

イットリウム系超電導電力機器 技術開発事業の概要について

平成25年11月13日

資源エネルギー庁電力基盤整備課

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 中間評価の結果
8. 事後評価の結果(速報)

1. イットリウム系超電導電力機器技術開発事業の概要

概 要	経済社会を支える重要なエネルギーである電力の一層の安定的かつ効率的な供給システムの実現に資するため、高機能部材である超電導線材を利用し、送電損失を大幅に低減することが可能な高温超電導ケーブル等の超電導電力機器を開発する。						
実施期間	平成 2 0 年度～平成24年度 （5年間）						
予算総額	141億円 (委託)	年度(平成)	20	21	22	23	24
		予算(億円)	28	30	30	24	29
実 施 者	(公財)国際超電導産業技術センター、中部電力(株)、九州電力(株)、古河電気工業株式会社、(株)富士電機、住友電気工業(株)、(株)フジクラ、昭和電線ケーブルシステム(株)、(株)前川製作所、大陽日酸(株)、(株)三菱総研、(一財)ファインセラミックセンター						
プロジェクト リーダー	塩原 融 (公財)国際超電導産業技術センター 超電導工学研究所(所長)						

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

政策・施策

- 第3期科学技術基本計画(平成18～22年度)／平成18年3月閣議決定

分野別推進戦略 ーエネルギー分野、ものづくり分野

- 第4期科学技術基本計画(平成23～27年度)／平成23年8月閣議決定

3. グリーンイノベーションの推進 (2)重要課題達成のための施策の推進

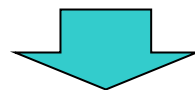
i) 安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現

- イノベーションプログラム基本計画／平成20年4月 経済産業省策定

エネルギーイノベーションプログラム

- Cool Earthーエネルギー革新技术計画／平成20年3月 経済産業省策定

重点的に取り組むべきエネルギー革新「21」技術 ー超電導高効率送電



イットリウム系超電導電力機器技術開発

- ・ 超電導エネルギー貯蔵システム(SMES)
- ・ 超電導ケーブル
- ・ 超電導変圧器
- ・ 超電導機器用線材
- ・ 超電導機器適用技術標準化

Cool Earth エネルギー革新技術計画

技術開発ロードマップ

⑥ 超電導高効率送電

2000

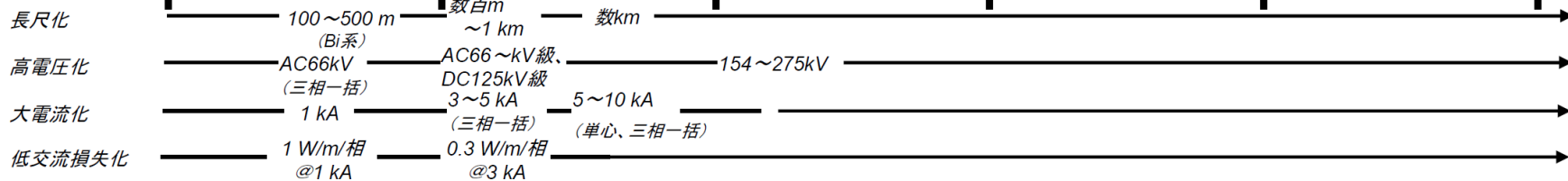
2010

2020

2030

2040

2050



配電用変圧器
6.6 kV
10 MVA

●Y系超電導送電安定化技術
●Y系超電導ケーブル
●系統用Y系超電導変圧器

数GJ

工業的臨界電流密度 (J_c)
線材コスト

> 300 A/mm²
8~12円/A・m@77K

2~3円/A・m@77K

500 MVA (限流機能付)

変圧器

ケーブル

○Bi系線材

・線材長尺化、低コスト化技術 (高速薄膜製膜技術等)
・冷却の高効率化、大型化、低コスト化

ONb系線材

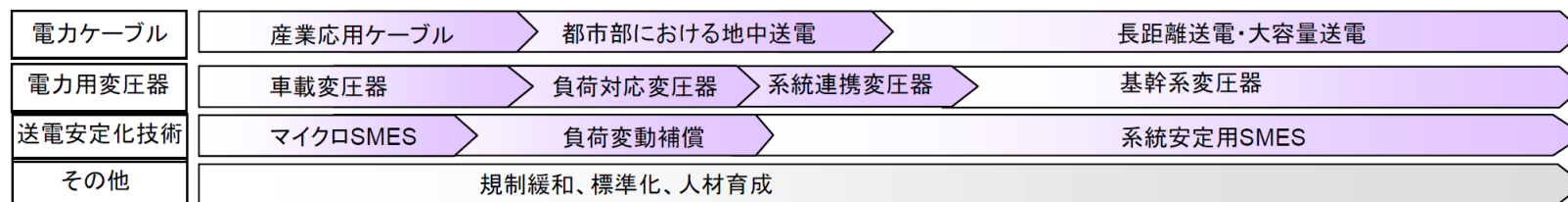
~ 150 A/mm² ~ 200 A/mm² ~ 250 A/mm²
20円/A・m@77K 12円/A・m@77K 6円/A・m@77K

1円/A・m@4.2K
瞬低補償用SMES

普及を支える技術・関連技術

- ・冷凍機技術
- ・超電導発電機 (風力用発電機、電力用発電機)
- ・系統運用技術
- ・電気絶縁技術

導入・普及シナリオ



要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
SMES ^{1*)}	2GJ級SMESの開発を見通す 2MJ級モデルコイルシステムの 評価試験モデルを設計し、電力 系統制御SMESを模擬した2万 回繰り返し充放電試験と同等レ ベルの信頼性・耐久性をもつコ イル要素技術開発に向けて課 題を抽出し、解決策を提案する 。	SMES 実用化のために、充放電等によ る繰り返し応力に耐える信頼性の高いコイ ルを設計・製作できる技術を確立する必要 があり、線材構造に起因したコイル特性変 化現象について、線材の強度によらないコ イル化技術を確立することで、高い信頼性、 耐久性を有したコイル要素技術が確立でき ると考え、線材自体には応力が大きく係ら ない設計技術の確立をめざすこととした。
ケーブル	三相一括大電流ケーブルシス テム(66kV-5kA,15m、直径 150mm管路収納可能、終端接 続部)、および単相単心高電圧 ケーブルシステム(275kV-3kA, 直径150mm、30m、中間接続部、 終端接続部)を作製し、送電損 失(現行ケーブル1/2~1/3)を 含めた性能検証を行う。	Y系超電導線材を使用することで大電流電 力ケーブルの開発が可能となるが、これま で5kA級のケーブルシステムを開発した実 績がないことから目標値を5kAとした。 また、同様に高電圧ケーブルシステムにつ いては、DAPAS ^{2*)} プロジェクトにおける 154kVが最も高い電圧階級であったがそれ をしのぐ電圧を目標値とした。

* 1) SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage (超電導エネルギー貯蔵装置)

* 2) DAPAS: Development of Advanced Power System by Applied Superconductivity technologies (韓国での超電導プロジェクト名称)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
変圧器	66/6kV 20MVA級超電導変圧器システムが成立することを検証するため、2MVA級超電導変圧器モデルを作製・性能検証を行うとともに、数100kVA級単相モデルにより限流機能(過大電流を定格電流の3倍以下に抑制)を検証する。	配電用変圧器(66kV/6.9kV-20MVA級)を実現するために、それを見通す最低容量である2MVA級超電導変圧器モデルを製作し、性能検証を行うこととした。 また、数100kVA級単相限流機能付加変圧器の限流機能条件として、短絡電流は、定格電流の6倍程度に抑制される必要がある。本開発では、限流機能による抑制範囲を短絡電流の半分程度(定格電流の3倍以下)を目標とした。
電力機器用線材開発	各機器の実用化技術開発時に必要な仕様を満たす線材の作製技術の開発を行った上で、この線材を安定に製造できる技術とともに各電力機器の普及導入時(2020年頃)に必要な仕様を満たす線材の作製技術を開発する。	プロジェクト開始以前の開発により長尺高特性の線材の作製技術が開発され、機器の開発が開始できるレベルに到達している。ここで実用化を想定し、各電力機器の普及導入時に必要な仕様を満たし、安定した線材作製技術を開発することを目標とした。

4. 成果、目標の達成度

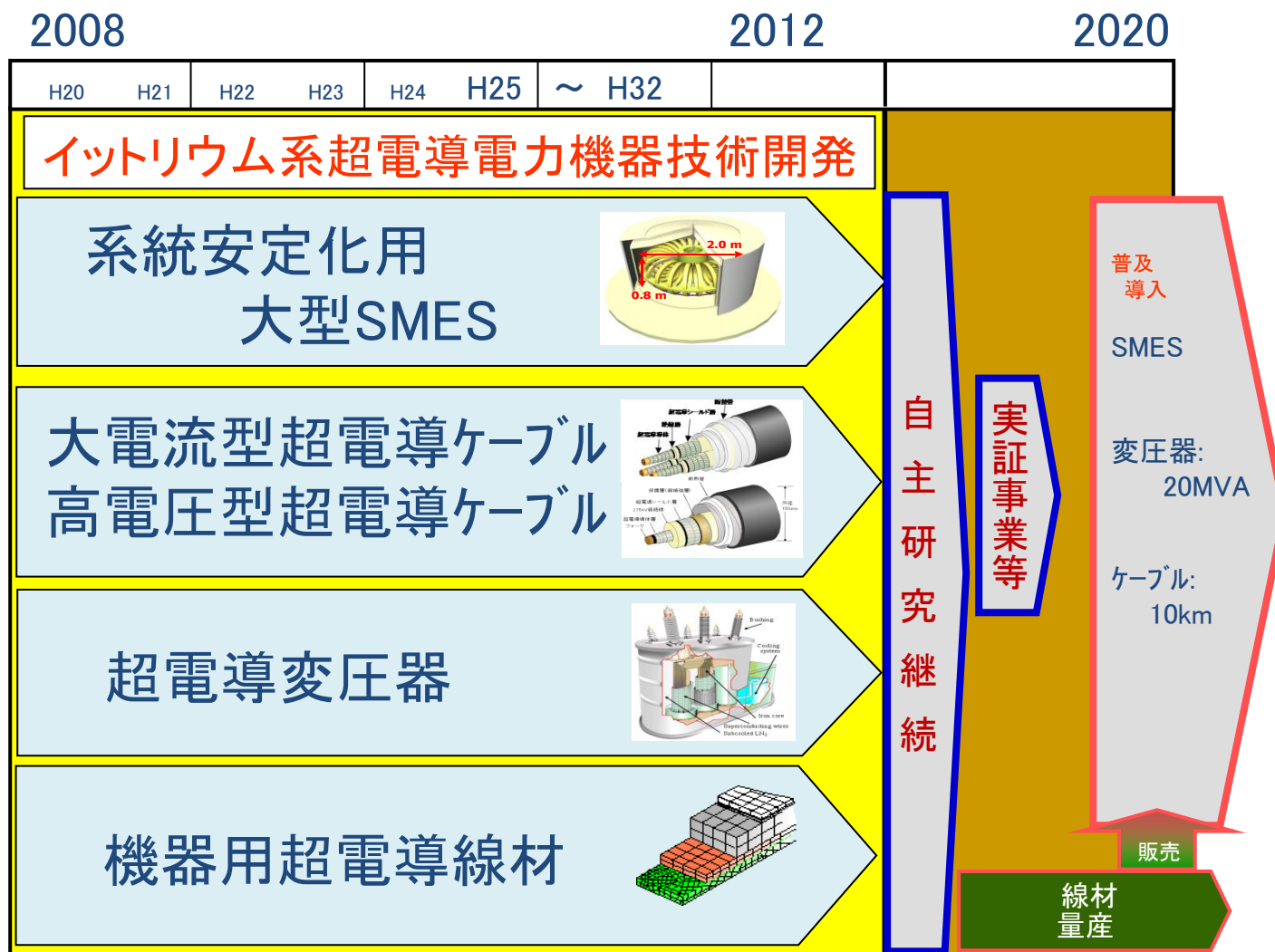
要素技術	目標・指標	成 果	達成度
SMES	2GJ級SMESの開発を見通す 2MJ級モデルコイルシステム の評価試験モデルを設計し、電力系統制御SMESを模擬した2万回繰り返し充放電試験と同等レベルの信頼性・耐久性をもつコイル要素技術開発に向けて課題を抽出し、解決策を提案する。	2 GJ級SMES コイル基本システムの最適化を検討し、評価用試験モデルの内、伝導冷却試験システムの設計・製作を実施した。高強度で電磁応力や熱応力に優れた耐性を有するコイル構造（Yoroi-coil）を開発し、剥離やフープ応力耐性に対しての課題解決が図られた。	○
ケーブル	三相一括 大電流ケーブルシステム （66kV-5kA,15m、直径150mm管路収納可能、終端接続部）、および単相単心 高電圧ケーブルシステム （275kV-3kA,直径150mm、30m、中間接続部、終端接続部）を作製し、送電損失（現行ケーブル1/2～1/3）を含めた性能検証を行う。	66 kV 大電流ケーブルシステム検証では15 m 長ケーブルシステムを製造し、課通電試験 ^{*3)} 等を実施し試験計画書の性能を満足することを検証した。275 kV 高電圧ケーブルシステム検証では、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し試験計画書の性能を満足することを検証した。	○

*3) 課通電試験：課電状態（電圧をかけた状態）で、通電させる試験

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
変圧器	66/6kV 20MVA級超電導変圧器システムが成立することを検証するため、 2MVA級超電導変圧器モデル を作製・性能検証を行うとともに、 数100kVA級単相モデルにより限流機能(過大電流を定格電流の3倍以下に抑制) を検証する。	66 kV/6.9 kV-2 MVA 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変圧器システムの性能を確認した。400kVA 級限流機能付加単相変圧器モデルを試作し、短絡電流を定格電流の3 倍以下に抑制する限流性能を確認した。	○
電力機器用 線材開発	各機器の実用化技術開発時に必要な仕様を満たす線材の作製技術の開発を行った上で、この線材を安定に製造できる技術とともに各電力機器の 普及導入時(2020年頃) に必要な仕様を満たす線材の作製技術を開発する。	上記、各機器の開発項目に適応する線材の作成し、目的を達成した。	○

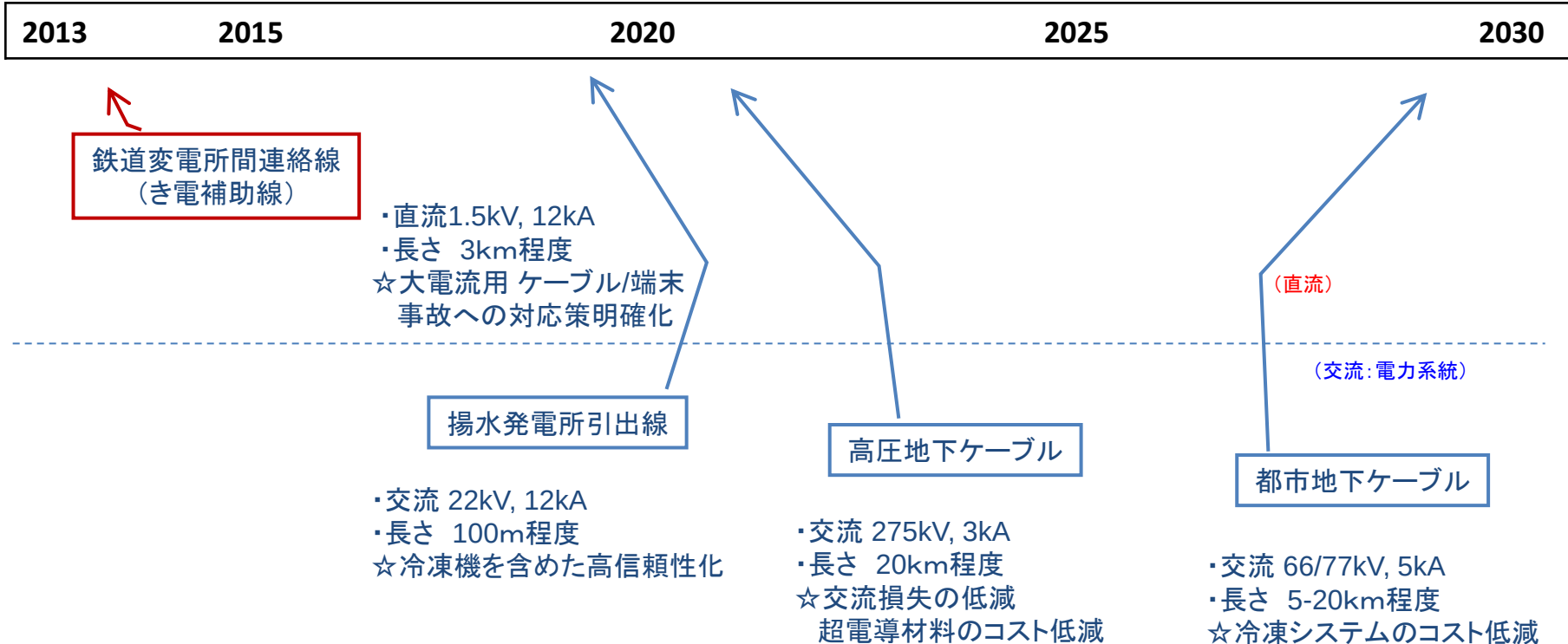
5. 事業化、波及効果

プロジェクト終了後の実用化への見通し



「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」検討結果

超電導ケーブルの実適用時期について



適用のために
必要な開発

安全性・信頼性の確認とその向上

コストダウン

成果実績1(プレスリリース)

先進型イットリウム系超電導線材の低コスト長尺製造技術を確立

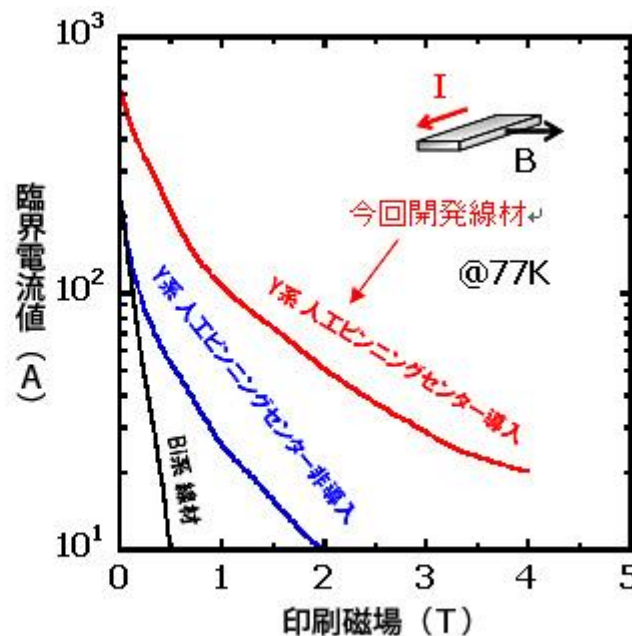
2013年6月19日

NEDOの「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の実施者である昭和電線ケーブルシステム株式会社、公益財団法人国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)は、イットリウム系超電導線材^{*1}について、「**ナノ粒子分散型人工ピン**」導入技術を用い、高磁場中での臨界電流特性を大幅に改善した先進型イットリウム系線材(Nano-Particle Artificial-pinning-center Distributed YBCO:nPAD-YBCO)の長尺製造に成功、**低コスト型線材の磁場中特性で世界最高性能を達成しました。**

この度開発した先進型イットリウム系線材の臨界電流密度は、液体窒素冷却下・3テスラ中で線材単位断面積(1平方センチメートル)あたり20万アンペア。その時の臨界電流値は1cm幅線材で50アンペアを超え、溶液塗布熱分解法^{*3}で作製した長尺線材としては世界最高値を達成しました。



今回開発した線材外観



各線材の磁場中特性比較

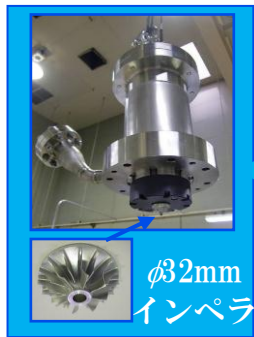
成果実績2(プレスリリース)

世界初の超電導電力機器冷却用ターボ冷凍機の販売を開始

平成25年5月8日

空気分離装置や各種液化機をはじめとする低温関連機器の製作・運転により培った技術をもとに独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「イットリウム系超電導電力機器技術開発(平成20～24年度)」プロジェクトに参画し、超電導電力機器の冷却に適した長期間メンテナンスが不要となる2kW 冷凍機を開発しました。本冷凍機は上記プロジェクトにて世界初の2MVA 級超電導変圧器の冷却に使用され、通電実験の成功にも貢献しています。

膨張タービン



φ32mm
インペラ

ターボ圧縮機



保冷容器 (熱交換器を収納)

News Release



平成25年5月8日

告 白

世界初の超電導電力機器冷却用ターボ冷凍機の販売を開始

大陽日酸株式会社(社長:田邊 信司)では、ネオンガスを冷却に使用し、超電導電力機器を-200℃以下まで冷却可能な「ターボ冷凍機」を開発し、販売を開始したのでお知らせ致します。

記

1. 開発の経緯

省エネルギー電力技術の切り札として期待されている超電導電力機器が実用化研究の段階に入り、超電導電力機器の冷却に適した冷凍機のニーズが高まっています。実用の超電導電力機器を冷却する為に用いられる冷凍機の運転温度域は-200℃近傍で、冷凍能力は2kW～10kWと考えられています。しかし、現在市販されている小型冷凍機は冷凍能力が1kW以下であり、また振動部を有するために定期的なメンテナンスが必要です。

当社は、空気分離装置や各種液化機をはじめとする低温関連機器の製作・運転により培った技術をもとに独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「イットリウム系超電導電力機器技術開発(平成20～24年度)」プロジェクトに参画し、超電導電力機器の冷却に適した長期間メンテナンスが不要となる2kW冷凍機を開発しました。本冷凍機は上記プロジェクトにて世界初の2MVA級超電導変圧器の冷却に使用され、通電実験の成功にも貢献しています。

2. 装置の概要

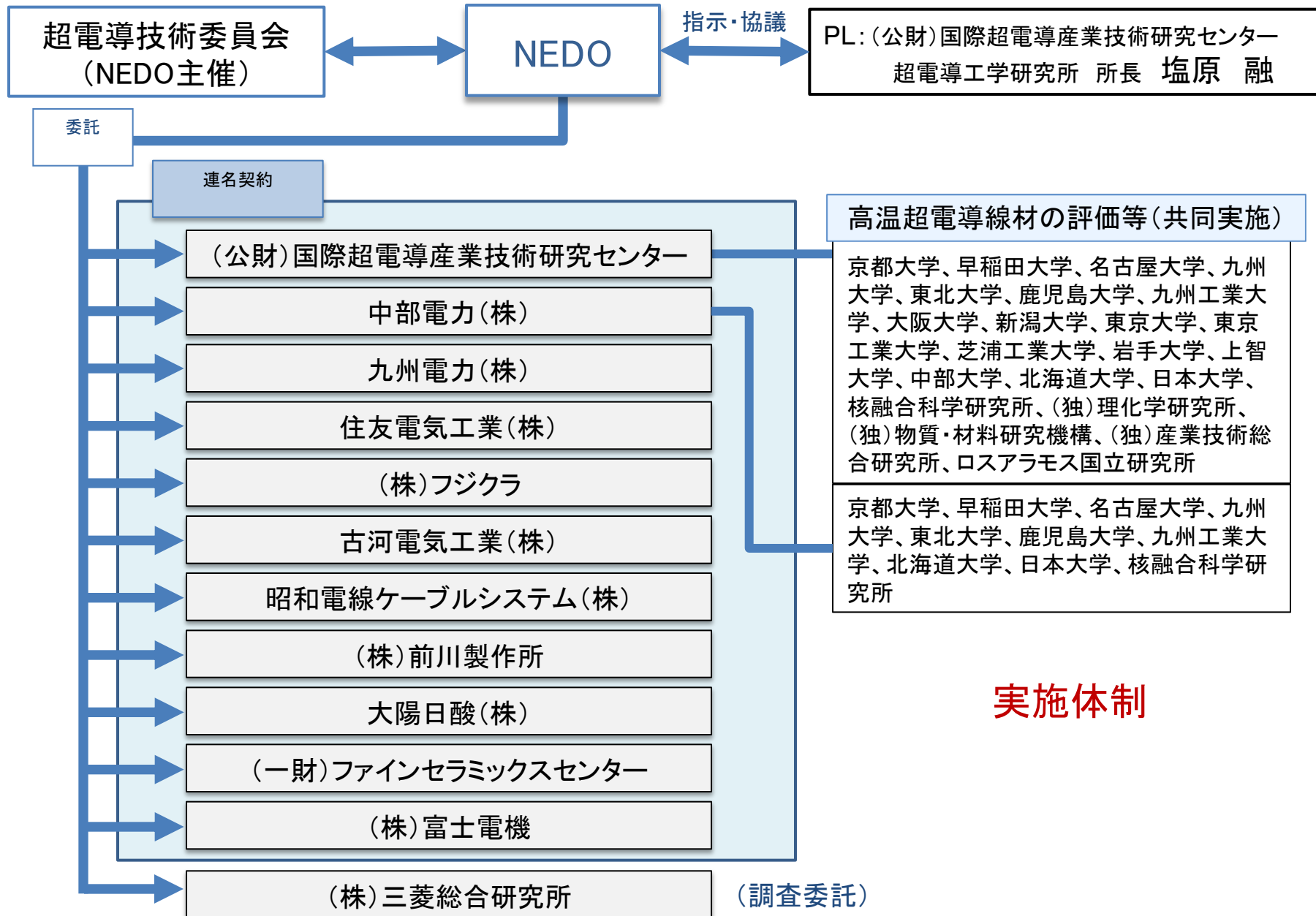
本装置はネオンガスを冷却とした世界初の超電導電力機器冷却用の冷凍機です。特に冷凍機のメンテナンス性を考慮し、ターボブレイクサイクルを採用しています。

今回、ヘリウムガスより重い分子重量を持つネオンガスをターボ冷凍機の冷却に採用することにより、回転機器の効率と信頼性を向上させました。

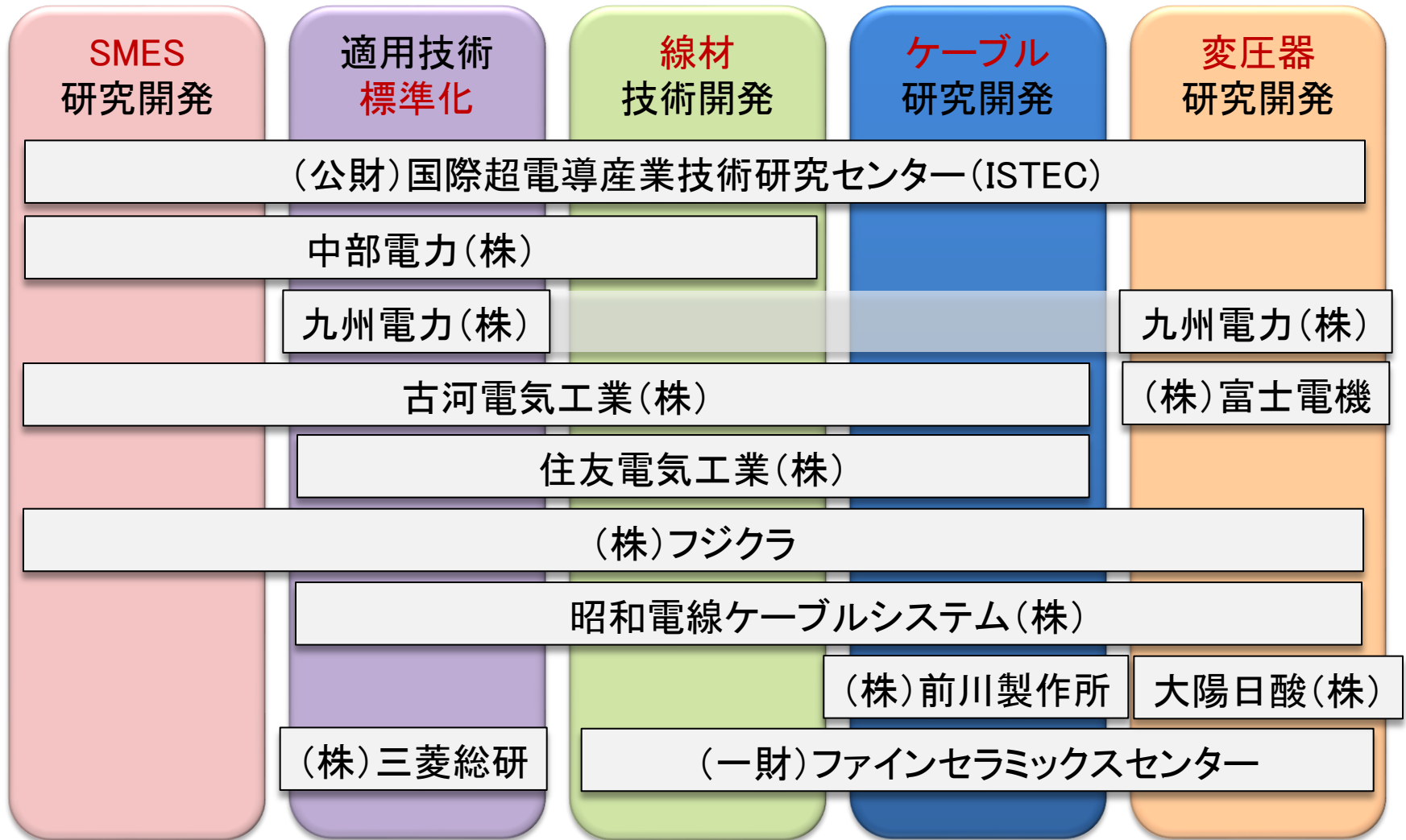
http://www.tn-sanso.co.jp/jp/_documents/news_40609509.pdf

プロジェクト終了後
販売開始

6. 研究開発マネジメント・体制等



研究開発項目と担当した実施者



イットリウム系超電導電力機器技術開発 ― 事業費

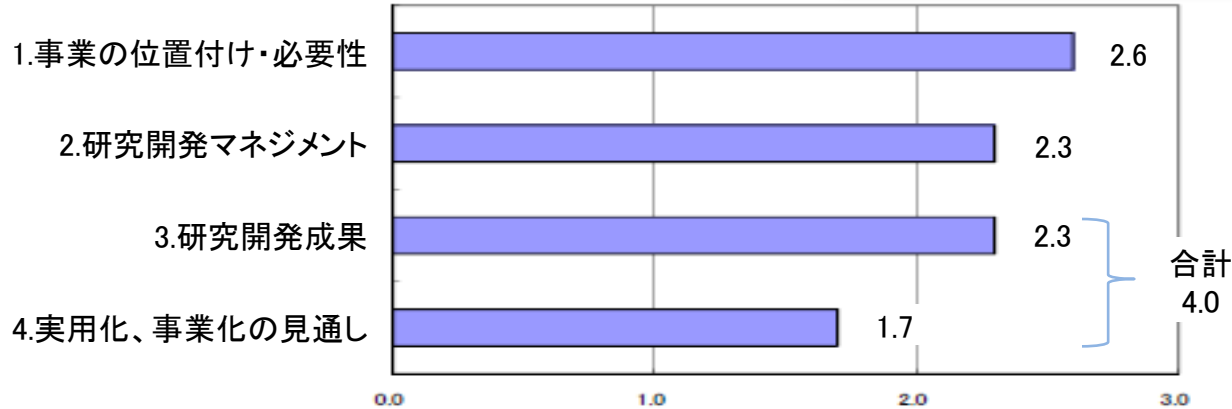
開発項目	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	Total
SMES	484	502	506	75	79	1,646
ケーブル	542	693	585	938	1,154	3,912
変圧器	584	598	657	778	773	3,389
線材	1,147	1,134	1,214	622	899	5,019
標準化	18	15	20	19	25	96
合計	2,775	2,944	2,982	2,431	2,931	14,062

(単位: 百万円)

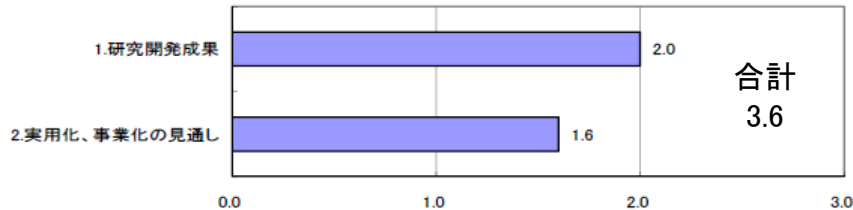
7. 中間評価の結果

プロジェクト全体

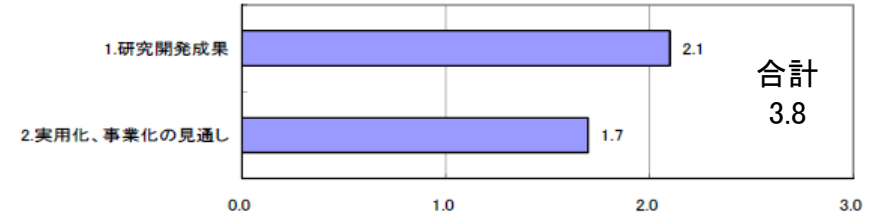
基本計画の中間目標は
すべて達成(評価時見込のものを含む)



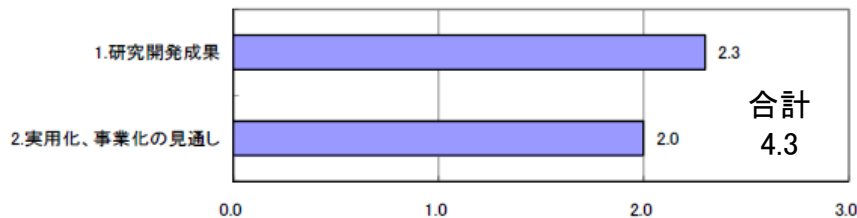
超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発



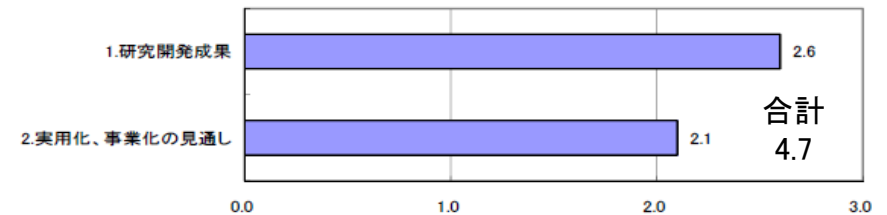
超電導変圧器の研究開発



超電導電力ケーブルの研究開発



超電導機器用線材の研究開発



* 各項目につき3.0点満点で評価

「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の目標変更について

中間評価結果の反映

総論 問題点・改善すべき指摘点

研究開発マネジメント	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。
研究開発成果	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。

①SMESの研究開発

研究開発成果	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。、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。
--------	--

対処方針と反映

メリハリのある予算配分の実施
PJ後半では、電力送配電設備の更改等ニーズが明確な電力ケーブル、変圧器の開発に重点化する。変圧器に関しては、超電導変圧器モデルの試作に移行し、そのための実施者を公募して体制を強化する。SMESは基本要素開発に縮小する。

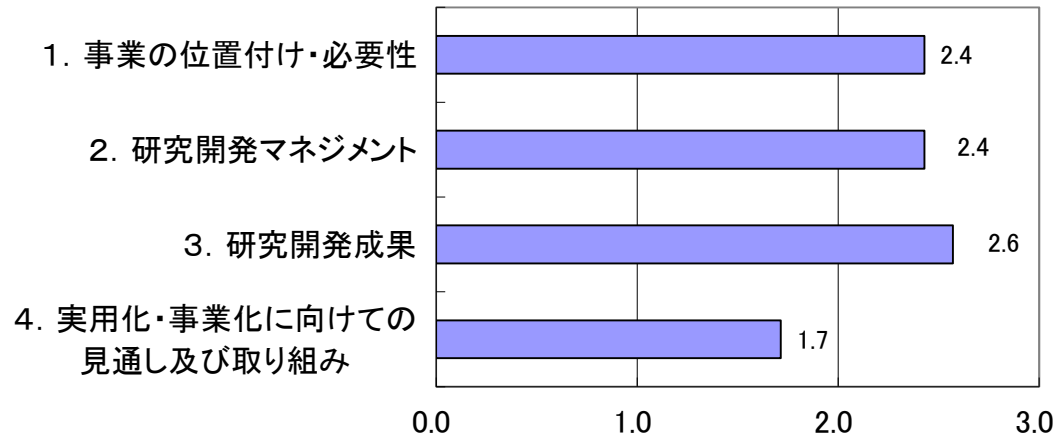
線材の課題解決への対応強化
ご指摘を踏まえ、基本計画において線材開発テーマを独立させ、取り組みの重点化を図る。

基本計画
等へ反映

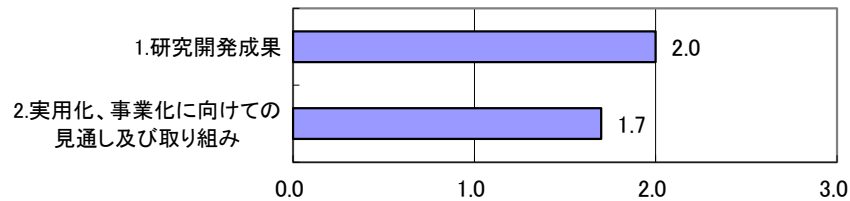
実用化に向けた課題の整理と反映
SMESに必要な線材の開発についてテーマを独立させ、剥離等の検証等取組の強化を図り、まずは性能及び信頼性を明確にする。

8. 事後評価の結果(速報)

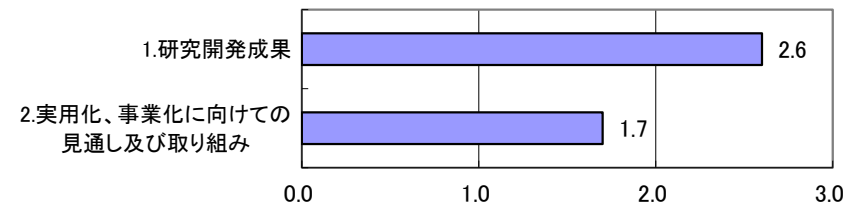
プロジェクト全体



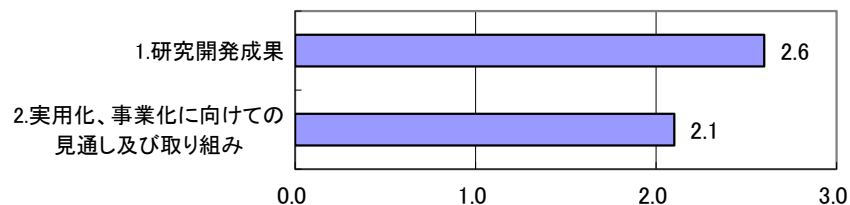
超電導電力貯蔵システム(SMES)の研究開発



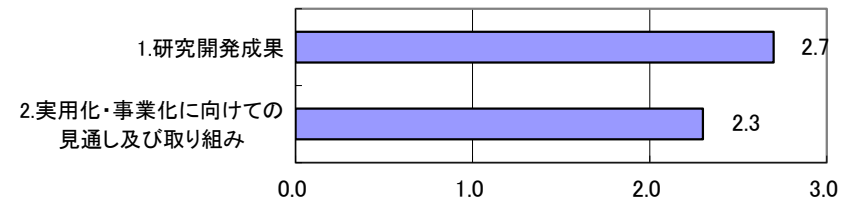
超電導変圧器の研究開発



超電導電力ケーブルの研究開発



超電導機器用線材の研究開発



* 各項目につき3.0点満点で評価