

# 「リットリウム系超電導電力機器技術開発」

## 中間評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
プロジェクト概要 .....	2
評価概要（案） .....	10
評点結果 .....	18

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「リットリウム系超電導電力機器技術開発」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成22年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	しまだ りゅういち 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	もり しゅんすけ 森 俊介	東京理科大学 理工学部 経営工学科 教授
委員	きた りゅうすけ 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
	さとう よしひさ 佐藤 義久	大同大学 工学部 電気電子工学科 教授
	しもやま じゅんいち 下山 淳一*	東京大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 准教授
	みうら おおすけ 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
	むろやま せいいち 室山 誠一	株式会社 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

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：東京工業大学フロンティア創造共同研究センター、東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成22年7月1日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## プロジェクト概要

		最終更新日	平成22年8月10日																				
プログラム (又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム																						
プロジェクト名	イットリウム系超電導電力機器技術開発	プロジェクト番号	P08016																				
担当推進部/担当者	エネルギー対策推進部 担当者 酒井 清 (平成22年7月現在) 新エネルギー技術開発部 担当者 木戸口 幸司 (平成20年6月～平成22年6月)																						
0. 事業の概要	<p>経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的なエネルギー供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立は重要な課題である。</p> <p>本プロジェクトでは、「超電導応用基盤技術開発(第Ⅱ期)」(平成15年度～19年度)及び「超電導電力ネットワーク制御技術開発」(平成16年度～19年度)によって得られた開発成果を踏まえて、実用レベルに達したコンパクトで大容量の電力供給が期待できるイットリウムに代表されるレアアース系酸化物高温超電導線材(以下「Y系超電導線材」という)を用い、次世代電力機器として第3期科学技術基本計画のエネルギー分野の重点科学技術「送電技術」、「電力系統制御技術」、「電力貯蔵技術」に位置付けられ、さらに、超電導技術分野の技術マップ(平成19年4月制定)のエネルギー・電力分野機器開発にも位置づけられている、①超電導電力貯蔵システム(SMES)、②超電導電力ケーブル及び③超電導変圧器の実用化に目途をつけることを目的に研究開発を実施する。さらに、それら超電導電力機器に最も適応した④超電導電力機器用線材の研究開発並びに超電導電力機器や超電導線材の⑤超電導電力機器の適用技術標準化に向けた取組も併せ行う。</p>																						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【事業の背景・目的・位置付け】</p> <p>資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するため、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことを目的とした「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として本研究開発を実施する。</p> <p>【NEDOが関与する意義】</p> <p>米国を初めとして、アジア、欧州でも超電導電力機器を含む高温超電導技術の応用研究・開発にしのぎを削っており、我が国産業界も超電導技術のさらなる先導的研究開発を求めている。本事業は、幅広い産業分野にわたり潜在的ニーズを持っているが、ほとんど実用化の例がない高温超電導を扱う革新的な技術開発であり、その実用化には多くの技術課題を有するため、民間のみで事業を行うのは困難である。国及びNEDOが主体となり実施することが必要である。</p> <p>【実施の効果】</p> <p>我が国は、経済活動の大半が大都市に集中しており、大都市での電力供給支障事故は日本全体の経済活動に大きな影響を及ぼすこととなる。また、大都市での電源立地が困難な状況において、益々遠距離化する電源立地点からの遠距離送電の安定性の確保も重要な課題である。</p> <p>さらにCO<sub>2</sub>排出量削減は各産業界共通の至上命令であり、電力機器も低炭素化社会の実現に貢献できる新技術を駆使した開発が必要である。</p> <p>このような状況を踏まえ、2020年以降増大する大都市の地下ケーブルのリプレース需要や長距離・大容量送電に合わせ事故や災害に強く、電力需要の増大や新エネ導入による系統影響にも柔軟に対応できる超電導技術を活用した電力機器の開発により、大都市の電力供給信頼度を大幅に向上することができる。</p> <p>【超電導技術導入によるCO<sub>2</sub>削減量】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">単位: kt/年</th> </tr> <tr> <th></th> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>超電導電力貯蔵システム(SMES)</td> <td>43</td> <td>—</td> <td>2126</td> </tr> <tr> <td>超電導電力ケーブル</td> <td>28</td> <td>58</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>超電導変圧器</td> <td>32</td> <td>99</td> <td>176</td> </tr> </tbody> </table> <p>出典:「高温超電導電力応用機器の市場調査研究報告書」(平成19年2月、ISTEC)</p>				単位: kt/年				2020年	2025年	2030年	超電導電力貯蔵システム(SMES)	43	—	2126	超電導電力ケーブル	28	58	95	超電導変圧器	32	99	176
	単位: kt/年																						
	2020年	2025年	2030年																				
超電導電力貯蔵システム(SMES)	43	—	2126																				
超電導電力ケーブル	28	58	95																				
超電導変圧器	32	99	176																				

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>① 超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発          [中間目標]—SMES コイル構成技術を開発するとともに、2GJ 級 SMES コイル基本システム構成の最適化、並びに 2GJ 級を見通す 2MJ 級評価試験モデルの設計を完了する。また、モデル試作に必要な仕様を満足する線材の安定製造技術を確立する。          [最終目標]—この評価試験モデルを作製し、2 万回以上の繰り返し充放電による性能検証を行う。</p> <p>② 超電導電力ケーブルの研究開発          [中間目標]—高電圧電気絶縁技術開発、送電損失の低減に資する大電流低交流損失技術開発等を行い、モデルケーブルによる技術検証を行う。また、ケーブル対応線材の安定作製技術を確立する。          [最終目標]—大電流ケーブルシステム(66kV, 5kA)、および高電圧ケーブルシステム(275kV, 3kA)を作製し、送電損失低減(現行送電ケーブルの 1/2~1/3)を含めた性能検証を行う。</p> <p>③ 超電導変圧器の研究開発          [中間目標]—現行変圧器相当の短絡強度を有する巻線技術を開発するとともに、限流機能を検証し、2MVA 級変圧器モデルの設計を完了させる。また、変圧器対応線材の安定作製技術を確立する。          [最終目標]—2kA 級大電流化および現行の 1/3 以下の低損失巻線技術を開発するとともに、数 100kVA 級単相モデルによる限流機能の検証、2MVA 級モデルによる性能検証を行う。</p> <p>④ 超電導電力機器用線材の技術開発          [中間目標]—開発対象機器([SMES][超電導電力ケーブル][超電導変圧器])の中間目標達成に向け(1)線材特性の把握(2)磁場中高 <math>I_c</math> 線材作製技術(3)低損失線材作製技術(4)高強度・高 <math>I_c</math> 線材作製技術(5)低コスト・歩留向上技術に関し、目標値を設定し達成する。          [最終目標]—開発対象機器([SMES][超電導電力ケーブル][超電導変圧器])の最終目標達成に向けそれぞれの項目に目標値を設定し対応する。</p> <p>⑤ 超電導電力機器の適用技術標準化          [中間目標]—超電導線、超電導電力ケーブルの一般事項、試験方法の規格素案を作成し、IEC 国際標準化合意の醸成等おこなう。          [最終目標]—超電導線、超電導電力ケーブル並びにその試験方法の規格素案に対して国際標準化合意を確立し、IEC 国際規格提案に資する等実施する。</p>
-------	---

事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発	523	512	532	(500)	(500)	(2,567)
	超電導電力ケーブルの研究開発	586	706	616	(598)	(597)	(3,103)
	超電導変圧器の研究開発	631	608	606	(600)	(616)	(3,061)
	超電導機器用線材の技術開発	1,240	1,159	1,141	(1,347)	(1,322)	(6,209)
	超電導電力機器の適用技術標準化	19	15	21	(15)	(15)	(85)

開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円) ( )内数字は未定	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	一般会計						
	特別会計 (電線)電線の部	2,985	2,831	2,916	(3,060)	(3,050)	(14,842)
	加速予算 (経費削減費を含む)	15	169				184
	総予算額	3,000	3,000	2,916	(3,060)	(3,050)	(15,026)

開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課
	プロジェクトリーダー	塩原 融 (財) 国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所 所長
	サブプロジェクトリーダー	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 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 藤原 昇 (財) 国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部長 (平成 20 年 6 月～平成 22 年 6 月) 大熊 武 (財) 国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所 電力機器研究開発部長 (予定者) 和泉 輝郎 (財) 国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所 線材研究開発部長
	委託先	(財) 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC)、中部電力 (株)、九州電力 (株)、住友電気工業 (株)、古河電気工業 (株)、(株) フジクラ、昭和電線ケーブルシステム (株)、大陽日酸 (株)、(株) 前川製作所、(財) ファインセラミックスセンター (JFCC)
情勢変化への対応	<p>我が国における超電導技術の研究開発は、本プロジェクト以外では、Bi 系線材を用い、ケーブル単体ではなく冷却技術等も統合し、実システムに連携して総合的な信頼性を実証する「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」、Y 系超電導線材を用い、超軽量高性能モータ等を実現するため超長尺線材の実現、並びに希少金属の希土類元素使用低減を図る「希少金属代替材料開発プロジェクト」、高温超電導線材を用い、直流応用に特化した「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」S-イノベプロジェクト、鉄系超電導物質を中心とした新物質探索、それら新材料を対象に線材開発、機器応用を目指す「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」等が進められており、研究開発分野別の棲み分けがなされている。</p> <p>海外における研究開発動向では、米国では、エネルギー省の補助のもと 3 つの超電導限流器プログラムと 2 つの超電導ケーブルプログラムが実施された。また、今年度より ARPA-E プロジェクトの中で、Y 系超電導線材を用いた 3.4MJ@4.2K&amp;30T の SMES の開発が 3 年計画で開始したとの発表があった。さらに限流機能を持つ超電導変圧器開発プログラムを推進すると発表している。この他ニューヨーク市内に超電導ケーブルを設置するプロジェクト、米国三大電力ネットワークを Y 系直流超電導ケーブルで接続する計画等が進行している。欧州では、EU のフレームワークプログラムのもと、Y 系超電導電力ケーブルの試作・機能検証プロジェクトが実施されるとともに、Y 系超電導限流器プロジェクトもスタートした。米欧以外では、中国、韓国、ニュージーランド等の研究開発が活発で、特に韓国では Y 系超電導線材を使用した超電導 SMES の開発が進行し、超電導ケーブル、超電導限流器の開発・実証計画が進められている。</p> <p>Y 系超電導線材の開発に関しては、欧米では米国 SuperPower 社、AMSC 社、ロスアラモス研、オークリッジ研、ドイツ テーバ社、EHTS 社を中心に、IBAD-PLD、IBAD-MOCVD 法、RABiTS-MOD、IBAD-RCE 法等による高性能線材の作製報告が続いており、日米欧三種で熾烈な開発競争が続いている。最近では、実用化を目指して、1km 級線材の長尺作製実績も SuperPower 社から報告され、また生産速度の高速化・更なる高特性能の観点で有望な成果がいくつか報告されている。</p> <p>その他の情勢変化としては、2050 年までに温室効果ガスを半減させる Cool Earth 50 を受け Cool Earth-エネルギー革新技術「21」がとりまとめられ、21 の重点的エネルギー革新技術に「超電導高効率送電」が選ばれた。</p> <p>温室効果ガスを 2020 年までに 1990 年比 25%削減する目標達成に向け、我が国ではグリーンイノベーションの実現に向けた「科学・技術重要施策アクション・プラン」が策定された。その中で、「エネルギー供給・利用の低炭素化」を克服すべき課題として超電導送電は、多様な技術を多方面に展開すべきであり、温室効果ガス排出削減に大きく貢献するとともに海外展開も拡大するとの期待が大きいと記述されている。この平成 22 年 7 月 8 日に正式決定された。またアクションプランの方策推進の俯瞰図中での超電導送電技術は、2015 年までに超電導技術による基盤技術の開発(超電導材料・線材化の研究開発)の実施、確立を行うとしている。</p> <p>我が国が、長期に亘り技術イノベーションにより競争力を維持・向上させるため、平成 22 年 6 月経済産業省より「産業構造ビジョン 2010 骨子」が制定・発表された。その中で、「高温超電導」は特に有望な 10 の先端分野の 1 つとして捉え、積極的に支援していくことが提言された。</p> <p>プロジェクトとしての対応として、実施計画、外部有識者を委員に加えた推進委員会等を通じ、情報共有や水平展開を行い、予算の効率的運用、計画の効率的組み替え等を行っている。それらとして、</p>	

<p>情勢変化への対応</p>	<p>(1) 低交流損失化のため長尺細線フィラメント線材の評価のため、多層導体構造の内部欠陥評価も可能な SQUID センサー開発を推進し、線材加工技術開発を促進している。</p> <p>(2) ケーブル開発用 Y 系超電導線材の製造能力の更なる向上のため、超電導薄膜を形成するための高品質・高出力エキシマレーザー発振装置を導入し、更なる特性向上、歩留まり向上、成膜速度の高速化を図った。</p> <p>(3) SMES 用線材への IBAD-MgO 基板及び IBAD-PLD 線材の適用で、SMES 開発の高効率化を図った。</p> <p>(4) Y 系超電導線材を用いた 4 巻線構造の小型超電導変圧器モデルでの特性検証、限流応答特性解明、限流効果による巻線保護の確認に世界で初めて成功したことを受け、数百 KVA 級限流機能付加変圧器の試作を前倒し、2MVA 級変圧器開発を効率的に進める。</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>H 2 0 年度実施 担当部 新エネルギー技術開発部</p>
	<p>中間評価</p>	<p>H 2 2 年度 中間評価実施</p>
	<p>事後評価</p>	<p>H 2 5 年度 事後評価実施予定</p>
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>① 超電導電力貯蔵システム (SMES) の研究開発</p> <p>(1) 2GJ 級高磁界・大電流コンパクトコイル構成技術開発では、多層巻コイルを作製し、600MPa を越えるフープ応力耐性を実証。また 4 束導体コイルを作製し、2.6kA 通電を実証し、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>(2) 高効率コイル伝導冷却技術開発では、模擬コイルにて伝導冷却システム検証試験を継続中であり、2kV 以上の電気絶縁性能を有する伝導冷却型コイル構造の設計も実施し、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>(3) SMES 対応線材安定製造技術開発では、フープ応力試験等のコイルに線材を提供して必要性能を把握し、特性向上、歩留向上を推進中であり、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>(4) 高磁界コンパクト SMES システムモデル検証では、2GJ 級 SMES コイル基本システムの最適化を検討し、評価用試験モデルの内、伝導冷却試験システムの設計・製作を実施。またクエンチ検出・コイル保護方法の検証などより試験計画立案に必要なコイル特性を取得中であり、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>② 超電導電力ケーブルの研究開発</p> <p>(1) 大電流・低交流損失ケーブル化技術の開発では、構造設計を「超電導導体 4 層、超電導シールド 2 層」とし、ケーブル損失を 3W/m/相@4.5kA まで低減、短絡試験、接続試験で性能低下や異常無きことを確認し、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>(2) 高電圧絶縁・低誘電損失ケーブル化技術の開発では、ケーブル損失が 0.70W/m となり、中間目標達成。超電導-超電導接続部は数 nΩ の低抵抗を実現し、課電試験でも導体、接続部で異常無きことを確認し、さらに年度内に安全性を確認して中間目標達成見込み。</p> <p>(3) 超電導電力ケーブルの熱収支に関する評価研究では、定常運転時の伝熱特性、温度特性を解析し、設計にフィードバックするとともに、スラッシュ窒素の冷却特性を評価し、要求される冷却設備、仕様検討試験装置を作製し、中間目標を達成した。</p> <p>(4) ケーブル対応線材安定製造技術開発では、低磁性クラッドタイプの結晶粒配向基板-PLD 線材作製技術開発を実施し <math>J_c = 17\text{kA/cm}^2</math> の特性を有する線材を作製・実証し、中間目標を達成した。</p> <p>(5) 66kV 大電流ケーブルシステム検証ではシステム設計を完了。課通電試験計画案を作成し、年度内に確定することで、中間目標達成見込み。</p> <p>(6) 275kV 高電圧ケーブルシステム検証では、275kV-3kA の試験条件の選定、長期課通電試験の計画書を作成し、中間目標を達成。また検証用ケーブルシステム設計では、設計の妥当性を確認し、中間目標は年度内達成見込み。</p> <p>③ 超電導変圧器の研究開発</p> <p>(1) 超電導変圧器巻線技術開発では、最適転位長、保護銅層付加多層巻線の過電流特性を確認し、12 層 2 並列導体による転位均流モデルによる転位法最適化等を確認。400kVA 短絡モデル変圧器を試作し短絡試験を実施。2kA 級の通電特性と巻線劣化や異常が無きことを検証し、中間目標を達成した。</p> <p>(2) 冷却システム技術開発では、小型膨張タービンで 70%の断熱効率を達成。小型ターボ式圧縮機でも断熱効率 65%を達成し、中間目標を達成した。</p> <p>(3) 限流機能付加技術開発では、短絡電流の数十分の一の限流動作確認や短絡電流応答の数値解析プログラムと実験値との比較検討等を実施。さらに 400kVA 限流機能付加モデル変圧器設計、試作を行い、中間目標を達成した。</p> <p>(4) 超電導変圧器対応線材安定製造技術開発では、5mm 幅 3 分割のレーザスクライビング加工技術を開発し、<math>I_c = 40\text{A} @ 65\text{K}, 0.01\text{T}, 100\text{m}</math> 以上の線材安定製造技術を確立し、中間目標を達成した。</p> <p>(5) 2MVA 級超電導変圧器モデル検証では、66kV/6.9kV-2MVA 級モデルの設計及び冷却システム系の検討を実施。66kV/6.9kV-20MVA 級配電用変圧器実機的设计を実施し、中間目標を達成した。</p>	

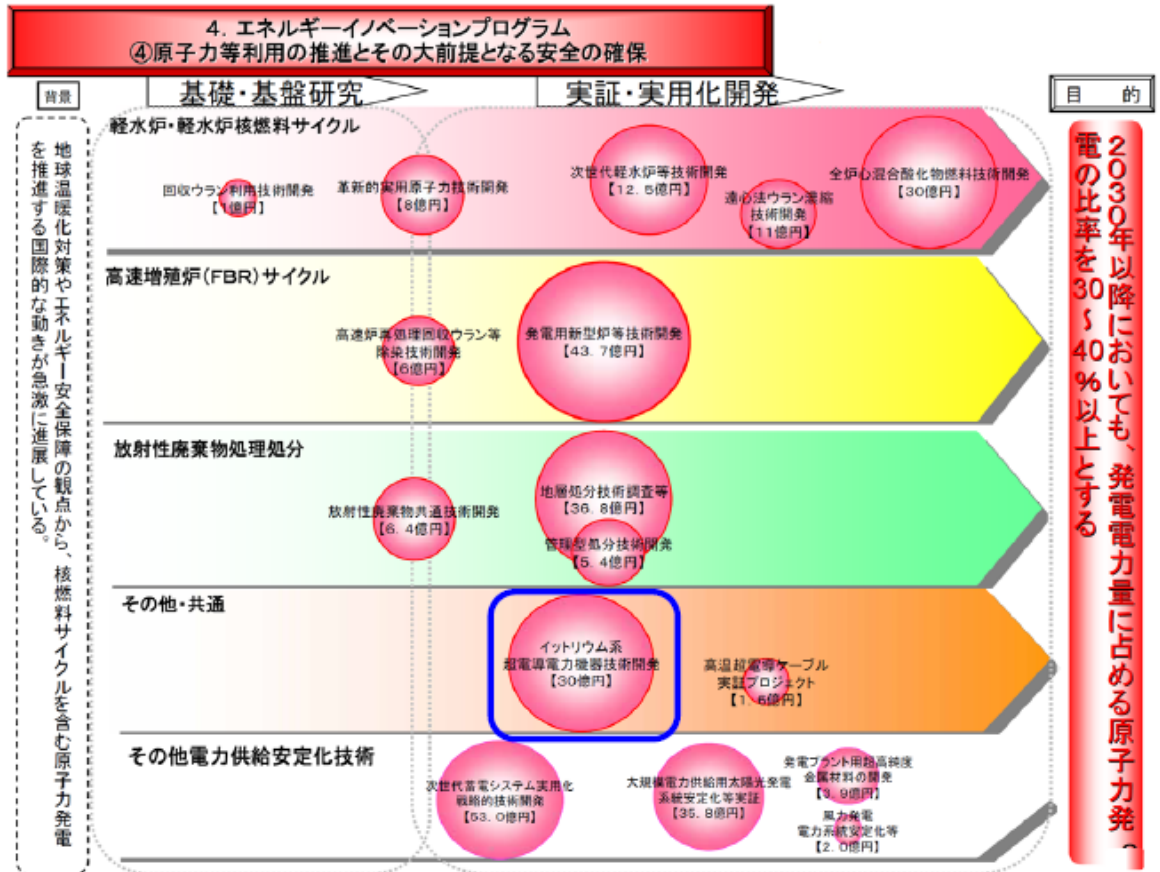
	<p>④ 超電導電力機器用線材の技術開発</p> <p>(1) 線材特性の把握では、電力ケーブルにおける線材の耐久性を電流、機械応力、温度湿度等の影響を評価し、線材がケーブル使用時の負荷に対し十分大きな限界値を有していることが確認でき、中間目標を達成した。</p> <p>(2) 磁場中高 <math>J_c</math> 線材作製技術では、PLD 線材は、(a) 30A/cm-w @77K, 3T-50m の中間目標値を達成した。MOD 線材は、年度内達成見込み。(b) 300A/cm-w @65K, 0.02T-50m の中間目標値は、PLD、MOD 両線材ともに達成した。</p> <p>(3) 低損失線材作製技術では、(a) 2mm 幅-300A/cm-w-50m の中間目標に対し、PLD 線材が中間目標を達成。MOD 線材が、年度内達成見込み。(b) 5mm 幅-5 分割-50m-無分割に対し損失 1/5 の中間目標では、PLD、MOD 線材ともに年度内達成見込み。</p> <p>(4) 高強度・高 <math>J_c</math> 線材作製技術では、(a) 300A/cm-1GPa-50m (b) <math>J_c=30kA/cm^2</math>-50m の中間目標値に対し、0.95GPa、37m と未達ではあるが、200m-1.3GPa 基板作製中であり、年度内達成見込み。</p> <p>(5) 低コスト・歩留向上技術では、3 円/Am のプロセス技術実証を行い、PLD 線材では中間目標を達成した。MOD 線材では、現状未達なるも年度内達成見込み。</p> <p>⑤ 超電導電力機器の適用技術標準化</p> <p>(1) 超電導線関連技術標準化では、各国のコメントを反映し一般要求事項、試験方法の規格素案を作成し、中間目標を達成した。国際標準化合意の醸成は、年度内達成見込み。</p> <p>(2) 超電導電力ケーブル関連技術標準化では、システムの一般要求事項、試験方法の規格素案を作成し、中間目標を達成した。国際標準化合意の醸成は、年度内達成見込み。</p> <p>(3) 超電導電力機器関連技術標準化等では、技術動向並びに標準化ニーズ調査を実施し、これを基に規格素案作成を開始し、中間目標を達成した。</p>
投稿論文	[査読付き] 86 件、[その他] 19 件、[プレス等] 18 件
特許 (国内/海外)	[出願済] 36/2 件、[登録済] 0/0 件、[実施] 0 件
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>本プロジェクトにより開発されるSMESは、電力分野においてコスト面で成立する初の実用超電導機器となると考えられ、超電導技術の広範な産業応用に大きく貢献が期待される。また、系統制御技術としての要求よりは、小規模で済む産業応用への波及分野として、電気エネルギーに高い品質と信頼性を要求するハイテク産業における瞬低対策技術として、広汎な普及が期待されている。</p> <p>CO<sub>2</sub> 削減対策のひとつとして、送電ロスがほとんどない超電導高効率送電があげられる。電力の送電ロスには現在の技術をもって 5%前後で推移しており、送電ロスをさらに低減できるような有効な対策がないのが現状である。この送電ロスを抜本的に削減するような超電導電力ケーブル技術開発が強く求められている。超電導電力ケーブルは、現用電力ケーブルと比較して低損失で、導体部分のエネルギー密度が非常に高く、冷却に必要なスペースを考慮してもケーブル収容断面積を小さくすることが可能となる。つまり従来の電力ケーブルは、都市部において洞道と呼ばれる直径約 2~3m のトンネルに布設されているが、これが超電導電力ケーブルに置換わると、管路と呼ばれる地中埋設された内径 150mm の管に布設することができ、既設設備の有効利用により、コンパクトで大容量化ケーブルの設置が可能となる。</p> <p>一方、既設の電力ケーブルのうち、OF (Oil Filled) ケーブルや POF (Pipe-type Oil Filled) ケーブルは布設後約 40 年が経過しているものも多く、老朽化に伴う漏油の問題が生じており、地中化率の年々の増加とともに順次取替が必要となってきている。将来に亘り現用ケーブルによる新たな送電設備を地下に設けるには莫大なコストと地下埋設のスペースが必要となる。さらには、電力需要の増加、高信頼度の系統構成の構築により、火力発電所の増強等のリプレースによる熱効率の向上や稼働率の向上に伴って、電流通設備の増設や超高圧送電線の冷却設備の建設等の電流通設備に対する増容量対策が必然となってきている。このような状況の中、超電導電力ケーブル技術は、上記のすべての課題を解決できる唯一の革新技術であり、次世代の電力送電網の構築においても重要な技術と位置づけられ実用化が期待されている。</p>

	<p>今後の電力需要や高経年変圧器などからの配電用変圧器の市場規模は、66kV又は 77kVの配電用変電所は約 4,300 箇所であり、各変電所は平均 2 バンクと仮定すると変圧器数は約 2 倍となる。変圧器の寿命を平均 40 年と仮定した変圧器の更新数（約 220 台/年）と、変電所増分容量の伸び率からの変圧器の新設（約 40 台/年）を合わせて約 260 台/年と想定される。Y系超電導線材を変圧器に適用すると、大幅な小型・軽量化が図れるとともに、冷媒は液体窒素であるため不燃となる。これらの特長から、超電導変圧器は、電力需要増に伴う変圧器増の対応、変電所の新設対応が有利であり、超電導ケーブルと共存（変電所容量増、限流機能）した用途が考えられ、都心部を主とした変電所やビル等での早期実用化が期待されている。更には、太陽光等の再生可能エネルギーの導入拡大や米国や韓国で検討されているスマートグリッド等へ適用も考えられている。</p> <p>Y系超電導線材の技術開発では、我が国は世界最高水準の成果を挙げている。既に実用化・事業化のための足がかりとしてY系超電導線材の販売も開始し、Y系超電導線の電力機器以外の産業機器応用を検討している研究機関等へ提供している。今後、更なる特性改善、超電導原料の作製コスト削減、歩留り向上等によりコスト低減にも注力し、より安価で高性能な超電導線の供給ができるよう努力を継続していくとともに、事業規模のさらなる拡大を目指している。</p>	
VI. 基本計画に関する事項	策定時期	平成 20 年 3 月 制定
	変更履歴	平成 20 年 7 月 イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。 平成 21 年 3 月 P L、サブ P Lの氏名を追記して改訂。



技術分野全体での位置づけ

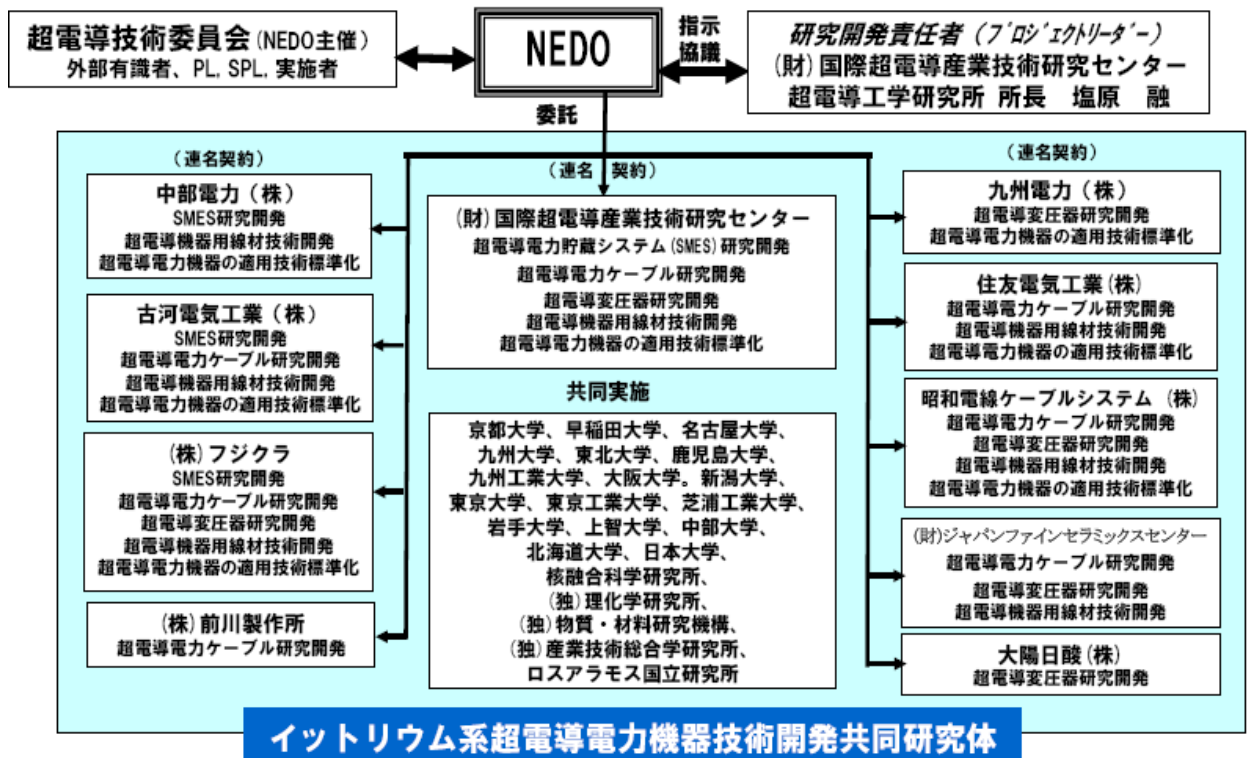
(分科会資料6より抜粋)



「イットリウム系超電導電力機器技術開発」

全体の研究開発実施体制

**研究開発の実施体制（実施期間：H20～H22）**



# 「イットリウム系超電導電力機器技術開発」(中間評価)

## 評価概要(案)

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

地球環境保護の推進、再生可能エネルギーによる発電装置の大量導入、省エネルギーの推進、電力系統の安定化の必要性など社会的要請が強い超電導電力機器開発において、線材の開発から電力機器の開発まで総合的に取り組んでおり、超電導線材特性の性能向上、低コスト化を進めながら、その実績を基に应用機器開発へと迅速に展開し、現在までに開発されている技術の多くが世界的にもトップレベルなものであることは、高く評価できる。

また、その製造プロセスや歩留まりなどにも立ち入って開発をメーカと協力して行い、線材の評価方法など、必要な技術が同時進行しており、全体開発プロジェクトのバランスがとれている。

但し今後は、これまでのように検討課題全てを等価に推進するのではなく、より効果的な、産業として日本が世界をリードできる礎となる課題を抽出し、それを重点的に推進すべきと考える。

一方、実用化の観点からは、2020年頃に始まる大規模な電力設備の更新時期をイットリウム系超電導電力機器が実用化されるチャンスと捉え、それに向けた現実的な開発を行っていることは理解できるが、単なる機器のリプレースになってしまっている。今後、超電導技術がさらに飛躍するためには、超電導技術が無ければ成り立たないという強いニーズを開拓しなければならないが、この技術は、日本だけで完結すべきものではなく、世界、特に直流送電とスマートグリッドの効果の大きい諸国に寄与が大きい。ただ、こうしたプロジェクトを本プロジェクトだけで対応するのは限界があるため、他の超電導技術開発プロジェクトと連携して進めることが望まれる。

#### 2) 今後に対する提言

海外の動向も十分認識した上で世界のトップレベルの機器開発が達成されるよう研究開発を進めて欲しい。広く社会に開発成果を広めるためには、製品化、実機化が必要で、普及するためのチームを設置して、開発の方向など出口イメージの協議を進めるべきである。

また、遠未来の産業応用に向けて、日本が永くリードし続けられるような高度な技術集積が必要で、ニーズが高く、かつ超電導産業の根幹を担う研究課題

に対して、研究費を集中させていくべきである。今後、超電導機器の優位性が発揮でき、超電導でしかできない適用先の調査研究を充実し、研究開発課題・市場規模を明確化してほしい。

さらに、インフラの海外進出はこれまで限られた成功例しかないが、超電導は世界に誇れる技術なので是非とも海外市場で成功したい。2020年目標を達成してからの売り込みでは韓国や中国に先を越される懸念が強く、海外市場調査や売り込みのタイミングや技術要件などマーケティングを視野に入れるべきである。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

エネルギーイノベーションの一分野の技術として超電導利用は大きな期待があるが、技術的には、多くの課題があり、研究開発リスクも高く、民間活動のみでの実施よりも効率的に成果が得られていること、さらに共通基盤的な技術開発が進められているなど、NEDOの事業として妥当な内容である。

また、早期に実用機器を開発することにより、世界における当分野の技術先導性を確保し、「ものづくり」につなげるため、本事業の目的は妥当と考える。

一方、世界が必要とするエネルギー技術の超電導技術でトップである日本がその責任を果たす意味でも海外展開の検討が必要である。再生可能エネルギーとのグローバルなネットワーク化なども夢物語では無く、ITER（国際熱核融合実験炉）などのような国際協力を視野に入れて、本事業の波及効果の検討・調査を引き続き充実して進めてほしい。

### 2) 研究開発マネジメントについて

社会的要請やこれまでの技術開発経緯を踏まえ、研究開発目標を設定するとともに、電力送配電設備の更改時期を踏まえた着実な需要を見据え、技術開発スケジュールを策定している。さらに研究開発の到達度についてはコストを含めた指標を導入し、実用化への到達度を定量化している。また、従来線の材開発に絞ったサイエンスよりの開発体制から、一歩進めて製品化の出口を見据えて標準化やロス低減、高密度化など技術開発がなされており、産・学・官の協力体制がしかれ、PLの強いリーダーシップのもと適切にマネジメントが実施されている。

一方、この3年間の研究費配分をみると、課題ごと、年度ごとのメリハリがなく、重点的に研究開発すべき項目には予算的な措置を強化するなど、もっとダイナミックな予算配分を行っても良い。

さらに、国際的な情勢や競合技術の動向は、刻々と変化しており、今後、そ

れらに合わせた目標の修正・課題の絞り込みを行う柔軟な対応が必要である。

### 3) 研究開発成果について

世界初、世界最高の特性が各要素技術において達成され、すべての研究開発中間目標について達成済または今年度内達成見込みであり、順調に進捗していると評価できる。また、達成された中間目標の成果は最終目標に十分繋がるものであることから、最終目標の達成可能性はかなり高いと判断できる。

しかし、線材の量産化・歩留まり改善と低コスト化の実現と、剥離の課題解決が最も肝要であり、これらが達成できないと機器開発は空転する。

また、中間レベルであることから特許数が少ないことは仕方ないが、特許マップを作成し、重点分野の抽出など特許戦略についてももう少し明確にすべきである。主要技術については周辺、関連特許を合わせて海外出願するなどにより、実用機器製造時における我が国の技術優位性を確保する必要がある。

さらに、成果の普及に関して、折角開発された技術を埋もらせることのないよう、一般への超電導技術の啓蒙活動をもう少し強化すべきであり、またチームレスに技術移管が民間になされるようなシステムを構築して頂きたい。

### 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化に向け産業技術として適用の可能性、適用までの解決すべき課題と解決の指針は明確にされている。本プロジェクト後半には重電機器メーカーの参画が予定されていることから、本プロジェクトの成果の実用化可能性は期待できる。高温超電導を応用した機器が実用化されれば、地球環境に及ぼす効果は極めて大といえ、技術的、社会的波及効果は大きい。

一方、実用化、事業化を達成するには、一層のコスト低減に対する開発が必要である。特に既存設備の更改を行うためには、コスト、信頼性などについての既存技術との競争が激烈であることは容易に推察されるため、超電導の応用が圧倒的に有利なストーリーが描かれているべきである。

これが無ければ成り立たないといった強いニーズ、競合技術との比較検討、波及効果等について、コストや信頼性も含めて今後更なる市場調査が必要である。

## 個別テーマに関する評価

	研究開発成果について	実用化、事業化の見通しについての評価及び今後の提言
超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発	<p>2GJ 級高磁界大電流コンパクトコイル開発、高効率伝導冷却技術、システム開発や線材開発など設定した中間目標を達成し、実用化目標に向け順調に進んでおり、他のエネルギー貯蔵機器とのコスト比較についても十分な検討がなされている。また、フープ応力耐性と伝導冷却リットリウム系コイル外径は世界最高であり、新たなクエンチ保護法も世界に先駆けて開発されているなど、成果の意義も大きい。</p> <p>しかし、今のところ、プロトタイプのコイルを製作し強度や通電特性を評価している段階であり、実際に大型のコイル試作まで行わないと、磁場中での繰り返し通電の課題や接続部の構成の最適方法などはっきりできない。さらに、ジョイント部の問題、線材の剥離、線材を分割した際の特性評価が必要であり、線材で長物ができずに継ぎ接ぎになる場合に関して、早急に見直しを含めた機器設計を行う必要がある。</p> <p>また、系統安定化のための機器として、電池など他選択肢とのコスト競争力が強調されている</p>	<p>SMES に対する市場ニーズは種々存在すると考えられることから、十分な低コスト化が図られれば実用化可能であり、一層のコスト低減技術の開発強化が必要である。</p> <p>電池、フライホイールと競合する容量では超電導瞬低対策装置の市場化は無理であり、更なる市場ニーズ調査を進めるべきである。コスト面に優れていても熱維持に必要な NAS や、応答性に優れていても大型化に限度のあるキャパシタに比べると、SMES には規模の経済性が期待され、その点を活かせる大型化 SMES の開発（都心での大規模な電力平準化装置等）も視野に入れるべきである。</p>

	<p>が、応答特性や NAS（ナトリウム・硫黄電池）と比較しての維持エネルギーの小ささや安定性など、SMES のメリットの強調が必要である。</p>	
<p>超電導電力ケーブルの研究開発</p>	<p>大電流ケーブル、高電圧ケーブルともに設定した中間目標を達成しており、成果は世界トップレベルである。大電流ケーブルは RABiTS-PLD（配向金属基板—パルスレーザ蒸着）と高電圧ケーブルは IBAD-MOD（イオンビームアシスト蒸着—有機金属熱分解）の同時開発や検査方法の開発など数値に表しにくい課題についても目標を達成するなど、高く評価できる。</p> <p>先行しているビスマス系線材では数百 m 級のケーブル実証試験が世界各地で行われているのに対し、本事業では短尺の 15 m 級試験にすぎない。しかし、さらなる大容量ケーブル開発に向け、重要な要素技術となる大電流化、高電圧化、コンパクト化、低交流損失などの点で世界最高性能の技術開発を行っており、今後は、温度変動に伴う輸送特性変化など、Tc（転移温度）が運転温度に近いイットリウム系導体特有の課題を調査し、ケーブル運転条件の適正範囲を明らかにするような展開が望まれる。</p>	<p>66kV 大電流ケーブルおよび 275kV 高電圧ケーブルともに既存ケーブルの増強や老朽ケーブルの更改などの需要を明確にするとともに、既存管路設備に設置可能なコンパクト化を十分考慮した開発を行っている。限られた地下スペースで、大容量送電を行うには、超電導ケーブルが有効であり、超電導ケーブルの需要は東京など大都市に経済的に成り立つと考えられるので、実用化が期待される。</p> <p>一方、引っ張り、曲げ以外の強度面で不安があるイットリウム系線材だけに、接合部の耐久性の評価が長尺ケーブル開発には重要である。今後、通電量変動、温度変動に対するケーブルの耐久性、液体窒素中での絶縁物の経年変化など調べるのが望ましい。</p> <p>また、本技術の市場は広く海外に広がるべきものであり、海外市場をにらんだ開発課題を明確にする必要がある。たとえば、直流送電ケーブルは原理的には交流送電ケーブルよりも単純であるが、より高電圧が要求されるので、直ちに対応ができるよう戦略的な体制を作るべきである。</p>

<p>超電導変圧器の研究開発</p>	<p>電流分担を均等化できる巻線技術や限流機能付き変圧器の見通しなど世界初の成果が含まれ、設定した中間目標を達成していると判断できる。コイル素線間の電流分担の均等化の成果は評価できるとともに、特に従来品の単なる置き換えではなく、限流効果等の付加価値・波及効果にまで言及している点は、高性能化という観点からも評価できる。</p> <p>しかし、変圧器の性能は既に十分高く、超電導化によるメリットとして重量 1/2、面積 2/3 というコンパクトネスを前面に押し出すのみではリプレース需要は難しいため、変電所新設の繰延べ効果や限流機能付加に伴う短絡容量対策代替効果等についても、さらに論理的に説明していく必要がある。</p> <p>また、既存変圧器とのコスト比較や特性比較等でのメリットについて、引き続き検討を充実させ、できるだけ早期に条件を整理し、超電導変圧器の優位性を更にアピールする必要がある。</p>	<p>超電導変圧器は、既存の油入変圧器の更改需要があり、不燃化、省エネ、小型軽量化などのニーズに応えられる可能性が大きい。実用化に向けた明確な課題設定とモデル検証を通じた効果的なアプローチがなされ、実用的なスケールの変圧器に対する適切な課題の抽出、検討項目の選定も行われている。</p> <p>一方、限流効果、不燃、下位系統の機器設計が格段に楽になる等の超電導化による付加価値、波及効果にもっと積極的に言及するなど、超電導変圧器の実用化によるユーザーメリットを明確にし、ニーズを掘り起こす必要がある。</p> <p>また、既存技術も極めて高いレベルにあるため、コンパクトネスだけでなく、高信頼性をアピールできるようにすべきと考える。</p>
<p>超電導機器用線材の研究開発</p>	<p>線材開発は各機器の基盤的技術であり、各機器の実用化に重要な位置づけを担っている。必要な線材特性の抽出と検査の実行、また磁場中特性、低交流損失や低コスト化など設定した中間目標</p>	<p>様々な超電導応用機器を実用化する上で、個々機器の要求に応じた具体的かつ明確な線材開発の目標設定がなされ、成果が着実に上がっていると同時に、各線材メーカーにおける戦略と結び付けられており、実用化が大いに</p>



を達成している。特に、磁場中での世界トップレベルの性能、更なる低コスト化の達成、さらにケーブル製作・運転条件における具体的な環境性能課題の抽出を行い、その試験項目を明確化にするとともに劣化が無いことを確認した点は実用化を進める上で高く評価できる。

さらに、線材用途ごとの技術課題の棲み分けは好ましい戦略であり、長さ、量産性を強化し、日本がイットリウム系線材をリードできる素地を作ってほしい。

一方、線材は機器開発と異なり多くのノウハウや科学的技術を押しまめられるもので、一度優位性を確保し発展を続け始めれば他国の技術の追従は容易でないので、本事業では研究予算の配分増によって重点的にこれを推進することが望ましい。

また、線長のチャンピオンデータを追うよりも電流密度や信頼性をあげることで結果的に低コスト化を実現するという方針に誤りはないので、機器開発や送電線への実装という点で、本機器用線材の研究開発は、SMES、変圧器及びケーブル開発と引き続き密接に連携し、これまでややアピール力に欠ける点を解消することが望まれ

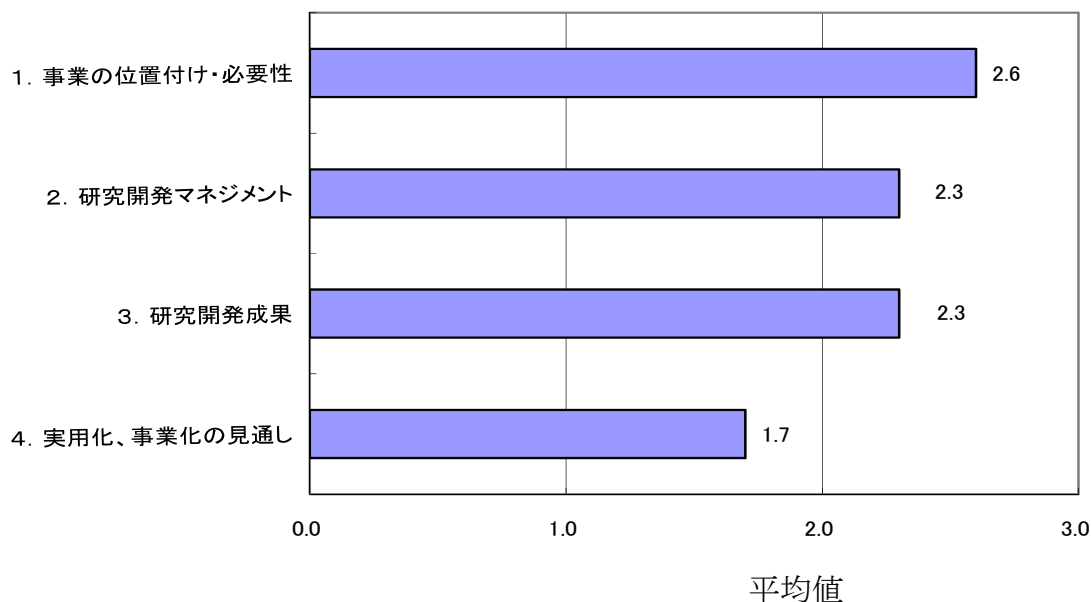
期待できる。イットリウム系線材実用化は、ビスマス系線材が不得意な高温磁場発生応用、低交流損失応用の点で強く期待されている。

一方、線材の低コスト化は機器実用化に対して極めて大きな意味を持つので、プロセスの改善以外にも、引き続き材料工学的な観点から性能向上に取り組むことが重要である。高性能線材の開発とともに、生産速度、高歩留まり化も並行しての開発検討の強化が望まれる。

なお、臨界電流特性の改善による実用可能な条件の拡大とともに、信頼性の獲得、生産性の向上が急務である。特に信頼性に関わる剥離問題の解決はイットリウム系線材普及の命運を握っており、温度や電磁力が変化する運転時においても支障がないことが保証できるデータの提示が望まれる。

	る。また、線材の早期の実用化・事業化を進めることも望まれる。	
超電導電力機器の適用技術標準化	<p>超電導技術は日本が先導的であるため日本発の標準化が強く望まれる中、国際合意形成のための素案作成、意見交換などを着実にを行い、世界主要各国と着実に調整を進め成果を上げている点は評価できる。特に、日本が標準化のイニシアチブを取れる体制作りの経過は評価できる。</p> <p>一方、標準化にあたっては各国・各地域のレベルの違いによって認識が異なり、現時点での集約が困難であることが予想される。完全な標準化に至らなくても、重要な項目を抽出し部分的に標準化手法の確立を図るといった柔軟性も必要である。</p> <p>また、長期にわたって継続しなければならないので、長期間携わって頂けそうな大学の若い先生方をもっと活用すべきである。</p>	<p>超電導技術は日本が世界を先導する開発分野であり、超電導線材、超電導ケーブルについて国際標準化に必要な素案を作成し各国と密接に連携し、交渉は順調に進んでいる。この時期に国際規格化や標準整備に着手することは適切である。</p> <p>国際交渉はタフな仕事であり、簡単に進捗するものではないが、技術的に先行し世界をリードすることは、日本がリーダーシップをとるために重要と考える。今後とも積極的に開発成果をアピールし、標準化へ向けて努力を強化していただきたい。</p>

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	B	C	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	A	A	A	B	C	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	A	A	A	C	B	B	B	
3. 研究開発成果について	2.3	A	B	A	B	C	A	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	A	C	D	A	C	

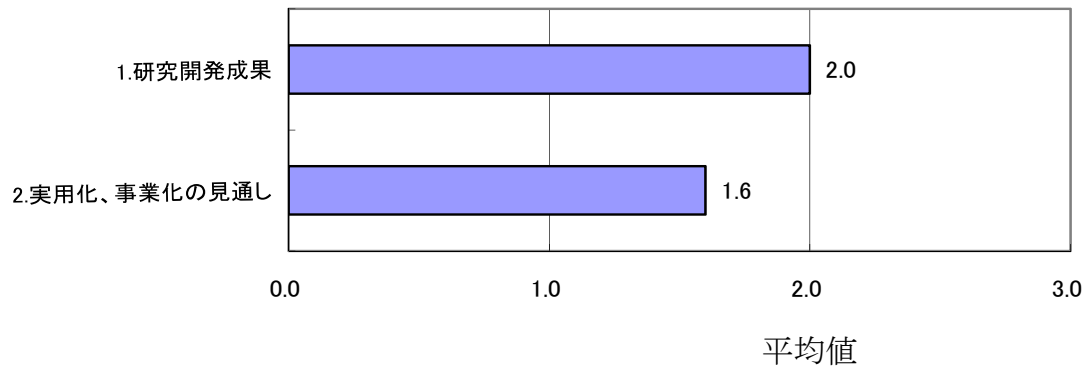
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

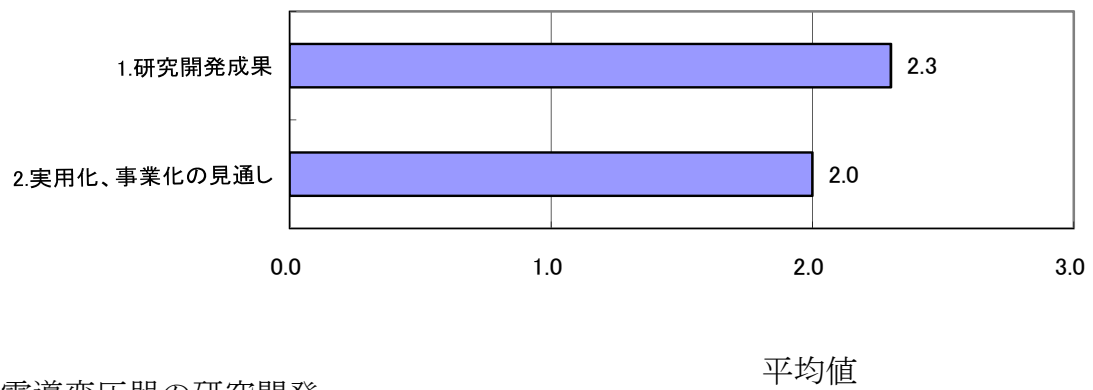
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 評点結果〔個別テーマ〕

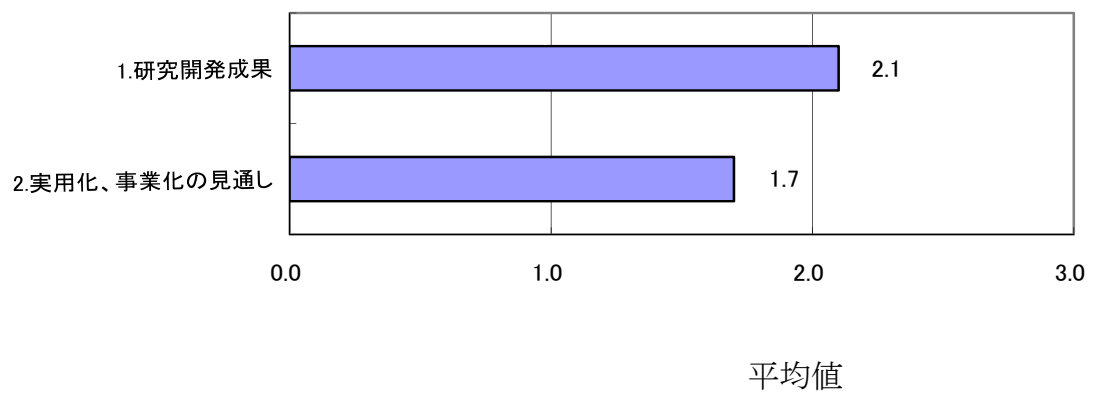
### 超電導電力貯蔵システム（SMES）の研究開発



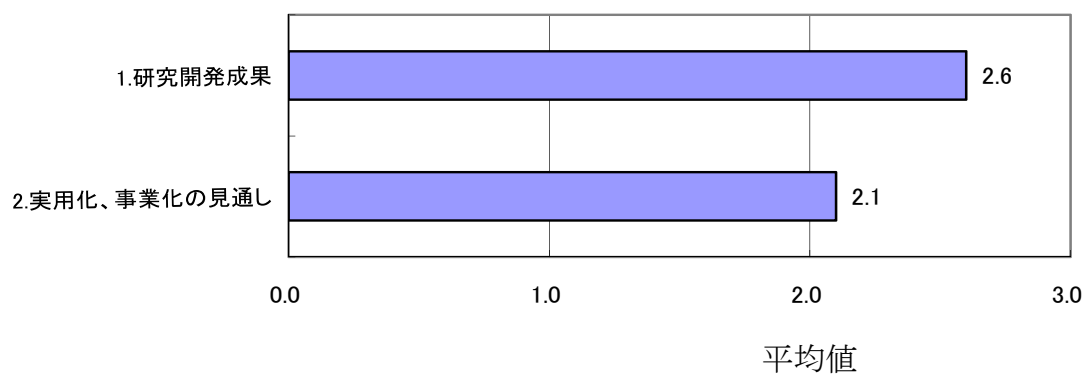
### 超電導電力ケーブルの研究開発



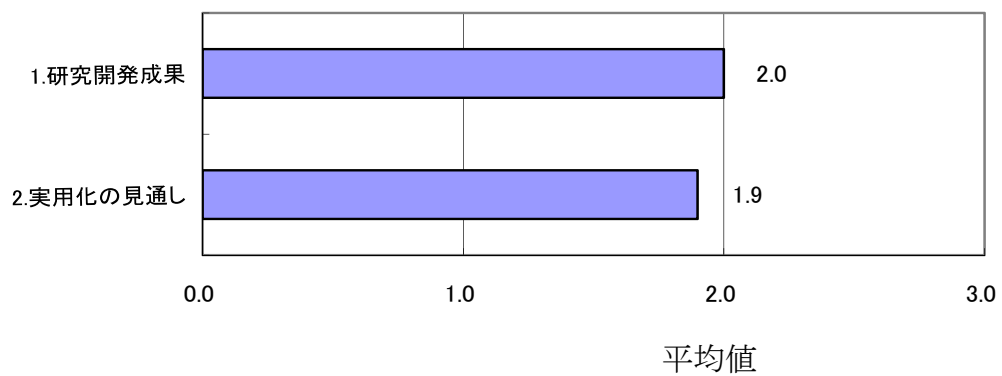
### 超電導変圧器の研究開発



### 超電導機器用線材の研究開発



### 超電導電力機器の適用技術標準化



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
超電導電力貯蔵システム (SME S) の研究開発									
1. 研究開発成果について	2.0	A	B	A	C	C	A	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.6	A	B	B	D	C	B	C	
超電導電力ケーブルの研究開発									
1. 研究開発成果について	2.3	A	A	A	C	C	A	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	B	B	B	C	B	B	
超電導変圧器の研究開発									
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	A	B	C	A	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	C	C	A	C	
超電導機器用線材の研究開発									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	B	B	A	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	B	A	B	C	B	B	
超電導電力機器の適用技術標準化									
1. 研究開発成果について	2.0	A	B	B	B	B	B	C	
2. 実用化の見通しについて	1.9	A	B	B	B	C	B	C	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確 →A
・よい	→B ・妥当 →B
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明 →D