

# 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業 事前評価報告書

平成25年8月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価WG

## はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成24年12月6日内閣総理大臣決定）」等に沿った適切な評価を実施すべく、「経済産業省技術評価指針（平成21年3月31日改正）」を定め、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価WG（座長：渡部俊也 東京大学教授）の場において、経済産業省が実施する研究開発プロジェクト等の技術評価を実施しているところである。

今般、経済産業省から、「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業」を新たに創設することに関し、当該技術分野の省外専門家の評価コメント等を取り纏めた「事前評価報告書(案)」の付議提出があったので、当WGにおいてこれを審議し、内容了承することとしたところである。

本書は、上記評価結果及びその経緯等を取り纏めたものである。

平成25年8月  
産業構造審議会産業技術環境分科会  
研究開発・評価小委員会評価WG

産業構造審議会 産業技術環境分科会  
研究開発・評価小委員会 評価WG  
委員名簿

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョンセンター 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学科 教授 東京大学生産技術研究所 教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素センター センター長・特任教授
	菊池 純一	青山学院大学 法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター 副所長・教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	森 俊介	東京理科大学 理工学研究科長・教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部経済・産業調査グループ 主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業の事前評価に当たり  
意見をいただいた外部有識者

浅野 克彦 株式会社日立製作所 電力システム社 主幹技師長  
大崎 博之 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授  
藤井 俊英 電気事業連合会 技術開発部長  
淵野 修一郎 独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 超電導技術グループ  
主任研究員  
宮内 肇 熊本大学大学院 自然科学研究科 准教授

(敬称略、五十音順)

事務局:製造産業局 非鉄金属課

次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業の評価に係る省内関係者

【事前評価時】

製造産業局          非鉄金属課長                                  及川   洋

産業技術環境局   産業技術政策課   技術評価室長          飯村   亜紀子

次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業事前評価  
審 議 経 過

○新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集（平成25年5月）

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価WG（平成25年8月21日）  
・事前評価報告書(案)について

## 目 次

はじめに

評価WG 委員名簿

御意見をいただいた外部有識者 名簿

事前評価に係る省内関係者

審議経過

第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

1. 技術に関する施策の概要 .....1
2. 新規研究開発事業の概要について .....1
3. 新規研究開発事業の創設の妥当性等について .....2

第2章 評価コメント .....7

参考資料 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業の概要(PR資料)

## 第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

### 1. 技術に関する施策の概要

平成25年6月14日に日本再興戦略が閣議決定され、我が国の成長戦略実現の鍵として、科学技術イノベーション総合戦略(同6月7日閣議決定)の推進を挙げている。

この中で超電導送電技術は、科学技術イノベーションが取り組むべき課題「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」のひとつとして位置づけられており、温室効果ガスの排出を極力抑えたクリーンなエネルギー利用を達成した社会の確立に必要とされる技術とされている。また、平成26年度科学技術に関する予算等の資源配分の方針の重点的課題においても、「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」のひとつとして位置づけられており、「科学技術重要施策アクションプラン」における成果目標として、2020年以降の超電導送電の実用化が挙げられている。

### 2. 新規研究開発事業の概要について

#### (1) 開発する技術の概要

大都市圏では人口集中、工業地帯の拡大は一段落したものの、生産施設や設備の電化、オフィス等の作業環境の高度化(OA化、ネット環境の普及及び空調管理等)が進んでおり、今後も電力需要は伸びると予想される。

これまで電力インフラの拡充・ケーブル交換には、銅を芯材としたケーブルが使われてきたが、共同溝の使用制約や送電網の用地買収条件がある中での更なる電力需要の拡大に応えていくためには銅線ケーブルでは対応が困難である。

これら布設の問題は電力の安定供給のための最大の障害であるが、超電導ケーブルにより送電容量のアップ(約3倍)を図ることで、既存の送電網インフラを活用しつつ需要に応えることができる。また銅線ケーブルでは電力の重要増に応じて送電中の発熱損失も増加する。エネルギーの利用効率化、地球温暖化ガスの排出削減のために、送電損失が低減される超電導ケーブルの実用化が必要。本事業では、超電導ケーブルの実用化に向けた実証事業を行う。

私たちの生活及び生産活動を下支えする電力は架空線、地中線により供給されており、これらの供給経路、特に架空線は落雷や積雪などによる気象影響や航空機や鳥獣などの飛翔物体等との接触が、確率は低いながらも存在する。構築された超電導電力ケーブルシステムが架空線に接続されている場合、こうした事故時の過大電流の流入や電圧の上昇などによりシステムに影響があることが予想される。このため、超電導電力ケーブルシステムの実用化実証試験において、こうした事故を想定した現象把握や事前対策の検討等を行う。

また、共同溝等の地下埋設ケーブルも運用には高低差、温度差等の条件を伴うため、冷却ポンプ間の送液圧力、送液スピード等の冷却システムの性能等について検証、改善を行う。

#### ① 安全性・信頼性検証

##### a) 短絡・地絡時の事故電流対応

- ・ 地絡(絶縁破壊)時の冷媒挙動(地絡電流が大きい場合等)の現象把握 と事前対策の検討
- ・ 都市地下ケーブル等の短絡事故電流に耐えるケーブル設計

##### b) 事故時早期復帰対応

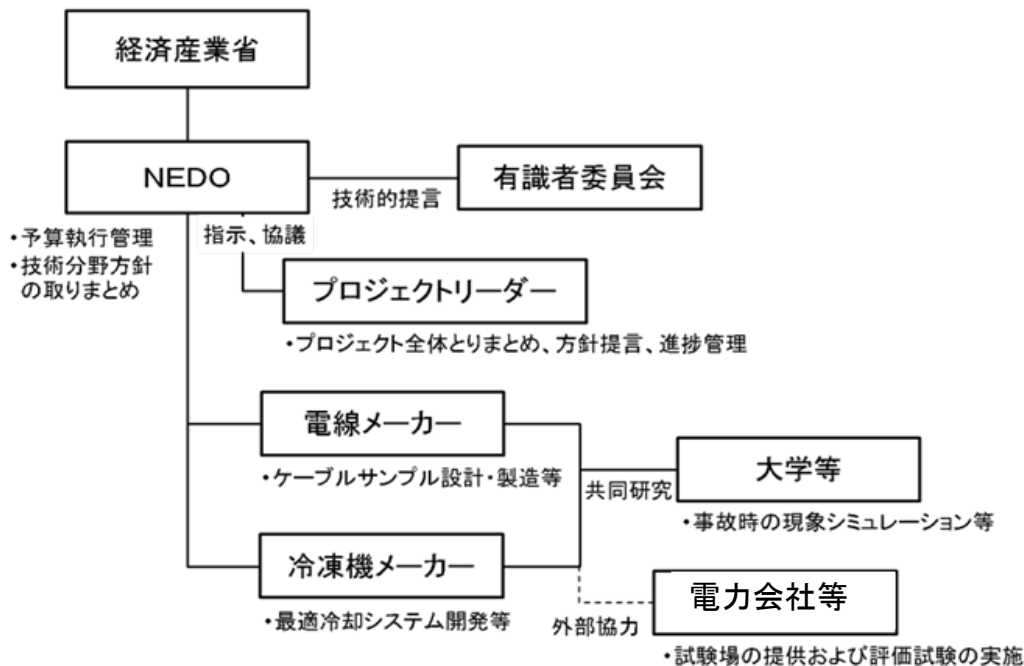
- ・ 事故発生時に早期復帰可能なケーブル構造、システムの設計



## ② 最適冷却システム検証

- ・ 高低差及び温度差の条件を勘案した実系統連系ケーブルの冷却システム性能検証
- ・ 端末の Cu 電流リードおよび絶縁筒の設計最適化(大電流と低侵入熱の両立)
- ・ 大電流ケーブル、小型化端末、高性能冷凍機を組み合わせた検証試験

## (2)実施体制図



## (3)実施スケジュール

- H26年度: ケーブル短絡等試験のためのサンプル製造と、サンプルケーブルによる安全性評価および冷却システムの制御系の検討およびケーブル低損失化設計等
- H27年度: 地絡・短絡事故等からの復帰システムの検討と冷却機拠点間の連携制御システムの検証および端末小型化開発等
- H28年度: H26～27年度で開発したケーブルと冷却システム制御技術、小型化端末等を組み合わせた超電導電力ケーブルシステムによる次世代送電システム検証試験

## 3. 新規研究開発事業の創設の妥当性について

(1) 事業の必要性及びアウトカムについて(研究開発の定量的目標、社会的課題の解決や国際競争力強化への対応)

### ①事業の必要性

大都市圏では人口集中、工業地帯の拡大は一段落したものの、生産施設や設備の電化、オフィス等の作業環境の高度化(OA化、ネット環境の普及及び空調管理等)が進んでおり、今後も電力需要は伸びると予想される。

これまで電力インフラの拡充・ケーブル交換には、銅を芯材としたケーブルが使われてきたが、共同溝の使用制約や送電網の用地買収条件がある中での更なる電力需要の拡大に対応していくためには銅線ケーブルでは対応が困難である。

これら布設の問題は電力の安定供給のための最大の障害であるが、超電導ケーブルにより

送電容量のアップ(約3倍)を図ることで、既存の送電網インフラを活用しつつ需要に応えることができる。また銅線ケーブルでは電力の重要増に応じて送電中の発熱損失も増加する。エネルギーの利用効率化、地球温暖化ガスの排出削減のために、送電損失が低減される超電導ケーブルの実用化が必要。

しかしながら超電導ケーブルを実際に電力システムに適用するためには、地絡・短絡時の現象を把握し、危険性の内容、程度の検証と安全対策のための実証事業を実施することが最終的な課題として必要である。これらによって超電導電力ケーブルシステムの安全性・信頼性が確立され、その実用化を促進する観点から本事業の重要性は高い。

また、スペイン、韓国、ロシア、ドイツ等で超電導ケーブルの技術開発が進められており、国際的にも開発に向けた競争が激化する中、超電導の線材開発で生産する我が国の電線メーカーの国際競争力強化に資するもの。

## ②アウトカム(目指している社会の姿)の具体的内容及び検証可能なアウトカム指標とその時期

次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業として、初期適用が期待される発電機引出線および地下都市ケーブルに適した設計のケーブルについて安全性・信頼性の検証を実施し、早期の実適用のための最後の課題を解決する。これによって高効率な送電網の整備に寄与するだけでなく、温室効果ガスの削減についても見込むことができる。最初期に適用が期待されている揚水発電所の発電機引出線の代替については2020年の実現を目指して研究開発を推進する。

この超電導ケーブルの初期適用である発電所引出線の市場規模予測は限定的であり、一方、続いて採用されると見込まれている都市地下ケーブルでは年間数 10km の代替が予想され、現用(既存技術)ケーブルと超電導ケーブルの布設コストの比較は 20km(終端接続間)で 141 億円と試算される。

現用ケーブル、超電導ケーブル共に耐用年数を 30 年とし、当初布設時のイニシャルコストと 30 年間運転時のランニングコストを比較した場合、30 年間のランニングコストでは超電導が若干不利なもの、イニシャルコストで有利なためトータルでは超電導ケーブルがコスト優位である。また都市地下ケーブルの延長約 1. 200kmのうち3割、360kmが10年で置き換わると想定すると、超電導ケーブルで現用ケーブルを置き換えて増容量を図った場合、現用ケーブルで増容量するよりも  $360 \times 141 \div 20 = 2,538$  億円のコスト削減効果があると試算される。

## ③アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果の程度

超電導ケーブル熱損失は既存ケーブルの熱損失(100W/m:275kV CV ケーブル)の1/3程度であり、送電ロスも1/3程度に抑えられること、また、CO2削減量についても、110kV以上257kV以下の地下ケーブルの現状の(2008年度:3,427km)20%が置き換わると想定(系統運用の余裕度等を考慮し、年間平均利用率は50%)した場合、13.2万 t 程度減少できると見積もっており、CO2削減量及び電力エネルギーの効率的な利用に資する技術である。

## ④アウトカムに至るまでに達成すべきいくつかの中間段階の目標(技術的成果等)の具体的内容とその時期

プロジェクト終了時までには、超電導ケーブルシステムの安全性に関する検証を終え、実用化に必要な基盤的な実証事業を完了する。超電導ケーブルの安全性に係る検証試験を2020年までに終え、地絡が生じた場合等の現象とその危険性の有無を明確にし、危険性に対しては対策を確立する。

また、超電導ケーブルに適応する冷却システムの最適化に係る開発を行い、液体窒素の循

環動力等も含むシステム全体のエネルギー収支を明らかにした上で以下を達成する。

・システム全体の消費電力に対するCOP=0.11

超電導電力ケーブルシステムが現用ケーブルに対して損失を約1/2とするためには、冷却システムとしてCOP=0.1が必要であるが、これは現行プロジェクトで達成の見込。今回の事業ではさらなる効率アップを目指し、目標値をCOP=0.11とする。

・冷凍機メンテナンス間隔 40,000時間

現用のCVケーブル洞道の水冷システムのメンテナンスは30,000時間程度である。さらなる信頼性の向上をはかり、ユーザーである電力会社からの冷却システムに対するメンテナンス間隔の要求に応えるために40,000時間とする。

・10%以上の勾配で液体窒素を循環できる冷却システム

超電導ケーブルの初期適用が期待される揚水発電所の発電機から昇圧変圧器までは数%の勾配があるケースが多い。これまでの超電導ケーブル開発では勾配のある中で液体窒素の循環を圧力変動や温度への影響も含めて検証した例は無く、本事業では成果を早期実用化に活かすために、こうした勾配下での液体窒素循環が可能なシステムを検証する。

## (2)アウトカムに至るまでの戦略

### ①アウトカムに至るまでの戦略

#### (a)アウトカムに至るまでのスケジュール

本事業終了後に2年程度の実用化設計を経て、電力会社の工務試験が実施され、2020年には実際に発電所の発電機引出線に適用されることが期待される。

#### (b)知財管理の取扱

- ・ 特許権等の帰属は、特許法を踏まえ、原則として、発明者(研究者)主義としつつ、発明者の所属企業・機関の「職務発明規程」に準拠して機関帰属とする。※
- ・ 共同発明に係る権利持分比率を決める場合は、原則として、発明に対する貢献度(寄与率)で特定するものとする。※
- ・ シナジー効果を確保する観点から、当該プロジェクトにおいて発生した知財については、原則として、プロジェクト内は非独占実施とする。※  
※ただし、製品化・実用化に向けて、(a)特許の一括管理(共有化)、(b)クロスライセンス、(c)独占的实施等による方が有効と考えられる場合等、研究開発コンソーシアムで慎重に検討を行った上で、決定・採用するものとする。
- ・ 当該プロジェクトにおいて取得した特許権者が自ら実施する場合、原則として、自由かつ無償にて実施できるものとする。この際、自ら実施できない大学等が共有権者となる場合について、大学等に実施能力がないことを根拠とした補償の取り扱いは、以下のとおりとする。ただし、共有権者間の合意があれば、この限りではない。
- ・ 実施前期間においては、原則として、無償とするものとする。
- ・ 実施期間中においては、原則として、大学等が第三者へのライセンス権を自由に行使できるのであれば無償とすること、逆に、第三者への実施許諾ができない(共有権者が独占的地位を確保する)場合については、有償とすることについて検討するものとする。
- ・ ロイヤリティの具体的な料率の設定は、権利者と実施者の協議した設定・条件によるものとする。

- ・ プロジェクト外への実施権付与については、我が国の産業競争力の強化など、国民経済へのアウトカムの最大化を目指す観点から、研究開発コンソーシアムで検討を行い、決定するものとする。
- ・ 特許以外の知財についても、基本的には、以上の特許の取り扱いを準用する。

(c)実証や国際標準化

超電導ケーブルの規格及び試験法の標準化は(公財)国際超電導産業技術研究センターが窓口となり、我が国からの情報発信、CIGRE、IEC等の国際標準化機関に標準化素案の提案等を実施している。

(d)性能や安全性基準の策定

本事業を実施することにより、業界における安全性基準の策定が進むことを見込んでいる。

(e)規制緩和等を含む実用化に向けた取組

安全性等についての国際標準化を進めていく。

②成果とユーザーの段階的イメージ・仮説

(a)技術開発成果の直接的受け手  
発電事業者および送電事業者

(b)社会的インパクトの実現までのカギとなるプレイヤー  
電力ケーブルメーカーおよび冷凍機メーカー

(3)次年度以降に実証事業を実施する緊急性について

①次年度以降に実証事業を実施する緊急性

電力ケーブルを含む国内の電力供給機器は設置から40年程度が経過しており、数年で老朽化による更新時期を迎える。昨今の電力会社の資金難から更新はできる限り繰り延べられる方向であるが、早晚更新が必要となっている。その際に新たな土木工事を必要とせず(布設コストの半分は土木工事費。近年は土地確保、地権者との交渉も厳しい状況。)送電容量の増加を実現できる超電導ケーブルシステムは、有力な代替方策であり、次年度以降に本事業を実施することにより、早期の代替を実現することが必要。

また、我が国は高温超電導線材の開発では国際的に先頭を走っており、ケーブル開発技術においても高い水準を保っているが、近年、韓国も実系統接続試験を実施し、欧州も数千メートル規模の長距離超電導ケーブルの実証試験を計画しているなど、海外勢が急速に我が国の技術レベルに肉薄してきており、関連する我が国産業技術の国際競争力維持のためにも本事業の実装が必要。

(4)国が実施する必要性について

①科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性

(a)我が国が強みを持ち、世界に勝てる技術分野であることについて

我が国は高温超電導線材の開発、ケーブル設計技術、冷凍機開発技術で世界トップの実力を有しており、さらに、冷却システム制御を統合した超電導ケーブルシステムの実系統連系試験は世界でも希なものであり、他国を引き離して実用化に近づくものである。引き続きこれらの関連した開発を進めることで、世界トップのポジションを維持することにより我が国の超電導ケーブル開発技術が国際競争で勝ち続けられる。

(b)他の研究分野等への高い波及効果を含むものであることについて

大電流ケーブルに関する取り組みは、超電導送電分野のみではなく、医療用や物理学用の超電導電磁石の高磁場化や高解像度化に関する技術の革新にもつながるものである。

また冷凍機の効率向上等に関する取り組みは、超電導送電分野のみではなく、冷凍・冷却に関する技術の革新にもつながるものである。

(5)当該事業のアウトカムと関連性のある省内外の事業について

①当該事業のアウトカムと関連性のある省内外の事業との関係性

(a)当該事業のアウトカムと関連性のある省内外の事業

「高温超電導直流送電システムの実証研究」

当該事業は、2,000メートル程度の高温超電導直流送電システムを試作し、直流での電力需要を有するデータセンターに対して通電試験を行ない、技術的な課題を抽出する。

特に冷却システムについては、近隣にLNG基地があるため、この冷熱の有効利用の可能性を確認し、液体窒素に代わる安価な冷却系を検討する。

(b)上記の関連性のある事業との重複がなく、適切に連携等が取れていることについて

上記関連事業はユーザーをデータセンターへ特化した直流給電システムとしていることに対し、当該事業では社会インフラである交流の電力送電システムを対象としている。(現在、我が国で直流送電を必要としているところは、周波数の異なる交網間の電力融通のみであり、北海道と本州間、四国と紀伊半島間、50Hzと60Hzの電力網間の3地点のみ。これ以外は送電ロス、送電コストの観点から交流送電が基本。)

直流と交流ではケーブルの設計も異なり、当該事業間の送電容量も異なる。冷却システムもネットワーク性のある交流システムに対し、短距離で独立した直流システムであるため、基本的に事業内容に重複は無い。

また、LNG基地からの冷熱の有効利用の確認が事業の目的であり、基本的に事業内容に重複は無い。

## 第2章 評価コメント

### 新規研究開発事業の創設の妥当性に対するコメント

(1)事業の必要性及びアウトカムについて(研究開発の定量的目標、社会的課題の解決や国際競争力強化への対応)

#### (1)①事業の必要性

- ・省エネルギーに関する社会的要請および国内産業の国際的な競争優位の維持
- ・超電導ケーブルの実用化のためには安全性・信頼性の確保が必須
- ・長距離の冷却技術は未確立であり、これについても実施を検討すべき

#### ○肯定的意見

省エネルギーなど社会的要請からも取り組むべき国家的課題であり、大きなリスクを伴うテーマであることから、国プロとしての開発・事業化が必要と認められる。

国内産業の競争優位を保つという狙いからも、国による指導が妥当かつ必要と思われる。

グローバル化の流れの中で、欧米ベンチャー企業にみられる研究開発資金の創出・事業化手段とは異なる事業化スタイルとして、国プロとして担う役割は大きい。

(委員 A)

超電導線材開発および超電導ケーブル開発は、長らく日本が優位を保つ新規技術であったが、近年、欧州、韓国等での実証試験が立ち上がるなど、諸外国の技術レベルが急速に高まってきている。日本の技術の優位性を維持するとともに、海外市場への参入による国内企業の産業力強化のためにも、国プロに先導していただき、産業界全体の技術レベルを向上させることは、我が国として必要不可欠な施策である。

(委員 C)

#### ○問題点・改善すべき点

これまでの国プロによる研究開発により、実用に近いレベルまで技術は来ているとも言えますが、技術的に未解決、未実証なのが、冷凍機システムを含めた数 km 規模の長尺超電導ケーブルの冷却技術の確立です。

それは、これまで国プロとして開発してきた交流超電導ケーブルだけでなく、直流超電導ケーブルにも共通する重要技術であり、実用に必須の基盤技術です。システムの信頼性とも深く関わる部分ですので、実適用のために必要な試験条件、安全性や信頼性などの評価条件、長期試験実績条件などの検討も含めて、国プロとして実施するのが適当と考えます。

(委員 B)

#### (1)②アウトカム(目指している社会の姿)の具体的内容及び検証可能なアウトカム指標とその時期

- ・大都市への都市機能集中によって電力系統の大容量・コンパクト化と低損失化が必要
- ・限られた都市地下空間の有効利用にも資する

#### ○肯定的意見

超電導ケーブルは、大容量・コンパクト化と低損失化を両立できる有望な技術である。これまで国プロとして超電導ケーブル開発を先導していただいた結果、実システムでの実証試験により、運用性や安定性が検証されるまで技術が進歩してきた。

一方で、その実用化のためには、大容量ケーブルシステムを目指したさらなる低コスト化に加え、安全性・信頼性の確保が必須の技術課題である。これらの検証には、まだ多くの研究資金が必要であり、民間のみでの技術開発には自ずと限界がある。このため、同技術の早期実用化の

ための必須な課題解決のために、国プロとして研究を先導して頂くことを期待する。

(委員 C)

超電導ケーブルは、高効率送電、大電流送電などを実現することが期待される技術であり、さらにケーブルのコンパクト性や完全シールド構造などにより、都市地下空間の有効利用にも大いに貢献でき、次世代の社会インフラとして超電導ケーブル技術の確立を図ることが重要と考えます。

(委員 B)

#### ○問題点・改善すべき点

・冷却システムのメンテナンス間隔 40,000h 以上の実証は、H27 下～H28 のシステム検証試験、もしくは H26 の冷凍機試験で計画されていると思うが、40,000h 以上をこの期間でどう実証するか

(委員 A)

(1)③アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果の程度  
・電力システムの容量増強等における初期投資が抑制できるとともに、送電効率の向上が見込まれる。

#### ○肯定的意見

もし本事業の結果、超電導ケーブルが実用化され電力システムに組み込まれる場合には、最初のごく短距離で大容量の電流が流れる、例えば、発電所の引き出し線などに使われるであろう。しかし、さらに用いるべき箇所はこのような短区間ではなく、地球環境保全の観点からも、また、電力システムにおける送電技術の展開性という観点からも、ある程度の距離を持つ送電に利用することが好ましい。

一方、我が国の大都市への集中は止まらない。さらによりいっそうの高齢化社会を迎え、地方都市も効率化の点からコンパクトシティへと向かうケースも多数発生するものと考えられる。その場合、大都市のみならず地方都市でも、都市部の電力需要は現在よりも増加する。しかし、都市部、特に都市中心地への送電線を新たに建設することは、用地の確保だけでなく、景観上の問題もあるため困難を伴う。そのため、地中線の建設も考えられるが、今後電気事業が規制緩和されることを考えると、地中線敷設のための洞道建設などに多額の投資を行うことも難しい。したがって、既設の洞道を利用することが最も妥当である。しかし、都市部の電力需要の増加に対応し送電容量を増強するには、既設線と同じ径でありながら大きい送電容量をもつケーブルを敷設しなければならず、それ故、超電導ケーブルが用いられることとなる。

しかし、超電導ケーブルを実際に用いる場合、超電導状態を保つための冷却システムの経済性、信頼性、安全性が問題となる。まずは、冷凍機そのものの効率向上は当然のことである。また、冷凍機を都市内に置くためには、経済性ととも、冷却材の安全性や冷却機の騒音対策なども重要な課題となる。

ここで特に、複数機の冷凍機を超電導ケーブルに沿って複数個所に配置し、冷却系を大きな一つのシステムとして運用した場合において、冷却機の最適な配置、例えば冷却機が1機故障した時にシステム全体として必要な冷却能力をどのように見積もるかなどの検証が行われたことはほとんどない。冷却系全体で冷凍機の配置を最適に設計すれば、冷却システムを含めて超電導技術を用いた送電システム全体の経済性を根本から見直すことができる。さらにその際、故障前に超電導ケーブルに乗っていた送電潮流を超電導ケーブルだけで安定に維持することを考えるのではなく、例えば、その一部を既存の CV ケーブルや架空送電線に乗せ替え、電力システム全体で送電潮流を維持することで、冷却システムの最適化を図ることも考えられる。これを検証するには、超電導ケーブルを用いた送電技術と電力システム工学との融合が必要となるが、逆に、

超電導ケーブルを含む電力システムでは当然の帰結とも言える。

さて、これらの冷凍機を用いた冷却システムの効率向上や安全性、信頼性の向上は、単に超電導ケーブルだけでなく、「冷やす」技術の革新にもつながる。より安くより効率的に冷却することができれば、超電導を軸に、新たな技術から新たな産業が生まれる可能性も秘めている。また、それだけでなく、冷却機そのものから回転機技術、低騒音化技術など、超電導関連以外の既存産業への波及効果も大きいと考えられる。

このように、超電導ケーブルの送電技術への応用は、統合的なシステムの完成を目指した投資であることから、その波及効果の裾野は広いと言える。

(委員 E)

#### ○ 問題点・改善すべき点

・実用化のための条件が整うのであれば(最後の課題以外の課題が無く既存技術に対する優位性が評価済みという場合)、新規事業・技術の創出は期待でき、その考え方は妥当と思われる。  
・一方、最後の課題「安全性・信頼性に係る検証と高効率冷却システムの開発」の結果によっては、既に評価済の内容へのフィードバックと影響評価も必要で(例えば、コストなど)、その結果に依存する点もある。

(委員 A)

(1)④アウトカムに至るまでに達成すべきいくつかの中間段階の目標(技術的成果等)の具体的内容とその時期

- ・超電導ケーブルの冷却システム最適化-2015 年度
- ・超電導ケーブルの安全性・信頼性に係る検証-2016 年度

#### ○ 肯定的意見

事故時を想定した安全性・信頼性の検証や、超電導ケーブルシステムの中でも特に重点を置くべき高効率大容量冷却システムの開発は、超電導ケーブルの実用化のための最後の大きなハードルとなっており、これらを開発目標の一つとして国プロを新規創出することは、超電導ケーブルの実適用に大きく貢献すると考える。

(委員 C)

本プロジェクトでは、ケーブル本体よりは周辺技術を含めた送電システム技術の開発であり、これまで予算の都合上優先順位の低かった重要な技術開発が含まれているため、新規プロジェクトとしては妥当と考える。

(委員 D)

#### ○ 問題点・改善すべき点

(再掲)・冷却システムのメンテナンス間隔 40,000h 以上の実証は、H27 下～H28 のシステム検証試験、もしくは H26 の冷凍機試験で計画されていると思うが、40,000h 以上をこの期間でどう実証するか

(委員 A)

#### (2) アウトカムに至るまでの戦略について

##### (2)① アウトカムに至るまでの戦略

超電導ケーブルの実用化に関する最後の課題である冷却システムの最適化および安全性・信頼性の検証を行うことにより、新規技術である超電導ケーブルを電力会社等のユーザー自らが自社設備として採用検討することを可能とする。



### ○肯定的意見

既存ケーブルの経年化は、国内電力各社に共通する喫緊の技術課題である。しかしながら、原子力発電所の長期停止や円安により電力各社の経営状況は極度に悪化しており、経年ケーブルの張り替えなどの設備投資全般を繰り延べせざるを得ない状況にある。そこで、劣化ケーブルの設備更新の際に、土木費の削減による大幅なコストダウンが見込める超電導ケーブルは、今後に向けて必須な技術である。

一方で、経年化の課題は先進諸国に共通したものであり、さらには、特に欧州においては環境問題や水力発電所の出力向上対策としての超電導ケーブルへの期待が大きくなっている。また、経済的な発展が続いている韓国、中国、インドなどでは、大容量ケーブルとしての超電導ケーブルへの期待が大きい。

このような情勢を鑑みて、国内のみならず海外における超電導ケーブルの早期実用化も視野に入れて国プロを先導していただきたい。

(委員 C)

潜在的な海外の市場も大きく、欧米では開発の波はありますが、着実に実績を上げてきていますし、韓国、中国も開発を継続しています。日本としても、超電導ケーブルのための冷凍機システム、端末、ケーブルの断熱管などの技術を向上させ、世界の実用化へ向けた競争で先行すべく、システムとしての技術レベルを高め、メーカが自ら市場を切り開くまでの支援を国としていただくのが適切と思います。

(委員 B)

### ○問題点・改善すべき点

超電導ケーブルは、実系統連系実証試験は既に海外でも多く行われてきており、日本では東京電力旭変電所での試験も順調の進捗しており、実用間近の領域に達しているものの、まだ試験段階ということもあり、安全性に関しては多くの冗長系を含むものであり、事業化に向けてコストも考慮した最適設計には至っていない。

本プロジェクトでは、具体的な実適用導入箇所を調査結果に基づき想定し、実用化への最後の課題ともいえる安全性・信頼性に係る検証、高効率冷却システムの開発を行うものであり、実用化に確実に繋げる最後のひと押しをすることは、国際競争力の観点からも国として責任もって実施すべきと考える。

(委員 D)

### (2)②成果とユーザーの段階的イメージ・仮説

超電導ケーブルによる次世代送電システムの安全性・信頼性の検証を実施することにより、電力(送電)会社がユーザーとして採用する。

### ○肯定的意見

本事業は3カ年の計画ではあるが、既存の架空送電線は、当然日常の維持管理はおこなっているが設備そのものは数十年の単位で利用されている。超電導ケーブルによる送電システムの安全性、信頼性の短期的な検証は3カ年の計画内に遂行することもできるだろうが、設備としての信頼性の確認という観点からすれば、3カ年の事業期間終了後についても何らかの予算措置がなされ、より長期の検証が行える体制があれば、さらに超電導ケーブルを用いた送電技術への信頼性、安全性が増すものと考えられる。

また、実証試験の実施後、実用システムへの展開をいかに軌道に乗せるかも課題である。今後電気事業の規制緩和、さらには発送電分離も検討されている中で、超電導ケーブルの実用化にはある程度の投資を伴いリスクもある。したがって、本事業の次のステップへもつなげて欲し

い。  
(委員 E)

○問題点・改善すべき点

(再掲)超電導ケーブルは、実系統連系実証試験は既に海外でも多く行われてきており、日本では東京電力旭変電所での試験も順調の進捗しており、実用間近の領域に達しているものの、まだ試験段階ということもあり、安全性に関しては多くの冗長系を含むものであり、事業化に向けてコストも考慮した最適設計には至っていない。

本プロジェクトでは、具体的な実適用導入箇所を調査結果に基づき想定し、実用化への最後の課題ともいえる安全性・信頼性に係る検証、高効率冷却システムの開発を行うものであり、実用化に確実に繋げる最後のひと押しをすることは、国際競争力の観点からも国として責任もって実施すべきと考える。

(委員 D)

(3)次年度以降に技術開発を実施する緊急性について

(3)①次年度以降に技術開発を実施する緊急性

他国においても超電導ケーブル開発が継続しており実用化に向けた最後の開発課題を解決しなければ国内産業の国際的な競争力を損なう恐れがある。

○肯定的意見

超電導線材開発および超電導ケーブル開発は、長らく日本が優位を保つ新規技術であったが、近年、欧州、韓国等での実証試験が立ち上がるなど、諸外国の技術レベルが急速に高まってきている。日本の技術の優位性を維持するとともに、海外市場への参入による国内企業の産業力強化のためにも、国プロに先導していただき、産業界全体の技術レベルを向上させることは、我が国として必要不可欠な施策である。

(委員 C)

潜在的な海外の市場も大きく、欧米では開発の波はありますが、着実に実績を上げてきていますし、韓国、中国も開発を継続しています。日本としても、超電導ケーブルのための冷凍機システム、端末、ケーブルの断熱管などの技術を向上させ、世界の実用化へ向けた競争で先行すべく、システムとしての技術レベルを高め、メーカーが自ら市場を切り開くまでの支援を国としていただくのが適切と思います。

(委員 B)

○問題点・改善すべき点

(再掲)超電導ケーブルは、実系統連系実証試験は既に海外でも多く行われてきており、日本では東京電力旭変電所での試験も順調の進捗しており、実用間近の領域に達しているものの、まだ試験段階ということもあり、安全性に関しては多くの冗長系を含むものであり、事業化に向けてコストも考慮した最適設計には至っていない。

本プロジェクトでは、具体的な実適用導入箇所を調査結果に基づき想定し、実用化への最後の課題ともいえる安全性・信頼性に係る検証、高効率冷却システムの開発を行うものであり、実用化に確実に繋げる最後のひと押しをすることは、国際競争力の観点からも国として責任もって実施すべきと考える。

(委員 D)

#### (4) 国が実施する必要性について

##### (4)①科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性

我が国の送電技術は国際的に高いレベルである。超電導送電技術の送電システムへの応用の実用化は世界において未だなされておらず、高い科学技術の成果といえる

##### ○肯定的意見

我が国の送電技術は、信頼性の高さに加え 1,000kV 級超々高圧送電の開発など、他国に比べて高いレベルの技術力を誇っている。超電導技術の送電システムへの応用に関しても、これまでの長い研究成果から高度なシステム技術を構築しつつある。他国でも超電導技術の実証試験を行っているが、我が国は世界を先駆ける技術力を有しており、ここで実用化に向けて協同した開発を推し進めることによって、経済性、信頼性、安全性など実用化に向けた障壁を克服しなければ世界に後れをとり産業競争力を損なう恐れがある。

本「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る技術開発」は、超電導技術を用いた送電システムの信頼性、安全性を検証し確実なものとする事で、今後も、我が国の送電技術分野を世界のトップランナーたる地位に保つものである。電力システムは経済性ととも高い信頼性も要求されている。信頼性の高い送電システムとして技術を完成するには、産学官が持てる力を一致結集し、プロジェクトを完遂させなければならない。そして、得られた知見を共有し、国際的に競争優位な産業を創出する必要がある。そのためにも、本事業は国家プロジェクトとして行うことが望ましいと考える。

(委員 E)

##### ○問題点・改善すべき点

本プロジェクトで想定している超電導ケーブルの導入先の第一候補である揚水発電所では、ほぼ垂直に近い勾配で液体窒素を長距離送液しなければならず、それに対して液体窒素の物性値の変化等十分に考慮した冷却システムの検討はほとんどなされていないと考える。本事業内容に記載されている最適冷却システム開発において、十分な検討がなされることを希望する。

(委員 D)

#### (5) 当該事業のアウトカムと関連性のある省内外の事業について

##### (5)①当該事業のアウトカムと関連性のある省内外の事業との関係性

平成24年度「高温超電導直流送電システムの実証研究」においては大規模データセンターへの給電のために直流超電導送電を検討する。この事業と提案の事業は目的や対象とする送電技術は異なるため、基本的に技術的な共通性は低い。

##### ○肯定的意見

技術的に未解決、未実証なのが、冷凍機システムを含めた数 km 規模の長尺超電導ケーブルの冷却技術の確立です。ただし、どちらも冷却システムが必要であるものの、ケーブルの設計・送電容量は異なり、システムの構成も異なることから、基本的に技術的な共通性は低いものと考えます。

(委員 B)

##### ○問題点・改善すべき点

(再掲)本プロジェクトで想定している超電導ケーブルの導入先の第一候補である揚水発電所では、ほぼ垂直に近い勾配で液体窒素を長距離送液しなければならず、それに対して液体窒素の物性値の変化等十分に考慮した冷却システムの検討はほとんどなされていないと考える。本事業内容に記載されている最適冷却システム開発において、十分な検討がなされることを希望する。

(委員 D)

### 第3章 評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業に対する評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対処方針は、以下のとおり。

#### 【次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業】

(アウトカムに至るまでの戦略について)

- ① 災害等シビアアクシデントに対する対応について
  - ・ 安全性・信頼性検証に関して、短絡・地絡時の事故を想定した検証は予定されているようであるが、実用を前提とするのであれば、たとえば冷却システムにおける災害等による緊急時の突発的なシビアアクシデントをも想定しておくことが必要であると考えられるので、緊急時の安全性も考慮した設計、検証を実施し、十分な安全性を確保することを明らかにすべき。
- ② コスト面の精査について
  - ・ 超電導ケーブルによる送電は、ケーブル損失の低減、敷設費用の低減を見込めるものの冷却等によるランニングコストの上昇が見込まれることから、コスト面の得失について十分に精査、検討し、明確化すべき。

#### 対処方針

- ① 当該事業では、特に冷却システムへの影響に主眼を置き、系統全体としての安全対策（限流器等の安全装置の配置等）及び、障害が発生した場合の早期復旧（冷媒の環流コントロール等）について検証を実施することとしており、シビアアクシデントに対しての検証等も十分に行うこととしている。
- ② C V線と超電導線の敷設コスト面の得失については、C V線用の地下掘削にかかるコストは将来的にはむしろ上昇することが予想される一方、現在の試算においても超電導線の耐用年数（約40年）にかかるランニングコストを見込んでも超電導線が有利である。更に超電導線の生産数量の増に伴い線材コストは低下することが見込まれているが、コスト面の得失について十分に精査、検討し、明確化を計ることとする。

## 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証事業 平成26年度概算要求額 5.0億円（新規）

製造産業局 非鉄金属課  
03-3501-1794

### 事業の内容

#### 事業の概要・目的

- 超電導ケーブルは、高効率な次世代電力ケーブルとして期待されています。その実用化に向けた最後の課題である、ケーブルと冷却システムに関する「安全性・信頼性」の検証を行い事業化を加速します。
- 欧州、韓国が大規模なケーブル実証試験や事故・故障復帰試験等を実施するなど超電導ケーブル開発において日本に肉薄しており、即時投入可能なケーブルとそのシステムの開発を急ぐことにより国際市場をいち早く獲得し、我が国産業の技術的優位性を保ちます。
- 実用化により、都市地下ケーブル代替での布設コストは1/3程度となる。また送電損失を1/2～1/3とすることが可能である。これにより10年間で約1万5千tのCO2削減を図ることができる。

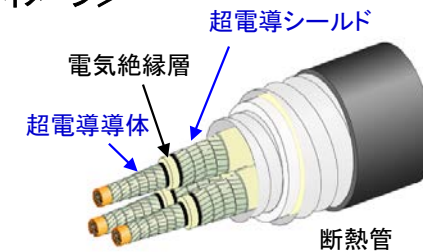
#### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



### 事業イメージ

- 超電導ケーブル適用有力候補
  - ・揚水発電所発電機引出線
  - ・都市地下ケーブル代替

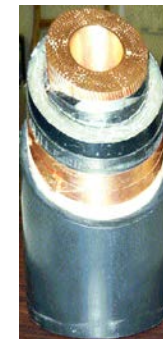
#### <超電導ケーブルイメージ>



#### <初期適用(代替)先候補イメージ>



現状の発電機引出線(相分離母線)外観



揚水発電機引出線  
(内部水冷ケーブル)外観