

「超電導技術開発／リットリウム系超電導電力機器研究開発」

事後評価報告書（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）	13
評点結果	20
（参考）評価項目・評価基準	25

はじめに

本書は、第35回研究評価委員会において設置された「超電導技術開発／イットリウム系超電導電力機器技術開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成25年8月9日）、及び現地調査会（平成25年6月28日））において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第37回研究評価委員会（平成25年12月4日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年12月

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「超電導技術開発／イットリウム系超電導電力機器技術開発」分科会
（事後評価）

分科会長 嶋田 隆一

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
「超電導技術開発／リットリウム系超電導電力機器技術開発」

(事後評価)

分科会委員名簿

(平成25年8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 名誉教授
分科会長 代理	くまくら ひろあき 熊倉 浩明	独立行政法人 物質・材料研究機構 超電導線材ユニット 特命研究員
委員	あきの かつひこ 浅野 克彦	株式会社 日立製作所 電力システム社 日立事業所 主管 技師長
	いちかわ みちはる 市川 路晴	一般財団法人 電力中央研究所 電力技術研究所 電力応用領域リーダー 上席研究員
	しもやま じゅんいち 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
	ながしま けん 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
	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 EHS&S 研究センター 上級研究員

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一組織であるが、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・技術評価委員規定（平成25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25年8月1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	省エネルギー部 担当者 楠瀬 暢彦 (平成24年9月～平成25年8月現在) 省エネルギー部 担当者 松林 成彰 (平成23年9月～平成24年8月) エネルギー対策推進部 担当者 松林 成彰 (平成23年7月～平成23年9月) エネルギー対策推進部 担当者 酒井 清 (平成22年7月～平成23年6月) 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(Y)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した。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及び超電導線材の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った。</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、将来に亘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した。</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。そのため、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。さらにCO₂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CO₂削減量] 単位: kt/年</p> <table border="1"> <thead> <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>				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
	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

- ① 超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発
 [中間目標]—2 GJ 級 SMES の開発を見通す高磁界かつコンパクトなコイル設計技術の開発並びにメンテナンスを容易とするコイルの伝導冷却技術開発を行う。
 [最終目標]—2 GJ 級 SMES に必要となる Y 系超電導線材及びコイルの構造を評価し、高磁界コンパクト SMES コイルシステム化技術のための重要な要素技術開発に向けた課題を抽出し、解決策を提案する。
- ② 超電導電力ケーブルの研究開発
 [中間目標]—電力ケーブルの大電流・低交流損失ケーブル化技術、高電圧絶縁・低誘電体損失ケーブル化技術に関する要素技術の開発を完了する。
 [最終目標]—ケーブル対応線材の安定作製技術開発及び 66 kV 大電流ケーブルシステム、275 kV 高電圧ケーブルシステムの課通電特性や送電損失等の実用性を検証し、各々のケーブルシステムの実用可能性を証明する。
- ③ 超電導変圧器の研究開発
 [中間目標]—超電導変圧器用の低損失化技術、限流機能付加技術及び冷却システム技術の開発を行うとともに、66 kV/6.9 kV-2 MVA 級変圧器の設計を完了する。
 [最終目標]— 2 MVA 級超電導変圧器モデルを試作・試験・評価し、低損失（細線化しない線材に比べ交流損失 1/3 以下）、大電流（2 kA 級）、耐短絡強度等の特性を有する 66/6 kV 20 MVA 級超電導変圧器システムの成立性を検証する。
- ④ 超電導電力機器用線材の技術開発
 [中間目標]—電力機器応用の長期信頼性試験等を実施する実用化技術開発の際に必要な性能及び製造速度等を満足させる Y 系超電導線材作製技術の開発を実施する。
 [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同線材の線材長及び臨界電流等の再現性確認による安定製造技術開発を行う。さらに、2020 年頃を想定した超電導電力機器の導入・普及の際のコストを含めた必要条件に耐え得る線材の作製技術を開発する。
- ⑤ 超電導電力機器の適用技術標準化
 [中間目標]—超電導電力機器の早期市場導入や実用化を円滑に進めるために共通基盤となる標準化を進める。
 [最終目標]—超電導線材及びその試験方法並びに超電導電力ケーブル及びその試験方法について、国際標準化に資する規格素案を作成する。また、Y 系超電導線材等を適用した変圧器等の機器及びこれらの試験方法の規格素案を作成する。

事業の計画内容
 (単位：百万円)

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	484	502	506	75	79	1,646
超電導電力ケーブルの研究開発	542	693	585	938	1,154	3,912
超電導変圧器の研究開発	584	598	657	778	773	3,389
超電導機器用線材の技術開発	1,147	1,137	1,214	622	899	5,019
超電導電力機器の適用技術標準化	18	15	20	19	25	96

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)

会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
一般会計						
特別会計 (電源・需給の別) (電多・高度化・石油の別)	2,760	2,775	2,772	2,375	2,414	13,095
加速予算 (成果費及費を含む)	15	169	210	56	517	967
総予算額	2,775	2,944	2,982	2,431	2,931	14,062

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 (公財) 国際超電導産業技術研究センター 理事 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) 技術本部 総合研究所 電力貯蔵技術グループ長 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 (公財) 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 22 年 7 月～) 和泉 輝郎 (公財) 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	(公財) 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、(一財) ファインセラミックスセンター(JFCC)、富士電機(株) (平成 23 年 4 月～)
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、実系統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 イノベーションプロジェクト、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「新超電導及び関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」等が実施され、情報交換等を実施し効果的に開発を進めた。</p> <p>海外における研究開発動向に関しては、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、2012 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 3.4 MJ@4.2 K & 30 T の SMES の開発が 3 年計画で開始した。さらに限流機能を持つ超電導変圧器開発プログラムも推進されている。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とともに、Y 系超電導限流器プロジェクトも行われている。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なされており、さらに近年では韓国の伸長が著しく、日米欧韓で熾烈な開発競争が行なわれていた。</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>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>2010 年 9 月 1 日に開催された中間評価分科会において、評価委員の「問題点・改善すべき指摘点」につき反映すべき点は基本計画および実施計画書、PJ 推進に反映した。</p> <p>2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により、設備の故障等や夏季節電対策に伴う業務の停止等、本プロジェクトにおける工程遅れに対する対策を実施し、計画どおり最終目標を達成できた。</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た。具体的な対応は、以下のとおりである。</p>	

<p>情勢変化への 対応</p>	<p>(1) 低交流損失化に資する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た。</p> <p>(2) ケーブル開発用 Y 系超電導線材の製造能力のさらなる向上のため、超電導薄膜を形成する高品質・高出力エキシマレーザ発振装置を導入し、さらなる特性向上、歩留り向上、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 級変圧器モデル開発を効率的に進めた。</p> <p>(5) SMES 用コイルの開発を進める中、コイル通電特性が変化する現象が見いだされた。SMES の実用化のためには、この現象が発生する原因究明が必須であるため、当初計画の 2 MJ 級評価用試験コイルモデルを用いた 2 万回以上の繰返し充放電による特性検証を取り止め、コイル構造の再検討・評価を最優先に行うこととした。</p> <p>(6) 超電導ケーブルの交流損失の低減方策の一つとして、線材の臨界電流を高めて負荷率を低減することの有効性が知られている。平成 20~23 年度までの超電導機器用線材の技術開発における成果により、高臨界電流を有する線材が開発されてきたことから、高 I_c IBAD-PLD 線材を超電導ケーブルに適用した際の交流損失特性を評価することで、交流損失の目標値となっている 2 W/m 相を下回る低交流損失ケーブルの交流損失到達度を検証した。</p> <p>(7) 震災等に伴う結晶粒配向金属基板調達遅延の影響抑制のため、投入量を当初予定より増やすとともに、線材製造工程を検討して良品の選別を実施し効率化を図った。その結果、J_c 15~20 kA/cm² 以上の線材の製造量は、1 cm 幅換算で平成 23 年度が 1.8 km、平成 24 年度が 1.6 km であり、平成 24 年 7 月末までに 66 kV 大電流ケーブルシステム検証のために必要な線材の作製と提供を完了した。</p> <p>(8) ケーブル冷却システムの適用法規変更に伴い、冷却システム室内に設置されている既存設備の配管交換に加え端末容器への冷却配管を新規に製作する必要が生じ、これに対応した。</p> <p>(9) 震災等の影響に伴うケーブル用線材提供遅延抑制のため、線材開発研究を一時中断し、節電等の制約のなか、処理能力が不足していた基板・中間層・MOD 超電導層の成膜工程及び線材評価について一部バックアップして対応した。さらに下工程を加速するために線材細線化加工を一部フォローすることで、当初想定していた遅延を最小限に抑制し、震災前に計画したケーブルに関する実施内容を達成した。</p> <p>(10) 中間評価を踏まえた超電導ケーブルの研究開発の対応として、高電圧ケーブルのみに計画されていた中間接続部技術の開発を大電流ケーブルにおいても実施し、劣化が無いことを確認した。また、長期課通電試験にて約 30 年相当の加速劣化を模擬した電圧を課電することで絶縁設計の健全性を評価した。さらに海外電力貿易を視野に入れ 275 kV 高電圧ケーブルの検証試験は、中国にて実施し、高電圧ケーブル試験を海外に向けて広く発信した。</p> <p>(11) 中間評価を踏まえた超電導変圧器の研究開発の対応として、超電導変圧器のメリットをさらに詳しく説明するとともに、高信頼性確保に向けた今後の課題を再度整理した。</p> <p>(12) 震災の影響により、超電導電力機器用線材の技術開発を一部先送りし、機器開発への線材提供を実施した。これに伴い、線材開発実施内容の一部を次年度に先送りした。</p> <p>(13) 震災に伴う線材提供の遅延発生の可能性のため、「希少金属代替材料開発プロジェクト」で導入した線材作製装置及び評価設備の一部を本プロジェクトへ供用換えし設備増強することで、開発の遅延回復に努めた。</p> <p>(14) 中間評価を踏まえた超電導電力機器用線材の技術開発の対応として、低コスト化の目標値を超電導機器の実用化促進が見込める値として、「3 円/Am 未満の実証」から「2 円/Am の実証」と変更した。また、機器開発との連携を強化した。さらに、剥離の原因究明と解決方法の開発を行った。量産化・歩留り改善の観点から、H24 年度の追加予算で、供試する線材数 (N 数) を増大させ、量産化・歩留り改善研究開発の精度を上げるとともに促進を図った。</p> <p>(15) 中間評価における「国際的な情勢や技術動向の変化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」との指摘への対応として、H24 年度調査事業「高温超電導電力機器の適用拡大と標準化に資するケーススタディ」を実施し、海外情勢も含めた調査により、高温超電導電力機器の実用化に向けた課題と目標を明確にした。</p>		
	<p>評価に関する事</p>	<p>事前評価</p>	<p>H20年度実施 担当部 新エネルギー技術開発部</p>
	<p>項</p>	<p>中間評価</p>	<p>H22年度実施 担当部 エネルギー対策推進部</p>
		<p>事後評価</p>	<p>H25年度実施 担当部 省エネルギー部</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) 2 GJ 級高磁界・大電流コンパクトコイル構成技術開発では、φ650 mm 級の 4 束導体コイルを作製し、3.5 T 級大口径マグネット中で繰り返しフープ応力試験を実施することで、目標を達成した。</p> <p>(2) 高効率コイル伝導冷却技術開発では、模擬発熱体を用いてコイル発熱量 (3 W/m²) の 7 倍 (21 W/m²) の発熱量に対し冷却システムが成立することを実証した。絶縁性能においては 2 kV の 3 倍 (6 kV) の電圧に対し設計は完了しており、性能を確認した。φ650 mm 級コイルにおいて伝導冷却と電気絶縁性能を検証し、目標を達成した。</p> <p>(3) SMES 対応線材安定製造技術開発では、中間層の欠陥抑制、基板平滑化および原料供給系の温度適正化によって、線材の歩留りが向上し、線材作製技術の安定化を達成した。モデルコイル用の線材作製を行い供給目標・安定製造を達成した。</p> <p>(3) 高磁界コンパクト SMES システムモデル検証では、具体的支持構造検討により 2 GJ 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・製作を実施した。クエンチ検出・コイル保護方法の検証等の試験計画立案に必要なコイル特性を取得した。</p> <p>(3) 高信頼性・高耐久性 SMES コイル要素技術開発では、高強度で電磁応力や熱応力に優れた耐性を有するコイル構造 (Yoroi-coil) を開発し、剥離やフープ応力耐性に対する課題解決が図られた。さらに伝導冷却適用性の検証やクエンチ検出技術評価によって、実使用に必要な要素技術を開発した。</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、導体最外層のみに 2 mm 幅線材を、その他の層には 4 mm 幅線材を用いた Hybrid 構造のケーブルコアにより ケーブル損失を 1.5 W/m 相 (@71 K, 5 kA) まで低減した。また、機器用線材の技術開発成果で得られた高 J_c の IBAD-PLD 線材を用いて 10 m 級ケーブル検証システムを作製し、高 J_c 線材の使用により負荷率を低減させることで 0.95 W/m 相 (@67 K, 5 kA) を達成した。さらにモデルケーブルにより短絡試験、機械的特性試験で性能低下や異常無きことを確認した。</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、3mm 幅線材を用いた導体により損失を 0.124 W/m 相 (@73.7 K, 3 kA) を達成し、シールド層の損失および誘電体損失とあわせて目標の 0.8 W/m 相以下を達成した。超電導 超電導接続部は数 nΩ の低抵抗を実現し、中間接続部モデルの課電試験において導体、接続部で異常無きことを確認した。</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、スラッシュ窒素の生成・搬送試験装置を作製し、冷却特性の評価・検討を行い、スラッシュ窒素冷却の有用性を検証した。</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 $J_c = 17 \text{ kA/cm}^2$ の特性を有する線材を作製・実証した。</p> <p>(5) 66 kV 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、これまでの要素技術開発の成果を適用して 15 m 長ケーブルシステムを製造し、課通電試験等を実施することによって試験計画書の性能を満足することを検証した。</p> <p>(6) 275 kV 高電圧ケーブルシステム検証では、275 kV-3 kA の試験条件の選定、長期課通電試験の計画書を作成し、これまでの要素技術開発成果を適用して中間接続部を有する 30 m 長ケーブルシステムを製造し、課通電試験等を実施することによって試験計画書の性能を満足することを検証した。</p>
---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

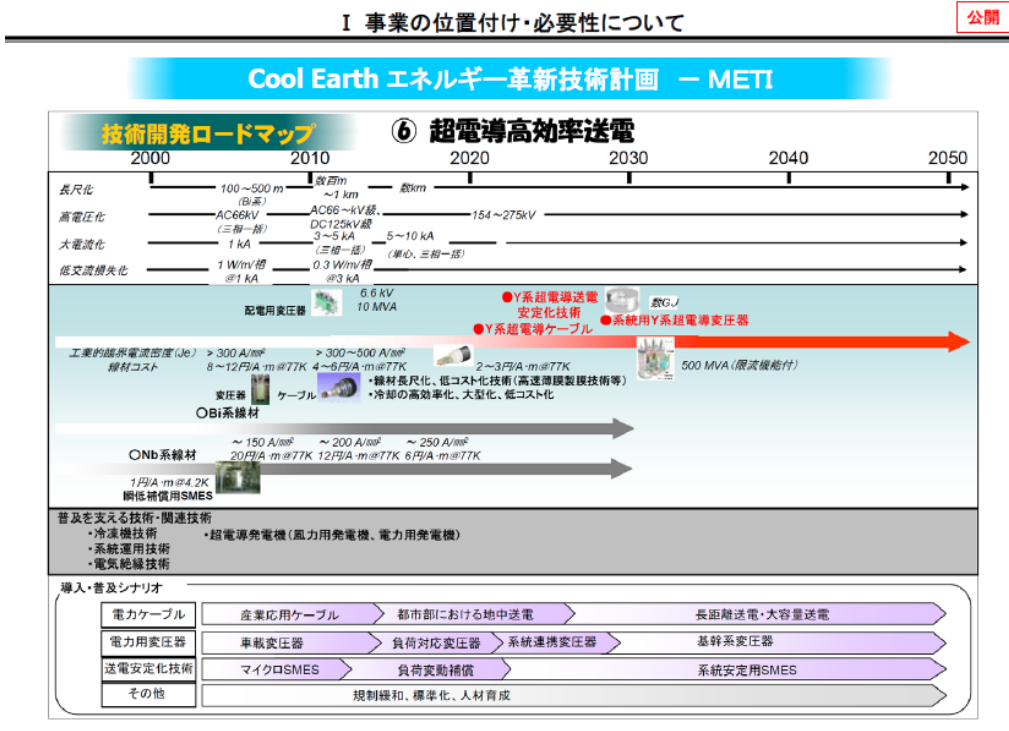
<p>Ⅲ. 研究開発成果 について</p>	<p>③ 超電導変圧器の研究開発</p> <p>(1)超電導変圧器巻線技術開発では、最適転位長、保護銅層付加多層巻線の過電流特性を確認し、12層2並列導体の転位均流巻線モデルにより転位法の最適化等を確認した。400kVA短絡変圧器モデルを試作し短絡試験を実施した。2kA級の通電特性と巻線劣化や異常が無いことを検証し、中間目標を達成した。2kA級大電流巻線モデルを設計、製作し、電流分流率が±10%以内で2kA通電を確認した。また、100m級3分割線材を用いた低損失巻線モデルにて、交流損失が1/3(対細線化しない線材)となることを確認し、最終目標を達成した。</p> <p>(2)冷却システム技術開発では、小型膨張タービンで72%の断熱効率を達成した。小型ターボ式圧縮機でも断熱効率70%を達成し、中間目標を達成した。膨張タービンとターボ圧縮機を組み合わせたネオン冷凍機を試作し、冷凍能力2.17kW@65K、COP0.06@80Kを確認し、最終目標を達成した。</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した。さらに400kVA級限流機能付加単相変圧器モデル設計、試作を行い、中間目標を達成した。400kVA級限流機能付加単相変圧器モデルの限流特性試験を実施し、0.25sec後に短絡電流を定格電流の3倍以下に抑制できることを確認し、最終目標を達成した。</p> <p>(4)超電導変圧器対応線材開発では、5mm幅3分割のレーザスクライピング細線溝加工技術を開発し、$I_c=50\text{ A}@65\text{ K}$、0.01T、100m以上の線材安定製造技術を確立し、中間目標を達成した。切断及びスクライピング細線溝加工前後の線材の超電導特性評価及び安定製造技術開発へのフィードバックにより線材特性の均一性を向上させ、2MVA級超電導変圧器モデルや大電流巻線モデル等に線材を供し、最終目標を達成した。</p> <p>(5)2MVA級超電導変圧器モデル検証では、66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルの設計及び冷却システムの開発を実施した。66kV/6.9kV-20MVA級配電用変圧器実機の設計を実施し、中間目標を達成した。66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルを試作し、冷却システムと組み合わせて課通電試験を行い、試験計画書の性能を満足することを確認した。これらの成果を踏まえ66kV/6.9kV-20MVA級配電用変圧器の設計を行い、最終目標を達成した。</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評価し、電力ケーブル耐久試験適正条件を決定し、変圧器対応として分割加工線材の耐久性を評価するとともに剥離現象の機構解明及び強化手法を確立し最終目標を達成した。</p> <p>(2)磁場中高I_c線材作製技術では、(a)50A/cm-w@77K、3T-200mの最終目標はPLD線材で達成(54A/cm-w@77K、3T-200m)し、(b)400A/cm-w@65K、0.1T-100mの最終目標は、PLD(770A/cm-w@77K、0.1T-158m)、MOD(524A/cm-w@65K、0.1T-100m)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)2~4mm幅-500A/cm-w-200mの最終目標に対し、PLD線材で達成(2mm-w $I_c \geq 540\text{ A/cm-w}$-200m)し、(b)5mm幅-10分割-100m-無分割に対し損失1/10の最終目標では、PLD、MOD線材ともに達成した。</p> <p>(4)高強度・高J_e線材作製技術では、(a)500A/cm-w-1GPa-200m及び(b)$J_e=50\text{ kA/cm}^2$-200mの最終目標に対し、PLD線材で達成(500A/cm-w-1GPa-250m及び$J_e=52\text{ kA/cm}^2$-200m)した。</p> <p>(5)低コスト・歩留向上技術では、2円/Amの最終目標は、PLD、MOD両線材ともに達成した。また、(b)中間目標の安定製造技術開発における最終目標は、全線材メーカーで達成した。</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、超電導線材の通則に関する規格素案の作成、Y系超電導線材の臨界電流測定に関する規格素案を作成、線材の短尺臨界電流測定方法に関する国内ラウンドロビンテストを行い、さらに国際標準化合意の醸成に努めることで、目標を達成した。</p> <p>(2)超電導電力ケーブル関連技術標準化では、超電導線材を適用した超電導電力ケーブル並びにその試験方法に関する規格素案を作成し、国際標準化合意の醸成に努めることで、目標を達成した。</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、Y系を含む超電導線材等を適用した超電導変圧器、SMESの機器仕様並びにこれらの試験方法の標準化素案を作成し、国際合意醸成活動を行った。さらに、規制緩和に向けた提案資料を作成することで、目標を達成した。</p>
	<p>投稿論文 [査読付き] 165件、[その他] 30件、[プレス等] 57件</p>

	特許（国内/海外）	[出願済] 101/19 件、[登録済] 5/0 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>CO₂削減対策のひとつとして、送電ロスが殆どない超電導高効率送電が挙げられる。電力の送電ロス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2~3 m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150 mm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、電力流通設備の増設や超高压送電線の冷却設備の建設等の電力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>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、都心部を主とした変電所やビル等での増設に有利であり、特に、地下式変電所では、火災予防、コンパクト、環境性等のニーズが高く早期実用化が期待されている。さらには、限流機能を付加することにより、電力系統のループ運用や再生可能エネルギー等の分散電源の大量導入に伴う限流器運用に加え、超電導ケーブル適用時の送電容量と短絡容量対策に貢献でき高効率な電力供給システムとなり、米国ではスマートグリッド等への適用も考えられている。</p> <p>電力用超電導変圧器の国内市場に関する見通しは、東日本大震災の発生により本プロジェクト開始時点に比べ不透明な状況ではあるが、産業用を加えた変圧器全体でみると、今回の開発対象である20 MVA級相当で年間約500台、300億円程度の生産実績があり、油入変圧器から超電導変圧器へと移行すれば相当の市場規模が見込まれる。</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系超電導線材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材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>	

V. 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	<p>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。</p> <p>平成 21 年 3 月 PL、サブPLの氏名を追記して改訂。</p> <p>平成 22 年 3 月 2事業（高温超電導ケーブル実証プロジェクト、イットリウム系超電導電力機器技術開発）を統合して「超電導技術研究開発」として新たに制定。</p> <p>平成 23 年 1 月 平成 23 年度より、研究開発項目①「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」の共同研究事業（NEDO 負担率 2/3）への変更及び加速による研究内容を追加する変更。また、研究開発項目②「イットリウム系超電導電力機器技術開発」について、中間評価を踏まえ開発項目（イ）の内容縮小並びに開発項目（ロ）の実施内容追加、開発項目（二）の追加による改訂。</p> <p>平成 23 年 7 月 根拠法を変更。</p> <p>平成 24 年 3 月 研究開発項目①「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」の実施期間を延長。</p>

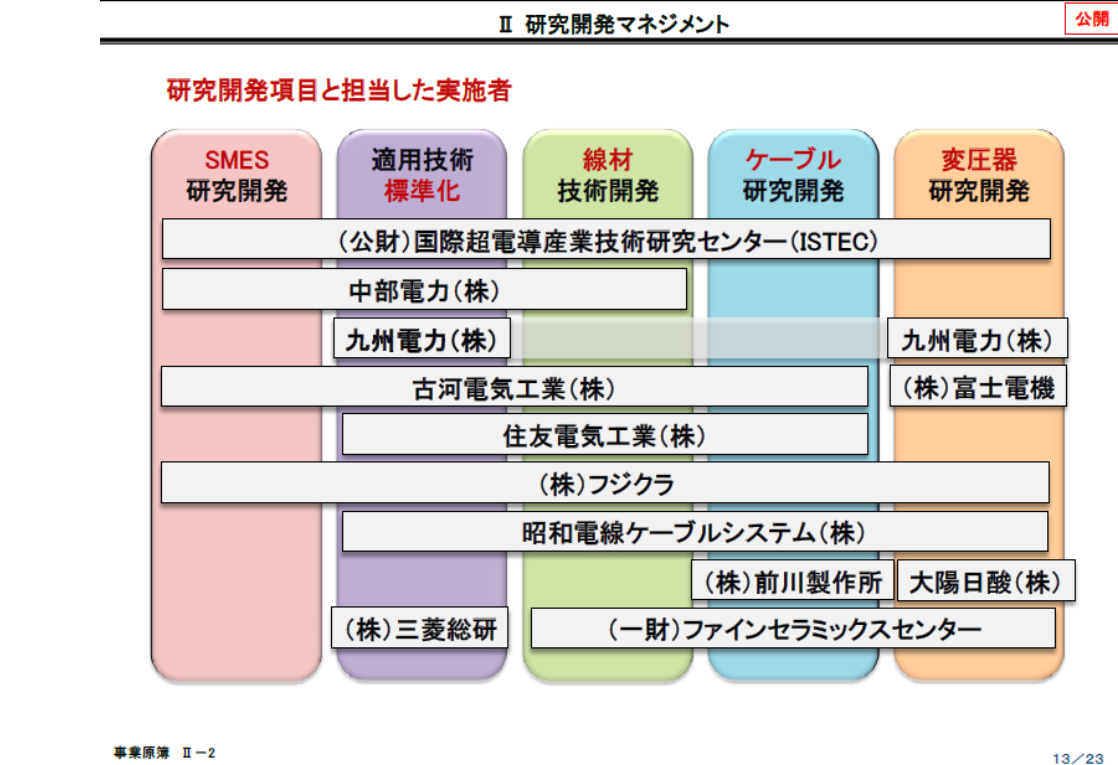
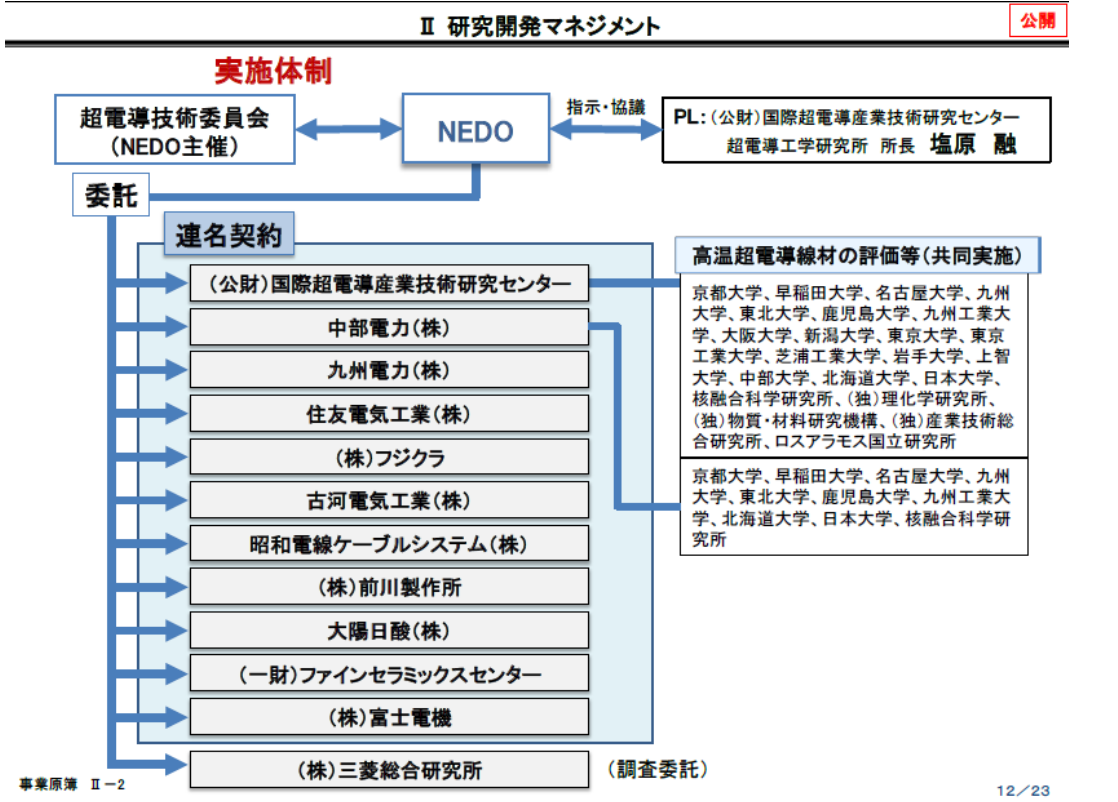
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6-1より抜粋)



「超電導技術開発／リ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



「超電導技術開発／イットリウム系超電導電力機器技術開発」

(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総論

1) 総合評価

本事業は、電力の安定供給の実現という国家的課題に取り組んでおり、同時に省エネルギー、CO₂削減などの地球的環境負荷低減を伴う社会的効果が期待できることから、我が国の社会的背景・要請において、その意義は大きい。適切な研究開発マネジメントのもと、精力的に研究開発を実施し、線材、ケーブル、SMES、変圧器の各課題において最終目標を達成したのは高く評価できる。本プロジェクトによってイットリウム(Y)系線材ならびにこれを用いた超電導機器の実用化研究が大きく前進したと評価される。また、国際標準化についても着実なステップにより、主導的役割を果たしていると言える。

一方、今回の目標達成にも関わらず、さらに実用化・事業化のために残された技術課題とともに次の推進策が弱いことが懸念された。今後どのようなプロジェクトや研究開発体制で、それらの技術課題を解決していくべきなのかについての議論が希薄であり、今回開発した超電導機器のプロトタイプから、市場への導入・普及までのシナリオが必ずしも明確とは言えない。また、超電導機器にとって超電導線材の性能向上と冷却システムの性能向上の両方が不可欠である。今後、実用化を考える場合、これらをバランスよく進める必要がある。

国際標準化は最も多くのデータを持っている国が主導することになるので、この超電導応用の分野で、日本の主導的立場を確保していくためにも今回の開発成果がデファクト・スタンダードとなる継続的努力を期待する。

2) 今後に対する提言

応用分野を広く探る、今回の成果について宣伝、波及するような広い分野の技術専門家を集めた会議を継続するべきである。その中から新たな応用分野を見つける必要がある。また、線材の実用化(市場投入、販売)を積極的に進め、ユーザーを増やすことが超電導機器開発を効果的に進める上で重要である。そのためには線材の量産化を促すようなニーズを作る必要があり、超電導磁石応用や電力機器応用において多くのプロジェクトが成立した状態が続くことが望ましい。今回の開発で超電導技術、線材技術が世界トップになったことから、海外と結んだ国際プロジェクトを企画するな

どが期待される。また、今回の成果を真に活かすには、「実用化技術（高信頼性、低コスト、安全性など）」が重要である。低コスト化など実際に本研究開発の中で検討し、成果を出した内容もある。実現した所と今後必要な所を整理し、今回の経験・知見に基づく今後への指針を出すことに意義がある。

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観点からもタイムリーなテーマであり、また国際競争の中で日本の超電導技術の優位性を維持する点でも有効な事業である。また、電力の安定供給とともに、省エネルギー、CO₂削減などの地球的環境負荷低減を伴う社会的効果が期待でき、事業目的として妥当である。実用化には長期間の研究開発を要し、リスクも高い。このような観点から、民間のみで研究開発を推進するのは困難であることと、エネルギーおよび環境問題に密接に関係することからも、長期的観点をもって NEDO が事業を推進することが望ましい。

2) 研究開発マネジメントについて

研究開発の目標は、超電導線材や超電導ケーブルなどで、海外の動向も踏まえた世界トップレベルとして設定しており妥当である。イットリウム系線材や超電導機器について多くの実績を有する国内有力企業が参加しており、実施体制に問題は無い。中間評価結果による最終目標見直しや変圧器メーカーの追加、線材の実績を出すための集中投資、さらにはその後に発生した東日本大震災の影響を最小限に抑制するための優先テーマの判断など、適切なマネジメントが行われていたと評価できる。

一方、本プロジェクトで得られた成果を、実用化・事業化につなげる次のステップとしての戦略が明確に示されていない。特に「プロジェクト終了後の実用化の見通し」において H25 年度以降は「自主研究継続」となっているが、現在の日本の企業の現状を考えると自主研究では十分な開発は難しいのではないかと。これまでに得られた技術・知識を枯れさせること無く日本の売れる技術のひとつになるために、今後どのように発展させるかを検討して欲しい。

3) 研究開発成果について

設定した目標内容と目標値は成果として確実に達成されており、一部目標を大きく超えた成果を得た項目もある。また、成果の確認・検証手段も明確である。開発した成果は世界最高水準であり、市場の拡大に繋がる可能性もありその意義は大きい。汎用性・拡張性については今後の課題もあるが、発展的可能性を有している。特許出願は中間評価以降、外国出願を含め積極的に行われた。国際標準化についても国際規格素案を作成し、国際合意に向け、イニシアティブをもって活動している。

なお、信頼性、低コスト化への結びつき等、成果を担保する前提や条件をさらに明確にしておくことと実用化戦略への繋がりがより明確になる。また、成果を踏まえて次に向けた課題と対応策を提言されると、今後に向けて意義が更に高まる。さらに、技術開発に対する周囲の注目度も事業規模の割に小さく、広報活動の努力にもかかわらず、成果が広く一般に認知されているとは言いがたく、成果の発信力が弱い。

4) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

産業技術としての超電導技術の見極めは、本プロジェクトでかなり進んだ。実用化に向けたシナリオを、市場動向を踏まえて検討しており、SMES、ケーブル、変圧器では導入戦略・構想を、ケーブル、線材では実用化・事業化の主体である実施者を明確にしている。いくつかの仮定・前提を織り込んでいるが、適用可能性の見極めは示されている。また、線材低価格化の見通しが立ったことは重要である。

一方、実用化につながる成果が数多く出ていると思われるが、予算措置も含めて実用化・商用化に至るまでの課題の抽出やそれらの解決に向けた取り組みなど、今後の開発の道筋が必ずしも明確になっていない。将来のコスト低減などの仮定のもとでの導入戦略・経済効果算定は、やむを得ないが、競合技術や代替技術との評価が明確でない。安価で高性能な線材を多くのユーザーに提供すること、それに見合う信頼性が高く安価な冷凍機の開発等の周辺技術の確立を進め、それらを車の両輪のようにバランスよく進めることで多くのユーザーが超電導機器開発に取り組む素地を作ることも実用化を進める上で必要である。

個別テーマに関する評価

	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、 今後に対する提言について
超電導電力貯蔵システム（SMES） の研究開発	<p>高強度で電磁応力や熱応力に優れた耐性を有する Yoroi-coil を開発したことは高く評価できる。また、高熱伝導性コーティング絶縁手法と併せてこの技術は他の超電導磁石の設計製作にも展開可能である。基礎特性・技術（剥離強度、新絶縁）、検出法のみならず、補修接続技術など、周辺技術も確立しており、実用化に向け大きな開発成果が得られたと考えられる。</p> <p>一方、SMES は電池やフライホイールなど競合技術が多く、性能、規模だけでなくコスト、維持などを含めて総合的に超電導方式の優位性が明確にする必要がある。また、今後の技術開発について、どのような体制を考えているのか明確でない。</p> <p>昨今、再生可能エネルギーの大量導入が求められており、系統安定化が急務の課題となっていることから、長寿命のエネルギー貯蔵装置としてシステムが完成すれば実用化は可能と考えられる。</p> <p>コストの低減について、技術開発のロードマップは示されているが、具体的に今後の技術開発のどの部分をどのようにしてコスト低減を図るのか、そのシナリオが具体的に見えてこない。線材の低コスト化は示されているが、これだけでは実用レベルのコストは不可能なのではないか。</p> <p>また、長期冷凍・冷却技術の確立が SMES の実用化と普及には重要な課題である。</p>
超電導電力ケーブルの研究開発	<p>交流用ケーブルは超電導応用では最も規模が大きく困難な応用の一つであるが、最重要課題である交流損失の大幅低下に成功したのは高く評価できる。大電流ケーブル、高電圧ケーブルともに世界をリードする成果が得られている。ケーブルの安</p>

定化製造技術、事故時伝熱特性、スラッシュ窒素など冷却特性や中間接続技術など、実用化に向けた幅広い検討を実施している。また、多くの特許出願が国内外でなされ、また広報活動などの成果の普及も評価できる。

超電導自身については実用化を見通せる高いレベルに到達したことが確認できたが、冷却、断熱等の周辺技術については一部スラッシュ窒素の有用性等が確認されたものの、今回の成果からは見通すことができない。

また、超電導送電においては今後直流の送電が重要になると思われる。ここで、今回得られた技術により、大容量直流送電へ対応できる可能性が高いと考えられるので、直流送電についての検討を期待する。

本プロジェクトで基本技術の確立が達成され、既存ケーブルのリプレイス・増強や超高压架空線の代替、ならびに発電所の引き出し線など、今後の具体的な実用化までのシナリオ、展開も明確にされている。

一方、コスト面から見た超電導送電ケーブルの優位性の検討が十分ではない。どの程度まで製造コストや運転コストを下げることで超電導ケーブルの優位性が得られるのか、そのためには何が必要なのかを明らかにする必要がある。また、今回、プロジェクトの中で安全性評価として、短絡試験（耐電流試験）を実施しているが、実用化へ向けて最終的には、地絡試験等の最過酷試験による安全性評価が不可欠である。Y系線材の特性の均質性や経時変化などの評価を実施しているが、長尺線材量産時における均質性改善及び線材接続部の特性の均質性や経時変化などの評価も必要と考える。

世界市場に関する言及はあるものの実用化は「国内」をベースにしているが、世界的レベルの技術であり世界市場での検討が有効と思われる。海外出願特許もあり、これとの関係も含めた戦略が重要と考える。

超電導変圧器の研究開発	<p>巻線、冷却、線材技術からモデル検証まで、連携的に一貫した開発を遂行し高い目標を達成したことにより、20MVA 級変圧器の成立性を見通しを得たことは評価できる。特に限流機能を付加したことは、コスト低減の位置付けにおいても大いに意義があり、かつそれを1年前倒しで実現したことは高く評価できる。</p> <p>一方、従来変圧器に対する超電導変圧器単体の利点は示されているが、電力システムとしての優位性は必ずしも明確でない。優位性を得るために示された段階的かつ優先順位を考慮した開発ステップの具体化は今後必要と考える。</p> <p>また、冷却技術の改善や熱侵入量の評価も順調に進められたが、長期にわたる冷却状態の維持・管理の実績獲得が求められる。</p> <p>実用化の見通しやシナリオを、前提・条件付きではあるが、かなり具体的に示している。実用レベルの20MVA 級変圧器が成立する見通しが得られたことや、Ne ターボブレイトン冷凍機の事業化に成功したことは高く評価できる。従来変圧器を置き換える上で、限流機能という付加機能はバンクの並列接続を可能にすることや、系統安定度を高める等、大きなアドバンテージを持つ。</p> <p>実施者は実用化に向けた課題を明確にしているが、「高性能化」「長期信頼性」「低コスト化」が必要と結論している。長期信頼性、低コスト化は今回のプロジェクトスコープ外として、「高性能化」については、その技術難度、障壁の度合いをより明確に示すことが必要である。</p>
超電導機器用線材の研究開発	<p>Ic (臨界電流 : Critical Current)、損失、強度といった基本特性を、世界トップレベルの性能を目標として設定し達成したことは大いに評価できる。環境条件依存、基本特性評価など、実効的な特性把握もなされている。低コスト・歩留り向上技術を、PLD (パルスレーザー堆積 : Pulsed Laser Deposition) 法、MOD (有機金属堆</p>

積：Metal Organic Deposition) 法ともに「実用化技術開発」「導入・普及」時に求められる技術コストと位置付けされている 3 円/Am 以下の 1.6 円/Am で実現する可能性を示したことは実用化に向けて大いに評価できる。

改善はあったもののさらなる量産性、歩留りの向上が本格的な機器応用に向けては不可欠である。特に MOD 法線材については長尺化、量産化の実績に乏しく、製造価格低下の期待はあるものの、その実現には未だ課題が残されている。

線材性能は、ほぼ実用レベルに達しており、販売開始イメージも具体化されている。実用化の見通し、シナリオ、波及効果など、広範囲に検討されている。

一方、IBAD 法線材の製造速度が改善したものの、現有設備では本格的な機器開発に向けての量産化に対応できない。MOD 法線材については積極的な試作段階からの脱却の姿勢が見えない。特にポイントとなる量産化技術に関して、具体的な障壁レベルをさらに明確にすると実用化イメージが明確になる。また、海外競合メーカーとのベンチマーキングが、実用化という観点でさらに必要である。

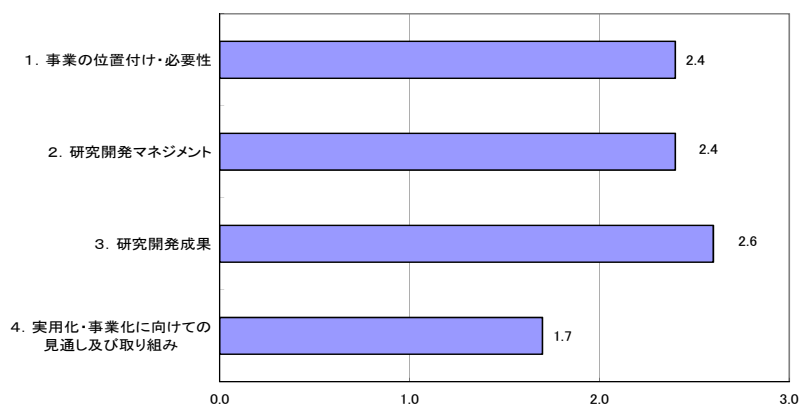
超電導電力機器の適用技術標準化

研究開発と並行して標準化に取り組んでいることは高く評価でき、特に Y 系線材の臨界電流測定法に関するラウンドロビンテストを国内で実施し、IEC/TC90(Technical Committee 90)に技術情報を提供して国際規格の提案に貢献したことは高く評価できる。また、規制緩和に向けた提案も評価できる。また、プロジェクトの終了後も IEC/TC90 の幹事国を 20 年以上続けていることは評価できる。

標準化によって最終的に目指す姿をもう少し明確にすると良い。特に特許戦略と標準化戦略の連携など、日本としての総合的な戦略が有効である。さらに標準化においてはキーパーソンとなる人が重要であり、長期に渡って務めることができる人を参画させていただきたい。

今後も日本が世界の中でトップを維持するには、諸外国との連携が重要である。また、IEC/TC90 の幹事国であると同時にこのプロジェクトのメインで研究している ISTEK が事務局をしているのは良かったと評価できる。今後、本技術が実用化フェーズに移った場合、諸外国への展開を考えると国際標準化はますます重要な位置付けになる。日本における技術開発成果をベースに、日本のリーダーシップを発揮しながら、試験法や製品規格の作成に継続的で一層活発な活動を期待したい。

評点結果〔プロジェクト全体〕



平均値

評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	B	A	C	A	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.4	A	A	B	A	C	A	B	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	B	A	A	B	C	A	
3. 研究開発成果について	2.6	B	A	A	A	B	B	A	
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	1.7	A	B	C	B	C	C	B	

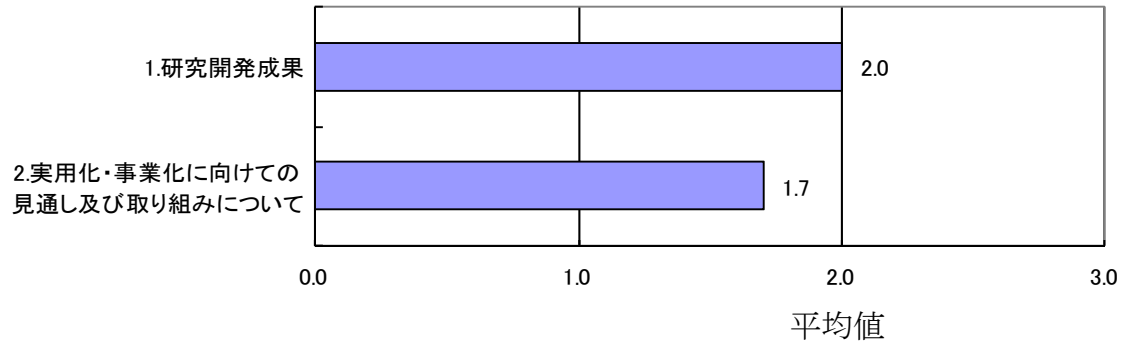
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

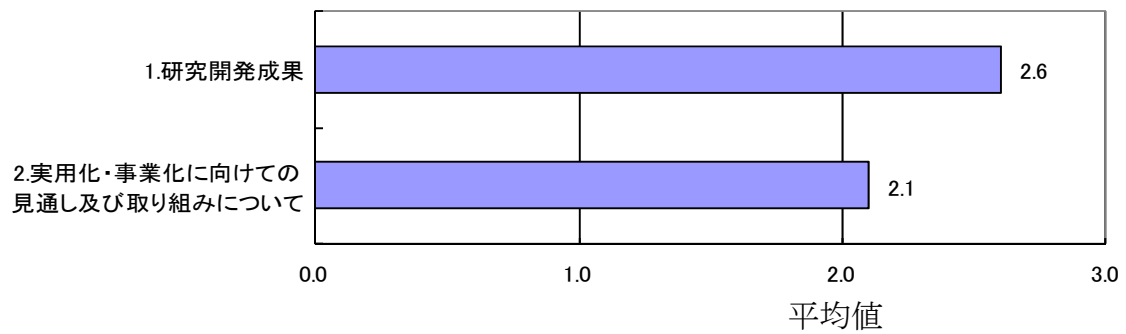
- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →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〕

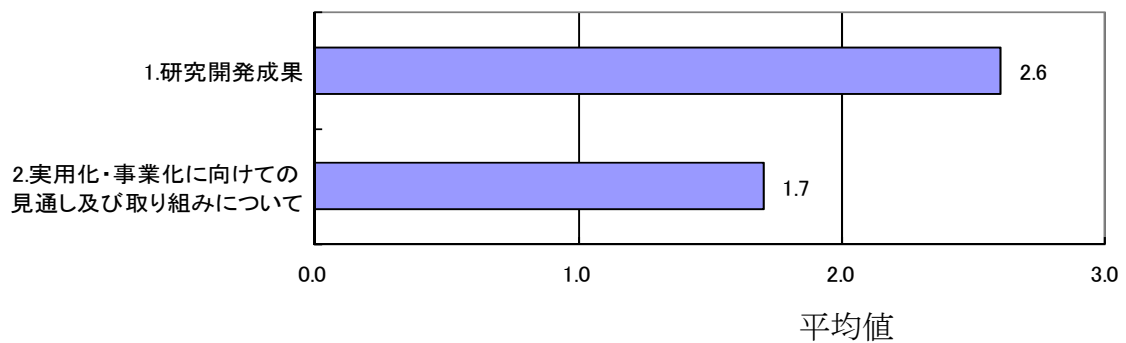
超電導電力貯蔵（SMES）システムの研究開発



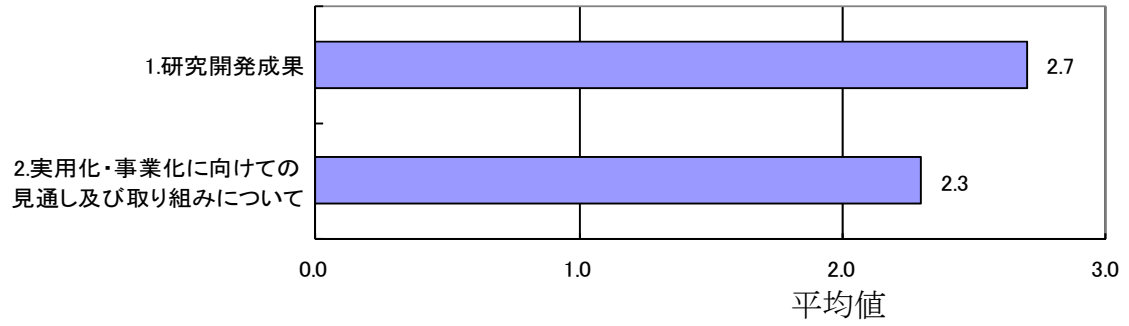
超電導電力ケーブルの研究開発



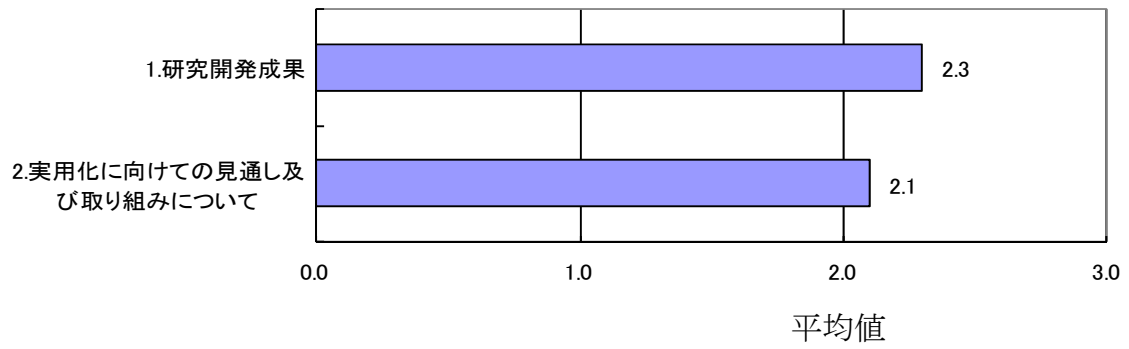
超電導変圧器の研究開発



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)							
3. 2. 1 超電導電力貯蔵 (SMES) システムの研究開発									
1. 研究開発成果	2.0	B	A	B	B	C	B	B	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	1.7	A	B	C	B	C	C	B	
3. 2. 2 超電導電力ケーブルの研究開発									
1. 研究開発成果	2.6	A	A	A	A	B	C	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.1	A	B	B	B	B	C	A	
3. 2. 3 超電導変圧器の研究開発									
1. 研究開発成果	2.6	A	A	A	A	B	C	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	1.7	A	B	C	B	C	C	B	
3. 2. 4 超電導機器用線材の研究開発									
1. 研究開発成果	2.7	A	A	A	A	B	B	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.3	A	B	B	A	B	C	A	
3. 2. 5 超電導電力機器の適用技術標準化異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備									
1. 研究開発成果	2.3	A	B	C	A	A	B	B	
2. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	2.1	A	B	C	B	A	B	B	

(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

- ・ 非常によい →A
- ・ よい →B
- ・ 概ね適切 →C
- ・ 適切とはいえない →D

2. 実用化（・事業化）に向けての見通し及び取り組みについて

- ・ 明確 →A
- ・ 妥当 →B
- ・ 概ね妥当 →C
- ・ 見通しが不明 →D

<参考>

「超電導技術開発／リットリウム系超電導電力機器技術開発」
(事後評価)に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「エネルギーイノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 適切な研究開発実施体制になっており、指揮命令系統及び責任体制が明確になっているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われ

- る体制となっているか。
 - ・ 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。
- (4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
 (研究開発項目⑤「超電導電力機器の適用技術標準化」は、「事業化」を除く)
- ・ 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
 - ・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
 - ・ 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化・事業化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
 - ・ 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略(オープン/クローズ戦略等)や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

3. 研究開発成果について

- (1) 目標の達成度と成果の意義
- ・ 成果は目標を達成しているか。
 - ・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながることを期待できるか。
 - ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
 - ・ 目標未達成の場合、達成できなかつた原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
 - ・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
 - ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
 - ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- (2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組
- ・ 知的財産権等の取扱（特許や著作権、営業機密の管理等）は事業戦略、又は実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

全体および⑤を除く個別テーマには以下を適用

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方

現状電力機器と同等以上の性能、実用性を実現する技術を確立し、その技術に基づく製品の販売や利用により、企業の活動（売上等）に貢献すること。

(1) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- ・ 量産化技術が確立される見通しはあるか。
- ・ 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込めるものとなっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・ プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。

個別テーマ⑤超伝導電力機器の適用技術標準化は以下を適用

4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方
リットリウム系超電導線材、ケーブルなどの試験方法に対して IEC 国際規格提案を行い、社会的利用に供されることを言う。

(1) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化に向けた具体的取り組み

- ・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き研究開発に取り組むのか明確になっているか。