

## 2020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15条第一号ニ、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。

一方で、2012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、2015年までの期限付きでの民間へのヘリウム放出抑制を2020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。近年ヘリウムは、米国产の供給量の減少と半導体用としての中国での需要が急増のため、国内供給大手業者が2019年1月から販売価格の25%引き上げ交渉に入ると報道されており、ヘリウム資源問題はさらに厳しい状況となっている。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」（2007年度～2013年度）において、66kV／200MVA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、冷却システムに関しては、数kW級のブレイトン冷凍機開発を実施し冷凍機単独でCOP（Coefficient of Performance）0.10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」（2014年度～2015年度）において実際の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、ブレイトン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」（2012年度～2015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等を行っている。

直流電気鉄道に適用可能な超電導き電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」、「未来社会創造事業（JPMJMI17A2）」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、2015 7年に伊豆箱根鉄道・駿豆線において、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、さらに、2018年にはJR中央本線のき電系統に超電導き電システムを接続し、国内外で初めて電気抵抗削減による電圧降下の抑制を実証しており、実用化に向けた基礎技術開発が開始された段階にある。

一方、我が国の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」（2013年度～2015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。

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。

世界的な取組状況としては、韓国は、2017年～2019年の予定でソウルの南Shingalにおいて、2カ所の中間接続部を持つREBCO高温超電導ケーブルによるAC23kV 50MVAの1kmの商用実系統連系プロジェクトを実施中である。また、2017年～2021年の予定で、高温超電導ケーブルにより市内の変電所を削減し、経済性を高めたAC23kV 50MVAの3km級の新しいグリッドモデル開発プロジェクトを実施中である。さらに、JEJUプロジェクトにおいては、80kV/500MVA級、長さ500mの超電導直流ケーブル及び154kV/500MVA級、長さ1kmの超電導交流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、Bi系線材を用いた10kV/40MVA級、長さ1kmの三相同軸型超電導交流ケーブルを開発し、2014年春には超電導限流器と組み合わせて実系統試験を開始し、現在も継続中である。

諸外国における、鉄道き電線の超電導化の取組は現在のところ報告されていない。

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MgB<sub>2</sub>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0.2T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1.5T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1.5T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。

Y系線材の研究開発に関しては、韓国SuNAMや米国AMSC、Super Power（古河電気工業）、露SuperOXが、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（FS）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、運輸分野への技術開発を実施する。

k m級の超電導ケーブル冷却を可能とする長距離冷却システムの開発により、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、MRI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技術開発」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2026年に設定し、投入時期にMRI市場拡大が予測される3 T級以上のMRI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MRI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。

[助成事業]

研究開発項目①「運輸分野への超電導適用基盤技術開発」

【中間開発目標】（2018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2 m<sup>3</sup>/kWのコンパクト冷凍機の開発

- ・ 揚程0.6MPa、流量50L/min以上の液体窒素循環ポンプの開発
- ・ 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運用指針の確立

**【最終開発目標】(2020年度)**

- ・ km級長距離冷却システムの開発

[助成事業]

研究開発項目②-1「高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発」

**【中間開発目標】(2018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3Tマグネットの試作(直径500mmボア、3T、漏れ磁場(2.5m×3m))
- (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(30mmDSV(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】(2020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3Tマグネットによるイメージング実証(150mmDSV)。磁場均一度10ppm(250mmDSV)未満、磁場安定度1ppm/hr未満性能を達成。
- (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5Tマグネット設計技術(低温超電導コイル比線材量30%以上低減、磁場安定度0.1ppm/hr未満)の確立に向けた7T検証コイルの試作(コイル平均電流密度200A/mm<sup>2</sup>(7T)超)
- (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) ドライブモードでのコイル保護として、焼損対策手法の確立

[委託事業]

研究開発項目②-2「高温超電導線材の超電導接続技術」

**【最終目標(2020年度)】**

- (1) 高温超電導接続技術として、接続点での抵抗値 $10^{-12}\Omega$ 以下の接続を実現
- (2) 永久電流モード高温超電導マグネットの保護・焼損対策技術理論の構築と実証

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

プロジェクトマネージャーにNEDO 省エネルギー部 主査 中原 裕司を、プロジェクトリーダーに国立研究開発法人 産業技術総合研究所 岡田 道哉氏を指名し

て、以下の研究開発を実施した。

#### 4. 1 2019年度事業内容

##### 研究開発項目①「運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発」

開発したコンパクト冷凍機、液体窒素循環ポンプ、断熱管の各機器を鉄道総研（宮崎実験センター）に移設、組み上げを行いガイドレールに敷設した km 級超電導冷却評価システムを完成させた。

##### 研究開発項目②-1「高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発」

前年度製作したコイルを用い、1/2アクティブシールド型3T高温超電導マグネットの製作を完了、磁場特性を評価しイメージングを実施するため京都大学に移設完了。

また、アクティブシールド型5Tマグネット設計技術の確立に向けた小型7T検証コイル試作機の設計を行った。

##### 研究開発項目②-2「高温超電導線材の超電導接続技術」

超電導接続のための材料およびプロセスの開発として、施工が容易な接続方法である、①超電導ペースト接続、②異種超電導材料コーティングによるはんだ接続の技術開発を行い、新たな接続抵抗評価装置にて接続試料の評価を実施した。

#### 4. 2 事業推移（2020年2月6日現在）

|                    | 2019年度 |
|--------------------|--------|
| 実績額推移<br>需給勘定（百万円） | 121.0  |
| 特許出願件数（件）          | 1      |
| 論文発表数（報）           | 12     |
| フォーラム等（件）          | 1      |

#### 5. 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 主査 中原裕司を、プロジェクトリーダーに国立研究開発法人 産業技術総合研究所 岡田 道哉氏を指名し、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。

#### 5. 1 2020年度事業内容

##### 研究開発項目①「運輸分野への高温超電導適用基盤技術開発」

鉄道総研（宮崎実験センター）にて、km級長距離超電導ケーブル冷却システムを評価し成果をまとめる。

##### 研究開発項目②-1「高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発」

1/2サイズ3Tマグネットを用いて、イメージング実証実験を行い、磁場均一度10ppm未満、磁場安定度1ppm/h未だ性能に向けた技術開発を行うとともに、小型7T検証コイル試作機を製作し、経験磁場7Tでの課題の確認を行う。

##### 研究開発項目②-2「高温超電導線材の超電導接続技術」

これまでの研究開発で抽出された接続部低抵抗化のための課題を解決し、さらなる接続部低抵抗化を目指す。接続抵抗を支配している要因について対策を施し、最終目標である接続あたり  $10^{-12}\Omega$  実現に見通しをつけることを目標とする。また、新たにY系高温超電導線材と低温金属系超電導線材との接続方法の検討を実施するとともに、高温超電導線材の高温超電導層最表面を接続に適した状態にする技術開発を実施する。さらに、超電導接続によって実現される永久電流モードのコイル保護技術の基礎検討を行う。

## 5. 2 2020年度事業規模

|      | 委託事業    | 助成事業     | 合計           |
|------|---------|----------|--------------|
| 需給勘定 | 42.3百万円 | 115.3百万円 | 157.6百万円（継続） |

事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### 6. 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、事後評価を2021年度に実施する。

有識者や超電導応用製品に関する業界関係者の考えを再確認する等現状を再整理し、本プロジェクト以降の超電導技術のあり方、技術開発の進め方について検討を行う予定。

### 6. 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、開発技術の事業化スケジュールを明確化するとともに、着実な研究開発業務の運営を図る。また、成果の公表ならびにオープン/クローズ戦略に基づく知的財産の取得を推進する。

### 6. 3 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②-1のみ）

## 7. 実施方針の改訂履歴

(1) 2020年2月、制定

(別紙)「高温超電導実用化促進技術開発」実施体制

