

# 「高温超電導実用化促進技術開発」

研究開発項目：電力送電用高温超電導ケーブルシステム  
の実用化開発【交流】・【直流】

研究開発項目：高温超電導高安定磁場マグネットシステム  
技術開発

研究開発項目：高温超電導高磁場コイル用線材の実用化  
技術開発【磁場特性改善】・【生産性向上】

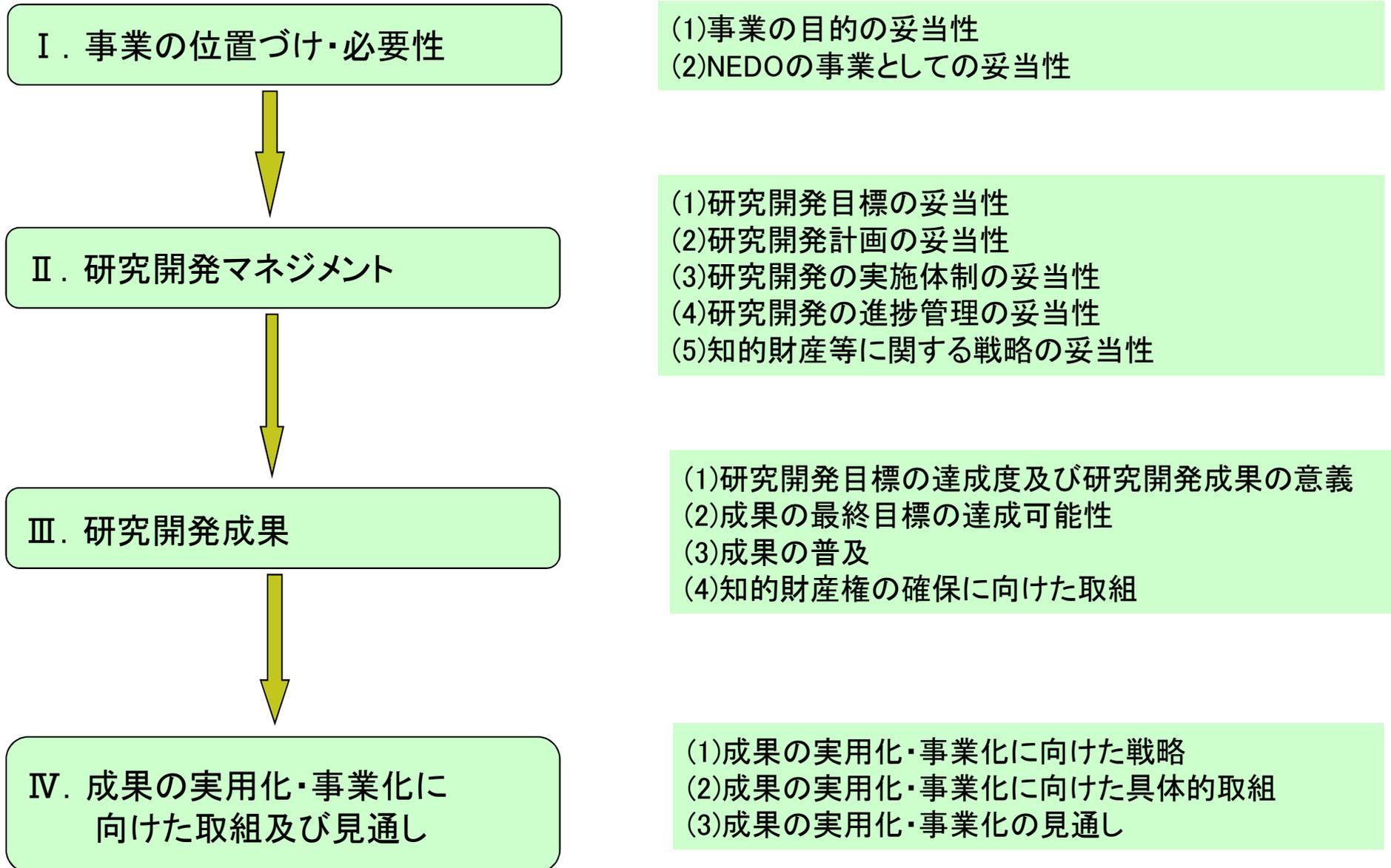
(中間評価)

(平成28年度～平成32年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO 省エネルギー一部

2019年7月30日



## ◆事業実施の背景と事業の目的

### 社会的背景

- ・再生可能エネルギー利用のために分散化する発電所から集中化傾向の需要地へとエネルギーロス無く送電を行う送電技術の確立が重要。
- ・MRI診断装置でのヘリウム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(電力送電ケーブルシステム、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。

## ◆政策的位置付け

### ■ エネルギー・環境イノベーション戦略(2016年4月)

「新しい超電導材料の更なる研究や生産技術開発を行うとともに、線材の低コスト化、冷却システムの革新的な小型化・コンパクト化・軽量化・低コスト化を実現する研究開発を強力に推進し、送電線や産業用モーター、発電機等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、それを統合する新たなエネルギー・システムの創出につなげる。」

### ■ エネルギー基本計画(2018年7月)

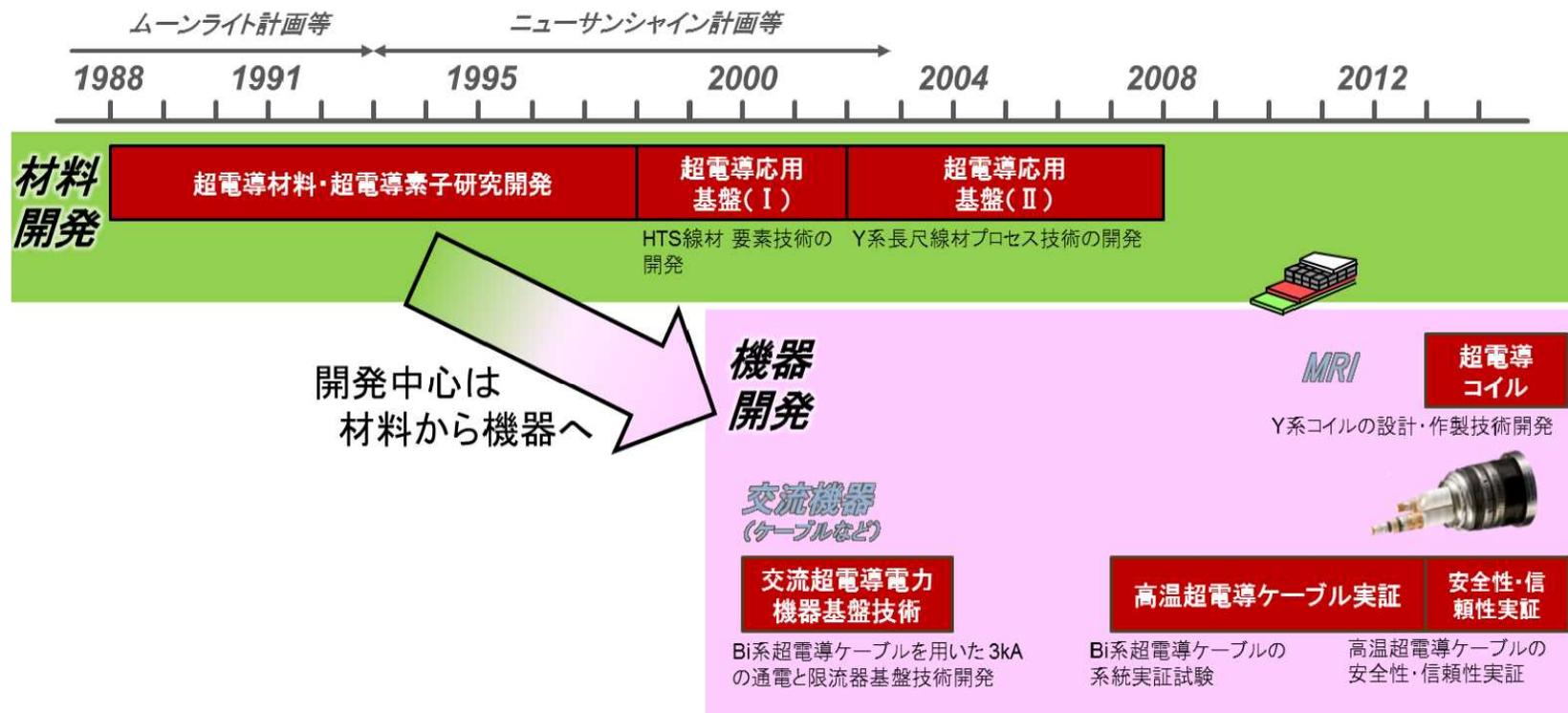
高温超電導技術は、以下の政策対応に関連

「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

ムーンライト計画やニューサンシャイン計画から約30年間、高温超電導線材・電力機器を中心に切れ目なく技術開発を行ってきた。近年では材料中心から機器中心の技術開発を推進し、ここ数年技術開発成果が得られている。



※このほか、発電機や超電導式電力貯蔵(SMES)、フライホイールなどの開発を実施してきた。

⇒ 実用化へ向けた開発へ移行可能な段階  
さらに、適用分野を、鉄道き電線、MRIコイルへと拡大

# 高温超電導実用化促進技術開発

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電力送電用高温超電導ケーブルシステムの 実用化開発	交流	東京電力 住友電工 古河電工 前川製作所 ・超電導ケーブルシステム 安全性評価基準確立 ・高効率冷却システム確立 COP:0.11以上、点検間隔:4万Hr	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				
			石狩超電導 技術組合	・超電導直流送電 設計・運用ガイドライン策定	ガイドラ イン策定				
	②運輸分野への 高温超電導適用 基盤技術開発	直流	鉄道総研 ・長距離冷却システム構築と評価 冷凍機サイズ:2m <sup>3</sup> /kW ポンプ:0.6MPa、流量50L/分 ・システム保全の技術指針の確立	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構築・評価				
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	マグネット システム 開発	三菱電機 産総研 ・1/2 3Tマグネット撮像実証 磁場均一度10ppm以下、 磁場安定度1ppm/hr以下 ・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	1/2 3T マグネット システム開発	高電流密度 コイル開発				
		超電導 接続開発	古河電工	・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				
	④高温超電導 高磁場コイル用 線材の実用化 技術開発	磁場特性 改善	フジクラ 産総研	・高磁場特性の改善 平均電流密度400A/mm <sup>2</sup> 以上 @30K, 7T、1kmでのIc低下率 0.15未満	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				
	生産性 向上	フジクラ	・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					

## ◆国内外の研究開発の動向と比較

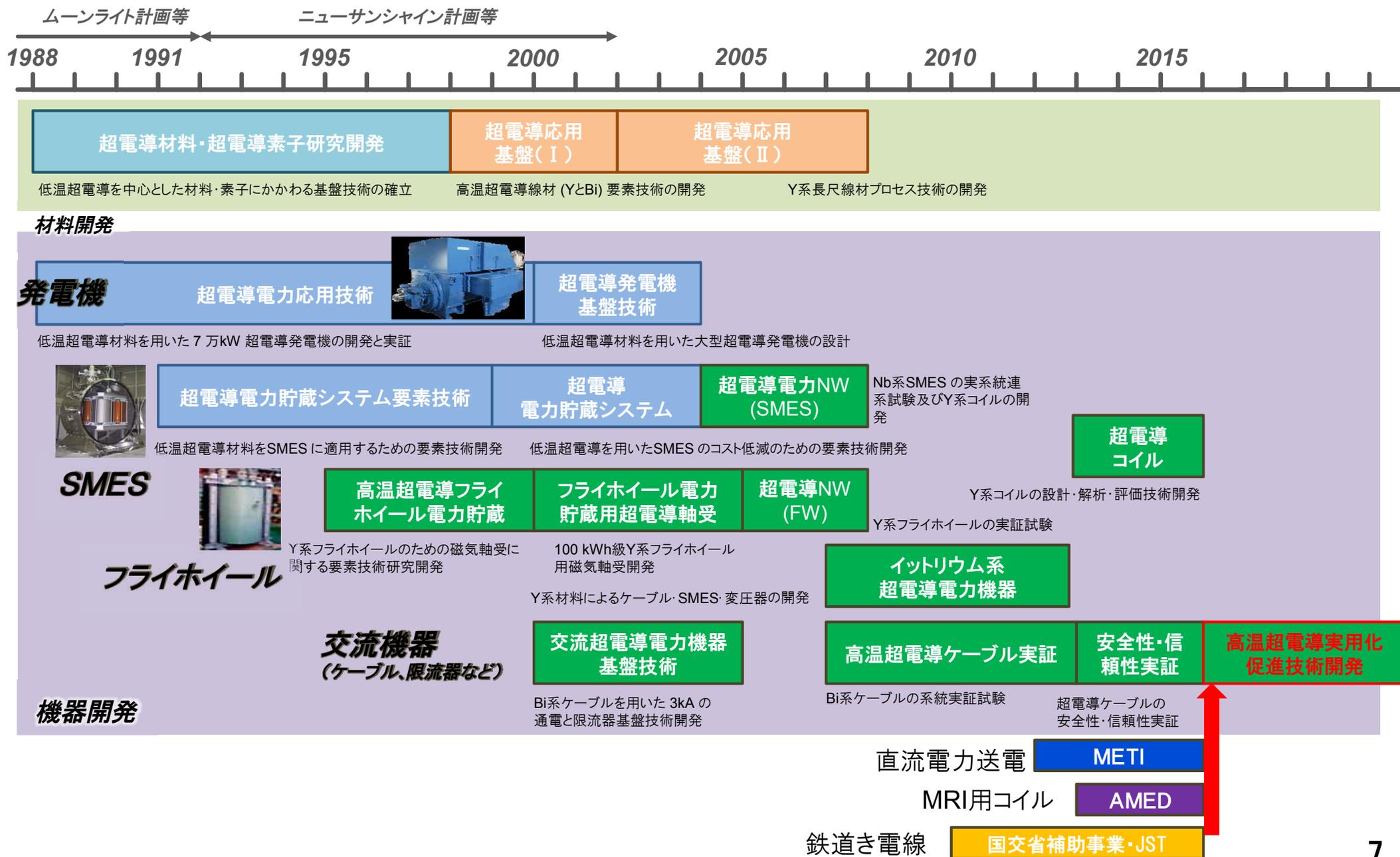
### 世界の取組

- **交流送電ケーブルシステム**では、**韓国**で23kV(1km,3km)を**実証試験中**であり、80kV(500m)及び154kV(1km)実系統実証試験の計画を発表している。**ドイツ**では、10kV(1km)の**実証試験**を実施して、現在も**運用中**である。
- **高温超電導MRI用マグネット**では、各国で主に高磁場化が困難なBi系、 $MgB_2$ 線材を用いた小型(四肢用)コイルが開発中である。**Siemens等のMRIメーカー**は、**全身用**としては**Y系線材**による高磁場マグネットの開発を進めていると考えられるが、それに関する**情報は極めて少ない**。
- **Y系線材**では、**韓国SuNAM**や**米国AMSC**、SuperPower(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。



Siemens社 MRI コイル  
Y系線材、無冷媒(伝導冷却)  
最大磁場: 1.3T / 17cmボア  
(IEA Exco Meeting and ASC2016)

# ◆他事業との関係

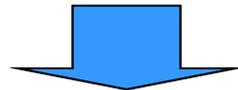


◆NEDOが関与する意義

NEDOの第4期中長期目標におけるミッション  
「成果の社会実装によりエネルギーの安定的・効率的な供給の確保及び経済・産業の発展に資する研究開発プロジェクトを推進」

本プロジェクトの狙い

- これまでの高温超電導の要素技術開発の成果は、実用化開発へ移行可能な段階にあり、実用化促進の対象として分野をしぼりこみ
- 省エネルギーの実現と電力等の安定供給を目指す。
- 電力送電ケーブルでは送電損失の低減、MRIコイルでは我が国の産業競争力の強化を狙う



NEDOの関与が妥当かつ効果的な事業

◆実施の効果（費用対効果）

プロジェクト費用（他テーマ含む） 事業費総額81億円（当初予定）

NEDO予算総額71億円（当初予定）

□省エネルギー効果(2030年度)

- ・超電導送電では、年間51GWhの省エネルギー効果
- ・MRIマグネットでは、年間65GWh省エネルギー効果

□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、2030年において年間965億円程度と見込まれる。

◆ 事業の目標

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、フェ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。

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
電力送電用超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 安全性評価試験による影響検証</li> <li>• 早期復旧等の実用化に向けての対策検討</li> <li>• 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発</li> <li>• 冷却システムの高効率化技術の開発(1年間の系統連系試験)</li> </ul>	<p>超電導送配電の導入のためには、通常時の信頼性だけでなく、不測の事故(地絡・短絡・外傷等)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及びコストを更に改善する必要もある。</p>
電力送電用超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実用線路(1km)での運転試験</li> <li>• 設計、運用、保守ガイドライン作成等</li> </ul>	

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導接続の性能、歩留り、信頼性向上技術開発 (<math>10^{-12} \Omega @ 1T</math>、歩留り50%)</li> <li>MRIコイルへの実装を考慮した超電導接続部の形態の開発</li> <li>MRI製造を想定した現場環境での超電導接続の実施およびその技術の確立</li> </ul>	<p>更なる省エネルギーを実現するMRIコイルの将来技術である永久電流モードのために、超電導接続技術の開発が必要である。</p>
高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発【磁場特性改善】【生産性向上】	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度30K、磁場7T条件にて平均電流密度 <math>400A/mm^2</math> 以上</li> <li>1km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</li> <li>完成品の単位時間当たりの生産長: <math>50m/hr</math> 以上</li> </ul>	<p>MRIコイルへの適用のためには、高磁場特性の向上、長尺線材の製造技術が求められている。 低価格化実現が遅れており、超電導応用機器開発を推進する上で大きな課題となっている。</p>

# ◆ 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
技術開発 高温超電導送配電	電力送電用高温超電導ケーブルシステムの 実用化開発	交流	東京電力 住友電工 古河電工 前川製作所	<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 COP:0.11以上、点検間隔:4万Hr</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	石狩超電導 技術組合	<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		
開発 高磁場マグネットシステム	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	古河電工	<ul style="list-style-type: none"> <li>超電導接続の技術開発 (<math>10^{-12}\Omega</math>以下)</li> </ul>	超電導接続技術開発		
	高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術 開発	磁場特性 改善	フジクラ 産総研	<ul style="list-style-type: none"> <li>高磁場特性の改善 平均電流密度400A/mm<sup>2</sup>以上 @30K, 7T、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		
		生産性 向上	フジクラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位時間生産長50m/hr以上 (現状の約2倍)</li> </ul>	生産性向上技術開発		

## 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)

(単位:百万円)

研究開発項目	2016 年度	2017 年度	2018 年度	合計
電力送電用高温超電導ケーブルシステム の実用化開発【交流】(助成:1/2)	270.5	213.3	168.4	652.1
電力送電用高温超電導ケーブルシステム の実用化開発【直流】(助成:1/2)	93.7	—	—	93.7
高温超電導高安定磁場マグネットシステム 技術開発(委託)	54.5	106.1	71.6	232.1
高温超電導高磁場コイル用線材の実用化 技術開発【磁場特性改善】(委託)	233.3	414.2	256.0	903.5
高温超電導高磁場コイル用線材の実用化 技術開発【生産性向上】(助成:1/2)	224.8	108.3	41.9	375.0
合 計	876.8	841.9	537.9	2256.6

◆ 研究開発の実施体制

NEDO

プロジェクトマネージャー: 省エネルギー部 岩坪 哲四郎

プロジェクトリーダー: 産業技術総合研究所  
岡田 道哉 氏

高温超電導送配電技術開発

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの  
実用化開発【交流】

東京電力ホールディングス  
住友電気工業  
共同研究: 早稲田大学  
古河電気工業  
前川製作所

助成  
1/2

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの  
実用化開発【直流】

石狩超電導・直流送電システム技術研究組合

助成  
1/2

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技術開発

古河電気工業  
再委託: 物質・材料研究機構  
ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー

委託 →

高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発  
【磁場特性改善】

フジクラ  
共同研究: 九州大学  
産業技術総合研究所  
共同研究: 京都大学

委託 →

高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発  
【生産性向上】

フジクラ  
共同研究: 九州大学  
共同研究: 東北大学

助成  
1/2

## ◆ 研究開発の進捗管理

### 進捗管理及び研究開発項目間の連携

それぞれ、**技術委員会(送配電)**、**技術委員会(MRI)**を年2回開催し、学識経験者等により進捗状況の確認・技術的なアドバイスを実施した。  
また、NEDOによる定期的(基本的には四半期)な進捗確認・現地技術調査・意見交換を行った。

関係の深い**MRIコイルと線材**については、研究開発項目を超えた情報交換のために、平成28年度からMRI技術ミーティングを4回開催。

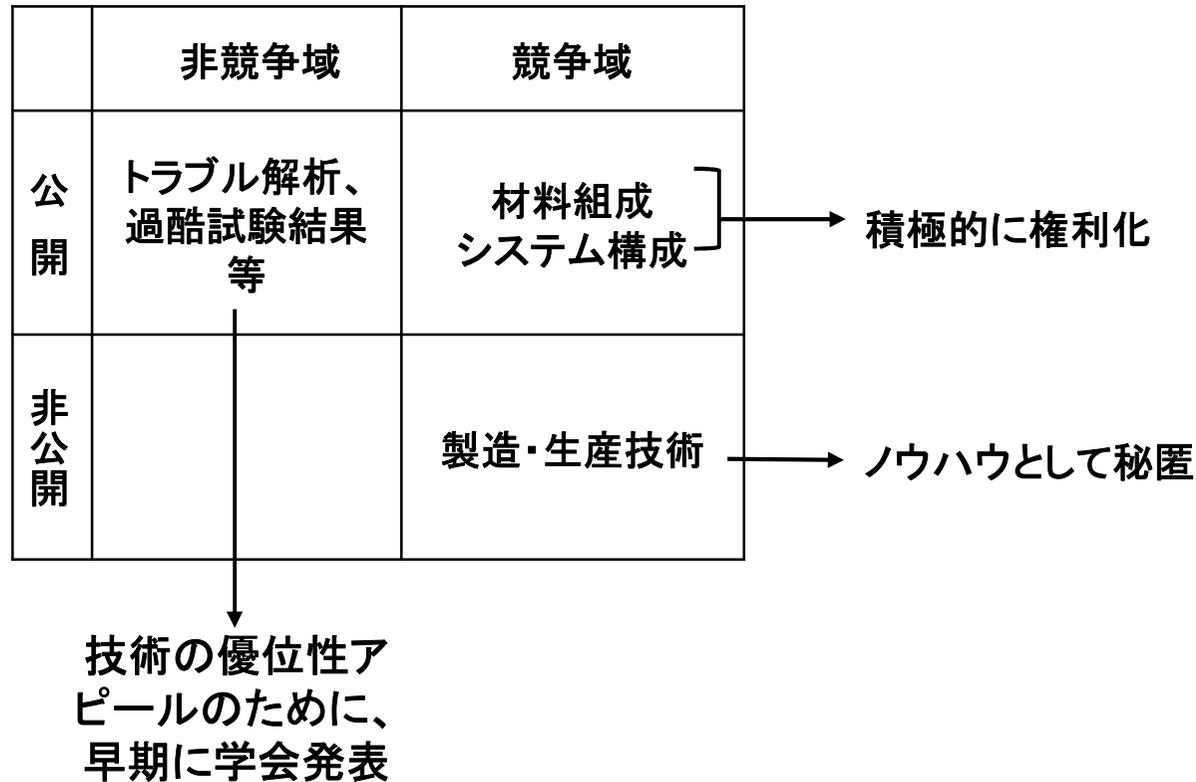
**超電導接続技術**については、**関連する実施者**である産総研と古河電工の情報交換の場として、平成29年度に実施。

◆ 動向・情勢の把握と対応

MRI用高磁場コイルおよびY系線材の高性能化技術については、海外メーカーの動向(学会発表・展示会)の注視し、技術開発プロジェクト・製品化等の発表があった場合は対応することを予定していたが、特段の情勢変化はなかったため、研究加速対応・プロジェクト成果の発表等を行わなかった。

## ◆ 知的財産権等に関する戦略

### ▶ オープン／クローズ戦略の考え方



#### 【戦略の基本】

- 技術の優位性アピールへ向けて、学術的成果など公表すべき情報は早期に学会等で発表。
- 標準になり得る技術は、速やかに特許出願を行う。

## ◆ 知的財産管理

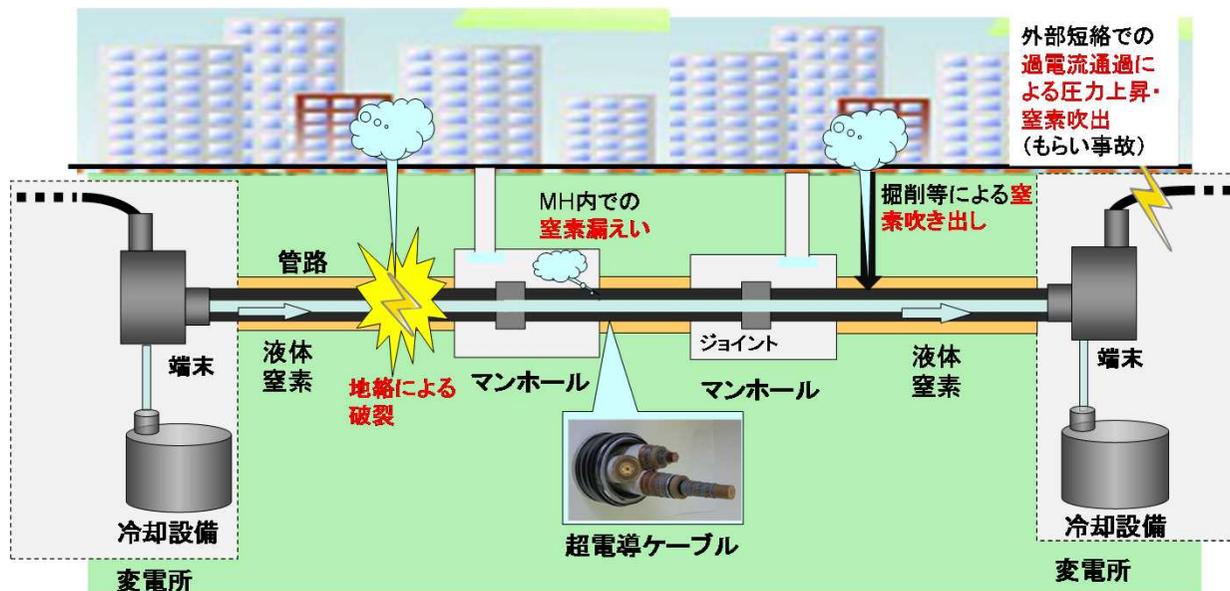
- 「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき  
本プロジェクトの知的財産権及びサンプルの取扱いに関する規程を策定
- 知的財産管理指針の策定
  - ・バックグラウンド知的財産権の取扱い
  - ・本事業により得られた知的財産権の帰属
- サンプル提供の取扱い
  - ・プロジェクト参加者間での取扱い等

特に、本プロジェクトでは、MRIコイルにおいて、線材メーカーとコイルメーカーの連携が必要であることから、研究開発項目間の知財連携に関する覚え書に関するマネジメントを行った。

## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

### 電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】

- ① 安全性評価試験による影響検証
- ② 早期復旧等の実用化のための対策検討



旭変電所  
(超電導ケーブル)

- ③ 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発
- ④ 冷却システムの高効率化技術の開発

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】

事業目標(実施計画書)		達成度
項目	目標	
①(a)短絡事故評価	66kV級ケーブル(短絡試験の実施、試験結果の分析、事故シミュレーション、解析結果の分析)	◎
	22kV級ケーブル(短絡試験の実施、試験結果の分析、事故シミュレーション、解析結果の分析)	○
	275kV級ケーブル(短絡試験の実施、試験結果の分析、シミュレーション、事故シミュレーション、解析結果の分析)	◎
	共通事項(送電用超電導ケーブルの仕様案ならびに安全性評価試験方法の作成、安全性ガイドラインへの反映)	◎
①(b)地絡事故評価	66kV級ケーブル(地絡試験の実施、試験結果の分析、圧力伝播の影響解析)	○
	275kV級ケーブル(地絡試験の実施、試験結果の分析)	◎
	共通(送電用超電導ケーブルの仕様案ならびに安全性評価試験方法の作成、安全性ガイドラインへの反映)	◎
①(c)液体窒素漏洩評価	マンホール及び地中管路での液体窒素漏洩試験の実施、周囲環境への影響確認、洞道内での液体窒素漏洩による影響評価、安全性ガイドラインへの反映	○
①(d) 国際標準化に向けた活動	国際学会・CIGRE・IEC等での安全性評価試験方法の発信および議論の実施	○
②早期復旧等の実用化ための対策検討	復旧方法等の検証結果を反映した、運転管理に係るガイドライン作成	○

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】

事業目標(実施計画書)		達成度
項目	目標	
③超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発	66kV級ケーブル(短尺断熱管での1.8W/mの性能確認、実運用を想定した条件で、直線部での熱侵入量が1.8W/m/条以下の検証)	◎
	275kV級ケーブル(短尺断熱管での1.8W/mの性能確認、1.8W/mを達成する構成の検討、275kV級の100m級断熱管での評価)	○
④冷却システムの高効率化技術の開発	旭実証ケーブル(ブレイトン冷却システムを超電導ケーブルに接続させた状態での長期実系統連系試験、残存性能試験および解体調査・撤去)	◎
	ブレイトン冷却システム(超電導ケーブルに接続させた状態での長期実系統連系試験、実運用を想定した条件で冷却システム全体のCOPが0.11以上となる方策の検討、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時間以上とする評価方法の検討、旭変電所 超電導ケーブルシステム全体のCOP向上方策確認)	◎

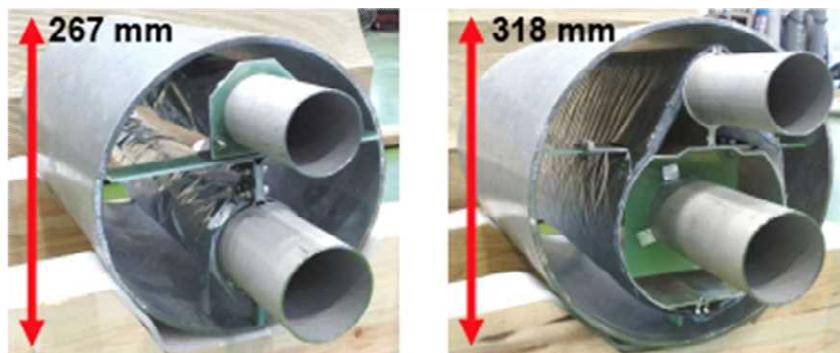
## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

### 電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】

#### 実証試験システム（石狩回線2：1 km）概要

長尺直流ケーブル実現のため以下の技術を組み込んだ構成となっている。

- ① 低侵入熱・低LN2圧力損失  
 ・ 直管タイプの断熱管構造



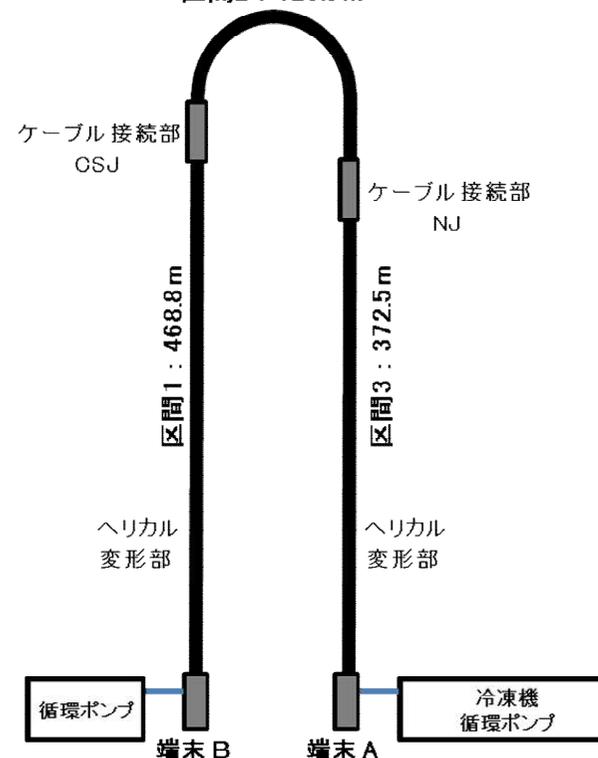
シールド無  
(区間2,3)

Alシールド付き  
(区間1: 1 W/m以下)

- ② マルチジョイント  
 ・ コア固定タイプ (CSJ)  
 ・ コア移動タイプ (NJ)

定格電流	2500A
送電容量	50MVA
長さ	1000m

区間2：125.0m



## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

### 電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】

#### 研究開発項目①「直流超電導送電システムの総合的な信頼性・安全性の実証研究」

項目	試験項目	主要成果	達成度
①-1 長尺時を模擬した液体窒素循環冷却性能の評価	侵入熱評価	断熱管（シールドあり）で <b>侵入量 1W/m以下</b> を達成。	○
	低流量試験	ケーブル管入口～リターン管出口 <b>温度差 20K以下</b> を確認。 冷却ステーション間隔20kmの見通しを得た	○
①-2 超電導ケーブルシステムの通電特性の評価	I <sub>c</sub> 測定	測定値は良好で、布設・初期冷却後のケーブルの健全性を確認。	○
	定格通電	定格電流： <b>2.5kA 連続通電（3時間）</b> の安定運転。 <b>送電効率は99.96%</b>	○
①-3 過酷試験による評価	通電限界性能試験	83Kの外導体の <b>I<sub>c</sub>値：2542A</b>	○
	過電流試験	短尺を用いた試験結果より、過電流の限界値は <b>約6kA-2秒</b>	○
	耐電圧試験	ケーブルコア、ジョイント、電流リード、端末容器について、 <b>20kV-5minの耐電圧</b> を確認。	○
①-4 長期運転性能の評価		70K、40L/minでの <b>40日間の無負荷（電流0）運転</b> 、 ロードサイクル試験 <b>(1kA@8h+0A@16h) × 20日</b> を実施。	○
①-5 残存性能確認試験		長期運転試験後、通電特性(I <sub>c</sub> )、冷凍機性能、ポンプ性能、侵入熱性能の残存性能に異常なし。	○

冷却ステーション間隔20km以上及び送電効率99.9%以上の見通しが得られるとともに、システムの安定性が実証された。

## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

### 電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】

#### 研究開発項目②「設計、運用、保守ガイドラインの作成」

本ガイドラインは超電導直流ケーブルシステムを社会実装することをターゲットとし、本研究開発項目①の成果、および、過年度実施の「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」における研究開発成果、電力分野の有識者によるアドバイスを総合的に検討することにより、策定した。

実用線路の仕様の一例として以下を想定した。

項目	想定仕様
法規	電気事業法(高圧ガス保安法準拠)
送電距離	200 km以上
ケーブル送電容量	5 kA-100 MVA
ケーブル冷却管仕様	断熱二重管(直管)／埋設
ケーブル冷却方式	冷媒循環冷却(サブクール液体窒素)
冷却ステーション設置間隔	20 km以上
ケーブル接続間隔	500 m

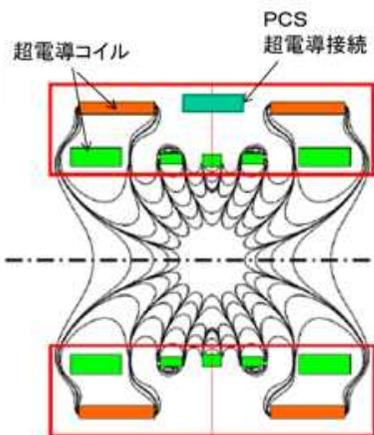
## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

### 高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発(古河電工)

- ① 超電導接続の性能、歩留り、信頼性向上  
永久電流運転のMRIマグネットに必要な超電導接続を達成することで、HTS-MRIの実用化を促進する。
- ② MRIコイルへの実装を考慮した開発  
MRIメーカーが永久電流マグネットを設計、製造するために必要なデータ(磁場特性、機械特性)を蓄積する。
- ③ MRI製造を想定した現場環での実施と技術確立  
製造現場に設備可能な接続装置の開発。製造条件を一般化することで、再現性良く接続ができるようにする。



MRIマグネット



MRI 磁場強度3T

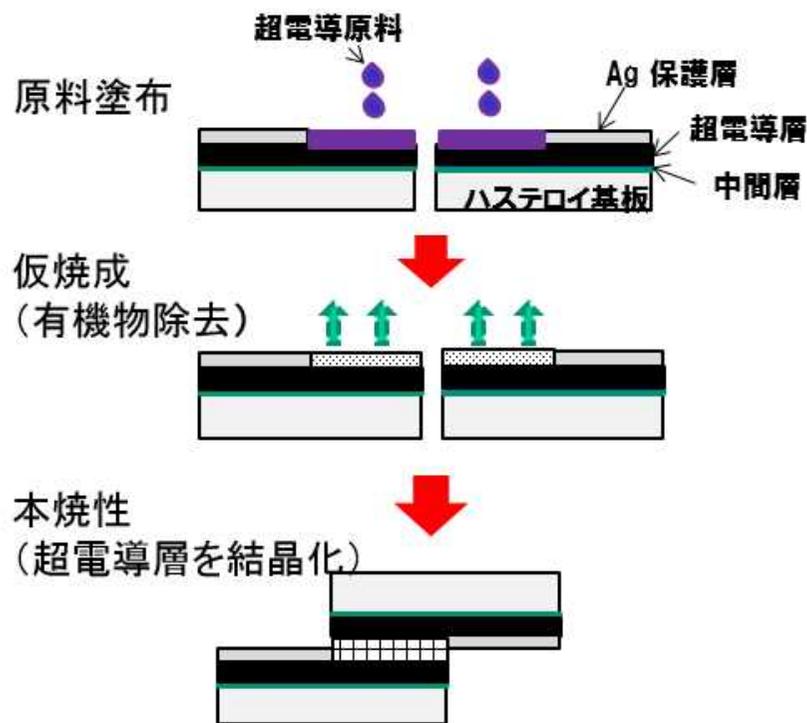
⇒ 接続位置 1T

⇒ 電流値 100A

時間変動1ppm/h以下

⇒ 接続抵抗  $10^{-12} \Omega$  / 個

### 低抵抗接続技術の開発 (古河電工)



超電導接続

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発(古河電工)

研究開発項目	目標	成果	達成度
超電導接続の性能、歩留り、信頼性向上技術開発	歩留り 50%以上	歩留まり80%を達成した。	○
	劣化防止技術開発	エポキシモールドで、1年間劣化なし	○
	1T $10^{-12} \Omega$ 以下の接続開発	B = 1T、T = 50K、I = 100A R = $1 \times 10^{-13} \Omega$ 以下	○
MRIコイルへの実装を考慮した超電導接続部の構造の開発	リード部の開発・評価	劣化のないリード構造を開発	○
	超電導接続の特性(磁場、温度)の確認	超電導接続の温度、磁場依存性データの取得(10Tまでの特性)	○
	機械応力下での特性評価	60N, 182MPa (コイル外で接続必要)	○
MRI製造を想定した現場環境での超電導接続の実施およびその技術の確立	MRIマグネットの仮設計	3T-MRIの設計 超電導接続の配置をデザイン 50K, 1T, 100Aを目標値と設定	○
	評価用小型コイルの設計	6mm幅線材を用いた小型コイルを設計	○
	自動巻線機の開発 要素コイルの試作と評価	自動巻線機ソレノイドコイルの製作 要素コイルで巻線劣化の無いことを確認	○
	小型コイル測定設備の製作	NIMSに評価装置を設置。永久電流試験の実施。	○
	小型コイルの試作評価 永久電流測定	小型コイルの超電導接続実施。 小型コイルで新たな課題抽出と対策	△ (評価中)

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

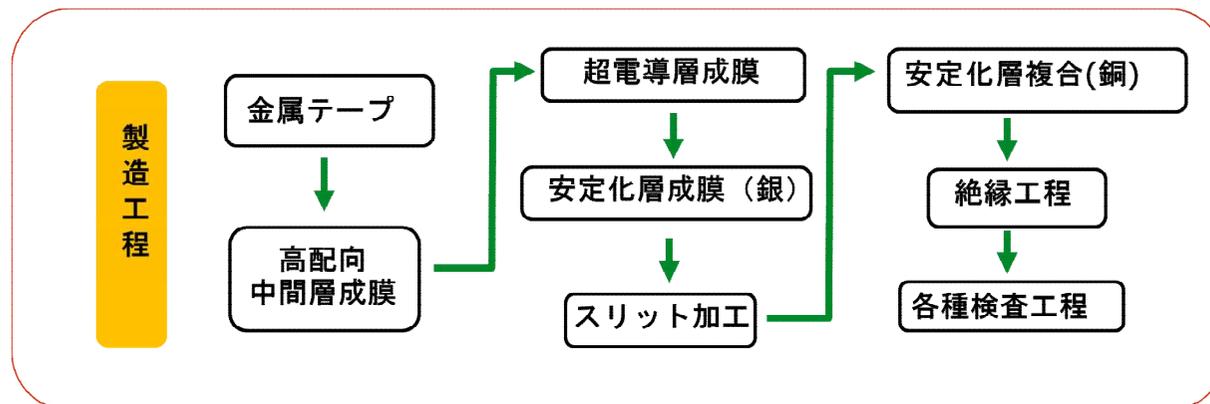
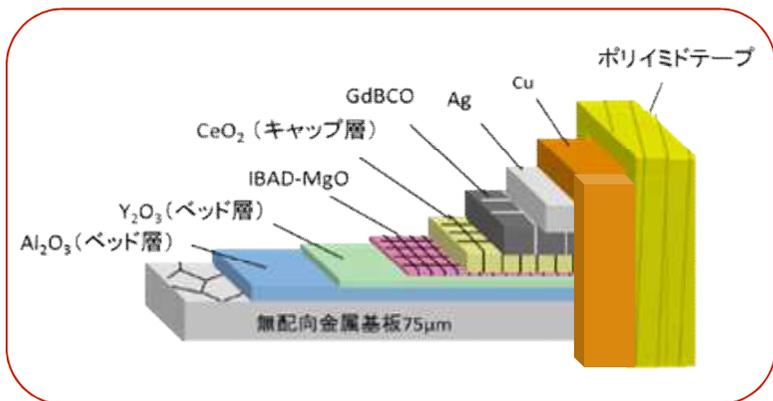
高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発【磁場特性改善】  
(フジクラ、産総研)

研究項目	目標	成果	達成度
<p>① 高磁場コイル用 臨界電流密度向上 技術開発</p> <p>フジクラ <b>性能向上</b></p>	<p>30K、7Tにおける線材全体の断面 積当りの臨界電流密度において <math>J_c=400\text{A/mm}^2</math> 以上 を達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準基板（75<math>\mu\text{m}</math>厚）で <math>J_c=406\text{A/mm}^2</math> (30K、7T) 達成（線速50 m/hr）</li> <li>薄基板（50<math>\mu\text{m}</math>厚）で <math>J_c=527\text{A/mm}^2</math> (30K、7T)</li> <li>300m長の連続蒸着を達成</li> </ul>	○
<p>② 長尺線材性能の 均一性向上 技術開発</p> <p>フジクラ <b>性能向上</b></p>	<p>1 km長における臨界電流の 低下率 0.15 未満</p> <p>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)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均値からの低下率約 0.15 の局所劣化箇所が1kmあたり 1ヶ所</li> <li>長尺線材の機械的強度改善</li> <li>十分な剥離疲労定数および 熱サイクル耐性を確認</li> </ul>	○
<p>③ 高磁場コイル用 低損失構造線材の 研究開発</p> <p>産総研 <b>性能向上</b></p>	<p>安定化磁場発生用線材として交 流損失の低減を達成 (高い磁場中臨界電流を持った うえで無加工と比較して、交流 損失が1/10)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>細線化及び撚り線加工 線材における損失シミュ レーションを行うととも に、高い磁場中臨界電流 を持ったうえで無加工と 比較して、交流損失が 1/10を達成</li> </ul>	○

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発【生産性向上】

研究項目	目標	成果	達成度
④ 高磁場コイル用超電導線材の生産性向上技術開発 (助成事業) フジクラ <b>生産性向上</b>	全工程においてスループット線速 <b>50m/hr</b> 以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>全工程にてスループット線速 <b>50m/hr</b> 以上達成</li> <li>広い温度範囲の<b>磁場特性</b>スケール則と、窒素温度で磁場に依存する<b>長手<math>J_c</math>分布</b>を確認</li> </ul>	○



### ◆ 成果の最終目標の達成状況

- ・超電導電力ケーブルシステムについては、トラブル検討を行い、ガイドライン等を作成し、社会実装に向けて技術を確立した。
- ・現場施工を目指した超電導接続技術については、接続抵抗、歩留りについては開発目標を達成。コイル化での課題が明らかになった。
- ・Y系線材の高性能化・生産性向上については、最終目標を達成。

### 3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及		2016年度	2017年度	2018年度	計
電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】	論文	3	3	3	9
	学会発表・講演	20	18	15	53
	新聞等への掲載	0	2	0	2
	見学対応	件数: 22件(海外5件)、見学者数: 182人(海外38人)			
電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】	論文	0	3	1	4
	学会発表・講演	1	17	7	35
高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発(古河電工)	論文	0	1	3	4
	学会発表・講演	0	6	3	9
高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発【磁場特性改善】【生産性向上】	論文	0	4	6	10
	学会発表・講演	11	34	23	68
	新聞等への掲載	1	0	0	1

※2019年3月31日現在

◆ 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

- 交流送電システムでの地絡・短絡等のトラブル検討については学会等で公開。
- 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。
- Y系線材の高性能化技術、生産性向上技術については、ノウハウとして秘匿。

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】のみ

	2016年度	2017年度	2018年度	計
特許出願(うち外国出願)	6	7	8	21

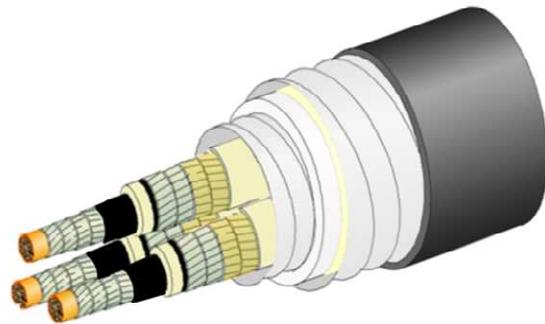
※2019年度3月31日現在

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る製品（高性能・低価格超電導線材等）の社会的利用（顧客への提供等）が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することを言う。

## ◆ 成果の実用化に向けた取り組み及び見通し

### 電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【交流】



#### 海外展開

- ✓ 欧州において、環境意識の高まりから超電導ケーブルの適用技術が注目
- ✓ 海外大都市の地下送電に、コンパクト・大容量の超電導ケーブル適用の可能性あり

#### 冷却システム

- ✓ 超電導電力機器の冷却技術として幅広く活用可能
- ✓ ブレイトン冷凍機の営業販売開始



#### 直流ケーブル応用

- ✓ 鉄道用き電線の直流送電への適用
- ✓ データセンターなど低電圧大電流の直流配電システムへの適用

## ◆ 成果の実用化に向けた取組み及び見通し

電力送電用高温超電導ケーブルシステムの実用化開発【直流】

### 1. 直流超電導送電のニーズ(可能性)

再生可能エネルギーの導入が進み、大容量の電力を送る場合は、超電導直流ケーブルの適用が期待される。

- ◆ 太陽光発電は低電圧の直流発電
- ◆ 風力発電も低周波を商用周波数に直流を介して変換

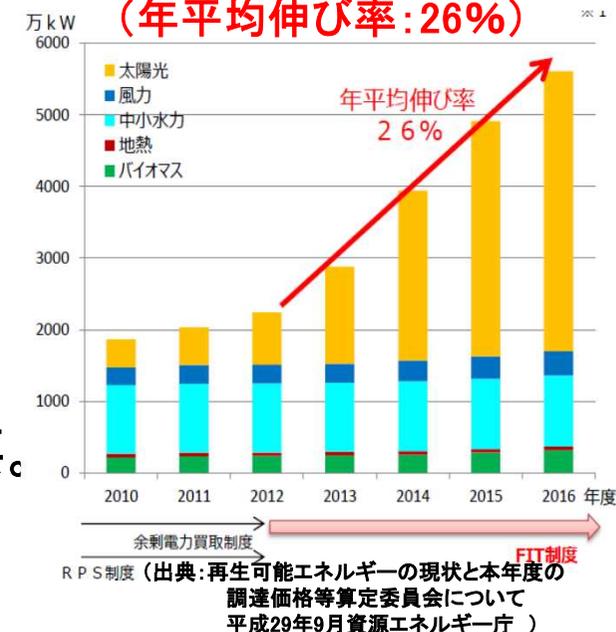
### 2. 事業化の取組み

実用化においては、数10km以上の超電導ケーブルが必要。

- ◆ さらなる技術開発やシステム検証が必要
  - 石狩超電導・直流送電システム技術組合が中心となり、その開発を進めていく計画である。

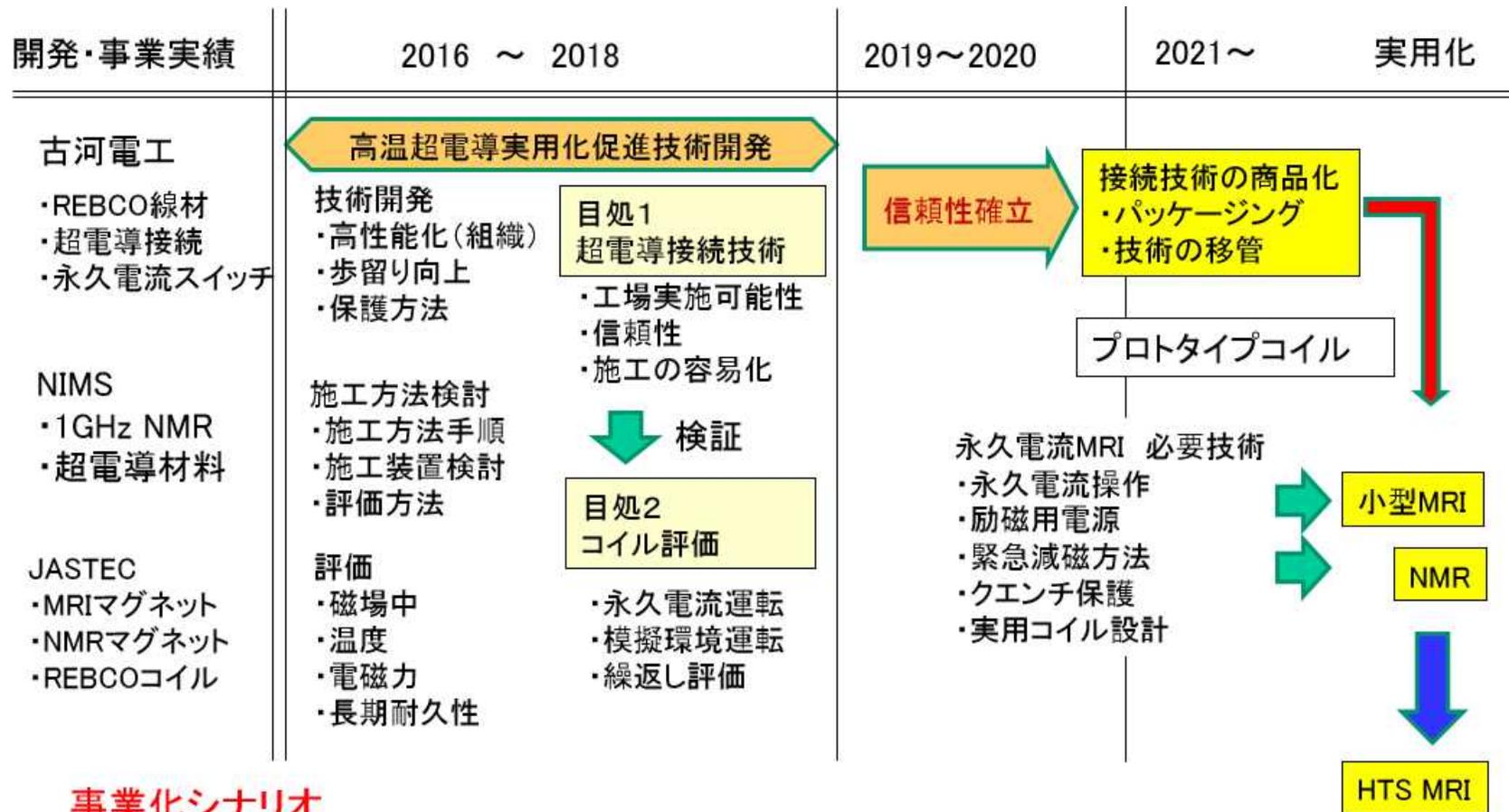
- ◆ 実用化にはコストダウンが必須。特に、超電導線材、冷凍機については、専門メーカーのさらなる努力に期待

再生可能エネルギーの設備容量の推移  
(年平均伸び率: 26%)



◆ 実用化・事業化に向けた戦略

高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発(古河電工)



事業化シナリオ

- ・km級の高温超電導線の安定供給と、信頼性の高い超電導接続
- ・超電導接続を、コイル製造メカへ展開
- ・規模の小さな応用から段階的にスケールアップ
- ・ユーザー満足度の高いMRI (Heレス、電源不要、軽量、コンパクト)

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発【磁場特性改善】  
【生産性向上】

事業化のスケジュール（2019年度以降）

ターゲット 高温高磁場MRI装置（核磁気共鳴装置、高エネルギー物理研究用加速器、送電ケーブル導体、等）

販売体制



事業化計画	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
高温超電導高磁場コイル用Y系超電導線材の事業化	上市・販売		販売拡大（第一期）		販売拡大（第二期）	
		設備増強Phase1・生産性向上		設備増強Phase2・生産性向上		