

ナノテク・部材イノベーションプログラム  
環境安心イノベーションプログラム

「希少金属代替材料開発プロジェクト」

Nd-Fe-B系磁石を代替する新規永久磁石及びイットリウム系複合材料の開発  
超軽量高性能モータ等向けイットリウム系複合材料の開発 (事後評価)

(2010年3月17日～2011年5月31日)

プロジェクトの詳細説明 (公開)

(1) 超長尺イットリウム系複合材料における  
希少金属使用量低減技術開発

テマリーダー

産業用超電導線材・機器技術研究組合

和泉輝郎

2011年 10月18日

1 / 30

1. 事業の位置付け・必要性 (事業目的の妥当性)

公開

希少(希土類)金属削減期待効果

500kW級モータ界磁磁石

永久磁石

NEOMAX(Nd-Fe-B系)を想定。 残留磁束密度: 1.2 T  
ギャップにおける磁束密度: 0.5 T(現状の永久磁石式モータを参照)  
形状: 10cmx50cmx3mm(レーストラック型)  
[1極当りの希土類の重量]  $142.5(\text{体積}) \times 7.4(\text{密度}) \times 0.266(\text{RE比率})$

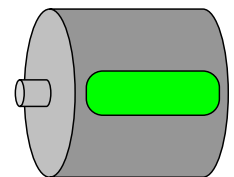
~300g (Nd:200g & Dy:100g)

超電導電磁石

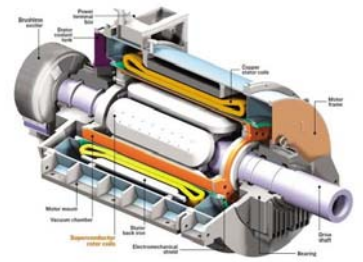
YBCO超電導線材による超電導巻線。最大磁界: ~1.3 T、ギャップ磁束密度: 0.5 T  
超電導線材スペック  
厚さ: 0.25mm(超電導層: 1.5 $\mu$ m、基板: 100 $\mu$ m、安定化銅層: 100 $\mu$ m、絶縁: 50 $\mu$ m)  
幅: 10mm 線材長/1極: 2400m 超電導特性:  $I_c$ : 300A(77K, 0T)、300A(45K, 2T)  
[1極当りの希土類の重量]

$36.0(\text{体積}) \times 6.3(\text{密度}) \times 0.133(\text{RE比率}) \times 0.33(\text{B補正}) / 0.30(\text{収率})$

~30g (Y or Gd)



## 位置付け・必要性



### 500 kW級回転界磁超電導モータの粗設計

モータ仕様 極数:4 起磁力:180 kAT 鉄芯:なし

線材仕様 臨界電流特性:300 A/cm幅(@77 K,自己磁場)  
⇒300 A/cm幅(@~50 K,2 T)  
線材幅:5mm

ターン数:1200ターン(180 kAT/150 A)⇒2400m/極  
バンドル数:2 (転位を用いず損失低減を実現する条件)  
⇒ 2400 m/2枚 = **1200 m/本/極**

## 位置付け・必要性

### 超軽量かつ高性能な次世代モータの実現へ

ジュール損失低減  
(線材自体は損失無)

モータ強度確保  
(線材自体は高強度)

線材接続数の低減

単長の長い線材の実現 (1km以上)

## 目標及びアプローチ

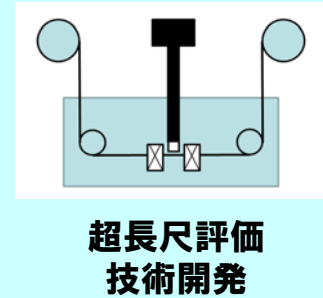
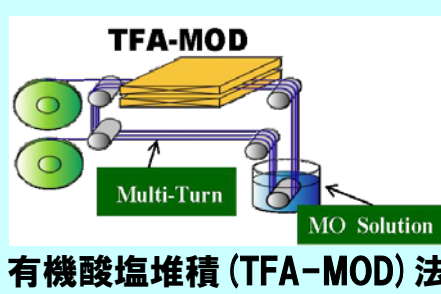
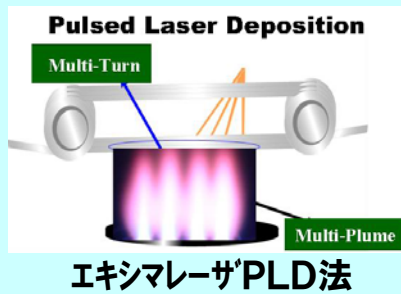
### 目標

300A/cm幅（@77 K、自己磁場）の特性を有し、**1 km**を超える超長尺複合材料作製を見通す。

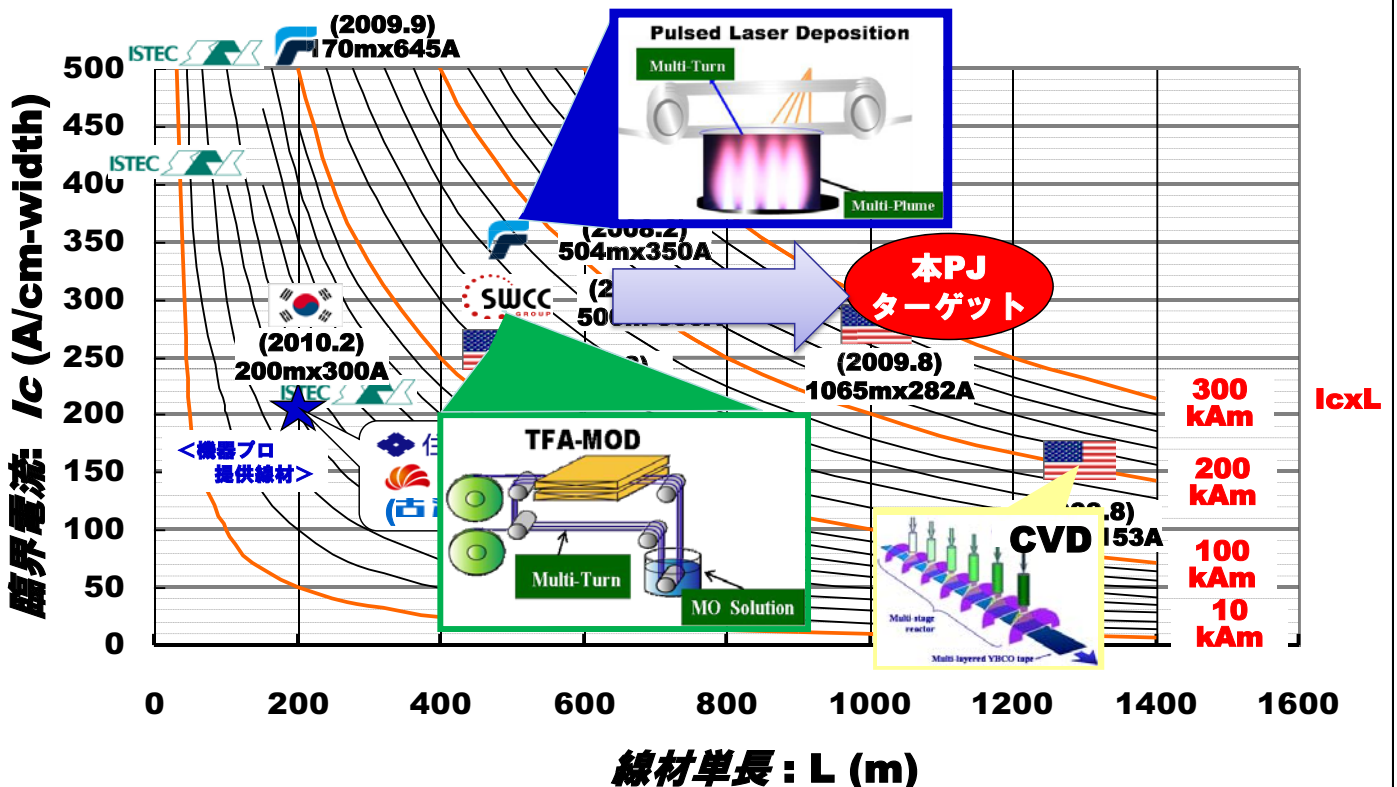
（具体的目標値）

- 1km—平均 $I_c \geq 200\text{A/cm}$ 幅以上（@77 K、自己磁場）
- 同条件⇒10m長以上— $I_c \geq 300\text{A/cm}$ 幅（@77 K、自己磁場）

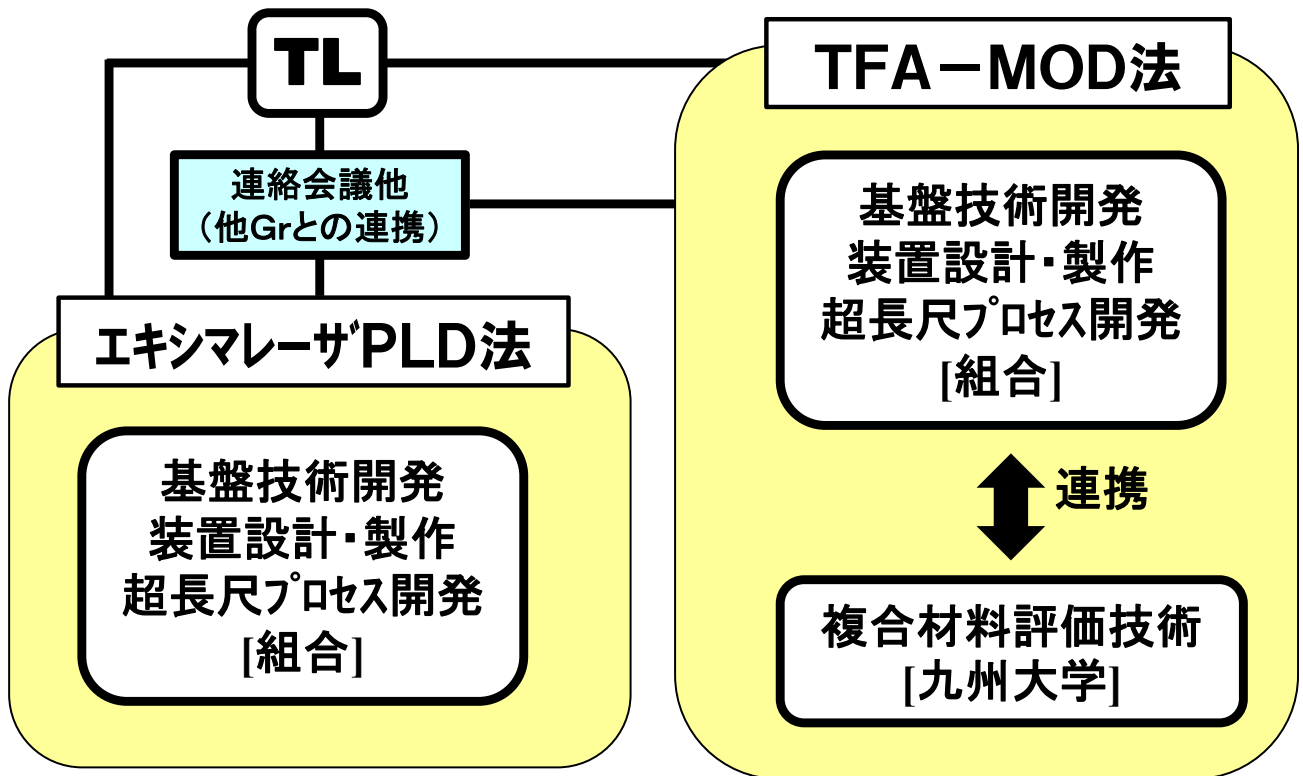
### アプローチ



## アプローチの妥当性



## 開発体制



## 目標達成状況

### ①超長尺イットリウム系複合材料における希少金属使用量低減技術開発

研究項目	目標	成果	達成度
①-1 エキシマレーザPLD 法による複合材料作製プロセス開発	300 A/cm幅(@77K, 自己磁場)の特性を有し、1 kmを超える超長尺線材作製を見通す	・1050m長線材 平均 $I_c=534A/cm$ 幅	◎
①-2 TFA-MOD 法による複合材料作製プロセス開発		・10m長 $I_c=400A/cm$ 幅以上	
		・1000m長パッチ線材 平均 $I_c \geq 300A/cm$ 幅	○
		・10m長 $I_c=300A/cm$ 幅以上	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

達成度の基準(具体的な目標値)

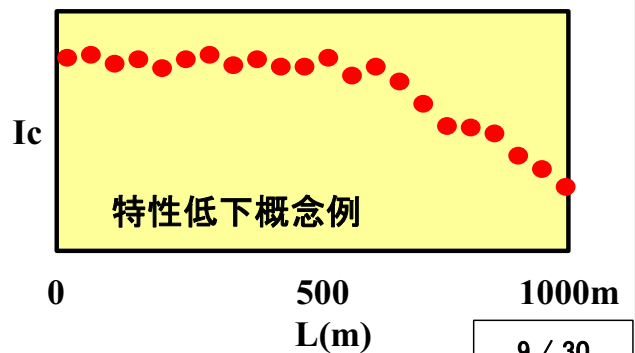
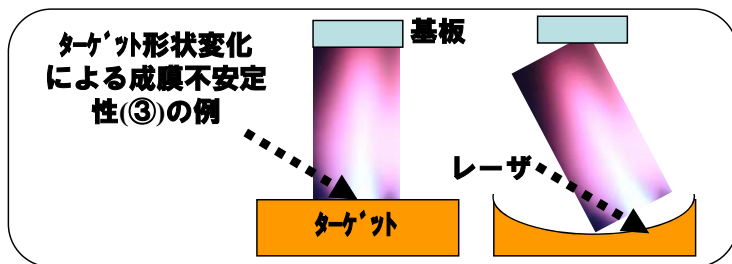
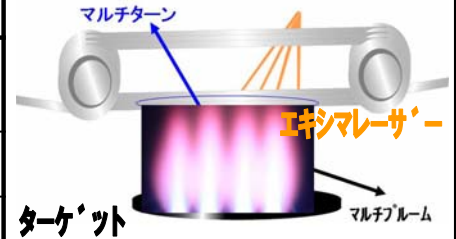
- ・1km長複合材料を作製し、平均 $I_c$ が200A/cm幅以上(@77 K, 自己磁場)であることを実証
- ・同条件で作製した10m長以上の複合材料で $I_c$ が300A/cm幅(@77 K, 自己磁場)以上を実証

# エキシマレーザーPLD法による複合材料作製プロセス開発

## 超長尺への課題

### 課題

- ①長尺にわたる性能の均一化  
(機械系における安定搬送技術確立)
- ②高速移動&長時間成膜時の成膜温度均一性の更なる改善
- ③長時間に亘る蒸着源の定常状態維持  
(ターゲット表面形状変化によるブルーム揺動⇒成膜条件変化)



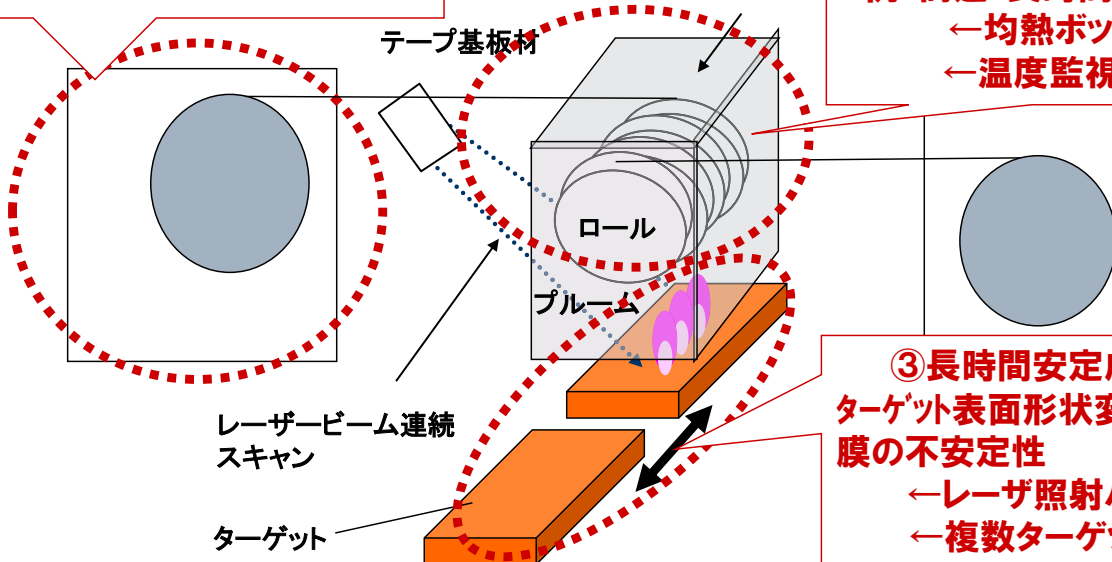
# エキシマレーザーPLD法による複合材料作製プロセス開発

## 課題への対策

①長尺安定高速搬送技術  
例:巻締め ← トルク制御方式

②ホットウォール型PLD法  
例:高速・長時間安定  
←均熱ボックス構造  
←温度監視方法等改善

③長時間安定成膜技術  
ターゲット表面形状変化による成膜の不安定性  
←レーザー照射パターン改善  
←複数ターゲット利用



## エキシマレーザPLD法による複合材料作製プロセス開発

### 研究開発スケジュール

研究項目	FY21 /4Q	FY22/1Q	2Q	3Q	4Q
長尺高速搬送技術		自社設備による 基礎検討	●	装置設計・製作	導入
恒温加熱改良技術		自社設備による 基礎検討	●	装置設計・製作	
蒸発源連続供給技術				装置設計・製作	
長尺成膜試験					

## エキシマレーザPLD法による複合材料作製プロセス開発

### 高磁界長尺イットリウム系複合装置導入



加熱方式：ホットウォールタイプ  
 対応線材長：**1000～3000m**  
 ターゲット数：ターゲット交換機構付  
 張力調整機構：  
     補助駆動ロールを導入し  
     張力と線材速度を制御  
 移動速度：最高速 **200m/h**



## エキシマレーザーPLD法による複合材料作製プロセス開発

### 東日本大震災の影響と対応

〔影響〕 1km 線材作製中に被災。

〔対応〕 (NEDO殿指導) パッチ試料でも可。

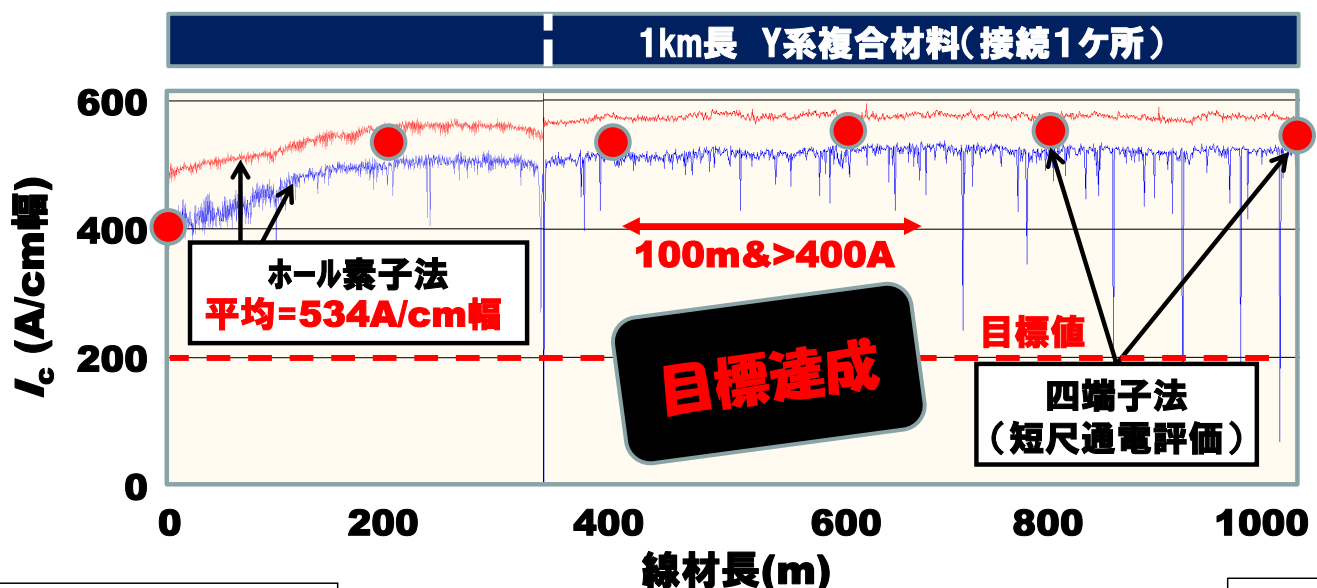
(実施者対応) 手持ち基板の接続で実施。



## エキシマレーザーPLD法による複合材料作製プロセス開発

### 超長尺 & 高性能複合材料成膜結果

#### 1km長線材の連続成膜(GdBCO/IBAD-MgO)



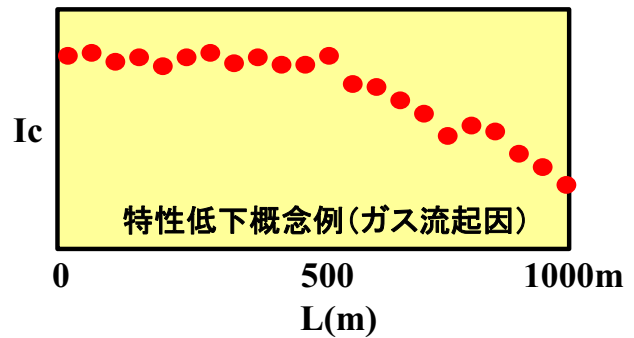
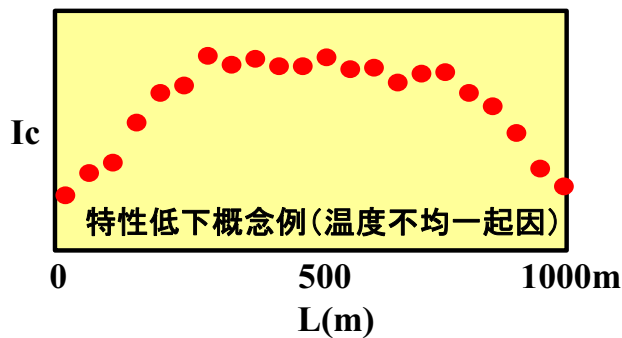
# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 超長尺への課題

### 課題

焼成装置の大型化⇒巻枠構造・強度

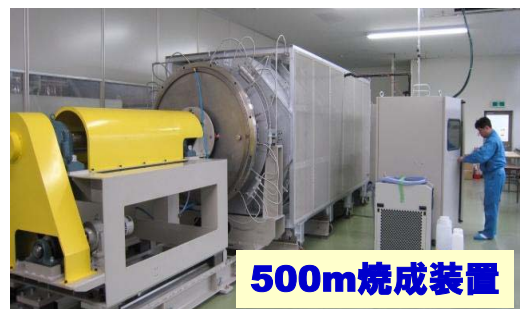
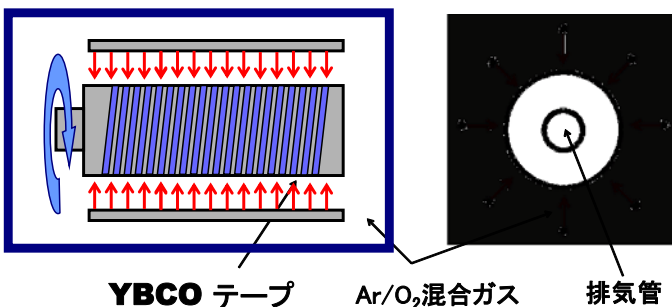
焼成装置の大型化⇒温度の不均一、ガス流



# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 課題への対策

課題	対策
①焼成装置の大型化 ⇒巻枠構造・強度	各種金属材料の物性データを用いたシミュレーション ⇒材質の選定と厚さの設計 ⇒補強構造、回転軸強度、巻枠との取合方法
②焼成装置の大型化 ⇒ガス流、温度の不均一	シミュレーションによるガス流制御及び温度制御構造の設計 ガス流：ノズル径、間隔及び数、ガス導入流速、巻き枠の回転数等 温度：ヒータ材質、ヒータ構造・密度、温度制御機構等





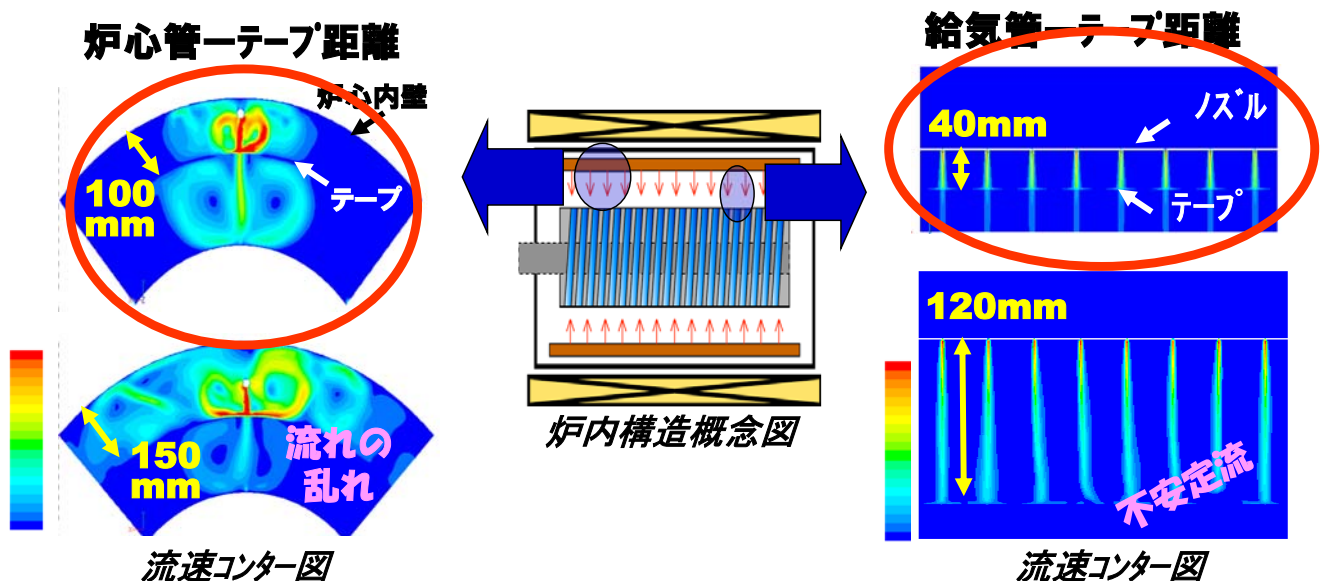
# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 研究開発スケジュール

研究項目	FY21/4Q	FY22/1Q	2Q	3Q	4Q
線材製造装置	シミュレーション・設計		作製 立上げ・検証		導入
線材特性向上検討					
線材評価技術開発		磁気顕微鏡連続基盤技術		長尺評価技術	

# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

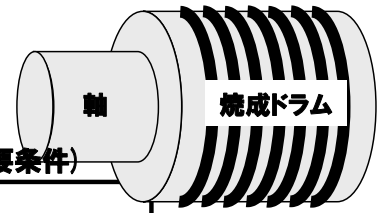
## ガス流に関わるシミュレーション例



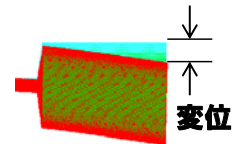
# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 巻枠構造検討結果

・最大変位 20mm以下 ・最大軸応力 150 MPa 以下（装置メーカー必要条件）



	500m級	1000m級装置検討内容				
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
有効処理長 (m)	500	1500	1500	2000	2000	2000
ドラム径 (m)	1.0	1.0	1.3	1.0	1.2	1.5
ドラム長 (m)	3.5	5.3	4.0	7.0	5.8	4.7
ドラム重量 (kg)	655.6	992.8	974.0	1311.0	1303.7	1320.6
最大変位 (mm)	13.2	36.8	21.4	78.4	63.2	65.8
最大軸応力 (MPa)	48	98	104	160	171	206
ヒーターゾーン数	11	16	13	-	-	-
装置価格	-	高	低	-	-	-



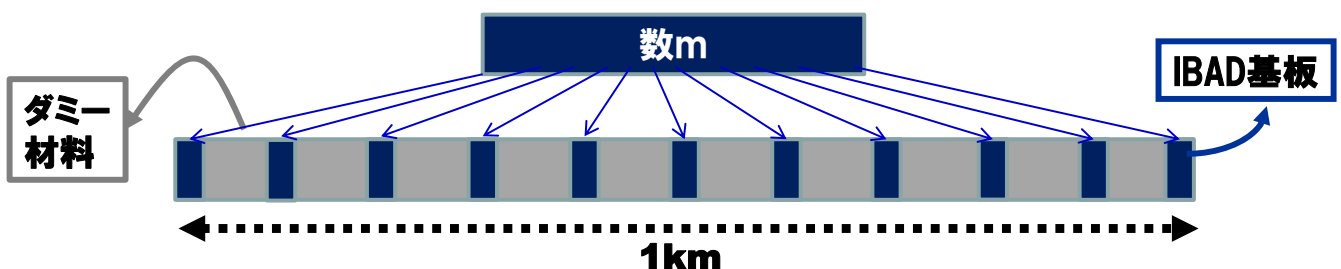
# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 東日本大震災の影響と対応

【影響】 1km 線材作製中に被災。

【対応】 (NEDO殿指導) パッチ試料でも可。

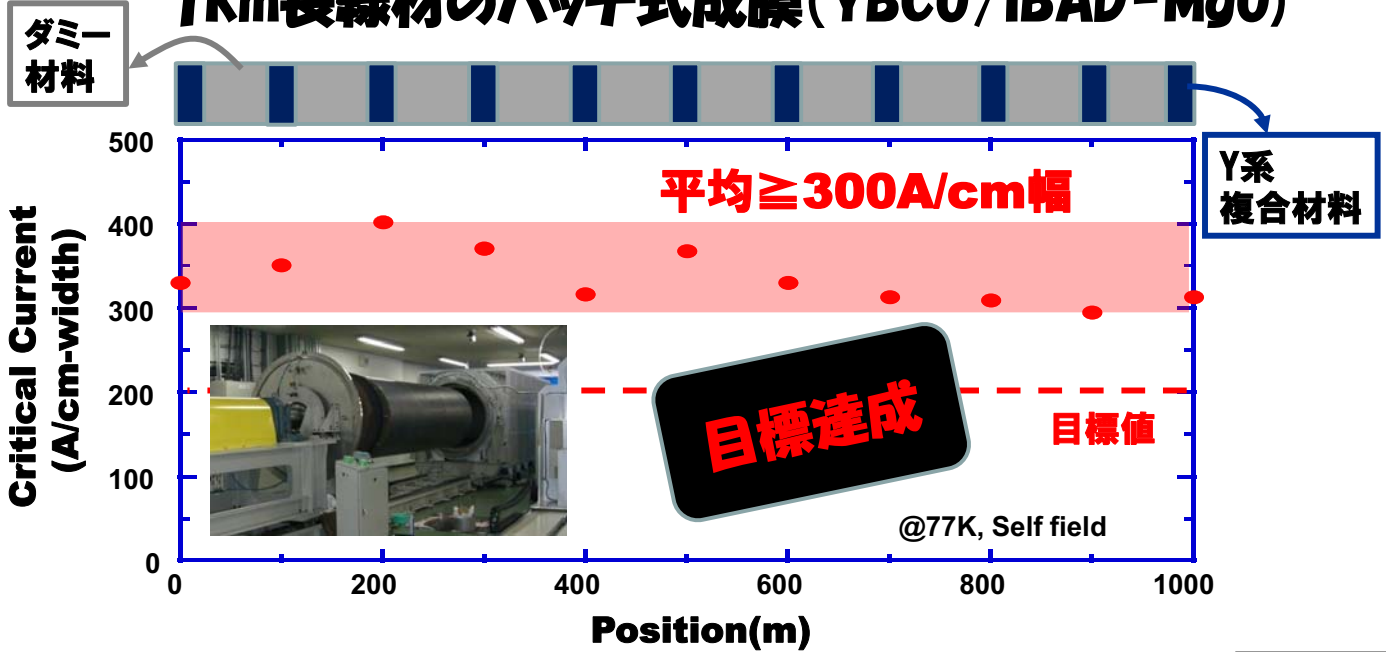
(実施者対応) 手持ち基板を分割しパッチ試料で実施。



# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 超長尺複合材料成膜結果

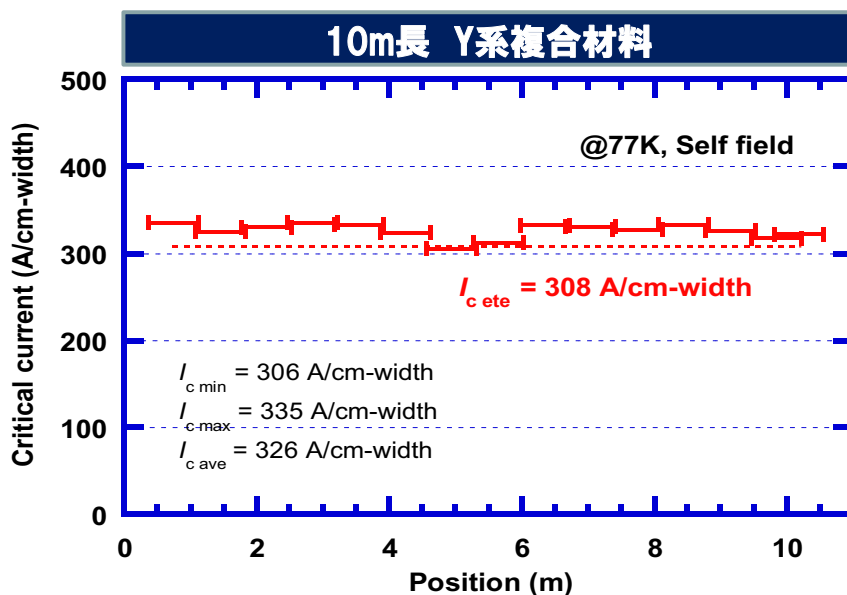
### 1km長線材のパッチ式成膜(YBCO/IBAD-MgO)



# TFA-MOD法による複合材料作製プロセス開発

## 高性能複合材料成膜結果

### 10m長線材の通電特性(YBCO/IBAD-MgO)

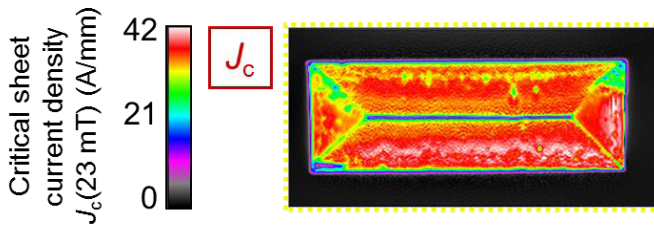
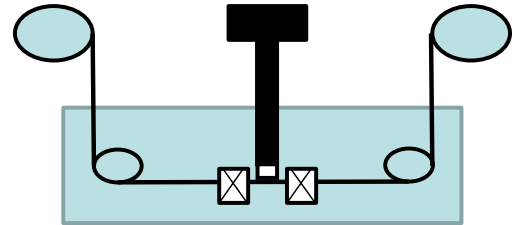
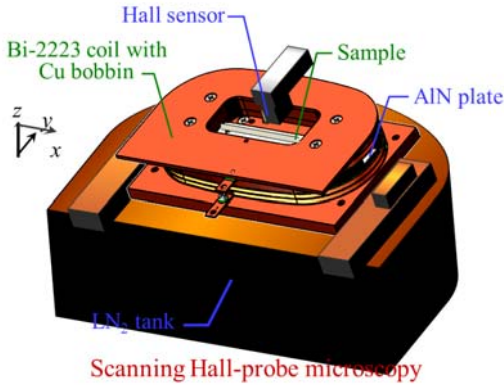


目標達成



# 超長尺複合材料評価技術開発

## 走査型ホール素子顕微鏡 長尺・高速対応技術開発



# 超長尺複合材料評価技術開発

## 装置立上当初の線材

長さ方向、幅方向共に  
特性分布(右図中色の分布)  
が存在

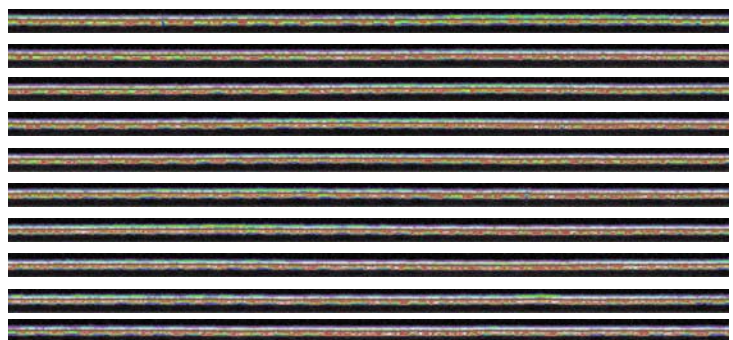
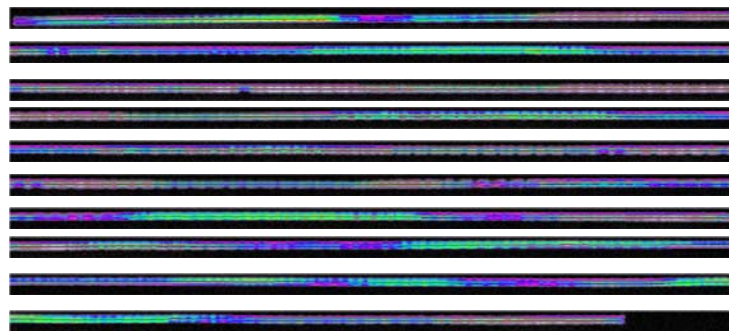


## 製造条件調整後線材

ガス流の条件、温度分布の  
調整による特性均一性向上



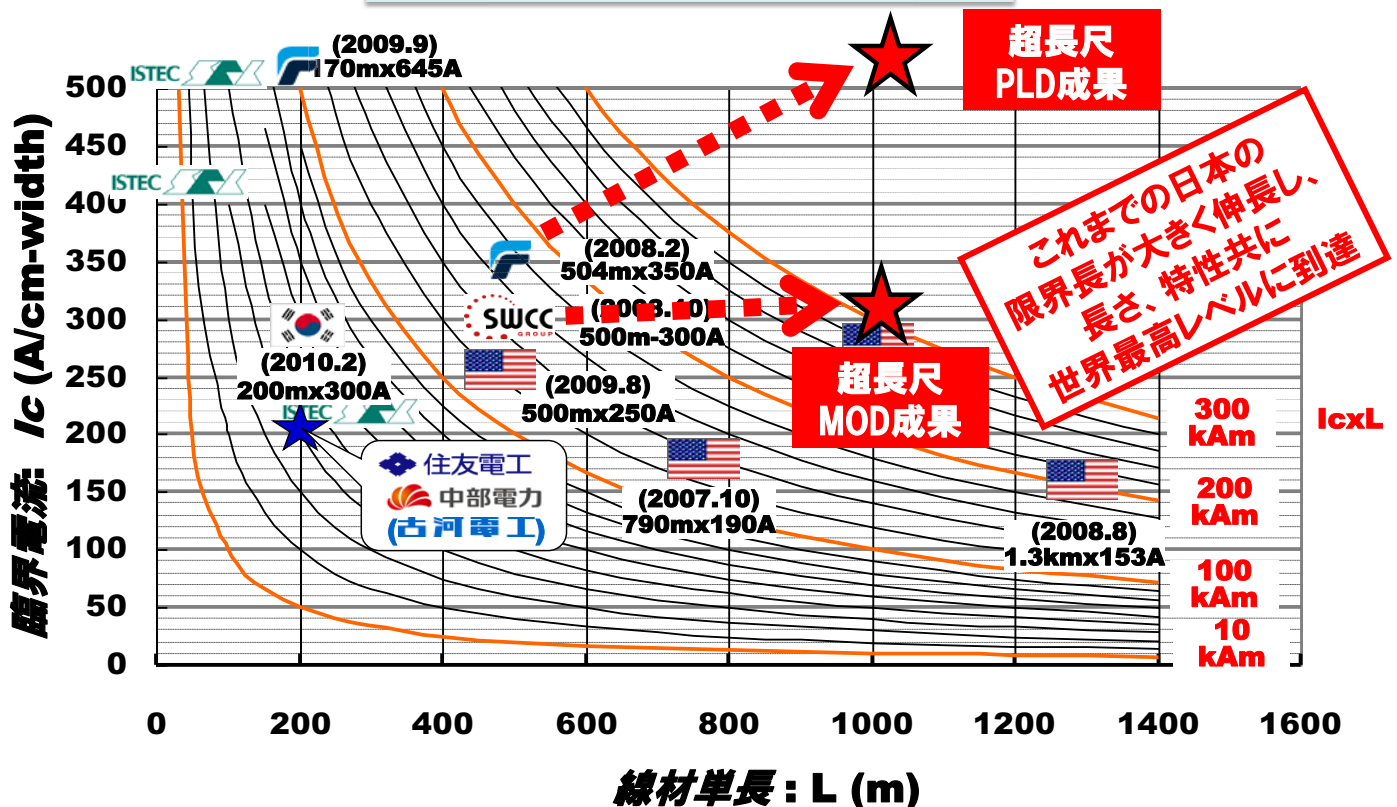
**超長尺プロセス条件へ反映**



## 成果の意義

研究項目	成果	成果の意義
①-1 エキシマレーザPLD 法による複合材料作製プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1050m長線材 平均<math>I_c=534A/cm</math>幅</li> <li>・10m長 <math>I_c=300A/cm</math>幅以上</li> </ul>	<p>○世界最高レベル <math>I_c \times L</math> の技術 (次頁参照)</p>
①-2 TFA-MOD 法による複合材料作製プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1000m長パッチ線材 平均<math>I_c \geq 300A/cm</math>幅</li> <li>・10m長 <math>I_c=300A/cm</math>幅以上</li> </ul>	<p>○超長尺複合材料 量産化基盤確立</p>

## 成果の意義





# 実用化の見通し

**[研究組合の実行能力]**

- ・ 複合材料の実績：機器開発に数十kmを提供
- ・ 多くの重電、ユーザー会社とのネットワーク

**[実用化のシナリオ]**

本PJ成果

複合材料安定  
製造技術開発

量産・事業化  
への基盤

**HTS回転機  
産業  
拡大・創出**  
(船用、風力発電等)

モータ試作等  
継続研究  
(含冷却系)

超電導モータ  
実用化  
(産業用、自動車等)

「希少金属代替・削減技術実用化開発  
助成事業(イットリウム系超電導回転機  
用電磁石の開発)」(H23.3~H24.2)

**[波及効果]** 永久電流モード用途  
⇒ 分析用NMR、医療用MRI、リニアモータ、  
医療用重粒子加速器等  
**安全安心な社会&低CO<sub>2</sub>社会**

