分は機械的な張力がかからないような設計になっており、全部の張力がフォーマ部分で持つようになっています。ですから、このフォーマ部分の長期的な機械特性がどうなるかに関わってきます。この技術は基本的にはOFケーブルで使っている技術でありまして、OFケーブルでは長期的な特性が確認されていると思います。

【伊瀬分科会長】 長嶋委員お願いします。

【長嶋委員】 14ページの長期課通電試験で1カ月やって30年相当だということなんですが、この考え方を教えていただけますか。どういうふうにカウントするのかという。

【増田G r 長】 ちょっと式を忘れましたけれども、V-T特性というのがありまして、電気絶縁の長期特性を示しますが、その絶縁破壊強度と時間との関係をカーブで描きまして、その曲線の指数部の値をn値とよび、このn値というのが超電導ケーブルの場合は実測で50ぐらいであるのが確認されています。OFケーブルでは30です。超電導ケーブルでも50はちょっと行き過ぎだということで、30の値で計算しています。n値30を使って、66kVの対地電圧38kVに対してn値と実運転時間30年と試験時間1カ月を使って計算すると、試験電圧が対地51kVと計算できます。

【長嶋委員】 それはこの報告書のほうに書いてあるんですか。

【増田G r 長】 はい、出ていると思います。

【長嶋委員】 わかりました。じゃ、それはちょっと教えていただくとして。

もう1つ、先ほど負荷のところ、約半分ぐらい、今のCVケーブルの半分ぐらいになるとおっし

やっていて、ちょっと内訳よくお話ししていただいたんですが、最初の本庄さんがご説明された資料の2020年の目標が約半分ぐらいになっているんですが、それと同じことだと思えばいいんですか。

【増田Gr長】　そうですね。1W/m/ph、3kAというのは、一応今回で最終目標として達成はしましたが、長尺という意味ではまだ確認できていないので今後の課題です。侵入熱については、次期プロジェクトのほうで目標になっている、1.8W/mを達成すれば、損失がCVケーブルの半分になることが到達できると考えています。

【長嶋委員】　わかりました。

【伊瀬分科会長】　市川委員。

【市川委員】　今回、ケーブルの現地布設ということで従来工法を使って布設されているんですけども、今回は張力の許容値を2tonというふうに規定しているんですけども、これの根拠はどこから来ているんですか。

【増田Gr長】　事前に計算をしまして、このUの字の5mR部分を引き込むときにどのぐらいの張力が必要か算出すると2tonぐらい必要ということだったので、ケーブルは2tonの張力設計にしています。ただ、少し裕度も持たせたかったので、ボールローラーを設けて、押し込みを入れて実際の張力を軽減させています。

【市川委員】　2tonというのは、ケーブルにダメージを与えないということで、超電導ケーブルの引っ張り張力のほうから来ているのではないということですか。

【増田Gr長】　そうですね、説明をだいぶ割愛しましたがけれども、これは断熱管の外側にテンションメンバを設けていまして、そこで引っ張っています。そのテンションメンバのサイズを変えることで、2tonでも3tonでも設計はできます。

【市川委員】　そのケーブルは1キロとかそういう長さで実際の管路に引き込むと思うんですけども、それはもう既にCVとかOFで引っ張られて、どのぐらいの張力が出るかというものはっきりしていると思います。そのときの張力でも超電導にダメージがないということは、もう既にそういう計算とかはされているということを考えてよろしいですか。

【増田Gr長】　実際にかかる張力というのはもちろんルートによって違うんですけども、曲り部で張力が大きくかかります。ケーブルの重さや長さで変わりますが、多分2tonぐらいだと通常引き込める範囲だと思います。

【市川委員】　そうですね、実際CVとかと比べるとはるかにこの超電導ケーブルは軽いので、逆にこれが最大と思えば、実際にも全然問題ないと考えてよろしいということですね。

【増田Gr長】　はい。

【市川委員】　あとは、中間接続部についても、実際の布設場所であるカルバート内を考えて作業されていると思いますが、実際カルバート内に入れるのに小さなマンホールのところから搬入することになりますが、そういうところも問題ないと考えてよろしいですか。

【増田Gr長】　一応マンホールサイズも考え、その中を通る装置で全部やっています。

【市川委員】　ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】　私から1つ、シールド層の効果ですけども、系統については、先ほどありましたようにインピーダンスが小さくなるということでしたけれども、ケーブルそのものについてはシールド層の効果というのは何かございますでしょうか。

【増田Gr長】　超電導導体は、磁場がかかるとIcが下がります。三心型のように、他相が近いと他相

の磁場の影響が懸念される。他相の磁場の影響がないようにするためには、超電導シールドは必要です。

【伊瀬分科会長】 ACロスを減らすという効果もありますね。

【増田G r長】 もちろんそうですね。

【伊瀬分科会長】 それから、シールド層のI cがちょっと大きくなっているんですけども、あれはあなってしまった？ 7,000Aという数字がありましたけれども。

【増田G r長】 そうです。それは単純にサイズの問題です。シールド層は径が大きいので超電導線の本数が多く、ICが導体層よりも高くなっています。

【伊瀬分科会長】 結果的にそうなってしまったということですか。

【増田G r長】 そうです。

【伊瀬分科会長】 わかりました。

6.1-3. 冷却システムの設計・構築（説明、質疑応答）

実施者より資料7-1-3に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【市川委員】 旭変電所の系で一旦とめて、温度をもう一度冷やされて、一番後ろまで冷えるのに2時間かかったと申されましたが、もしこれが実系統というか、実際に布設されて2kmのケーブルである場合、その10倍時間がかかるということよろしいでしょうか。

【町田所長】 そこはそうではなくて、今回も短いことを想定して冷凍機の配置とか、冷却システム側の設計を行っております。ですから、長くなっても、結局流量を増やしてあげてケーブルの入口から出口までの間の温度差をどのぐらいに想定するかによって決まります。今回2Kという想定でしたが、2Kに想定すると、単位長さあたりの熱負荷が同じであれば、1キロになると約4倍の長さになりますので、4倍の流量の液体窒素を流さないといけないということになります。

【市川委員】 実際、4倍の流量を流せるのですか。

【町田所長】 1キロだったら多分流せると思うんですけども、実際の長距離冷却を想定すると、やはり5キロとか10キロとかという冷却ステーション間になってしまいますので、そうすると、そうはなかなかいかない。ですから、温度差をもう少し広げるという方向に若干なるかと思えます。

【市川委員】 流量にも多分最適流量があると思うので、そのような観点からいって、超電導ケーブルの場合、今の最初から最初まで途中で冷却を置かないということだと、逆に言うと、どのぐらいの距離で冷却を途中で置かなければならなくなるかという観点からもあると思うので、その両方の観点から最適、経済的に一番優れているのはどういうことかというのは今後検討をしていただきたいと思えます。

【町田所長】 そうですね。一昨年NEDOさんの委員会の中で、さまざまなケースで冷凍機のステーション間をどうするかとか、そういうことは一度検討させていただいております。やはり長距離冷却ですとなるべく長いスパンでやりたくなる。そうすると、ポンプの能力が今度は問題だね、冷凍機は何とかなるんだけど、ポンプが本当に大丈夫かなというような課題も含めてまとめさせていただいております。

【伊瀬分科会長】 それでは、木須委員。

【木須委員】 今回システムの運用の話を中心にご紹介いただいたと思うんですけども、例えばコルゲ

ート管の中でどういうふうな流れになっているとか、どういう冷却特性になっているとか、そういったご検討は何かやられているのでしょうか。多分そういった条件があると、何kmまでこの方式で冷やせますよというようなことが出てくるんじゃないかなと思うんですけれども。

【町田所長】 残念ながら私どもの会社ではそのシミュレーションはやってないんですけれども、住友電工さんのほうでは多少やられていると思います。

【増田Gr長】 断熱管のコルゲートで圧損がどうなのかとかいうのは、このプロジェクトの前で評価しておりまして、そのデータは持っています。先ほどの質問とちょっとかぶりますけれども、やっぱり長距離になると温度差と圧損の両方を考えて、最適な流量を決めていく必要がある。温度差的には $\Delta T 10 K$ ぐらいです。それから、圧損としては1MPa、10気圧ぐらいでおさまるようなシステムにしたいと考えています。それで冷却システムのステーション間隔が大体3kmから5kmぐらい、もちろんケーブルによってですけれども、実現できると思います。

【伊瀬分科会長】 それでは、下山委員お願いします。

【下山分科会長代理】 昨日実際にあそこの冷却室のところで窒素のラインを見たら、あそこに来ているパイプは50mmφぐらいの穴しかあいてないんですね。

【町田所長】 はい。

【下山分科会長代理】 これ、全体流量としてはかなりゆっくりのように見えるんですけれども、そこを通るときはものすごく速いですよね。

【町田所長】 はい。

【下山分科会長代理】 実際にこれ、今毎分40Lで冷やしていますけれども、どれぐらいまで今のシステムで流量を増やせる？ かなり圧損が増えてくるような気がするんですけれども。

【町田所長】 そうですね、圧損に関しましては、ポンプの特性との兼ね合いもありますので、今、数字として細かい数字がお話しできませんけれども、実は冷却システム側の、後で高効率冷凍機のほうで少しお話ししようと思っていたんですけれども、実際にやってみて、冷凍機を複数台を設置する方式というのが、冷凍機を接続する配管が多くあり、大体ここの液体窒素の冷却システム側の断熱配管を流れているところというのが20Aから25A、ですから、20mmから25mmぐらいの径なんですね。

そこの中はご指摘のように流速が毎秒2mとかそういうふうにかなり早くなってきて、ケーブル側を流れているところは大体毎秒30cmとかそのぐらいなんですけれども、冷却システム側だけの圧損、それから、熱損失、これも冷凍機の負荷になってしまうので、やはりそこも合わせた設計をしないと、ケーブル側で一生懸命下げただけでも、冷却システム側でどんどん熱負荷が、圧損が多くなってしまいうばかなことにならないようにやっぱりしなければいけないというのが、改めてこの実証試験をやってわかっております。

【下山分科会長代理】 あとは、この次に本庄さんのほうから説明があると思うんですけれども、実際にこれ、冷凍機、使っている間にへたってきたわけですよね。

【町田所長】 はい。

【下山分科会長代理】 これは時間で見ると、リニアに何か効率が落ちてきたというイメージなのか、それとも、ある段階段階で不連続に劣化してきたのか、それとも、冷凍機ごとに個性があったのかとか、何かその辺はいかがでしょうか。

【町田所長】 まず冷凍機ごとの個性は相当あります。ですので、個体差が相当あって、8,000時間運

転してもそんなに能力的に落ちなかったものもあるし、3,000時間ぐらいからどんどん落ちていつてしまっているものもあります。

その原因は、我々も他社さんの冷凍機なのでなかなか言いづらいところもあるんですが、摺動部の摩耗による性能劣化もちろんあるんですが、冷凍機の真空で断熱されている、熱交換器のところの真空度の劣化の影響が、ここが個体差が大きいんですね。ですので、夏場なんかはここら辺にいったい露がついたりしていたんですが、やはり真空度を測ってみると、その影響が大きい。ですから、途中で真空引きして性能が少し回復したというデータも後で本庄さんのほうから紹介あると思うんですが、そういうことがわかりました。

【伊瀬分科会長】 ほかにも。

津田委員。

【津田委員】 詳細なるご説明ありがとうございました。細かい点で恐縮ですが、設定温度を69Kプラスマイナス1Kにされた理由は何でしょうか？

【町田所長】 冒頭の概要のご説明のときに本庄さんのほうからあったように、絵があるほうがいいんですけども、ケーブルの出口側の温度、ここからだんだん追って行って入口側の温度を決めたということになります。

【津田委員】 それは、あくまでも今回の短距離システムを想定した、ということでしょうか？

【町田所長】 はい。

【津田委員】 冷却する立場からすれば、67Kにしてもそれほど差がないと考えてよろしいでしょうか？

【町田所長】 65Kより下というのはなかなか難しいんですけども、67Kぐらいまでですと、冷凍機の運用上の問題は大きくありませんが、その分効率が落ちます。温度に対して冷凍機の効率はリニアに落ちてきますので、全体の効率を考えると、なるべく温度は高いほうが省エネになるということになります。

【津田委員】 それで、出口側の温度の制約から運転温度を決めているのでしょうか？あと、冷凍機のメンテナンス期間が実用化のときには一番重要になると思うのですが、技術的にはメンテ期間を延ばすことができるのか、ここがネックになっていて、今はメンテ期間を延ばせていないとか、その辺はどのような状況なのでしょう？

【町田所長】 冷凍機に関しましては、やはり今回私どもがブレイトン冷凍機を開発させていただきましたが、そちらにすることによって飛躍的にメンテ期間は延ばすことができると思っています。ただ、寿命があるというかメンテをしなければいけないという主なものはやっぱりポンプになるんですけども、ポンプに関してはやはり運用上の問題で、多少延ばすことはできると思っていますが、やはりある程度の時間を決めて、1万時間とか2万時間、まあ、2万は行かないですけども、運用上でやはりメンテナンスをしていくという、軸受部分とかを取りかえていくということになるかと思っています。

【津田委員】 もう1点ですが、ケーブルを設計するときは、交流損失の問題と圧力損失の問題について考える必要がありますが、一方は冷却の問題であるのに対し、もう一方は電気的な問題となります。話を聞いていて、ケーブル側の設計条件が決まってから冷却側の設計条件について検討した、という印象を受けたのですが、実際に運転するときには、圧損がかなりきいてくるような気がします。そうすると、ケーブル径をできるだけ小さくする方が望ましい、ということになり、先程増田さんが言われたようなケーブル設計にもかなり影響を及ぼすような気がします。以上の様な、実用化に向けての

設計指針というか考え方について、何かコンセプトがございますでしょうか？

【町田所長】 ですから、アプリケーションによって多分それぞれ考え方が変わってくると思うんですけども、やはり長距離冷却みたいなものに関しては、コストとか設置の問題とかがありますので、なるべく冷却ステーションの距離を長くしたい。そうなってくると圧損がやはり問題になってきて、圧損をなるべく少なくするような構成にしていくということは、今回当初から私どもも議論に参加させていただいたということでお互いに大分理解ができてきていると思っていますので、アプリケーションが決まれば、最適なシステム対応というような課題というのは、最初の議論の中ではっきりして、対策を打つものは対策を打つということが今後はできるようになったと思っています。

【津田委員】 今回は、そうやって、前川製作所さんと住友電工さんが一緒に検討されているから、その様なアプリケーションに応じた最適なシステム設計ができていて、ということが他にはない画期的な成果になっている、という理解でよろしいでしょうか？

【町田所長】 そうですね、はい。

【津田委員】 わかりました。それから、今回はケーブルが5 m径で曲げられていますが、その部分ではケーブル中の導体位置が直線部とかなり違っていると思うのですが、その部分の圧損は、直線部に比べて大きくなっていないのでしょうか？

【町田所長】 今回、ケーブルの圧損自体はですね……。

【津田委員】 変わらないですか。

【町田所長】 もう問題にならないぐらいの値なので、多分圧損に関してはそんなに大きな影響はないと。ただ、熱損失に関しては課題となっています。

【津田委員】 それでは、ケーブル中の導体位置がどうであれ、ケーブル全断面積に対する冷媒流路の断面積の割合がある程度決まれば、圧損は決まるということでしょうか？

【町田所長】 基本的には流速と表面の形状によって決まりますので。

【津田委員】 ケーブル断面中の導体位置が変わると、場所によって液体窒素の密度差ができる様な気がするのですが、その影響は大きくない、ということでしょうか？

【町田所長】 若干はあると思うんですけども、もともと流速が30 cm/secぐらいと非常に遅いからです。

【津田委員】 わかりました。どうもありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 あと、いかがでしょうか。

中澤委員。

【中澤委員】 ご質問というか、コメントになってしまうのですが、冒頭の本庄PLからのご説明でもあったんですけども、今回改めて、最終的にシステム自体の損失を減らすときに、循環系も含めた冷却システムで考える大切さというのを今日聞いていてつくづく思いました。今後の損失低減をぜひ期待していますというのと、町田所長のお話でもあったんですけども、今回、冷却機メーカーさんと電線メーカーさんが一体となってやる必要性というのを感じました。以上です。

【町田所長】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 長嶋委員のほうから何かございましょうか。

【長嶋委員】 今回、ケーブルは一応、試験設備の中で折り返してきているという感じで、冷却しやすいやり方なんじゃないかなと思うんですが、実際本当に送電用という形で考えるときの何か概念図みたいなものを資料の中で探したんですが見つけられなかったんですが、そういうことももし何かお考え

がありましたら教えていただきたい。

【町田所長】　今回は試験の設置の場所問題もあって、折り返して、端末が横並びにあって、その脇に冷凍機室があるという、そういう意味では非常にやりやすい、冷却しやすい方法だったと思います。ケーブルの冷却をしていくと、さまざまな考え方があってと思うんですが、冷却ステーションごとに折り返して冷やしてあげるという方式と、それから、バケツリレーみたいな形で、片道切符で最後に冷却ステーションでぐるっと折り返して戻ってくるというような形、大きくは多分2種類が考えられるだろうと思っております。

これもやはりアプリケーションが決まらないと机上の空論みたいなところがございます、ですから、長距離冷却は、多分配置によっては、私は個人的には片道切符で最後のところを戻してあげるというような形がいいのかなと思っておりますが、それもやっぱりアプリケーションごとに検討していくべき課題だろうと思っております。それでよろしいでしょうか。

【長嶋委員】　はい。

【伊瀬分科会長】　そうしましたら、私のほうから。今回そこに出ていますように、オン・オフ制御、台数制御ということでやられたんですが、もし冷凍機の能力可変制御ができれば、これ、台数制御じゃなくて、連続的に運転したほうが効率よくなるんじゃないかということも考えられるんですが、その辺はいかがでございましょうか。

【町田所長】　そうですね、こちらはもうこれしか方法がないということで。今回、残念ながら私どもの冷凍機が間に合わずに、スターリング冷凍機で、容量が小さいやつ複数台設置という形をとったためにこういう運転をしたわけなんです、後ほどご説明いたします新型ブレイトン冷凍機は、容量可変になっております。ですから、負荷に合わせて温度を一定にするように冷凍機の能力を変えていける。それはコンプレッサとかの回転数を変えたり、循環する流量を変えたりという方法でやれるものができました。

先ほど下山先生からご指摘があったように、この内容と新しい冷凍機の内容というのは、これらで課題がわかったものを全てそちらの冷凍機で何とか解決しようというようなやり方なので、ここまでの発表ですともう大分時代が前の技術になってしまったというような形になっているんですが、実際にやった内容ということで今回、報告させていただきました。

【伊瀬分科会長】　わかりました。どうもありがとうございました。

6.1-4. 実系統における総合的な信頼性検討（説明、質疑応答）

実施者より資料 7-1-4 に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【津田委員】　ご説明ありがとうございました。8 ページ目の通電損失ですが、先程のご説明では、算出方法は、全損失から平均的な侵入熱と誘電損を引く、ということでしたが、ということは、昼間は、侵入熱が平均値よりも多くなりますので、実際の通電損失はこれより小さくなり、侵入熱が平均値よりも小さくなる夜間の通電損失は、これらより少し大きくなり、8 ページ目のグラフでは、白のプロット（昼間）と緑のプロット（夜間）の間に実際の値が来る様な気がします。このとき、13 ページ目の縦軸のケーブルでの熱負荷が、夜間では非常によく合っている、とすると、侵入熱以外に何か別のロスが発生している様にも思えるのですが、その点についてはどうお考えでしょうか？

【本庄 P L】　先ほどの計算式の部分は、この侵入熱ということで、規定温度に対して、昼夜の温度差を

平均すると大体6℃なんです。6℃分の温度が上がったときに侵入熱がどのくらい増えるかというのを計算して、それを引いているという形になっています。そういう意味では、夜も常に温度が最低になるかというのと、これでいくと21時から5時ということで、まだ21時とかいうところは温度が下がっていく段階なので、夜の段階のデータとしてはそこそこいいデータが出ているのかなとは思いますが、ですから、そういう意味では、昼間のデータのほうが6℃よりもはるかに大きな温度差の影響が出ているということを示しているということで、おそらく両方とも同じような傾向を出しているとは思いますが。

【津田委員】 原因不明な別の損失が発生している、というように解釈しなくてもよい、ということでしょうか？

【本庄P L】 はい。

【津田委員】 わかりました。今のことも関係するのですが、先程増田様のお話で、基本設計では侵入熱が2W/mぐらいというのに対して、実際には3W/mになっているということでしたが、この差はケーブルを長距離化するときにはすごく影響してくると思います。この差が単なる侵入熱によるものなのか、それとも他に要因があるのか、その辺はどうでしょうか？

【本庄P L】 これは増田さんからのほうがよろしいですか。

【増田G r 長】 先ほど2W/mと言ったのは、将来的といいますか、F/Sでの前提条件で与えた数値です。今回の実証プロジェクトのケーブルでの断熱管が3W/mになったのは、サイズの制限から、交流損を減らすという方向で設計したため、断熱管の侵入熱にしわ寄せが行った。断熱管は、サイズの的に大分厳しい設計をしているので、侵入熱が多くなっている。

【津田委員】 断熱管の侵入熱にしわ寄せが行ったというのはどういうことですか？

【増田G r 長】 できればもう少し断熱管の断熱層を広げたい要望があったんですけども、逆にここは狭くなっている。

【津田委員】 その辺の制約条件は、ケーブルをより重視した、という意味でしょうか？

【増田G r 長】 全体サイズを考えてということですよ。

【津田委員】 それでは、そういったことへの解決策や対応策というのはもう明確になっていて、たまたま今回はそういう仕様でやったので3W/mになった、ということでしょうか？

【増田G r 長】 もちろんサイズを広げれば損失は下がる方向だと思いますが、全体のサイズが大きくなるので、そのあたりの兼ね合いでまだまだ改善の余地はあると思います。

【津田委員】 わかりました。

【本庄P L】 今回、先ほどお話あったんですけども、Uの字のところを引き込むということで、テンションかなり強くなるので、あえてテンションメンバを入れているという形になります。二重断熱管のところのすき間がその分減ってきているということもあって3W/mぐらいになっているということで、実機で使うときにはその分が減る可能性があるのと、ただ逆に言うと、今度は長くなるので、長くなるとその分またテンションメンバが要るんじゃないかとかという話がありますが、その辺の兼ね合いで決まってくるかなという感じがあります。

【津田委員】 あと1点すみません。10ページ目のCOPの計算のところ、停止している冷凍機が熱負荷になる、という点がよくわからなかったのですが、運転していない冷凍機は除外していないのでしょうか？

【本庄P L】 6台とも全て液体窒素が全部通る形になっていますので。止まっているときも除外してい

ないんです。常に冷えた状態になっている。

【津田委員】 ということは、評価上も考慮している、ということですか？

【本庄 P L】 単体の試験ですと入口と出口の温度差から見ますから、これはもう単純にその冷凍機がどれぐらいの能力を持っているかということになります。システムで見ますと、冷却室に入って出てくる温度差と、そこの全部で使っているエネルギーがどのぐらい使っているかと、単純に言うとそのことで決まりますので、そういう意味では中にある配管が多ければ多いほど増えますし、中で停止している冷凍機が多ければ、その分ロスが増えてしまうということになります。

【津田委員】 そういうことですね。システム全体で評価していて、実質的な部分だけの評価ではないということですね？

【本庄 P L】 そうですね。

【津田委員】 わかりました。逆に、今回は、実質的な部分だけの評価はされていないのですか？今後の汎用性のことを考えると、むしろ、今回採用しているシステム構成に起因する影響を取り除いた方が、純粹に見やすくなると思うのですが如何でしょうか？

【本庄 P L】 停止したものを除いてという計算もしております。

【津田委員】 そうですか。

【本庄 P L】 ただ、やはり使用者側から見ると、システムとしてどうかというところが重要ですので。

【津田委員】 それはそうですね。わかりました。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 では、下山委員。

【下山分科会長代理】 こういうふう長いこと試験やって、この情報が非常に重要だということはよくわかるんですけども、かつてアメリカの Albany で似たようなケーブル試験が比較的長い時間行われて、全く同じような規格の超電導線使ってやられたと思います。そのときにもう幾らかこういうような知見は得られていたと思うんですが、今回のプロジェクトでよりあらわになった点がどこであるかというのがまず1つ目の質問です。あと、2つ目は簡単です。

【本庄 P L】 Albany のほうの試験、私も一度見に行きましたけれども、結果として、データとしてどういう特性を持っているかという、こういった実測のデータはあまり出てきてないんじゃないかなと思います。そういう意味では見るだけは見たんですけども、結果としてどんなものかというのはなかなか評価しづらいところがあったんですね。ですから、今回の中でこういったかなり細かいところまでデータが出たというのは、それ一つ一つが非常に重要なデータがとれたと思っています。

【下山分科会長代理】 あと、今回のプロジェクトはバイパスの形でつくっていますので、保険かかっています。実際にこれ、ケーブル運用するときには、実際に都市間のときはきっとバイパスはつけませんよね。

【本庄 P L】 そのバイパスはどちらの？

【下山分科会長代理】 今の場合は短絡しているところを盲腸みたいに出してケーブルをつけていますから、いつでもこっちに逃げることができますけれども、実際の運用になって幹線に使えるようになってくると、やはり超電導メインで、ほかのルート回ればいいんですけども、そんな簡単に切りかえるわけにはいなくなってくると思うんです。

そういう意味で、このプロジェクトで難しかったかもしれないですけども、今、出口温度として最高 79 K まで上げましたよね。もっと温度が高いところまで上げたときに何が起こるのか。要するに、電流は下げれば超電導は壊れないわけですけども、そのとき冷却機で何が起こるのかとか、そ

ういう試験というのはやる予定はなかったんでしょうか。極限的なところで何が起こるかというのはこういうときにしかできない試験だと思って見ていたんですけれども。

【本庄 P L】 系統を接続した状況でということになると、やはり重故障、何かあったときに系統を止める影響を与えるということを避けるために、ぎりぎりのところかなということで79Kまでにしているということです。

これ、個別で別にしました？

【増田 G r 長】 温度が高いところではやれてない。I cについては温度が高いところでも測っていますので、それで、大体どれぐらいの温度まで運転できるかという想定はしています。

【下山分科会長代理】 いや、超電導は大丈夫だと思うんですけれども、冷却システムのほうで何か起こりやしないかということを行っている。

【町田所長】 冷却システムの場合は、出口側、ガスが途中で発生をするということになったときに何が起きるかというのが1つの目安になるんですが、実は今回は77Kでも10K以上、88Kとかまでのサブクールマージンを持っておりまして、逆に言うと、冷却システム側よりはケーブル側の出口温度を監視することで問題ないだろうと思ってはいました。あとは、先ほど本庄さんからおっしゃってもらったように、途中で何か異常があった場合ですね。例えばどこで漏れてしまったとか。そういうことは全くないような運用をしてしまったというのが今回のプロジェクトでございまして、それはやはり今後検証はしておかないといけないんだろうなどは思います。

【増田 G r 長】 先ほどのAlbanyのことで少し補足します。我々住友電工、は、ケーブル側のデータというのはもちろん我々が独自でとっていますので、データは持っていますし、ある程度レポートも出させてもらっているのですが、どういう運転状況であったかというのはそれを見ていただければわかると思いますが、冷却に関してのデータは、我々でさえもえてない。冷却は当時のBOC社が担当していましたが、ほとんどデータを出さないところでして、こういった冷凍機のCOPも我々は全くわからなかったです。そういう点では、今回冷却システムも含めたデータがとれたというので意義があったと思います。

【下山分科会長代理】 わかりました。

【伊瀬分科会長】 次、中澤委員。

【中澤委員】 何点かご質問があるんですが。1点目は、14ページで真空の話が出ていたんですが、真空が悪くなっている原因として、終端か中間接続部かどちらかだと思うんですけれども、その辺の原因分析とか、どちらの部分が悪いとかかそういう評価とかはされていますでしょうか。

【増田 G r 長】 個別にデータをとっていますので、終端部分が悪くなったというのは確認しています。

【中澤委員】 中間部じゃなくて終端部のほう？

【増田 G r 長】 終端部です。

【中澤委員】 わかりました。それで、15ページのところで、対策として定期的な真空引きというのがあるんですけれども、右側のグラフとか見てみますと、真空度が1から10のどこかの、そこぐらいまでフラットで来ていて、ある時点から急激に悪くなっているように見えるので、真空度を接点化して軽故障か何かに持っていき、それで監視するやり方もあるのかなと思います。

それから、もう1点ご質問です。遮熱の話があったと思うんですけれども、遮熱の考え方なのですが、これは直射の遮熱という理解でよろしいでしょうか。というのは、埋設部は直射が当然関係ないと思うので、そういう理解でよろしいかということです。

【本庄PL】 はい、これは直射の遮熱になります。ですから、地中で全部使う分にはこの問題は出てこないと思います。ただ、例えば発電所で使う場合とかLNGの配管とかも地上を這う場合とかがありますよね。だから、そういったところも同じようなことになっているということで、例えば超電導ケーブルを発電機の引き出し口で使う場合に、それが地上部分を這う場合があるのであれば、同じようなことは考える必要があると思います。

【伊瀬分科会長】 よろしゅうございましょうか。

では、長嶋委員。

【長嶋委員】 先ほど津田先生のほうからお話がありましたけれども、冷凍機のオン・オフ制御でやられたと。さっき町田さんのところで申し上げるべきだったのかもしれませんが、これ、やっぱり回転数を変えれば能力はコントロールできると思います。我々もやったことあるんですけども、そういうやり方をすれば、効率も一応単体の能力からそれほど落ちないなんていうこともあるんじゃないかなということで、そういう使い方をするかしないかは、別にこれはスターリングの問題じゃないんじゃないかなということもさっき思ったものですから申し上げたかった。

あとは、軽故障があったときに冷凍系は問題なかったというお話なんですけど、冷凍機は大体8,000時間でメンテナンスをやられていたということなんですけど、ポンプも標準、大体どれぐらいでやられていたんでしょう。

【町田所長】 実際の試験においては9,000時間ぐらいでやって、メンテナンスした内容に関しては、中の部品のチェックとかそういうことをやりました。

【長嶋委員】 そこでトラブルが起きたりとか、何か不具合があったということはない？

【町田所長】 そうですね、冷凍機もポンプもそうなんですけれども、運転しながら系内を開放して行くことになるものですから、一番気をつけなければいけないのは、外気というか大気が中に入って、特に水分が悪さをするという事は絶対に避けなければいけないということで、そのやり方に関しては事前の準備も含めて相当やりましたというか、工場試験から3回にわたってやり方を確認して、実際の実証試験でもポンプは1回、それから、冷凍機は全台数行ったということになります。

【長嶋委員】 わかりました。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 市川委員お願いします。

【市川委員】 今回検証項目の中で電気的特性としていろいろとられているんですけども、その中で臨界電流でケーブルの劣化状況の判定というか評価をしています。これが実際に敷設されたケーブルにおいては臨界電流測定というのは基本的には不可能かと思われませんが、実際運用されたケーブルにおいて臨界電流にかわる評価法というのは何かお考えがあるんでしょうか。

【本庄PL】 やはり臨界電流測定は何らかの方法で現地でもしたいなという気持ちはあります。ですが、長距離になりますので、今回みたいに両方端末が並んでいけばすぐI_c測定もできるんですけども、もう行ったきりになりますので、そうした場合、向こうで例えば黒相と白相を短絡して黒・白相だけで測定するとかですね。ただ、臨界電流は相当高いので、それなりの設備を置かないと直流の電流測定ができなくなるので、そこはちょっと課題にはなるかとは思いますが、ただ、それ以外で特性というとなかなか難しいかなと。ですから、布設前に工場で見ながら、布設の施工管理でというのは、それ、今、通常のやり方ですけども、それ以外、今のところどうかなというところがありますね。

【市川委員】 実際今回試験を行って、基本的にはもうほぼ全然変わらないというような状況だと思われまます。さらに短絡試験もやられて劣化もないということなので、そういう意味では、工場出荷時に1

度検査しておけば、想定された範囲内での使用では劣化はないと考えて、現地での臨界電流測定は不要というようなことは言えないのでしょうか。

【本庄PL】 端末とジョイントが現地施工になって、超電導線自体にさわるんですね。今はそこ、ごらんいただきました超電導と超電導の接続部分はハンダで接続しているということで、ハンダの温度と時間の管理をすることで問題ないだろうということにしていますけれども、それに対して、本当にそれを電氣的に評価しないままに使っていいかどうかというのは、その施工技術のところとあわせて評価すべきところだと、課題としては残っていると思います。

【市川委員】 今のお話を聞きますと、ケーブル全長においては問題ないけれども、接続部が問題ということで、逆に接続部だけの評価だと、何か技術的に可能ではないかと思われませんが、全体で評価しなければいけないのか、それとも部分的に評価するのか、その辺は実際ケーブルが運用された場合に、検査の経済性とかも考えて、やるべき項目とやらなくてもいい項目があると思うので、その辺の検討もよろしくお願ひしたいと思います。

【本庄PL】 どうもご指摘ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 木須委員。

【木須委員】 先ほどありました10ページのCOPの話ですけれども、私もこのデータは、ケーブルのパフォーマンスという意味では非常に大事なデータが得られたんじゃないかと思います。今回のケーブルは240mとわりと短い状況で、片やU字の部分でしたり、端末の部分があるということで、そういう意味では、超電導ケーブルから見るとかなり厳しい条件の数値として出ているんじゃないかと思います。

例えばこの結果をもとに、もうちょっと長いケーブルにしたときに、例えば冒頭、CVケーブルの2分の1というような目標があるというお話が出たと思うんですけれども、逆にどれぐらいの長さであればかなりメリットが見込めるとか、そういったオペレーションの条件に関する検討なんかもできるんじゃないかと思っているんですけれども、そういった検討って何かされているのでしょうか。

【本庄PL】 個別のところについてはまだ、どのぐらいの長さでCOPから経済性が出るという、そこまで個別のところまで見ておりませんので、今後、そういった対象を具体的に選定しながらそういう評価をしていくという段階に入っていくかなと思います。

【木須委員】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 それでは、私のほうからも1つ。通電損と評価しておられましたのでお聞きしますけれども、今回の試験で通電損によらないベースの損失と通電損による部分の損失というのはどのぐらいの割合かというのをもし評価しておられましたら教えていただきたいんです。超電導の場合、どうしてもベースの部分の損失が大きくなってしまおうという傾向があります。

【本庄PL】 そういう意味では、こちらにありますのは熱損失のデータということで、無負荷状態で測定したもので、これが1つのベースのデータかと思います。これに対して通電損失、誘電損失がのってくるという形になって、誘電損失はほとんど無視できるということになりますので、このデータが基準になる、電圧・電流が流れていないときにこれだけのものが出ているというところのベースになると思います。それが実測で2,400kWということになります。これに通電損がのるんですけれども、そういう意味ではここがかなりの支配的なところを占めているというデータになっているかと思ひます。

【伊瀬分科会長】 わかりました。

6.1-5. ケーブルの高性能化の研究（説明、質疑応答）

実施者より資料 7-1-5 に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【津田委員】 ご説明ありがとうございました。少し気になるのは、高性能化ということで、これまでの成果の延長ということを考えて、シールド層を無くすという発想には至らないと思いますので、シールド層を無くした点が奇異に感じられます。もちろん、シールド層でのロス、先程言いました様に非常に大きいので、そのロス分を無くすというのはわかるのですが、シールド層が無いと、今言われているように、垂直磁場の影響で I_c が下がり負荷率が上がることによるロス増大が起きることが予想されます。これが、これまでにシールド層付きの三相一括型を採用されてきた理由だと思うのですが、今回高性能化ということで、シールド層無し、を選ばれたというのは、これまでの成果とどう結び付けようとしている、ということなのでしょうか？

【増田 G r 長】 シールドの損失が低減できるというのはもちろんそうなんですけれども、設置場所の自由度があるということです。こういった 1 m 級のブスバーが入るようなスペースがあるので、超電導ケーブルとしては、管路の中におさめる場合と異なり、空間にもっと自由度があるので、もう少し相間距離を広げられるんじゃないかと考えています。そうすると磁場の影響も小さい。そういう発想からシールドなし、コストの面もありましたので、検討しているところです。相間距離 350 mm が現行設備の 1 つの例ですけれども、それをもとに試験を実施すると、磁場の影響があるというところでは。

【津田委員】 それと関係して、350 mm 離れたときのケーブルの AC ロスは測定されていないのでしょうか？

【増田 G r 長】 今日の結果には入っていないんですけれども、実験は行っています。

【津田委員】 そうですか。その場合、シールド層が無い分 I_c が下がって、負荷率が上がりますのでロスが増えると思うのですが、メートル当たりどれくらいロスが増えたのでしょうか？

【増田 G r 長】 数値的に今ははっきり覚えていませんけれども、それほど大きくなくて、5%か10%か、それぐらいの影響だったと思います。

【津田委員】 その程度ですか。

【増田 G r 長】 その程度だと思います。

【津田委員】 その程度であれば、シールド層を無くす、という解もあり得る、ということでしょうか？

【増田 G r 長】 そういうことです。

【津田委員】 あと 1 点だけすみません。このケーブル構造の図を見るとピッチがないように見えるのですが、これは意図的なものなのでしょうか？真っ直ぐ並んでいるように見えるのですが、、、。

【増田 G r 長】 単なる絵の問題で、実際にはあるピッチで巻かれています。

【津田委員】 そうですか。別の概念が入っているのかと思ったのですが。そういうことではないのですかね？

【増田 G r 長】 一番最初のほうで議論した均負荷化というのは、この 4 層のピッチ調整の中に今後入れたいと思います。この絵は特に意図はありません。

【津田委員】 わかりました。ちなみに、今回は、 I_c が何 A の線材をトータル何本使用する、ということで設計されたのでしょうか？ どうか、試作ですか？

- 【増田G r 長】 そうですね、I c 的にはですね……。
- 【津田委員】 先程言われていた I c 2 0 0 A の線ですか？
- 【増田G r 長】 1 2 k A だから I c は多分 2 万 A 超えていたと思うんですけども、2 万か 2 万二、三千 A だと思うんですけどね。それで、2 0 0 A 級を使っているんで、多分磁場を考慮して線材本数は 1 2 0 本ぐらいは使っていたと思います。ちょっと不正確だと思いますけれども、大体それぐらいのオーダーです。
- 【津田委員】 それなら、1 2 k A 流すのに対して、負荷率は 5 0 % ぐらいのイメージですね？
- 【増田G r 長】 そうですね。
- 【津田委員】 わかりました。ありがとうございました。
- 【伊瀬分科会長】 では、下山委員お願いします。
- 【下山分科会長代理】 基本的なところで、これは長さとしてどれぐらいのものを想定しているんでしょうか。
- 【増田G r 長】 今の発電機とステップアップトランスとの間というのは大体 1 0 0 m 以下なんですね。だから、発電機の引き出し線としてはおそらく 1 0 0 m 以下だとは思いますが。
- 【下山分科会長代理】 そうすると、やっぱり末端の影響がでかいからということでいろいろ考えてらっしゃると思うんですけども……。
- 【増田G r 長】 そうですね、はい。
- 【下山分科会長代理】 実際に置きかえるメリットというのは、さっき、穴掘らなきゃいけないとかいろいろありましたよね、最初の建設で。それ以外に、運転のときのエネルギー的な面でのメリットというのは、この今の実験で十分に出るということがもう証明されているんですか、これ。
- 【増田G r 長】 この後のセッションでここの F / S を報告することになっているのでそこでお話ししますけれども、先ほどの 1 0 W / m とか想定した数値であれば、メリットは十分出ます。
- 【下山分科会長代理】 わかりました。
- 【伊瀬分科会長】 ほかの委員の方々よろしゅうございますでしょうか。
では、中澤委員。
- 【中澤委員】 1 0 ページの部分で少し教えていただきたいのですが、断熱とか冷却とかいう面での管理値なり目標値みたいなものはあるのでしょうか。その辺よくわからなかったものですから。
- 【増田G r 長】 この末端部分の熱的な損失でいきますと、真空断熱層からの侵入熱と、電流リードから入ってくる熱量と、超電導と常電導の接続部の発熱等がありますが、電流が大きいので、ほとんどがこの電流リードと接続部の発熱です。侵入熱等はもちろん計算していますが、多分数十 W のオーダーでほとんど無視できるレベルです。
- 【中澤委員】 侵入熱はもうそんなに気にしなくていいレベルということでしょうか？
- 【増田G r 長】 もちろん真空とかを維持するためには従来の技術で対応でき、それほどシビアじゃない。むしろこの電流リードの侵入熱をいかに減らすかというところがポイントになります。
- 【伊瀬分科会長】 あとは、市川委員お願いします。
- 【市川委員】 短絡試験をされて検証されているんですけども、6 3 k A、2 秒ということで温度上昇は問題ない範囲ということなんですけれども、これ、先ほどの説明で電磁力に関して大体 1. 3 t o n ということなんですけれども、6 3 k A の短絡で 1. 3 t o n ってちょっと小さく感じるんですけども、これは直流部なしの状態での電磁力の検証なんですか。

- 【増田G r 長】 すみません、詳しい状況までは今覚えてなくて、後でまた回答させていただきます。
- 【伊瀬分科会長】 他はいかがでございましょう。
- 長嶋委員、よろしゅうございますか。
- 【長嶋委員】 はい。
- 【伊瀬分科会長】 では、木須委員。
- 【木須委員】 これ、先ほど100m程度ということで、冷却の問題は特に重要ではなくて、むしろ端末とかACロスの部分がドミナントだというふうに考えておけばよろしいですか。
- 【増田G r 長】 冷却に関しては、このシステムで大体10kW級の冷却が要ります。短いんですけども、熱量的には大きい。そうすると、冷却システムとして信頼性のあるものであったり、COPが高いものであったり、長距離ケーブル用の冷却システムとも共通的な課題です。先ほどの ΔT とか ΔP とか、それを考慮したシステム設計になります。
- 【木須委員】 後で多分話あると思うんですけども、10kWということは、ブレイトン冷凍機の例えば5kW2台とか、そういうイメージで考えた？
- 【増田G r 長】 そういうイメージを持っております。
- 【木須委員】 わかりました。
- 【伊瀬分科会長】 遮蔽層ですけども、超電導の遮蔽層をなくされたんですけども、銅のは残っているんですけども、これもなくすという選択はなかったんですか。
- 【増田G r 長】 Cuの遮蔽層は、電界遮蔽の役割です。この部分に大きな電流は流れない設計です。
- 【伊瀬分科会長】 なるほど、そういうことですか。
- それから、ブッシングですけども、そこの熱侵入が大きいということですけども、高温超電導の高温超電導のものを使ってワークするという案はございませんでしょうか。
- 【増田G r 長】 そういう材料があればいいんですけども。
- 【伊瀬分科会長】 今のところないということで。
- 【増田G r 長】 はい。
- 【伊瀬分科会長】 なるほど、そうですか。わかりました。
- では、津田委員。
- 【津田委員】 1点だけお伺いしたいのですが、、、この種のケーブル設計で、シールド層を無しとする場合、線材に磁場が印加されないようにするには、層数が少ないほうがよいと思うのですが、、、今回は4層にされていて、1本が150mm ϕ ですと、径を4倍の600mm ϕ にすれば1層にできますので、その方がロスは小さくなるような気がするのですが、その辺はどのようにお考えでしょうか？
- 【増田G r 長】 設備投資すればできると思いますが、今ある設備でつくれるケーブルサイズの限界があります。断熱管のコルゲートでも結構サイズ的にぎりぎりであったり、絶縁紙を巻くサイズにも限界があります。あとは $\phi 600$ mmになるとドラムに巻けないような気がしますので、なかなかそのあたりの制限があります。
- 【津田委員】 そういう制約もあるということですね。
- 【増田G r 長】 ありますね。
- 【津田委員】 わかりました。ありがとうございました。
- 【伊瀬分科会長】 はい。
- 【下山分科会長代理】 コルゲート管使わなきゃいけないんですか、これ。

- 【増田Gr長】 メリットの一つにレイアウトの自由度もあると考えて、コルゲート管を使う設計になっています。
- 【下山分科会長代理】 自由度がある必要がある場所かどうかという……。
- 【増田Gr長】 それは場所によりますね。
- 【下山分科会長代理】 固定して使ってしまう方がいいわけですので、そんな制約はないような気がするんですけども。
- 【増田Gr長】 確かにそうすると1mの管とあんまり変わらない話にもなるんですけども、サイズを大きくするという意味ではそうかもしれません。少なくとも絶縁を巻くという意味では、やっぱり600mmまではなかなか今の設備では巻けないです。

6.1-6. 冷却システムの高性能化（説明、質疑応答）

実施者より資料7-1-6に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

- 【津田委員】 ご説明ありがとうございました。まずお伺いしたいのは、11ページ目の高COP一定での容量制御方法を考案されたということで、これは素晴らしいことだと思うのですが、この実験結果は77Kでの結果でしょうか？
- 【町田所長】 11ページ目のやつは、これは、そうですね……。
- 【津田委員】 77K？
- 【町田所長】 ごめんなさい、これは69Kのときでございます。
- 【津田委員】 そうですか。
- 【町田所長】 はい。COP比で書いてありますので。
- 【津田委員】 比ですね。絶対値ではなくて、…。
- 【町田所長】 絶対値ではない。
- 【津田委員】 それは、温度に関係なくこの様な制御方法が適用できる、ということを確認された、という解釈でよろしいでしょうか？
- 【町田所長】 そうですね。最後の総合運転試験のところを見ていただくとわかるんですが、温度を上げたときにも圧力制御を常に負荷の変動に対して行っているということで、そこにCOPを直接書き込んでないんですけども、その3パターンそれぞれにおいて、2つ目の第2週目のパターンは若干回転数制御が入っております。ここのパターンのときだけは回転数制御が入っておりますので、若干性能的に総合効率としては下がってはいます。
- 【津田委員】 それでは、実証用のケーブルを使うときには、0.08ぐらいで運転ができるということでしょうか？
- 【町田所長】 69Kですか？
- 【津田委員】 69Kです。
- 【町田所長】 そうですね、69Kだとそうなりますが、先ほど言いましたように、モーターの部分であるとか、全体の漏れ損失であったり、流体的なところも含めて若干改善の余地はあると思っておりますので、さらにそれを上げるための努力はしていきたい。
- 【津田委員】 まだ余地はあるということでしょうか？
- 【町田所長】 あると思っています。

【津田委員】　　そういうことですか。あと、少し細かいことで恐縮ですが、5ページ目の、今回メンテ時間を確保するという意味で非接触軸受とあるのですが、具体的にはこういった軸受けを使用されているのでしょうか？

【町田所長】　　図を用意してなくてわかりづらいんですけども、これが大体配置とさせていただくと、軸受の部分というのはこのモーターを介して左右両方ついております。それをマグネットベアリングで保持しています。

【津田委員】　　永久磁石型ということですか？

【町田所長】　　永久磁石ではなくて、電気コイル型の吸引型のマグネットベアリングを使っています。ですから、運転中は常に非接触ということですよ。

【津田委員】　　わかりました。ありがとうございました。

【伊瀬分科会長】　　ほかの委員の方々いかがでしょう。

では、下山委員をお願いします。

【下山分科会長代理】　　これ、ブレイトン冷凍機にしてCOP=0.1を目指される。もっと上は行けないんですか、原理的に。

【町田所長】　　そうですね、一応今、考えられる限りのことはやったつもりなんですけど、先ほども申しましたように、圧縮機・膨張機の断熱効率、これがやはり全体のCOPに対して支配的になります。ですので、上げるとしたらこれをさらに効率を上げていくということになるんですが、数%ぐらいは、数%といってもかなり下のほうの数%ですけども、もう少し上げられるかなという感触は持っています。

【下山分科会長代理】　　それから、あともう1つ、目標3万時間ということで設計されている。一番寿命にききそうな箇所ってどこだとお考えでしょうか。

【町田所長】　　今のところ、我々として点検として3万時間とっております。基本的には非接触で回しますんで、消耗する部品はありません。ただ、中に使っています、先ほどのマグネットベアリングをきちっと制御するためのセンサーであったり、制御回路だったりというところはやはり電子部品になりますので、それはある程度の時期に交換をしないとイケないと思っております。あとは、シール材とガスケットとかOリングとかそういうものは、接触してなくても静止状態で使ってもやっぱり劣化をしますんで、そういうものは交換しなければいけない。あとは、3万時間で1回点検をさせていただいて、問題がなければそのまま使う方向に行こうと思っております。

もう1点、マグネットベアリングがもし何か変なことが起きた場合とか、UPSで電源は確保しているんですが、電源が落ちた場合とかいうときには、保護用の転がり軸受とか、普通のベアリングの中に入れてあります。もしそういうことが起きた場合は、その転がり軸受というのは数回ぐらいは使えるんですが、ドライの状態でございますので、ある程度何回かそういうことが起きた場合は交換をしなければいけないというところが、正直ベースで言いますとそこがネックになるかもしれないなと思っております。

【下山分科会長代理】　　わかりました。

【楠瀬主研】　　1点だけ補足させていただきます。今の下山先生のご質問に関しては、我々もやはり冷凍機のところのCOPはもっと上げていただきたいと。冷凍機メーカーさんは、もういっぱいいっぱいですよと言っているんですけども、今までいろいろケーススタディ等をやって、このところでやはり経済性が大きく変わるということがわかりましたので、今年度からのプロジェクトではCOP=0.11

と、10%、1割なんですけれども、改善し、それとともに、除去する熱のほう、断熱のケーブルのほうの性能を同じく1割上げて、トータルで2割、侵入熱と冷凍機でそれぞれ1割ずつ頑張っていたいて、トータルで2割の効率改善をするということを目標に3年間でやっていただくと。すごく高い目標ではあるんですけれども、やはり目標を掲げてやっていただくことで技術は必ず進歩すると思っております、そういう形で設定させていただいております。

【下山分科会長代理】 できれば0.15ぐらいにして……。

【楠瀬主研】 そこはいろいろ考えてみましたが難しい。

【下山分科会長代理】 0.12までしかできなかったからNEDOではペケかもしれないけれども、そのほうがいいのかもしいかなど。

【楠瀬主研】 いろいろとそこは相談しているんですけれども、なかなかちょっと。そこで、我々としてはトータルで考えるということで、2割の効率アップということを狙わせていただきました。

【下山分科会長代理】 例えばこれ、3段あって、結局ブレイトンサイクルって、上がぎざぎざしてしまいますよね。

【町田所長】 はい。

【下山分科会長代理】 これもっと段数ふやして、それ、ならしたら多少よくなるとか、そういうことはないんですか。

【町田所長】 若干ですけどあります。

【下山分科会長代理】 ある？

【町田所長】 はい。冷凍機って基本的に、全てが100%の効率で運転しても、温度差があれば効率が決まってしまうので、この温度帯ですと0.23だったかな、が最高効率になります。今、パーセントカルノーで40%弱ぐらいまでは来ておりますので、一般の空調機器みたいなものと60%ぐらい行っているんですが、いろいろな放熱分とか損失とかという部分もやはりありますので、とにかくやれることは全部やるというつもりではございますが、0.15はちょっと難しいかなと思っております。今のところ、一応世界最高効率だろうと思っております。

【伊瀬分科会長】 ほかに。

では、中澤委員のほうからお願いします。

【中澤委員】 冷凍機は専門外なので素人的なところで教えてほしいんですけれども、途中も少し出てきたんですが、今回ネオンガスを冷媒として使われたという話で、何かほかに代替のものもいろいろあるという話だったと思います。もし仮に代替のものを何かがあって使うともうちょっと効率が上がるのかという可能性がどれぐらいあるのかなというのが1つです。

もう1つ、今回5kWをまず目指してということだと思っておりますが、5kWからさらに10kWとか20kWというところを目指したときに、ネックとなる部分が何になるかと、その辺を教えてください。

【町田所長】 まず冷媒に関してですが、今回の温度帯で使えるものが、ネオンガスのほかにヘリウムガスと水素ガスになります。実は速度型のコンプレッサというのは、実際にガスの音速に対して回転数が決まっています。その3つの中で一番音速が遅いのがネオンガスでございます。一般的に金属系の超電導で使われているのはヘリウムを使って4.2Kまで冷やすということになります。ヘリウムでももちろんこのシステムは成立しますが、回転数がこの倍ぐらいになってきます。そうすると、モーターであったり、先ほどの風損であったり、そういうところがやはり効率的にもかなり厳しいとい

うことになってまいりますし、同じ能力を出すためのインペラの径もさらに小さくなっていくということになりますので、今のところネオンガスが最適だと思っております。

それから、あと、何でしたっけ。ごめんなさい。

【中澤委員】 10 kW、20 kWを目指したときのネックについて伺いたいです。

【町田所長】 一応小さいほうからやらせていただいたのは、もちろん予算の関係もあったんですが、やはり小型のものの方が効率を出すのは非常に難しいと思っております。これの20 kWぐらいまでのものであれば、同じシステムで大型化というのは、そのまま技術の延長線上でできると思っておりますので、そちらは大丈夫だと思っております。

【伊瀬分科会長】 長嶋委員。

【長嶋委員】 冷凍機のメンテナンス間隔のことなんですが、もう既に似たようなものは前川さんはつくられていると思っっているんですが、そういう意味で、3万時間というのはもう既にほかのものでは達成しているからこれもできますよというようなふうに考えればいいですか。

【町田所長】 そうですね、今回3万時間と書いてみたものの、どうやって検証しようかというのは非常に難しいんですが、接触しているものであれば、消耗度合いでこのぐらいまで使えますよということができるんですが、非接触で運転しているものですから、どうやって検証しようかというところは難しいと思っっているんですが……。

【長嶋委員】 逆にもうつくられたもので。

【町田所長】 はい。それで、私どもの空気を使った冷凍機というものが、圧縮機1段なんですが、全く同じ構造のもので同じマグネットベアリングを使っているものが既に商品化されてもう5年経過をしております。これもNEDOさんのプロジェクトで開発させていただいたんですが。そちらの実績からいうと、運転時間はまだ3万時間までは行っていないんですけども、5年間無開放で運転されておりますので、基本的な構造とか部品の信頼性とかいう部分からすると、十分問題ないかなとは思っています。

【長嶋委員】 あと、ちょっと細かいことを伺いたいんですけども、さっき、反発性磁気軸受とおっしゃいましたけれども、普通の磁気軸受でいいんですよね。電磁石で使っているのです。

【町田所長】 そうですね、電磁石です。

【長嶋委員】 わかりました。それと、膨張機と圧縮機のところで、軸周りのすき間のところでガスが吹き抜けるようなことが問題だというふうなことをさっきご説明なさったと思うんですけども。

【町田所長】 そうですね、これも構造図がなくて申しわけないですけども、ここが非接触のためにすき間がずっとモーターも含めてあいております。モーターの部分のローターの表面温度が百二、三十度ぐらいまで上がりますので、こちら側からもしガスがこちら側に漏れてしまうと、ここでさらに過熱をされて、高い温度のガスがこっち側に、系内に入ってしまう。それが冷凍機の膨張機の性能にすごく影響するということが実験でもわかっております。そのために、この一部のガスを、ほんのわずかなんですけども、ここから抜くという回路を設けているのと、それから、なるべく漏れないようにここにやはり非接触シール、ラビリンスみたいなものなんですが、そういうものを設けてなるべく抵抗をつけてあげるということをした結果、80%を達成できたということになります。

【長嶋委員】 わかりました。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 では、木須委員。

【木須委員】 冷媒にネオンガスを用いられているということで、コールドボックスのところの熱交換で

窒素を冷やされているというふうに理解したんですけれども、逆に冷え過ぎない工夫といたしますか、凍ってしまう可能性もあると思うんですけれども、そういったところは具体的な工夫は何かやられているのでしょうか。

【町田所長】 このLN2クーラというところで熱交換をしているんですが、実際はここからネオンガスが出てきたものが実は60Kとか58Kぐらい、要は、窒素の三重点よりも下がっているんですね。私どもも当初からこの熱交換器の中で凍結するのではないかとというふうに心配をしております、それを凍結させないように熱交換器側に工夫をしています。流れていけば凍結はしないんですが、ここで偏流が起きてしまったり、そういうことがないような構造を採用しているということと、このインターロックをしっかりとつけることで、ある温度以上には絶対下がらないということをやっております。

【木須委員】 わかりました。それと、9ページの写真を拝見すると、コールドボックスが大体半分ぐらいのサイズを占めているんですけれども、これ、やっぱり今後もう少し大きいやつをつくられるときには、これがそのまま倍々で大きくなっていくのか、あるいは大型の大容量になるとコールドボックスの分が相対的に小さくなるのか、そこら辺は何かあるのでしょうか。

【町田所長】 今、とにかく効率を、COPを目標達成させるということで、今回は大きさに関してあんまり重きを置かずに物をつくってしまったというところがございますが、実際に設置する場合はやはり大きさの問題が非常に出てまいります。ですので、基本的にコンパクト化をあわせて今後検討していくということと、これ、中に入っているのは熱交換器なんですが、その形状の問題もあって結構すかすかなんです。ですから、設計をもう少しコンパクト側に寄せた設計をすることで、20kWになっても実際、今のサイズからそんなに大きくはならないように考えています。

【木須委員】 わかりました。どうもありがとうございます。

6.2. 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究（説明、質疑応答）

実施者より資料7-2に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【市川委員】 今回の成果でいろいろな試験項目の整理ということで、その結果を踏まえて規格化、CIGRE、IECへということで進められて、この成果を規格に反映するというのは非常に有意義なことだと思います。

その中で、規格化を進めていく中で留意していただきたいのは、実際にこの試験規格、これまでの知見でいろいろ出てくると思うんですけれども、その試験が実際試験を受ける側の試験機関で実施可能な試験であるのかどうかということも1つあると思うのです。

要は、こういう試験法でやれば評価できますよというようなを出しても、それを実施できる試験機関がなければ机上の空論になってしまいますので、その辺も踏まえた形での試験規格化を進めていただければ、試験を行うほうの試験機関としても、実際の規格として通りやすい。特に日本の場合はこのようにいろいろな試験をやっていますので、その中から、こういうことはできるけれども、こういうことは実際の試験はできないよという実績がありますので、それを踏まえてぜひIEC等の規格化を進めていただきたいと思います。

【増田Gr長】 ありがとうございます。実際問題、多分今の従来ケーブルの試験設備でないのが、冷却システムだと思いますので、そのあたりが今後のご相談かと思います。

【伊瀬分科会長】 よろしいですか。

では、木須委員。

【木須委員】 国際標準化を考えたときに、各国でケーブルのコード自体が違う部分も出てくると思うんですけども、標準化は、ケーブルの性能としては、例えばロスがメートル当たり幾らとかそういう定義の仕方もあると思うんですけども、そういう方式の違いをどういうふうによく折り合いをつけようかというところがポイントのような気がします。これからの検討ということとは思うんですけども、こういった方向性を考えられているのかというのをちょっとお聞かせいただければ。

【増田G r長】 製品に関する標準化というのはまだ早いといえますか、各国で構造が異なり、足並みがそろっていないので難しい。ただ、試験に関しては標準化できるんじゃないかということで、まず試験法の標準化をやっています。そこでは、三心一括型と単心型というのは、試験電圧的にはあまり変わらなくて、三相同軸だけがやっぱり相間電圧がそのままかかりますので、試験電圧のレベルが少し変わります。そこを踏まえて、各国で調整したということです。

【木須委員】 そういう意味だと、イットリウム系とビスマス系というのもほとんど区別なく今は行こうという、そういう方向性？

【増田G r長】 そうですね、Y系とビスマスに関しては区別はつけてないです。

【木須委員】 わかりました。ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 では、中澤委員。

【中澤委員】 国際的な競争力という観点で、現時点で結構なんですけれども、この部分の仕様の標準化は譲れないよとか、そういうことはお考えとありますか。

【増田G r長】 仕様の標準化という意味ですか。

【中澤委員】 ええ。そういうのはまだこれからなんでしょうか。

【増田G r長】 実はあまりないんですけども、もし線材の規格であったり、導体の規格を考えるのであれば、やっぱり日本の考え方というのを率先して主張していく。つまり、損失を下げるであったり、サイズをここに抑えるとか、そういうことは考えたいと思います。

【伊瀬分科会長】 いかがでございましょう。

では、津田委員をお願いします。

【津田委員】 ご説明ありがとうございました。2点ほどお伺いしたいのですが、1点目は、標準化のところの交流損失で、30mの場合は ΔT ということで、温度差で評価した、ということですが、その前の要素試験では、どの様な電気的方法で測定されたのでしょうか？ また、相毎とか、どの様な括りで測定されているのでしょうか？交流損失の電気的測定は非常に難しく、電圧タップを付けても、どこを測定しているのか、というのは、まだ明確になっていないと思うのですが。

【増田G r長】 交流損失については、試験法の標準化のガイドラインの中では、細かな測定方法までは規定していません。項目を挙げているというレベルで、そこまで規定しているとなかなか進まなかったもので、測定方法までは規定していません。交流損失に関しては、私もいろいろな測り方があるのは知っていますが、ここでは端部を一括にして測るやり方をやっています。ただ、計測線の取り回しでも変わってきますし、そのあたりは今度新しく交流損失測定試験に関するワーキングができるという話も聞いていますので、そこで議論されると思っています。

【津田委員】 では、今後検討されるということでしょうか？

【増田G r長】 はい。

【津田委員】 わかりました。あと1点。2020年の試算では、これが半分になっているのですが、残りの年数を考えると、ある意味チャレンジングである様に感じるのですが、これはビスマス系で実現する、という解釈でよろしいでしょうか？

【増田Gr長】 我々は、今のところビスマスで考えています。コスト的には線材の現状価格は10円/Amですが、将来的に5円/Amになる目標で開発を進めています。

【津田委員】 それは、Icを上げることによって、という解釈でよろしいでしょうか？

【増田Gr長】 そうですね、Icの向上と、もちろん製造プロセス、製造コストを下げるというのも今、並行してやっております。

【津田委員】 そうですか。ありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 では、下山委員。

【下山分科会長代理】 いろいろな国が参加してやっていますけれども、日本は今、立場上は幹事ということになってはいますけれども、かなりイニシアチブをとれる立場にあるのでしょうか。

【増田Gr長】 ワーキンググループはもう既に解散しているので、今時点では別に幹事ではないのですが、ディスカッションでは、日本の意見を大分言ったつもりですが、押されたところもあります。

【下山分科会長代理】 ドイツなんかとの折り合いいいんですか。

【増田Gr長】 ドイツとは意見が近かったですね。

【下山分科会長代理】 近い？

【増田Gr長】 ええ。

【下山分科会長代理】 アメリカが遠いんですか。

【増田Gr長】 いや、そういうわけではないんですけれども。日本と違ったのは、今回のガイドラインに入っていないんですけれども、PQテストというのがあります。大体新しいケーブルというのは長期間の試験をするというのが日本では普通なんですけれども、それを超電導ケーブルでもやるべきだという話をしたんですけれども、結局それは受け入れられなかった。PQテストは将来的に検討しようということになっています。彼らは、PQテストをやると価格が上がるという意味合いで反対していました。

【非公開セッション】

6.3.実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

省略

【公開セッション】

7.まとめと課題

実施者より資料8に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【市川委員】 まとめということでお聞きしたいのですが、このまとめの一番最初に研究目標と達成という形で全部達成しているんですけれども、このプロジェクトを実施して、特に実証研究ということで、この最初に掲げた目標以外に、何かこの実証研究で初めてわかったという事象ということはないのでしょうか。

【本庄PL】 先ほどから説明していますが、これまでの開発というのは主にケーブルの開発ということだったわけです。100mのケーブルのときもそうですし、冷凍機というのは補機の扱いでこ

れまで来ていたというところがあります。今回初めて実システムに入れるということで、運用を考えた場合には、ケーブル以上に冷却システムそのものの運転・運用技術の確立が非常に重要だということで、そのあたりがこの中で改めてクローズアップされてきたと。

ですから、プロジェクトの最初は、1 kWのスターリング冷凍機を持ってくればおそらく運転がうまくいくんじゃないかということもありましたけれども、設計等を進めているうちに、どうやって6台を併用運転していくのかとか、あるいは温度・圧力の制御方式とそういったものを無人で運転していく技術とか、そういったところが非常に重要だということがわかってきました。あわせて、大容量の冷凍機開発も必要だということで、このあたりがこのプロジェクトを通じてやはり見えてきたところかなと思います。

【増田Gr長】 追加でよろしいですか。私の考えですが、今日あまりアピールできなかったんですけども、やはりソフト面ですが、初めて日本の電力システムに入れるというところで、どういうプロセスでこれを入れていくかというところを勉強、経験できたというのが非常に大きいんです。

超電導ケーブルは、工場での製造及び試験等があり、QC工程等いろいろと管理面で東電さんから細かなチェックをされていますし、出荷試験の方法や、国際標準化のところでしゃべりましたけれども、従来ケーブルの試験を踏まえて、かつ超電導特有の試験も項目を挙げて全てチェックしました。あとは、法的なところで電気事業法の対応の仕方とか、そういうことを勉強できました。また、運用面で、超電導ケーブルを運用するに当たって何に注意をする必要があるか、あるいは警報の設定の仕方とか、そこは実は時間を非常にかけてソフト面を充実させました。

これらは多分今後超電導ケーブルを運用するに当たって、ひな形になると思っております。これをもとにすれば大体どこでも運用できるんじゃないかと考えています。そのあたりが今日、どこまで話ができただかという、あんまりできていなかったかもしれません。

【伊瀬分科会長】 では、次、中澤委員。

【中澤委員】 今後の取り組みというところで、事故時の安全対策というところがあったと思います。今後、モデル試験において電氣的な現象は当然検証されると思うんですけども、例えば損傷に対して窒素がどうなるか、物理的な現象あたりもしっかりご検証いただけるとありがたいかなと思ってございます。

【本庄PL】 おっしゃるとおりで、電氣的なトラブルに加えて、外傷に対する影響とか、あるいはケーブルがどこか破損した場合にどうなるかといった、特に液体窒素を扱いますので、液体窒素が公衆災害になる可能性があるかどうかというところをしっかりと見ないと、やはり実系統で使うというのはなかなか難しい。今回は変電所という限定したスペースでしたので、閉空間に近く公衆災害というところはそれほど気にしないで済んだんですけども、今後実際に管路、洞道に布設されて公道の下に入るということになってくると、そのあたり一番重要な課題になってくると思いますので、しっかりと検証していきたいと思います。

【伊瀬分科会長】 長嶋委員をお願いします。

【長嶋委員】 冷凍の関係なんですけれども、冷凍機がブレイトンになって非常に長く使えるというのは非常にいいことだと思います。関連してやっぱり動くものというポンプとかもあると思うんですが、そういうところも長くしておく必要があるんじゃないかなと思って、そのあたりは今後どうするご予定なのかというのをちょっとお聞きしたい。

【町田所長】 長嶋さんもお存知だと思いますが、今、ポンプも海外メーカーさんのやつを採用している

というのが現状でございまして、ポンプだけを提供しているメーカーさんなので、こういうシステムにマッチしたというところになるとなかなか難しいということになります。ですので、我々として、先ほどのところにはあまり書かなかったんですが、今後はそこも含めた形、長距離になればなるほどポンプの能力が冷凍機以上にもしかするとボトルネックになってくるということも考えなければいけませんので、今後はそこも含めたシステム開発という形も考えていきたいと思っております。

【楠瀬主研】 私のほうから1点補足させていただきます。本プロジェクトとは全く別なんですけど、同じ省エネ部の公募型事業の中で、超電導用のポンプを含む技術開発をやっているものもございまして。こちらにつきましても、今年度からは超電導技術委員会で国プロと一緒に有識者の先生にご指導いただきながらマネジメントを進めたいと思っておりますので、そういうところから場合によっては使える技術があれば、ケーブルあるいは小さな定置型の用途等に使えるものが出てくるようなことも期待しつつ、マネジメントしていきたいと考えております。

【伊瀬分科会長】 下山委員。

【下山分科会長代理】 このプロジェクトの間にすごくたくさん生データがそろっているはずなんです。今、その一部について解析された結果の報告がありましたけれども、そのデータをさらに、暇を見てと言ったら失礼なんですけれども、解析を進めていただいて、これ、後に残る実験データですので、ぜひ活用いただきたいなというコメントが1つです。

それから、長い将来に向けて、いろいろなのが絡むんですけども、メンテナンスフリーという方向に、無人運転と言ったら変なんですけれども、そういうベクトルをきちっといろいろなところで見せていただけるような展開がいいのかなと思いましたがということです。コメントです。

【本庄PL】 ありがとうございます。

【伊瀬分科会長】 そのほか。では、津田委員。

【津田委員】 1つ気になっている点があるのですが、何度も言いますように、すごく素晴らしい成果を挙げられていて、様々な定量的な評価もされていて非常に素晴らしいと思うのですが、この技術でどこまでの距離を対応できるかを明確にする必要があると思います。例えば、実際にはその距離で実用化しない場合でも、ここまでの長さであれば対応できる、という限界がわかっているならば、設計も安心してできます。実際には、先程言った温度差が当然できますので、何度から何度までの間であれば大丈夫か、ということも知っておく必要があると思います。勿論、それらの制約条件は、容量や通電電流や電圧階級によって変わってくると思いますので、それぞれの条件に対して、今の技術では、どれだけの距離まで対応できるのか、ということについて検討されたらよいと思います。

【本庄PL】 一応そちらについては定常時と、それから、事故時とあると思うんですけども、特にまずは事故時に、先ほど液体窒素の温度上昇という問題があって、それが長距離になると今回のプロジェクトよりもより過酷になってくるであろうと考えております。そこは実験というのはなかなか難しいので、シミュレーションでまずはどのぐらいの温度上昇が出てくるのかということから、設計に対してどういうふうな制約条件があるのかと、まずそこを詰めようということで、新しい今年度からのプロジェクトの中でそのシミュレーションのところもしっかりとして、早期にデータを積み上げていきたいと考えております。

8.全体を通しての質疑

全体を通しての質問は、特になかった。

9.まとめ・講評

各委員から、以下の講評があった。

【長嶋委員】 まず初めに、このプロジェクト、震災等も挟んで困難な時期に、皆様方の1年以上にもわたる大変な試験をやられたということに非常に敬意を表したいと思います。

それで、今日何度か発言したので、大体、私、偏った発言ばかりで、冷凍をもともとちょっとやっていたところもありまして、私の持論としましては、超電導機器というのは冷凍が必ず大事で、セットで、超電導の性能を上げるのと冷凍の性能を上げるのは同じ効果をシステムとして持つと思いますので、そこを今回の中で取り組まれたということは非常に大きなことだと思いますが、今後ますますそこを取り組んでいただければと思います。

特に冷凍をインフラに持ち込むという初めての試みだと思います。超電導ケーブルは動かないですけども、冷凍機とかポンプだとかそういうものは動いていきますので、その信頼性を上げるとか、効率を上げておくということが非常に大事だと思いますので、ますます頑張ってくださいと思います。以上です。

【伊瀬分科会長】 次、中澤委員をお願いします。

【中澤委員】 まずは国内初の実システムでの連系ということで、また震災という大きな状況変化もあって、本当に大変なご苦労があったんじゃないかなと思います。

それから、今回は、送電線のメーカー様と、冷凍機のメーカー様と、あと、実際運用される東京電力様と一体となって、本当に素晴らしい成果が出たのかなと思っています。また、住友電工様のほうでウェブで種々のデータをリアルタイムで出されていたということも、透明性という面でも良かったし、対外的なアピールという意味でも非常に良かったかなと思っています。実証事業者様におかれましては、本当に感謝申し上げます。

それから、NEDO様におかれましては、冒頭でも申し上げたんですけども、まだまだ手放しでどんどん導入できるという段階にないものですから、これまでのご支援に感謝するとともに、引き続きご支援を賜ればと思います。

最後になりますが、本日、伊瀬先生をはじめとした先生方、超電導の実現に向けていろいろご助言等いただきまして、本当にありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 次、津田委員。

【津田委員】 本日はこのような場に出席させていただきまして、ありがとうございました。また、関係者の方々には、本当に色々と懇切丁寧にご説明いただきまして、本当にありがとうございました。

最初、プログラムをいただいたときに、今日はかなり長い1日になるな、と覚悟していたのですが、息つく暇がないといえますか、本当にあっという間に終わってしまった、というのが率直な印象です。それだけ中身の濃かった発表会であり、濃い内容だった、ということに改めて痛感しております。

中澤委員や長嶋委員が言われていましたように、本当に色々なご苦労があったと思いますが、それ分、しっかりとした成果が出ている様な気がしています。本当にご苦労様でした。

2つほど言わせていただきたいのですが、1点目が、この前のASCだけでなく過去の学会でもそうですが、日本がこれだけの技術を持っていながら、周りにはあまり認知されていない、というのを感じます。ある学会では、招待講演で、超電導ケーブルの世界情勢が紹介されていたのですが、その中では日本のプロジェクトの紹介が一つもされていませんでした。それが故意的だったのかはわかりま

せんが、それくらい伝わっていないということですので、技術的な面でも主張する必要がありますが、この様なプロジェクトをやっているということももっと主張すべきだと思います。一番大事なのは、他とは何が違うのか、ということを確認してアピールすることだと思います。何となく他と同じ様なことやっている、という様に捉えられがちですので、その辺をもう少しうまく対応していただいた方がよい様な気がしています。それが1点目です。

2点目は、非常に細かい話になってしまうのですが、基本技術がこの様に押さえられてきている中で、三相同軸型について何の試みもないというのが気になります。海外でも色々な場所への適用が考えられていますが、適材適所に対応するための手段として、三相一括型や三相同軸型、交流や直流があると思うのです。ですので、それらに関する基本技術を全部押さええているからこそ、ここではこれがよい、ということと言えるようになり、日本のケーブル技術を売り込む際に、説得力をもって相手に説明できる様になるのだと思います。

これまでに力を入れてきたのは三相一括型ですので、それを推し進めるのもよいですが、超電導ケーブル全体における現時点での技術的課題が何であり、今後はどの様な検討をすべきか、という点にも少し目を向けていただいた方がよい様な気が致します。国の方針や企業の皆様の方針もあると思いますので、勿論、可能な範囲で、ということになるかと思いますが、こうした日本の超電導ケーブル技術が世界をリードしている、という状況をキープするためにも、今後は是非ともご検討いただきたいと思っています。本日はどうもありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 次、木須委員お願いいたします。

【木須委員】 本日は長時間にわたりまして詳細なご説明いただきまして、どうもありがとうございました。今日は時間も限られているということで成果を中心にご発表いただいたと思うんですけども、おそらくその陰には相当なご苦勞もあったのではないかとということで、関係者の皆様のご尽力に敬意を表したいと思います。

特に今回感じましたのは、ケーブルのシステム全体としての信頼性の確認ができたということで、実際運用の際の法的規制も含めまして、あるいは実際運用することによって得られたデータとかノウハウというのは、やはり実用化に向けては非常に重要なステップではなかったのかなというふうに強く感じました。

それと同時に、COPは0.1というすばらしい数値を達成されているわけですが、さらによくなる余地もあるということと、また、ACロスに関しましてはもう少し改善の余地もあるということで、後継の信頼性あるいは安全性確認のプロジェクトの中でそれらをぜひさらにブラッシュアップしていただいて、技術レベルを高めていただきたい。そういう意味の研究開発も今後やはり必要ではないかと感じています。

それと最後に、我々、大学の工学部の中で超電導技術の研究をやっているわけですが、ここ一、二年特に感じますのは、学生の中で超電導をやりたいと来てという学生が少なからず出てきているんです。彼らはやっぱりこういった超電導ケーブルのプロジェクトなんかを知っているわけですし、そういう意味ではこういった分野の人材育成という意味でも非常に大きな波及効果があると感じています。実用化までもう一步のところに来ていると思いますので、今後も実用化をぜひ実現させていただきたいと感じております。本日はどうもありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 市川委員お願いします。

【市川委員】 本日は素晴らしい成果をご報告いただきまして、本当にありがとうございました。今回成

果をいろいろお聞きしまして、全て非常にすばらしく成果を上げているのですけれども、先ほどから言われていますように、この成果を上げるために並々ならぬ努力、そして、いろいろな問題点があった、それを克服してここの成果にたどり着いていると思います。

ここの成果報告の中では全てうまくいっている成果という形ですけれども、実際にはこういういろいろな問題があって、そしてその上にこの成果が成り立っていると思います。その辺の問題というのも大きな成果だと思いますので、それを次のステップに結びつけて大きく飛躍していただきたいと思います。

また、このように実用化に非常に近づいた状態になっています。今回プロジェクトを率いていただいています本庄様、増田様、町田様、これまで並々ならぬご尽力があったと思います。ぜひともこの方々が現役であるうちに実用化にまで結びつけていただければと祈念しておりますので、応援いたしますので、今後ともご尽力をよろしくお願いします。

【伊瀬分科会長】 下山委員。

【下山分科会長代理】 今日は1日このプロジェクトについてより深いところまで知ることができまして、ありがとうございました。私自身もこのプロジェクト、前からすごく興味を持っていて、実施者の方ご存知のように、熊取も行きましたし、守谷も行きましたし、基礎工事を始めれば瓦れきがいっぱい地下から出てきて困っていた旭変電所の更地にも行きました。

ずっと見ていて、本当にできるのかなという印象を最初は持っていたんですが、震災を乗り越えて、形になって、言っているのかな、予定どおりの、通電後の、1年遅れでしたけれども、実際にちゃんと実施できた。一時期は、この試験止まってしまうんじゃないかと思ってすごく心配していたんですが、無事再開できたというのが個人的には非常によかった。災害を乗り越えてというか、逆風に打ち勝つてという印象だったんですが。

かつ、話がありましたように、ウェブで公開されていたように、毎日状況がわかると。時々ウェブで情報が出てないと、何が起こったんだろうと心配になるんです。それ、メンテナンスでしたと後でわかるんですが。そういうふうに非常に天候に左右されるようなフィールドでの試験、高温超電導を使った長期試験って、実際の系統につないだ試験という意味では初めてですね。これがうまくいったということはこれ、非常に自信になったと思います。もちろん日々冷や冷やして作業されていたこともあったと思うんですが、その経験を積まれた実施者の皆様の、逆に言うと経験、あと、ノウハウ、そういうものが非常に今後役立つんじゃないかと。

プロジェクトの成功だけでなく、こういう技術を持った日本の人が人材としてきちっと、僭越な言い方をしたら、育った。これ、非常に大きな効果だと。さっき木須先生が、学生が興味を持つようになったと。もちろん見ていて、お互い、例えば住友電工の中、それから、東京電力の中、それから、前川製作所の中でこのプロジェクトってやっぱり特別な成果だったと思うんです。そういう意味で、今後プロジェクト続いていきますけれども、どんどん若手に継承して行って、この流れをとめない、もっと広げていくような方向に進んでいただければ、特に現役中に大きなプロジェクトをやらなくても済むと思いますので、ぜひそのように続けていただけたらと思います。今日はどうもありがとうございました。

【伊瀬分科会長】 それでは、最後に私からですが、本日は長時間にわたりまして有意義なディスカッションありがとうございました。特に、実施者の東京電力様、それから、住友電気工業様、前川製作所様には、すばらしいプロジェクトの成果をご発表いただきまして、本当にありがとうございました。

また、委員の方々におかれましても、熱心なご討論ありがとうございました。

超電導は夢ばかりであると言われてきたわけですが、リニアは夢の実現に向かって動き出して、次はやはり超電導ケーブルかなというふうに思っております。私のところに超電導の関係のことをやりたいんだというようなことで来る学生もおりますので、やはり次世代の人材育成のためにこういう夢のあるテーマというのは非常に大事だと思います。夢が少しずつ実現していくんだということを見せることは、学生、若い人の育成にとって非常に大事なことだと思っておりますので、今後とも実現に向けてよろしく願いしていきたいと思っております。また、大学におきましても、そういうことに関連したテーマを取り上げて行っていきたいと考えております。私の関連でいきますと、今日も話がありましたように、やはりまだ交流損失が問題になっておるわけですが、周波数を変換するという事はパワーエレクトロニクスで非常に容易になってきておりますので、50ヘルツ、60ヘルツにこだわらずに、さらにちょっと低いところの10ヘルツぐらいの周波数で使えば、超電導もそのメリットが出てくるのではないかとということで、低周波送電ということで最近テーマを取り上げているところでございます。そういうことで、周波数を変えたらどうなるのかというようなことも今後少し検討していければいいんじゃないかと思っております。ということで、以上でございます。本当に本日はありがとうございました。

10.今後の予定、その他

11.閉会

配布資料

- | | |
|----------|--|
| 資料 1 | 研究評価委員会分科会の設置について |
| 資料 2 | 研究評価委員会分科会の公開について |
| 資料 3 | 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて |
| 資料 4-1 | NEDOにおける研究評価について |
| 資料 4-2 | 評価項目・評価基準 |
| 資料 4-3 | 評点法の実施について |
| 資料 4-4 | 評価コメント及び評点票 |
| 資料 4-5 | 評価報告書の構成について |
| 資料 5-1 | 事業原簿（公開） |
| 資料 6-1 | プロジェクトの概要説明資料（公開）
事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント |
| 資料 6-2 | プロジェクトの概要説明資料（公開）
研究開発成果、実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み |
| 資料 7-1-1 | プロジェクトの詳細説明資料（公開）
高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
実証システムの構成・運転技術 |
| 資料 7-1-2 | プロジェクトの詳細説明資料（公開）
高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
ケーブルの設計・構築 |
| 資料 7-1-3 | プロジェクトの詳細説明資料（公開） |

	高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 冷却システムの設計・構築
資料 7-1-4	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
	高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 実システムにおける総合的な信頼性検証
資料 7-1-5	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
	高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 ケーブルの高性能化の研究
資料 7-1-6	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
	高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 冷却システムの高性能化
資料 7-2	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
	超電導ケーブルの適用技術標準化の研究
資料 7-3	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
	実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み（非公開）
資料 8	まとめと課題
資料 9	今後の予定
参考資料 1	N E D O 技術委員・技術委員会等規程
参考資料 2	技術評価実施規程

以上