

「次世代送電システムの
安全性・信頼性に係る実証研究」

事業原簿【公開版】

| | |
|-----|--|
| 担当部 | 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー部 |
|-----|--|

「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」事業原簿
～目次～

事業原簿概要

用語集

| | |
|------------------------------|------|
| 1. 事業の位置づけ・必要性について | 1-1 |
| 1. 事業の背景・目的・位置づけ | 1-1 |
| 1.1 背景 | 1-1 |
| 1.2 目的 | 1-1 |
| 2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 | 1-1 |
| 2.1 NEDOが関与することの意義 | 1-1 |
| 2.2 実施の効果（費用対効果） | 1-2 |
| | |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 2-1 |
| 1. 事業の目標 | 2-1 |
| 1.1 研究開発目標 | 2-1 |
| 1.2 研究開発項目毎の目標 | 2-1 |
| 1.2.1 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発 | 2-1 |
| 1.2.2 高効率・高耐久冷却システムの開発 | 2-2 |
| 1.2.3 早期復旧等の実用性向上のための対策検討 | 2-3 |
| 2. 事業の計画内容 | 2-5 |
| 2.1 研究開発の内容 | 2-5 |
| 2.1.1 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発 | 2-5 |
| 2.1.2 高効率・高耐久冷却システムの開発 | 2-14 |
| 2.1.3 早期復旧等の実用性向上のための対策検討 | 2-16 |
| 2.2 研究開発の実施体制 | 2-17 |
| 2.3 研究開発の運営管理 | 2-17 |
| 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性 | 2-20 |
| 3. 情勢変化への対応 | 2-21 |
| 3.1 基本計画変更について | 2-21 |
| 4. 評価に関する事項 | 2-23 |

【付録資料】

付録資料1 プロジェクト基本計画

付録資料2 技術戦略マップ

付録資料3 事前評価関連資料

付録資料4 特許リスト

付録資料5 発表・論文リスト

概 要

| | | | |
|----------------------------|--|----------|------------|
| | | 最終更新日 | 平成28年6月30日 |
| プログラム (又は施策)名 | | | |
| プロジェクト名 | 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究 | プロジェクト番号 | P14001 |
| 担当推進部/ PMまたは担当者 | 省エネルギー部/楠瀬 暢彦(平成26年4月~平成27年3月) 省エネルギー部/菱谷 清(平成27年4月~平成28年3月) | | |
| 0. 事業の概要 | 本プロジェクトでは、超電導ケーブルを実際の電力系統へ導入するために、通常時の安定性に加えて、不測の事故を想定した地絡・短絡事故試験等により、事故時に発生する現象の把握と冷却システム等への影響を検証する。また、その結果を踏まえて安全性、信頼性に関して最終的な検証試験を実施し、適切な試験方法を確立する。さらに、実際の電力系統で要求される高い信頼性を確保するために、冷却システムのさらなる高性能化、高耐久化開発を行い、実用化を加速する。 | | |
| 1. 事業の位置 付け・必要性 について | 日本再興戦略の中で、我が国の成長戦略の鍵として、科学技術イノベーション総合戦略の推進が挙げられている。超電導送電技術は、その科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一つとして位置付けられており、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な技術とされている。 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. 研究開発マネジメントについて | | | |
| 事業の目標 | <p>研究開発項目①「高温超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」</p> <p>超電導ケーブルシステムの安全性評価方法を確立するために、以下を開発目標とする。</p> <p>(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。 安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。 作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。 <p>(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全性評価の対象とする事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を完成する。 <p>研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」</p> <p>高効率・高耐久な冷却システムを実現するために、以下を開発目標とする。</p> <p>(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1. 8W/m/条 以下となること <p>(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOPが0.11以上となること、並びに、冷凍機本体及び主な冷却システム構成機器の保守・点検間隔を40,000時間以上とすることが可能なこと <p>(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標</p> | | |

| | | | | | |
|---|--|---------------------|--|--------------|-----------|
| | <ul style="list-style-type: none"> 多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の確立 多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の確立 多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の確立 <p>研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」</p> <ul style="list-style-type: none"> リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加するべき要素を定める。 復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとして完成する。 | | | | |
| 事業の計画内容 | 主な実施事項 | | H26 年度 | H27 年度 | H28 年度 |
| | 高温超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発 | 試験方法の検討 ・試験装置の開発 | 試験項目・方法検討 | 装置の開発 | 結果分析・評価 |
| | | 安全性評価試験 | 66kV 地絡 設計 システム製造 22kV 短絡 66kV 短絡 LN2 漏洩 真空低下 漏洩MH 線材、ケーブル製造 275kV 地絡 短絡 地絡 275kV 真空低下 事故時の冷却シミュレーション | | |
| | 高効率・高耐久冷却システムの開発 | 超電導ケーブルの侵入熱低減技術開発 | 設計 短尺試作 | 短尺評価 長尺試作 | 長尺評価 |
| | | 冷却システムの高効率化技術の開発 | 設置工事 単体試験 | 系統連携試験 | 加速試験 残存試験 |
| 冷却システム設計・制御技術の高度化 | | シミュレーションモデル検討 | シミュレーション方法確立 | シミュレーション技術確立 | |
| 早期復旧等の実用性向上のための対策検討 | | | | 設計開発 検証試験 | |
| 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 | H26 年度 | H27 年度 | 総額 | |
| | 一般会計 | — | — | — | |
| | 特別会計 (電源) | 139 | 218.5 | 357.5 | |
| | 開発成果促進財源 | — | — | — | |
| | 総予算額 | 139 | 218.5 | 357.5 | |
| | (委託) | — | — | — | |
| | (助成) : 助成率 1/2 | 139 | 218.5 | 357.5 | |
| (共同研究) : 負担率 △/□ | — | — | — | | |
| 開発体制 | 経産省担当原課 | 製造産業局 非鉄金属課 | | | |

| | | |
|--------------|---|---|
| | プロジェクト リーダー | 本庄 昇一 (東京電力株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 部長代理) |
| | 委託先 (委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載) | 【助成先】 ・東京電力株式会社 ・住友電気工業株式会社 (共同研究：早稲田大学) ・古河電気工業株式会社 ・株式会社フジクラ ・株式会社前川製作所 |
| 情勢変化への 対応 | <p>平成 27 年度までに行った超電導ケーブルの地絡に関する基礎試験、予備試験の結果から、安全防護策について、追加の検証が必要との結論に至り、H28 年度に最終目標である最終的な安全防護策の効果を確認するのが困難となった。</p> <p>また、H27 年度から実施予定であった「旭変電所における高効率・大容量冷凍機の実証試験」において、冷凍機のトラブルが発生しており、その解明に時間を要していることから、1 年間の実証運転・残存性能評価を含めた評価項目を H28 年度までに終えるのが困難であることが判明した。</p> <p>以上の理由を背景に、プロジェクトの実施期間の延長が必要であるとの結論に至り、H28 年度末に終了予定であった「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」を H27 年度末に終了させると共に、当初計画にて H28 年度以降に実施予定であった研究開発項目を、H28-H30 年度に実施する新プロジェクト「高温超電導実用化促進技術開発」に移行することとした。そのため、プロジェクト基本計画における事業期間と計画および最終目標の変更を行った</p> <p>研究開発項目①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」</p> <p>(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。 ・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。 ・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。 <p>(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全性評価の対象となる事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。 <p>研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」</p> <p>(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条以下となること。 <p>(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実運用を想定した条件で、冷却システム全体の COP が 0.11 以上となること。 <p>(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の検討を行う。 ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の検討を行う。 ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の検討を行う。 <p>研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」</p> | |

| | | |
|---------------|--|-----------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加するべき要素を検討する。 | |
| 中間評価結果への対応 | 当初計画から中間評価の実施予定なし | |
| 評価に関する事項 | 事前評価 | 平成26年に実施済（産業構造審議会産業技術環境分科会） |
| | 中間評価 | 当初計画から実施予定なし |
| | 事後評価 | 平成28年に実施予定 |
| 3. 研究開発成果について | <p>1. 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発</p> <p>(1) 計画立案と試験結果の分析</p> <p>超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性を検証するにあたり、想定される事故・故障を抽出すると共に、それらの人的被害、設備被害のレベルを考慮したリスクマップを作成し、安全性・信頼性に対する残された課題を抽出した。選定した事故時（短絡・地絡・外傷事故）に想定されるケーブル内の進展過程を細分化し、防護指針案を策定すると共に、試験における評価項目を明確化した。また、必要な評価を実施するための試験計画を立案した。</p> <p>(2) 短絡事故評価装置の開発</p> <p>66 kV級の超電導ケーブルでは、短絡試験評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び端末等の製造を行った。評価用ケーブルコアの臨界電流値が所定の性能（4.5～5kA）であることを確認した。また、評価用ケーブル及び端末、課電・通電システム、循環冷却システムと組合せ、評価装置システムとして住友電工の試験場内に完成させた。</p> <p>22 kV級の超電導ケーブルでは、評価用のケーブルを製造し、臨界電流値（20kA）、交流損失（5W/m@12kA）が所定の性能であることを確認した。また、63kA/0.6secと発生エネルギーが等価となるDC40kA/3secでの予備試験を行い、温度上昇が計算通りであることを確認した。</p> <p>275 kV級の超電導ケーブルでは、評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び断熱管並びにそのフランジ部の製造を完了させた。通電に関しては、大電流の等価試験として、直流通電試験準備を行い、瀋陽古河の試験場内に構築した。</p> <p>(3) 地絡事故模擬評価装置の開発</p> <p>66 kV級の超電導ケーブルでは、超電導ケーブルでの地絡試験は過去に例がないため、有識者とも協議し、検証フローを策定した。続いて、シートによる基礎試験、ケーブルコアによる予備試験を実施した。シートによる基礎試験にて、断熱管を貫通しない保護層構造を確認した。また、電流値によるアークエネルギー量を実測し、従来ケーブルと同レベルであることが判り、シミュレーションする際のパラメータとして活用する予定。ケーブルコアによる予備試験を実施したが、断熱管を貫通する結果となった。</p> <p>今後の課題として、以下を実施する予定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シート試験とケーブルコア試験の相違を考慮し、保護層の改善を行う。 ・ケーブルのコンパクト性を失わない、地絡電流レベルの確認を行っていく。 ・地絡事故が他相に影響し短絡事故に移行しないかの確認とその場合の対策検討を行う。 <p>275 kV級の超電導ケーブルでは地絡事故模擬試験およびその予備試験の条件を策定した。予備試験用の評価装置システムの仕様・構成を確定し、端末、冷媒容器および評価用ケーブルの製造を完了。評価用ケーブル及び端末、冷媒容器等と組み合わせ、評価装置システムとして完成させた。</p> | |

(4) ケーブル外傷事故時の評価装置の開発

66 kV 級の超電導ケーブルでは、真空度低下試験により短尺断熱管における真空度と侵入熱の相関を明らかにした。真空度が喪失すると、約 140W/m に侵入熱は増加する。40m 級断熱管と液体窒素循環システムを組合せた評価装置を構築した。

275 kV 級の超電導ケーブルでは、既存設備を活用して、真空度低下の評価システムを完成させた。

液体窒素漏えい試験では、基礎試験として液体窒素循環中にバルブをあげ、漏えい量の計測を行い、シミュレーション結果と一致することを確認した。

(5) シミュレーション技術の開発

超電導ケーブルに、短絡電流が流れた場合の冷媒の温度、圧力の変化をシミュレーションでできる計算コードを構築し、66kV 試験での温度、圧力の挙動をシミュレーションし短絡試験結果と計算結果の比較検討を行った。

(6) 国際標準化に向けた活動

イタリア RSE と情報交換を実施。ISS, EUCAS 等の国際学会で報告を実施。CIGRE D1.64, 2016 の Working group が 2016 年発足予定である。委員として超電導ケーブルの安全性・信頼性に係る試験項目、試験内容を報告する機会を得た。なお、国内では電気学会「極低温環境下の電気絶縁技術」調査専門委員会が 2015 年 10 月より発足し、研究成果を報告する機会を得ている。

2. 安全性評価試験による影響検証

(1) 短絡事故模擬試験

66 kV 級の超電導ケーブルでは、評価システムを用いて、液体窒素を循環したケーブルに、最大 28.5kA/0.6sec までの短絡電流流し、温度・圧力の変化を測定した。温度上昇の最大は 2K、圧力上昇は約 20kPa であった。温度上昇については、シミュレーションとよく一致することを確認した。圧力変化については瞬間的であり、フォーマ内部に入り込んだ液体窒素が蒸発することにより圧力上昇したと推定する。その後の変化については、シミュレーションと一致している。

22kV 級では、10m 級の短絡事故評価装置を完成させ、試験を実施する。

275 kV 級の超電導ケーブルでは短絡を模擬した実験データの収集・解析を行った。シミュレーション結果を導出し、対比が可能な状態とした。

これらの試験結果をシミュレーションへフィードバックさせるとともに、実規模レベルの長尺ケーブルでの短絡電流通過時の挙動を計算し、対策等を検討する。

(2) 地絡事故模擬試験

66kV 級の超電導ケーブル地絡事故模擬試験の結果については 1. (3) に記載。

275 kV 級の超電導ケーブルでは、短絡発電機を有している試験所で 275kV 級ケーブル地絡事故予備試験の実施、評価項目の測定、試験結果の分析を行った。現時点で、20kA 3 サイクルまでの地絡電流で液体窒素が噴出ししない条件まで導出した。

(3) ケーブル外傷事故時の影響検討

66 kV 級の超電導ケーブルでは、断熱管の真空度低下試験を構築した試験装置を用いて実施した。断熱管の真空度を喪失させ、温度、圧力の変化を計測し、シミュレーションと一致する

ことを確認した。温度、圧力の変化は急激なものではないが、安全弁動作などを引き起こす可能性があり、今後対応を検討する必要がある。

275 kV級の超電導ケーブルでは、サブクール窒素を循環中に真空断熱管の真空度を下げて、液体窒素の循環の変化を把握した。20mであればサブクール循環は可能であった。さらに、冷却循環故障模擬として、真空度が10Pa程度と悪化させた状態と真空が完全に壊れた場合に63kA-0.6secのエネルギーを投入した。その結果、サブクール状態を維持したため温度変化、圧力変化の大きさは高真空時と変わらなかった。

3. 高効率・高耐久冷却システムの開発

(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発

66 kV級の超電導ケーブルでは、短尺での断熱管を試作し、断熱層部分の温度分布を測定し、熱伝導から熱輻射が支配的になるように、使用する断熱材の種類や積層枚数を変更した。改良後の断熱構造で40m級の断熱管を製造し、侵入熱を評価した。ケーブルコアがない状態ではあるが、実測値は1.1~1.5 W/mであり、目標以下となる目途を得ることができた。

275 kV級の超電導ケーブルでは、真空断熱管を作製し、液体窒素の蒸発量により侵入熱を評価する。まず、長さ5mの真空断熱管を作製し、真空部の断熱材の材料を変えることができ、液体窒素を封入して、その蒸発量により侵入熱を評価できるシステムを完成した。

(2) 冷却システムの高効率化技術の開発

ブレイトン冷却システムを旭変電所に移設し冷却システムの単体試験を行い、健全性を確認すると共に冷却能力が工場試験と同等(5kW以上)であることを確認した。

主要機器の故障模擬切り替えを行い、主要機器が故障しても循環運転が継続できることを確認した。また、停電模擬で60分以内の停電は、再起動可能であることを確認した。冷凍機故障模擬試験では、自動でサブクーラによるバックアップが可能であることを確認した。

回転機の周辺機器の信頼性に関する新たな課題の対策を行い、信頼性向上を図った。本対策を実施したことで、実証開始に遅れが生じた(プロジェクト終了後に別途計画)。

残された課題としては、超電導ケーブルとの組合せ試験を経て、長期間の実系統実証試験の実施および、実証試験後、限界性能(COP評価)・信頼性(40000時間)確認を行なうことである。

(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化

発電所引出し線の冷却システムの課題を抽出し、シミュレーションモデルを作成した。開発したモデルにて、超電導ケーブルの圧力損失や各部温度がケーブル設計と一致することを確認した。

今後、開発したモデルを用いて、間欠かつ過渡的な熱負荷における蓄熱槽の蓄熱効果や短絡時の影響を検討する必要がある。

| | |
|----------------------|--|
| 投稿論文 | 「査読付き」8件、「その他」18件 |
| 特許 | 「出願済」3件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願1件) |
| その他の外部発表 (プレス発表等) | 超電導 Web21、電気評論、重化学工業通信社 新エネルギー新報、日経産業新聞、日経BP社等 全8件 |

| | | |
|-----------------------|---|--|
| <p>4. 実用化の見通しについて</p> | <p>超電導ケーブルの最も有効な適用例は、現在 275kV の地中ケーブルで構成される基幹系の電力送電網への導入である。(以降、代表的な呼び名として「都内導入系統」と表記する。)電力需要の増加に伴い遠方大規模電源を増強する際には、それに合わせて 275kV 系の都内導入系統も拡充する事となる。これを既存の 275kV ケーブルで構築しようとする、新たに洞道(最低でも内径 2.1m)の建設が必要である。しかしながら、特に都内においては地下空間に他の公共インフラ等が集中しており、新たな洞道を建設することが非常に困難になっている。これに対して超電導ケーブル技術を適用すると、既存 275kV ケーブルと同容量の電力を内径 150mm の既設管路に収容可能な 66kV 超電導ケーブルで構築可能である。従って、超電導ケーブルを適用することで洞道新設が不要となり、また既設管路の有効活用も可能なため、建設コストを大幅に低減できる。また超電導ケーブルは非常に低損失であるため冷却に必要な電力を考慮しても、送電ロスを半分程度まで低減でき、CO₂削減が可能となる。</p> <p>別の適用例は経年化した既存 OF ケーブルの代替である。既存の 154kV 変電所・地中送電線は、今後老朽化対策および増容量対策が必要となるが、CV ケーブルで対応する場合にはケーブル容量の制約から既存 OF ケーブルより大径化するので、既設ケーブルを収容している管路の活用はできず、新たな洞道建設が必要となる。これに対して超電導ケーブル技術を活用すると、66kV 超電導ケーブルで大容量化に対応できるうえに既設管路の再利用も可能で、大幅なコストダウンと CO₂削減が可能である。</p> <p>経年化した 154kV および 275kV の POF ケーブルの取替策として、CV ケーブルでの代替が検討されているが、CV ケーブルは POF ケーブルに比べて容量が小さいため、CV ケーブルを用いる場合には回線数を増加させる必要がある。この場合、既存洞道が回線増に対応可能かどうかなど様々な課題をクリアする必要がある。大容量送電が可能な 275kV 用の超電導ケーブルを活用すれば、既設 POF ケーブルと同容量の電力を、回線数を増やすことなく、単純にリプレースとして更新できる。さらに POF ケーブルは送電容量確保のために油循環冷却システムと冷却ステーションを備えており、この冷却ステーションのスペースを有効利用して超電導ケーブル用冷却システムを構築可能である。</p> <p>上記の他、発電所の引出口(発電機～変圧器間)などの大電流が流れる部分には、内部水冷ケーブルや GIL (ガス絶縁式送電ライン)などの大容量ケーブルが用いられている。これらは大容量であるために既存 CV ケーブルでの置き換えが困難で、経年後の代替策に苦慮しているのが実態である。コンパクトで大容量送電が可能な超電導ケーブルは、これら既設大容量ケーブルの代替策として早期の実用化が要望されている。</p> | |
| <p>5. 基本計画に関する事項</p> | <p>作成時期</p> | <p>平成 26 年 1 月 作成</p> <p>平成 28 年 3 月 改定 <変更内容> 平成 26 年から 28 年の 3 年事業として進めていたが、ケーブルシステムの不測の事故を想定した評価において、予想を超える課題が確認されたこと及び冷凍機の不具合対応に多大な時間を要したことにより本事業を 2 年間で一端終了し、成果、課題をまとめ、改めて次期プロジェクトで仕切り直しを図ることに決定した。</p> |

用語集

| 索引 | 項目 | 解説 |
|----|-------------------------------------|--|
| B | Bi2223 銀シース線材 | Bi2Sr2Ca2Cu3O10+d を用いた超電導線材。母材として銀を用いている。超電導臨界温度は-163℃ (110K)。 |
| C | CIGRE | 国際電力大会議 |
| | CO2 排出係数 | 1kWh 当たりの電力量を発電するのに、CO2 排出量がどの程度となるかを示す係数。単位は、kg-CO2/kWh が多く用いられる。 |
| | COP | 成績件数 (Coefficient Of Performance) とは冷凍量/所要動力で表される。 |
| | CV ケーブル | Cross linked polyethylene Vinyl cable。架橋ポリエチレンを絶縁体とし、外側に遮蔽層と防食層を設けた乾式ケーブル。 |
| D | DI-BSCCO 線材 | 従来の焼結工程を見直し、高圧焼結することにより臨界電流、歩留まり、製作単長などを飛躍的に向上させた Bi2223 高温超電導線材の商品名。 |
| F | FMEA (Failure Mode Effect Analysis) | 故障・不具合の防止を目的とした、潜在的な故障・不具合の体系的なボトムアップによる分析方法。製品設計段階における設計 FMEA と、製造工程設計段階における工程 FMEA に分けられる。 |
| | FRP ブッシング | 端末などの電流導入部 (電流リードなど) の絶縁に用いられる管状絶縁物のこと。絶縁材料として FRP を採用しており、極低温雰囲気での耐久性に優れる。 |
| | FTA (Fault Tree Analysis) | 発生原因の潜在危険を論理的にたどって発生頻度を分析し、それぞれの発生確率を加算する故障・事故分析手法。望ましくない事象に対し、その要因を探るトップダウンの解析手法を特徴とする。これは、類似の故障モード影響解析の手法 FMEA とは逆の取り組みである。 |
| G | GIS | Gas Insulated Switch gear。絶縁性能の高い六フッ化硫黄ガスを使用したガス遮断器。空気絶縁の場合に比べ、用地面積は少なくて済むが、工事費は高くなる。 |
| I | IEC | 国際電気規格 |
| J | JIS 圧力容器規格 | 強制定法規における技術基準として制定され、JIS B8265m JIS B8266 を中心に整備された J I S 圧力容器規格体系のことをいう。 |
| L | LIWV | →雷インパルス耐電圧値。 |
| N | n 値 | 超電導線材の電流-電圧特性を、電流を横軸として両対数グラフ化した場合の傾き。n 値が大きいほど、電流の増加に伴う電圧の発生が急激に起こる。 |
| O | OF ケーブル | Oil-Filled cable。導体上に絶縁紙を巻き、外側に金属シースと防食層を設けたケーブル。金属シース内部に低粘度の絶縁油を脱気脱湿状態で充填して使用する。 |
| P | PAS | IEC における公開仕様書 |
| | PID 制御 | フィードバック制御のひとつ。目標値と制御量の差を偏差値とし、偏差値の大きさに比例 (proportional) した動作 (P 動作)、偏差値の積分 (integral) に比例した動作 (I 動作)、偏差の変化量 (differential) に比例した動作を組み合わせる制御。 |
| | PID 制御用コントローラ | 制御目標値と制御量の差である制御偏差を打ち消すために行なう動作を制御動作と言い、その基本動作に PID 動作がある。P は比例動作、I は積分動作、D は微分動作を表す。これらの制御を行なう機器を PID 制御用コントローラと呼ぶ。 |
| | PLC | プログラマブルコントローラの略。リレー回路の代替装置として開発された制御装置であり、工場などの自動機械の制御に使われるほか、エレベーター・自動ドなど身近な機械の制御にも幅広く使用されている。 |

| | | |
|---|------------------------|---|
| | POF ケーブル | パイプタイプ OF ケーブル。一般的に鋼管などのパイプに OF ケーブルを引き込み、絶縁油を充填、循環させる電力ケーブル。 |
| | PPLP | 熔融押出ポリプロピレン (PP) フィルムの両側をクラフト紙でサンドイッチした構造をしている。その優れた絶縁破壊特性と低誘電率、低 $\tan \delta$ により低誘電損失特性を有し、数多くの AC および DC 超高压ケーブル用絶縁材料として採用されている。 |
| | PV 値 | PV 値 (Process Value) とはフィードバック制御における制御対象となる値を指す。温度制御ならば対象となる場所の温度となる。 |
| T | $\tan \delta$ | 電気機器に使用する絶縁物に交流電圧を印可すると、絶縁体の漏れ電流による損失、誘電分極にもとづく損失及び部分放電にもとづく損失などが生ずる。このような損失分の電流位相は、理想的な絶縁物に流れる無損失電流より遅れる。その遅れ角 δ の正接を $\tan \delta$ (誘電正接) とよぶ。 $\tan \delta$ 値は絶縁物の寸法や、形状に無関係の誘電体損失の大小を表す指標として、絶縁物の吸湿、乾燥、汚損、ボイドの状態などの絶縁の性状、あるいは劣化の程度を判断する値として使用されており、 $\tan \delta$ 試験は絶縁材料、特に電力機器の絶縁試験の重要な試験項目である。 |
| | Technical Committee 20 | 国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) 内に設置される CV ケーブルなどの既存ケーブルの標準化を議論する委員会。TC20。超電導関連の標準化委員会は TC90。 |
| | TS | IEC における技術仕様書 |
| | TypeACT 線材 | 住友電工製の Bi2223 線材の呼称。超電導フィラメントに撚りが加えられているツイスト線材であり、銀シース線材の両面が金属テープにより補強されている。 |
| | TypeHT 線材 | 住友電工製の Bi2223 線材の呼称。超電導フィラメントに撚りが加えられていない線材であり、銀シース線材の両面が金属テープにより補強されている。 |
| U | UPS | Uninterruptible Power Supply。入力電源に停電などの異常が発生しても、一定時間は停電することなく電力を供給し続ける電源装置。無停電電源装置。 |
| あ | アンカーボルト | 構造部材 (木材や鋼材) もしくは設備機器などを固定するために、コンクリートに埋め込んで使用するボルトのことを指す。アンカーボルトは、引張りやせん断に抵抗することによって、コンクリートに取り付けられた構造部材 (木材や鋼材) もしくは設備機器が、分離・浮遊・移動・転倒することを防ぐ役割をもつ。 |
| | 安全弁 | ガスや蒸気などの配管や容器において爆発を防ぐための安全機構を有する弁。密閉した容器などで内圧が上がりそのまま圧力上昇すると内圧のため容器が破損する。このような爆発をさけるために安全弁が使用され、容器の内圧が上がり過ぎないようにする治具。 |
| い | イットリウム線材 | YBCO あるいは ReBCO (Re: 希土類元素) の超電導材料で作られた線材。一般的に、テープ状であり、超電導部分は薄膜形状になっており、薄膜線材ともいわれている。 |
| | インピーダンス | 直流におけるオームの法則の電気抵抗の概念を複素数に拡張し、交流に適用したもの。インピーダンスにおいて、その実部 (Re) をレジスタンス (resistance) または抵抗成分、虚部 (Im) をリアクタンス (reactance) と呼ぶ。 |
| | 受入試験 | 出荷製品が「形式試験供試品と同等の製造・品質管理状態であることを確認」するために行うもの。出荷試験と同義。 ここで形式試験とは、ある形式製品の設計・製造および施工方法を「認定」するために行うものである。 |
| う | 渦電流損失 | 電磁誘導により発生する渦電流によって生じるジュール損失。 |

| | | |
|---|-------------|--|
| え | 液体窒素循環ポンプ | 超電導ケーブルシステムへ、冷却された液体窒素を供給するためのポンプ。単に窒素循環ポンプ、あるいは循環ポンプと記載している場合がある。 |
| | 液体窒素循環冷却 | 被冷却体を冷却する1手法。冷凍機などで冷却された液体窒素を循環ポンプにより被冷却体に圧送し、液体窒素と被冷却体で熱交換を行うことにより冷却を行う。熱交換により温度の上昇した液体窒素は再び冷凍機などに圧送され、その温度は再び低下する。この循環サイクル回路を形成することにより、冷媒は蒸発することなく閉ループ循環を続けることができ、液の補給が不要であるという特徴を有する。 |
| お | オフセット | 一般的には基準となるある点からの相対的な位置のことである。この場合ケーブル3心よりの状態と3芯に相関距離を設けた状態の位置関係をさす。 |
| | オープン容器 | 浸漬冷却を行うため、冷媒を大気開放で貯液するための容器。 |
| か | 碍子 | 電線とその支持物とのあいだを絶縁するために用いる器具。 |
| | 回線 | 電力輸送を行う単位となる導体または導体系。例えば、三相交流では、3つの導体を1回線という。 |
| | 回線延長 | 回線ごとの起点から終点までの線路長の合計。 |
| | 開発試験 | 開発品の設計・製造および施工方法が、「実用可能であることを実証する」ために行うものである。 |
| | 開閉サージ | 電源、開閉器、ケーブルおよび架空線が種々組み合わせられた線路に電源、負荷の開閉によって発生し進行する異常電圧または電流。 |
| | 架空線 | 主に空気を絶縁体とした送電線路で、雷撃により雷サージの発生する可能性のある線路。 |
| | 片端接地 | 高压ケーブルの片端でしゃへい層を接地する方式。電流が流れないためシース損失はゼロとなるが、サージが侵入した際開放端に異常電圧が生じる恐れがあり、避雷器などでその抑制を行う。 |
| | 過電圧 | 常規商用周波運転電圧を超えて発生する電圧。雷過電圧と開閉過電圧がある。 |
| | 可とうシールド管 | 液体窒素中で編素線部にシールドを取り付ける必要がある、熱収縮によりシールド部分に機械力が働くことを考慮して伸縮構造を持つフレキ管をシールドとしたもの。 |
| | 過負荷 | 定格容量を超えた負荷。 |
| | (変圧器) 過負荷運転 | (変圧器の) 定格容量以上の負荷送電を行なう運転の事。 |
| | 過負荷電流 | 定格電流を超えた電流。 |
| | 過冷却 | 過冷却 (sub-cool) とは沸点と凝固点の間の液体の状態を指す。液体窒素では大気圧下で 77K から 63K の間となる。 |
| | 間接冷却方式 | 冷却システムにおいて、冷媒がブラインと呼ばれる不凍液を冷却し、これを介して目的物を冷却する方式。 |
| | 管路 | 主に地中に埋設されて活用される、ケーブルを収容するための管状の部材。ケーブルの引き入れや引き抜きを容易にし、布設後は外傷防止の役目を果たす。 |
| き | 逆フラッシュオーバ | 鉄塔または架空地線が雷撃を受け、鉄塔の電位が著しく上昇して、鉄塔から電力線へフラッシュオーバすること。 |
| | 銀安定化層 | 超電導線材において超電導状態が維持できなくなった際の電流分流の役割を担う。また、超電導体そのものを機械的に保護する役目をもつ。 |

| | | |
|---|-----------------------|---|
| く | 鞍型ピックアップコイル法 | 超電導線材の磁化損失測定に用いられるピックアップコイルの一種。線材面に平行な磁場に対する測定に用いられる。テープの一部分を囲む直方体面上にピックアップコイルを巻き、その面上での電界を測定することにより、マグネット磁界と合わせてポインティングベクトルを求めて、損失を算出する。 |
| | クラフト紙 | OFケーブルの主絶縁材料として通常は絶縁油を含浸して使用する電気絶縁強度の高い絶縁紙。超電導ケーブルにおいて液体窒素含浸条件下で使用しても高い絶縁強度を有する。 |
| け | 軽故障 | 重故障には満たないが、想定し得る運転状況からの逸脱を検知して発信される故障情報。 |
| | 系統事故 | 地絡事故、短絡事故、断線、またはそれらが複合したことにより、線路または機器が送電不能に陥ること。通常、事故区間が遮断され系統全体は保護される。 |
| | ケーブル | 一般的には、電力用ケーブル、通信用ケーブル等の総称だが、前後の文脈から明らかな場合は、超電導ケーブルを単にケーブルと表記している場合がある。 |
| | ケーブルコア | 超電導ケーブル断熱管内に挿入されるコア。主に、導体層、絶縁層、シールド層から構成される。 |
| | ケーブルドラム | 運搬及び保管のためケーブルを巻き取る装置。巻わく。 |
| | ケーブル保護リレー(Ry) | 旭変電所の実証ケーブルシステム内での電氣的故障を検出するための電流差動式リレー。 |
| こ | 高温超電導体 | 1986年以降に発見された酸化物を中心とした超電導材料の総称。それ以前の超電導体の使用が液体ヘリウム温度で行われていたことに対して、高温超電導材料は液体窒素にて超電導特性を示すことから、相対的な意味で「高温」と名づけられた。 |
| | 更新需要 | 電力ケーブルなどにおいて、その寿命が近づいてきたことにより、新規ケーブルと代替する必要がある。その需要をさす。 |
| | 後備保護リレー | 何らかの原因により主保護継電器で事故線路の遮断ができなかった場合に動作する保護継電器。事故による停電範囲は主保護よりも拡大するので、動作時間は主保護よりも遅れるように整定される。 |
| | 交流損失 | 超電導線材・導体に発生する損失。直流通電のみであれば超電導状態であれば抵抗がゼロであるため、損失は発生しないが、交流通電（交流磁界）を行なった場合には、ヒステリシス損失、渦電流損失、結合損失などの損失が発生する。これらの損失をまとめて交流損失と呼んでいる。 |
| | 交流抵抗 | 導体に交流電流を流した場合の実効抵抗。銅導体の場合は同じ電流値の直流を流した場合よりも表皮効果及び近接効果によって電気抵抗が高くなる。 |
| | 故障モード | 超電導ケーブル、冷却システムに発生する故障、トラブルの進展状況により分類した形態。 |
| さ | サージ | 電線路あるいは、電気所母線を進行する電圧または電流。過渡的な過電圧や過電流全般。 |
| | サージインピーダンス | 雷サージや開閉サージなどの電流、電圧を関係づけるインピーダンス。系統のインダクタンス、静電容量をそれぞれL,Cとすると $\sqrt{L/C}$ で表される。 |
| | サージインピーダンスローディング(SIL) | 送電線内での無効電力の発生と消費がバランスする送電電力のこと。 |
| | 最高使用電圧 | 運用時にケーブルにかけられる電圧の最大値。 |
| | 再送電 | 短絡あるいは地絡事故が発生した際に、事故点を遮断した後に再び送電を開始すること。 |

| | | |
|---|----------|--|
| | サブクール度 | 液体窒素飽和温度と過冷却液体窒素温度の差 |
| | 三心一括型 | 3つのケーブルコア（導体、絶縁体、シールド等からなる）が一つの断熱管の中に収納された超電導ケーブルの構造 |
| | 三相同軸型 | 3つの導体が同軸上に形成されたもので、各導体間には電気絶縁層が介在する。この導体が一つの断熱管の中に収納された超電導ケーブルの構造。 |
| | 残存性能 | 長期試験などを経験したケーブルが最終的に示す性能。初期との性能比較で、経年による劣化の有無を確認する。 |
| し | シーケンス | 機器を自動制御する際の、あらかじめ設定しておく動作の順序。 |
| | シールド | 導体層に通電した際に発生する磁場を外部に漏らさないように、導体層と逆位相の電流を誘起させる層のこと。 |
| | 磁化損失 | 超電導線材に交流外部磁界を印加したときに生じる損失。 |
| | 軸方向磁場 | 超電導ケーブルの長手方向に発生する磁場。超電導層を形成する際に、超電導線材を芯材に対してスパイラル形状に巻付けるため、通電時に径方向だけでなく軸方向にも磁場が発生する。 |
| | 試験法 | ケーブルなどの製品や部品の品質を確認するための試験の方法。 |
| | 事故点 | 線路に発生した絶縁破壊点、もしくはその点を含む切り離し可能な線路区間。早期の事故復旧に関わるものは后者である。 |
| | 事故電流 | 系統事故に伴って流れる異常電流。短絡電流と地絡電流に大別される。 |
| | 実系統 | 実際に電力が送電されている電力系統 |
| | 遮断器 | 電力系統において、負荷電流や事故電流を遮断する能力を有する開閉器で、遮断方式により、ガス遮断器、空気遮断器などの種類がある。 |
| | 遮断失敗 | 遮断器が何らかの原因により遮断できなくなる現象。 |
| | 遮蔽電流 | 遮蔽層（シース層）を両端接地した際、導体電流により誘導される電流。 |
| | 終端接続部 | ケーブルの端が気中リード線と接続できるように接続端子を備えた接続箱。ケーブルヘッド。CH。超電導分野での通称は、「端末」。ただし、「端末」はケーブルの切断面に施す防水キャップの意で使用されることもあるので注意が必要。 |
| | 出荷試験 | →受入試験 |
| | 主保護リレー | 電力系統は何重にも組み合わせた保護継電器（リレー）によって保護されている。主保護継電器は、ある保護区間内に発生した事故に対し、一番目に動作するよう整定された保護継電器。 |
| | 竣工試験 | 出荷試験に合格した製品が現地布設されるまでの間に、外傷や過度のわん曲などが原因で、設備が備えるべき性能を損なっていないか確認する試験。電気設備技術基準の解釈に基づいて行う電気試験も含む。 |
| | 昇温 | 冷却を停止し、系内の温度を上昇させること。 |
| | 真空断熱 | 熱の伝導のうち気体の対流熱伝導を抑制するため、断熱層を真空状態にする断熱方式。一般的には放射熱伝導を抑制するためのスーパーインシュレーション（多層断熱材）と組み合わせられて利用される。 |
| | 浸漬冷却 | 液体窒素等の冷媒中に冷却対象物をそのまま浸して冷却すること。 |
| | 振動レベル | 振動加速度の実効値に対し、人体感覚に基づく補正を行い得られる値。 単位はデシベル。単位記号は dB。 |
| | 振動加速度レベル | 振動の物理的なエネルギーの大きさを示す量で、単位はデシベル。単位記号は dB。 |

| | | |
|---|-----------|---|
| | 侵入熱 | 超電導ケーブルの断熱管外部（室温部）から内部に侵入する熱。超電導ケーブルでは侵入熱を抑えるため、二重のSUSコルゲート管の間を真空引きし、伝熱を抑えるとともに、スーパーインシュレーションと呼ばれる熱絶縁体を巻き付けて、輻射に伴う侵入熱の低減を行なう。 |
| | 重故障 | 超電導ケーブル運転に重大な影響を及ぼす異常を検知して発信される故障情報。 |
| | 重潮流 | 定格電力に近い電力の流れ。 |
| | 従来ケーブル | 既に実用化されている電力ケーブル。CVケーブル、OFケーブル、POFケーブルなどがある。 |
| | ジュール損失 | 電気抵抗×（電流の2乗）であらわされる発熱量。 |
| | 需給運用 | 時々刻々変動する需要に対し、常に供給力を確保して需要と供給力の均衡を図り、火力発電、原子力発電などの供給力を総合的に組み合わせて信頼性および経済性の高い運用を行う一連の業務。 |
| | 寿命指数 | 課電電圧に対する長期劣化特性を評価できる、ケーブル構造に依存する指標。CVケーブルやOFケーブルに代表される従来のケーブルの長期破壊特性は、課電電界（kV/mm）のn乗と課電時間（H）の積が一定になる特徴がある。ここでのnが寿命指数と定義される。 |
| | ジョイント | 中間接続部と同意。 |
| | 常温絶縁タイプ | 超電導ケーブルの構造で、冷媒で冷却される部分が導体部だけであり、その上に断熱層、次に電気絶縁層、遮蔽層が形成されるケーブル。電気絶縁層は断熱層の外側にあるので、常温に置かれている。 |
| | 冗長 | 機器の信頼性を高める方策のひとつ。冗長とは複数の機器を用意しておくことで、待機冗長と切り替え冗長がある。待機冗長は機器が故障した際に予備機を稼動し、この間に故障機を整備する方式。切り替え冗長は定期的に機器を切り替え停止機を整備しておく方式。 |
| | 常電導 | 通常の金属など、有限の抵抗をもつ導体。超電導が電気抵抗ゼロであることに対する単語。 |
| | 常電導シールド層 | 銅などの常電導材料を用いて超電導シールド層に対して並列に設けられる層。事故電流が流れた際のバイパス回路の役割を担う。 |
| す | 水力発電所 | 水の落下エネルギーを用いて発電する施設。一般的には水車を用いた発電機、発生した電力を所定の電圧に変換し送電するための変圧器などで構成される。 |
| | スターリング冷凍機 | 冷凍機の種類。空間の常温側端に断熱圧縮を行うピストン、中間に蓄熱器、他端の低温側に断熱膨張を行うピストンを有する。両端のピストンが位相をずらして駆動されることで冷凍サイクルを構成する。理論的な効率は理想サイクルといわれるカルノーサイクルと等しく高効率であり、小型化が容易である。 |
| | ストレスコーン | 高圧ケーブルの終端接続部において電界の集中を緩和させ、絶縁耐力を維持するために、遮へい層をコーン状にした部分。 |
| せ | 整定値 | 保護リレーを動作させるためのしきい値。電圧、電流、抵抗、タイマー等の数値をリレーに設定する。 |
| | 整定変更 | 電力系統構成の変更に伴って、リレー等の整定値を変更すること。 |
| | 接続抵抗 | ケーブル超電導線材と中間接続部の縦添え超電導線材との接続は半田を使用している。その接続に伴う常電導抵抗を示す。 |
| | 線材の負荷率 | 超電導線材の臨界電流（Ic）と通電電流（It）の比（It/Ic）によって定義される値。交流通電時には、電流のピーク値（Ip）を用いて、Ip/Icで定義される。 |

| | | |
|---|----------|---|
| そ | 送電損失 | 電力ケーブルが電力を輸送する際に発生する損失。超電導ケーブルの場合、ケーブルの交流損失、絶縁体の誘電損失、断熱管の侵入熱などが上げられる。また、それらの損失は極低温で発生するが、それを冷却するための動力が必要。一般に、その損失をCOPで割った値を送電損失としている。 |
| | 相分離母線 | IPB(Isolated Phase Bus)とも呼ばれ、主に発電所引き出し線に用いられる。相毎に独立した金属外被(アルミニウム製)で密封されており相間短絡を起こさない。外被内の導体は碍子で支持され、電流が大きい場合内部は強制風冷されることもある。 |
| | 相隔離 | 3相交流送電の、各相ケーブル間の距離。 |
| | 送電容量 | ケーブルが送電する電力(MVA)。三相交流の場合、相間電圧×電流× $\sqrt{3}$ で表される。 |
| | 素線絶縁銅撚り線 | 通常の銅撚り線に対して、素線(銅線)一本一本に絶縁を施したうえで撚った銅線のこと。 |
| た | 耐圧特性 | 耐圧力特性。容器、ケーブルなどが、内部圧力に対して示す特性。 |
| | 対地定格電圧 | 接地式線路において、高压部と大地(アース)間の電圧を対地電圧、線路の定格送電時に印加される電圧を対地定格電圧という。 |
| | たけのこ処理 | タケノコの皮をはがすように超電導ケーブル終端を段々に処理していく方法。 |
| | 単心型 | 超電導ケーブルの構造において、一つのケーブルコアが、一つの断熱管の中に収納されているもの。 |
| | 単体運転 | ケーブルを通さず、模擬負荷ヒータを使用し、冷却システムのみで運転することを指す。 |
| | 断熱管 | ケーブル外部から液体窒素槽への熱侵入を防ぐ役割を担う。一般に、金属製の二重管の間にスーパーインシュレーションなどを用いた断熱層を設け、さらに高真空に保つことで熱侵入を低減する。 |
| | 断熱効率 | 損失を含んだ実際のターボ圧縮機またはターボ膨張機の仕事と断熱変化時の理想的な仕事の比。 |
| | 端末 | 終端接続部と同意 |
| | 端末容器 | 液体窒素を内蔵する容器と、液体窒素を内蔵した容器を真空断熱するために密封する構造を有した容器からなる2重容器のこと。 |
| | 短絡事故 | 交流送電の3相の内、2相が導通して起こる電気事故。 |
| | 短絡電流 | 電力系統の任意の地点において短絡事故が発生した場合に流れる事故電流。 |
| | 短絡発電機 | 短絡事故を模擬した大電流を発生するための試験設備。 |
| | 断路器 | 電力系統において、無負荷状態で電圧を開閉するために使用される開閉器で、通常は遮断器の前後に設置される。基本的に電流の開閉機能はない。 |
| ち | 窒素 | 分子量28の2原子分子。大気の8割を占め、空気中から分離採取される。沸点77K、凝固点63Kであり、高温超電導体の冷却に広く用いられる。 |
| | 窒素循環ポンプ | 冷却に用いる液体窒素は冷凍機を出て超電導ケーブル内を通過して冷凍機に戻り、再び系内を循環する。このためのポンプを窒素循環ポンプと称する。脈動を防ぐため遠心式ポンプが用いられ、駆動のためのモータは熱侵入を低減するため長軸でポンプ本体と接続される。 |
| | 中間接続部 | 電力送電線路として長尺のケーブルシステムでは製造面・輸送面よりケーブル長に制約がある場合が多くそこで数百mおきにケーブルを接続する必要がある。そのために必要となる超電導ケーブル同士をマンホール内にて接続するための機器。 |

| | | |
|---|----------|--|
| | 調相設備 | 無効電力の調整で送電線の力率を改善し受電側での電圧制御を行うための設備。 |
| | 超電導シールド層 | 導体層が発生する磁場を遮蔽するために、主に絶縁層の外側に超電導線材を用いて設けられる層。両端末で三相を短絡することにより、導体層に対して位相が反転した電流が誘導され、磁気遮蔽を可能とする。 |
| | 超電導導体 | ある条件の下で電気抵抗がゼロとなる物質。ある条件とは臨界温度、臨界磁場、臨界電流密度を超えない範囲を指す。超電導体は、完全導電性、完全反磁性（マイスナー効果）、磁束の量子化、ジョセフソン効果などの他に類を見ない特性を示すため、省エネルギー技術など様々な応用が期待されている。また、高温超電導は 25 K（ケルビンは絶対温度の単位で、0K=-273℃）以上に臨界温度をもつ物質で、主に銅酸化物系材料である。 |
| | 潮流 | 電力の流れ。 |
| | 貯液 | 液体窒素を系内に供給し、貯めること。 |
| | 直接冷却方式 | 冷却システムにおいて、冷媒が直接被冷却物を冷やす方式。 |
| | 直流抵抗 | 導体に直流電流を流した場合の実効抵抗。 |
| | 地絡事故 | 送電中の充電部とアース部が導通して起こる電気事故。一般に、短絡電流より電流値は小さい。 |
| つ | ツイスト線材 | Bi2223 線材において、超電導フィラメントに撚りが加えられている線材。 |
| | 通電損失 | 超電導線材に交流電流を流したときに発生する損失。 |
| | 通電用 CT | 電力機器に通電を実施する際に用いられる変流器。 |
| て | 低温脆性 | 室温付近又はそれ以下の低温で、鉄鋼の衝撃値が急激に低下して、もろくなる性質。 |
| | 定格電流 | 設計で定められた規定条件下で作動する機器、装置等の電流範囲。 |
| | 鉄心 | 変圧器において、一次回路と二次回路を相互インダクタンスで結合する磁気回路。 |
| | 電圧安定性 | 電力系統の電圧は、発電機の出力、電圧、運転力率、負荷の消費電力、力率および系統の構成形態や変圧器の電圧調整器、シャントリアクトルや電力用コンデンサなどの調相設備などの運転状態により決定される。電力系統に何らかのじょう乱があったときに、電圧が新たな平衡点に落ち着く系統の能力または関連した性質のこと。 |
| | 電圧降下 | 電気回路に電流を流したとき、回路中に存在する電気抵抗の両端に電位差が生ずる現象のこと。 |
| | 電圧タップ | 電氣的四端子法により 2 点間の電位差を測定する際に使用する電位測定線。 |
| | 電氣的四端子法 | 資料に対して電流を流した際に、ある区間に発生する電位差を測定する方法。電流リードと電圧リードに別々の線を用いる方法。一般に、二端子法と四端子法があるが、低抵抗の資料の測定に際しては精度の高い四端子法が用いられる。 |
| | 電磁力 | アンペアが右ネジの法則に関連して電流の流れている 2 導線間に働く力について、両導線に流れる電流の積に比例し、両導線の間隔に反比例する力が働くことを発見した。両導線に流れる電流の向きが同方向のときは吸引力に反対方向のときは反発力になる。 |
| | 電流密度 | 電気導体に電界が与えられたときに、単位面積に垂直な方向に単位時間に流れる電流量（電荷）のこと。 |
| | 電流リード | 電流を導入する役割をもつ導体（金属等） |
| | 電力ネットワーク | 電力系統と同意語。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 電力用規格 A-257 「22 kV CV ケーブル用がい管形屋内外テープ巻き式終端接続箱」 | 電力会社で使用する電線や機器の統一規格として電気事業連合会が制定した規格の一つ。 |
| と | 導体接続金具 | 終端接続部において超電導導体に対して半田で電氣的に接続し、フォーマーに対して圧縮することにより機械的および電氣的に接続するための金具。 |
| | 導体接続スリーブ | 両側ケーブルコア中心に位置する銅より線フォーマを機械的な圧縮力で接続するための部材。 |
| | 導体接続損失 | 導体が中間接続部、終端接続部などで、常電導導体と接続される際に、接続部に電気抵抗が発生するが、これに起因する損失。 |
| | 洞道 | 地中に構築する暗きょ（トンネル）。床上あるいは棚上にケーブルを布設することになる。 |
| | 銅保護層 | 超電導導体、シールド層近傍に設置され、端末部や接続部にて超電導導体および超電導シールドとそれぞれ電氣的に接続された銅導体を指す。超電導ケーブルにて短絡事故などが発生した場合、定格電流を超え超電導導体が常伝導化するが、このとき銅保護層に分流することにより超電導導体を保護する。 |
| | トリップ | 事故電流を遮断するための遮断器開放動作。 |
| に | 二重故障 | 機器の単一故障ではなく、同時に関連性の低い2箇所（以上）の機器で故障、トラブルが発生する事。 |
| ね | 熱侵入 | 低温容器内に室温領域から熱伝導、熱輻射などで侵入してくる熱量。熱侵入とも表記する。 |
| | 熱損失 | 超電導ケーブルシステムにおいて発生するジュール損や交流損失に伴う熱や侵入熱に伴う損失。これら損失に伴う熱により、冷媒の温度が上昇するため、必要な温度に冷却する必要がある。 |
| | 熱電対 | 異種金属の2接点間の温度差によって熱起電力が生じる現象（ゼーベック効果）を利用した温度センサ。 |
| | 熱輻射シールド | 熱輻射は熱放射とも言い、物体から熱エネルギーが電磁波（波長により赤外線、可視光線、紫外線、x線、γ線）として放出される現象のこと。その電磁波を遮る部材を示す。 |
| | 熱物性値 | 熱伝導率、熱容量、熱収縮率等の温度依存性を有する物性値。 |
| の | ノンツイスト線材 | Bi2223線材において、超電導フィラメントに撚りが加えられていない線材。 |
| は | バーンアウト信号 | PID制御コントローラで入力値の参照ができなくなった場合に、ある一定の制御を行なうため、外部へ出力する制御信号。例えば温度を一定に保持する制御を行なっている途中で、温度が参照できなくなった場合に、温度を下げるようなバーンアウト信号（制御信号）を出す。 |
| | バイパス回路 | 信頼性の不確かな回路や実験的な回路等と並行に設置した回路で、前者を切り離した場合に運用し、信頼度を確保するもの。本プロジェクトでは、CVケーブルによる線路がこれに該当する。 |
| | バイパスライン | 冷却システムにおける、冷凍機、実証ケーブルシステムの迂回経路を指す。 |
| | ハイブリッド超電導導体 | 異なる種類の線材を用いて構成される超電導導体。 |
| | バックアップ | 信頼性から、ある機器が故障してもシステム的にその機能を支えてシステムの運転に支障が及ばないようにすること。該当する機器を複数用意しておく場合は冗長化と証する。 |

| | | |
|---|-----------|--|
| | 発電機引き出し線 | 発電機出力端と昇圧用変圧器間を接続するケーブル。一般的に低電圧、大電流となるため相分離母線などが用いられる。 |
| | 半割れ銅管 | 両側超電導ケーブルのシールド同士を接続する必要がある。中間接続部においては補強絶縁部を避けた形状でシールド超電導線材を積層し半田接続する必要があり予め両側を絞り込んだ形状でかつ上下半割れ構造とした銅管を示す。 |
| ひ | 引き止め治具 | 端末容器本体に直接3心ケーブルを引き止める為に絶縁材料であるFRPの両端にSUSがついた治具を使用している。 |
| | ヒステリシス損失 | 鉄心の磁区が交番磁界によって磁界の向きを変えるとききの損失。鉄損。 |
| | ビスマス線材 | 主にBi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{10+d} を用いた超電導線材。超電導臨界温度は-163℃(110K)。 |
| | 歪ゲージ | 機械的な寸法の微小な変化(ひずみ)を電気信号として検出するセンサで、材料や構造物の表面に接着してひずみを測定すれば、材料や構造体に加わった応力を推測することができる。 |
| | 標準化 | ケーブルなどの製品や部品の品質、形状、寸法、施工手順、試験方法などを標準に従って統一すること。これに伴って効率化・合理化ができ、互換性も高まる。 |
| ふ | フィードバック制御 | 制御量(PV値)が目標値(SV値)になるよう、両者を比較を行いながら制御対象への操作量(MV値)を変化させていく制御方法。 |
| | フィラメント | Bi ₂ 223銀シース線材の内部構造において、Bi ₂ 223で構成される細い糸状の箇所をさす。 |
| | フォーマ | 超電導線材を用いて超電導層を形成する際の芯材。主に銅線を寄り合わせることで構成され、機械的な芯としての役割を担うとともに、短絡電流通過時のバイパス回路にもなる。 |
| | 負荷状況 | 電力系統において、最大許容電力に対して、実際に使用されている電力の割合の状況。 |
| | 負荷率 | ある期間中の負荷の平均需要電力と最大需要電力の割合であり、次式で定義される。 負荷率[%]=(平均需要電力[W]/最大需要電力[W])×100 負荷率が高いほど設備が有効利用されているということになる。 |
| | 複合絶縁方式 | 2つ以上の絶縁体を併用した絶縁方式。本プロジェクトでは、絶縁紙PPLPに液体窒素を含浸させた絶縁となっている。 |
| | ブッシング | 端末容器を貫通する電流リードを通す通路をもち、容器から電流リードを絶縁するために用いる。 |
| | 部分放電 | 電極間に電圧を加えたとき、その間の絶縁物中で部分的に発生する放電をいい、電極間を完全に橋絡する放電は含まない状態。 |
| | ブラケット | 腕木など、片持ち状の支持具の総称 |
| | ブレイトンサイクル | 動作ガス(一般的にはヘリウム)の圧力を高める圧縮機、高压ガスと低压ガス間で熱交換を行う熱交換器、高压ガスを断熱膨張させて低压低温のガスを生成する膨張機などで構成される冷凍機。大型の冷凍機に適す。 |
| | 分割集合フォーマ | 複数の銅線を撚り合わせた導体を扇形の断面形状を有するセグメントに圧縮成型し、複数のセグメントを一体化することで形成した円形フォーマ。 |
| へ | ヘリウム | 分子量2の単原子分子。極めて安定であり他の物質と化学反応を起こすことはない。沸点が4.2Kとあらゆる物質中で最も低く、極低温冷凍機の動作ガスとして用いられる。天然ガス中から分離採取されるが日本は全量を米国から輸入している。 |

| | | |
|---|------------------|---|
| | 変圧器容量 | 変圧器の定格電圧、定格電流により求められる量。相電圧の $\sqrt{3}$ 倍（線間電圧）と定格電流の積で求められる。 |
| | 編素線 | 可とう性（柔軟性）を必要とする電気用導体として、軟銅線、スズメッキ軟銅線およびその他の素線を集束（集めて束により合わせる）したものを編組し、成型したもの。 |
| | 変電所バンク | 変電所に設置された変圧器を指す。 |
| ほ | 防水テープ | 中間接続部は水没する可能性の高いマンホール内に設置されることが多い。そこで中間接続部外容器の外表面にはすぐれた絶縁性を保持すると共に、高い気密性が求められる。そのために使用する絶縁性を有するテープを示す。 |
| | 保護カバー | 三相一括のジョイント接続部を一括で覆う上下半割れ形状の銅管で、ケーブルの熱収縮による窒素容器内での中間接続部の動きに対応し可動できる仕様となっている。 |
| | 保護協調 | 異常発生時において、電力系統の電流や電圧をもとに故障区間を判別および除去し、事故の拡大防止や系統への波及を防止すること。 |
| | 保護リレー | 継電器の一種で、電流や電圧の急激な変化から電気回路を保護するための装置。 |
| | 母線 | 発電所や変電所で、電源から全電流を受け、外線に供給する幹線。ブス。 |
| | 母線連絡 | 2つ以上の母線を電氣的に連系可能にする線路、また連系すること。ブスタイ。 |
| ま | 埋設物 | 広義では、地中に埋設されているもの全てを示すが、それらは撤去可能や撤去困難なもの等さまざまである。本文中の既設埋設物とは、一般に実運用中の設備であり、撤去不可能かつ移設困難な設備を示している。 |
| も | もらい事故 | 保護リレーによる保護区間外で短絡事故が起きた場合で、短絡事故電流が流れた直後も誤通電のある場合の系統事故。 |
| ゆ | 誘電損失 | ケーブルの絶縁物（誘電体）に電圧をかけた際に発生する損失。 |
| よ | 要素試験 | 設備の開発にあたり、比較的少量のサンプル等を用いて要求される性能毎に試験を行うこと。 |
| | 容量制御 | 冷凍機の実出力（冷凍能力）のコントロール。 |
| | 予冷 | 冷却システムにおいては、循環ポンプ起動前に系内に液体窒素を流し冷却すること。 |
| ら | 雷インパルス耐電圧値（LIWV） | 雷撃に対して、避雷器を含まない線路が備える絶縁強度の標準値。避雷器の制限電圧はこれより低く設定され、これと組み合わせることで線路の絶縁協調が図られている。 |
| | 雷撃 | 異常電圧を生じる送電線路への落雷。雷撃箇所、侵入経路、波形および電流が、雷サージ解析の解析条件となる。 |
| | 雷サージ | 雷撃に起因して線路に発生し進行する、異常電圧または異常電流。 |
| り | リーク | 配管や機器のシール部や溶接部から何らかの不具合により冷媒（液体窒素）が漏れること。真空層の場合には真空リークと言う。 |
| | リザーバタンク | 液体窒素は系内への不純物侵入を防ぐため閉サイクルで用いられる。しかし窒素温度が77kから63Kまで変化すると液体の膨張・収縮が7%程度生じる。この膨張・収縮変化を吸収するのがリザーバタンクと呼ばれる真空断熱容器である。さらにリザーバタンクを窒素圧力が最も低くなる窒素循環ポンプ吸入側に設置することで、その最低圧力を保持する圧力制御機能を持たせることで超電導ケーブル内での気泡の発生を防止し部分放電を防ぐ機能を付加している。 |

| | | |
|---|----------|--|
| | 臨界温度 | 温度上昇に伴い超電導状態（電気抵抗ゼロ）から常電導状態（電気抵抗を生じる）へと相転移する温度のこと。 |
| | 臨界電流 | 超電導材料に直流電流を流す場合、電気抵抗がゼロであるので、発生電圧もゼロであるが、通電電流が大きくなると、許容値を超え、超電導状態から常電導状態に転移し、電圧が発生する。ここでは、 $1 \mu\text{V/cm}$ の電圧が発生する直流電流を臨界電流（値）と定めている。 |
| れ | 冷却システム | 超電導ケーブルの冷却維持に必要な設備の総称で、特に断りのない限り、旭変電所に設置された冷却システムを指す。主要構成要素は、冷凍機、液体窒素循環ポンプ、リザーバタンク、動力盤、制御盤等である。 |
| | 冷却能力 | 液体窒素の温度変動から算出した値、主に冷却システムとしての能力を表すために使用している。 |
| | 冷凍機 | 対象となる物質から熱を奪い、それを水や空気などに移送する機械または装置の総称。対象物の温度を下げる働きをする。熱の輸送に使用される冷媒の種類、それを圧縮する方法、膨張により吸熱作用を発生させる工程などによっていくつかの冷凍方式に分類される。液体窒素温度冷却においては、スターリング方式、GM方式がよく用いられる。 |
| | 冷凍機の効率 | 動作温度において発熱量 $Q[\text{W}]$ を汲出すに必要な冷凍機の効率で、冷凍機所要動力 $W[\text{W}]$ とすると $\text{COP}=Q/W$ で表される。 COP (Coefficient of Performance)とも表記する。 |
| | 冷凍能力 | 被冷却体の熱損失と定常的に温度バランスしているときの冷凍システムの能力で定義される。 |
| | 冷熱サイクル | ここでは、超電導ケーブルが室温と液体窒素温度を繰り返し経験するサイクルをさす。 |
| る | ロードセル | 力（質量、トルク）を検出するセンサのことで、これらの力を電気信号に変換するというものであり、荷重変換器とも呼ばれる。一般に変換器にはひずみゲージ式がよく用いられる。 |
| | ロゴスキーコイル | ドイツの電気工学者であるロゴスキー（Rogowski）によって考案された電流検知センサ。被測定導体の周辺にロゴスキーコイルを設置すると、導体電流に対応した電圧がコイルの両端に誘起する。この電圧は導体電流の微分波形で、積分器を通すことで導体電流波形を再現できる。 |

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 背景

日本再興戦略の中で、我が国の成長戦略の鍵として、科学技術イノベーション総合戦略の推進が挙げられている。超電導送電技術は、その科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一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な技術とされている。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。

また、大都市圏での局所的な電力需要の伸びや電力インフラ機器の経年による置き換えが予想される中、電力インフラの拡充・ケーブル交換には、共同溝の使用制約や送電網の用地買収を考慮すると、従来の銅ケーブルに比べ送電容量の大きい超電導ケーブルの実用化が必要である。このような状況の中、超電導ケーブルは、初期的には、揚水発電所の発電機引出線や都市部の地中ケーブルへの適用が見込まれており、銅ケーブルと代替することにより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も資すると期待される。

1.2 目的

本プロジェクトでは、不測の事故（地絡・短絡）に備えた安全性・信頼性の検証試験を実施し、実用化に向け総合的な超電導ケーブルシステムの設計・開発を行う。

2020年以降の実用化に向けて、早期に安全性・信頼性を実用段階にまで高めておくために、事故等が生じた場合の超電導ケーブル、冷却システムへ及ぼすダメージを具体的に検証する事により、超電導ケーブルシステム全体の脆弱箇所や持たせるべき装置の強靭性について具体的な情報を得る事が必要である。これにより、実用段階の安全性、信頼性を兼ね備えた超電導ケーブルの設計が可能になる。最終的に本プロジェクトにより、超電導ケーブルのシステムとしての総合的な安全性、信頼性を検証し、次世代送電システムの健全性を検証することを目的とする。

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

超電導送電技術は科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一つとして位置づけられている。

また、2020年以降に急増すると考えられている大都市の老朽化した地中ケーブルのリプレース需要への対応及び再生可能エネルギー電源の大量導入による系統影響への対応のため、信頼性の高い次世代送電システムの開発が不可欠である。

しかしながら超電導ケーブルを実際に電力系統に適用するためには、不測の事故（地絡・短絡等）が発生した際の現象を把握し、リスクの内容、程度の検証と安全対策のための手段の検討を実施することが最終的な課題として存在する。しかし、安全性、信頼性の検証は評価方法の検討から始める必要があり、個別の企業の活動では達成し得ない。ユーザーである電気事業者や複数の開発者、大学等の英知を集めた研究が不可欠である。NEDOのプロジェクトとして、本プロジェクトをマネジメントする事により、我が国の技術を結集した研究開発が可能となり、効率的にプロジェクトを推進する事で、的確に成果を挙げる事ができる。

また、超電導ケーブル開発は、NEDOの中期目標において省エネルギー分野中の横断分野で、「次世代送配電ネットワークの構築（高温超電導線材を活用した高機能電力機器等を含む）に不可欠な「熱・電力の次世代ネットワーク」等に係る技術開発に取り組んでいく。」と記されている。本技術は実用化直前の段階にあって、普及期には至っていない。従って本プロジェクトはNEDOのミッションに沿うものであり、NEDOの関与が必要とされるプロジェクトである。

加えて、電力分野での省エネ化あるいはCO₂削減を今後進めていく中で、発電分野だけで対策を行うことには限界があり、送配電分野における対策も必要となるが、既存の送配電技術は成熟しており、具体的な対応策を見つけることは困難な状況にある。

更に、海外においても、超電導ケーブルに係る技術開発は、韓国や欧州を中心に熱心に行われており、今後の送配電関連技術における世界市場を考察すると、日本と同様に、都市中心部での老朽化した地中ケーブルの代替として超電導ケーブルが活用される可能性は十分にある。現状、日本の超電導ケーブル技術は、高温超電導線材の性能（臨界電流値等）では世界トップクラスを維持し、実用化に向けて長期実証試験も実施しているが、他国でも匹敵する性能の線材が開発されつつあり、同様の実証試験も実施されるなど、技術レベルは肉迫してきている。このため、本プロジェクトを実施しない場合、実用化が遅れるだけでなく、諸外国と比較して優位性を失い、市場参入が遅れ、国際競争力を失う可能性が高い。

2.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトの実施により、超電導ケーブルメーカー、冷凍機メーカーだけではなく電力事業者、化学、鉄鋼等のエネルギー多消費産業、鉄道事業者等の高密度送電を利用する幅広い業界への波及効果と市場開拓が期待できる。

超電導ケーブルを用いた送電システムの国内の市場規模は、2030年において首都圏を中心に年間260億円程度見込まれる。

さらに、現用（従来技術）ケーブルに対して超電導ケーブルの新規布設に係るコスト削減効果は、20km（終端接続間）で141億円と試算されている（電力会社試

算)。これにより、首都圏の地中ケーブル延長約1,200kmの3割に相当する360kmが超電導ケーブルに20年間で置き換わると想定すると、合計で約2,500億円のコスト削減効果が見込まれる。全国では110kV以上275kV以下の地中ケーブルが約3,500km埋設されており、これらが順次、超電導ケーブルに置き換わることにより、さらに大きなコストメリットが期待できる。

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 研究開発目標

超電導ケーブルを実際の電力系統へ導入するために、通常時の信頼性だけでなく、ケーブルに対する外部からの機械的な損傷等による不測の事故（地絡・短絡等）時に生じる現象と影響を把握し、その結果を踏まえて安全性、信頼性を検討する必要がある。また、冷却システムの効率と耐久性をさらに改善する必要もある。加えて、事故・故障等を早期に検知するとともに、その影響を最小限に抑える等、実用性を向上させるための対策も重要である。

以上を踏まえて、本プロジェクトの開発目標を以下の通り定める。

1.2 研究開発項目毎の目標

1.2.1 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発

(1) 研究開発の必要性

超電導ケーブルの実用化には、地絡・短絡事故等を想定して、その影響を検証しておくことが必要である。また、検証試験を世界に先駆けて実施することにより、世界市場での優位性を確保できる。そのため、事故・故障発生時の超電導ケーブルや冷媒の挙動と現象を把握し、超電導ケーブルシステムに及ぼす影響を検証する。

(2) 研究開発の具体的な内容

(i) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発

超電導ケーブルでの絶縁破壊等の電気的事故、断熱管等での機械的故障や損傷、並びに、冷却システムの故障等、超電導ケーブルシステムで想定される各種の事故・故障を、海外での適用も考慮に入れて、抽出・分類する。

それらの発生頻度及び損害レベルを考慮して、安全性評価試験を行うべき項目を選定する。また、試験条件及び試験方法等、安全性評価試験の実施に係る細目を決定する。

決定した安全性評価試験を実施するための試験装置を設計・製作する。

決定した安全性評価試験方法を、IEA、ISO等の場を通じて、国際的に共有し普及する。

(ii) 安全性評価試験による影響検証

安全性評価試験に用いる超電導ケーブルサンプルを、想定する用途に応じて作製する。当該ケーブルサンプルを用いて、安全性評価試験を実施する。また、安全性評価の対象とする事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。その試験結果及びシミュレーションにより、超電導ケーブルシステムに及ぼす影響を検証する。

(3) 達成目標

●最終目標（平成 27 年度中）

(i) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標

- ・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。
- ・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。
- ・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。

(ii) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標

- ・安全性評価の対象となる事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。

最終目標の評価条件等については、平成 26 年度末までに明確にする。

1.2.2 高効率・高耐久冷却システムの開発

(1) 研究開発の必要性

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」における実系統連系試験を通じて、超電導ケーブルへの侵入熱の低減、冷却システムの高効率化、及び、冷却システムのメンテナンス間隔の長期化が課題として明らかとなった。また、適用されるサイトに応じて、複数の冷却ステーションの配置等の設計を行う必要があることから、多様な冷却システムに対応してエネルギー収支を評価するためのシミュレーション技術が必要である。

(2) 研究開発の具体的な内容

(i) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発

超電導ケーブルの断熱に係る構造・材質を改良して、2種類以上の電圧階級について超電導ケーブルを試作する。その効果を実験によって確認する。

(ii) 冷却システムの高効率化技術の開発

冷却システムを小型化するとともに、効率を向上させる技術開発を行う。開発した冷却システムと超電導ケーブルを組み合わせた長期運転試験を行い、性能及び耐久性を評価する。

(iii) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化

適用する現場に対応して、複数の冷却ステーションの配置等、適切な冷却システムを設計する技術を開発する。

多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率で運転するための制御技術を開発する。また、冷却システム全体のエネルギー収支を評価するシミュレーション技術を開発する。加えて、超電導ケーブルシステム全体としてのエネルギー収支についても、評価を行う。

(3) 達成目標

●最終目標（平成 27 年度中）

(i) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条 以下となること

(ii) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、冷却システム全体の COP が 0.11 以上となること

(iii) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標

- ・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の検討を行う

- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の検討を行う

- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の検討を行う

最終目標の評価条件等については、平成 26 年度末までに明確にする。

1.2.3 早期復旧等の実用性向上のための対策検討

(1) 研究開発の必要性

超電導ケーブルシステムの事故・故障等を早期に検知し、その影響を最小限に抑えけるとともに、できるだけ早期に復旧することは社会インフラの構成要素として重要である。事故・故障を早期に検知し、また、早期に復旧させるための、超電導ケーブルシステムとしての研究開発は行われておらず、実用化に向けて検討と検証を行う必要がある。

(2) 研究開発の具体的な内容

研究開発項目 1-2-1 での試験結果及びシミュレーションによって示された影響の度合いに応じて、超電導ケーブルシステムとしての、事故・故障発生頻度の低減、損害の低減、並びに、事故・故障からの復旧方法等を検討する。

検討の結果、事故・故障発生頻度の低減及び損害の低減のために、超電導ケーブルに付加するべき要素が明確になった場合は、研究開発項目①における、ケーブルサンプルの試作に反映させる。また、冷却システムに付加するべき要素が明確になっ

た場合には、研究開発項目 1-2-2 における、冷却システムの開発及び制御技術の開発に反映させる。

(3) 達成目標

●最終目標（平成 27 年度中）

リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加すべき要素を検討する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

研究開発項目の分担表を下記の表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 研究開発項目の分担表

| 開発項目・内容 | | 東京 電力 | 住友 電工 | 古河 電工 | フジ クラ | 前川 製作所 |
|--------------------------|------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| ①:超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発 | | | | | | |
| 試験項目・方法検討 試験結果分析・評価 | | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 試験 実施 | 短絡試験 | 22 kV | ◎ | | | |
| | | 66 kV | ◎ | | | |
| | | 275 kV | | ◎ | ○ | |
| | 地絡試験 | 66 kV | | ◎ | | |
| | | 275 kV | | | ◎ | ○ |
| | 外傷試験 | 断熱管真空低下 | | ◎ | ◎ | |
| LN2漏えい試験 | | | ◎ | | | |
| ②:高効率・高耐久冷却システムの開発 | | | | | | |
| 侵入熱低減技術の開発 | | | ◎ | ◎ | | |
| 冷却システムの高効率化技術の開発 | | ○ | ○ | | | ◎ |
| 冷却システムの設計及び制御技術の高度化 | | | | | | ◎ |

◎主担当社、○担当社

2.1.1 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発

(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発

(a)試験計画の立案および試験結果の分析・評価

表 2.1.1-1 および図 2.1.1-1 に記載する、発電機引き出し線を想定した 22kV 級単心型超電導ケーブル、都市部の地下送電線を想定した 66kV 級三心一括型超電導ケーブル、大容量送電線を想定した 275kV 級単心型超電導ケーブルの、3つの電圧階級において、図 2.1.1-2 のような短絡事故（超電導ケーブル以外での事故を想定）、地絡事故（超電導ケーブル内の絶縁破壊を想定）での前提条件を整理し、試験項目、評価項目を協議、決定する。さらに、これら試験項目、評価項目を検証するための具体的試験内容について検討を行い、その手法について決定する。

超電導ケーブルに外傷事故が起こり、断熱管の真空度が低下した場合、あるいは冷媒である液体窒素が外部へ漏えいした場合の影響について評価する項目、試験する手法について検討を行う。

表 2.1.1-1 安全性評価試験用 超電導ケーブルの一覧

| 電圧/電流 | 22 kV/12kA | 66 kV/2kA | 275 kV/3kA |
|--------|------------|-----------|-----------------------|
| ケーブル構造 | 単心 | 三心一括 | 単心 |
| 実施者 | 住友電工 | 住友電工 | 古河電工 |
| 想定用途 | 発電機引出し線 | 都市部の地中送電線 | POFケーブル代替, 都市部の送電線 |

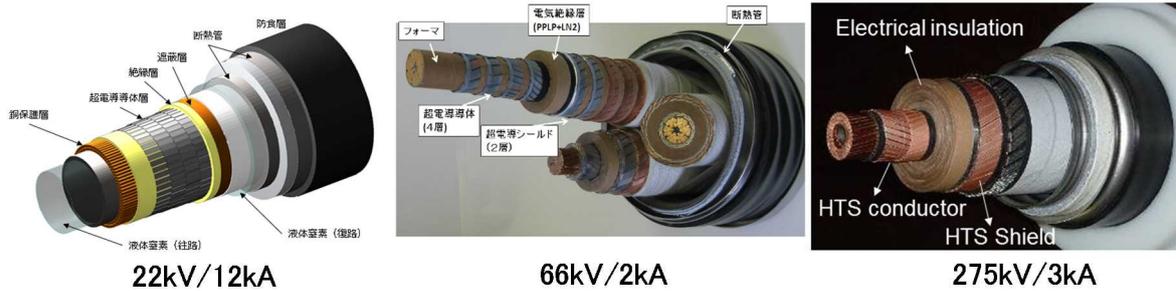


図 2.1.1-1 安全性評価試験用 超電導ケーブルの外観イメージ

平成 26 年度は、超電導ケーブルに起こるすべての事故を想定し、安全性を評価する項目をリストアップする。その内容について、実施者及び従来ケーブルの事故事例に精通した有識者と協議することにより、具体的な試験計画の立案を行う。

平成 27 年度は、平成 26 年度に立案した試験計画に基づき、実施した試験の結果について分析・評価を行う。また、その結果をもとに安全対策についての指針を策定する。

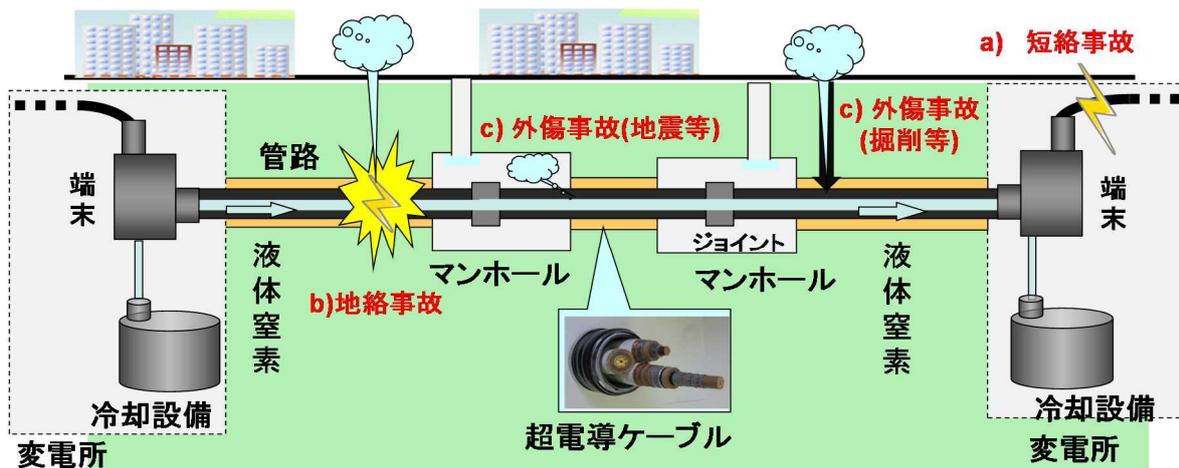


図 2.1.1-2 超電導ケーブルにおける事故の想定イメージ

(b) 短絡事故評価装置の開発

(i) 66kV 級超電導ケーブル用短絡事故評価装置の開発

検証可能な評価装置として、66kV/200MVA 級、三心一括型ケーブル、長さ数 10m を想定した短絡事故評価装置の開発を行う。

短絡試験に関しては、超電導ケーブル以外のところで事故が発生した場合の事故電流通過を前提としているので、通過時に超電導ケーブルが損傷しないことはもとより、冷媒の温度・圧力変化が起こった後、超電導ケーブルが再送電できる状態になるまでの回復時間の把握も重要となる。従って、超電導ケーブルの冷却方法としては、実用化時の形態に近い過冷却液体窒素の循環冷却方式で行うこととする。

ケーブル長さとしては、実用化時を想定して極力長い方が望ましいが、通電装置、冷却システムの容量等を考慮し、長さを決定するものとする。尚、後述するシミュレーションコードを開発することで、長尺ケーブルでの影響について推定できるようにする。

平成 26 年度は、評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び端末等の製造を開始する。ケーブル製造で絶縁紙巻付け、断熱管製造に関しては、製造設備を有する関連会社(JPS)に外注する。

平 27 年度は、評価用ケーブルコアが完成したのち、初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。

端末接続部のモデルを作成し、実際に短絡電流を通過させ、電磁力の影響について評価を行う。尚、本短絡試験については、短絡発電機を有している試験所(日新電機を予定)で行う。

端末接続部のモデルを作成し、実際に短絡電流を通過させ、電磁力の影響について評価を行う。尚、本短絡試験については、短絡発電機を有している試験所(日新電機予定)で行う。

評価用ケーブル及び端末、課電・通電システム、循環冷却システムと組み合わせ、評価装置システムとして住友電工の試験場内に完成させる。通電システムとして通電用 C T を設備として購入し、従来設備に追加する形で補強する。

(ii) 22kV 級超電導ケーブル用短絡事故評価装置の開発

検証可能な試験装置として、22kV/12kA 級、単心型ケーブル(図 2.1.1-1 参照)、長さ 10m を想定した短絡試験装置の開発を行う。

本試験も(i)と同じ考え方であり、短絡電流通過時に超電導ケーブルが損傷しないこと、超電導ケーブルが再送電できる状態になるまでの回復時間の把握が重要とな

る。従って、超電導ケーブルの冷却方法としては、実用化時の形態に近い過冷却液体窒素の循環冷却方式で行うこととする。

ケーブル長さとしては、発電機引き出し線の長さが数 10m 程度であること、通電装置、冷却システムの容量等を考慮し、10m とした。

平成 26 年度は、評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び端末等の製造を開始する。ケーブル製造で絶縁紙巻付け、断熱管製造に関しては、製造設備を有する関連会社(JPS)に外注し、評価用ケーブルコアを完成させる。尚、接続部の構造を決定する検証試験を実施する。

平成 27 年度は、評価用ケーブルコアの初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。評価用ケーブル及び端末、課電・通電システム、循環冷却システムと組み合わせ、評価装置システムとして住友電工の試験場内に構築する。

通電に関しては、大電流の等価試験として直流での電通を考えており、その通電装置を購入し、評価装置に取り付け、装置を完成させる。

(iii) 275kV 級超電導ケーブル用短絡事故評価装置の開発

検証可能な試験装置として、275kV/3kA 級、単心型ケーブル（図 2.1.1-1 参照）、長さ 10m を想定したケーブル試験装置を開発する。尚、冷却方法としては、過冷却液体窒素の循環冷却方式を検討する。

短絡電流通過時に超電導ケーブルが損傷しないこと、超電導ケーブルが再送電できる状態になるまでの回復時間を把握する。

平成 26 年度は、評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び断熱管及びそのフランジ部の製造を開始する。

平成 27 年度は、通電に関しては、大電流の等価試験として、交流通電および直流通電を考えており、瀋陽古河の試験場内に構築する。

(c) 地絡事故模擬試験の検討

(i) 66kV 級超電導ケーブル地絡事故模擬評価装置の開発

検証可能な試験装置として、66kV/200MVA 級、三心一括型ケーブル、長さ数 m を想定した地絡試験装置の開発を行う。地絡試験に関しては、超電導ケーブル自身の絶縁破壊を想定しているため、超電導ケーブルが損傷することが前提であり、その損傷度合、外部への影響の有無を確認することが課題になる。また、絶縁破壊は局所的に起こるため、試験装置としては数mレベルでよいと考える。

冷却方法としては、事故前の状態が実形態に近い状態である必要があるが、地絡電流によるケーブル温度上昇は小さく、事故後の再冷却特性の把握は必ずしも必要はないと考え、加圧液体窒素の浸漬冷却方式で実施する。

尚、22kV 級超電導ケーブルの地絡試験については、66kV 級と地絡電流値が同レベルであるため、66kV 級の試験で統合する。

平成 26 年度は、装置開発に向けて、地絡試験で発生するエネルギーを推定するために、大気圧液体窒素中で、地絡基礎試験（シート試験）を行う。尚、地絡試験は短絡発電機を所有する試験場（日新電機を予定）で実施する。

評価用ケーブルの仕様を確定し、製造を開始する。尚、ケーブル構造に関しては、短絡試験向け評価ケーブルと同一とし、同時に製造するものとする。

平成 27 年度は、評価装置の仕様・構成および試験方法を確定させるために、大気圧液体窒素中で、上記評価ケーブルを用いて地絡予備試験を行う。尚、地絡試験は短絡発電機を所有する試験場（日新電機を予定）で実施する。

評価用ケーブルコアが完成したのち、初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。

評価用ケーブル及び端末、冷媒加圧装置等と組み合わせ、評価装置システムとして完成させる。

(ii) 275kV 級超電導ケーブル地絡事故模擬評価装置の開発

検証可能な試験装置として、275kV/3kA 級、単心型ケーブル、長さ数 m を想定した試験装置の開発を行う。

地絡試験においては、(b-1)と同様、その損傷度合、外部への影響の有無を確認することが課題になる。冷却方法としては、大気圧液体窒素中での予備試験の結果を受けて、冷却方式を検討する。

尚、275kV 系統は直接接地系であり、地絡電流として大電流が流れる可能性があるため、その条件を事前に検討するものとし、試験場所としては、短絡発電機を有する試験場で実施する。

平成 26 年度は、有識者の意見や過去の地絡試験実績を踏まえ、地絡事故模擬試験およびその予備試験の条件を策定する。予備試験用ケーブルコアが完成したのち、初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。

平成 27 年度は、地絡試験で発生するエネルギーの推定や絶縁破壊を起こさせるための条件を把握するために、大気圧液体窒素中で、275kV 系統の地絡予備試験を行う。なお、地絡試験は短絡発電機を有する試験場で実施する。

地絡予備試験によって、発生エネルギーを測定、評価し、その結果を受けて、評価装置システムの仕様・構成を確定し、端末、冷媒容器および評価用ケーブルの製造を開始する。

評価用ケーブル及び端末、冷媒容器等と組み合わせ、評価装置システムとして完成させる。

(d) ケーブル外傷事故時の評価装置の開発

(i) 断熱管真空度低下時の影響等評価装置の開発

電圧階級が異なる2種類の断熱管（66kV級用と275kV級用）について、真空度の低下の影響を調べる試験方法の検討を行う。

・66kV級超電導ケーブル用断熱管での試験

数10mの66kV級超電導ケーブル用断熱管を製作し、液体窒素にて循環冷却した状態において、断熱管の真空度を徐々に、あるいは急速に低下させた時の、熱侵入量の増加の割合、温度上昇、圧力上昇を測定する試験方法を検討する。

・275kV級超電導ケーブル用断熱管での試験

もっとも重篤と考えられる事故として、液体窒素の噴出が生じるようなケースを想定し、試験方法、試験項目を検討する。検討結果を基に、新たな断熱管に瀋陽古河にあるNEDOの冷却システムを入れて、試験設備を構築する。真空度の低下に伴う侵入熱を変化させた場合の流体シミュレーションを開発する。

平成26年度は、66kV級断熱管、275kV級断熱管での評価装置の仕様、構成を確定させる。275kV級については、既存設備を活用して、評価システムを完成させる尚、66kV級断熱管の評価装置の製造については、平成28年度に実施予定。

(ii) 液体窒素漏えい時の影響検討

・地中管路での漏えい試験

地中管路内に布設された超電導ケーブルに外傷事故が起こり、液体窒素が漏えいした場合の外部への影響度合いについて、試験方法、評価項目を検討する(図2.1.1-2参照)。検討結果をもとに試験装置を構築する。

・地下マンホール内での漏えい試験

地下マンホール内で液体窒素が漏えいしたことを想定し、外部あるいはマンホール内での影響を確認するための試験方法、評価項目について検討する。検討結果をもとに、試験装置を構築する。

平成 26 年度は、地下マンホール試験での仕様・構成を確定させる。

平成 27 年度は、地下マンホール試験装置の製造を行う。尚、試験装置の製造に関しては、従来ケーブルの事故事例を経験している関連会社（JPS）へ外注する。

地中管路試験での仕様・構成を確定させる。尚、装置の製造に関しては、平成 28 年度に実施する予定。

(e) シミュレーション技術の開発

実用化時を想定し、数 km 長さの超電導ケーブルに短絡電流が流れた場合の、冷媒の温度、圧力の変化をシミュレーションできる計算コードの開発を行う。また、上述する短絡試験の結果を予め計算にて予想し、実際の試験結果と比較することで、シミュレーションコードにフィードバックさせ、計算精度の向上を図る。

平成 26 年度は、超電導ケーブルに、短絡電流が流れた場合の冷媒の温度、圧力の変化をシミュレーションできる計算コードの開発を行う。また、(ii)で予定している短絡試験での、温度、圧力の挙動を計算する。

平成 27 年度は、(ii)の短絡試験結果を計算コードにフィードバックさせ、計算精度の向上を図る。

(f) 国際標準化に向けた活動

上記で検討した超電導ケーブルの安全性・信頼性に係る試験項目、試験内容について、国際学会あるいは、有識者が集まる会議（IEA、CIGRE等）で報告する。

平成 26 年度は、本プロジェクトの活動目的、進捗状況について、国際学会の場（ISS を想定）で発表し、啓蒙活動を行う。

平成 27 年度は、本プロジェクトでの試験結果、進捗状況について、国際学会の場（EUCAS、ISS 想定）で発表し、啓蒙活動を行う。

(2) 安全性評価試験による影響検証

1-2-1 で決定した試験内容・評価項目について、製作した試験装置にて実際に試験を実施する。

(a) 短絡事故模擬試験

(i) 66kV 級超電導ケーブル短絡事故模擬試験

(1) (b) (i) で開発した、66kV 級短絡事故評価装置を用いて試験を行う。試験方法としては、通電電流・時間をパラメータに、液体窒素の温度、圧力の変化を測定し、システムへの影響を調査する。また、再送電可能となるまでの復帰時間

を確認するため、通電後に静電容量の測定、定格課電の可否等についても確認する。また、試験後に I_c （臨界電流）測定を行い、超電導ケーブルへの損傷がないことも確認する。

評価項目としては、温度上昇度、圧力上昇度、定格課電の可否、臨界電流値の低下の有無等を想定している。

平成 27 年度は、上記内容での試験を実施し、実験データの収集・解析を行う。解析の結果から、実用化時の対策や運用への課題を検討する。また、(1)(e)のシミュレーション結果との対比を行い、計算へフィードバックする。

(ii) 22kV 級超電導ケーブル短絡事故模擬試験

(1)(b)(ii)で開発した、22kV 級短絡事故評価装置を用いて試験を行う。試験方法としては、上記(i)の手法に準じる。

平成 27 年度は、上記内容での試験を実施し、実験データの収集・解析を行う。解析の結果から、実用化時の対策や運用への課題を検討する。また、(1)(e)のシミュレーション結果との対比を行い、計算へフィードバックする。

(iii) 275kV 級超電導ケーブル短絡事故模擬試験

(1)(b)(iii)で開発した、275kV 級短絡事故評価装置を用いて試験を行う。試験方法としては、上記(i)の手法に準じる。

平成 26 年度は、275kV 級短絡事故模擬試験用のケーブルコアの製造を完了する。

平成 27 年度は、上記内容での試験を実施し、実験データの収集・解析を行う。解析の結果から、実用化時の対策や運用への課題を検討する。また、(1)(e)のシミュレーション結果との対比可能であれば、計算へフィードバックする。

(b) 地絡事故模擬試験

(i) 66kV 級超電導ケーブル地絡事故模擬試験

(1)(c)(i)で開発した、66kV 級地絡事故評価装置を用いて試験を行う。評価装置の試験ケーブルに絶縁異常個所を設けておき、発電機から通電することで、絶縁破壊を起こさせる。発生した熱量による冷媒の温度、圧力変化を測定する。また、試験後に試験ケーブルを解体し、地絡時の試験ケーブルの破壊程度を確認する。

評価項目としては、温度上昇度、圧力上昇度、ケーブル損傷程度、等があげられる。

上記内容での試験については、平成 28 年度の実施を予定している。

(ii) 275kV 級超電導ケーブル地絡事故模擬試験

(1)(c)(ii)で開発した、275kV 級地絡事故評価装置を用いて試験準備を行う。地絡事故模擬試験に供試する評価用ケーブルコアが完成したのち、初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。試験方法および評価項目としては上記(i)の手法に準じる。

平成 26 年度は、275kV 級地絡事故予備試験用のケーブルコアの製造を完了する。平成 27 年度は、上記内容での試験を、短絡発電機を有している試験所で実施することを想定し、その準備を進める。地絡事故予備試験に供試する評価用ケーブルコアの、初期性能として、臨界電流特性等の測定を行い、所定の性能であることを確認する。さらに、275kV 級ケーブル地絡事故予備試験の実施、評価項目の測定、試験結果の分析を行う。分析の結果から、実用化時の対策や運用への課題を検討する。さらに、275kV 級地絡事故模擬試験用のケーブルコアの製造を完了する。

(c) ケーブル外傷事故時の影響検討

(i) 断熱管真空度低下時の影響検討

・ 66kV 級超電導ケーブル用断熱管での試験

(1)(d)(i)で開発する試験装置にて試験を実施する。液体窒素にて循環冷却している状態で、断熱管の真空度を徐々に低下させ、侵入熱との関係を調査する。また、真空層が急速に開放された場合の、温度上昇、圧力上昇についても測定を行う。試験場所としては、既設の冷却システムが活用できる住友電工の試験場とする。評価項目としては、断熱管の侵入熱、温度上昇度、圧力上昇度、等を想定している。

・ 275kV 級超電導ケーブル用断熱管での試験

(1)(d)(i)で開発する瀋陽古河の 275kV 級超電導ケーブル用断熱管を利用した装置で、断熱管の真空度を徐々に低下させ、侵入熱との関係を調査する。また、真空層が急速に開放された場合の、温度上昇、圧力上昇についても測定を行う。

平成 26 年度は、275kV 級断熱管の評価装置を用いた試験の実施。

尚、66kV 級断熱管の試験装置を用いた試験については、平成 28 年度に実施予定

(ii) 液体窒素漏えい時の影響検討

・ 地中管路での漏えい試験

地中管路を模擬した試験装置に加圧液体窒素を充填させ、外傷事故を模擬して断熱管が破損した状況を作り、液体窒素が地上に噴出した時の土壌温度への影響、蒸発ガスの流れ等の測定・調査を行う。

・地下マンホール内での漏えい試験

地下マンホールを模擬した試験装置を用い、外傷事故等により液体窒素がマンホール内に漏えいしたことを想定し、マンホール内・外への影響を検討する。

評価項目としては、温度分布、蒸発ガスの流れ、マンホール内他設備への影響等
を検討する。

平成 26 年度は、地下マンホールを用いた外傷模擬試験の仕様を確定させる。

平成 27 年度は、地下マンホールの評価装置を用いた外傷模擬試験の実施。
地中管路を用いた外傷模擬試験の仕様を確定させる。尚、地中管路を用いた外傷試
験については、平成 28 年度に実施予定。

2.1.2 高効率・高耐久冷却システムの開発

(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発

66kV および 275kV 級超電導ケーブル用断熱管を想定した短尺サンプルにて 1.8W/m
以下の熱侵入を持つ断熱管を設計・作製し、測定・検証を行う。50～100m 級の断熱
管を作製し、長期に運転した時の、断熱管の熱侵入および温度、圧力の経時変化に
ついて測定、検証を行う。尚、冷却方法としては、サブクール液体窒素の循環冷却
方式を検討する。また、断熱管等の真空層の真空維持方法を検討する。

平成 26 年度は、66kV 級断熱管については、断熱管の構成、サイズ等について、侵
入熱が目標値となるような構成を設計検討する。真空層の真空度について実証プロ
ジェクトの設備を活用し、分析・評価することで、維持方法の検討を行う。

275kV 級断熱管については、断熱管の構成、サイズ等について、侵入熱が目標値と
なるような構成を設計検討する。設計時に必要となるデータは、予備試験から得る
ものとし、予備試験では、断熱材の種類、積層数、曲げをパラメータとした断熱管
を作製し、評価する。

平成 27 年度は、66kV 級断熱管については、前年度の設計に基づき、短尺断熱管を
製造し、侵入熱の評価を行う。尚、長尺断熱管の製造、評価については、平成 28 年
度を予定。

275kV 級断熱管については、前年度の設計に基づき、短尺断熱管を製造し、侵入熱
の評価を行う。尚、長尺断熱管においては、(1) (d) (i) で開発した流体シミュレー
ションを適用し、275kV と等価な断熱管を 100m 以上作製し、既設の NEDO 冷却システ
ムと接続し、簡易型の冷却循環装置と組み合わせて評価する。さらに、冷却システ
ムの長期運転により耐久性を確認する。長期運転による耐久性確認については平成
28 年度を予定。

(2) 冷却システムの高効率化技術の開発

NEDO 事業「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」において開発し、工場での単体試験により良好な性能が得られた大容量・高効率のブレイトン冷凍機を用いた冷却システムを、超電導ケーブルの実系統試験を実施した旭変電所に移設する。設置にあたっては、現スターリング冷却システムと比較して設置面積の低減を目指す。冷却システムの単体性能試験、および冷凍機故障時を想定したバックアップ装置との組合せ試験を実施した後、超電導ケーブルと接続した上で、実系統連系した1年間以上の長期実証運転を行い、性能及び運転安定性を評価する。

その後、冷却システムの限界性能および信頼性を検証するために、過負荷試験や信頼性加速試験を行うとともに、超電導ケーブルシステム全体の残存性能検証を実施する。

高性能化に関する開発目標達成のために、以下の研究開発を実施する。

- ・ターボ圧縮機・膨張機の断熱効率向上を目指した改良
- ・冷凍システム内の熱損失および圧力損失低減のための改良
- ・液体窒素のケーブル供給温度の最適化を含めたシステムとしての最適運転方法の確立

平成 26 年度は、工場において冷凍機故障時を想定したバックアップ液体窒素タンクの運転を行い、バックアップ性の確認を行う。その後、ブレイトン冷却システムの旭変電所への設置および現地単体性能試験を行い、健全性を確認する。

平成 27 年度は、平成 26 年度に設置した、冷却システムを超電導ケーブルと接続し、組合せ性能確認を行う（温度制御 $\pm 0.2\text{K}$ 、圧力制御 $\pm 0.01\text{MPa}$ ）。その後、ケーブルを実系統に接続し、実証運転を開始する。実系統連系し、1年間以上の長期実証運転を行うことで冷却システムの長期性能及び運転安定性・制御性を評価する。

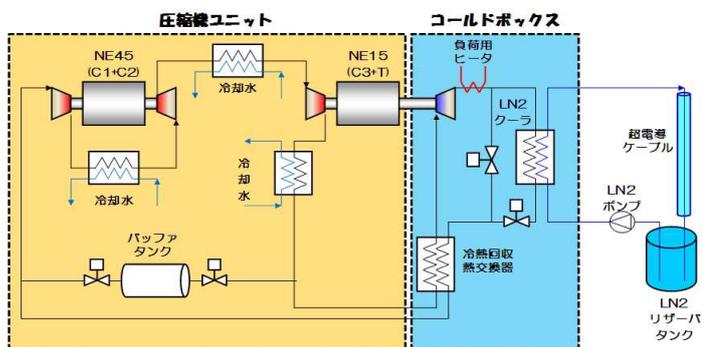


図 2.1.2-1 ブレイトン冷却システム 外観および構造イメージ図

(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化

実運用形態（例えば、揚水発電所の引き出し線、都市部の高密度送電等）をモデル化し、ケーブル高低差を考慮した冷却システムや中継基地間に設置される複数台冷却システムの相互運転等の課題を抽出し、その対策を検討するとともに、システムシミュレーションにより最適運転方法の検討を行う。

システムシミュレーションには、従来ケミカルプラント設計等で実績のある汎用プロセス解析ソフトを用い、それをベースに実際の冷却システムの実績データを考慮した実運用時のエネルギー収支を評価できるものとする。本シミュレーションを用いることにより、定常時のケーブルの熱損失、圧力損失に応じた冷却システムの運転状態を把握できるとともに、初期冷却や故障時のバックアップ等の非定常時の運転状態も把握できるため、各運用形態に合わせた最適設計も可能となる。

平成 26 年度は、冷却システムのシミュレーションモデル検討を行う。実運用形態（例えば、揚水発電所の引き出し線、都市部の高密度送電等）をモデル化し、ケーブル高低差を考慮した冷却システムや中継基地間に設置される複数台冷却システムの相互運転等の課題を抽出する。

平成 27 年度は、冷却システムのシミュレーション方法の確立を行う。前年度に抽出した課題を解決する方策を検討する。検討では、従来ケミカルプラント設計等で実績のある汎用プロセス解析ソフトを用い、それをベースに実際の冷却システムの実績データを考慮した実運用時のエネルギー収支を評価するためのシミュレーションモデルの構築を行う。

2.1.3 早期復旧等の実用性向上のための対策検討

本取り組みは当初から平成 28 年度に実施する予定であったため、実施計画書作成段階では目標の詳細は作成していない（2 年契約のため）。

2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、NEDO のプロジェクト公募に、東京電力、住友電気工業、古河電気工業、フジクラ、前川製作所のチームで応募し、採択されたものである。

また、NEDO は研究体を統括するために、本庄 昇一 東京電力 技術開発部長代理をプロジェクトリーダー（PL）とし、PL との間で密接な連携をとりながらプロジェクトの舵取りを行っている。

さらに、NEDO 内に産官学の有識者からなる委員会（超電導技術委員会）を設け委託研究開発に関する研究方針審議、個別成果のレビュー、問題解決のための方策の検討、NEDO 超電導研究開発プロジェクト間における技術情報の共有化を進め、研究開発の効率的、効果的实施を図っている。

研究体制を図 2.2-1 に示す。

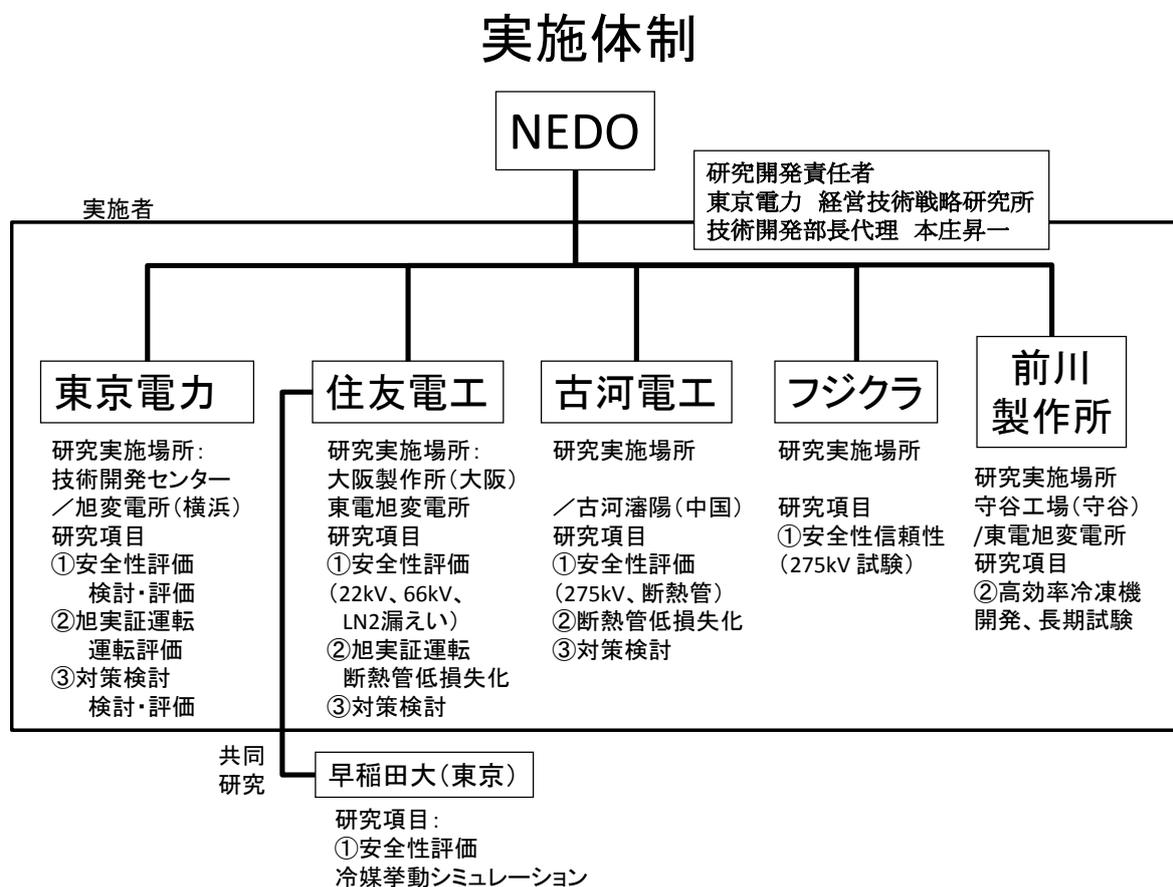


図 2.2-1 研究開発体制

2.3 研究開発の運営管理

プロジェクトの成果について評価をいただくために、NEDO が主催する超電導技術委員会に定期的に進捗を報告し、その方向性の修正、課題解決のための助言、開発加速のための協議等を実施いただいている。

また、プロジェクト内では、研究を効率的かつ機動的に運用するために、安全性検証試験検討委員会及びワーキンググループを設け、実施者以外の有識者から意見を頂く形をとっている。

(1) 超電導技術委員会

NEDO 内には産官学の有識者による超電導技術委員会（平成 21 年度から委員長：大久保 仁 名古屋大学教授）が設けられ、NEDO の個々の超電導技術開発及び全体に関する研究方針審議、成果のレビュー、問題解決のための方策の検討、並びに技術情報の共有化を進めており、そこで得られた助言等をもとに NEDO 超電導技術開発の効率的、効果的運営が図られている。本プロジェクトも定期的な研究方針審議と成果のレビューは言うに及ばず、NEDO が行った基本計画見直しに対する大所高所からの審議を行う等、研究開発の効率的かつ効果的な実施に結びついている。

(2) 安全性検証試験検討委員会（安全性検討委員会）

プロジェクト内に設置した安全性検証試験検討委員会（安全性検討委員会）は委員長のもと、この事業目標を達成するためプロジェクトを強力かつ効果的に推進することを目的としており、本プロジェクトの計画や進捗状況について外部有識者により、俯瞰的、総合的に評価・審議いただいている。原則、2 回/年開催。

委員会のメンバーリストを表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 安全性検討委員会メンバーリスト

| | 氏名 | 所属機関 |
|-----|------------------|---------------------------------|
| 委員長 | 本庄 昇一 | 東京電力(株) 経営技術戦略研究所 技術開発部 部長代理 |
| 委員 | 大崎 博之 | 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授 |
| 委員 | 門 裕之 | (一財)電力中央研究所 大電力試験所 副試験所長 上席研究員 |
| 委員 | 栗山 透 | 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 技監 |
| 委員 | 曾我 学 | 関西電力(株) 電力システム技術センター地中送電グループ 課長 |
| 委員 | 高橋 芳久 | 東京電力(株) 工務部 地中線技術担当 |
| 委員 | 塚本 修巳 | 上智大学 客員教授 |
| 委員 | 鳥居 慎治 | (一財)電力中央研究所 電力技術研究所 スタッフ 上席研究員 |
| 委員 | 早川 直樹 | 名古屋大学 エコトピア科学研究所エネルギー科学研究部門 教授 |
| 委員 | 横井 賢二郎 (途中交代) | 関西電力(株) 研究開発室研究推進グループ マネージャー |
| 委員 | 山野井 俊行 | 関西電力(株) 研究開発室研究推進グループ |

(4) ワーキンググループ (WG)

安全性検討委員会よりもさらに個別で、詳細な内容について審議、協議するために、図 2.3-1 のとおりワーキンググループを設けている。それぞれのワーキンググループには、電力中央研究所から委員を募ると共に、実施者側と忌憚ない意見交換を実施し、プロジェクトの進捗、内容について、協議している。

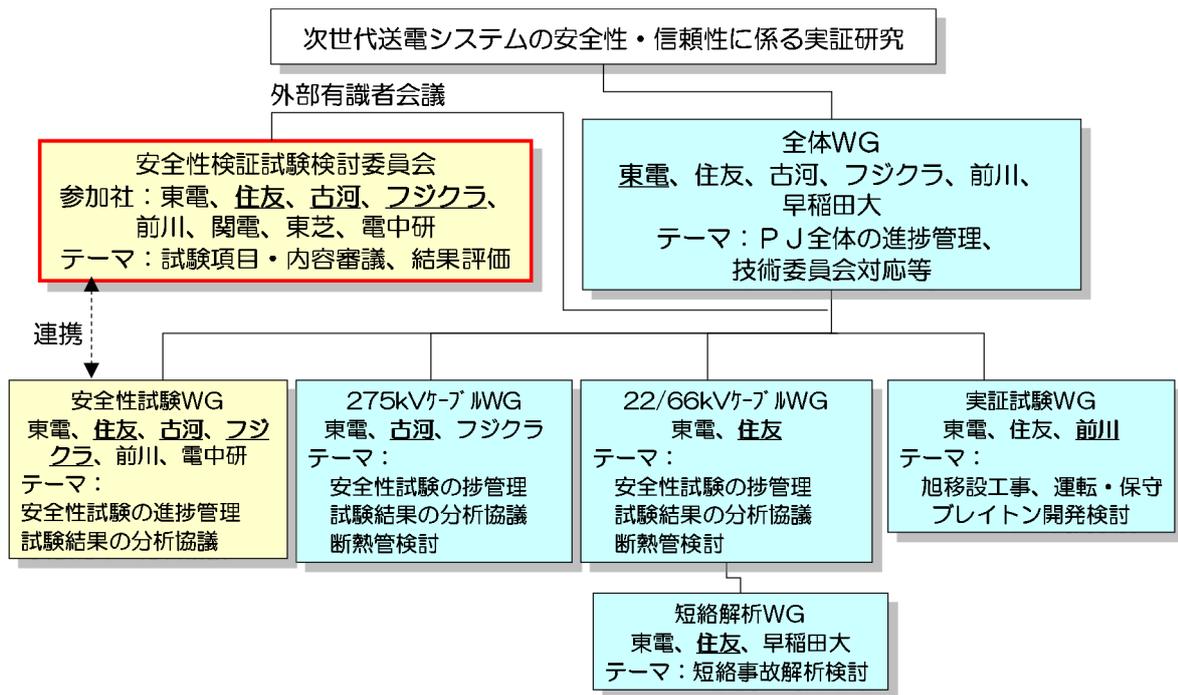


図 2.3-1 ワーキンググループタスク内容と参加社

2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

(1) 実用化につなげる戦略

超電導ケーブルの実用化をすすめるためには、最終ユーザーである電力会社の積極的関与が必要不可欠である。このため、電力会社がプロジェクトリーダーを務めることで、実適用時までを見通したプロジェクト運営に努めた。

超電導ケーブルの実用化をはかる手段の一つとして、旭変電所の超電導ケーブル実証システムの見学・説明会を積極的に開催した。特に、最終ユーザーである電力事業者や、海外展開を見据え海外来訪者を対象とした見学・説明会に注力した。その結果、電力事業者は6件25名、海外来訪者は9件37名が見学に訪れ、その他の見学者も含めると、合計34件224名が旭変電所を訪れている。高温超電導ケーブル実証プロジェクトから累計すると、来訪者は計1040人となる。

(2) 実用化につなげる知財戦略・標準化戦略

超電導ケーブルの基本構造やシステムについては、これまでの開発で既知の技術であるが、超電導ケーブルの安全対策に必要な、設計技術、アイデアを考案し、特許化を行う方針で、プロジェクトを進めた。

標準化については、CIGRE D1.64, 2016のWorking groupが2016年発足予定である。Electrical Insulation at Cryogenic Temperaturesとの題目であり、委員として超電導ケーブルの安全性・信頼性に係る試験項目、試験内容を報告する機会を得た。なお、国内では電気学会「極低温環境下の電気絶縁技術」調査専門委員会が2015年10月より発足し、研究成果を報告する機会を得ている。

3. 情勢変化への対応

3.1 基本計画変更について

平成 27 年度までに行った超電導ケーブルの地絡に関する基礎試験、予備試験の結果から、安全防護策について、追加の検証が必要との結論に至り、平成 28 年度に最終目標である最終的な安全防護策の効果を確認するのが困難となった。

また、平成 27 年度から実施予定であった「旭変電所における高効率・大容量冷凍機の実証試験」において、冷凍機のトラブルが発生しており、その解明に時間を要していることから、1 年間の実証運転・残存性能評価を含めた評価項目を平成 28 年度までに終えるのが困難であることが判明した。

以上の理由を背景に、プロジェクトの実施期間の延長が必要であるとの結論に至り、平成 28 年度末に終了予定であった「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」を平成 27 年度末に終了させると共に、当初計画にて平成 28 年度以降に実施予定であった研究開発項目を、平成 28-平成 30 年度に実施される新プロジェクト「高温超電導実用化促進技術開発」に移行することとした。そのため、プロジェクト基本計画における事業期間と計画および最終目標の変更を行った。

(1) 事業期間および計画の変更

上記の理由により全体計画を図 3.1-1 から図 3.1-2 の通り変更した。

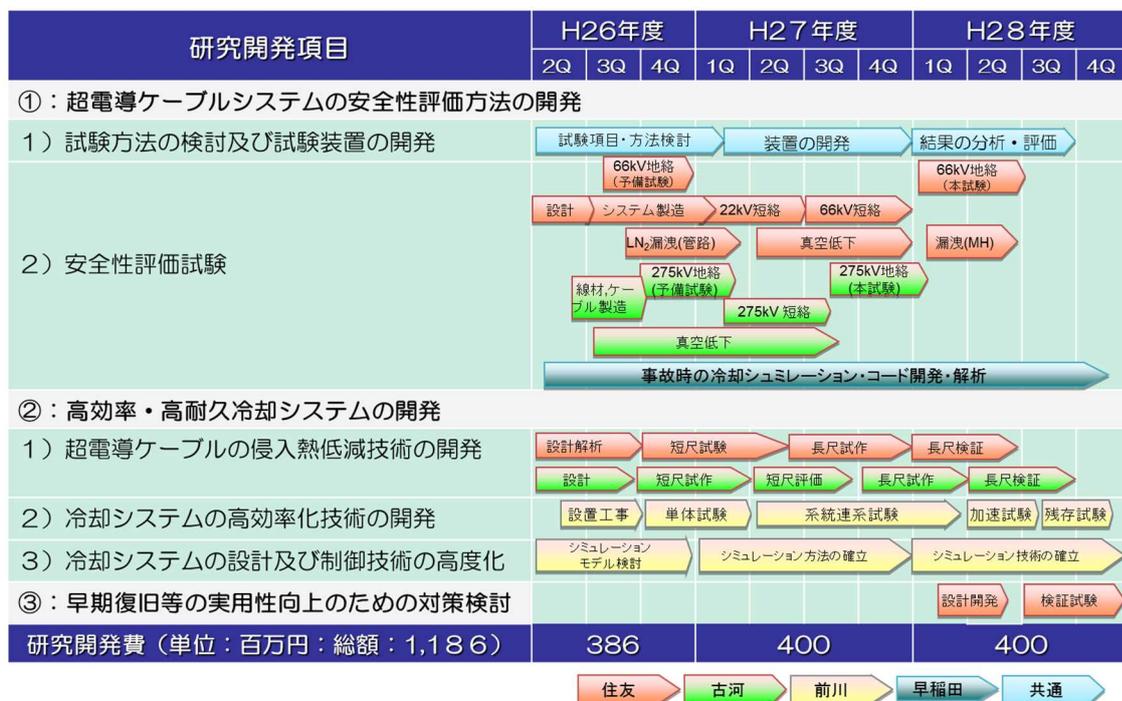


図 3.1-1 当初計画

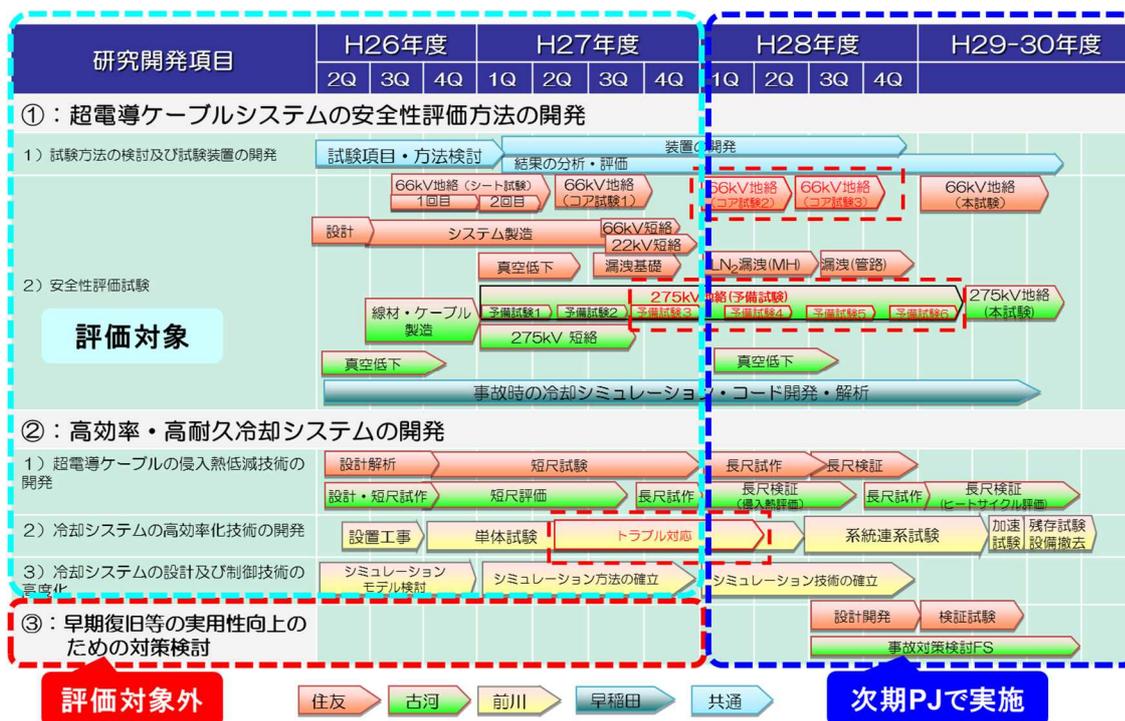


図 3.1-2 計画変更後

(2) 最終目標の変更

プロジェクトの最終目標は以下の通り変更された。

研究開発項目①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」

(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標

- ・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。
- ・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。
- ・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。

(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標

- ・安全性評価の対象となる事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。

最終目標の評価条件等については、平成 26 年度末までに明確にする。

研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」

(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条以下となること

(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOPが0.11以上となること
- (3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標
- ・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の検討を行う
- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の検討を行う
- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の検討を行う

最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。

研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」

- ・リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加すべき要素を検討する。

4. 評価に関する事項

●過去に実施したそれぞれ（事前評価）について、次の項目を記述

- ①評価の実施時期（それぞれの実施年度）
- ②評価手法（外部評価、第三者評価など）
- ③評価事務局（研究評価部、推進部など）
- ④評価項目・基準（「標準的評価項目・基準」など）
- ⑤評価委員（それぞれの評価委員リストを記載。別添としても良い。）

| | |
|----------|--|
| | 採択審査委員会（事前評価） |
| ①評価の実施時期 | 平成26年度 |
| ②評価手法 | 外部評価 |
| ③評価事務局 | 省エネルギー部 |
| ④評価項目・基準 | ①提案内容の評価（公募目的・目標との整合性及び既存技術との優位差、提案の実現性、関連分野に関する実績） ②提案者の評価（関連分野に関する実績、開発体制の整備、必要設備の保有、人材の確保） ③成果の実用化（社会や他の技術への波及効果） |
| ⑤評価委員 | 表4-1 採択委員会委員 |

表 4-1 採択委員会委員リスト

| | 氏名 | 所属 | | 役職 |
|---|-------|---------------------------|------------------------------|------------|
| 1 | 大久保 仁 | 学校法人 名古屋電機学園 愛知工業大学 | 工学部電気学科 | 教授 |
| 2 | 白井 康之 | 国立大学法人 京都大学 | 大学院エネルギー科学研究科 | 教授 |
| 3 | 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 |
| 4 | 馬場 旬平 | 国立大学法人 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 | 准教授 |
| 5 | 藤井 俊英 | 電気事業連合会 | 技術開発部 | 技術開 発部長 |

「次世代送電システムの
安全性・信頼性に係る実証研究」

事後評価分科会

【付録資料】

付録資料 1 プロジェクト基本計画

付録資料 2 技術戦略マップ

付録資料 3 事前評価関連資料

(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)

付録資料 4 特許リスト

付録資料 5 発表・論文リスト、成果の普及、受賞実績

「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」基本計画

省エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

日本再興戦略の中で、我が国の成長戦略の鍵として、科学技術イノベーション総合戦略の推進が挙げられている。超電導送電技術は、その科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一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な技術とされている。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我が国の状況

NEDOは、「イットリウム系超電導電力機器技術開発」(平成20年度～平成24年度)で、イットリウム系超電導材料を用いた長尺線材、超電導電力ケーブル及び超電導変圧器等の技術開発を推進し、世界的に優れた成果を挙げた。また、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」(平成19年度～平成25年度)では、66kV/200MVA級の三心一括型超電導ケーブルシステムについて一年間以上の実系統連系試験を行い、電力システムの一部として利用可能な信頼性を有することを検証するとともに、冷凍機単独でCOP (Coefficient of Performance) 0.10を達成した。

③世界の取組状況

韓国は、2011年からGENIプロジェクトで、イットリウム系線材を用いた22.9kV/50MVA級、長さ410mの三心一括型超電導ケーブルの実系統実証試験を実施している。また、80kV/500MVA級、長さ500mの直流超電導ケーブル、及び、154kV/500MVA級、長さ1kmの交流超電導ケーブルを開発して、実系統にて実証する計画を発表している。

ドイツは、Ampacityプロジェクトで10kV/40MVA級、長さ1kmの三相同軸型ケーブルを開発し、2014年春には超電導限流器と組み合わせて実系統試験を実施する計画を、発表している。

我が国は、高温超電導技術の電力分野への応用について、材料から冷却や制御を含むケーブルシステムまで一貫した技術開発を実施してきた結果、諸外国よりも技術的優位性を保っているが、開発競争は今後一層激化すると考えられる。

④本プロジェクトのねらい

超電導送電技術の安全性及び信頼性を向上することにより、当該技術分野における我が国

の優位性を維持・拡大するとともに、将来の高密度な電力需要に適応する高効率な次世代送電システムの実現に資することを目的とする。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

超電導ケーブルを実際の電力系統へ導入するために、通常時の信頼性だけでなく、ケーブルに対する外部からの機械的な損傷等による不測の事故（地絡・短絡等）時に生じる現象と影響を把握し、その結果を踏まえて安全性、信頼性を検討する必要がある。また、冷却システムの効率と耐久性をさらに改善する必要もある。加えて、事故・故障等を早期に検知するとともに、その影響を最小限に抑える等、実用性を向上させるための対策も重要である。

以上を踏まえて、本プロジェクトの開発目標を以下の通り定める。

【最終目標】

- ① 超電導ケーブルシステム^{*1}の安全性評価方法を確立するために、以下を開発目標とする。
 - ・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。
 - ・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。
 - ・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。
 - ・安全性評価の対象とする事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を完成する。最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。
- ② 高効率・高耐久な冷却システム^{*2}を実現するために、以下を開発目標とする。
 - ・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条 以下となること
 - ・実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOP^{*3}が0.11以上となること、並びに、冷凍機本体及び主な冷却システム構成機器の保守・点検間隔を40,000時間以上とすることが可能なこと
 - ・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の確立
 - ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の確立
 - ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の確立最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。
- ③ 早期復旧等の実用性向上のための対策として、以下を開発目標とする。
 - ・リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加するべき要素を定める。
 - ・復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとして完成する。

*1 本文書中において、超電導ケーブルシステムとは、高温超電導線材を用いた超電導ケーブル、液体窒素循環による冷却システム、並びに、電力等制御システムからなるシステム全体を指す。

*2 本文書中において、冷却システムとは、液体窒素の循環により超電導ケーブルを所定の温度以下に

保つことを目的としたシステムを指す。

- *3 本文中においては、次の様に定義する。冷却システムの定格運転条件における、1時間当たりの、(冷却能力) / (冷凍機動力+ポンプ動力)

②アウトカム目標

大都市圏での局所的な電力需要の伸びや電力インフラ機器の経年による置き換えが予想される中、電力インフラの拡充・ケーブル交換には、共同溝の使用制約や送電網の用地買収条件を考慮すると、従来の銅ケーブルに比べ、高効率で送電容量の大きい超電導ケーブルの実用化が必要である。超電導ケーブルは、初期的には、揚水発電所の発電機引出線や都市部の地中ケーブルへの適用が見込まれている。超電導ケーブルは、従来の地中ケーブルに対して送電損失を1/2程度に抑えられることから、例えば、110kV以上275kV以下の地中ケーブルのうち20%が超電導ケーブルに置き換わり、ケーブルの年間平均利用率を50%と仮定した場合、CO₂を年間13.2万t程度削減できると見積もられる。なお、超電導ケーブルを用いた送電システムの国内の市場規模は、2030年において首都圏を中心に年間260億円程度見込まれる。

③アウトカム目標達成に向けての取り組み

NEDOは、海外市場への展開に向けた支援の一環として、各国関係機関との情報交換や調整等を実施する。また、ケーブル、冷却システムの製造段階等で冷却に用いる液体窒素等が高圧ガス保安法の適用を受ける可能性があるため、規制緩和に向けた働きかけを実施する。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

【助成事業】

- ①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」 (NEDO負担率1/2)
- ②「高効率・高耐久冷却システムの開発」 (NEDO負担率1/2)
- ③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」 (NEDO負担率1/2)

本研究開発は、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発であり、助成事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

NEDOが公募によって研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等(以下、「団体」という。)のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外での団体と連携して実施することができる

ものとする。

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な対策を講じるものとする。運営管理にあたっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、外部有識者で構成する技術委員会を組織し、定期的に技術評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、必要に応じて内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を行う場合、委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

平成26年度から平成28年度までの3年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規定に基づき、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、外部有識者による研究開発の事後評価を平成29年度に実施する。なお、評価時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しにする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 基本計画の変更

NEDOは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善案を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応をおこなう。

(2) 根拠法

本プロジェクトは「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第15条第1項第3号及び第9号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成26年3月、制定。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」

1. 研究開発の必要性

超電導ケーブルの実用化には、地絡・短絡事故等を想定して、その影響を検証しておくことが必要である。また、検証試験を世界に先駆けて実施することにより、世界市場での優位性を確保できる。そのため、事故・故障発生時の超電導ケーブルや冷媒の挙動と現象を把握し、超電導ケーブルシステムに及ぼす影響を検証する。

2. 研究開発の具体的な内容

(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発

超電導ケーブルでの絶縁破壊等の電気的事故、断熱管等での機械的故障や損傷、並びに、冷却システムの故障等、超電導ケーブルシステムで想定される各種の事故・故障を、海外での適用も考慮に入れて、抽出・分類する。

それらの発生頻度及び損害レベルを考慮して、安全性評価試験を行うべき項目を選定する。また、試験条件及び試験方法等、安全性評価試験の実施に係る細目を決定する。

決定した安全性評価試験を実施するための試験装置を設計・製作する。

決定した安全性評価試験方法を、IEA、ISO等の場を通じて、国際的に共有し普及する。

(2) 安全性評価試験による影響検証

安全性評価試験に用いる超電導ケーブルサンプルを、想定する用途に応じて作製する。当該ケーブルサンプルを用いて、安全性評価試験を実施する。また、安全性評価の対象とする事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。その試験結果及びシミュレーションにより、超電導ケーブルシステムに及ぼす影響を検証する。

3. 達成目標

【最終目標】

(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標

- ・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。
- ・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。
- ・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。

(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標

- ・安全性評価の対象となる事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を完成する。

最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。

研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」

1. 研究開発の必要性

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」における実系統連系試験を通じて、超電導ケーブルへの侵入熱の低減、冷却システムの高効率化、及び、冷却システムのメンテナンス間隔の長期化が課題として明らかとなった。また、適用されるサイトに応じて、複数の冷却ステーションの配置等の設計を行う必要があることから、多様な冷却システムに対応してエネルギー収支を評価するためのシミュレーション技術が必要である。

2. 研究開発の具体的な内容

(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発

超電導ケーブルの断熱に係る構造・材質を改良して、2種類以上の電圧階級について超電導ケーブルを試作する。その効果を実験によって確認する。

(2) 冷却システムの高効率化技術の開発

冷却システムを小型化するとともに、効率を向上させる技術開発を行う。

開発した冷却システムと超電導ケーブルを組み合わせた長期運転試験を行い、性能及び耐久性を評価する。

(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化

適用する現場に対応して、複数の冷却ステーションの配置等、適切な冷却システムを設計する技術を開発する。

多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率で運転するための制御技術を開発する。また、冷却システム全体のエネルギー収支を評価するシミュレーション技術を開発する。加えて、超電導ケーブルシステム全体としてのエネルギー収支についても、評価を行う。

3. 達成目標

【最終目標】

(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条 以下となること

(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標

- ・実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOPが0.11以上となること、並びに、冷凍機本体及び主な冷却システム構成機器の保守・点検間隔を40,000時間以上とすることが可能なこと

(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標

- ・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の確立
- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の確立
- ・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の確立

最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。

研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」

1. 研究開発の必要性

超電導ケーブルシステムの事故・故障等を早期に検知し、その影響を最小限に抑えるとともに、できるだけ早期に復旧することは社会インフラの構成要素として重要である。事故・故障を早期に検知し、また、早期に復旧させるための、超電導ケーブルシステムとしての研究開発は行われておらず、実用化に向けて検討と検証を行う必要がある。

2. 研究開発の具体的な内容

研究開発項目①での試験結果及びシミュレーションによって示された影響の度合いに応じて、超電導ケーブルシステムとしての、事故・故障発生頻度の低減、損害の低減、並びに、事故・故障からの復旧方法等を検討する。

検討の結果、事故・故障発生頻度の低減及び損害の低減のために、超電導ケーブルに付加すべき要素が明確になった場合は、研究開発項目①における、ケーブルサンプルの試作に反映させる。また、冷却システムに付加すべき要素が明確になった場合には、研究開発項目②における、冷却システムの開発及び制御技術の開発に反映させる。

また、復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとしてとりまとめる。

3. 達成目標

【最終目標】

- ・リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加すべき要素を定める。
- ・復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとして完成する。

超電導技術分野

超電導技術は、電気抵抗がゼロであるという特徴的な性質により電流が流れる際のエネルギー・ロスを抑えることができることや、磁石からでる磁力線を超電導物質が跳ね返す性質（マイスナー効果）、超電導物質内部に侵入した磁力線を捕捉してしまう性質（ピンニング効果）等の様々な特長を有している。1986年に「高温超電導物質」と呼ばれる酸化物系超電導物質が発見されたことをきっかけに、科学技術の大幅な加速進展のみならず、エネルギー・電力分野を始め、産業・輸送分野、診断・医療分野、情報・通信分野等の幅広い分野において、超電導技術の応用に関する期待が世界中で高まり広く研究に取り組まれてきたが、工業化を図るために不可欠な技術が近年出そろい始めており、超電導材料を用いた様々な機器の開発・実証・実用化が現実のものとなりつつある。その一方では、新しい超電導物質の発見や超電導現象の理論解明によるブレークスルーへの試みも続けられており、「常温超電導物質」の発見という人類の夢に向けた試みも絶えてはいない。【参考資料1：超電導の性質と将来性】 【参考資料2：超電導物質の探索】

また、京都議定書発効に伴う温暖化緩和策の一環としての省エネルギー技術の開発・導入や各種資源の枯渇・高騰等も喫緊の課題となっており、「クールアースーエネルギー革新技術計画」の技術テーマにも選定される等、超電導技術を早期に実用化することによって、環境負荷の低減と資源の有効な利用という2つの目的を効率的かつ実効的に達成し、多様な分野におけるエネルギーの効率的利用に資すること等が強く期待されている。

これらの状況を踏まえ、かつての「夢の超電導技術」から「21世紀のキーテクノロジー」と呼ばれるまでに進化を遂げつつある超電導技術について、諸々の社会ニーズに対応していくことを念頭に中長期的な観点と早期実用化の観点から技術戦略マップを作成した。

なお、2020年頃迄を目途に実現が期待される社会の姿についてのイメージを得るため、【参考資料3：社会に役立つ超電導技術 2020年の社会像】を示した。

超電導技術分野の技術戦略マップ

I. 導入シナリオ

(1) 超電導技術分野の目標と将来実現する社会像

研究開発の戦略的な推進については、様々な社会ニーズと研究開発目標との関係を明らかにした上で、効率的な研究開発体制を構築することが重要である。特に、超電導技術応用機器の開発に際しては、全ての機器開発の共通基盤技術である超電導材料の開発（線材化・バルク化・デバイス化）と機器適用周辺技術開発（冷凍・冷却技術）とを同時並行的に進め、要求仕様を相互にフィードバックさせながら、各種応用機器を実現するためのタイムリーな技術開発を進めていくことが必要不可欠である。

超電導技術分野は、その将来的な優位性の高さから、日米欧での熾烈な技術開発競争がなされているところであり、また、韓国、中国も積極的な技術開発を行っている等、海外の動向も無視できない状況にある。（【参考資料4：世界のY系超電導線材開発状況】【参考資料5：SFQ技術の国際評価】等）。しかし、研究開発を推進した結果として国際的な競争力を発生させ得るに足る研究成果が得られたとしても、実用化・事業化が行われなければ何の役にも立たない。研究開発の初期段階から将来の事業化を想定した企業が参画すること等により、スムーズな事業化につながる方策を講じていくことが重要である。

欧米においては、技術的に未成熟な段階から幾つものベンチャー企業が起業し、超電導技術産業に係る市場を創出するべくチャレンジを繰り返してきた。我が国においては、官民のリソースの選択と集中を行うことによりここまで研究開発を進めてきたところであるが、21世紀における良好な環境の維持と我が国経済の持続的成長とを両立させていくためには、超電導技術産業市場の早期創出と自律的な発展の開始に向けた導入普及促進策等の推進や、規制緩和、標準化等を通じた新たな市場競争ルールの導入といった関連施策を行うことにより、民間企業が市場競争の中で自ら効率的な事業展開を図っていくための戦略的な体制作りと研究開発とを一体的に推進することが必要である。

前述のように、近い将来において超電導技術を適用した機器の実現が期待される分野は、①エネルギー・電力分野（電力ケーブル、限流器、変圧器、発電機、フライホイール、SMES（超電導電力貯蔵装置）等）、②産業・輸送分野（船用モータ、磁気浮上式鉄道用マグネット、半導体引上装置、磁気分離装置等）、③診断・医療分野（MRI、NMR、MCG（心磁計）、MEG（脳磁計）、質量分析器等）、④情報・通信分野（ルータ・スイッチ、SFQコンピュータ、バンドパスフィルタ、ADコンバータ等）の4分野に大きく分けることができる。分野によって求められる社会ニーズ等には異なる部分があるが、共通基盤技術が成長しつつあることにより、戦略的な機器開発・導入を図るべき時期が到来していることについては一様である。そこで、4分野それぞれにお

ける代表的かつ戦略的な機器について、開発・導入に係る想定シナリオを時系列で示すこととした。

(2) 関連施策の取組

我が国経済が将来にわたって更なる発展を遂げていくためには、先導的効果を狙った高度に進んだ機器の開発投入や、全ての活動の基礎となるエネルギーについて将来顕在化することが懸念される資源制約等を総合的に考慮した、効率的なアプローチを図っていくことが重要である。また、そのためには、①研究開発の戦略的な推進が不可欠であるとともに、②国際的な競争力を有する研究成果の実用化・事業化の推進、③導入普及促進策、関連産業連携策、規制緩和、標準化等の関連施策と研究開発との一体的な推進が必要である。

[規制・制度改革]

- ・超電導技術の実用化を促進するため、高圧ガス保安法、電気事業法などの規制について導入促進のための規制緩和を図る必要がある。

[基準・標準化]

- ・超電導機器の導入に向けて、研究開発と並行して標準化の検討を進めることが重要なテーマについて、各分野の導入シナリオに示した。(2006年版策定時から)
- ・超電導関係の国際標準化のための取組及び具体的進展状況について理解を容易にするため、【参考資料6：超電導標準化マップ】を示した。(2007年版策定時から)

[広報・啓発]

- ・例年春に行われている「超電導技術動向報告会」や、2007年から冬に開催されることになった「超電導 EXPO」等の展示会を通じて、超電導技術及び超電導市場の最近の動向について広く周知する機会の増加を図る。

(3) 改訂のポイント

- エネルギー・電力分野及び産業・輸送分野を中心に、最新動向を踏まえた改訂を行った。特にエネルギー・電力分野及び産業・輸送分野については、2030年までの技術開発及び実用化のシナリオを追加した。
- エネルギー・電力分野、産業・輸送分野、診断・医療分野、及び情報・通信分野における技術開発及び実用化のシナリオについて、最近の研究開発の進展状況に伴う見直しを行った。
- エネルギー・電力分野において、今後の次世代電力システムへの展開の可能性も視野に入れ、従来のエネルギー貯蔵、送配電、発電用の機器を統合する「システムインテグレート」という領域を追加した。
- エネルギー・電力分野の関連施策にCO₂の25%削減目標(2020年)を加えるとともに、スペースの関係から一部の施策を削除した。
- エネルギー・電力分野等における海外での取組について、米国、欧州、アジアにおける最新の研究開発プロジェクト等を追記した。

Ⅱ. 技術マップ

(1) 技術マップ

超電導技術は、導入シナリオで示した4つの分野において、効率的かつ各々の導入目的に合致した研究開発を行うための技術指標を明確化する必要があるとの観点から技術をカテゴライズした。また、これらと同時並行的に進めていく必要がある共通基盤技術についても、素材・部品を供給するという観点から技術をカテゴライズした。

具体的には、それぞれ以下に示すような考え方に基づく分類を行っている。

① エネルギー・電力分野

エネルギー・電力分野の技術を、発電（創る）技術、送変配電（送る）技術、エネルギー貯蔵（貯める）技術の3つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（大電流化、低損失化等）について、小分類とした。

② 産業・輸送分野

産業・輸送分野の技術を、磁場応用（造る）技術、計測機器（測る）技術、回転機（動かす）技術、変圧器（変える）技術の4つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（小型軽量化、高磁場化、大容量化等）について、小分類とした。

③ 診断・医療分野

診断・医療分野の技術を、マグネット応用（視る）技術、加速器応用（治す）技術、高周波デバイス応用（測る）技術、SQUID応用（診る）技術の4つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（磁場安定化技術、高感度化等）について、小分類とした。

④ 情報・通信分野

情報・通信分野の技術を、コンピュータ・ネットワーク機器（判断する）技術、無線アクセス系機器（飛ばす）技術、計測機器（測る）技術の3つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（処理能力／ラック向上、低コスト化等）について、小分類とした。

⑤ 共通基盤技術

共通基盤技術は、超電導材料の開発（線材化・バルク化・デバイス化）及び機器適用周辺技術開発（冷凍・冷却技術）から構成されることから、これを大分類とした。超電導材料の開発については、それぞれを実現する製造方法やそれを加工する方法により技術的アプローチも異なると考えられるため、これを中分類とした。また、同じ製造方法でも物質により性質等が異なってくることから超電導物質別の小分類、同じ加工方法でも実現すべき形状により性質等が異なってくることから加工の要素技術別の小分類とした。

冷凍・冷却技術については、適用される対象の機器等により要求性能が大きく変わることから、これを中分類とした。また、同じ機器でも使用される超電導物質によって要求される冷却能力等が大きく異なってくることから、冷却能力・冷却手法別の小分類とした。

（２）重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的取組みや民間の主体的な取組み等による積極的な開発が望まれるが、以下の観点から評価されるものを重要技術と位置づけ、技術マップ中に色分けして示した。

- ① 2020年頃迄を目途に、産業及び技術のブレークスルーを生み出す可能性のある技術
- ② 超電導技術による実現の可能性が高く、コスト・性能等の面で競争優位性を生み出す可能性のある技術
- ③ これらの機器を実現するために不可欠な共通基盤技術

（３）改訂のポイント

- エネルギー・電力分野、産業・輸送分野を中心に、最新動向を踏まえた改訂を行った。
- エネルギー・電力分野の電力ケーブルの技術小分類について、超電導ケーブルを実用化するために低コスト化が重要な課題であることから、「低コスト化」を重要技術に位置づけた。
- 産業・輸送分野の「廃水磁気分離装置」について、工業廃水や自然界に放出される排水の浄化・処理だけでなく、原料や廃棄物からの異物・有価物の磁気分離等の応用も有望と考えられることから、より広い用語として「排水・資源循環磁気分離装置」に修正した。また、「非接触磁気軸受回転機」を、より分かりやすく直接的な名称である「スピンコーター」に修正した。
- 産業・輸送分野の「車載用モータ」の技術小分類（小型軽量化、高速回転、効率向上）について、専門家の助言を得て、より適切な技術課題（小型軽量化、可変速駆動に対して高効率、高トルク密度化）に修正した。
- 産業・輸送分野の輸送用機器の技術中分類に、今後実用化が期待される「鉄道用直流き電」を新たに追加した。
- 診断・医療分野のマグネット応用の技術中分類に、今後実用化が期待される「細胞・

タンパク磁気分離」を新たに追加した。

Ⅲ. 技術ロードマップ

(1) 技術ロードマップ

技術マップに示された各技術課題のうち、重要技術として選定されたものについて、2020年頃迄を目途に、中長期的視点から各技術課題に必要と考えられるマイルストーンを配し、4つの技術分野及び共通基盤技術のそれぞれにおけるロードマップとして示した。

(2) 改訂のポイント

- エネルギー・電力分野、産業・輸送分野、共通基盤技術を中心に、全分野の技術ロードマップについて、最新の動向を踏まえた多くの改訂を行った。
- 特にエネルギー・電力分野、産業・輸送分野については、従来の2020年までのロードマップを2030年まで延長した。
- エネルギー・電力分野の電力ケーブルについては、技術マップの技術小分類において「低コスト化」を重要技術に位置づけたことを受けて、対応する項目・記述を技術ロードマップに追加した。
- 共通基盤技術－線材のBi2223の大電流化については、最新の状況に合わせて数値を改訂するとともに、量産ベースの数値であることを明記した。
- 共通基盤技術－線材のY(RE)系のコストについては、技術コストからプライスマドを含む値であることを確認した。
- 共通基盤技術－バルクの技術ロードマップについて、最新の状況を踏まえて、過年度のローリングにおいて今後の課題とされてきた全面的な見直し・改訂を行った。

Ⅳ. その他の改訂のポイント

○ 特許の出願動向

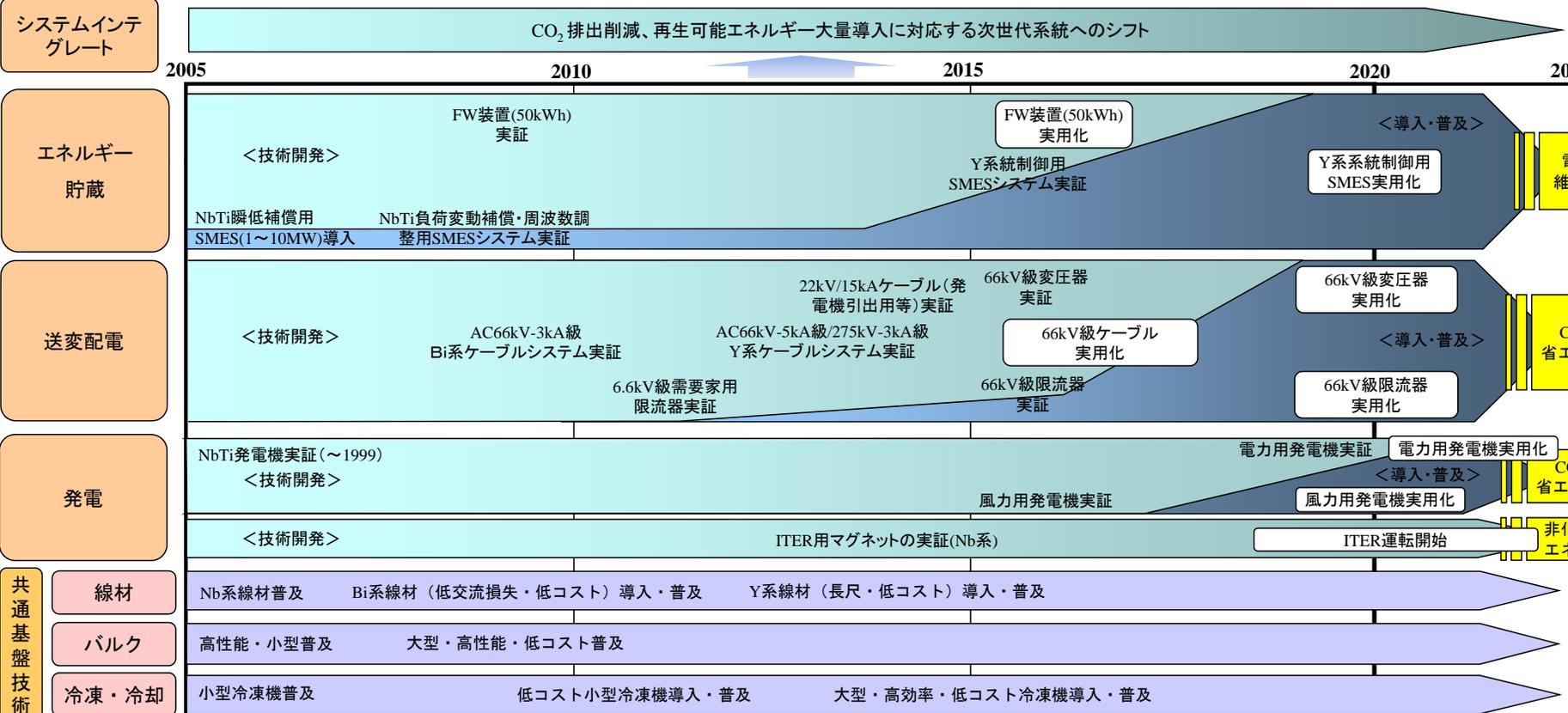
- 超電導技術に関する特許出願動向について、【参考資料7：超電導技術に関する国際特許出願動向】を新たに追加した。
- 日本、中国、韓国の超電導関連の国際特許出願件数とその世界に占める割合は、2000年代前半から後半にかけて大きく増加している。一方、米国、欧州は前半から後半にかけて減少している。ただし直近の動きを見ると、日本は2005年（国際出願件数）、2007年（世界に占める割合）をピークに減少傾向にある一方で、米国は2008年に国際出願件数を大きく増加させている。
- 世界平均と比べた場合の超電導分野への力の入れ方を示す超電導特化度は、日本が最も高く、かつ2000年代前半から後半にかけて上昇している。韓国も2000年代後半から、超電導分野に力を入れている。

超電導技術分野の導入シナリオ (エネルギー・電力分野) (1/4)

関連施策



技術開発



海外での取り組み



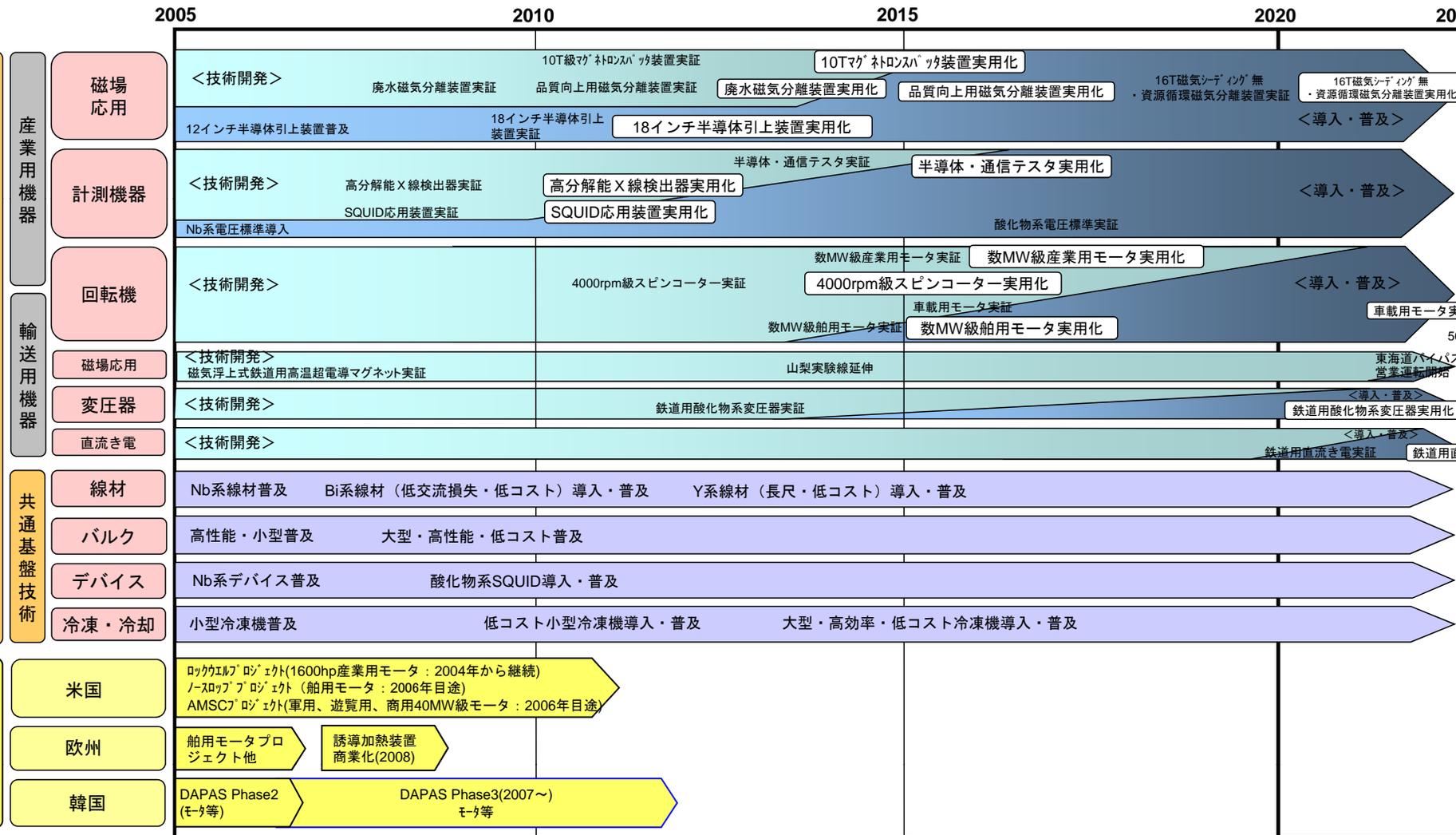
環境・エネルギー調和型社会の構築
 多様化する電源ニーズに対応する高信頼かつ高品質電力の供給・運用

超電導技術分野の導入シナリオ (産業・輸送分野) (2/4)

関連政策



技術開発



世界をリードする高度産業基盤構築

小型・軽量化、高速化、高度生産性等を通じた高度産業基盤の実現

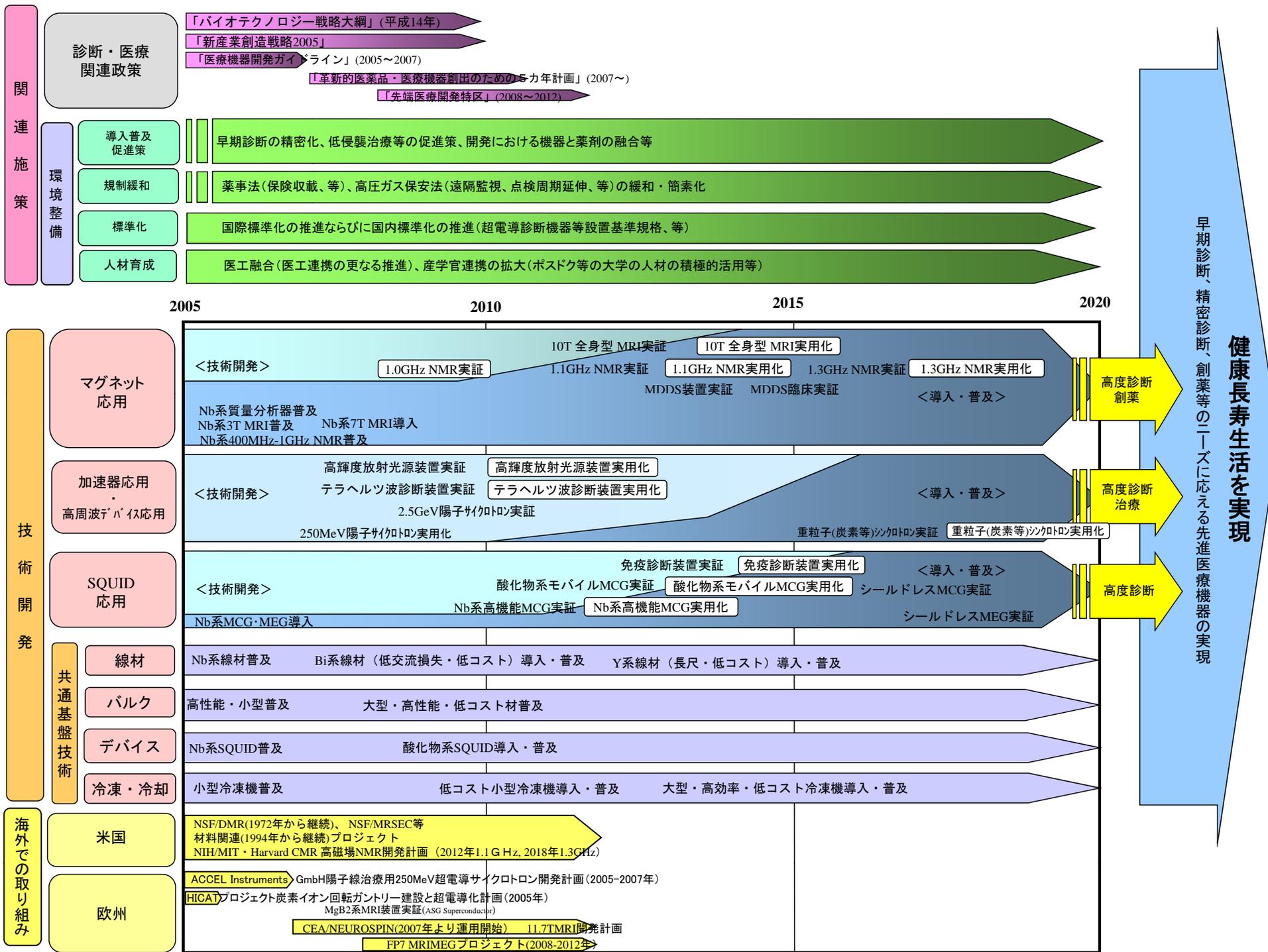
高度生産性 小型化

高度生産性 高信頼性

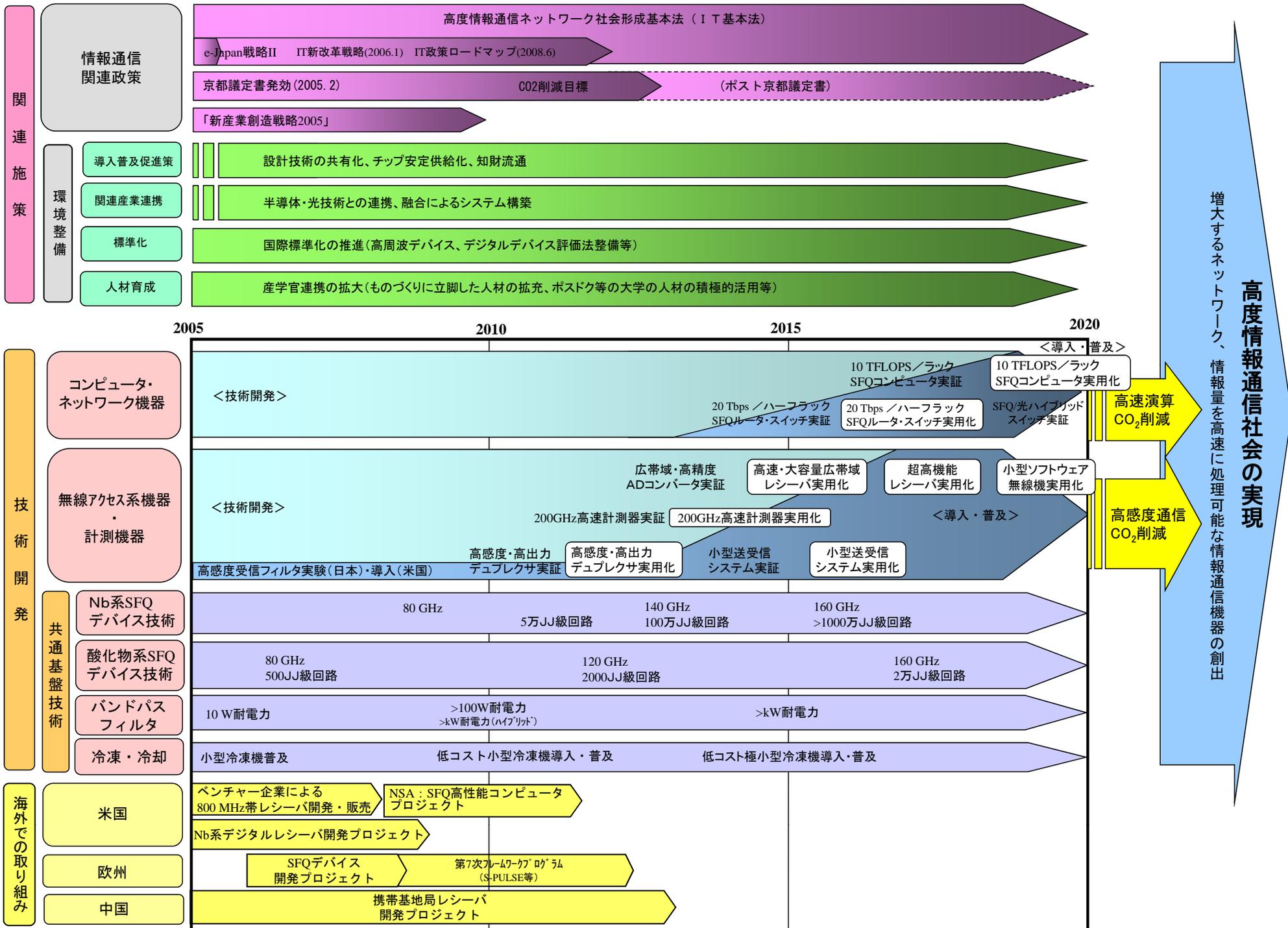
小型化 軽量化 CO₂削減

小型化 軽量化 CO₂削減

超電導技術分野の導入シナリオ (診断・医療分野) (3/4)



超電導技術分野の導入シナリオ（情報・通信分野）（4/4）



超電導技術分野の技術マップ(エネルギー・電力分野)

(1/5)

| ニーズ | シーズ | | | |
|------------------|---------|-------------|------|---|
| | 技術大分類 | 技術中分類 | 技術番号 | 技術小分類 |
| 環境・エネルギー調和型社会の構築 | エネルギー貯蔵 | SMES | 101 | ・低コストシステム化 ・大容量化 ・コイルの高性能化 ・高信頼性化 ・耐高電圧化 |
| | | フライホイール | 102 | ・大容量化 ・低損失化 ・総コスト低減 |
| | 送変配電 | 限流器 (SN転移型) | 103 | ・高電圧化 ・大電流化 ・常電導転移時高抵抗化 ・高速超電導復帰機構 |
| | | 電力ケーブル | 104 | ・長尺化 ・高電圧化 ・大電流化 ・低損失化 (AC) ・短絡対策 (AC) ・低コスト化 |
| | | 電力用変圧器 | 105 | ・不燃化、コンパクト化 ・Sub-cool LN2技術 ・高電圧化 ・大容量化 ・低コスト化 |
| | | 同期調相機 | 106 | 発電機と共通 |
| | 発電 | 発電機 | 107 | ・大容量化 ・低コスト、コンパクト化 |
| | | 核融合用マグネット | 108 | ・磁場中高特性化 ・大電流高強度化技術 ・低損失化 ・耐放射線化 |

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(産業・輸送分野)

(2/5)

| ニーズ | シーズ | | | | | |
|------------------|------------|-----------|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| | 技術大分類 | 技術中分類 | 技術番号 | 技術小分類 | | |
| 世界をリードする高度産業基盤構築 | 産業用機器 | 磁場応用 | 半導体引上装置 | 201 | ・ウエハ大口径化 | |
| | | | 鉄鋼圧延装置 | 202 | ・配列構造均一化 | |
| | | | 磁性材料調質装置 | 203 | ・配列構造均一化 | |
| | | | 排水・資源循環磁気分離装置 | 204 | ・高磁場化(磁気シーディング無) | |
| | | | 粒子加速器 | 205 | ・高磁場化 ・磁場均一化 | |
| | | | マグネトロンスパッタ装置 | 206 | ・高磁場化 ・大面積化 | |
| | | | 磁気シールド | 207 | ・高臨界温度化 ・低コスト化 | |
| | | 計測機器 | 半導体・通信テスタ (サンプラ) | | 208 | ・広帯域化 ・多チャンネル化 ・低コスト化(モジュールコスト) ・冷却技術 |
| | | | 電圧標準 | 交流 | 209 | ・出力周波数向上 ・高温動作化 ・高精度化 |
| | | | | 直流 | 210 | ・高温動作化 ・高電圧化 ・低コスト化 ・低周波数利用技術 |
| | | | X線検出器 (EDX) | | 211 | ・エネルギー分解能向上 ・計数率向上 ・小型化、低コスト化 |
| | | | 宇宙線検出器 | | 212 | ・高感度化 ・小型化 |
| | | | ミキサ | | 213 | ・低ノイズ化 ・高周波化 |
| | | | ポロメータ | | 214 | ・エネルギー分解能向上 ・低コスト化 |
| | SQUID 応用装置 | 構造物検査 | 215 | ・小型化、自動化 ・高機能化 ・測定高速化 | | |
| | | 食品・工業製品検査 | 216 | ・磁気シールド簡易化 ・異物検出限界向上 ・低コスト化 | | |
| | | 半導体検査 | 217 | ・空間分解能向上 ・測定高速化 ・低コスト化 | | |
| | | 鉱物探査 | 218 | ・探査深度 ・環境ノイズ除去技術 ・小型化 | | |
| | 回転機 | スピンドーター * | | 219 | ・高速回転化 ・高載荷力化 | |
| | | 産業用モータ * | | 220 | ・高速回転、大容量化 ・小型軽量化 ・効率向上 ・低速回転、大容量化 | |
| | 輸送用機器 | 回転機 | 船用モータ * | | 221 | ・低速回転、大容量化 ・小型軽量化 ・効率向上 ・高速回転、大容量化 |
| | | | 車載用モータ * | | 222 | ・小型軽量化 ・可変速駆動に対して高効率 ・高トルク密度化 |
| | | 磁場応用 | 磁気浮上式鉄道用マグネット | | 223 | ・信頼性向上、低コスト化 |
| | | 変圧器 | 鉄道用変圧器 * | | 224 | ・大容量化 ・低損失化 ・小型軽量化 |
| | | 直流き電 | 鉄道用直流き電 | | 225 | ・システム化 ・省エネ |

* 印は、「エネルギー・電力分野」の機器と関連する技術であり、環境・エネルギー調和型社会の構築にとっても重要である。

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(診断・医療分野)

(3/5)

| ニーズ | シーズ | | | |
|-----------|---------------|--|------|--|
| | 技術大分類 | 技術中分類 | 技術番号 | 技術小分類 |
| 健康長寿生活の実現 | マグネット 応用 | MRI | 301 | ・大口径、短軸化 ・高磁場化 ・線材高特特性化 ・磁場安定化技術 |
| | | NMR | 302 | ・超高磁場化 ・磁場安定化技術 |
| | | 質量分析器 | 303 | ・高磁場化 ・高均一化 |
| | | MDDS (磁気誘導薬物配送) | 304 | ・高磁場化 ・高磁気勾配化 ・小型・軽量化 ・低消費電力化 ・ナノ磁性粒子薬剤開発 |
| | | 磁気誘導カテーテル | 305 | ・高磁場化 ・高磁気勾配化 |
| | | 細胞・タンパク磁気分離 | 306 | ・小型化 ・短時間励減磁 |
| | 加速器 応用 | 高輝度放射光源 (アンジュレータ・ ウイグラー) | 307 | ・高輝度化 ・磁石ギャップ長可変技術 |
| | | テラヘルツ波 診断装置(光源) | 308 | ・高機能化 |
| | | 医療用粒子線 加速器 | 309 | ・高機能化 ・コンパクト化 |
| | 高周波 デバイス応用 | MRI/NMR (高周波プローブ) | 310 | ・高感度化 ・低損失化 |
| | | 質量分析器 (イオン検出器) | 311 | ・分解能向上 ・測定時間短縮 ・高機能化 |
| | | テラヘルツ波 診断装置(検出器) | 312 | ・高機能化 |
| | SQUID 応用 | SQUID 免疫診断装置 | 313 | ・システム高感度化 ・高機能化(多検体処理) ・操作性向上 ・低コスト化 |
| | | MCG (心磁計) | 314 | ・高感度化 ・磁気シールド簡易化 ・高機能システム化 |
| | | 神経磁気診断装置 (MEG(脳磁計)、脊髄・末 梢神経磁場計測装置) | 315 | ・磁気シールド簡易化 ・多チャンネル化 ・高機能化 ・低コスト化 |
| | | 超低磁場NMR/MRI | 316 | ・複合化 ・新機能化 ・分解能向上 |

重要技術

超電導技術分野の技術マップ(情報・通信分野)

(4/5)

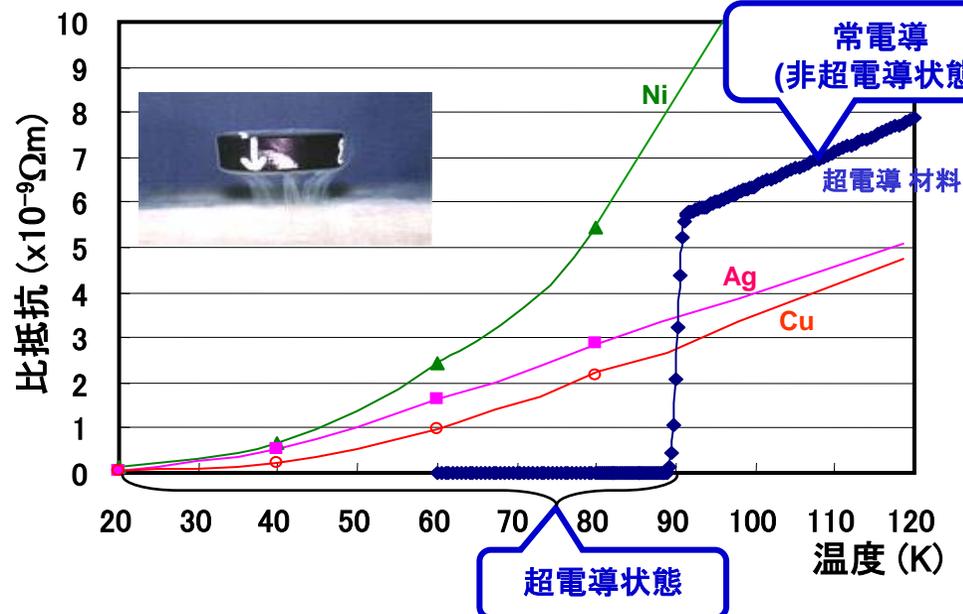
| ニーズ | シーズ | | | |
|-------------|-----------------|-----------------------|------|---|
| | 技術大分類 | 技術中分類 | 技術番号 | 技術小分類 |
| 高度情報通信社会の構築 | コンピュータ・ネットワーク機器 | SFQルータ・スイッチ | 401 | <ul style="list-style-type: none"> ・大容量化 ・方式、アーキテクチャ ・ラック当たりスループット向上 ・低コスト化 |
| | | SFQコンピュータ、サーバ | 402 | <ul style="list-style-type: none"> ・SFQプロセッサの大規模化 ・高速超電導メモリ大容量化 ・処理能力/ラック向上 ・低消費電力化 ・アーキテクチャ |
| | | 量子コンピュータ | 403 | <ul style="list-style-type: none"> ・回路規模(対応量子ビット数)拡大 ・回路消費電力低減 ・高速化 |
| | 無線アクセス系機器 | 高精度・広帯域ADコンバータ(無線用) | 404 | <ul style="list-style-type: none"> ・方式 ・帯域・ビット精度向上 ・低コスト化 ・モジュール小型化 |
| | | 受信フィルタ | 405 | <ul style="list-style-type: none"> ・高機能化 ・小型化 ・モジュール低コスト化 ・周波数調整技術 |
| | | 送信フィルタ | 406 | <ul style="list-style-type: none"> ・耐電力特性向上 ・高調波歪み低減 ・送受信複合化 ・低コスト化 |
| | | 衛星用通信機器(フィルタ、マルチプレクサ) | 407 | <ul style="list-style-type: none"> ・小型化、軽量化 ・高信頼化 ・高機能化 ・送受信複合化 ・冷却技術 |
| | | 超電導アンテナ | 408 | <ul style="list-style-type: none"> ・指向性、効率向上 ・アレイ化 ・冷却技術 ・環境ノイズ影響低減技術 |
| | 計測機器 | 広帯域ADコンバータ(計測用) | 409 | <ul style="list-style-type: none"> ・帯域、ビット精度向上 ・モジュール小型化、低コスト化 |
| | | 高速計測機器(サンブラ) | 410 | <ul style="list-style-type: none"> ・方式(入力、被測定対象) ・広帯域化 ・小型化、低コスト化 ・高感度化 |

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(共通基盤技術) (5/5)

| 技術大分類 | 技術中分類 | 技術番号 | 技術小分類 |
|------------------------|------------------------|----------|---------------------------|
| 超電導線材技術 | 加工熱処理法技術 (含ブロンズ法技術) | 501 | ・NbTi |
| | | | ・Nb ₃ Sn |
| | | | ・その他(Nb ₃ Al等) |
| | パウダーインチューブ法技術 | 502 | ・Bi2212 |
| | | | ・Bi2223 |
| | | | ・MgB ₂ |
| | | | ・その他 |
| | 薄膜線材技術 | 503 | ・Y(RE)系 |
| | | | ・その他 |
| | 導体化技術 | 504 | ・歪特性改善技術 |
| ・素線接続技術 | | | |
| コイル化技術 | 505 | ・巻線技術 | |
| | | ・絶縁技術 | |
| | | ・コイル保護技術 | |
| 超電導バルク技術 | 溶融凝固バルク技術 | 506 | ・RE123系 |
| | | | ・Bi2212系 |
| | | | ・その他 |
| | 焼結バルク技術 | 507 | ・RE123系 |
| ・Bi系 | | | |
| その他 | | | ・その他 |
| | | | |
| 超電導デバイス技術 | デジタルデバイス技術 | 508 | ・Nb集積回路プロセス技術 |
| | | | ・NbN集積回路プロセス技術 |
| | | | ・酸化物集積回路プロセス技術 |
| | | | ・Nb系SFQデバイス |
| | | | ・NbN系SFQデバイス |
| | | | ・酸化物系SFQデバイス |
| | | | ・入出インターフェイス技術 |
| | ・低温実装技術 | | |
| | SQUID応用技術 | 509 | ・Nbプロセス技術 |
| | | | ・酸化物プロセス技術 |
| | | | ・Nb系SQUID |
| | | | ・酸化物系SQUID |
| | 高周波デバイス技術 | 510 | ・実装技術 |
| ・MgB ₂ 薄膜技術 | | | |
| ・RE123系薄膜技術 | | | |
| ・バンドパスフィルタ | | | |
| ・アンテナ | | | |
| 冷凍・冷却技術 | パワー機器用冷凍機技術 | 511 | ・4K冷凍機 |
| | | | ・20K～50K冷凍機 |
| | | | ・65K冷凍機 |
| | デバイス機器用冷凍機技術 | 512 | ・4K冷凍機(1～3W) |
| | | | ・4K冷凍機(0.1～0.5W) |
| | | | ・50K、70K冷凍機 |
| | 大容量冷却技術 | 513 | ・LNG冷熱利用技術 |
| | | | ・サブクール冷却技術 |
| | | | ・LH ₂ 冷熱利用技術 |
| | 伝導冷却技術 | 514 | ・高効率冷却技術 |
| | | | ・薄肉断熱技術 |
| | クライオスタット技術 | 515 | ・封止化技術 |
| | | | ・低熱侵入化 |
| | 電流リード技術 | 516 | ・機械的強度 |
| | | | ・耐高電圧化 |
| | | | ・大電流化 |
| | | | |

重要技術

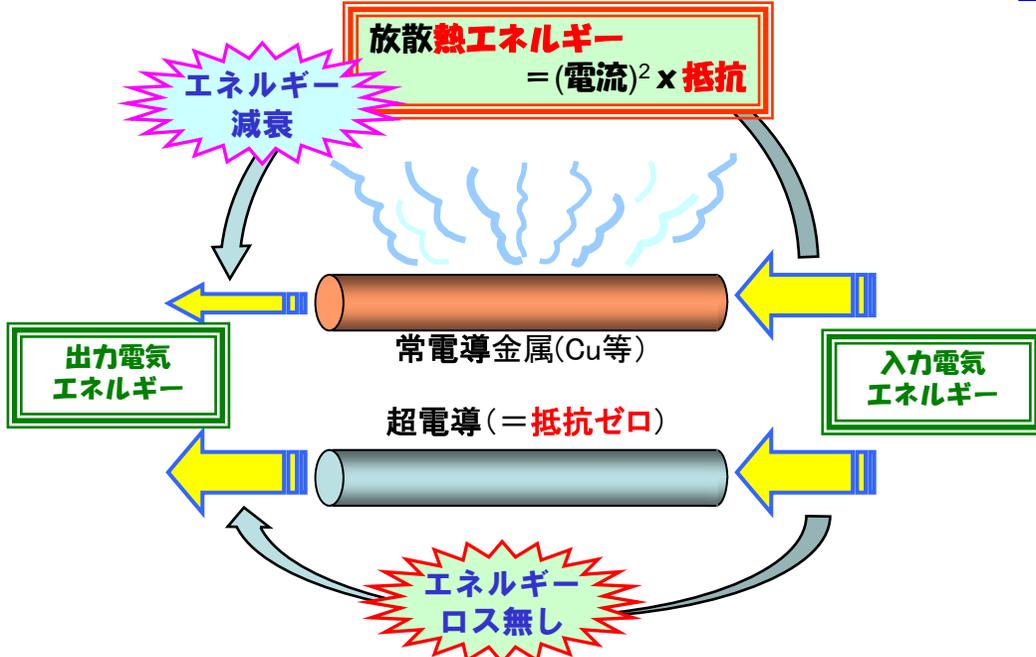
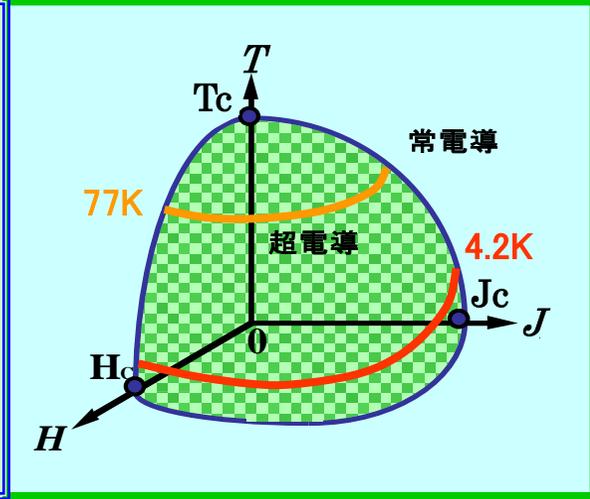


3つの臨界値

臨界温度 (T_c)
超電導を示す温度の上限

臨界電流 (J_c)
超電導を維持できる電流の上限

臨界磁場 (H_c)
超電導を維持できる磁場の上限



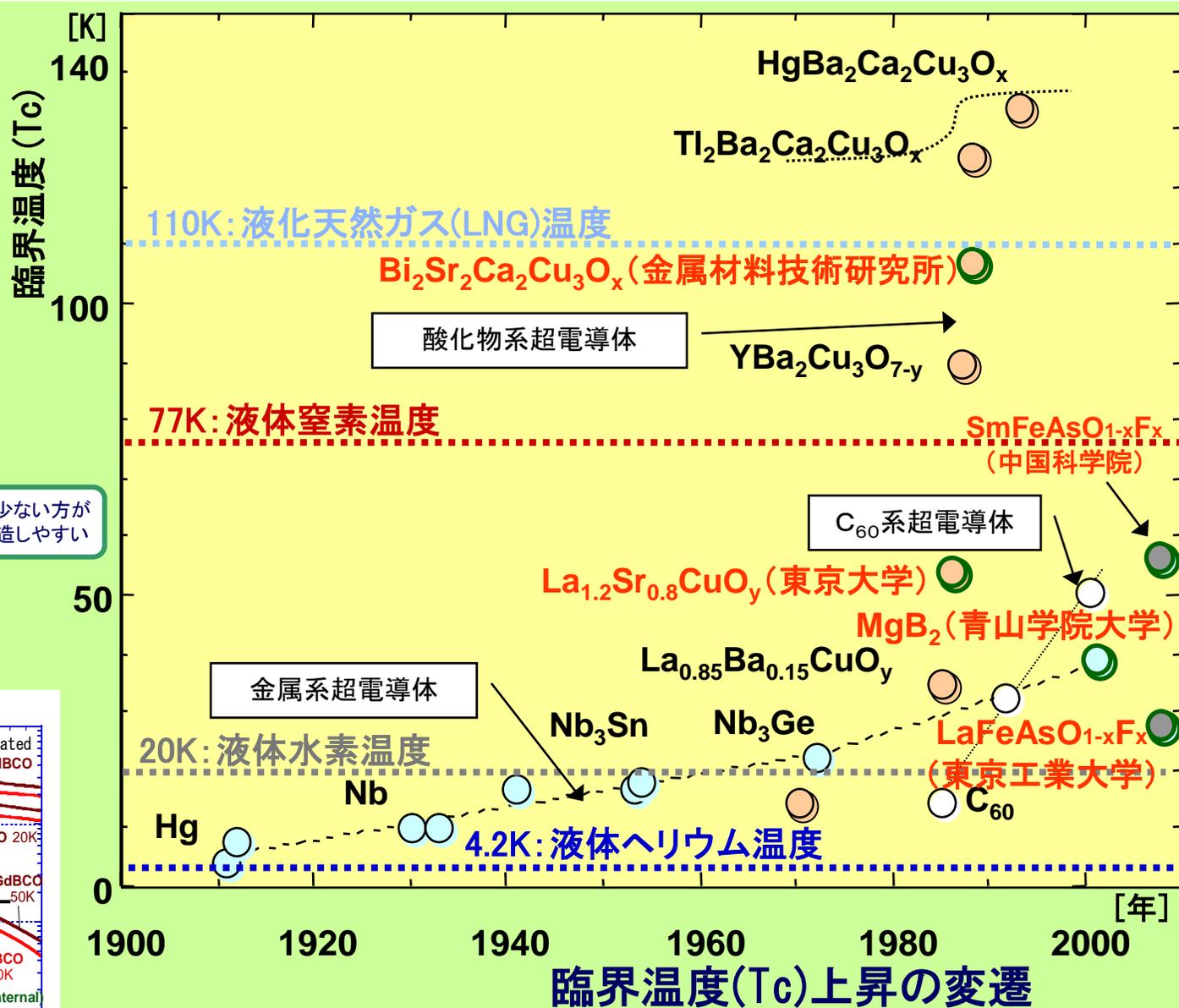
超電導の4条件 (田中の基準)

以下の4条件を全てクリアして、初めて超電導体と認定される。
(東京大学の田中昭二教授が1987年に提唱した客観的条件)

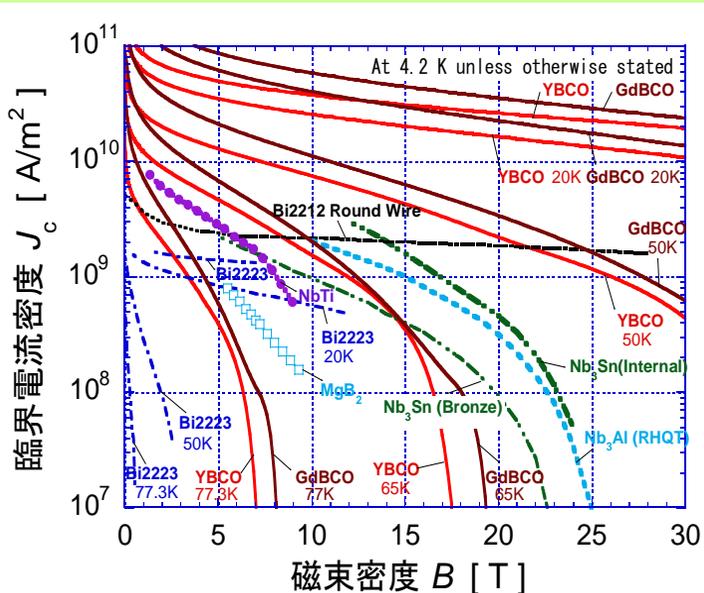
- 結晶構造およびその物質の何が超電導体であるのか
- マイスナー効果を示すか
- 電気抵抗が転移点付近で急激に消失するか
- 実験結果に十分再現性があるか

| 系 (代表物質) | 元素数 | T _c |
|--|-----|----------------|
| Hg系 (HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x) | 5 | >110 |
| Tl系 (Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x) | 5 | |
| Bi系 (Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x) | 5 | >77 |
| Y系 (YBa ₂ Cu ₃ O _{7-y}) | 4 | |
| Fe系 (SmFeAsO _{1-x} F _x) | 5 | >20 |
| La系 (La _{0.9} Sr _{0.1}) ₂ CuO _y) | 4 | |
| MgB ₂ (MgB ₂) | 2 | |
| Nb系 (Nb ₃ Sn, NbTi) | 2 | >4.2 |

元素数が少ない方が
比較的製造しやすい



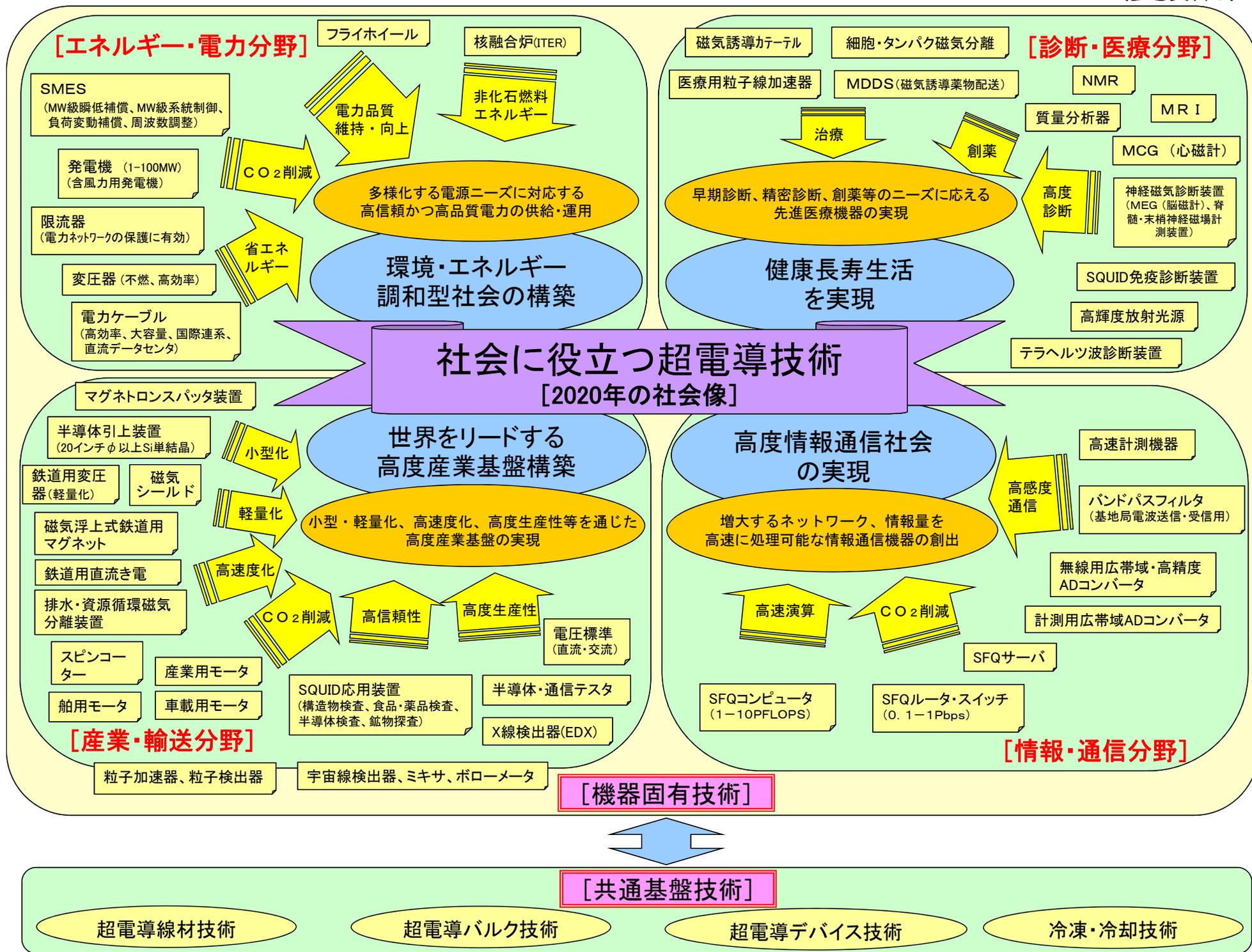
臨界温度(T_c)上昇の変遷



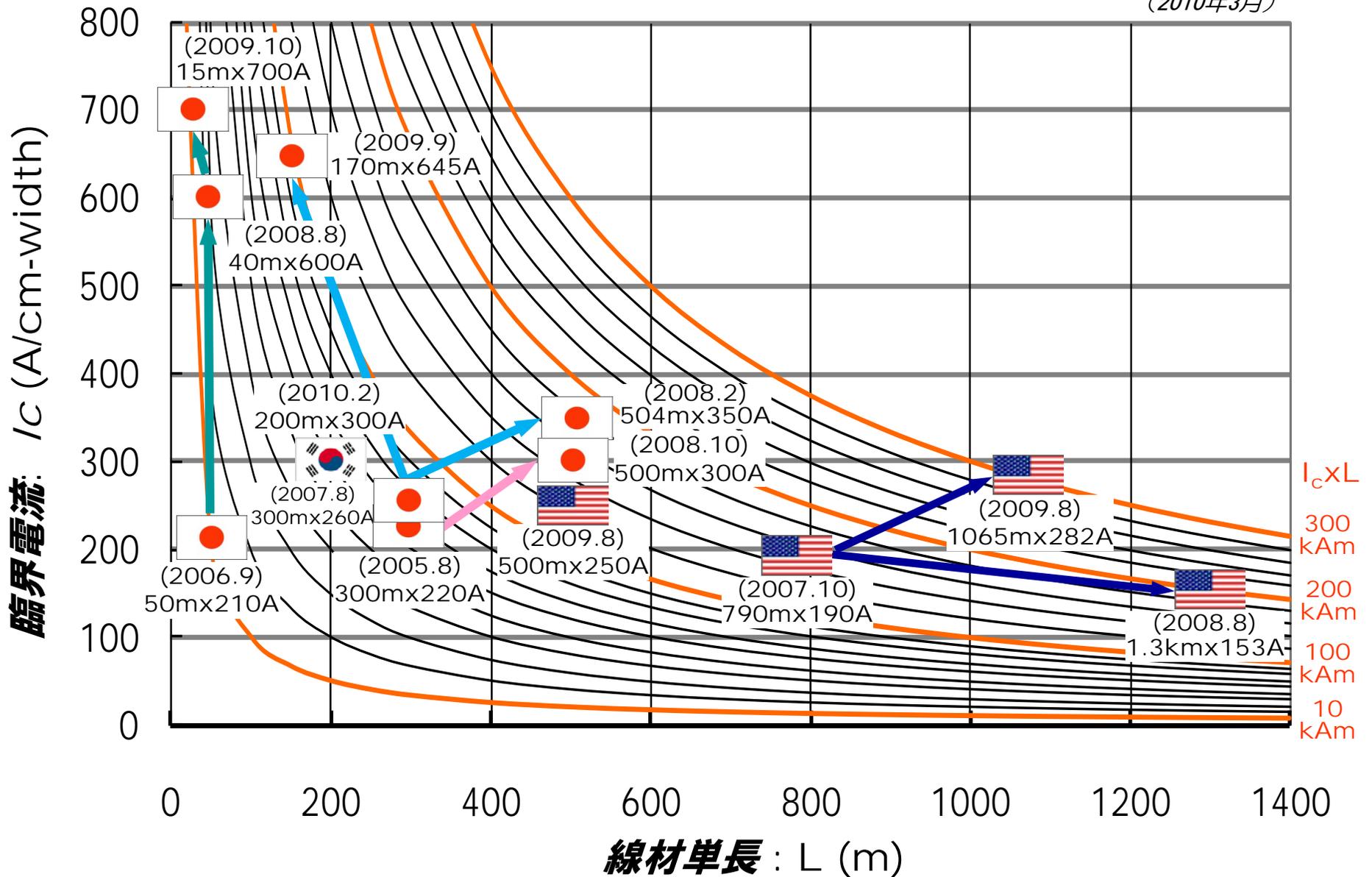
各種超電導線材の臨界電流密度

(九州大学 木須教授 作成)

(参考資料2：超電導物質の探索)



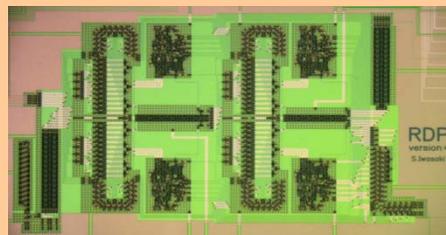
(2010年3月)



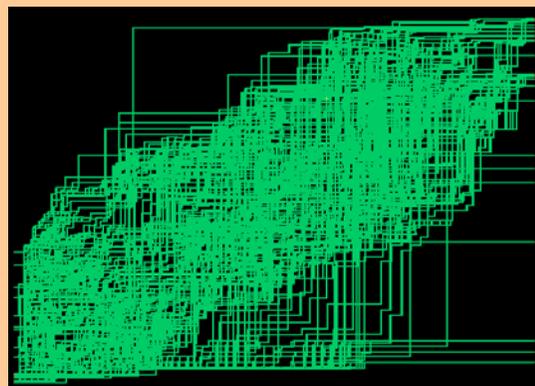
参考資料4：世界のY系超電導線材開発状況

(参考資料5：SFQ技術の国際評価)

名古屋大学がSRL標準プロセスで作製した11,000接合からなる20GHz動作再構成可能なデータパスを持つプロセッサ
(高性能計算機のアクセラレータとして使用) (2008.8)



超電導工学研究所及び名古屋大学が作製した自動配線ツールでレイアウトした大規模SFQ回路(16x16 switch circuit) (2005.3)



名古屋大学がSRL-ADPで作製した90GHz動作2x2 SW (2008.10)

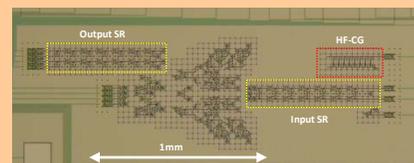


TABLE E-1. REASONS TO DEVELOP SUPERCONDUCTIVE COMPUTER TECHNOLOGY

| Technological | Financial |
|--|--|
| NSA's computing needs are outstripping conventional technology. | Market forces alone will not drive private industry to develop SC technology. |
| RSFQ technology is an excellent candidate for higher-performance computing capability. | The federal government will be the primary end user of SC computer technology. |
| RSFQ technology has a clear and viable roadmap. | Other federal government missions will benefit from advances in SC technology. |

TABLE E-2. RSFQ SUMMARY

| Technical Advantages | Technical Challenges |
|---|---|
| The most advanced alternative technology. | Providing high-speed and low-latency memory. |
| Combines high speed with low power. | Architecting systems that can tolerate significant memory access latencies. |
| Ready for aggressive investment. | Providing very high data rate communications between room temperature technology and cooled RSFQ. |

TABLE E-3. DIGITAL RSFQ TECHNOLOGY'S CURRENT STATE OF THE INDUSTRY

| Country | Entity | Status |
|---------|---------------------------------|---|
| | ISTEC/SRL | <ul style="list-style-type: none"> Joint government/industry center, probably doing the most advanced work in digital RSFQ anywhere in the world today. Responsible for the Earth Simulator system. |
| | HYPRES | <ul style="list-style-type: none"> Private company focused entirely on SC digital electronics. Has operated the only full-service commercial foundry in the U.S. since 1983. |
| | Northrop Grumman | <ul style="list-style-type: none"> Had the most advanced foundry and associated design capability until suspended last year. Still has a strong cadre of experts in the field. |
| | Stony Brook U, UC Berkeley, JPL | <ul style="list-style-type: none"> Currently conducting academic research. |
| | Chalmers U of Technology | <ul style="list-style-type: none"> Currently conducting academic research. |
| | NSA, NIST | <ul style="list-style-type: none"> Have resident expertise. |

RSFQ技術の評価 ※米ではSFQをRSFQと呼称する
(米NSA「超電導技術評価」報告書(2005.8)より抜粋)



SUPERCONDUCTING TECHNOLOGY ASSESSMENT

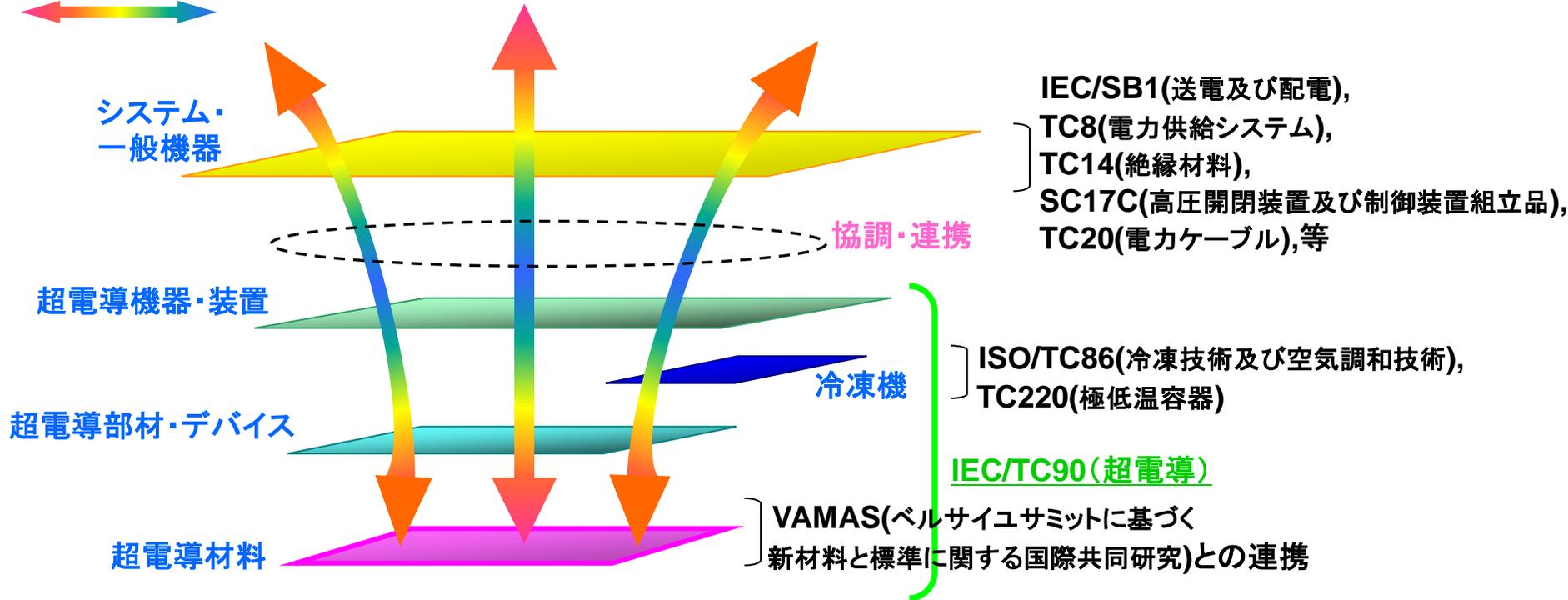


National Security Agency
Office of Corporate Assessments

AUGUST 2005

(参考資料6:超電導標準化マップ)

活発 将来活動



用語
(1規格)

電流リードの特性
(1新規格案検討)
[2010年制定見込]

超電導材料の
性能試験方法
(13規格+改正)

| | 臨 界 電 流 | 残 留 抵 抗 比 | 機 械 強 度 | 表 面 抵 抗 | 臨 界 温 度 | 交 流 損 失 | 捕 捉 磁 場 | |
|---|------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 済 | | | | | | | | Nb-Ti |
| | | | | | | | | Nb ₃ Sn |
| | | 検討 | | | | | | 酸化物 |
| | | | | | | | 未定 | MgB ₂ |

規格化進捗状況

※ 1性能ごとの規格ではないため、規格数と項目数は一致していない。

事前評価書

| | | |
|---|--------------------------|------------------|
| | 作成日 | 平成 26 年 1 月 23 日 |
| 1. プロジェクト名 | 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究 | |
| 2. 推進部署名 | 省エネルギー部 | |
| 3. プロジェクト概要 | | |
| (1) 概要 | | |
| 1) 背景 | | |
| <p>日本再興戦略の中で、我が国の成長戦略の鍵として、科学技術イノベーション総合戦略の推進が挙げられている。超電導送電技術は、その科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一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な技術とされている。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。</p> <p>また、大都市圏での局所的な電力需要の伸びや電力インフラ機器の経年による置き換えが予想される中、電力インフラの拡充・ケーブル交換には、共同溝の使用制約や送電網の用地買収を考慮すると、従来の銅ケーブルに比べ送電容量の大きい超電導ケーブルの実用化が必要である。このような状況の中、超電導ケーブルは、初期的には、揚水発電所の発電機引出線や都市部の地中ケーブルへの適用が見込まれており、銅ケーブルと代替することにより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も資すると期待される。</p> | | |
| 2) 目的 | | |
| <p>本プロジェクトでは、不測の事故（地絡・短絡）に備えた安全性・信頼性の検証試験を実施し、実用化に向け総合的な超電導ケーブルシステムの設計・開発を行う。</p> <p>2020 年以降の実用化に向けて、早期に安全性・信頼性を実用段階にまで高めておくために、事故等が生じた場合の超電導ケーブル、冷却システムへ及ぼすダメージを具体的に検証する事により、超電導ケーブルシステム全体の脆弱箇所や持たせるべき装置の強靱性について具体的な情報を得る必要がある。これにより、実用段階の安全性、信頼性を兼ね備えた超電導ケーブルの</p> | | |

設計が可能になる。最終的に本プロジェクトにより、超電導ケーブルのシステムとしての総合的な安全性、信頼性を検証し、次世代送電システムの健全性を検証することを目的とする。

3) 実施内容

超電導ケーブルを実際の電力系統へ導入するために、通常時の安定性に加えて、不測の事故（地絡・短絡等）時に生じる現象と影響を把握し、その結果を踏まえて安全性、信頼性に関して検証試験を実施する。また、実際の電力系統で要求される高い信頼性を確保するために、冷却システムの効率と耐久性をさらに改善する。さらに、超電導ケーブルに事故・故障等が生じた場合を想定すると、その影響を最小限に抑える等、実用性を向上させる必要があるため、その対策も検討する。

(2) 規模 総事業費（電源） 14億円（助成1/2）

(3) 期間 平成26年度～28年度（3年間）

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

超電導送電技術は科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」の一つとして位置づけられている。

また、2020年以降に急増すると考えられている大都市の老朽化した地中ケーブルのリプレース需要への対応及び再生可能エネルギー電源の大量導入による系統影響への対応のため、信頼性の高い次世代送電システムの開発が不可欠である。

しかしながら超電導ケーブルを実際に電力系統に適用するためには、不測の事故（地絡・短絡等）が発生した際の現象を把握し、リスクの内容、程度の検証と安全対策のための手段の検討を実施することが最終的な課題として存在する。しかし、安全性、信頼性の検証は評価方法の検討から始める必要がある、個別の企業の活動では達成し得ない。ユーザーである電気事業者や複数の開発者、大学等の英知を集めた研究が不可欠である。NEDOのプロジェクトとして、本プロジェクトをマネジメントする事により、我が国の技術を結集した研究開発が可能となり、効率的にプロジェクトを推進する事で、的確に成果を挙げる事ができる。

また、超電導ケーブル開発は、NEDOの中期目標において省エネルギー分野中の横断分野で、「次世代送配電ネットワークの構築（高温超電導線材を活用した高機能電力機器等を含む）に不可欠な「熱・電力の次世代ネットワーク」等に係る技術開発に取り組んでいく。」と記されている。本技術は実用化直前の段階にあって、普及期には至っていない。従って本プロジェクトはNEDOのミッションに沿うものであり、NEDOの関与が必要とされるプロジェクトである。

加えて、電力分野での省エネ化あるいはCO₂削減を今後進めていく中で、発電分野だけで対策を行うことには限界があり、送配電分野における対策も必要となるが、既存の送配電技術は成熟しており、具体的な対応策を見つけることは困難な状況にある。

更に、海外においても、超電導ケーブルに係る技術開発は、韓国や欧州を中心に熱心に実施されており、今後の送配電関連技術における世界市場を考察すると、日本と同様に、都市中心部での老朽化した地中ケーブルの代替として超電導ケーブルが活用される可能性は十分にある。現状、日本の超電導ケーブル技術は、高温超電導線材の性能（臨界電流値等）では世界トップクラスを維持し、実用化に向けて長期実証試験も実施しているが、他国でも匹敵する性能の線材が開発されつつあり、同様の実証試験も実施されるなど、技術レベルは肉迫してきている。このため、本プロジェクトを実施しない場合、実用化が遅れるだけでなく、諸外国と比較して優位性を失い、市場参入が遅れ、国際競争力を失う可能性が高い。

2) 目的の妥当性

世界の開発状況をみると韓国ではGENIプロジェクトで22.9kV/50MVA級-410mのイットリウム系線材による三心一括型超電導ケーブルの実系統実証試験を実施しており、欧州では、ドイツがAmpercityプロジェクトで10kV/40MVA級-1km三相同軸型ケーブルを開発し、2013年末にはイットリウム系限流器と組み合わせて実系統試験を実施するとしている。海外では、このように超電導ケーブルの実証試験が国家的なプロジェクトとして実行されている。

一方で、NEDOは、平成25年までのプロジェクトで、超電導ケーブルの実系統接続試験としてトータルシステムを開発し、超電導ケーブルの耐久性、熱侵入経路とその熱量、冷凍機のメンテナンス頻度など、実用化を進める上で有益なデータを得た。本技術を実用段階にまで進めるためには、本プロジェクトで計画している超電導ケーブルの安全性、信頼性等の検証が不可欠であり、世界的にも事故を模擬的に検証する試験を必要とするも、これま

で実施されておらず、実用化直前の研究フェーズとして適正である。

さらに、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の絶対条件として、装置としての安全性、信頼性の確保が挙げられ、通常のC/Vケーブルでも地絡、短絡事故を想定した検証試験を実施しており、超電導ケーブルでもこれを実施する意義は大きい。特に、事故時に生じる冷媒挙動等の重要な現象（温度変化、圧力変化、気化等の状態変化等）を把握、検証することにより、超電導ケーブルの安全性、信頼性への評価を高めることが可能となり、それにより実用化が大きく加速すると期待される。

本プロジェクトにより超電導ケーブルの安全性、信頼性が検証されることで、実用化が大きく促進される。これにより、将来の高密度な電力需要に見合った信頼性の高い安定で効率的な次世代送電システムの実現に資する。

(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本プロジェクトで実施する安全性、信頼性の検証試験、高効率冷却システムの開発は、実用化に向けた最終的なステップであり、不測の事故（地絡・短絡等）に備えた安全性・信頼性の検証を実施する事は極めて重要である。地絡・短絡等の実際の事故を模擬した検証試験を実施する事により、事故時に予見される問題点を抽出し、高温超電導ケーブルシステムの安全性、信頼性を実用段階にまで引き上げることを想定しており、これらの検証研究は電力器機として必要である。これらの検証試験を通じて安全性と信頼性の高い超電導ケーブルシステムを提供できると考えられる。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

プロジェクト終了時までには、不測の事故等に対するケーブル評価法の開発から超電導ケーブルシステムの安全性に関する検証を終え、超電導ケーブルシステムの完成度を高める。

大都市圏では、大規模地震に関する長期予測が発表され、新規導入される超電導ケーブルについても、大地震を想定した事故の検証や復旧対策についても不可欠の確認項目と考えられる。また、冷凍機に対する平成25年度までのプロジェクト目標のCOP* = 0.10は世界最高水準の高い数値であるが、実用段階で、より安全、高効率に冷却システムを運転するためには、より高い効率が求められるため、以下の目標値を設定することは妥当である。

- ・ 高温超電導ケーブルの安全性評価方法の確立
- ・ 高効率冷凍機と冷却システムの最適化によりCOP = 0.11（世界最高水準）を達成

- ・冷凍機メンテナンス間隔：40,000時間以上（5年間の運転時間：1年で約8,000時間として算出）
 - ・ケーブル長さ当たりの熱侵入量：1.8W/m/条以下（現在2.0W/m/条が最高レベル。）
 - ・安全性、信頼性を高めた超電導ケーブルシステムの検証
- *COP：冷却システム全体での効率=1時間あたりの冷凍能力/（1時間あたりの冷凍機動力+ポンプ動力）（定格容量通電時）
- また、超電導技術委員会やワークショップを通じて、プロジェクトの進捗を管理すると共に競合技術との比較等を行い、成果目標をクリアするための課題明確化など、具体的な研究指針を作成することで開発の方向修正等を行う。

2) 実施計画の想定と妥当性

本プロジェクトは、初年度において公募によって研究助成先を採択する。初年度は安全性評価において、評価用サンプルケーブルの作製、安全性評価試験装置の設計を、冷却システムの研究では、低熱侵入ケーブルや小型端末の開発等、研究開発の本格化に向けたハード面での準備・装置開発を優先する。次年度は安全性評価試験の検証とシミュレーション等のソフト面での開発を中心とする。

最終年度は安全性、信頼性を高めた超電導ケーブルと高効率冷却システムとを組み合わせたケーブルシステムの開発検証試験等を実施する。予算は2年目に安全性評価試験を行う関係で集中することも想定されるが、試験装置の製作等を初年度に行うことで、平準化を図る予定である。

本プロジェクトで実施する超電導ケーブルの事故を想定した試験は世界初の取り組みであり、大掛かりな防爆試験装置、試験に適した超電導ケーブルサンプルの作製、超電導通電状態を維持するための循環冷却システム等が必須であるが、これらは改良等による調達は不可能である。

これらの装置の開発年度は計画に定めており、その優先順位は適正に設定されている。

また、高温超電導ケーブル実証プロジェクトで開発した冷却システムを安全性評価試験用冷却システムに転用することで費用と準備期間を圧縮するなど効率化を図る予定。さらに、リトリウム系超電導電力機器技術開発事業で開発したケーブル化技術も本プロジェクトに継承する予定である。

なお、冷却媒体の窒素ガスが高圧ガスに相当するため、高圧ガス保安法の申請（許可）を初年度にする方針である。

3) 評価実施の想定と妥当性

研究成果の技術的意義、目標達成度、研究開発の意義、実用化への波及効果等について平成29年度に事後評価を行う。なお、外部意見によるプログラム運営の見直しは、毎年1回以上開催予定の技術委員会での報告、議論を通じて実施する。

評価は、高温超電導ケーブルの安全性評価試験方法が確立されているか、冷却システムの効率等の目標性能達成度、及び、信頼性を高めた超電導ケーブルシステムの検証が適切に実施されているか等を評価のポイントとする。

4) 実施体制の想定と妥当性

本プロジェクトを実施する上で、企業を主体とする実施体制を想定するが、試験方法の検証や影響のシミュレーション等には大学等の研究者の協力が不可欠であり、関係者の知見を総動員して解決していく。なお、企業については、超電導業界のトップランナーが参加することを想定している。加えて、電力分野への導入を前提とした検証試験であるため、電気事業者を含む実施体制の構築を想定する。

また、実際の事故等を模擬した安全性評価試験では、実用化が期待される2種類以上のケーブルについて試験することを想定している。安全性評価試験方法の検討等の共通項目については、助成先各社が協調する。独自性の強い低損失超電導ケーブル開発等においては各社が実用化シナリオをもとに個別に開発を実施する。

5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

本プロジェクトでは、適用が最も近い発電機引出線、2020年以降に適用が予想される都市部の地中ケーブルのリプレースを主たる出口と想定している。初期の段階では導入コストが割高となるため、高密度送電へのニーズが特に高い（付加価値のある）数km以内のケーブルに的を絞り技術開発・検証することとする。また同時に、製造工程短縮の観点から、ケーブルの工程内試験等に用いる冷媒の液体窒素の「高圧ガス保安法」適用除外を求める規制緩和に向けた働きかけを実施する。

6) 知財戦略の想定と妥当性

助成事業のため、プロジェクト全体として「知財の取扱いに関する合意書」の取り交わしは行わないが、有益な発明の権利化や海外との競争力確保などの観点から知財取得への関心を高めるよう助成先に働きかける。

7) 標準化戦略の想定と妥当性

国際標準化については、ISO TC-90（超電導）の事務局を日本が担当しており、本プロジェクトもこの動きに可能な限り協力する方針。本プロジェクトで開発する安全性評価の方法も国際標準化が可能になることを想定してプロジェクトを進行していく。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本プロジェクトの目的、実施計画、予算ともに超電導ケーブル実用化に向けた取り組みとして適当だと考えられる。また、実施体制、実用化、事業化戦略についても本プロジェクトの事業実施の趣旨を反映しており、妥当である。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

超電導ケーブルは長期実証試験も終え、実用化段階が目前に迫ってきており、最も懸念されていた安全性、信頼性に関する検証試験を実施する事により、2020年以降の採用に向けて大きく実用化に向けて前進する。

また、高効率冷凍機の開発や低熱侵入ケーブルの開発により、冷却システム全体で温度上昇に対する余裕が生じるため、より安全に運用する事が可能となる。

本プロジェクトで達成される安全性、信頼性を兼ね備えた超電導ケーブルシステム、高効率冷却システムに加え、超電導ケーブルの量産体制（長尺化）、冷却システムを構成する機器類の製造ラインの構築が事業化に向けた次の課題と考えられる。並行してこれらについては外部有識者で構成される技術委員会等で進捗確認や対応策の検討を行っていく。

また、2020年以降の超電導ケーブル普及に向けて、冷媒の液体窒素が「高圧ガス保安法」の適用除外となるよう働きかけを行っていく必要もある。

2014～2016：次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究

2017～2019：電力各社実機適用検討試験

2020～：大電流ケーブルの発電機引出線への適用開始

2030～：本格的な実用化（普及期）

2) 成果の波及効果

本プロジェクトの実施により、超電導ケーブルメーカー、冷凍機メーカーだけではなく電力事業者、化学、鉄鋼等のエネルギー多消費産業、鉄道事業者等の高密度送電を利用する幅広い業界への波及効果と市場開拓が期待できる。

超電導ケーブルを用いた送電システムの国内の市場規模は、2030年において首都圏を中心に年間260億円程度見込まれる。

さらに、現用（従来技術）ケーブルに対して超電導ケーブルの新規布設に係るコスト削減効果は、20km（終端接続間）で141億円と試算されている（電力会社試算）。これにより、首都圏の地中ケーブル延長約1,200kmの3割に相当する360kmが超電導ケーブルに20年間で置き換わると想定すると、合計で約2,500億円のコスト削減効果が見込まれる。全国では110kV以上275kV以下の地中ケーブルが約3,500km埋設されており、これらが順次、超電導ケーブルに置き換わることにより、さらに大きなコストメリットが期待できる。

また、NEDOプロジェクトとして関係者の英知を集めて研究を行うことで関連技術の研究が大きく進み優秀な人材が育成される。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

超電導ケーブルの安全性、信頼性に関する検証試験、高効率冷却システムの開発は、実用化を加速するばかりではなく、評価用サンプル試作による製造コストの低減、より洗練されたシステムの開発など、超電導ケーブルに関する研究開発を刺激する起爆剤となり得るものであり、国プロとして有益である。

「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月12日
NEDO
省エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。
貴重なご意見を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間
平成26年1月30日～平成26年2月13日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計1件（以下、項目ごとに分類し記載しております）
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

| ご意見の概要 | ご意見に対する考え方 | 基本計画・技術開発課題への反映 |
|---|--|-----------------------|
| 全体について | | |
| [意見1]（1件） 我が国のエネルギー需給状況改善と安全保障のために、高温超電導ケーブルを用いた次世代送電システムが実現されることを強く期待しています。 | [考え方と対応] ご意見ありがとうございます。今後も当該技術の実用化に向けて支援していく所存です。 | [反映の有無と反映内容] 特になし。 |
| [意見2]（1件） 基本計画案では本プロジェクトを三つの項目に分けており、プロジェクトの目標の明確化および効率的な研究開発を進めるためにより良い研究開発マネジメントができるものと期待しております。 | [考え方と対応] プロジェクトの項目分けについて賛同のご意見大変ありがとうございました。 | [反映の有無と反映内容] 特になし。 |

| | | |
|---|---|--|
| 1. 研究開発の目的 | | |
| (1) 研究開発の目的 | | |
| <p>[意見1] (1件)</p> <p>本プロジェクトの基本計画案では「本プロジェクトのねらい」として将来の電力網（電力需要）の高密度化への対応を挙げられていますが、現下の我が国のエネルギー状況を鑑みれば従来超電導送電の利点として挙げられている「高効率化」をねらいのひとつとすべきと考えます。</p> | <p>[考え方と対応]</p> <p>「高効率化」は本プロジェクトの基本計画の「アウトカム目標」としており、ねらいのひとつとしております。従いまして、右記の通り修正致します。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>「本プロジェクトのねらい」の2行目「・・・拡大するとともに将来の高密度な電力需要に適応する高効率な次世代送電システムの実現に資することを目的とする。」としました。</p> |
| (2) 研究開発の目標 | | |
| <p>[意見1] (1件)</p> <p>全体の大きな目標として安全性・信頼性を含めた超電導ケーブルシステムの成立性の検証を掲げられていると理解いたしました。そのためには冷凍機の高低差対応はもちろんのこと、端末部、冷却システム、液体窒素のリターン管等までを含めたシステム全体の（交流損失による発熱、外部からの熱侵入および液体窒素の循環動力損失を含めた）エネルギー収支について、実使用を想定した布設状態で明らかにすることが必要だと考えます。これが明らかにならない限りは超電導ケーブルシステムの効率性の試算は意味をなさないと考えます。</p> | <p>[考え方と対応]</p> <p>冷却システム全体のエネルギー収支について、実使用を想定した布設状態で明らかにすることは必要であると考えております。その点が基本計画中で明確にわかるように表現を改めました。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>研究開発項目②の目標について、実使用を想定した条件での目標値であることを明確にいたしました。</p> |
| <p>[意見2] (1件)</p> <p>各研究開発項目の最終目標は非常にシンプルに定性的に記載されていますが、例えば「装置の開発」が最終目標であれば、開発のための必要な要件を、また「ケーブルシステムの検証」が最終目標であれば、検証されたと評価するために必要な要件を記載すべきと考えます。</p> | <p>[考え方と対応]</p> <p>本プロジェクトでは、超電導ケーブルシステムの安全性評価試験項目の課題の抽出・分類から実施する予定です。そのため、現時点で開発する「装置（安全性評価試験装置）」を具体的に想定して要件を記載すべきではないと判断します。同様に、検証対象の「ケーブルシステム」についても評価要件を、現時点において記載すべきではないと判断します。但し、最終的には評価の要件は具体化が必要と考えますので、ご指摘を踏まえて、右記のとおり修正致します。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>研究開発項目①、②の最終目標の下に「最終目標の評価条件等については、平成26年度末までに明確にする。」を追記しました。</p> |

以上

付録資料 特許リスト

| 出願日 | 特許番号 | 出願に係る特許等の標題 | 出願人 |
|-------------|------------|------------------|---------------|
| 2014-237035 | 2014/11/21 | 超電導ケーブルシステム | 住友電工 早稲田大学 |
| 2014-230243 | 2014/11/12 | 超電導ケーブル線路、及び断熱管路 | 住友電工 東京電力 |
| 2014-237036 | 2014/11/21 | 超電導ケーブルシステム | 住友電工 早稲田大学 |

他、海外特許 1 件

付録資料 発表・論文リスト、成果の普及、受賞実績

○発表・論文リスト（研究発表、講演、口答発表 含む）

| 発表日 | 発表媒体 | 発表タイトル | 発表者 |
|-------|--------------------------|---|---|
| H26.7 | 東京大学『イブニングセミナー』 | 「超電導応用技術の実用化について」 | 本庄昇一 |
| H26.8 | 電気学会論文誌特集号『最近の電線・ケーブル技術』 | 国内初の電力系統での高温超電導ケーブル通年接続評価 | 丸山 修、中野 哲太郎、本庄 昇一、渡部 充彦、大屋 正義、増田 孝人、矢口 広晴、仲村 直子、町田 明登 |
| H26.8 | CIGRE | Japan's first in-grid operation of a 66 kV - 200 MVA superconducting cable system | T. MIMURA, S. HONJO, T. MASUDA, A. MACHIDA, T. HARA |
| H26.9 | ASC2014 | Results of Japan's first in-grid operation of 200 MVA superconducting cable system | O. Maruyama, S. Honjo, T. Nakano, T. Masuda, M. Watanabe, M. Ohya, H. Yaguchi, N. Nakamura and A. Machida |
| H26.9 | ASC2014 | Shield current of 3-in-One high-temperature superconducting cables | M. Ohya, T. Masuda, T. Nakano, O. Maruyama and S. Honjo |
| H26.9 | ASC2014 | Development of cooling system including a 5 kW-class refrigerator for HTS power cable | Naoko Nakamura |
| H26.9 | ASC2014 | Experimental Results of 275 kV-3 kA REBCO HTS Power Cable | M. Yagi, J. Liu, S. Mukoyama, N. Hayakawa, X. Wang, A. Ishiyama, N. Amemiya, T. Hasegawa, S. Saitoh, O. Maruyama, T. Ohkuma |
| H26.9 | 電気学会エネルギー部門大会 | 三心一括型高温超電導ケーブルのシールド電流に関する考察 | 大屋 正義 |

| | | | |
|--------|---|---|--|
| H26.9 | 電気学会 超電導応用研究会 | AC12kA 級大電流高温超電導ケーブルの開発 | 森村 俊也、大屋 正義、増田 孝人、中野 哲太郎、丸山 修、本庄 昇一 |
| H26.10 | S-イノベ「超電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」冷凍・冷却技術1分科会 | 超伝導システム用冷凍システム | 町田 明登 |
| H26.11 | NEDO 省エネルギーフォーラム | 高温超電導ケーブル実証プロジェクト 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究 | 本庄昇一 |
| H26.11 | ISS2014 | The operating characteristics of HTS cable on Japan's first in-grid operation | T. Nakano, O. Maruyama, S. Honjo, M. Watanabe, T. Masuda, M. Hirose, M. Shimoda, N. Nakamura, H. Yaguchi, A. Machida |
| H26.12 | 2014 年秋期低温工学・超電導学会 | 22kV/12kA 級大電流超電導ケーブルの開発(2)-通電試験- | 森村 俊也 他 |
| H26.12 | 2014 年秋期低温工学・超電導学会 | 循環ポンプを加味した HTS 送電ケーブルにおける温度・圧力連成解析コードの開発 | 佐藤 他 (早稲田大学) |
| H26.12 | 2014 年秋期低温工学・超電導学会 | 1500mHTS 送電ケーブルにおける温度・圧力解析コードの開発 | 安井 他 (早稲田大学) |
| H27.2 | 未踏科学若手技術セミナー | 高温超電導ケーブル実証プロジェクト 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究 | 三村 智男 |

| | | | |
|-------|---|--|--|
| H27.2 | World Scientific Publishers / Imperial College Press (本) | “ Research, Fabrication, and Applications of Bi-2233 HTS wires” | 増田 孝人、大屋 正義 |
| H27.3 | 平成 27 年電気学会 全国大会 | 実規模長尺 1500m 高温超電導電力ケーブルの短絡事故時の挙動解析 | 安井鉄郎他 |
| H27.5 | 2015 年秋期低温工学・超電導学会 | 66kV 級超電導ケーブルの地絡事故特性 (2) -ケーブルコア試験- | 大屋 正義, 南野 忠彦, 増田 孝人, 中野 哲太郎, 丸山 修, 三村 智男 |
| H27.5 | 2015 年度春季低温工学・超電導学会 | 3km 実規模級 HTS ケーブルの短絡電流通過時における冷媒温度・圧力解析 | 安井鉄郎他 |
| H27.6 | ISTEC 技術動向報告会 | 前川製作所の 超電導ケーブル向け 冷却システムの開発 | 仲村 直子 |
| H27.8 | 電気学会エネルギー部門大会 | 超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性の検討(1) -プロジェクト概要- | 丸山 修、三村 智男、本庄 昇一、増田 孝人、大屋 正義、向山 晋一、八木 正史、渡辺 和夫、町田 明登、矢口 広晴 |
| H27.8 | 電気学会エネルギー部門大会 | 超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性の検討 (2) -66kV 級ケーブルの地絡事故特性- | 大屋 正義、南野 忠彦、増田 孝人、中野 哲太郎、丸山 修、三村 智男 |
| H27.8 | News From Japan | Japan's first in-grid operation of a 200-MVA superconducting cable system | 芦辺 祐一 |
| H27.9 | EUCAS2015 | Critical current measurement in 3-in-One high-temperature superconducting cables | M. Ohya, T. Masuda, T. Nakano, O. Maruyama, T. Mimura, S. Honjo |
| H27.9 | EUCAS2015 | New HTS Cable Project in Japan: Basic Study on Ground Fault Characteristics of 66 kV Class Cables | M. Ohya, T. Masuda, T. Mimura, S. Honjo, S. Mukoyama, M. Yagi, Y. Iijima, K. Watanabe, H. Yaguchi and A. Machida |

| | | | |
|--------|---------------------|---|---|
| H27.10 | IWC-HTS | Development of Brayton cycle refrigerator for HTS Cable | M. Shimoda,N. Nakamura, S. Komats, S. Ueda, M. Kudo, R. Ohno, H. Yaguchi, A. Machida,T.Mimura, and S. Honjo |
| H27.10 | IWC-HTS | Liquid nitrogen cooling system (LINCS) for Yokohama HTS cable project | 渡部 充彦 |
| H27.11 | ISS2015 | The status of New HTS-Cable Project in Japan | T. Mimura, S. Honjo, M. Ohya, T. Masuda, M. Yagi, S. Mukoyama, Y. Iijima, K. Watanabe, H. Yaguchi, A. Machida |
| H27.11 | 電気学会関西支部 | 超電導送電技術の現状 | 大屋 正義 |
| H27.11 | NEDO 省エネルギーフォーラム | 次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究 | 三村 智男 |
| H27.11 | WECC2015 | The status of High Temperature Superconducting Cable Project in Japan | T. Mimura, S. Honjo, M. Ohya, T. Masuda, M. Yagi, S. Mukoyama, Y. Iijima, K. Watanabe, H. Yaguchi, A. Machida |
| H27.11 | SuperNet Symposium | 275 kV HTS transmission Cables - Current Status and Future efforts - | Masashi Yagi |
| H27.12 | 2015 年度秋季低温工学・超電導学会 | 66kV 級超電導ケーブルの地絡事故特性 (2) -ケーブルコア試験- | 大屋正義他 |
| H27.12 | 2015 年度秋季低温工学・超電導学会 | 66kV 系 40m 高温超電導ケーブルの短絡電流試験に向けた冷媒の温度・圧力解析 | 安井鉄郎他 |
| H27.12 | 2015 年度秋季低温工学・超電導学会 | 実規模級 HTS ケーブルの短絡電流通過時における AC ロス・誘電損失・ジョイント部ジュール損を考慮した冷媒温度・圧力解析 | 横尾祐輔他 |

| | | | |
|--------|---------------------------|---|--|
| H27.12 | 2015 年度秋季低温工学・超電導学会 | 66kV 級 40m 高温超電導ケーブルの短絡電流通過時における冷却システムを含めた冷媒の挙動解析 | 竹田夏子他 |
| H28.2 | 電気学会 超電導機器/金属・セラミックス合同研究会 | 東京電力における高温超電導ケーブルの開発について | 中野 哲太郎, 丸山 修, 三村 智男, 大屋 正義, 増田 孝人, 高木 智洋, 八木 正史, 渡辺 和夫, 矢口 広晴, 町田 明登 |
| H28.2 | 電気学会超電導機器研究会 | 66kV 系実規模級超電導ケーブルの実用化に向けた短絡事故時の温度・圧力解析 | 安井鉄郎他 |
| H28.3 | 2016 年 電気学会 全国大会 | 超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性の検討 -地絡事故に対する基本的な考え方について- | 丸山 修、中野 哲太郎、三村 智男、大屋 正義、増田 孝人、高木 智洋、八木 正史、渡辺 和夫 |
| H28.3 | 2016 年 電気学会 全国大会 | 超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性の検討 -66kV 級ケーブルの地絡特性に関する基礎検討- | 南野 忠彦, 大屋 正義, 増田 孝人 中野 哲太郎, 丸山 修, 三村 智男 |
| H28.3 | 2016 年 電気学会 全国大会 | 超電導ケーブルの開発状況 | 増田 孝人 |
| H28.3 | 2016 年 電気学会 全国大会 | 古河電工における超電導送電ケーブルの開発状況 | 八木正史, 高木智洋 |
| H28.3 | 平成 28 年電気学会 全国 | 3km HTS ケーブルの短絡電流事故想定時の各種損失を考慮した冷媒温度・圧力解析 | 横尾祐輔他 |
| H28.3 | 平成 28 年電気学会 全国 | 66kV 級 40m HTS ケーブルの短絡電流通過時における冷却システムを含めた冷媒の挙動解析 | 竹田夏子他 |
| H28.3 | KEPCO JEJU 超電導ケーブル運開セレモニー | The Status of HTS Cable Project in Japan | T. Mimura |

○成果の普及努力（プレス発表等）

プレス発表

| 発表年月 | 発表場所、雑誌 | 発表社 |
|--------|------------------------|-------|
| H26.7 | 超電導 Web21 掲載 | 前川製作所 |
| H27.1 | 電気評論 | 東京電力 |
| H27.7 | 超電導 Web21 掲載 | 前川製作所 |
| H27.10 | 超電導 Web21 掲載 | 東京電力 |
| H27.10 | 重化学工業通信社 新エネルギー新報 記事掲載 | 東京電力 |
| H27.11 | 日経産業新聞 記事掲載 | 東京電力 |
| H27.12 | 日経BP社（日経エコロジー掲載） 記事掲載 | 東京電力 |
| H28.1 | 電気評論 | 東京電力 |

旭変電所 超電導ケーブル視察来訪者数

| | H26/7～H28/5 |
|-----------|-------------|
| | 人数 |
| 官庁 | 13 |
| NEDO | 37 |
| 電力 | 25 |
| メーカー | 3 |
| 報道・証券 | 11 |
| 実施者 | 5 |
| 大学 | 13 |
| 学協会他 | 80 |
| 海外 | 37 |
| 合計 | 224 |

○受賞実績

特になし