

## 平成25年度実施方針

省エネルギー部

1. 件名：プログラム名 エネルギーイノベーションプログラム・  
ナノテク・部材イノベーションプログラム  
(大項目) 超電導技術研究開発

## 2. 根拠法

- ① 高温超電導ケーブル実証プロジェクト  
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イ」  
② イットリウム系超電導電力機器技術開発  
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イ及び第九号」

## 3. 背景及び目的、目標

本プロジェクトは「エネルギーイノベーションプログラム」及び「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として実施する。

エネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国は、近年増加している世界のエネルギー需給動向の変動によって社会・経済が大きな影響を受けるため、エネルギー利用効率化の促進が求められている。また、地球環境問題への対策の観点から省エネルギーや環境負荷低減に配慮したエネルギー利用が求められている。このような状況においては、十分な安全確保を前提に、需要に見合った信頼性の高い安定で効率的なエネルギー供給システムを構築することが重要である。効率的なエネルギー供給システムに資する技術として、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システムの技術を開発し、産業利用の早期実現を図ることは、エネルギー安全保障（セキュリティ）に貢献するとともに、社会や経済の安定した発展に大きく貢献する。

また、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、システムを適正に制御し、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を目指す。超電導送電技術における高温超電導ケーブルについては、社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するために、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」（平成12年度～16年度）によって得られた高温超電導ケーブルの開発成果などを踏まえ、開発が先行しているビスマス系超電導線材を用いた高温超電導ケーブルを開発し、冷却技術などと統合して、高温超電導ケーブルシステムを構築し、超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施する。このことによって、超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うこととする。

一方、よりコンパクトで大容量の電力供給システムを実現するために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「イットリウム系超電導線材」という）を用いた超電導電力機器の開発を目指す。特に、超電導電力貯蔵システム（SME S）、超電導電力ケーブル及び超電導変圧器の実用化に向けた技術を開発し、産業利用の早期実現を図ることは、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を実現することに大きく貢献する。なお、個々の研究開発項目の目標は基本計画の別紙「研究開発計画」に定める。

#### 4. 進捗（達成）状況

##### 4. 1 平成24年度事業内容

研究開発項目毎の別紙に記載する。

##### 4. 2 実績推移

###### 研究開発項目①高温超電導ケーブル実証プロジェクト

	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	24年度 (見込み)
実績額（百万円）	81	230	962	638	378	395
特許出願件数（件）	0	11	5	1	0	2
論文発表数（報）	4	3	3	6	2	5
フォーラム等（件）	3	16	7	10	5	17

###### 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

	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度	24年度 (見込み)
実績額（百万円）	—	2,773	2,944	2,982	2,350	3,030
特許出願件数（件）	—	7	27	22	14	16
論文発表数（報）	—	3	22	34	11	20
フォーラム等（件）	—	27	199	180	113	120

#### 5. 事業内容

##### 5. 1 平成25年度事業内容

研究開発項目毎の別紙に記載する。

##### 5. 2 平成25年度事業規模

①高温超電導ケーブル実証プロジェクト [共同研究（NEDO負担率2／3）]

電源勘定 250百万円（継続）

事業規模については、変動があり得る。

#### 6. その他重要事項

研究開発項目毎の別紙に記載する。

#### 7. スケジュール

本年度のスケジュール

平成25年	6月頃	・・・	第1回超電導技術委員会（予定）
	9月頃	・・・	第2回超電導技術委員会（予定）
	12月頃	・・・	第3回超電導技術委員会（予定）
平成26年	3月頃	・・・	第4回超電導技術委員会（予定）

8. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成25年3月制定

(2) 平成25年6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」のプロジェクトリーダーの変更による改定

(別紙)

## 研究開発項目①「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」

### 1. 平成24年度(共同研究)事業内容

平成19年度から平成20年度までは、住友電気工業株式会社 常務執行役員(当時)畑 良輔氏をプロジェクトリーダーとし、平成21年度から平成24年度は東京電力株式会社フェロー 原 築志氏(平成24年6月28日より公益財団法人東電記念財団常務理事)をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

#### (イ)「高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究」

##### (i) 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

平成22年度までに、重要要素技術が実系統連携に適用し得る所定の性能、機能を有することの検証を完了し、良好に課電できることを確認しており、目標を達成している。

##### (ii) トータルシステムの開発

昨年度より取り組んでいる、実用超電導ケーブル向けの冷却システム大容量・高性能化のためのブレイトン冷凍機の開発について、平成23年度に開発したターボ圧縮機、膨張機等とコールドボックス、水冷システムを組み合わせ、冷凍機システムの開発を行った。

この冷凍機システムの単体での性能検証試験を実施し、目標である冷凍能力5kW、COP=0.1の見通しを得た。さらに、実証試験設備と同等の循環ポンプ、リザーバタンク等の液体窒素循環設備の製作を行った。

また実用化初期に必要とされる、ケーブルの大電流化について、22kV/12kA級のケーブル、端末の概念設計を行い、それに基づいた要素技術開発を実施した。ケーブルについては、12kA級のケーブルコアを作成し、その通電試験を行った。また接続部である端末について構造設計に着手するとともに、要素技術であるブッシングの試作を行い、その熱的な評価を行った。

##### (iii) 送電システムの運転技術の開発

超電導ケーブルシステムの運転マニュアルについて、実際の運転に基づき修正を行うとともに、冷却手順、運転方法、制御方法に関する手法について、妥当性を確認した。

##### (iv) 実系統における総合的な信頼性の研究

平成23年度に建設した超電導ケーブル、端末、ジョイント及び冷却システムを組み合わせ、系統接続前の検証試験を実施した。超電導ケーブルの性能については、臨界電流値、直流課電特性、熱損失特性(無負荷)の検証を行い、それぞれ所定の性能を満たしていることを確認した。冷却システムについても、ケーブルと組み合わせた状態での温度、圧力の最適な制御方法を決定し、その応答性について確認した。また、冷凍機ローテーションなどのメンテナンス法について事前検証どおりの方法で問題のないことを確認した。

その後、平成24年10月29日に実系統に接続し、実証試験を開始した。

#### (ロ)「超電導ケーブルの適用技術標準化の研究」

##### (i) 高温超電導ケーブルの標準化の研究

CIGRE B1における超電導ケーブル試験法に関するWGにて議論されるために必要な本プロジェクト

の出荷試験データ、現地での検証試験方法と結果について、WG に情報を提供した。

また、平成23年度より継続している新潟大学と共同研究において最終目標である  $1\text{W}/\text{m}/\text{ph}@3\text{kA}$  の目標を達成するケーブル構造について設計を行い、最適なサイズ、線材の組合せを決定した。さらに将来実用の可能性が高い水力発電所向け超電導ケーブルの設計について検討を行い、大電流化、端末のコンパクト化などの課題を抽出し、その開発の指針を得た。

## 2. 平成25年度（共同研究）事業内容

平成25年6月30日までは、公益財団法人東電記念財団 常務理事 原 築志氏（前-東京電力株式会社 フェロー）をプロジェクトリーダーとし、平成25年7月1日からは、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マネージャー 本庄 昇一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

### (イ) 「高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究」

#### (i) 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

平成22年度までに事業内容は終了し、本年度は実施しない。

#### (ii) トータルシステムの開発

平成23年度に開始した実用超電導ケーブル向けのブレイトン冷凍機の開発について、開発した冷却システムにケーブルの発熱を模擬する熱負荷を組み合わせ、長期の運転性能や負荷変動に対応した制御性の検証を行う。

ケーブルの大電流化については、実用の可能性が高い水力発電所の発電機引き出し線をターゲットとして、断熱管を持つ短尺ケーブル、コンパクト端末をそれぞれ試作し、電氣的、機械的な評価を行う。

#### (iii) 送電システムの運転技術の開発

引き続き実証試験を通じて、事前に作成した運転マニュアル、異常時対応マニュアルについて、季節性の環境変動など新たな負荷変動要因に対する運転管理の妥当性を確認する。

#### (iv) 実系統における総合的な信頼性の研究

平成24年度に実証場所である東京電力株式会社旭変電所において超電導ケーブルの実系統接続運転を開始した。これを引き続き継続し、温度、圧力、電流等の各種データを収集し、系統、超電導ケーブル、冷却システムを一体とした超電導ケーブルシステムとしての解析を行い、長期実証運転時の安定性、信頼性、制御性等について検証を行う。また、冷却システムについても、引き続き、冷凍機だけでなく、液体窒素循環ポンプなども事前検証で定めた手順、スケジュールに基づいて、通電を止めずにメンテナンスできることを検証する。

### (ロ) 「超電導ケーブルの適用技術標準化の研究」

IEC にて検討される超電導ケーブルの試験法に関して、本プロジェクトの試験結果や運転状況について、情報を提供する。

新潟大学との共同研究を継続し、交流損失の最終目標である  $1\text{W}/\text{m}/\text{ph}@3\text{kA}$  を短尺ケーブルにて検証する。

### 3. その他重要事項

#### (1) 運営・管理

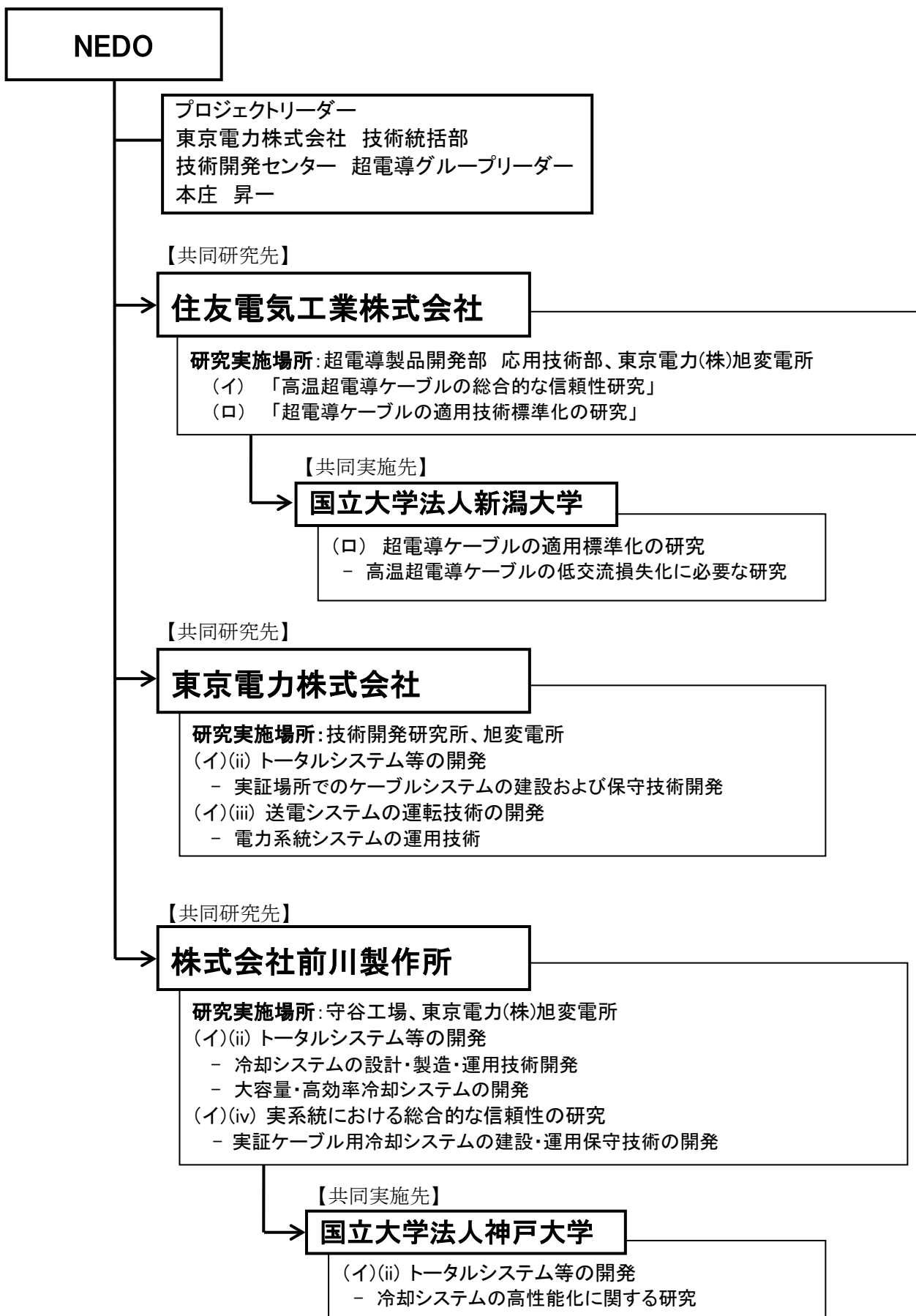
本プロジェクトの推進方針及び省エネルギー部が所管する他の超電導関連プロジェクトとの調整については、平成25年度に開催予定の「超電導技術委員会」に諮り、有識者の意見を踏まえながら進める。

また、四半期に1回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けることとする。

#### (2) 複数年度契約の実施

平成19～25年度の複数年度契約締結済み。(平成19～22年度は委託事業として締結、平成23～25年度の契約については、NEDO負担率を2/3とする共同研究へ変更のうえ契約を締結済み。)

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」研究体制



## 研究開発項目②「リットリウム系超電導電力機器技術開発」

### 1. 平成24年度（委託）事業内容及び進捗状況

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所長 塩原 融氏をプロジェクトリーダーとし、中部電力株式会社 電力技術研究所 研究主査 長屋 重夫氏、公益財団法人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 大熊 武氏、九州電力株式会社 総合研究所 電力貯蔵技術グループ グループ長 林 秀美氏及び公益財団法人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 和泉 輝郎氏をサブプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。なお、本研究開発項目については最終目標を達成し、24年度をもって終了する。また、実施体制については、別紙を参照のこと。

#### (イ) 「超電導電力貯蔵システム (SMES) の研究開発」

- ・ 高信頼性・高耐久性 SMES コイル要素技術開発において、2GJ 級高磁界・コンパクトコイルの構成技術開発では、平成 23 年度に超電導線材の剥離を抑制したコイル構造の伝導冷却特性を、モデルコイルを用いて検証した。
- ・ 従来の電圧検出に替えて電流によるクエンチ検出技術を確立した。
- ・ 2 万回繰返し充放電試験と同等レベルの信頼性・耐久性を持つコイル要素技術開発に向けてコイル化技術を確立した。

#### (ロ) 「超電導電力ケーブルの研究開発」

- ・ 大電流・低交流損失ケーブル化技術の開発では、2 mm 幅線材のみを使用した積層導体の交流損失評価等、実用化時を想定した更なる交流損失の低減に向けた (0.4W/m) ケーブル構造の設計を確立した。
- ・ 高電圧絶縁・低誘電損失ケーブル化技術の開発では、更なるケーブル損失の低減に向けた低誘電損失 (0.6W/m) の絶縁材料の適用評価を実施し、低誘電損失ケーブルの設計を確立した。
- ・ 超電導電力ケーブル対応線材開発では、システム検証用線材の安定製造技術を確立した。
- ・ 大電流・低交流損失ケーブル化技術の開発では、高特性線材を用いて 66kV 単相モデルケーブルを作成し、より低交流損失なケーブルの検証試験を実施し高特性線材 (Ic=600A/10mm) による低交流損失ケーブルの設計を確立した。
- ・ 大電流ケーブルシステム検証では、両端に終端接続部を有する検証用 66kV/三心一括/5kA,15m 長の超電導電力ケーブルシステムの製造・組み立てを行い、中間目標で得られた課通電試験の設定条件下における検証試験を実施した結果、ケーブルシステムが試験計画書の性能を満たすことを検証した。
- ・ 高電圧ケーブルシステム検証では、両端に終端接続部と中間接続部を有する検証用 275kV/単心/3kA,30m 長の超電導電力ケーブルシステムの製造・組み立てを行い、中間目標で得られた課通電試験の設定条件下における検証試験を実施した結果、ケーブルシステムが試験計画書の性能を満たすことを検証した。

#### (ハ) 「超電導変圧器の研究開発」

- ・ 超電導変圧器巻線技術開発では、平成 23 年度に設計した鉄心付大電流巻線モデルの試作、試験、評価を実施し、所定の性能を満足することを確認した。



- ・ 冷却システム技術開発では、モデル冷凍機の冷却試験を実施し、モデル冷凍機とサブクール液体窒素循環装置の組合せによる総合試験およびパッケージ化を実施した。その後 2MVA 級変圧器モデルと組み合わせた総合冷却試験を実施し、所定の効率で運転できることを検証した。
- ・ 超電導変圧器対応線材開発では、大電流巻線モデル用線材の安定製造技術を確立した。
- ・ 2MVA 級超電導変圧器モデル検証では、2MVA 級変圧器モデル用保冷容器の設計・製作、巻線製作、変圧器組立を行い、変圧器巻線性能試験を実施し、所定の性能を発揮することを検証した。その後冷却装置と組み合わせて超電導変圧器システムを構成し、課通電試験計画書に基づき性能試験、評価を実施し、所定の変換効率、変圧機能を発揮することを検証した。
- ・ 上記の成果を踏まえ 20MVA 級変圧器を設計した。

## (二) 「超電導電力機器用線材の技術開発」

- ・ 線材特性の把握では、平成 23 年度の研究開発を継続し、線材の超電導層の剥がれに代表される各種機器の特殊性に応じた耐性検討を行い、超電導層の剥がれについては基板と中間層、超電導層の密着力向上のための洗浄方法確立など、防止策の開発を行った。
- ・ 磁場中高  $I_c$  線材作製技術開発では、平成 23 年度までの研究開発を継続し、さらなる厚膜化及び人工ピン止め点導入技術開発を実施し、磁場中  $I_c$  特性向上 ( $107A/cm$ ,  $3T$ ,  $77K$ ) と長尺化( $100m$ )を両立して達成した。
- ・ 低損失線材作製技術開発では、平成 23 年度までの研究開発を継続し、高  $I_c$  化とともに幅方向及び長手方向のさらなる均一性向上技術及び切断・微細加工技術開発を実施し、2 ~  $4mm$  幅線材での特性向上 ( $565A/cm$ ) と  $5mm$  幅線材に対して 10 分割で特性低下を抑制するとともに長尺化 ( $120m$ ) を達成した。
- ・ 高強度・高  $J_e$  線材作製技術開発では、薄肉高強度化基板に対し、さらなる高  $I_c$  化技術を適用し、 $1GPa$  の引張強度を有する線材の高特性化 ( $300A/cm$ ) とともにさらなる高-工業的臨界電流密度 ( $J_e$ ) ( $300kA/cm^2$ ) 化とともに長尺化 ( $200m$ ) を達成した。
- ・ 低コスト・歩留向上技術開発では、さらなる高  $I_c$  化技術と高速化製造技術により  $1.6$  円/Am を達成した。

## (ホ) 「超電導電力機器の適用技術標準化」

- ・ 超電導線関連技術標準化では、イットリウム系を含む超電導線並びにその試験方法について技術調査を行うとともに、規格素案を作成した。また、イットリウム系超電導線材の短尺臨界電流測定方法に関するラウンドロビンテスト (RRT) を実施した。IEC/TC90 と連携し、超電導線試験方法に関連した WG に技術情報を提供した。
- ・ 超電導電力ケーブル関連技術の標準化では、イットリウム系を含む超電導線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た。IEC/TC90、IEC/TC20 及び国際大電力システム会議 CIGRE と連携し、CIGRE/WG の活動に試験方法項目等の技術情報を提供することにより CIGRE から試験方法のガイドラインが発行され、IEC/TC20、IEC/TC90 を中心としてジョイントタスクフォース(JTF)が設置されることになった。
- ・ その他超電導電力機器関連技術の標準化等では、イットリウム系を含む超電導線等を適用した超電導変圧器、SMES 等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た。IEC/TC90 西安会議をへて、IEC/TC90 と CIGRE D1 との間でリエゾン関係を結ぶことになり、国際合意醸成を行った。さらに、過去の超電導電力ケーブルに関する提案資料の調査を行い、また、関係機関へのヒアリング

等により最新の動向調査を行い、冷却システムの安全性、運用性を考慮した規制緩和に向けた提案資料を作成した。

- 超電導電力ケーブルおよび限流器技術について(株)三菱総合研究所を委託先として選定し、「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」調査を実施し、超電導ケーブルについて6ケース、超電導限流器について2ケースを適用可能性の高いケースとして選定し、それぞれ詳細な技術及びコスト評価を実施し報告書を作成した。

### 3. その他重要事項

#### (1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクトの事後評価を平成25年度に実施する。

「イットリウム系超電導電力機器技術開発」実施体制(平成 24 年度)

