

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)

(2) イットリウム系複合材料の製造工程における
希少金属利用率等の効率向上技術開発

テーマリーダー

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 / 23

1. 事業の位置付け・必要性(事業目的の妥当性) 2. 研究開発マネジメント(研究開発目標の妥当性) **公開**

位置付け・必要性

現状実績

「超電導応用基盤技術開発」及び「イットリウム系
超電導電力機器技術開発」において機器開発
への提供で最も実績のあるエキシマレーザ
PLD法での提供線材作製における原料収率

～30%

本テーマ
設定目標値

原料収率

≥40%

期待できる効果 ⇒ 希土類使用量の低減

500kWモータ想定

Y or Gd使用量 30g(収率30%) ⇒ 23g(同40%)

参考：同容量 永久磁石モータ中 Nd:200g Dy:100g

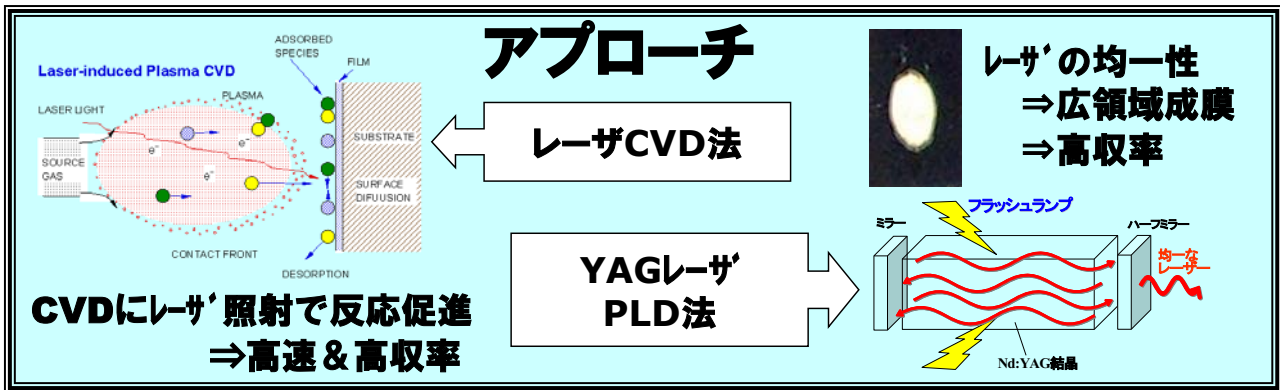
目標及びアプローチ

目標

超電導層の連続形成プロセスにおいて**原料収率40%以上**を見通す。

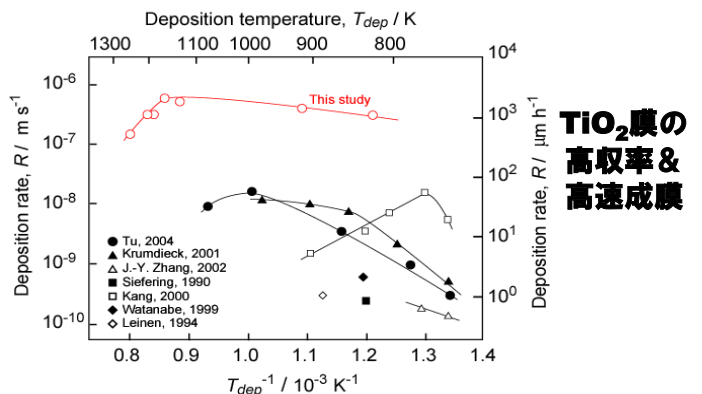
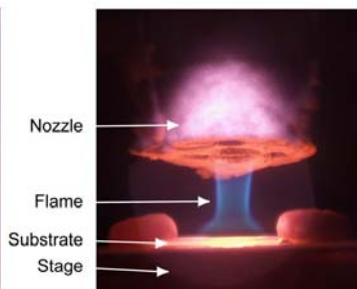
（具体的目標値）

- ・ 全成膜領域に対し、静止成膜により原料収率40%以上を実証する。
- ・ 成膜領域の一部を通過する移動成膜により、静止成膜結果から予想される成膜量を実証する。



アプローチの妥当性

レーザーCVD法の特長



レーザーエネルギーは、蒸着子の励起、反応に使用され原料(ターゲット等)からの離脱エネルギーには不要

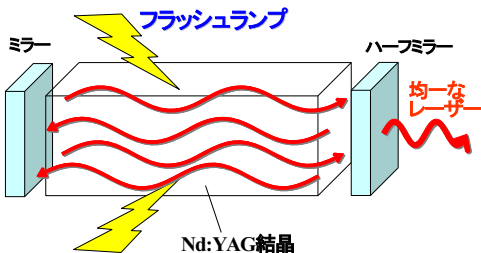
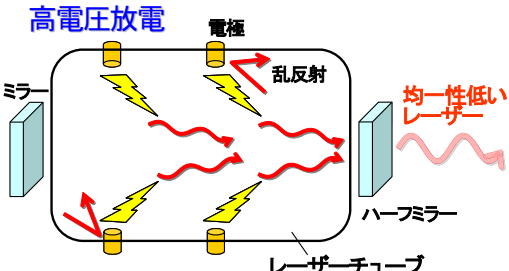
⇒ 低コスト

レーザー照射によるプラズマ発生が反応を促進し、基板への付着率を向上

⇒ 高速 & 高収率

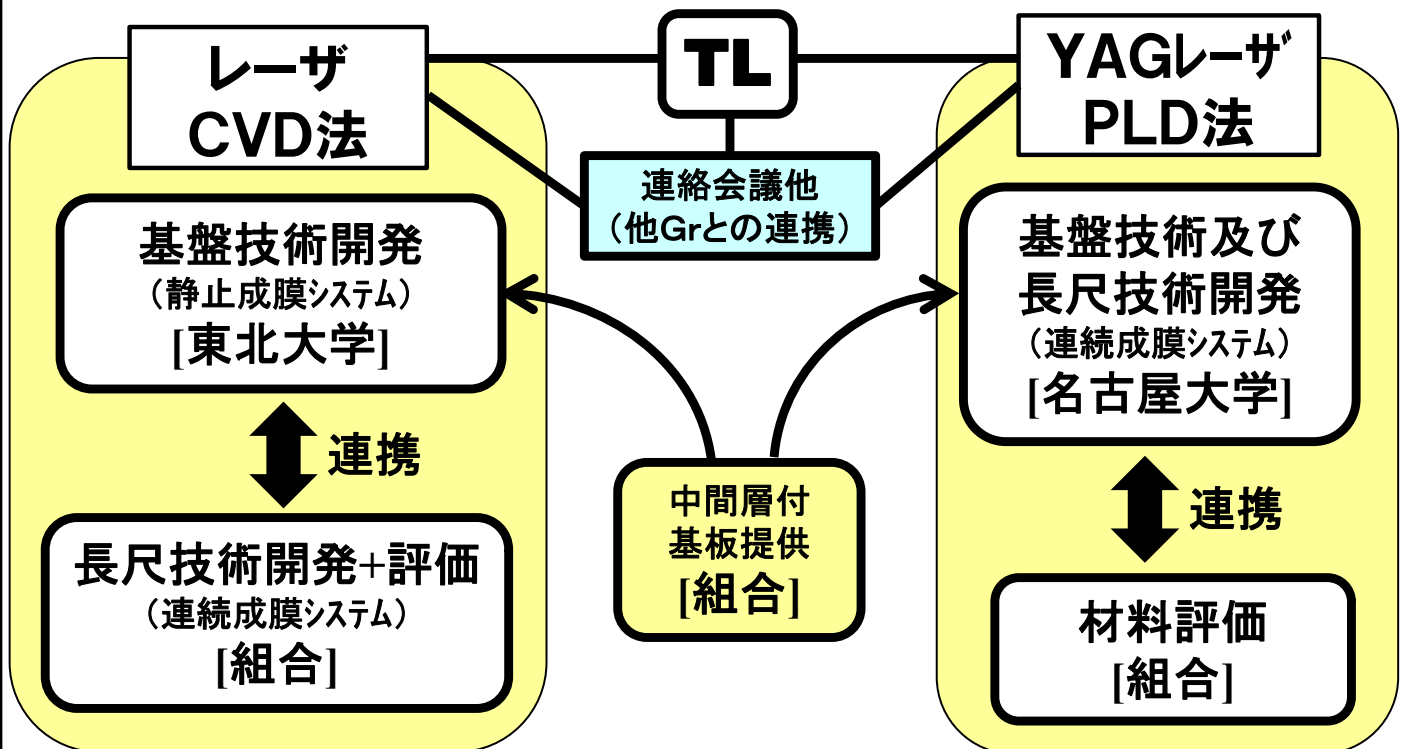
アプローチの妥当性

YAGレーザーPLD法の特長

Nd:YAGレーザー	エキシマレーザー
<ul style="list-style-type: none"> ・低ランニングコスト(電力のみ) & 小環境負荷 ・空間的均一性が高い  <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー安定性と出力が低 	<ul style="list-style-type: none"> ・大出力可・Y系超電導膜実績多数  <ul style="list-style-type: none"> ・高価な希ガスや有毒ガスの使用



開発体制



目標達成状況

②イットリウム系複合材料の製造工程における希少金属利用率等の効率向上技術開発

研究項目	目標	成果	達成度
②-1 レーザーCVD法による希少金属利用率向上技術開発	超電導層の連続形成プロセスにおいて原料収率40%以上を見通す。	・原料収率 45.7% ・超電導特性 $J_c > 3\text{MA/cm}^2$, $I_c > 100\text{A/cm幅}$	○
②-2 YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発		・原料収率 56.1% ・超電導特性 $J_c > 1.4\text{MA/cm}^2$	◎

◎ 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)

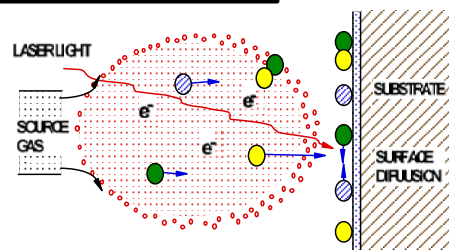
- ・全成膜領域に対し、静止成膜により原料収率40%以上を実証する。
- ・成膜領域の一部を通過する移動成膜により、静止成膜結果から予想される成膜量を実証する。

開発費用 431百万円

レーザーCVD法による希少金属利用率向上技術開発

プロセス開発上の課題と対策

<従来の技術レベル>
固体原料、固定成膜で
超電導相を形成を確認



課題	対策
長尺安定成膜	液体原料の適用 (従来は固体原料で表面積等の経時変化があり、長時間安定供給が困難)
超電導材料への適用 (YBCO or GdBCO等)	成膜条件(温度、酸素分圧、組成等)の適正化
連続成膜への適用	成膜領域の拡大 ←適正レーザー条件の把握 ←移動系システムの開発

レーザCVD法による希少金属利用率向上技術開発

アプローチ法(液体原料の利用)

■ 長尺安定成膜

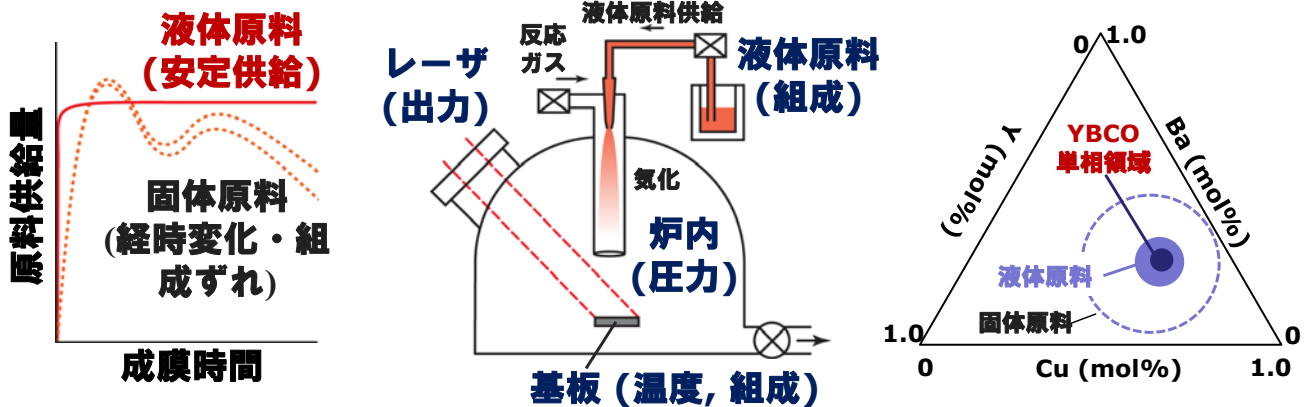
液体原料の適用

- ・長時間の安定連続供給

■ 超電導材料 (YBCO, GdCBO) への適用

成膜条件の適正化

- ・レーザ出力, 基板温度, 圧力, 組成



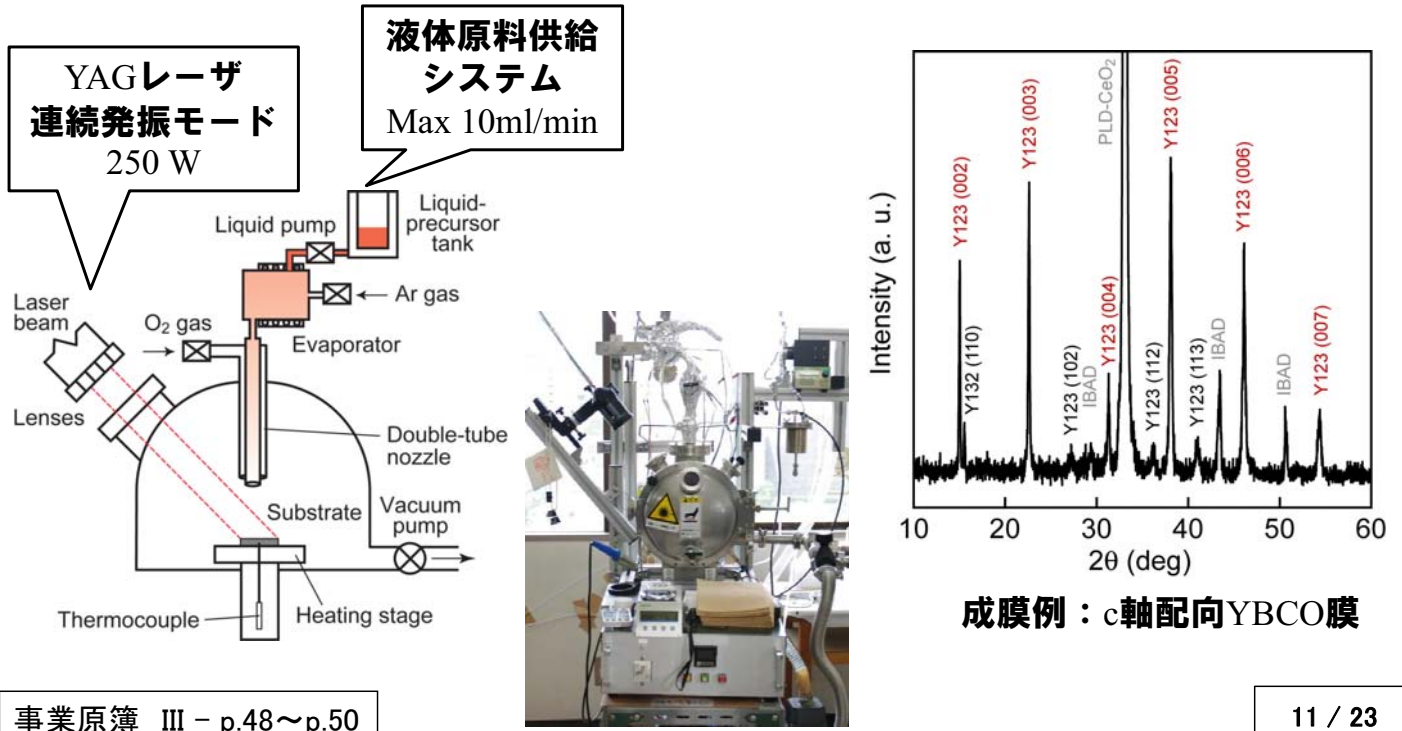
レーザCVD法による希少金属利用率向上技術開発

研究開発スケジュール

	研究項目	FY21/4Q	FY22/1Q	2Q	3Q	4Q
東北大	装置（小型）の導入と立上げ	設計・製作・立上		導入		
	超電導材料への適用性の 実証と基礎データの取得			YBCO成長基礎データ取得		
組合	装置（中型）の導入と立上げ		設計・製作	導入	取得データ適用	
	RTRプロセス確立のための 基礎データの取得			連続化技術		取得データ適用
	収率および線材特性向上へ 向けた条件の最適化				収率向上	長尺化検討

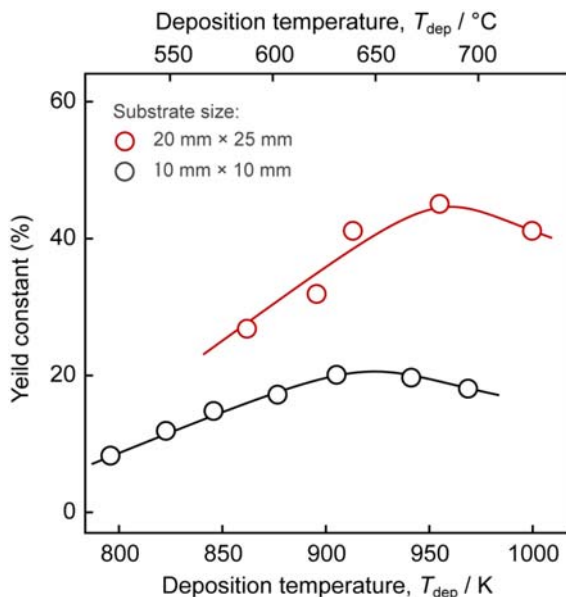
レーザCVD法による希少金属利用率向上技術開発

液体原料供給型レーザCVD装置開発



レーザCVD法による希少金属利用率向上技術開発

静止成膜試験主要結果



予備加熱温度	673 K
レーザ出力	139 W
Y:Ba:Cu 仕込組成	1:1.9:2.7
液体供給量	0.3 ml/min
Arキャリア流量	150 sccm
成膜時間	5 min
炉内圧力	800 Pa
IBAD 基板大きさ	20 mm × 25 mm
Y収率 (%)	45.7

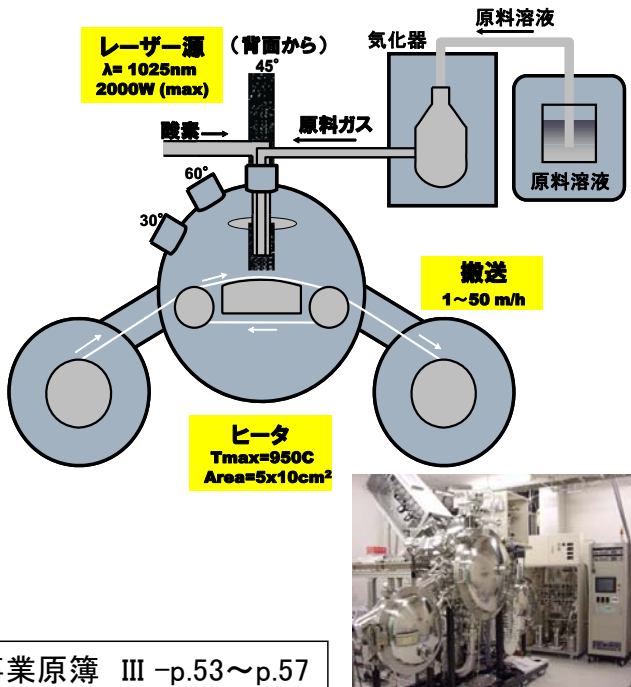
液体原料供給法 + 組成・温度制御

目標達成

レーザーCVD法による希少金属利用率向上技術開発

RTR成膜試験主要結果

RTR式レーザーCVD装置概念図



成膜条件	
原料組成	1.0 : 2.0 : 3.0
膜組成	1.0 : 2.0 : 3.1
気化温度	280°C
経路加熱	285°C
ヒーター設定温度	900 °C
レーザーパワー	200 W
スポット径	約80mm
搬送速度	1.2m/h

移動成膜結果 (IBAD-MgO基板)

	Ic (A)	Jc (MA/cm²)	t (μm)
Ic-max	147	1.3	1.1
Jc-max	49	3.2	0.15

YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発

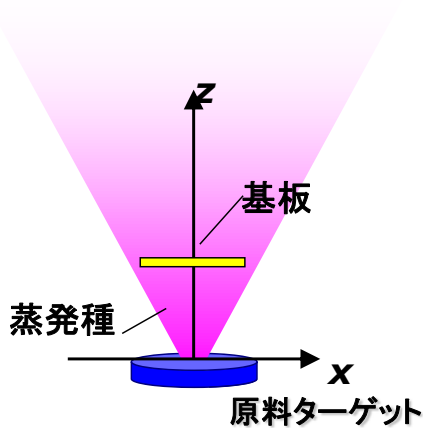
プロセス開発上の課題と対策

課題	対策
超電導材料への適用 (YBCO等) ⇒特性向上 (現状:Jc=2MA/cm² on STO:4倍波)	成膜条件 (温度,酸素圧力,ターゲット組成,レーザーエネルギー等) の適正化
連続成膜への適用 (金属基板,移動系システムへの適用性)	(高速高収率成膜技術) 移動系温度制御技術開発+ 適正過飽和度制御技術開発 (インブルーム、マルチパス、マルチターン)
YAGレーザーの最大パワー (4倍波) が エキシマレーザーの最大パワーより小	2倍波による成膜技術開発

YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発

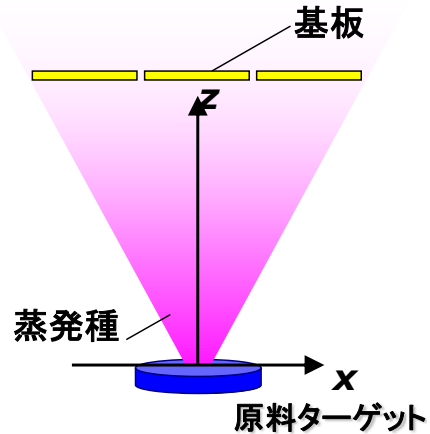
アプローチ法(ブルーム均一性の利用)

インブルーム法



高過飽和成膜 + 単純装置構造

マルチターン/パス法



低過飽和成膜 + 複雑装置構造
(マルチパスは層毎の温度制御可)

YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発

研究開発スケジュールと予算

研究項目	FY21/4Q	FY22/1Q	2Q	3Q	4Q
短尺IBADテープを用いたY系複合材の検討		自主設備を用いた基礎検討			
連続YAGレーザー導入		設計・製作・立上		導入	
Y系複合材高収率高速化検証				高収率・高速技術開発	
				長尺化検討	

YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発

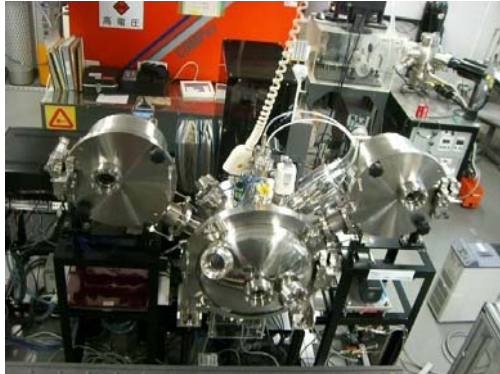
RTR式YAGレーザーPLD装置開発

リール式YAGレーザーPLD装置

均一な
レーザースポット

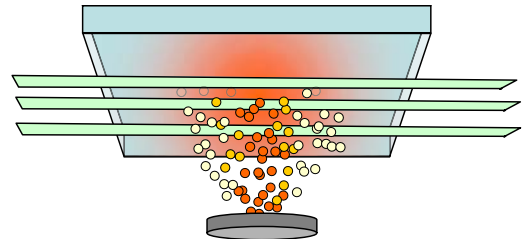


area = 2-3 mm²
2.0 J/cm²



- ・3レーンマルチターン
- ・最高線速 10 m/h
- ・リール内径80、外径160(最大線材長 100 m)
- ・4倍波Nd:YAGレーザー(90 mJ/pulse)
- ・2インチターゲット×3個

インフリューム法+組成制御



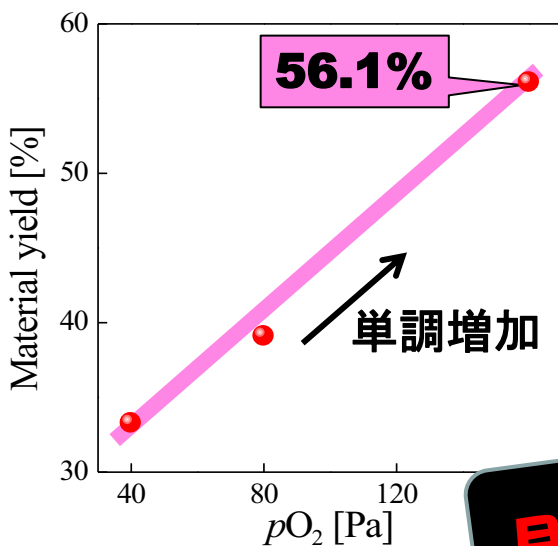
<主要検討項目>

- ◆ 基板-ターゲット間距離
- ◆ 酸素分圧
- ◆ 基板制御温度
- ◆ ターゲット組成 等

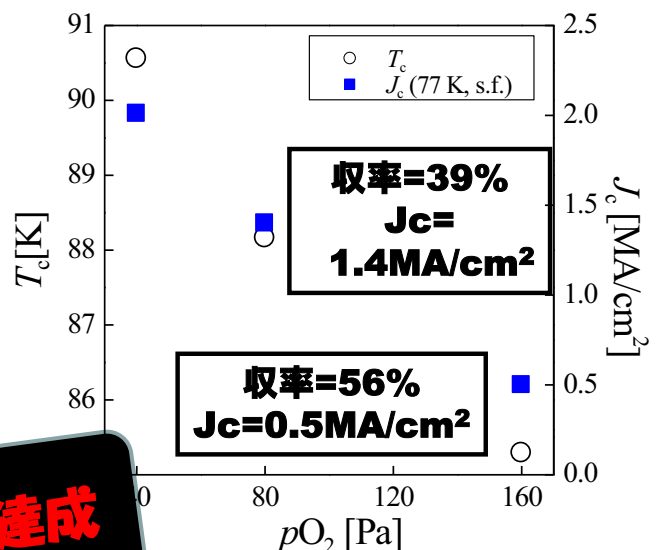
YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発

RTR成膜試験主要結果

<酸素圧力に対する収率>



<酸素圧力に対する超電導特性>

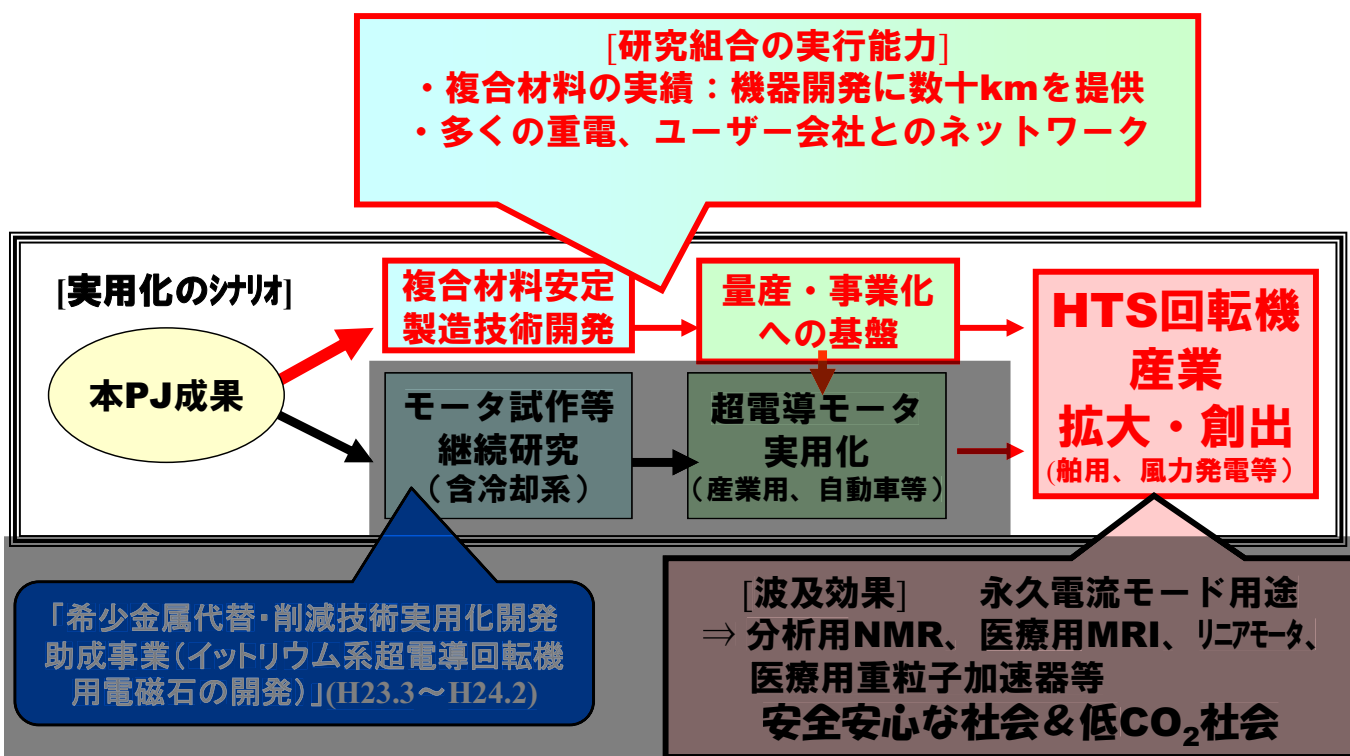


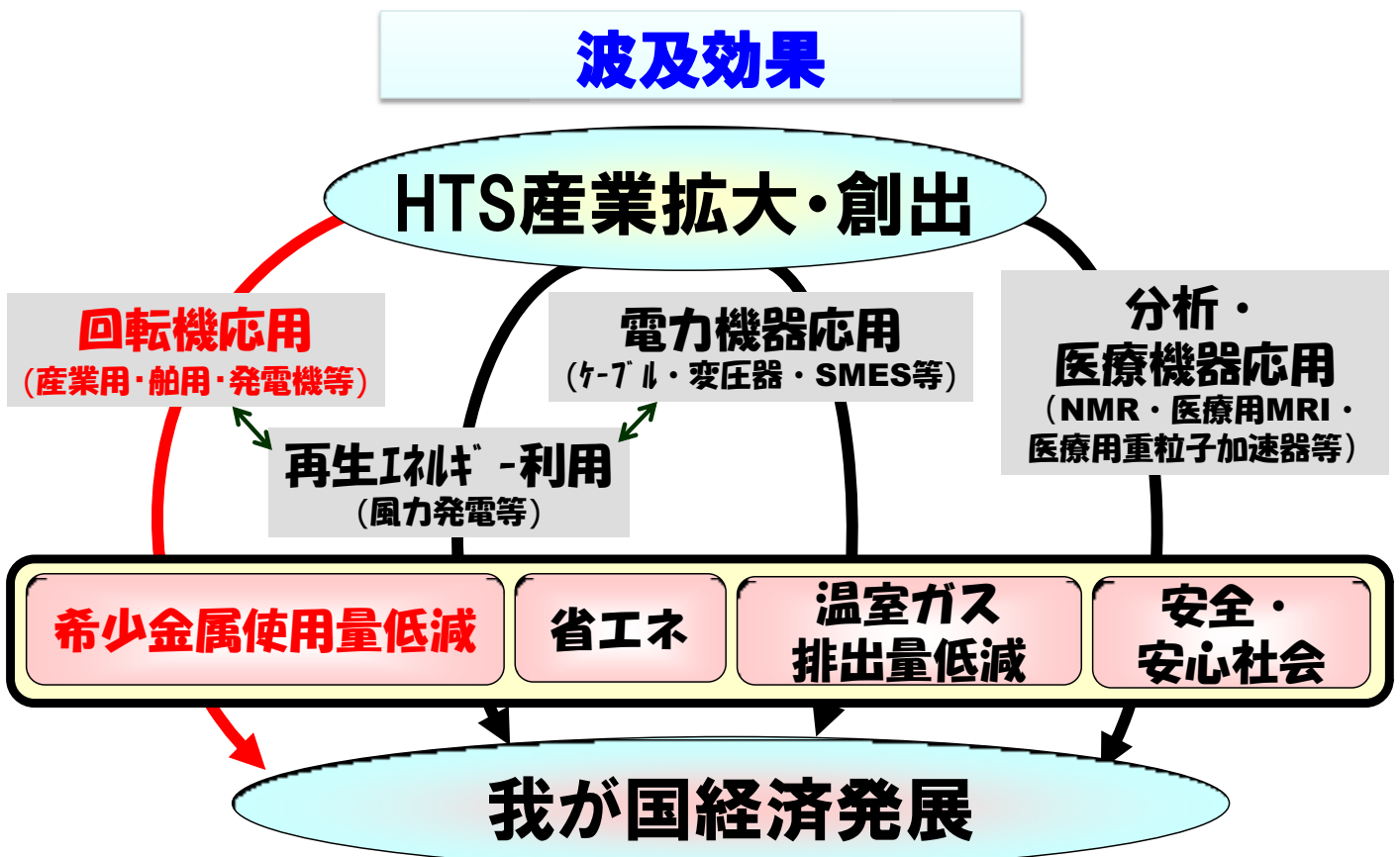
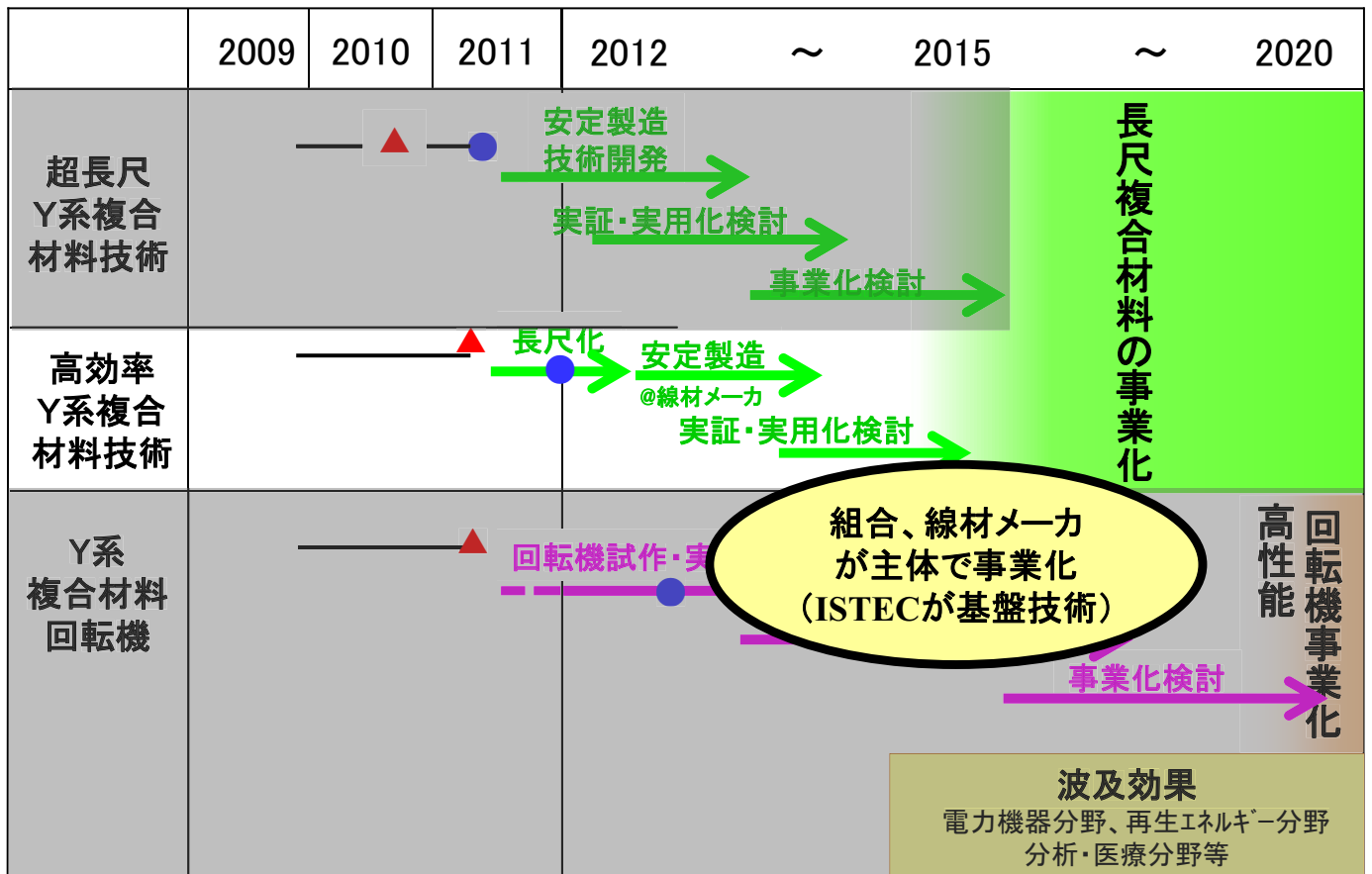
目標達成

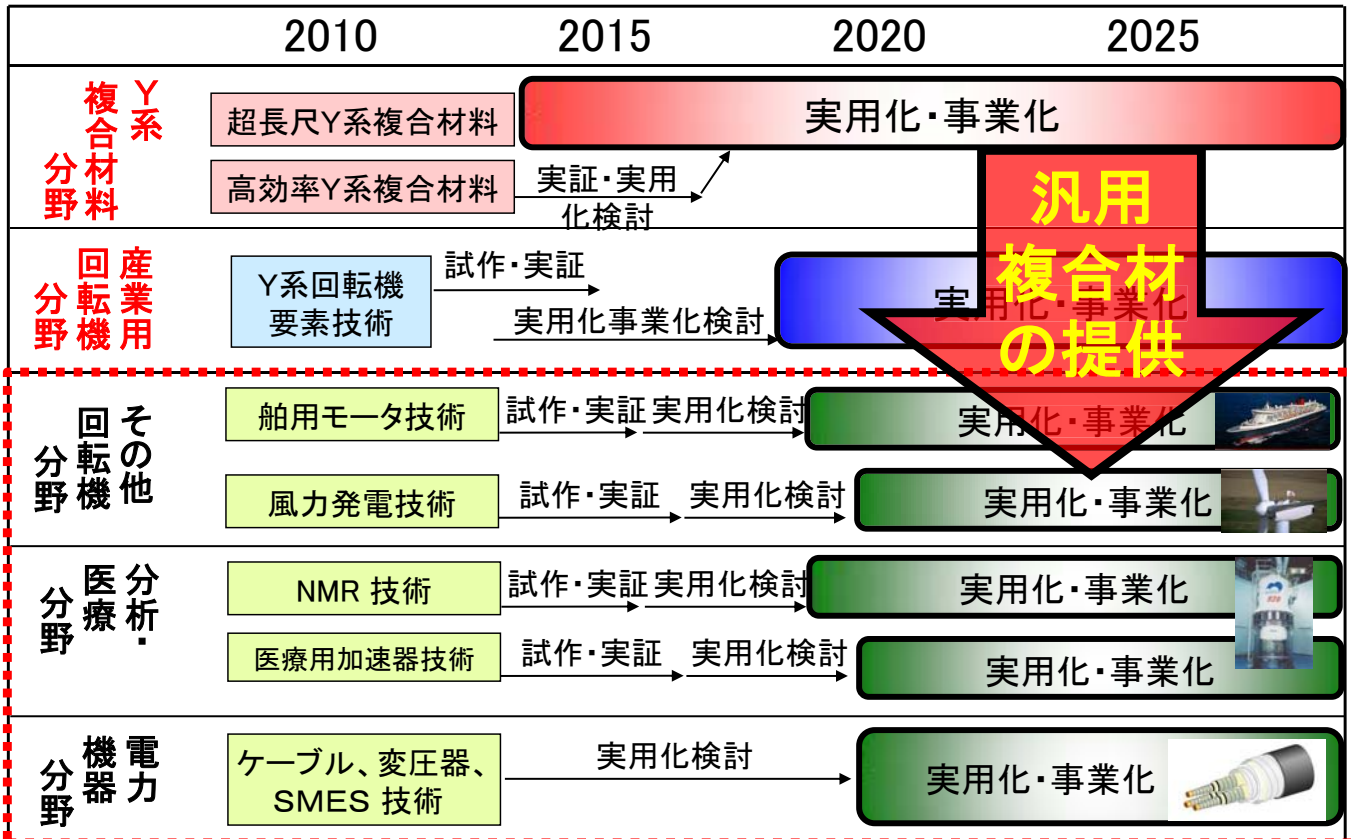
成果の意義

研究項目	成果	成果の意義
②-1 レーザーCVD法による希少金属利用率向上技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 原料収率 45.7% 超電導特性 $J_c > 3\text{MA/cm}^2$, $I_c > 100\text{A/cm幅}$ 	<p style="text-align: center;">○より省希少金属複合材への可能性 (~1/2)</p> <p style="text-align: center;">○コスト低減効果も大きく期待</p>
②-2 YAGレーザーPLD法による希少金属利用率向上技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 原料収率 56.1% 超電導特性 $J_c > 1.4\text{MA/cm}^2$ 	

実用化の見通し







汎用複合材の提供

波及効果