

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- ・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が重要。
- ・MRI診断装置で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重要。
- ・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。



事業の目的

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分野(鉄道き電線、MRI用高磁場マグネット)において、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。

2

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

■ エネルギー・環境イノベーション戦略(平成28年4月)

「新しい超電導材料の更なる研究……線材の低コスト化、冷却システムの革新的な小型化……を実現する研究開発を強力に推進し、送電線……への適用が可能となる技術を確立することで、抜本的なエネルギー消費効率の向上や、……新たなエネルギーシステムの創出につなげる。」

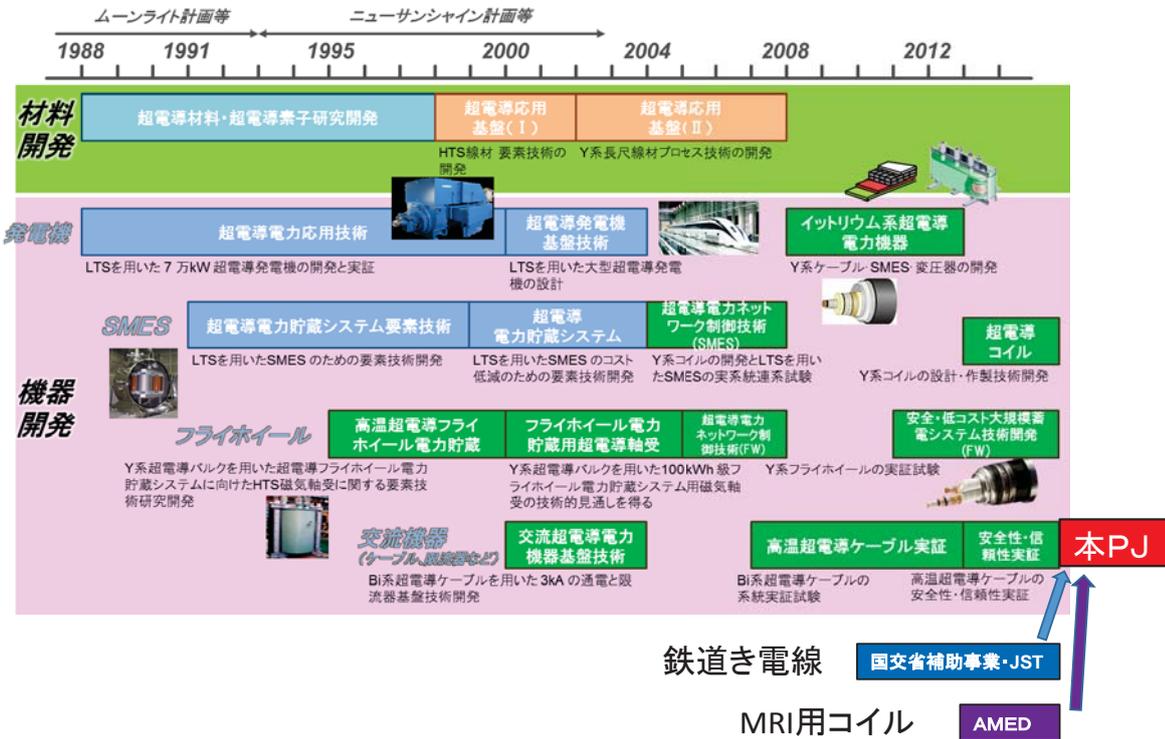
■ エネルギー基本計画(平成30年7月)

高温超電導技術は、以下の政策対応に関連

「第2節 2030年に向けた政策対応

2. 徹底した省エネルギー社会の実現
3. 再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取組」

### ◆技術戦略上の位置付け



### 中間評価の対象

分類	研究開発項目	実施者	主なアウトプット目標	スケジュール							
				'16	'17	'18	'19	'20			
高温超電導送配電技術開発	① 電力送電用超電導ケーブルシステムの实用化開発	交流	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導ケーブルシステム安全性評価基準確立</li> <li>高効率冷却システム確立</li> <li>COP0.11以上、点検間隔:4万時間</li> </ul>	安全性評価	冷却システム	系統連系 他	設計仕様	評価基準	作成		
		直流	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導直流送電設計・運用ガイドライン策定</li> </ul>	ガイドライン策定							
高磁場マグネットシステム開発	② 運輸分野の高温超電導適用基盤技術開発	鉄道総研	<ul style="list-style-type: none"> <li>km級長距離冷却システム構築と評価</li> <li>冷凍機サイズ:2m<sup>3</sup>/kW</li> <li>ポンプ:0.6MPa、流量50L/分</li> <li>システム保全の技術指針の確立</li> </ul>	コンパクト冷凍機開発	LN2循環ポンプ開発	断熱管開発	長距離冷却システムの構築・評価				
		三菱電機産総研	<ul style="list-style-type: none"> <li>3T 1/2マグネット撮像実証</li> <li>磁場均一度100ppm以下、磁場安定度1ppm/hr以下</li> <li>3T MRIコイル形状、冷凍能力、クライオスタートなどの設計確立</li> </ul>	1/2 3T マグネットシステム開発	1/2 5T マグネットシステム開発	超電導接続技術開発					
高磁場マグネットシステム開発	③ 高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発	超電導接続開発	超電導接続の技術開発 (10 <sup>-12</sup> Ω以下)	超電導接続技術開発							
		磁場特性改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>高磁場特性の改善</li> <li>平均電流密度400A/mm<sup>2</sup>以上 @30K, 7T</li> <li>1kmでのIc低下率 0.15未満</li> </ul>	高磁場臨界電流密度高性能化	長尺材料の均一性向上	低損失構造線材の研究開発					
高磁場マグネットシステム開発	④ 高温超電導高磁場コイル用線材の实用化技術開発	生産性向上	単位時間生産長50m/hr以上 (現状の約2倍)	生産性向上技術開発							

◆実施の効果（費用対効果）

プロジェクト費用の総額 事業費81億円(当初予定)  
 (他テーマ含む) NEDO事業費71億円(当初予定)

□省エネルギー効果

- ・鉄道き電線では、年間69GWhの省エネルギー効果(平成42年度)
- ・MRIマグネットでは、年間65GWh省エネルギー効果(平成42年度)

□MRI市場

・3T機で、国際競争力確立。なお、高温超電導MRIの国内市場規模は、平成42年において年間965億円程度と見込まれる。

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
運輸分野への超電導適用基盤技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄道き電線に必要な長距離冷却基盤技術の構築</li> <li>・2km級長距離冷却システムの構築及び検証</li> <li>・路線環境に対応した信頼性評価</li> <li>・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</li> </ul>	鉄道き電線へ適用可能な超電導ケーブルシステムの実用化へ向けては、超電導ケーブルの長距離冷却技術開発が必要であるため。
高温超電導高磁場マグネットシステム技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/2サイズのアクティブシールド型3T・5Tマグネットの試作</li> <li>・高温超電導マグネットによる小領域イメージング実証</li> <li>・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</li> <li>・高温超電導接続として、<math>10^{-12}\Omega</math>以下の接続を実現</li> </ul>	高温超電導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MRI市場拡大が予測される3T級以上のMRIへの適用を主眼とした伝導冷却方式のマグネットシステムの実現のため。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

分類	研究開発項目	実施者	主なアウトプット目標	スケジュール				
				'16	'17	'18	'19	'20
発 高温超電導 送配電技術開 発	②運輸分野の 高温超電導適 用基盤技術開発	直流 鉄道総研	<ul style="list-style-type: none"> <li>・km級長距離冷却システム構築と評価 冷却機サイズ:2m<sup>3</sup>/kW ポンプ:0.6MPa、流量50L/分</li> <li>・システム保全の技術指針の確立</li> </ul>	コンパクト冷凍機開発 LN2循環ポンプ開発 断熱管開発				
				長距離冷却システムの構築・評価				
ス テ ム 開 発	③高温超電導 高安定磁場 マグネット システム 技術開発	マグ ネットシ ステム 開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3T ½マグネット撮像実証 磁場均一度100ppm以下、 磁場安定度1ppm/hr以下</li> <li>・3T MRIコイル形状、冷凍能力、 クライオスタットなどの設計確立</li> </ul>	½ 3T マグネット システム開発		½ 5T マグネット システム開発		
				超電導接続技術開発				

12

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

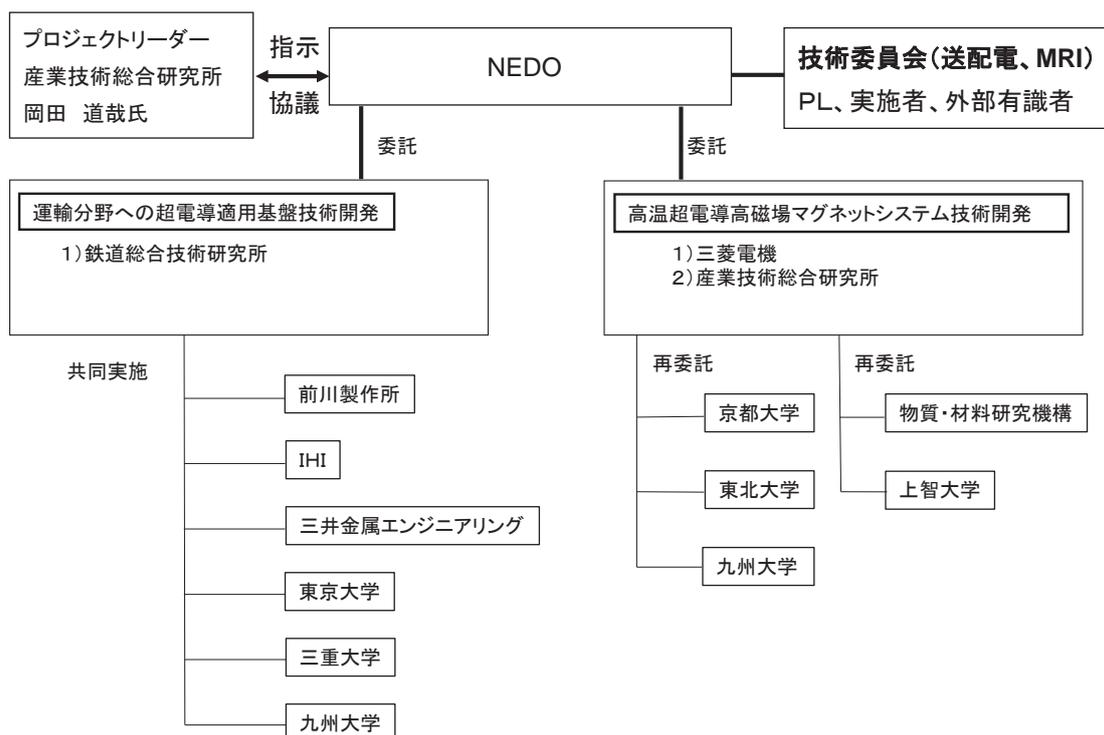
◆プロジェクト費用(実績)

◆費用

(単位:百万円)

研究開発項目	平成28年 度	平成29年 度	平成30年 度	合計
運輸分野への超電導適用基盤技術開発	434.6	308.8	356.0	1099.4
高温超電導高磁場マグネットシステム 技術開発	376.8	581.8	531.1	1496.9
合 計	811.4	890.6	887.1	2596.3

◆ 研究開発の実施体制



◆ 成果の普及

運輸分野への超電導適用基盤技術開発

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	計
論文		1		1
研究発表・講演	3	6	2	11
展示会への出展	1			1

高温超電導高磁場マグネットシステム技術開発

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	計
論文	1	10	2 (うち投稿中1)	13 (うち投稿中1)
研究発表・講演	7	37	8	52
展示会への出展	1	1	0	2

※平成30年度9月11日現在

◆ 成果の普及

運輸分野への超電導適用基盤技術開発

- 学会誌 J. SCOPE Japan vol.29 No. 2, 50-57(2017/7) 掲載  
「ショートタイムFFT、周波数領域の特徴パラメータおよび正準判別分析法による軸受複合異常診断法」  
廖志強、左時倫、宋瀏陽、関照議、陳山鵬(三重大学)  
富田優、小林 祐介(鉄道総研)

高温超電導高磁場マグネットシステム技術開発

- 月刊誌 OHM 2018年3月号(P44-49) 掲載  
「医療用MRI超電導マグネット」 横山彰一
- 学会誌 低温工学 第53巻第4号(P210-217) 掲載  
「HTS-MRIの電源駆動運用とその励磁電源」 白井康之、横山彰一

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 高温超電導マグネットの設計、製造に関するキー技術の特許取得を目指す
- 超電導接続技術開発については、学術的価値のある成果については積極的に論文発表し、工業技術としてのノウハウは事業者への技術移転を行う
- 保護・焼損対策技術開発については、高温超電導コイル保護として汎用的で学術的価値も高いため、積極的に論文発表を行う

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1	1	2件

※平成30年度9月11日現在

# 「高温超電導実用化促進技術開発」

## 中間評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	4

## はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき研究評価委員会において設置された「高温超電導実用化促進技術開発」（中間評価）の研究評価委員会分科会（平成30年9月20日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第58回研究評価委員会（平成31年3月18日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成31年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「高温超電導実用化促進技術開発技術開発」分科会  
（中間評価）

分科会長 伊瀬 敏史

「高温超電導実用化促進技術開発」

(中間評価)

分科会委員名簿

(平成30年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	いせ としふみ 伊瀬 敏史	奈良学園 理事長／大阪大学 名誉教授
分科 会長 代理	いちかわ みちはる 市川 路晴	電力中央研究所 電力技術研究所 副所長
委員	たかはた かずや 高畑 一也	自然科学研究機構 核融合科学研究所 装置工学・ 応用物理研究系 教授
	ふくい さとし 福井 聡	新潟大学 工学部 電気電子工学科 教授
	よしだ ゆたか 吉田 隆	名古屋大学 工学研究科 電気工学専攻 教授
	り ずい 李 瑞	住友重機械工業(株) 精密機器事業部 主任技師

敬称略、五十音順

# 「高温超電導実用化促進技術開発」（中間評価）

## 評価概要（案）

### 1. 総合評価

本事業では、これまでの高温超電導技術開発の集大成として実用化に向けた明確な技術開発が進められている。直流電気鉄道は超電導の応用が比較的容易でありメリットも大きいこと、高列車密度であるというわが国の事情にも即した応用であることから適切な事業であると考えられる。MRI についても高温超電導化は装置の小型化、省電力化に貢献し、今後のMRI の普及・医療の高度化への寄与が期待できる。いずれも社会実装された場合の社会へのインパクトは非常に大きい。運輸分野、MRI のどちらも研究開発目標、スケジュール、実施体制、進捗管理は良好である。中間目標すべてが達成済み、または本年度中に達成見込みであり、着実に進捗している。MRI マグネットは完成すれば、世界初の高温超電導線材を用いた冷凍機冷却アクティブシールド型 3 T マグネットであり、特筆すべき成果である。10 年後の 1.5T-MRI から 3T-MRI への置き換えを想定し、漏れ磁場、重量を変えずに置き換えを可能にする戦略は実に明確である。MRI への応用については、超電導線材の特性劣化の問題およびコイル保護の技術的課題はあるものの、これらがクリアできれば実用化の見通しはある。運輸分野への応用についても、ブレイトン冷凍機の設置容積を従来の 6 分の 1 の 10 m<sup>3</sup>に縮小できたことは実用化に向けた大きな成果であり、鉄道き電線のために開発された技術は、一般の送配電システム等への応用も期待できる。

一方、企業からの論文発表や出願特許が少なく、今後の増加が望まれる。また、鉄道き電線の実用化に向けたロードマップを明確化して欲しい。

今後は、海外への発信を主体的に進めるべきである。特許についても海外への出願を積極的に進めていただきたい。また、海外市場の可能性も調査して欲しい。さらに、本プロジェクトで得られる成果を国際規格、基準にも反映させることを念頭に研究開発を推進して欲しい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業では、これまでの高温超電導技術開発の集大成として実用化に向けた明確な技術開発が進められている。直流電気鉄道は超電導の応用が比較的容易でありメリットも大きいこと、高列車密度であるというわが国の事情にも即した応用であることから適切な事業であると考えられる。MRI についても高温超電導化は装置の小型化、省電力化に貢献し、今後のMRI の普及・医療の高度化への寄与が期待できる。いずれも社会実装された場合の社会へのインパクトは非常に大きい。超電導応用機器の市場への投入のみならず、規格化、標準化を進めていくためには、国として戦略的に進めて行くべきであり、この意味からも NEDO がプロジェクトを主導して推進していくことが重要である。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

実用化に向けて残された課題が何かを見極め、開発目標が明確に設定されている。事業化に近いものとして、運輸分野の送電技術と医療用高磁場マグネット技術に注目したことは、高温超電導技術の事業化を加速する意味で妥当である。目標に向けた適切な研究開発スケジュールが設定され、概ねスケジュール通りに進捗している。本事業の実施機関は、成果の社会実装及び事業化の主体者が選定されている。運営管理においても、送配電、MRI それぞれで技術委員会を設置して、方向性の確認、問題解決への検討を行っていることは、プロジェクトの効率的運用に大いに貢献している。

一方、知的財産に関する戦略は十分であるが、その取り扱い、特にその管理方法および活用方法などについては、実施者の努力のみに任せるのではなく、NEDO も積極的に関与し、サポートすることが望まれる。

## 2. 3 研究開発成果について

中間目標すべてが達成済み、または本年度中に達成見込みであり、着実に進捗している。MRI マグネットは完成すれば、世界初の高温超電導線材を用いた冷凍機冷却アクティブシールド型 3 T マグネットであり、特筆すべき成果である。非接触でのコイル劣化部位評価法を確立した点は当初目標に無かったことであり大いに評価できる。ブレイトン冷凍機の設置容積を従来の 6 分の 1 の 10 m<sup>3</sup>に縮小できたことは実用化に向けた大きな成果である。解決すべき項目が明確となっているので、最終目標を十分に達成できる見通しが得られている。

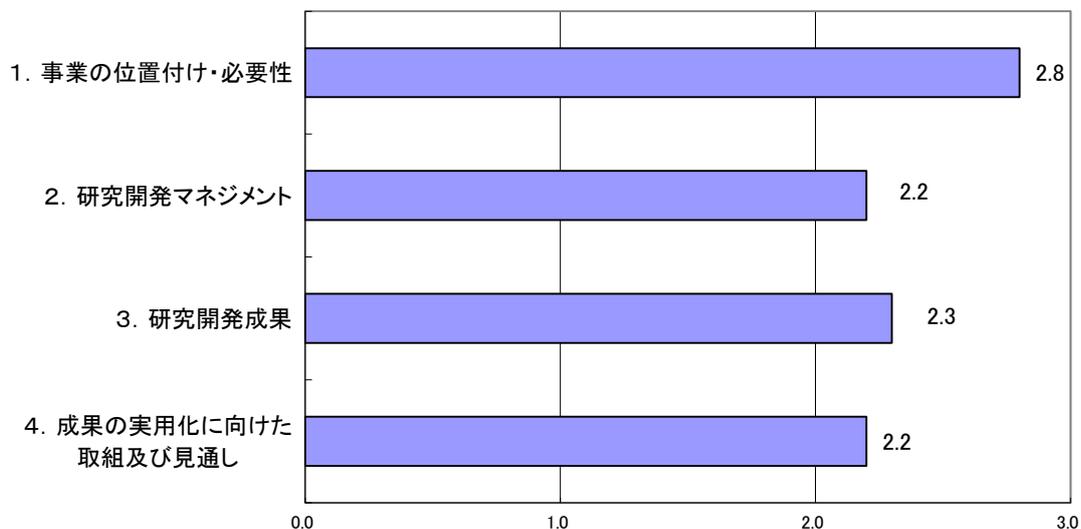
一方、運輸分野への応用について、発表論文が極めて少ない。特許も無い。今後は、海外への発信を主体的に進めるべきである。特許についても海外への出願を積極的に進めていただきたい。また、本プロジェクトで得られる成果を規格、基準にも反映させることを念頭に研究開発を推進して欲しい。特に、国際規格への反映を目指して欲しい。

## 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

運輸分野への応用については、技術的な課題は少なく実用化は容易である。鉄道き電線のために開発された技術は、一般の送配電システム等への応用も期待できる。MRI への応用については、10 年後の 1.5T-MRI から 3T-MRI への置き換えを想定し、漏れ磁場、重量を変えずに置き換えを可能にする戦略は実に明確である。超電導線材の特性劣化の問題およびコイル保護の技術的課題はあるものの、これらがクリアできれば実用化の見通しはある。

一方、鉄道き電線については何時頃を目処に開発し、市場に投入するかのマイルストーンが明確に示されていない。早期実用化に向け、例えば DC/DC コンバータによるき電線電圧の昇圧方式との得失の比較を行うなど、既存技術に対する優位性のアピールにも努めて欲しい。両技術とも国内市場だけでなく、海外市場の可能性も調査すべきである。

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)					
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	B	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.2	B	B	A	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.3	B	A	B	A	B	B
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.2	B	B	A	C	B	A

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- |                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について            |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                |
| ・重要 →B             | ・よい →B                   |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                 |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D             |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                   |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                   |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                 |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D               |