

平成 2 8 年度実施方針

省エネルギー部

1. 件名： 高温超電導実用化促進技術開発

2. 根拠法

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構法 第 1 5 条第一号二、第三号及び第九号

3. 背景及び目的、目標

3. 1 研究開発の背景・目的

再生可能エネルギー利用を更に向上させるため分散化する発電所から集中化傾向にある需要地にエネルギーロス無く送電を行う送電技術や、都市部を中心とした鉄道輸送力を電圧降下させることなく高めるための送電技術を確立することは重要な課題である。これらの課題解決のために、大電流・高磁場を発生可能で、電気抵抗による損失なく電気を送れる超電導技術が期待されている。このような背景のもと、エネルギー基本計画（平成 2 6 年 4 月閣議決定）では超電導技術などの基盤技術の開発を加速することが必要とされている。

一方で、平成 2 4 年末、超電導状態にするために冷媒として用いられるヘリウムが世界的に供給不足となる「ヘリウムショック」により、磁気共鳴画像装置（以下「MRI」（Magnetic Resonance Imaging）という。）、核磁気共鳴装置（以下「NMR」（Nuclear Magnetic Resonance）という。）等の停止を余儀なくされた。世界の商用ヘリウムの約 8 割を生産する米国では、平成 2 7 年までの期限付きでの民間へのヘリウム放出抑制を平成 3 2 年まで延長することとなったが、それまでに備蓄が底をつく可能性があると言われている。そのためヘリウムの供給不足リスクに備え、液体ヘリウムを必要としない超電導応用技術開発を行うことが資源セキュリティの観点からも急務となっている。

超電導交流送電ケーブルシステム¹の開発に関し、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は「超電導技術開発／高温超電導ケーブル実証プロジェクト」（平成 1 9 年度～平成 2 5 年度）において、6 6 k V / 2 0 0 M V A 級三心一括型超電導ケーブルシステムの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、冷却システム²に関しては、数 k W 級のブレイトン冷凍機開発を実施し冷凍機単独で C O P（Coefficient of Performance）³ 0. 1 0 を達成した。その後、「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」（平成 2 6 年度～平成 2 7 年度）において実際の

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及び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、液体窒素等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本文書中において、COP 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）

電力系統へ導入するため、地絡・短絡などの事故時の安全性評価と対応策の構築、ブレイト冷凍機の耐久性評価を進めている。

また、経済産業省が実施する「高温超電導直流送電システムの実証事業」及び「高温超電導技術を用いた高効率送電システムの実証事業」（平成24年度～平成27年度）では、データセンターへの直流送電実用線路及び長距離（1 km）直流送電実験線路を敷設し、超電導直流送電の実証試験を行っている。

韓国は、平成23年からGENIプロジェクトで、リットリウム系線材を用いた22.9 kV/50 MVA級、長さ410 m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、80 kV/500 MVA級、長さ500 mの超電導直流ケーブル、及び、154 kV/500 MVA級、長さ1 km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10 kV/40 MVA級、長さ1 kmの三相同軸型ケーブルを開発し、平成26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。

鉄道き電線へ適用可能な超電導直流送電ケーブルシステムの開発に関しては、公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下「鉄道総研」という。）等が、国立研究開発法人科学技術振興機構による研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム」及び国土交通省による鉄道技術開発費補助事業の一環として推進し、平成27年に伊豆箱根鉄道・駿豆線において、国内外で初めての営業線での超電導送電による列車走行実験に成功しており、実用化に向けた基礎技術開発が開始された段階にあり、国際優位性を確保している。

高温超電導マグネット（コイル）の研究開発に関しては、特にMRI及びNMRに対して、ヘリウム冷媒を使用しないこと、システムのコンパクト化や高解像度化などが期待されている。更なる高磁場実現により高解像度化や、従来の水素に加え、炭素、窒素、酸素及びリン等の計測核種の拡大を狙った高温超電導高磁場・高安定コイル開発を経済産業省、国立研究開発法人日本医療研究開発機構が「高温超電導コイル基盤技術開発プロジェクト」（平成25年度～平成27年度）により実施し、高温超電導線材（Y系線材）による高安定かつ高均一磁場を発生する高磁場コイル実現の可能性を検証している。

高温超電導のMRI用マグネットに関する海外の研究開発に関しては、イタリアでMgB₂線材を用いた0.5テスラ（テスラ：磁束密度単位、以下「T」という。）マグネットが、ドイツではBi系線材による全身用0.2 Tマグネットが開発された。米国ではBi系線材による四肢用1.5 Tマグネット開発を進めている。またニュージーランドではY系線材による1.5 T四肢用マグネットを、中国ではBi系線材による1.5 Tマグネットが開発され、現在は3 T、7 Tマグネットの研究開発が進められている。

超電導線材に関しては、その電気特性、線材製造要素技術ともに世界を先導してきた。Bi系線材は、被覆材として銀を用いるため線材のコスト高が懸念されているものの、線材自体は量産化が可能な技術水準に達している。Y系線材は、高磁場中でも高い臨界特性を示すほか、線材に使用される銀の使用量が少ないため材料コストはBi系線材に比べて有利になると期待されている。日本はこれまで、性能向上を重視して技術開発を進め、初期には米国と、近年は韓国と競いつつ世界の先頭を走ってきた。

韓国SuNAMや米国AMSC、Super Power（古河電気工業）は、線材性能の向上や低コスト化に向けた長尺線材の高速製造等に関する開発を実施している。

3. 2 研究開発目標

これまで実施してきた高温超電導の要素技術開発の成果は、実用化へ向けた開発へ移行可能な段階にある。本プロジェクトでは高温超電導技術の適用により、大きな省エネルギー効果、我が国の送配電システムの高度化、ヘリウム供給リスクへの対応及び大きな市場創出等が期待される送配電並びに高磁場コイル分野において、事業化に近い段階のものから原理実証、フィージビリティスタディ（F S）開発を総合して実施、各実施内容が事業化に進むための適切な技術開発を行う。このため本プロジェクトにおいては、a. 高温超電導送配電技術開発、b. 高温超電導高磁場マグネットシステム技術開発を総合的に推進する。

a. 高温超電導送配電技術開発においては、電力分野及び運輸分野への技術開発を実施する。

電力分野においては、今後再生可能エネルギー利用を更に向上させるため、分散化する発電所から集中化傾向にある需要地にエネルギーロスをもっと抑えて送電を行う送電技術の確立が必要となる。このため本プロジェクトでは、超電導ケーブルシステム実用へ不可欠な安全性能の確保、事故・故障発生時の復旧方法策定を実施する。また、平成24年度から経済産業省が実施する「高温超電導直流送電システムの実証研究」及び「高温超電導技術を用いた高効率送電システムの実証事業」の研究開発成果を共有し、超電導直流送電技術の実証を行い、設計・建設方法及び運用・保守・障害復旧などの基準案策定を「電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発」として実施する。運輸分野においては、低損失・大容量送電が可能な鉄道き電線システム開発と安全性及び信頼性の実証を総合的に実施することにより、都市部を中心とした鉄道輸送力を電圧降下させることなく高める送電技術の確立を目指し、「運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発」を実施する。

b. 高温超電導高磁場マグネットシステム技術開発はその応用分野は多岐に渡るが、ヘリウムレス及び省エネルギー並びに競争力強化のための実用化共通基盤技術として更に実用完成度を高めるため、MR I 分野への適用を狙いとした高温超電導高安定磁場マグネットシステムの技術開発を「高温超電導高安定磁場マグネットシステム開発」として実施する。

高温超電導高安定磁場マグネットシステムの市場展開時期を平成38年に設定し、投入時期にMR I 市場拡大が予測される3 T級以上のMR I への適用を主眼とした伝導冷却方式の超電導マグネットシステムの実現に向けた技術開発及び実証を行う。具体的には、コイル化技術、発生磁場の整形技術、マグネット小型化技術などを確立し、高温超電導を適用したMR I の技術実証を行う。なお、マグネット開発における高電流密度化などによる高磁場発生技術、線材使用量最少化を実現するためのマグネット小型化技術の開発により製造コストの低減を図る。

さらに、超電導応用商品実現のための基盤技術開発として、超電導マグネット用途の要求を満たす磁場特性の向上及びコスト低減を目指す高温超電導線材の技術開発を「高温超電導高磁場コイル用超電導線材の実用化技術開発」として実施する。

「電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発」はこれまでの研究開発成果

を基に、実証を通して実用化への仕上げを目指す実用化促進実証技術開発として、「運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発」、「高温超電導高安定磁場マグネットシステム開発」及び「高温超電導高磁場コイル用超電導線材の実用化技術開発」は実用への基盤技術を確立するため研究開発を実施する実用化促進基盤技術開発として実施する。

[助成事業]

研究開発項目①「電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発」

【最終開発目標】（平成30年度）

- (1) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標
 - ・ 送電用及び配電用超電導ケーブル仕様案の決定
 - ・ 超電導ケーブルシステム安全性評価試験方法の作成
 - ・ 作成した安全性評価試験方法の国際標準化活動への反映
 - ・ 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、実用上信頼できる評価を行うためのシミュレーション技術の完成
- (2) 早期復旧等の実用化のための対策検討に係る最終目標
 - ・ 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の決定
 - ・ 復旧方法等の検討結果を反映した、運転管理に係るガイドライン作成
- (3) 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を1.8W/m/条以下
- (4) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標
 - ・ 系統連系試験の実施
 - ・ 実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOPを0.11以上とすること、及び冷凍機本体並びに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
- (5) 超電導直流送電システムの実用化開発に係る最終目標
 - ・ 実用線路での運転試験を実施
 - ・ 設計、運用、保守ガイドライン作成等

[委託事業]

研究開発項目②「運輸分野への超電導適用基盤技術開発」

【中間開発目標】（平成30年度）

- (1) 鉄道き電線に必要な長距離冷却基盤技術の構築
 - ・ サイズ2m³/kWの冷凍機の開発
 - ・ 揚程0.6MPa、流量50L/min以上の極低温循環ポンプの開発
 - ・ 2W/m以下、真空維持1年以上を見通せる断熱管の開発
 - ・ システム保全技術の検証
- (2) 2km級長距離冷却システムの構築及び検証

【最終開発目標】（平成32年度）

- ・ 路線環境に対応した信頼性評価

- ・鉄道き電線用長距離冷却システムの設計・評価基準、保全基準の策定

[委託事業]

研究開発項目③「高温超電導高安定磁場マグネットシステム開発」

【中間開発目標】(平成30年度)

- (1) コイルの大型化に対応した磁気・構造設計を実施し、1/2サイズのアクティブシールド型3 Tマグネットの試作(直径500 mmボア、3 T、漏れ磁場(2.5 m×3 m))
- (2) 磁化の影響評価として、高温超電導コイルの磁化の定量測定、評価(安定度、均一度)。高温超電導マグネットによる小領域(30 mm D S V (Diameter of Spherical Volume))イメージング実証
- (3) マグネットシステム最適化として、マグネット励磁電源と磁場保持電源の分離システムの実証
- (4) コイル保護としてモデルコイルによるコイル保護検討

【最終開発目標】(平成32年度)

- (1) 磁化の影響評価と抑制技術開発のために、磁化を考慮した磁場解析手法の確立。1/2サイズ3 Tマグネットによるイメージング実証(150 mm D S V)。磁場均一度10 ppm(250 mm D S V)未満、磁場安定度1 ppm/h r未満を達成。
- (2) コイルの小型化として、1/2サイズのアクティブシールド型5 Tマグネットの試作(コイル平均電流密度200 A/mm²(7 T)超、低温超電導コイル比線材量30%以上低減、磁場均一度10 ppm(250 mm D S V)、磁場安定度0.1 ppm/h r未満)
- (3) マグネットシステム最適化として、コスト低減に向けたコイル形状、冷凍機能力、クライオスタット等のシステム最適化実施
- (4) コイル保護として、焼損対策手法の確立
- (5) 高温超電導接続として、接続点での抵抗値 $10^{-12} \Omega$ 以下の接続を実現

[委託及び助成事業]

研究開発項目④「高温超電導高磁場コイル用超電導線材の実用化技術開発」

【最終開発目標】(平成30年度)

- (1) 高磁場コイル用線材として、以下を開発目標とする[委託事業]。
 - ・ Y系線材の場合、温度30 K、磁場7 T条件にて平均電流密度400 A/mm²以上。MgB₂線材の場合、温度20 K、磁場2 T条件にて平均電流密度250 A/mm²以上。
 - ・ 1 kmにおける臨界電流の低下率((全長の臨界電流平均値-臨界電流最小値)/全長の臨界電流平均値)を0.15未満
- (2) 生産性向上目標として、完成品の単位時間当たり生産長を50 m/h r以上[助成事業]

4. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO 省エネルギー部 主任研究員 岩坪哲四郎を指名して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

国立研究開発法人産業技術総合研究所 T I A推進センター 上席イノベーションコーディネータ 岡田道哉をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

4. 1 平成28年度事業内容

研究開発項目①「電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発」

超電導ケーブルでの絶縁破壊等の電氣的事故、断熱管等での機械的故障や損傷、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・分類するとともに、それらの発生頻度及び損害レベルを考慮しつつ選定した安全性評価試験項目を実施し、その結果を分析・評価する。そこで得られた知見・評価方法については、広く世の中へ普及又は標準化に向けた活動を行う。また、事故等が発生した場合の対処方法・早期復旧のための方法を検討する。

短尺ケーブルで取得した超電導ケーブル断熱方法等の冷却構造を反映させた長尺の超電導ケーブルサンプルを製作し、長尺での超電導ケーブルの冷却特性を評価する。

ブレイトン冷却システムを超電導ケーブルと接続し、長期間の系統連系試験を実施する。

超電導直流送電システムの実用線路での運転試験を実施し、超電導直流送電システムを実用化するために必要なガイドラインの策定等を行う。

研究開発項目②「運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発」

変電所内へ設置可能な所定の揚程・流量を持つコンパクト冷凍システムの開発に着手する。

長期運用に必要な断熱特性を持つ断熱管の開発に着手する。

変電所間を接続する長距離超電導ケーブル冷却システムの構築・評価に必要なシステム保全技術構築に着手する。

研究開発項目③「高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発」

加工時、冷却、励磁時に生じる超電導特性の劣化、線材の磁化による磁場乱れ、コイル異常発生時の焼損について検討するため、3 T - 1 / 2 の試作コイルを設計、試作する。

また、省エネ、低コスト化を狙ったマグネット自励電源と磁場保持電源の分離システムを設計、試作。それぞれ次年度の評価につなげる。

超電導接続に使用可能な線材の開発に着手する。

研究開発項目④「高温超電導高磁場コイル用線材の実用化開発」

臨界電流密度の安定化(ばらつきの低減)、及び高磁場での臨界電流密度向上の開発に着手する。

低コスト化及び高生産性を確立するための装置の開発を行う。

4. 2 事業方針

<委託及び助成要件>

(1) 対象事業者

事業者は、次の要件（課題設定型産業技術開発費助成金交付規程第5条を含む）を満たす、単独ないし複数で委託又は助成を希望する、本邦の企業、大学等の研究機関であること。

- ① 事業を的確に遂行するに足る技術的能力を有する。
- ② 助成事業においては、助成事業を的確に遂行するのに必要な費用のうち、自己負担分の調達に関し十分な経理的基礎を有する。
- ③ 事業に係る経理その他の事務についての的確な管理体制及び処理能力を有する。
- ④ 当該事業者が事業に係る企業化に対する具体的計画を有し、その実施に必要な能力を有する。
- ⑤ 当該事業者が事業を国際連携による共同研究案件として実施することを目指している場合は、連携する国外の企業等（対象事業者には含まない）と共同研究にかかる契約・協定等を締結すること（又は連携の具体的予定を示すこと）ができること。また、知財権の取り扱いを適切に交渉、管理する能力を有する。

(2) 対象事業

事業として次の要件を満たすこと。

- ① 事業が、別途定める基本計画の研究開発の目的に資する技術開発を行うものであること。
- ② 事業が、別途定める基本計画の研究開発項目①、②、③及び④に該当するものであること。

(3) 審査項目

① 事業者評価

事業者の財務、事務管理、その他事業遂行に必要な能力があるか。

② 事業化評価（実用化評価）

開発体制が事業化に向けた体制になっているか、また事業化までの計画が明確であり経済性分析等も行われているか。

③ 技術評価

目標達成に向けた開発計画の妥当性、提案された技術開発の基礎となる研究開発成果（特許やノウハウ）、提案技術の独自性・優位性があるか。

(4) 委託条件

① 研究開発テーマの実施期間

研究開発項目②及び③は平成28年度から平成30年度の5年を限度とする。

研究開発項目④において、高磁場での超電導層の臨界電流密度を向上する研究開発は平成28年度から平成30年度の3年を限度とする。

（何れの研究開発項目も必要に応じて延長する場合がある）

② 研究開発テーマの規模

平成28年度の年間の規模は1,100百万円程度とする。

(5) 助成条件

① 研究開発テーマの実施期間

研究開発項目①で超電導直流送電システムの実用化開発は平成28年度の1年、
その他は平成28年度から平成30年度の3年を限度とする。

研究開発項目④は平成28年度から平成30年度の3年を限度とする。

(何れの研究開発項目も必要に応じて延長する場合がある)

② 研究開発テーマの規模・助成率

i) 助成額

平成28年度の年間の助成金の規模は400百万円程度とする。

ii) 助成率

研究開発項目①及び研究開発項目④で高磁場での超電導層の臨界電流密度を向上する研究開発以外は、1/2とする。なお、中小企業の場合には2/3以内とする。

4. 3 平成28年度事業規模

	委託事業	助成事業	合計
需給勘定	1,100百万円	400百万円	1,500百万円(新規)

事業規模については、変動があり得る。

5. 事業の実施方式

5. 1 公募

(1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Radポータルサイト」で行う。

(2) 公募開始前の事前周知

公募開始の1ヶ月前にNEDOホームページで行う。本事業はe-Rad対象事業であり、e-Rad参加の案内も併せて行う。

(3) 公募時期・公募回数

平成28年3月に1回行う。

(4) 公募期間

原則30日間とする。

(5) 公募説明会

NEDO川崎本部にて開催する。

5. 2 採択方法

(1) 審査方法

e-Radシステムへの応募基本情報の登録は必須とする。

委託事業者・助成事業者の選定・審査は、公募要領に合致する応募を対象にNEDOが設置する審査委員会（外部有識者で構成）で行う。審査委員会（非公開）は、提案書の内容について外部専門家（学識経験者、産業界の経験者等）を活用して行う評価（技術評価及び事業化評価）の結果を参考とし、本事業の目的の達成に有効と認められる委託事業者・助成事業者を選定した後、NEDOはその結果を踏まえて委託事業者・助成事業者を決定する。

申請者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。

審査委員会は非公開のため、審査経過に関する問合せには応じない。

(2) 公募締切日から採択決定までの審査等の期間

原則45日以内とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDOから申請者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、申請者の名称、研究開発テーマの名称・概要を公表する。

6. その他重要事項

(1) 評価

NEDOは、①事業の位置づけ・必要性、②研究開発マネジメント、③研究開発成果、④実用化・事業化に向けての見通し及び取組みの4つの評価項目について、外部有識者による評価を実施する。評価の時期は、中間評価を平成30年度、事後評価を平成33年度に実施し、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、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果等を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

(2) 運営・管理

本研究開発については、NEDOが設置した超電導技術評価委員会においてプロジェクトの実施内容を詳細に検討し、その結果を適切に実施計画に反映し、着実な研究開発業務の運営を図る。

(3) 複数年度契約（もしくは交付決定）の実施

平成28～30年度の複数年度契約（もしくは交付決定）を行う。（研究開発項目①中の直流超電導送電システム関連研究開発は平成28年度の単年度契約）

(4) 知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクト

を実施する。(研究開発項目②、③及び④の委託事業のみ)

7. スケジュール

本年度のスケジュール

- 平成28年3月上旬頃・・・公募開始
- 3月上旬頃・・・公募説明会
- 4月上旬頃・・・公募締め切り
- 4月中旬頃・・・契約・助成審査委員会
- 4月下旬頃・・・採択決定
- 5月上旬頃・・・交付決定

8. 実施方針の改訂履歴

- (1) 平成28年2月、制定
- (2) 平成28年5月、プロジェクトマネージャーの変更、プロジェクトリーダーの指名及び実施体制が決定したことにより改訂。

NEDO
プロジェクトマネージャー (PM) : 岩坪哲四郎

プロジェクトリーダー (PL)
岡田道哉 (産総研)

① 高温超電導送配電技術開発

- ・電力送電用超電導ケーブルシステムの実用化開発 (助成)
東京電力ホールディングス、住友電気工業、
古河電気工業、前川製作所
- ・電力送電用超電導ケーブルシステムの実用化開発 (助成)
石狩超電導・直流送電システム技術研究組合
- ・運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発 (委託)
鉄道総合技術研究所

② 高磁場マグネットシステム開発

- ・高温超電導高安定磁場マグネットシステム開発 (委託)
三菱電機、産業技術総合研究所
- ・高温超電導高安定磁場マグネットシステム開発 (委託)
古河電気工業
- ・高磁場マグネットシステム開発 (委託)
フジクラ、産業技術総合研究所
- ・高磁場マグネットシステム開発 (助成)
フジクラ