

「希少金属代替材料開発プロジェクト」
(中間評価)分科会
資料 5-1

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」

事業原簿
(公開版)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ナノテクノロジー・材料技術開発部
-----	---

—目次—

概要

- ・イノベーションプログラム基本計画
- ・プロジェクト基本計画
- ・技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)
- ・プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性…………… I-1
 - 1.1 NEDOが関与することの意義…………… I-1
 - 1.2 実施の効果(費用対効果)…………… I-2
2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-4

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標…………… II-1
2. 事業の計画内容…………… II-19
 - 2.1 研究開発の内容…………… II-19
 - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-30
 - 2.3 研究の運営管理…………… II-34
3. 情勢変化への対応…………… II-35

III. 研究開発成果について

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

1. 事業全体の成果……………①III-1
2. 研究開発項目毎の成果……………①III-1

②透明電極向けインジウム代替材料開発

1. 事業全体の成果……………②III-1
2. 研究開発項目毎の成果……………②III-3

③希土類磁石向けディスプレイ用シウム使用量低減技術開発

1. 事業全体の成果……………③III-1
2. 研究開発項目毎の成果……………③III-2

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

1. 事業全体の成果……………④III-1
2. 研究開発項目毎の成果……………④III-3

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

1. 事業全体の成果……………⑤III-1
2. 研究開発項目毎の成果……………⑤III-2

IV. 実用化、事業化の見通しについて

(実用化の見通しについて)

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

1. 実用化、事業化の見通しについて……………①IV-1

②透明電極向けインジウム代替材料開発

1. 実用化、事業化の見通しについて……………②IV-1

③希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減技術開発

1. 実用化、事業化の見通しについて……………③IV-1

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

1. 実用化、事業化の見通しについて……………④IV-1

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

1. 実用化、事業化の見通しについて……………⑤IV-1

V. 成果一覧

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発……………①V-1

②透明電極向けインジウム代替材料開発……………②V-1

③希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減技術開発……………③V-1

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発……………④V-1

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発……………⑤V-1

概 要

		最終更新日	平成21年7月27日
プログラム (又は施策)名	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(資源制約克服/3R)		
プロジェクト名	希少金属代替材料開発プロジェクト	プロジェクト番号	P08023
担当推進部/ 担当者	ナノテクノロジー・材料技術開発部 三宅 倫幸(平成21年7月現在) ナノテクノロジー・材料技術開発部 坂田 雅史(平成18年8月~平成20年7月)		
0. 事業の概要	<p>希少金属は、我が国の産業分野を支える高付加価値な部材の原料であり、近年需要が拡大している。しかし、途上国においても著しく需要が拡大していることや、他の金属と比較して希少であることから、その代替性も著しく低いとともに、その偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高い等から、我が国の中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている。</p> <p>本プロジェクトは、透明電極向けインジウム、希土類磁石向けディスプロシウム、超硬工具向けタングステンを対象元素として代替材料の開発、または使用量低減技術の開発を目的とし、本プロジェクトを通じて持続可能な社会構築に貢献する。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【NEDO が関与する意義】</p> <p>本研究開発は、「ナノテク・材料分野」に列挙されている「戦略重点科学技術」のうち「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」にあたるものであり、文部科学省の元素戦略プロジェクトと連携し基礎から実用化までの間隙のない支援体制を確立して行うもので、我が国の科学技術力の向上という観点からも極めて意義が高いものである。</p> <p>よって、政策的な位置付けであること、資源セキュリティに係ること、高度な技術開発が必要であること、更に開発リスクが非常に高いこと等の観点からNEDOが推進すべき研究開発プロジェクトである。</p> <p>【実施の効果】</p> <p>(1) 透明電極向けインジウム(In)使用原単位低減 2006年実績でインジウムの生産量は全世界で480t生産されており、その大半が中国で生産されている。この内、FPD用の電極材料として430tが使用されている。FPD用の電極材料の需要が倍増した場合、本研究開発により50%削減が可能になり、将来的なInの供給量に変化がなかった場合、430tの削減効果がある。これは、2006年の地金相場価格(855\$/kg)では、368億円の削減効果がある。透明電極材の市場規模予測は2010年で781億円であり、この市場確保へも大きく寄与する。</p> <p>(2) 希土類磁石向けディスプロシウム(Dy)使用原単位低減 ハイブリッド車用の永久磁石モータは、国内生産108万個(2007年実績)、260万個(2010年予測)と予想されている。将来の希土類磁石向け国内Dyの供給量が2004年と同等の260t/年として、本技術開発により30%削減可能となった場合、Dy単独でおおよそ110tのディスプロシウムの削減の効果がある。これは、2006年の価格で換算すると約17億円の削減効果がある。</p> <p>(3) 超硬工具向けタングステン(W)使用原単位低減 2004年度のWの需要量は5680トン(需要量)であり、その内、切削工具に使用されるWの需要量は5466トンである。本技術開発により、W原単位で30%の削減が可能となった場合、約2985トンの削減効果がある。タングステン鉱石が2006年の価格の200\$/MTU(1MTU=W₀₃純分10kg)を採用した場合、鉱石換算で約60億円程度の削減効果がある。超硬工具の生産金額は、3340億円(2006年実績)であり、本技術はこれらの産業に適用可能である。</p> <p>【実施の効果(費用対効果)】</p> <p>1. 定量効果</p>		

- (1) 費用： 約 50.0 億円
 (2) 効果：総額 445 億円
 368 億円（うち透明電極向けインジウム原単位削減効果）
 17 億円（うち希土類磁石向けディスプロシウム原単位削減効果）
 60 億円（うち超硬工具向けタングステン原単位削減効果）

2. 定性効果

本プロジェクトでターゲットとしているインジウム、ディスプロシウム、タングステンは、それぞれ液晶ディスプレイ、ハイブリッド自動車、超硬工具等の日本の産業競争力を支える製品に使われている。

本開発によるレアメタルへの依存リスクの軽減は、本対象のみならず、日本の産業競争力の向上に寄与する。

【事業の背景・目的・位置付け】

現在及び将来において我が国経済を牽引していく産業分野において、競争力を発揮し世界を勝ち抜いていくために、多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工との水平連携）による研究開発の推進により、当該市場のニーズに応える機能を実現する上で不可欠な高品質・高性能の部品・部材をタイムリーに提供し、又は提案することができる部材の基盤技術を確立することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」、及び環境・資源制約を克服し循環型経済システムを構築することを目的とした「環境安心イノベーションプログラム」の一環として本プロジェクトを実施する。

希少金属は、我が国産業分野を支える高付加価値な部材の原料であり、近年その需要が拡大している。しかし、途上国における著しい需要の拡大や、そもそも他の金属と比較して、金属自体が希少であり、代替性も著しく低く、その偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高いこと等から、我が国の中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている。これに対する具体的な対策として、平成18年6月、資源エネルギー庁から報告された「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」において、①探鉱開発の推進、②リサイクルの推進、③代替材料の開発、④備蓄、等が整理され、現在それぞれにおける具体的な対策が進められている。

本研究開発は、この総合的な対策の一部として非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立を目的としている。

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

最終目標（平成23年度末）では、以下希少金属元素の使用原単位（一製品当たり）について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立する。
 また、製品の機能や製造コストは少なくとも現状と同等を維持することを前提とする。

研究開発項目	対象元素	使用原単位の低減目標値
①及び②	透明電極向けインジウム(In)	現状から50%以上低減
③	希土類磁石向けディスプロシウム(Dy)	現状から30%以上低減
④及び⑤	超硬工具向けタングステン(W)	現状から30%以上低減

事業の計画内容

主な実施事項	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy
①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発	→				
②透明電極向けインジウム代替材料開発	→				
③希土類磁石向けディスプロシウム低減技術開発	→				
④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発	→				

	⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発					
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載)(単位:百万円)	会計・勘定	H 1 9 fy	H 2 0 fy	H 2 1 fy	H 2 2 fy	H 2 3 fy
	一般会計	1,100	940	857		
	特別会計(一般)		500			
	総予算額	1,100	1,440	857		
開発体制	経産省担当原課	製造産業局非鉄金属課				
	プロジェクトリーダー	なし				
	テーマリーダー	①東北大学 未来科学技術センター 教授 中村 崇 ②高知工科大学 教授 山本 哲也 ③東北大学 教授 杉本 諭 ④(独)産業技術総合研究所 グループ長 小林 慶三 ⑤東京大学 名誉教授 林 宏爾				
	委託先	①東北大学, 三井金属鉱業(株), DOWAエレクトロニクス(株), (株)アルバック ②高知工科大学, アルプス電気(株), カシオ計算機(株), ジオマテック(株), (株)ZnOラボ, ハクスイテック(株), 三菱瓦斯化学(株) ③東北大学, (株)三徳, インターメテックス(株), TDK(株), トヨタ自動車(株), 山形大学, (独)物質・材料研究機構, (独)日本原子力研究開発機構 ④(独)産業技術総合研究所, 住友電気工業(株) ⑤(独)産業技術総合研究所, (財)ファインセラミックスセンター, (株)タンガロイ, 富士ダイス(株)				
情勢変化への対応	本プロジェクトでは、総合的な対策の一環として非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立を目的として、平成19年度からインジウム、ディスプレイウム、タングステンの3鉱種について研究開発を実施しているが、昨今の情勢変化を受けて、平成21年度から、新たに対象鉱種として、白金族、セリウム、テルビウム・ユウロピウムを追加することになり、採択審査段階である。					
評価に関する事項	事前評価	未実施(H19年度はMETI直執行)				
	中間評価	平成21年度 中間評価実施				
	事後評価	平成23年度 事後評価実施				

Ⅲ. 研究開発成果
について

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発（目標達成度：◎）

(1)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

第4元素添加による低インジウム新規組成ITO開発については、第一原理計算による添加候補元素の確定ならびにその結果を受けたコンビナトリアル手法を駆使した組成の確定がほぼ終わり、目標のインジウム60%組成ITOの組成が決定し、現在その新規ターゲットを作製し、ITO膜製造専用機で最終的な薄膜性の評価を行いつつある。一方金属薄膜積層化による一層の薄膜化については、Agの10nmの薄膜積層化により、当初の目標を達成した。

(2)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

インクジェット法で作製されたITO薄膜は、当初の目標を達成する性能を示した。また、現在、実験室レベルで少量の作製しかできないが、現在その大型化を図るための準備がなされ、一部小型ベンチスケールの設備が完成した。

②透明電極向けインジウム代替材料開発（目標達成度：◎）

平成19、20年度は、ZnO系透明導電膜の液晶ディスプレイへの応用可能性を検討する観点から、カラーフィルタ(CF)側電極にZnO系透明導電膜を実装した3インチの小型液晶パネルを試作し、液晶ディスプレイ製造プロセスにおける課題の抽出と、現行のITO透明導電膜との相違点を明確にすることに重点を置いて研究開発を実施した。その結果、抵抗率、透過率、耐熱性、耐湿性、耐薬品性等の諸特性において、透明電極として使用に耐えうる特性を満足する材料技術と成膜技術を確認する事が出来た。

③希土類磁石向けディスプロシウム低減技術開発（目標達成度：◎）

(1)2.7 μ mまで粉末粒径を小さくすることにより高保磁力を実現し、Dy20%~30%削減に相当する磁気特性を有するDyフリー焼結磁石の作製に成功した。

(2)Dyリッチセル化率82%と界面制御することにより、Dy20%削減に相当する磁気特性を有する焼結磁石の作製に成功した。

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発（目標達成度：◎）

硬質な被削材を切削加工するためには、工具の刃先部へ鋼との親和性が低く、硬質な材料を超硬基材にロウ付けして使用されてきたが、基材をサーメットに置き換えても強固に接合する技術を新たに開発した。本技術はインサート材料に非平衡化した金属粉末を用い、局所的な加熱により実現することで基材や硬質材料への熱負荷を抑えることに成功した。また、実際の工具形状に適した装置の試作、改良を行うことで中間(自主)目標であった120秒以下(月産1万個/台の量産に移行できる生産性から換算)の処理時間で100MPaを超える接合強度(従来のロウ付け以上)を達成できた。この処理時間の中には接合雰囲気制御する時間、加熱時間、冷却時間も含まれており、月産1万個の量産に移行できる生産性、プロセスコストの低減効果を確認できた。得られたハイブリッド切削工具は外周研削も問題なく実施することができており、コーティングにおける成膜条件を確認の後、切削テストを実施する予定である。

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発（目標達成度：◎）

サーメットの組織、特性及び焼結性などに関する基盤技術を確認するために、接着度・結晶粒径などの組織学的因子を評価する技術と共に、粒界・界面構造等を明らかにする微構造解析技術を確認した。また、サーメット焼結プロセス中に生じる組織変化を予測するために、固相焼結から液相焼結までの焼結・粒成長を一貫してシミュレーションする技術を開発し、中間目標である“サーメットの組織形成シミュレーション技術の確立”を達成することができた。

新規サーメットを開発するために、新規固溶体粉末を合成する技術、および開発した固溶体粉末を用いて新規サーメットを作製する技術を確認し、中間目標である“新規固溶体粉末を用いたサーメット合成技術の確立”を達成することができた。

新規コーティング技術を開発するために、レーザーCVDによるサーメット基材用コーティング技術の開発を行い、従来の熱CVDに比べ十分低い温度で α -Al₂O₃コーティングを合成する技術を確認した。これにより、中間目標である“新規なコーティング技術の確立”を達成することができた。

	投稿論文	「査読付き」 29件、「その他」 17件
	特 許	「出願済」 15件、(うち国際出願3件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「プレス発表」 11件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発 省 In ターゲット開発が完成することにより、海外（特に中国）への依存度が少なくなり IT0 ターゲット価格の高騰を抑制できる。市場としては液晶 TV を代表とした TFT-LCD、プラズマディスプレイが主流である。新規ターゲット、新規ターゲットを搭載したスパッタリング装置を販売する。実用化の課題としては、大型化基板でのターゲット、膜特性評価を行い、小型装置で作製した場合と同等の性能を確認することである。 実用化のための大型化技術開発を行い、新規組成ターゲットで世界シェア 50%以上（約 800 トン/年）を目指す。</p> <p>②透明電極向けインジウム代替材料開発 携帯電話などの小型液晶パネルについては、本中間成果により事業化の可能性を示したと言える。しかし大型液晶パネルは小型パネルと構造および表示方式が異なる部分があるため、実用化および事業化は 21 年度から 23 年度に実施する大型液晶パネルへの ZnO 透明電極の応用研究開発成果にて実現させる。 本研究開発は ZnO の素材、製膜、エッチング液そしてパネル組み立てまで、すなわち液晶パネル製造における川上から川下までの企業が構成し、緊密な連携の下に一致団結して推進している。このため参画企業の製造レベルごとの事業化が可能であり、すでに事業化の計画を有する企業がある。</p> <p>③希土類磁石向けディスプロシウム低減技術開発 本体制によって製造される省 Dy 焼結磁石は、トヨタ自動車（株）によって自動車用磁石への応用が検討されるが、本研究により開発した焼結磁石を適用することにより、Dy の使用量を格段に抑えることが可能でとなると期待される。特に今後ハイブリッド自動車の普及が加速し、高保磁力=高 Dy 磁石の需要増加が予測されていることから、本研究成果はハイブリッド自動車の普及に大きく貢献するといえる。また、開発された省 Dy 焼結磁石がハイブリッド自動車だけでなく、各種工作機械、エレベータ、大型家電用モータ等にも採用されれば、エネルギー効率が飛躍的に向上することが考えられ、省エネルギー効果が極めて高くなり、これら産業においても即採用されると推定される。</p> <p>④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発 プロジェクト期間内に最終目標を達成できれば、プロジェクト終了後直ちにサンプル供試でき、性能試験結果およびユーザー意見を反映した改善を行うことができる。このため、プロジェクト終了後 3~5 年程度の量産技術開発および実用化検討の後に事業化が行える見通しである。</p> <p>⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発 切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発については、切削工具用高靱性サーメットの開発および切削工具用サーメットの安定製造技術の確立を行うと共に実用化の検討を行い、2011 年に最終目標試作を実施する。その成果を基にその後の事業化を目指す。 耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発については、高靱性サーメットの開発および大型部材焼結技術、研削等加工条件の確立を行うと共に実用化の検討を行い、2011 年に最終目標試作を実施する。その成果を基にその後の事業化を目指す。</p>	
V. 基本計画に関する事項	制定時期	平成 20 年 3 月 制定
	変更履歴	<p>(1) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。</p> <p>(2) 平成 21 年 3 月、新鉱種追加により改訂。</p>

ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

このプログラムは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。

2. 政策的位置付け

○第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つに指定されていて、優先的に資源配分することとされている。
- ・我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

○「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1. 生涯健康な社会形成」、「2. 安全・安心な社会形成」、「4. 世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5. 世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
 - ・学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
 - ・社会受容を促すための積極的な取り組み
 - ・知的財産確保のための戦略的な取り組み

○「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議）

- ・「我が国の国際競争力の強化」の取り組みとして、高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化が掲げられている。
- ・「技術戦略マップ」の活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部品・材料産業の強化を図ることが今後の取組として記載されている。

○「新産業創造戦略2005」（2005年6月経済産業省）

- ・部材分野は、新産業群の創出を支える共通基盤技術として位置づけられている。
- ・「高度部材・基盤産業」の集積を形成していることが、「ものづくり」に不可欠な基盤技術のネットワーク化を通じた現場レベルでの迅速かつ高度な摺り合わせを可能としており、我が国「ものづくり」の強みの源泉となっていると記載されている。

3. 達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。
- ・我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに部材産業の付加価値の増大を図る。
- ・ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- ・希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

I. ナノテクノロジーの加速化領域

ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を加速・促進する。

(1) 異分野異業種融合ナノテクチャレンジ（運営費交付金）

①概要

革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種異分野の連携で行う部材開発に対して支援を行い、燃料電池、ロボット、情報家電、健康・福祉・機器・サービス、環境・エネルギー・機器・サービスの5分野に資するキーデバイスの実現を目指す。

②技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することにより、2011年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確立し、実用化を図る。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノテク・先端部材実用化研究開発（運営費交付金）

①概要

新産業創造戦略の趣旨に則り、革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種・異分野の連携で行うデバイス化開発の支援を行うため、

○ナノテクノロジー活用による材料・部材の高度化を図る先導的研究開発（ステージⅠ）

○ナノテクノロジー研究成果の部材等への課題設定型実用化により目指した開発支援（ステージⅡ）

について提案公募を実施する。

②技術目標及び達成時期

2010年頃に想定される半導体微細加工の限界を克服するため、分子・原子を1つずつ制御し部品部材に組み上げる「ボトムアップ型」のナノテクノロジーなど革新的なナノテクノロジー等の活用により、情報家電・ロボット、燃料電池等新規産業5分野等において、従来の性能・効率を大幅に改善するナノテク・先端部材技術を開発し、我が

国が優位にあるナノテクノロジーを基盤とした国際的な産業競争力を強化することを目標とする。

③研究開発期間

2005年度～2011年度

II. 情報通信領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して既存技術の微細化の壁を突破し、電子デバイス・光デバイスで世界をリードするとともに、高度化された製造技術の開発を行う。

(1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイス

①概要

ナノエレクトロニクスは、ナノテクノロジーの最大の応用領域の一つであり、デジタル・デバイスのCMOS構造というアーキテクチャは、優れた工学概念である。また、これまでの半導体技術の微細化に基づく高集積化・高速化・低消費電力化の追求は、シリコン材料をベースとするプレーナ構造を基本とした微細加工プロセスの高度化にあった。

しかし、さらなる微細化によるデバイスのパフォーマンス向上は物理的限界に直面しつつあり、問題は、FETを、シリコン材料をベースとして作製することにより現出していると考えられる。

そのため、次世代の電子デバイスのために「シリコンで培った微細化技術やデバイス原理をこれまで同様に活用しながら、シリコンという材料の物理的限界を突破するための“新材料”や“新(デバイス)構造”を実現すること」、すなわち、「New Nano Materials/Structure on Silicon for “More Moore”」の半導体技術を、ナノテクノロジーを最大限に活用することによって研究開発を行い、将来の産業応用への目を見出していく取りかかりとする。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、産業界が10年後を見据えた将来の電子デバイスを開発する際に、産業技術として活用できるかどうかの実現可能性を見極め、また技術シーズを確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)(再掲)

①概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術 (GaN、AlNバルク結晶作製技術)

- ・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術 (エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

- ・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
- ・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
- ・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト (運営費交付金)

①概要

将来のエレクトロニクスにおいて中核的な基盤技術となり得るスピントロニクス技術 (電子の電荷ではなく、電子の自転=「スピン」を利用する全く新しいエレクトロニクス技術) を確立するため、強磁性体ナノ構造体におけるスピンの制御・利用基盤技術を開発し、我が国が世界に誇るシーズ技術を核として、産学官の共同研究体制を構築し、将来の中核的エレクトロニクス技術における我が国の優位性の確保を図る。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、超高集積で高速な不揮発性メモリとして期待されるスピンメモリのための基盤技術を確立する。また、新ストレージ・メモリデバイス、不揮発性スピン光機能素子、スピン能動素子等の新しい動作原理によるスピン新機能素子の実現のための基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 三次元光デバイス高効率製造技術 (運営費交付金)

①概要

波面制御素子による空間光変調技術を確立し、ガラス中に三次元造形を高精度に一括形成できるプロセス技術を開発する。この技術を用いて、具体的な光デバイスを作製し、当該技術の有効性の確認と市場への早期参入のための基盤技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに波面制御素子による空間光変調技術を用いたフェムト秒レーザー照射技術等を確立し、高精度の光デバイスを高速に作製できるプロセス技術を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

②技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

②技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原理・効果を活用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

Ⅲ. ライフサイエンス・健康・医療領域

ナノテクノロジーを駆使して初めて可能となる診断・治療により革新的な医療を実現する。

(1) 次世代DDS型悪性腫瘍治療システムの研究開発事業（運営費交付金）（再掲）

（深部治療に対応した次世代DDS型治療システムの研究開発事業）

①概要

DDSのさらなる裾野の拡大、及び早期実用化を目指し、様々な外部エネルギー（機器技術）と薬剤技術を組み合わせることにより、比較的人体の深部にある臓器（肺、消化器）等のがんを対象としたDDS型治療システムの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

光線力学治療システムの前臨床試験の開始及び治療効果・安全性の検証と、超音波診断・治療システムの前臨床試験を可能とする薬剤及び装置の完成に関する開発を難治性がんの治療に向けて行う。

③研究開発期間

2006年度～2009年度

(2) 個別化医療実現のための技術融合バイオ診断技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

我が国が有する微細加工技術・表面処理技術といったナノテク等の強みを活かし、染色体異常を高感度、高精度かつ迅速、安価で非コード領域までを検出するゲノムアレイや解析基盤技術開発を行うとともに、全自動解析システムの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、BAC（染色体の断片）を用いた非コード領域を含むゲノム全領域を検出できる高精度ゲノムアレイを開発する。さらに、臨床現場において、微量サンプル（数ナノグラム）から、12時間以内に染色体異常（増幅、欠失、コピー数多型等）を、低コストかつ定量性・再現性を確保して検出ができる自動染色体異常解析システムのプロトタイプを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 分子イメージング機器研究開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

(3-1) 生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器研究開発プロジェクト

①概要

細小血管の分子レベルでの代謝機能を非侵襲で可視化する細胞代謝イメージングを実現し、代謝異常を細胞レベルで観察することにより、循環器系疾患等の早期の診断・治

療を図る。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、ナノテクノロジーを活用した光学基盤技術等を確立することにより、細胞やタンパク質レベルの組織診断を可能とする機器を開発する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(3-2) 悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト

①概要

良性・悪性の区別も含めた腫瘍の超早期診断を実現するため、悪性腫瘍に特異的に反応する標的物質を利用することにより生体細胞の分子レベルの機能変化を抽出・検出できる機器の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、全身で3mm、局所で1mmの分解能を有する分子イメージング機器を開発する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

IV. エネルギー・資源・環境領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に我が国の強みであるナノテク関連産業・部材産業の競争力を強化する。

(i) エネルギー制約の克服

(1) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融（インフライトメルティング法）し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率（熱の伝わりやすさ）が $0.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、光（可視光）透過率が65%以上（Low-Eガラス使用）、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、 $20\text{Wh}/\text{Kg}$ の高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 発電プラント用超高純度金属材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(7) セラミックリアクター開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時（650℃以下）での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証（出力性能2kW/L等）を行う。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(8) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト（再掲）

①概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法（クロール法）を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年

までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

③研究開発期間

2005年度～2008年度

(ii) 資源制約の克服

(1) 希少金属代替材料開発プロジェクト（運営費交付金）

①概要

希少金属は、特殊用途において希少な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となり得るリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来出来なかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替／使用量低減技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

〔対象元素〕	〔使用原単位の低減目標値〕
・透明電極向けインジウム（In）	：現状から50%以上低減
・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）	：現状から30%以上低減
・超硬工具向けタングステン（W）	：現状から30%以上低減

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(iii) 環境制約の克服

(1) グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発

①概要

化学品等の製造プロセスにおけるシンプル化、クリーン化、原材料・資源の多様化、更に、廃棄物の減容化、容易なリサイクル等を実現し、産業競争力強化、国際規制の先取りを図って、将来にわたっても持続的に化学品等を製造するための必要な新規なGSC（グリーン・サステイナブルケミストリー）プロセスを開発する。

②技術的目標及び達成時期

2015年度までに、有害な化学物質を大幅に削減、使わない革新的なプロセス及び化学品の開発や廃棄物、副生成物の大幅に削減できる革新的なプロセス及び化学品の開発を行う。

③研究開発期間

2008年度～2015年度

(2) 次世代高信頼性ガスセンサ技術開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー (COセンサー・メタンセンサー) を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性 (数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサーを開発する。

③研究開発期間

2008年度～2011年度

(3) 革新的膜分離技術の開発 (再掲)

①概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率 (省エネ) な分離技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、ナノテクノロジー等新技術を用いて新素材を開発し、高度な水質制御と高速処理を兼ねた膜ろ過システムを開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(4) 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト (運営費交付金)

①概要

我が国で発見された光触媒技術の新産業分野開拓を目指し、サイエンスにさかのぼることにより、紫外光のみならず、可視光レベルでの性能・機能の飛躍的な向上のための技術基盤を構築する。これにより、従来では困難とされてきた医療関連分野や土壌処理、PFC処理/フッ素回収などの環境関連分野等に光触媒技術を導入し、光触媒の最大のメリットである自然エネルギーを利用した安心・安全な環境を提供できる技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、材料レベルで紫外光応答型2倍、可視光応答型10倍の感度向上を達成し、その高感度光触媒を適用した薄膜プロセス技術の基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー供給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 高感度環境センサ部材開発*

①概要

ダイオキシンをはじめとする微量有害有機物質を高感度・高選択・安価・迅速に計測するため、分子認識部位として生体分子を用い、有害有機物質の結合の有無・量を直接電気信号に変換するセラミックスセンシング材料（電極材料）を用いたセンサ部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、ダイオキシン類、エストラジオール及びビスフェノールAについて、0.001ng・mlの濃度において有意な電気信号として検出し得る小型・携帯型計測器に挿入可能な寸法のセンサ部材の開発を目標とする。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

V. 材料・部材領域

極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進し、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。

(1) 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発（運営費交付金）

①概要

複合化金属ガラス（金属ガラスマトリックス中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させたもの）を創製して、次世代高密度記録媒体、超微小モータ用部材および高強度・高導電性電気接点部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単層合金の持つ優れた特徴に加えて、塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性等を付与する。この

複合化金属ガラスの新規特性を用いて、従来の金属ガラス単層合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで、我が国産業の優位性を確保する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) 超ハイブリッド部材技術開発（運営費交付金）

①概要

従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能（トレードオフ機能）を両立できる材料を、異種素材の組合せ（ハイブリッド化）により実現するための技術を開発する。要素技術として、異種材料間の界面挙動をシミュレーション技術等により解明し、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、自動車用構造材料、パワーデバイス用材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、電気・電子材料、光学材料、その他工業材料について従来材料では実現できなかった相反機能を解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)、及び金属組織制御技術を基本とする材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト* (運営費交付金)

①概要

マグネシウム合金部材について、製品歩留まりが高く、高耐疲労性を付与する鍛造技術の開発を行う。また、循環型素材としてのマグネシウム合金部材の特性を活かし、リサイクル材の鍛造用ビレット化に係る課題抽出を行う。当該技術開発により、マグネシウム鍛造部材製造技術の基盤を構築し、我が国の家電、自動車等の川下産業の競争力の強化に不可欠な高度部材を供給する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに高強度・高耐疲労・加工性に優れたマグネシウム鍛造技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発* (運営費交付金)

①概要

電界紡糸や熔融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ熔融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 次世代光波制御材料・素子化技術* (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

VI. ナノテクノロジー・部材分野推進共通基盤領域

ナノテクノロジー、部材分野の研究開発に必要な加工・計測・解析技術等の共通基盤の確

立とともに、信頼性、普遍性、安全性等のリスク不安に対処したリスク管理手法を開発し、社会に貢献する産業化の支援を相互的に推進する。

(1) ナノ粒子の特性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション及び計測技術を確立するとともに、2010年までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ材料のリスク評価指針及びナノ粒子の管理指針の提言を行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 高度分析機器開発実用化プロジェクト*（再掲）

①概要

燃料電池・情報家電・ナノテクといった先端新産業において、材料解析・性能評価・品質管理等で必要とされる超微量・超低濃度試料の分析技術の開発を行う。これら産業化の各フェーズに適した分析技術を開発することにより、先端新産業の事業化や製品の高付加価値化を図る。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに希ガスイオン源を搭載した集束イオンビームの開発、低加速・高分解能・高感度の元素分析用顕微鏡の開発、超微量試料用分離・分析技術の開発を行う。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

注：*印のある研究開発プロジェクトは2006年度より開始された新産業創造高度部材基盤技術開発の一環として実施しているもの。

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

〔技術戦略マップ〕

- ・NEDO及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテク・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進しているところ。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進する。

〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・NEDOでは、実施するナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施しているところ。

〔基準・標準化〕

- ・ナノテクノロジーの標準化については、研究開発プロジェクトを推進する上で、適切な活動（国際規格ISO/IEC、日本工業規格JIS、その他）を実施し、我が国のナノテクノロジー分野の研究開発、産業活動の効率向上を図り、研究開発の成果が社会で普及する環境を整備する意味でも重要である。これまでの主な取組みについては、下記のとおり。
- ・2005年5月にナノテクノロジーの標準化に向けてISO/TC229の設立がされ、「用語と命名法」、「計測とキャラクタリゼーション」、「健康・安全・環境」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始された。
- ・また、2007年6月にシンガポールで開催された第5回総会以降、「材料規格」の分科会の設立に向けて対応しているところ。
- ・さらに、2006年9月にはナノテクノロジーに関する電気電子技術の標準化に向けてIEC/TC113が設立され、「用語と命名法※」、「計測とキャラクタリゼーション※」、「性能評価」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始されている。（なお、※はISO/TC229とのジョイントWGとなっている。）

〔広報〕

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nano tech」が毎年日本で開催されている。2002年に開催された第1回以降、出展者来場者ともに増加傾向にあり、近年は海外、とくにヨーロッパ・アジア等の出展が目立つようになってきている。

〔社会受容〕

- ・ナノテクノロジーの社会受容に対する取組みは、ナノテクノロジーの産業化を推進するため、例えば工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響など、潜在的な課題に関する知見を蓄積する取組みが重要である。

- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」を開始し、工業ナノ粒子の有害性評価手法、また、そのリスク評価手法の確立を目標としたプロジェクトを開始しているところ。

〔人材育成〕

- ・経済産業省では、「製造中核人材育成事業」を実施しており、産学連携による波及効果の高い人材育成プログラムを開発、実践している。ナノテクノロジー関連の人材育成プログラムも複数実施しているところ。

（例）ナノテク製造中核人材の養成プログラム

概要：情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できず人材」を育成するもの。

- ・NEDOでは、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取り組みを実施している（NEDO特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施しているところ。

〔他省庁との連携〕

- ・総合科学技術会議／連携施策群において、「ナノバイオテクノロジー」「ナノテク研究推進と社会受容」が設置され、関係省庁と連携して実施しているところ。
- ・経済産業省が実施する研究開発プロジェクトにおいては、文部科学省など他省庁との連携の可能性について検討を行い、研究開発プロジェクトの立案、推進しているところ。

（例）ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発ーうち新材料・新構造ナノ電子デバイスプロジェクト、希少金属代替材料開発プロジェクト など

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け制定。
- (2) 平成14年2月28日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成12・12・27工総第16号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成14・02・25産局第8号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成15・03・07産局第1号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成16・02・03産局第7号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成17・03・25産局第4号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成18・03・31産局第13号）は、廃止。
- (8) 平成14年2月28日付け制定。
- (9) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (11) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (13) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。
- (14) 平成20年4月1日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成19・03・20産局第1号）および革新的部材プログラム基本計画（平成19・03・19産局第4号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

環境安心イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術の開発等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制（リデュース）、製品や部品の再利用（リユース）、原材料としての再利用（リサイクル）推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

2. 政策的位置付け

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）及び分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点推進分野である環境分野及び国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発の推進分野であるエネルギー分野に位置付けられるものであるほか、次のとおりである。

- 「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」（2003年4月総合科学技術会議）

総合科学技術会議重点分野推進戦略専門委員会に設置された温暖化対策技術プロジェクトチームでまとめられた上記報告書における研究開発推進戦略に対応するものである。

- Cool Earth—エネルギー革新技术計画（2008年3月経産省公表）
重点的に取り組むべきエネルギー革新技术「21」を含むものである。
- 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）
目標達成のための対策と施策のうち地球温暖化対策技術開発の推進に位置づけられるものである。
- イノベーション25（2007年6月閣議決定）
イノベーション立国に向けた政策ロードマップ—技術革新戦略ロードマップ「世界的課題解決に貢献する社会—ものづくり技術分野」の中で「3R型設計・生産・メンテナンス技術、製品の設計・製造段階でのリサイクル阻害物質の使用排除を可能とする技術、製品中の有用・有害物質管理技術の開発・標準化」が資源を有効利用し、環境に配慮したものづくり技術として位置づけられている。
- 21世紀環境立国戦略（2007年6月閣議決定）
今後1、2年で重点的に着手すべき八つの戦略の中で「3R関連法制度等の充実や技術開発の支援を通じて、製品のライフサイクル全体での天然資源投入量の最小化や再生資源の高付加価値製品への利用を促進し、資源生産性の更なる向上と環境負荷の低減を図る」との方針が示されている。
- 経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

「環境と経済の両立を図るため、金融面からの環境配慮を進めるとともに、環境技

術の開発、3Rイニシアティブやアジア環境行動パートナーシップ構想による優れた技術・制度の国際的な普及と標準化等に向けた取組を進める」との方針が示されている。

- 産業構造審議会廃棄物・リサイクル小委員会基本政策ワーキンググループ報告書（2008年1月）

「近年、安定供給が懸念されているレアメタルの中には、使用製品からの回収・再利用技術が確立していないものもあることから、回収された使用済製品から効率的に抽出するための新たな技術の開発にも取り組むべきである。」とされている。

- バイオマス・ニッポン総合戦略（2006年3月閣議決定）

バイオマスの変換に関する戦略として、経済性の向上、革新的な変換技術の開発に取り組むこととしている。

- 新産業創造戦略2005（2005年6月経済産業省）

先端的新産業分野として揚げられた戦略7分野の一つの「環境・エネルギー・機器・サービス」及び「健康・福祉・機器・サービス」に該当し、「技術戦略マップ」を活用し、効果的な研究開発を促進することが今後の取組として指摘されている。

- 「新・国家エネルギー戦略」（2006年5月経済産業省）

省エネルギーフロントランナー計画において省エネルギー技術開発の一層の推進を図ることとしている。

- バイオテクノロジー戦略大綱（2002年12月BT戦略会議取りまとめ）

持続可能な快適社会の実現（よりよく暮らす）に向けて、バイオテクノロジー（BT）を活用して、画期的な新製品の開発と工業生産の抜本的効率化を図るとともに、生産に要する環境負荷を大幅に減少させることとしている。

3. 達成目標

I. 地球温暖化防止新技術

- (1) 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標のもと、経済成長と温室効果ガスの排出削減の双方を同時に達成できる革新的技術を開発し、それらを通じて2013年以降の次期枠組みに主要排出国の参加を促すための国際協力を推進

【目標】 世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減

- (2) 「京都議定書」で課せられた温室効果ガス削減目標の達成

（「京都議定書目標達成計画」に示された各部門の目安としての目標（基準年比）は以下のとおり）

【目標】

- ① エネルギー起源CO₂： +0.6%
- ② 非エネルギー起源CO₂： ▲0.3%
- ③ メタン： ▲0.4%
- ④ 一酸化二窒素： ▲0.5%
- ⑤ 代替フロン等3ガス： +0.1%

（※）「京都議定書目標達成計画」とは、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき、「京都議定書」の▲6%削減約束を確実に達成するために必要な措置を

定めるものをいう（平成17年4月閣議決定、平成18年7月一部変更）。

II. 3R

2015年度までに以下の目標の達成を図る。

- ① 資源生産性：約42万円/トン（2000年度：約26万円/トン）
- ② 循環利用率：約14～15%（2000年度：約10%）
- ③ 最終処分量：約23百万トン（2000年度：約56百万トン）

（備考）

- 資源生産性＝(GDP)/(天然資源等投入量)
- 循環利用率＝(循環利用量)/(循環利用量＋天然資源等投入量)

III. 環境調和産業創造バイオ

バイオプロセスによって有用物質を生産し、廃棄物や汚染物質を発酵等により処理又は再資源化するという、循環型の産業システムを実現するために必要な技術基盤の構築を図るとともに、遺伝子組換え体の産業利用における安全性管理の充実を図る。具体的には、工業プロセスにバイオテクノロジーを導入することや、微生物や植物機能等を活用したモノ作り技術の開発、バイオマス利用、及びバイオ技術による産業廃水等処理技術の開発等を通して、環境調和型産業の創出に資する。

IV. 化学物質総合評価管理

化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。そのために、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、リスクの削減に資するプロセス、手法の開発、さらには知的基盤を整備する。

4. 研究開発内容

I-1. CO2固定化・有効利用技術

排出される二酸化炭素を分離回収・固定化することや、有用物質に変換する技術を開発する。

(i) 共通技術開発等

(1) プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発

①概要

二酸化炭素の固定化・有効利用技術開発は、現時点においては基礎的研究分野に属する研究が多く、長期的観点からの取り組みが必要不可欠。このため本事業では将来において実現可能性の高い二酸化炭素固定化・有効利用技術に関する革新的な技術シーズを発掘し、実現可能性を確認した上で、基盤技術として確立する。

②事業期間

1999年度～2011年度

③実施形態

適切な研究課題、実施企業等を選定し、先端的研究、基盤技術研究の2段階で

実施。

(2) 地球環境国際研究推進事業

①概要

地球温暖化問題の解決に向け、C T I（気候変動技術イニシアティブ）等の国際的な枠組みを活用し、諸外国との研究協力を進めることにより、世界的な温暖化問題への取り組みを強化する。

②事業期間

2002年度～2011年度

③実施形態

諸外国との連携のもと、テーマ毎に適切な研究体制を構築し実施。

(ii) 二酸化炭素分離回収・貯留・隔離技術開発

(1) 低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発

①概要

二酸化炭素を分離回収するための、低温再生可能な吸収液を開発し、鉄鋼プラントの低温度レベルの廃熱と高濃度二酸化炭素排ガスを用いてパイロット試験を実施して、二酸化炭素分離回収コストが大幅に削減されることを実証する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、CO₂分離回収コストを大幅に削減する技術を実証する。

③研究開発期間

2004年度～2008年度

(2) 分子ゲート機能CO₂分離膜の技術研究開発

①概要

圧力を有するガスからのCO₂/H₂の分離用に期待されている膜技術の実用化ステップの前進を目的に、分子ゲート機能分離膜の高圧下におけるCO₂/H₂選択性の向上、分離膜モジュールの大型化に取り組む。

②技術目標及び達成時期

2015年頃において、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の圧力ガスから従来の3分の1程度（1,500円/t-CO₂程度）のコストでCO₂を分離回収することを可能とする技術の確立を目指す。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 二酸化炭素地中貯留技術研究開発

①概要

火力発電所等の大規模発生源から分離回収された二酸化炭素を地中帯水層へ貯留する技術を開発し、実証する。

②技術目標及び達成時期

貯留した二酸化炭素のモニタリング技術、挙動予測手法、環境影響・安全性評価手法の開発、及び全国貯留層賦存量調査を行う。さらに、早期に火力発電所等の大排出源を対象とした大規模実証に着手し、2020年までに実用化の目途を

つけることを目指して技術開発を推進する。

③研究開発期間

フェーズ1：2000年度～2004年度

フェーズ2：2005年度～2012年度

(4) 二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発

①概要

火力発電所等の大規模発生源から分離回収された二酸化炭素を海洋中層に放流・隔離を行った場合に、海洋環境へおよぼす影響を評価する技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、海洋隔離に伴う海洋中二酸化炭素の挙動予測技術の確立、隔離可能性及び有効性評価、生物影響評価技術の開発を推進する他、国際的な連携の強化と海洋隔離実施に対する国際的・社会的合意の形成に向けた取り組みを行う。

③研究開発期間

フェーズ1：1997年度～2001年度

フェーズ2：2002年度～2006年度

フェーズ3：2007年度～2011年度

(5) 環境調和型製鉄プロセス技術開発（運営費交付金）

①概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素（コークス）の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

②技術目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO₂排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

③研究開発期間

2008年度～2017年度

(iii) 大規模植林

(1) バイオ技術活用型二酸化炭素大規模固定化技術開発

①概要

バイオエタノール化に適した樹木への環境耐性付与を遺伝子技術により実施し、これら原料樹木の不良環境下での効率的な植林技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

事業4年目までに、未利用の不良環境地でも生育できる高セルロース樹木を遺伝子技術により開発し、実証植林を行う。

③研究開発期間

2008年度～2011年度

I-2. 脱フロン等技術

代替フロンの排出量を抑制するため、代替フロンを削減する技術（脱フロン等技術）を開発する。

(1) 革新的ノンフロン系断熱材技術開発（運営費交付金）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅・建築物の省エネルギーという社会適用性に応えるため超微細発泡等による断熱性能の向上のための技術開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

既存のノンフロン断熱材では達成できていない断熱性能を実現し、更には従来のフロン断熱材の断熱性能を超える高断熱性能を実現する断熱材を平成24年頃を目途に開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発（運営費交付金）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、家庭用・業務用及び運輸用エアコン及びショーケース等に使用可能なノンフロンかつ高効率を達成でき、安全性についても配慮された新たな冷凍システムの開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

2009年度までに、ノンフロン（自然冷媒等）型省エネ冷凍・空調システムを開発する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

II. 3R

(i) 建設ストック3R対策

(1) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発（再掲）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国鉄鋼業の約50%を占める建設市場において、建築物のメインフレームに高強度鋼を用いることで、①鉄鋼部材の軽量化（リデュース）とそれに伴う輸送効率の向上、②高強度化、非溶接化に伴う部材のリユース促進、③製造・施工の省エネ・省力化等を図る。

同時に、柔剛混合構造（高強度鋼とダンパーの組み合わせ）技術の確立、関連法規への対応等により、震度7にも耐えうる新構造システム建築物の建設が可能となり、我が国で大きなリスクである大規模地震災害から国民を守り、安心安全社会の実現に寄与する。

②技術目標及び達成時期

2013年度までに、最大規模の地震（震度7）に対しても倒壊・損壊しない建築物を高強度鋼（800N/mm²級鋼材）とダンパーの組み合わせによる柔剛

混合構造により実現を図るものであり、国土交通省や民間企業と連携してこの建築物のメインフレームに必要な高強度鋼部材、接合法等の開発を行う。主な研究開発目標は以下の通りである。

- ・ 震度7弾性新構造システム開発
- ・ 高強度部材の製造技術開発
- ・ 超高強度接合部品開発
- ・ 高強度部材の接合技術開発

③研究開発期間

2006年度～2008年度

(ii) 金属資源等3R対策

(1) 希少金属等高効率回収システム開発（再掲）

①概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

②技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法（乾式製錬）で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現（省エネルギー効果：原油換算で約78万kl/年削減）
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上（インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%）

③研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 希少金属代替材料開発プロジェクト（再掲）

①概要

希少金属は、特殊用途において希少な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となりうるリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来できなかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替/使用量低減技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以

下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

- ・透明電極向けインジウム（In）：現状から50%以上低減
- ・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）：現状から30%以上低減
- ・超硬工具向けタングステン（W）：現状から30%以上低減

③研究開発期間

2007年度～2011年度

Ⅲ. 環境調和産業創造バイオ

(1) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

(i) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

③研究開発期間

2002年度～2009年度

(ii) 植物利用高付加価値物質製造基盤技術開発

①概要

動物や微生物による物質生産と比較して、安全性が高い、生産コストが低い、省エネルギーで環境調和型といった特徴を有する植物を活用した高機能タンパク質等の高付加価値物質生産（モノ作り）の基盤技術を開発するために、有用物質を高効率に高生産させる組換え植物の基盤技術を開発するとともに、閉鎖型人工環境下での高効率な栽培技術の開発を一体的に進める。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、実用植物において実用可能なレベルまで有用物質を効率的に高生産・高蓄積させる組換え植物を開発するとともに、目的有用物質を安定かつ均一に生産・蓄積させる栽培技術を確立し、その生産の実用性を閉鎖型人工環境下において確認する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(2) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発 (再掲)

(i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 (運営費交付金)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス (モノ作り) の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する (バイオリファイナリー) ための基盤技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 (運営費交付金)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御 (デザイン化) することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(3) バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発 (再掲)

①概要

バイオマスに関する燃料分野と化成品分野の融合・連携を図り、食料と競合しないセルロース系原料から、より低コストで高効率なエネルギー化を可能にする先進的・革新的な新技術の確立を目指すとともに、バイオ燃料の製造のみならず、プロパノール、ブタノール製造、化学品の製造の実用化を目指した技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、セルロース系バイオマスを原料とし、バイオ燃料製造の従来技術に比べて画期的に優れた効率や低コスト化を可能とする糖化・発酵等の基盤

技術を開発するとともに、バイオマス利用に資する微生物の利用基盤技術の開発を行う。さらに、プロパノール等の高効率取得のための触媒開発等により、化成品製造の実用化を目指した技術開発を行い、バイオマスに関する燃料分野と化成品分野の融合・連携を図る。

③研究開発期間

2007年度～2012年度

IV-1. 化学物質総合評価管理

(1) 化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発（運営費交付金）

①概要

化学物質のリスクを共通指標で比較、検討し、事業者等における代替物質の選択の際に、リスクの相互比較が可能となるリスク評価手法及び社会経済分析等リスクトレードオフ解析手法を構築する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、代表的な化学物質用途群につき、化学物質のライフサイクルに応じたあらゆる暴露を考慮した排出量推計手法や室内暴露評価手法等環境動態解析手法を構築する。さらに、用途群内の物質間でのリスクトレードオフ解析手法を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノ粒子の特性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション及び計測技術を確立するとともに、2010年までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ材料のリスク評価指針及びナノ粒子の管理指針の提言を行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 構造活性相関手法による有害性評価手法開発（運営費交付金）

①概要

従来の動物実験による反復投与毒性試験に代わり、*in silico* や類推等を用いた予測・評価を可能とするため、既知の周辺情報やそれらから得られる新たな知見を基に、よりの確に効率よく毒性を評価可能とする有害性評価支援システムを構築する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、公開されている反復投与毒性試験データや毒性作用機序情報が搭載されたデータベース、肝臓における代謝産物・代謝経路を予測する手法、及び対象とする化学物質の標的臓器・症状やその毒性の強さの範囲等を予測する手

法を開発する。さらに、それらを統合した有害性評価支援システムを構築する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro* 培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた *in vitro* 系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

IV-2. 化学物質リスク削減技術開発

(1) 有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発（運営費交付金）

①概要

環境中に広く排出され、人の健康や生態系へのリスク（有害性×暴露量）を及ぼすおそれのある有害化学物質を効率的に削減、代替する技術について、リスク削減効果が高く、広く導入・普及が可能となる実用化基盤技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、PRTTR制度（化学物質排出把握管理促進法に基づき有害なおそれのある化学物質について、事業所からの環境中への排出量及び廃棄物としての事業所外への搬出量等を把握・集計・公表する制度）の排出実態の公表結果等を活用し、環境影響が懸念される有害化学物質の優先順位付けを行い、選定された有害化学物質に対する削減、回収、無害化技術、代替物質の開発及び代替プロセスの構築等を行う。特に、2005年度から大気汚染防止法において規制対象となる揮発性有機化合物（VOC）に重点を置き、同法で定められた「VOCの排出量を2010年度までに2000年度比で3割削減すること」に資する技術開発を行うこととする。

③研究開発期間

2004年度～2008年度

(2) アスベスト含有建材等回収・処理等技術開発事業（運営費交付金）

①概要

今後、解体廃棄物として、大量の排出が予測されるアスベスト含有建材を対象と

して、そのアスベスト含有状況について簡易かつ確実な探知・分析を可能とし、安全性、信頼性の高い回収・処理を実現する関連機器・システムの技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、アスベスト含有製品の使用時、解体・回収・廃棄時においてオンサイト方式で検出感度0.1wt%超レベルに検出できる計測技術を確立し、アスベストを含む建材等の回収・除去現場におけるアスベストの飛散及び暴露を最小化し、回収・除去の安全性及び信頼性等を確保する技術を確立する。また、アスベスト含有廃棄物の無害化処理又は再資源化段階における安全性、効率性に優れた技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2009年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

【導入普及促進】

- 排出量の多い品目・業種や処理困難物を中心にリサイクルシステムなどの実証・市場化対策に関するフィージビリティ・スタディを実施する。
- サプライチェーングループを対象に、部品等の仕様と原材料の使用・副産物の発生状況等に関する診断を実施し、製品設計及び製造プロセスの同時改善の方向性に関する提案、指導を行うとともに、取組事例を分析・評価し、資源投入量の抑制効果の高い優良な事例を公開する。
- 商品選択に資するわかりやすい3R配慮情報（省資源性や再生資源・部品の使用状況等）を消費者に提供し、環境配慮型製品の市場拡大を推進するため、指標の策定や、情報提供手法の確立、製品の情報検索が可能なシステムの検討・開発を行う。
- 3R対策が講じられている製品等の市場開拓を促進するため、政府が環境物品等を率先購入することを定めたグリーン購入法について、同法の判断基準が引き続き3R対策を適切に反映するようにしていく。
- 化学物質の有害性評価、暴露分析、リスク評価等のデータベースの構築を図るとともに、それらの手法の各種活動（事業者の自主管理活動、事業者、地方自治体等が国民とリスクコミュニケーションを図る活動等）等への導入を図る。
- 公害防止設備に対する優遇税制等の支援を行う。

【法規制・制度改革】

- 二酸化炭素回収・貯留（CCS）の国内での本格実施に必要な法規制・制度の整備等に関して検討を行う。
- 資源有効利用促進法等のリサイクル関連法制度によるスキームを活用して、3R対策を網羅的に講じることにより、循環型社会の構築を図る。
- 遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）に基づく立入検査で査収した生物が遺伝子組換え生物であるか否かを判断するための基盤的な技術の高度化や収去方法を確立すること等により、的確な法律の執行体制を整備する。

【ガイドライン】

- 事業者による自主的取組を促進する観点から、産業構造審議会において策定している「業種別・品目別廃棄物処理・リサイクルガイドライン」（自主的な目標の設定）につい

て、3R対策を加速する観点から適宜フォローアップを行い、改定を行う。

【基準・標準化】

- 各プロジェクトや民間における技術開発等で得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。
- CO₂回収・貯留後のモニタリング、植林等によるCO₂固定化量の計算、バイオマス利用時のCO₂排出削減量の評価、環境影響や安全性評価手法など、CO₂固定化・有効利用を推進するに当たって標準化が必要となる事項については、研究・開発状況や社会情勢を常に意識しながら計画的に標準化を推進する。
- リサイクル品などの3R配慮製品に対する需要の創出・拡大を図るため、「環境JIS策定促進のアクションプログラム」に基づき、リサイクル品等の品質基準及び試験評価方法の規格（環境JIS）の策定を引き続き推進する。
- バイオマス由来プラスチックにおけるバイオマス含有量測定の標準化を推進するとともに、生分解性プラスチックに係る微生物嫌気分解試験方法の国際標準化を着実に実施する。
- 高精度・簡易有害性評価システムの開発については、2014年度を目途に有害性評価手法等を経済開発協力機構（OECD）にテストガイドラインとして提案することを検討し、国際標準化を推進する。

【調達促進】

- バイオマス由来プラスチック等、生物機能を用いた生産プロセスにより生産された製品について、グリーン購入法に基づく調達品目として位置付けられるべく検討を行う。

【広報・啓発】

- 研究開発プロジェクトの成果について広く普及啓発を図るため、シンポジウム等を行う。
- 3Rの普及・促進を図るため、毎年10月を「3R推進月間」とし、この期間を中心として、3R活動への関係者の取組を促すための「3R推進功労者等表彰」や、循環ビジネス振興のための「資源循環技術・システム表彰」等の普及啓発活動を実施する。

【知的基盤整備】

- 国内外との共同研究等を通じ、革新的な温暖化対策技術や方策についての情報交換に資する、情報ネットワークの構築等を図る。
- 物質生産用に開発された汎用宿主細胞や取得した生物遺伝資源は、独立行政法人製品評価技術基盤機構に整備し、社会に幅広く提供する。
- 独立行政法人製品評価技術基盤機構の化学物質管理センターにて事業者・国民・公的機関の化学物質管理に関する冷静な対話（科学的知見の共有）を促進するための知的情報基盤整備を図る。

【国際協力】

- 生物多様性条約に基づく遺伝子資源へのアクセス促進事業において、日本のバイオ関連企業の遺伝資源保有国（途上国）の遺伝資源に対するアクセスを促進するための技術的環境整備及び遺伝資源へのアクセス実施の調整を行う。

【他省庁との連携】

- 総合化学技術会議が推進する科学技術連携施策群の「食料・生物生産研究」及び「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための開発技術」、ライフサイエンス

PT、社会還元プロジェクトの下での関係府省間における適切な連携の実施。

【プロジェクト等間の連携】

- CO₂固定化・有効利用技術のロードマップに基づき、技術シーズ発掘型技術開発事業成果のプロジェクトへの取り込みや、プロジェクト間の連携により、効果的な固定化・有効利用システムの実現を図る。
- 植物機能を活用したモノ作り基盤技術開発に係る2つのプロジェクト間での、遺伝子高発現技術やモデル植物での基盤技術及び実用作物への技術展開に関する情報交換を推進する。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

- ・事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。
- ・プログラム目標等については、京都議定書目標達成計画の評価・見直しプロセスに伴う対応を行う。
- ・各プロジェクトを横断的観点からマネジメントする体制を整備し、技術の進捗状況や社会情勢等を踏まえた適切な資源配分、技術成果のレビュー、普及施策の検討、実施すべき技術開発テーマ・領域・分野等の検討等を実施する。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。
- (2) 平成14年2月27日付け、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画制定。生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成12・12・27工総第15号）は、廃止。平成14年2月28日付け、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画、3Rプログラム基本計画、化学物質総合評価管理プログラム基本計画制定。化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成12・12・27工総第14号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第16号）、3Rプログラム基本計画（平成14・02・25産局第13号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成14・02・25産局第5号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成14・02・25産局第7号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。革新的温暖化対策技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第18号）及びエネルギー環境二酸化炭素固定化・有効利用プログラム基本計画（平成15・03・07産局第19号）は、革新的温暖化対策技術プログラム基本計画に統合することとし、廃止。3Rプログラム基本計画（平成15・03・07産局第6号）、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画（平成15・03・07産局第3号）、化学物質総合評価管理プログラム基本計画（平成15・03・07産局第8号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画（平成16・02・03産局第13号）、3Rプログラム基本計画（平成16・02・03産局

第5号)、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成16・02・03産局第15号)、化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成16・02・03産局第3号)は、廃止。

(6)平成18年3月31日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成17・03・25産局第8号)、3Rプログラム基本計画(平成17・03・29産局第1号)、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成17・03・25産局第2号)、化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成17・03・25産局第10号)は、廃止。

(7)平成19年4月2日付け制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成18・03・31産局第9号)、3Rプログラム基本計画(平成18・03・31産局第10号)、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成18・03・31産局第3号)、化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成18・03・31産局第11号)は、廃止。

(8)平成20年4月1日付け、環境安心イノベーションプログラム基本計画制定。地球温暖化防止新技術プログラム基本計画(平成19・03・19産局第6号)、3Rプログラム基本計画(平成19・03・19産局第5号)、生物機能活用型循環産業システム創造プログラム基本計画(平成19・03・16産局第2号)、化学物質総合評価管理プログラム基本計画(平成19・03・20産局第2号)は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(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」基本計画

ナノテクノロジー・材料技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

現在及び将来において我が国経済を牽引していく産業分野において、競争力を発揮し世界を勝ち抜いていくために、多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工との水平連携）による研究開発の推進により、当該市場のニーズに応える機能を実現する上で不可欠な高品質・高性能の部品・部材をタイムリーに提供し、又は提案することができる部材の基盤技術を確立することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」、及び環境・資源制約を克服し循環型経済システムを構築することを目的とした「環境安心イノベーションプログラム」の一環として本プロジェクトを実施する。

希少金属は、我が国産業分野を支える高付加価値な部材の原料であり、近年その需要が拡大している。しかし、途上国における著しい需要の拡大や、そもそも他の金属と比較して、金属自体が希少であり、代替性も著しく低く、その偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高いこと等から、我が国の中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている。これに対する具体的な対策として、平成18年6月、資源エネルギー庁から報告された「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」において、①探鉱開発の推進、②リサイクルの推進、③代替材料の開発、④備蓄、等が整理され、現在それぞれにおける具体的な対策が進められている。

本研究開発は、この総合的な対策の一部として非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立を目的としている。

なお、平成18年3月28日に閣議決定された「第3期科学技術基本計画」では、「ナノテク・材料分野」を「重点推進4分野」の一つとして位置づけ、これに優先的に資源配分することとしている。本研究開発は、同分野に列挙されている「戦略重点科学技術」のうち「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」にあたるものであり、文部科学省の元素戦略プロジェクトと連携し基礎から実用化までの間隙のない支援体制を確立して行うもので、我が国の科学技術力の向上という観点からも極めて意義が高いものである。

(2) 研究開発の目標

最終目標では、以下希少金属元素の使用原単位（一製品当たり）について現状と比較して以下の低減が見込まれる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立する。また、製品の機能や製造コストは少なくとも現状と同等を維持することを前提とする。

対象元素	使用原単位の低減目標値	最終目標年度
透明電極向けインジウム (In)	現状から50%以上低減	平成23年度末
希土類磁石向けディスプロシウム (Dy)	現状から30%以上低減	
超硬工具向けタングステン (W)	現状から30%以上低減	
排ガス浄化向け白金族 (Pt)	現状から50%以上低減	平成25年度末
精密研磨向けセリウム (Ce)	現状から30%以上低減	
蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム (Tb・Eu)	現状から80%以上低減	

(3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。なお、研究開発項目⑥～⑧については、委託者選定後に具体的に設定する。

[委託事業]

- ①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発
- ②透明電極向けインジウム代替材料開発
- ③希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減技術開発
- ④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発
- ⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

⑥排ガス浄化向け白金族使用量低減技術開発及び代替材料開発

⑦精密研磨向けセリウム使用量低減技術開発及び代替材料開発

⑧蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム使用量低減技術開発及び代替材料開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

研究開発項目①～⑤は、経済産業省により、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者が決定され、共同研究契約等を締結する研究体が構築され、平成19年度より委託により実施されている。平成20年度より、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）が本事業を運営・管理するに当たっては、外部有識者から構成される技術評価委員会等を設置し、平成19年度の進捗状況を踏まえた事業内容・計画及び実施体制の妥当性についての審議に基づいた評価を行った上で委託して実施する。さらに、研究開発項目⑥～⑧については、平成21年度より、NEDO技術開発機構が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託して実施する。

また、各研究体の有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、各研究体には研究開発責任者（テーマリーダー）を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度、研究開発責任者等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

また、本研究開発プロジェクトは、文部科学省の元素戦略プロジェクトと研究開発推進にあたり、お互いの研究開発成果・課題等について議論する。さらに、得られた研究開発成果については、合同シンポジウム等により積極的に公開する。

3. 研究開発の実施期間

研究開発項目①～⑤については、平成20年度から平成23年度までの4年間とする。平成19年度に経済産業省が実施した「希少金属代替材料開発プロジェクト」事業について、平成20年度よりNEDO技術開発機構の事業として実施するものである。

研究開発項目⑥～⑧については、平成21年度から平成25年度までの5年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の評価として、研究開発項目①～⑤については、中間評価を平成21年度、事後評価を平成24年度に、研究開発項目⑥～⑧については、中間評価を平成23年度、事後評価を平成26年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期につ

いては、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者ともサンプル提供等普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、必要に応じてデータベースへのデータの提供、標準案の提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号に基づき実施する。

(4) その他

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程又は成果に基づき開発したプログラム、サンプル若しくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前に研究開発責任者とNEDO技術開発機構に連絡する。その際に、NEDO技術開発機構が申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成20年3月 制定。

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(3) 平成21年3月、新鉱種追加により改訂。

研究開発項目①「透明電極向けインジウム使用量低減技術開発」

1. 研究開発の必要性

現行のFPD用ITOターゲットは抵抗値、可視光領域での光透過性、良好なエッチング特性、アルカリ溶液での安定性の観点から In_2O_3 -90wt%+ SnO_2 -10wt%の組成比が主に利用されている。したがって、ITO製造におけるIn原単位を40%以上低減するために、従来のITO組成の In_2O_3 量を40%以上低減しても従来同等の導電性、エッチング性を維持する新規組成の開発を行う必要がある。 SnO_2 成分が増加すると抵抗率の上昇(高抵抗化)、難エッチング等の課題が予想されるため、抵抗率の上昇を解決する手段として低電圧スパッタ技術の導入、第4元素の添加を実施する。また、難エッチングの課題には H_2O 添加法の導入と第4元素の添加等を実施する。また、その後大型ターゲットの作製と工業化技術の開発を行うためには、第一原理計算による組成の適正化とそれらを基にした小型装置による省In組成のITO膜の実験的立証が必要である。

また、In量の使用原単位を10%以上改善するため、インジウムの使用効率をほぼ100%に高めることができ、さらに真空装置を使わず、エッチング工程が不要でエネルギー削減が可能なITOナノインクを使用した直接基板に描画する方法を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

(1)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

第4元素を添加することにより、ITO中のIn量を削減する新規組成ITOの開発を行い、かつ別途薄膜化技術を開発し、従来のITO組成で現状の薄膜のトータル厚さを削減する。これらの研究開発によりITO中のIn使用原単位の40%以上の削減を目標とする。

1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

(a)新規ターゲット組成開発

第一原理計算プログラムにより、超大規模シミュレーションをおこない、安定構造、状態密度、電荷密度分布等の解析を行う。得られた結果を用い、新組成ITO薄膜をコンビナトリアル実験手法により作製し、低抵抗、エッチング性、光透過度、高屈折率を向上した新規ターゲットを開発する。

計算機を用いた第一原理計算による手法とコンビナトリアル手法を用いた実験的検証の組み合わせにより、効率的に新規組成の省In組成のITO薄膜の開発を行う。基本的に第4元素は、できるだけ資源的に問題がないものを実施することとする。

(b)新規ターゲット組成のスパッタプロセスでの支援技術開発

当初、新組成が確定するまでは、 SnO_2 含有量を増やしたITOターゲット(SnO_2 含有量がMax. 50wt%)を作製し、基板上への成膜と薄膜評価を進める。第4元素を添加した新規組成を受け、本プロセスで薄膜測定を行い、プロセスの効果を明らかにする。

(c)新規ターゲットの開発(新規組成ターゲットの工業化技術開発)

ターゲットの大型化の問題点として、割れ、反り、低密度化がある。これらを解決するために、新規組成ターゲットの工業化技術開発を行う。

2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

1)の第4添加元素含有新組成の検討をするのと並行して、薄膜化(現状のITO膜構成よりも薄い膜厚)スパッタ技術によるInの省資源化を目指す。

(2)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減技術開発」

ITOナノインク塗布法の導入により、装置内壁付着とエッチングでロスしている分をなくし、従来ターゲットとして大量に循環していたInの削減を目指す。これらにより、製造工程で使用しているIn使用原単位の10%を削減する。

1) インクジェット法塗布用ナノインク開発

現在広く実施されている液相法により得られるITO粒子は一次粒子径10~50nmの凝集粒子で、

その粉末抵抗値は $\sim 0.1\Omega\text{cm}$ である。インクジェット法にて薄膜（膜厚 $< 200\text{nm}$ ）、低表面粗さ（ $R_a < 10\text{nm}$ ）の要求を達成するためにインク化工程で強力な分散処理を行うが、完全に分散することは出来ず、歩留まりも悪く、さらにITO粒子表面の酸化等により抵抗値が急激に上昇してしまうと言った問題がある。これを解決するために、ゾルゲル法を主流とした、現行法を改良又は全く新規に開発する新規単分散ITOナノ粒子合成法の開発を行い、インクジェット法に適した工業化技術開発を実施する。

2) 静電塗布用ナノインク開発

粒子合成では、大量生産の指標である、合成系の金属イオン濃度が 0.1mol/L 以上となる濃厚系での液相反応について、特に形態制御と単分散を実現するために、単分散粒子合成の一般的手法である、ゲルゾル法をさらに発展させて、ITO単分散ナノ粒子合成技術の完成を目指す。また、形態制御された比較的大型のナノ粒子（数十nm）とその大型ナノ粒子を結合させるための数nmの粒子を合成し、最密充填を実現するための分布とその分布を実現するための静電塗布法を開発する。

3) シミュレーション

ナノ粒子の形状及びその集合分布を様々に変化させる事が可能なプログラムを開発する。それを用いて、さまざまなナノ粒子形状についてのシミュレーションを行い、表面充填率とナノ粒子量との関係から、塗布剤の最適な充填率を決定する。得られた結果を実験にフィードバックする。

3. 達成目標

中間目標：平成21年度

(1) 新規ターゲット組成では、小型スパッタリングの実験装置でシート抵抗 $50\Omega/\text{sq}$ を実現する。

薄膜化スパッタ技術開発では、ITO膜厚を 100nm 以下で透過率 85% 以上（測定波長 550nm ）を達成する。

以上の結果からInの使用原単位を 40% 以上削減できることを実験的に立証する。

(2) ナノインクによる電導膜について、透過率 80% 以上、ヘイズ 2% 以下、表面抵抗率 $1000\Omega/\text{sq}$ 以下を達成可能な塗布法の開発を目標とする。

以上の結果からInの使用原単位を 6% 以上削減できることを実験的に立証する。

最終目標：平成23年度

(1) 新規ターゲット組成では、所定の諸特性（体積抵抗率 $200\sim 250\mu\Omega\text{cm}$ 、透過率は波長 550nm で 85% 以上、エッチング性、高屈折率）を満足する材料を開発する。また、新規組成ターゲット作製工程の最適化を行い高密度（ 99.5% 以上）ターゲットの工業化技術を完成させる。

薄膜化スパッタ技術開発では、スパッタリング法における大型FPD用のITO膜の厚さを両面合せて現状値 220nm から 100nm 以下とし、シート抵抗 $16\Omega/\text{sq}$ （ $160\mu\Omega\text{cm}$ ）以下、透過率 85% 以上（測定波長 550nm ）とする製造技術を開発することを目標値とする。

以上の技術を確認しInの使用原単位を 40% 以上削減できる工業化・製造技術を確認する。

(2) インクジェット法では、焼成温度 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 、膜厚 $< 150\text{nm}$ （ $R_a < 10\text{nm}$ ）、抵抗値 $< 5 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}$ 、透明性 $> 96\%$ （ $450\sim 800\text{nm}$ ）、耐擦性 $> 3\text{H}$ を満足するITOインクの確立を目指し、In使用原単位削減率 10% を達成可能なインクジェット用ナノインクの開発を目標とする。

静電塗布法では、塗布プロセスと条件の最適化により、焼成温度 200°C 以下で、膜厚 200nm 以下、透過率 90% 以上、ヘイズ 1% 以下、表面抵抗 $100\Omega/\text{sq}$ 以下を目指し、In使用原単位削減率 10% を達成可能な塗布法の開発を目標とする。

以上の技術を確認しInの使用原単位を 10% 以上削減できる工業化・製造技術を確認する。

上記(1)、(2)の目標達成により、現在のITO薄膜で使用されているIn使用原単位の 50% 削減を達成する。

研究開発項目②「透明電極向けインジウム代替材料開発」

1. 研究開発の必要性

現状では、フラットパネルディスプレイ用透明電極は、ほぼ全面的にマグネトロンスパッタ製膜にて蒸着されたITO透明導電膜が採用されている。酸化亜鉛系材料は、その優れた光学的・電気的特性によって、従来からITO代替材料として最も有力な候補の一つであるが、製膜の均一性、光学的・電気的特性、耐熱性、耐薬品性等の特性値について所定の目標値を満足する必要がある。

したがって、酸化亜鉛系材料を対象にITO代替材料として利用可能な材料開発を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発

酸化亜鉛の構成元素を他の様々な元素で置換した新しい混晶半導体を開発し、酸化亜鉛系材料の電気的特性及び化学的安定性を、液晶ディスプレイ用透明電極材料として実用に耐え得る水準にまで向上させる。

(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術(材料技術を含む)の開発

1) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発

- ・酸化抑制製膜条件の最適化
- ・製膜初期制御技術の開発

2) 低酸素含有 ZnO 系焼結体ターゲットの開発

- ・最適 ZnO 系焼結体ターゲットの開発

(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発

- 1) 「大型基板対応製膜技術の開発」として、大型基板（第8世代-2, 160mm × 2,460mm）に対応した製膜技術及び製膜装置の実現の見通しを得る。
- 2) 「透明導電膜部材（ZnO 薄膜）の開発」として、耐熱・耐湿性、耐薬品性などの実使用条件を満足する条件にて抵抗率変化10%以下を達成する。
- 3) 「大型液晶パネルの応用開発」として、大型液晶ディスプレイを試作し、ITO透明導電膜と同等以上の表示信頼性を確保しつつ、紫色領域・青色領域・緑色領域において、透過率最大2%増大を達成する。

3. 達成目標

中間目標：平成21年度

スパッタ技術開発及び不純物の共添加等の材料開発により、化学的安定性、均一性に優れる成膜技術を開発し、4インチレベルのパネル試作を実施する。

最終目標：平成23年度

抵抗率、透過率、耐熱性、耐湿性、耐薬品性等の透明電極として使用に耐えうる諸特性を満足し、酸化亜鉛系材料及びその成膜技術を確立する。酸化亜鉛系材料を例えば液晶ディスプレイのカラーフィルター側の透明電極に適用することにより、インジウム使用原単位の50%以上低減を達成する。

- ・抵抗率： $4.5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下
- ・透過率：可視光平均透過率85%以上
- ・耐熱性：抵抗変化率 $\leq 10\%$ (230°C、大気中30分)
- ・耐湿性：抵抗変化率 $\leq 10\%$ (60°C、95%、500時間)
- ・耐薬品性：可視光透過率の変化率 $\leq 2\%$ (NaOH(5%)又はH₂SO₄(5%)室温10分浸漬)

研究開発項目③「希土類磁石向けディスプレイ用希土類添加量低減技術開発」

1. 研究開発の必要性

現状の商用焼結磁石の保磁力は、理論値である異方性磁場（90kOe）の10%程度の値に留まっている。これはNd₂Fe₁₄B主相の結晶粒界で結晶磁気異方性が小さくなるウィークポイントが存在し、そこを起点として逆磁区が核生成するためと考えられている。よって、永久磁石の保磁力を上昇させるには、(1) 逆磁区の発生頻度を下げするために磁石粒子のサイズを小さくすること、及び(2) Nd₂Fe₁₄B相と粒界相との界面の状態を制御することが必要である。そこで、この2点を実現するための技術と指導原理を追求し、保磁力の向上を目指す。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」

焼結磁石における結晶粒を数マイクロンサイズになるよう微細化することで、ディスプレイ用希土類添加量を低減しても高保磁力が得られる焼結磁石の作製プロセスを確立する。

1) 次世代焼結磁石用原料合金の研究開発

結晶粒径と元素分布を制御することにより、高い保磁力を引き出せる原料合金を開発する。

2) 超微細結晶粒焼結磁石作製プロセスの開発

結晶粒径制御により高保磁力焼結磁石の作製プロセスを開発する。

3) 高保磁力磁石の焼結組織最適化に関する研究

Nd-rich相などの組織形態制御により焼結組織の最適化を図る。

(2) 「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」

強磁場プロセス、薄膜プロセス、組織制御等を検討してNd-Fe-B系焼結磁石の界面ナノ構造を制御し、主相界面の格子整合性を向上させてディスプレイ用希土類添加量の低減と高保磁力の実現の指針を得る。さらに、これらの指針をもとにディスプレイ用希土類を磁石試料中で保磁力増加に効果的な部位に必要量のみを添加するディスプレイ用希土類有効活用技術を開発し、ディスプレイ用希土類添加量の削減を図る。

1) 強磁場を用いた界面構造制御による保磁力向上の研究

強磁場熱処理による粒界相の結晶配向を用いて、この界面構造をより均一にして高保磁力化を目指す。

2) 薄膜プロセスで制御した理想界面による保磁力向上の研究

理想的な磁石薄膜と粒界相物質を成膜し、磁化反転のモデル実験を行うことにより、保磁力のメカニズムを解明する。

3) 焼結磁石の組織制御による界面ナノ構造最適化の研究

ディスプレイ用希土類の拡散制御技術の検討により結晶粒表面にディスプレイ用希土類を優先偏析させる技術を開発する。

(3) 「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」

Nd-Fe-B系焼結磁石の界面ナノ構造や磁化過程の詳細な解析をすることによって、現状の保磁力が異方性磁場（90kOe）の10%程度の値に留まっていること、従来の研究から結晶粒を小さくしても保磁力がある結晶粒径で急激に低減すること、などの理由を解明し、さらには計算科学を駆使することによって保磁力向上の指導原理を獲得する。得られた情報は上記項目(1)、(2)の製造プロセスへ還元する。

1) ナノ組織解析・原子レベル元素分析による界面構造評価

焼結磁石の粒界ナノ構造を原子レベルで解析し、粒界構造と保磁力の因果関係を解明する。

2) 中性子小角散乱法による平均界面構造評価と保磁力

中性子小角散乱測定により、保磁力の起源となる磁石内部の平均界面構造を明らかにする。

3) 微小結晶粒子集団における磁化反転機構と制御法の研究開発

磁化反転機構解析により保磁力の決定要因を解明する。

4) 希土類磁石の保磁力機構に関する理論研究

第一原理計算に基づく微視的立場から焼結磁石の保磁力の発現機構を明らかにする。

(4) 「自動車用磁石への応用」

自動車用磁石、特にハイブリッド自動車の駆動モータは、現在ディスプレイ用希土類添加Nd-Fe-B系磁

石の大きな応用先である。本研究の遂行によって高保磁力高性能な Nd-Fe-B 系磁石を開発できれば、ディスプロシウム使用量の削減が最も効果的に実施できると考えられることから、例えば開発磁石の耐久性評価、モータ適用時の磁石の最適形状設計等といった当該分野への応用について検討を行う。得られた情報は、各製造プロセスへ還元するとともに更なる高性能化への指針とする。

3. 達成目標

中間目標：平成 21 年度

結晶粒径の微細化、強磁場プロセスによる界面ナノ構造制御技術等の開発により、ディスプロシウム使用量原単位 20%削減を達成する。

最終目標：平成 23 年度

下記の各項目について目標を達成し、ディスプロシウム使用原単位を 30%以上削減可能な技術を確立する。

(1) 結晶粒径 $2\mu\text{m}$ で元素濃度分布を最適化した原料合金、並びにディスプロシウムフリーで結晶粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の焼結磁石、における量産化技術の確立。

(2) 強磁場プロセスやディスプロシウム有効活用技術の導入等によって、高保磁力化の実現 (10kOe 増加)。

(3) 内部又は界面の微細・平均構造と保磁力との相関や磁化反転機構を明らかにし、高保磁力省ディスプロシウム磁石開発における指導原理の確立。

(4) モータ出力密度 3 倍のための開発要素の明確化。

研究開発項目④「超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発」

1. 研究開発の必要性

本研究開発では超硬工具（切削工具）のタングステン使用原単位を30%以上低減するため、切削工具の基材部分をタングステン使用量の少ない材料に置きかえる「硬質材料のハイブリッド化」、及び工具の刃先近傍や表面以外について炭窒化チタンを主成分とする「複合構造硬質材料化」を図るための技術開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1)「ハイブリッド切削工具の開発」

焼き入れ鋼用切削工具向けに、炭窒化チタン系硬質材料基材に切削チップの先端部として cBN（立方晶窒化ホウ素）を接合し、ロウ付け cBN 切削工具と同等の切削性能を達成すると同時に、接合部には 1000℃の耐熱性をもたせる。

1) 異種材料のソリッド接合技術及びインサート材料の開発

切削工具の切刃部に要求される特性を有する硬質材料と基材となる材料を接合する技術を開発する。

2) ハイブリッド切削工具の実用化技術の開発

工業化に対応するため、実用工具における被接合材及び基材の形状設計、被接合材と基材の高精度位置決め技術等を開発する。

(2)「複合構造硬質切削工具の開発」

一般鋼及び鋳鉄用切削工具向けに、複数の硬質材料粉末を用いて粉末複合化成形した3次元ブレーカ付きM級切削チップを開発し、超硬合金工具と同等の切削性能を達成する。

1) 多相組織硬質材料の開発

多成分からなる多相組織硬質材料の焼結技術等を開発し、その特性を明らかにして超硬合金工具の機能代替を達成する。

2) 複合構造硬質切削工具の実用化技術の開発

多相組織硬質材料に3次元ブレーカが形成可能な複合構造硬質切削工具の実用化技術を開発する。

3. 達成目標

中間目標：平成21年度

(1)「ハイブリッド切削工具の開発」

従来よりもタングステン使用原単位を20%以上低減した硬質基材を開発し、先端部 cBN との接合技術を開発する。

(2)「複合構造硬質切削工具の開発」

粉末複合化成形技術の開発により、タングステン使用原単位を15%以上低減する。

最終目標：平成23年度

下記の各項目について目標を達成し、超硬工具（切削工具）のタングステン使用原単位を30%以上低減する。

(1)「ハイブリッド切削工具の開発」

1) 焼き入れ鋼用 cBN 切削工具におけるタングステン使用原単位を40%削減する。

2) 焼き入れ鋼に対する高負荷連続切削試験でロウ付けチップと同等の切削性能を達成する。

(2)「複合構造硬質切削工具の開発」

1) 一般鋼又は鋳鉄用被覆超硬工具におけるタングステン使用原単位を30%削減する。

2) 3次元ブレーカつきM級精度の複合構造硬質工具による一般鋼の断続切削試験で、コーティングを有する超硬合金と同等の切削性能を達成する。

研究開発項目⑤「超硬工具向けタングステン代替材料開発」

1. 研究開発の必要性

本研究開発は、超硬工具（切削工具、耐摩耗工具）のタングステン使用原単位を30%以上低減するため、WC基超硬合金に代わる硬質材料として有望な炭窒化チタン（Ti(C,N)）基サーメットについて、新規サーメット基材の開発及び新規サーメットを基材とした新規コーティング技術の開発を行い、切削工具及び耐摩耗工具に適用するサーメット及びコーティング技術を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

（1）「サーメット及びコーティングの基盤研究」

サーメットの解析技術及び設計技術の開発、及び新規サーメット材料を開発するとともに、新規コーティング技術を開発する。具体的には以下の3項目を実施する。

1) 「サーメットの解析及び設計技術の開発」

組織、特性及び焼結性などに関する基盤技術を確立する。

2) 「新規サーメット材料の開発」

サーメットの組織や焼結収縮をより均一化し材料特性を改良するために、原料粉末として従来の単純な混合粉末ではなく、あらかじめ固溶体化した粉末を用いてサーメットを製造し、組織や特性を評価する。

3) 「コーティング技術の開発」

サーメット基材上への安定したコーティングを可能とするために、コーティング時の加熱温度を低温化した新規CVDコーティング技術の開発を行う。

（2）「切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

上記（1）の成果を活用して、切削工具としてスローアウェイ切削工具や軸物切削工具（穴あけドリル）用のサーメットを対象とし、強度、靱性、熱衝撃性等の材料特性の最適化、成形・焼結プロセス技術の確立、コーティング向け積層化・傾斜組成化技術の確立、切削工具向けコーティング技術の確立等をおこなう。開発したサーメット及びコーティングにより切削工具を作製し、これにより、鋼やアルミニウム合金等の総合的切削性能を達成する。

（3）「耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

上記（1）の成果を活用して、耐摩耗工具として線引きダイス・プラグ等用の高硬度型サーメット及び製缶工具・圧粉金型等の高靱性型サーメットを対象とし、強度、靱性、熱衝撃性等の材料特性の最適化、サーメット大型部材の成形・焼結技術の確立、被研削性・放電加工性等の改良、耐摩耗工具向けコーティング技術の開発等をおこなう。開発したサーメット及びコーティングによりダイス・プラグ用及び金型用耐摩耗工具を作製し、これにより、ダイス・プラグ及び金型としての総合的耐摩耗工具性能を達成する。

3. 達成目標

中間目標：平成21年度

下記の各項目について技術を確立する。

- ・サーメットの組織形成シミュレーション技術
- ・新規固溶体粉末を用いたサーメット合成技術
- ・新規コーティング技術

最終目標：平成23年度

下記の各項目について目標を達成し、新規炭窒化チタン（Ti(C,N)）基サーメット材料を開発することで、WC基超硬工具（切削工具、耐摩耗工具）よりもタングステン使用原単位を30%以上低減する。

（1）「サーメット及びコーティングの基盤研究」

1) 「サーメットの解析及び設計技術の開発」

積層体焼結（共焼結）のシミュレーション技術の確立と耐熱衝撃性や高温強度の機構を解明する。さらに、組織形成と破壊メカニズムを解明する。また、成形体構造評価技術を確立し、最終的に設計に必要なデータベースを構築する。

2) 「新規サーメット材料の開発」

下記の特性値を満足する新規サーメット材料を開発する。

- ・抗折力：3GPa
- ・破壊靱性値：15MPa・m^{1/2}
- ・耐熱衝撃抵抗：75W・m^{-1/2}

3) 「コーティング技術の開発」

サーメット基材上への安定したコーティングを可能とするために、コーティング時の加熱温度を低温化（800℃）した新規CVDコーティング技術の開発を行う。

（2）「切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

切削工具用サーメットの成形・焼結技術、傾斜組成化技術等を確立し、下記の特性値を達成する。

- ・破壊靱性値：13MPa・m^{1/2}
- ・熱伝導率：30W/m・K
- ・サーメット工具による鋼等の総合的切削性能

このことで、軽切削用スローアウェイ工具で約70%、穴明けドリル用（軸物）切削工具で約70%のタングステン使用原単位の低減を実現する。

（3）「耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

耐摩耗工具用サーメットの成形・焼結技術、研削・放電加工技術等を確立し、下記の特性値を達成する。

- ・硬さHV \geq 1400 で破壊靱性 13MPa・m^{1/2} 以上の高硬度型サーメット
- ・硬さHV \geq 1200 で破壊靱性 15MPa・m^{1/2} 以上の高靱性型サーメット
- ・サーメット工具によるダイス及び金型の総合的耐摩耗工具性能

このことで、ダイス・プラグ用耐摩耗工具で100%、金型用耐摩耗工具で約94%のタングステン使用原単位の低減を実現する。

研究開発項目⑥「排ガス浄化向け白金族使用量低減技術開発及び代替材料開発」

1. 研究開発の必要性

白金族は、自動車排ガス触媒を中心とする各種触媒、電気電子機器等に用いられており、排ガス触媒向けを中心に世界的に需要が増加している。白金の新地金生産は年間約 210 t であり、その 90%以上を南アフリカとロシアが担っている。白金の国内需要はおよそ 36 t、うち 27 t が自動車触媒向けであるが、供給の 80%を南アフリカに依存している。一方、南アフリカにおいては、近年設備や安全上の問題による鉱山閉鎖、電力不足による操業停止など、供給懸念が顕在化している。

今後、世界的な自動車需要の増加、及び特に日本・欧州を中心としたディーゼル排ガス規制の強化により、排ガス触媒向け白金族の需要が拡大すると見込まれる白金生産の 90%を南アフリカとロシアが担っていることから、将来の排ガス触媒等の需要拡大に対する供給不足が発生し、わが国の産業において成長阻害の懸念がある。

本研究開発は、自動車排ガス触媒等の白金族使用原単位を 50%以上低減するため、以下の基盤技術及び製造技術を開発する。

2. 研究開発の概要

- (1) 白金族触媒の高度化・代替技術の開発
- (2) 触媒の部材化技術の開発
- (3) 白金族触媒の製造工程等システム全体の最適化
等

3. 達成目標

中間目標：平成 23 年度

下記の項目等について基盤技術を確立する。

- ・白金族触媒の高度化・代替技術の開発
- ・触媒の部材化技術の開発
- ・白金族触媒の製造工程等システム全体の最適化

最終目標：平成 25 年度

下記の項目等について基盤技術及び製造技術を確立し、白金族使用原単位を 50%以上低減する。

- ・白金族触媒の高度化・代替技術の開発
- ・触媒の部材化技術の開発
- ・白金族触媒の製造工程等システム全体の最適化

研究開発項目⑦「精密研磨向けセリウム使用量低減技術開発及び代替材料開発」

1. 研究開発の必要性

セリウムは、フラットパネルディスプレイのパネルガラス、パソコン用ハードディスクドライブ内のガラスディスクの研磨材として用いられている。世界最大のレアアース供給国である中国からの輸出統計によれば、わが国は世界最大のセリウム消費国である（内需データが不明な中国を除く）。わが国におけるセリウム需要の過半（5割以上）は、研磨材向けの需要によって占められており、その消費量は平成19年現在9,000t（酸化物換算）ほどと推計されている。

今後、テレビのフラット化進行などにより、全世界でフラットパネルディスプレイの主要用途である薄型テレビの生産拡大が見込まれること、また新興国等におけるIT化進行などによりハードディスクドライブの主要用途であるパソコンの生産拡大が見込まれることなどから研磨材向けセリウムの需要も拡大するものと思われる。

希土類元素（レアアース）であるセリウムは、全世界における供給の9割強を中国が担っていることから、将来の研磨材料等の需要拡大に対する供給不足が発生し、わが国の産業において成長阻害の懸念がある。

本研究開発は、研磨材料等のセリウム使用原単位を30%以上低減するため、以下の基盤技術及び製造技術を開発する。

2. 研究開発の概要

- (1) 酸化Ce 砥粒の研磨メカニズムに関する理論的解明及び理想的砥粒・スラリーの開発
- (2) 砥粒・スラリー利用効率を高める研磨プロセス技術の開発
等

3. 達成目標

中間目標：平成23年度

下記の項目等について基盤技術を確立する。

- ・ 研磨メカニズムに関する理論的解明及び理想的砥粒・スラリーの開発
- ・ 砥粒・スラリー利用効率を高める研磨プロセス技術の開発

最終目標：平成25年度

下記の項目等について基盤技術及び製造技術を確立し、セリウム使用原単位を30%以上低減する。

- ・ 研磨メカニズムに関する理論的解明及び理想的砥粒・スラリーの開発
- ・ 砥粒・スラリー利用効率を高める研磨プロセス技術の開発

研究開発項目⑧「蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム使用量低減技術開発及び代替材料開発」

1. 研究開発の必要性

テルビウムは、照明用三波長ランプ（蛍光灯）や液晶テレビのバックライトの蛍光体（緑色蛍光体の付活体）として用いられている。ユーロピウムも同様に照明用三波長ランプや液晶テレビのバックライト用蛍光体（赤色蛍光体の付活体）として用いられている。世界最大のレアアース供給国である中国からの輸出統計によれば、わが国は世界最大のテルビウム、ユーロピウム消費国である（内需データが不明な中国を除く）。わが国におけるテルビウム需要の過半（7～8割）は蛍光粉向けの需要によって占められており、その消費量は平成19年現在100t（酸化物換算）ほどと推計されている。また、ユーロピウム需要のほぼ全量は蛍光粉向けの需要によって占められており、その消費量は平成19年現在70t（酸化物換算）ほどと推計されている。

今後、地球温暖化対策及び省エネルギー対策の進展を受けた白熱電灯から蛍光灯への切替拡大により、全世界で照明用三波長ランプの生産拡大が見込まれること、またテレビのフラット化進行などにより、全世界で液晶テレビのバックライトの生産拡大が見込まれることなどから蛍光粉向けテルビウム・ユーロピウムの需要も拡大するものと思われる。

希土類元素（レアアース）であるテルビウム・ユーロピウムは、全世界における供給の9割強を中国が担っていることから、将来の蛍光粉等の需要拡大に対する供給不足が発生し、わが国の産業において成長阻害の懸念がある。

本研究開発は、蛍光灯等のテルビウム・ユーロピウム使用原単位を80%以上低減するため、以下の基盤技術及び製造技術を開発する。

2. 研究開発の概要

- (1) 蛍光材料の高度化・代替技術の開発
- (2) デバイス部材の開発
- (3) デバイス最適化および蛍光体使用量低減製造プロセスの開発
等

3. 達成目標

中間目標：平成23年度

下記の項目等について基盤技術を確立する。

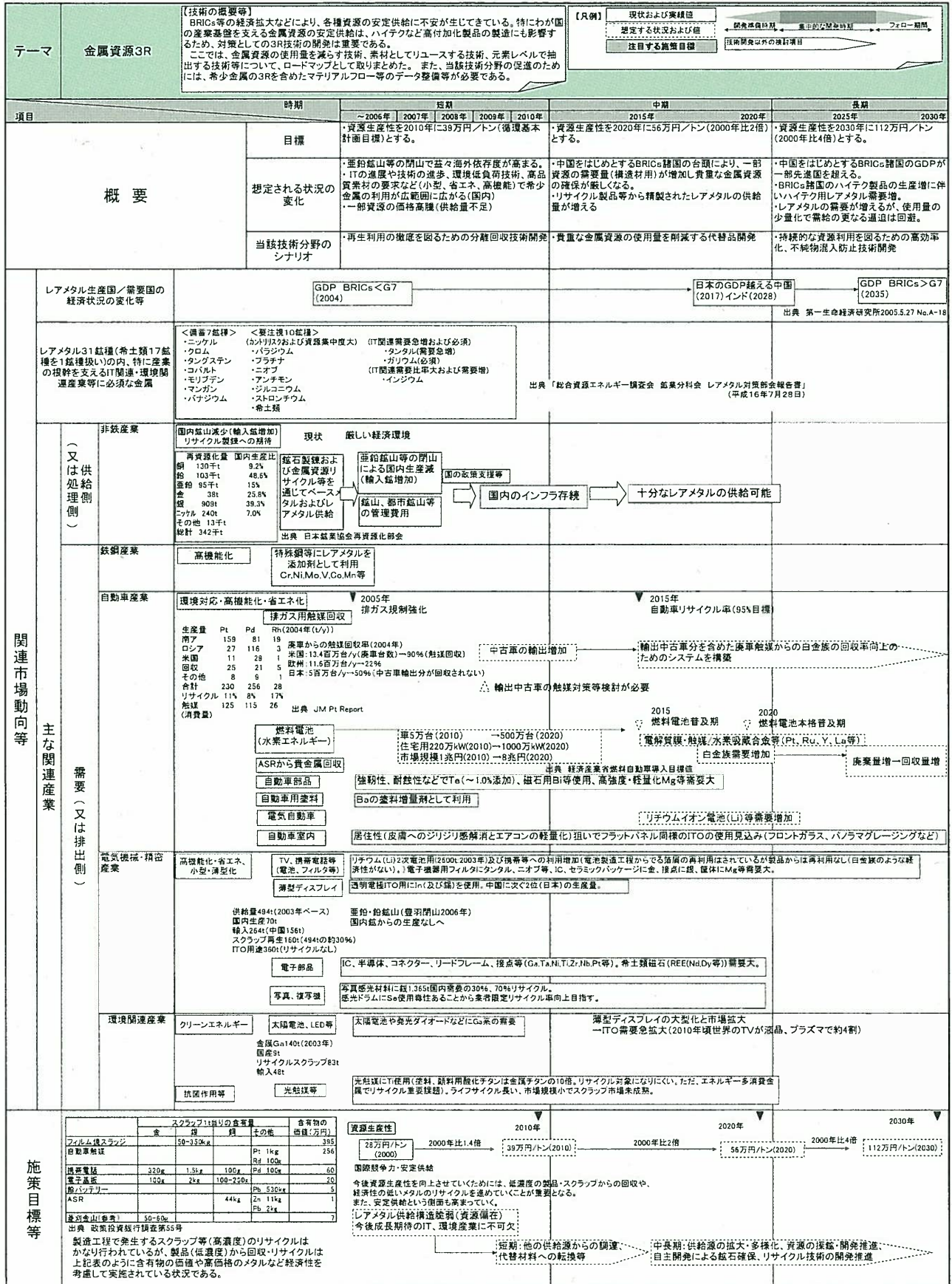
- ・蛍光材料の高度化・代替技術の開発
- ・デバイス部材の開発
- ・デバイス最適化および蛍光体使用量低減製造プロセスの開発

最終目標：平成25年度

下記の項目等について基盤技術及び製造技術を確立し、テルビウム・ユーロピウム使用原単位を80%以上低減する。

- ・蛍光材料の高度化・代替技術の開発
- ・デバイス部材の開発
- ・デバイス最適化および蛍光体使用量低減製造プロセスの開発

<3R分野> (D)詳細ロードマップー金属資源3R (1/2)



<3R分野> (D)詳細ロードマップー金属資源3R (2/2)

大分類	小分類	対象物等	詳細技術	短期					中期			長期					
				~2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年					
金属資源 (レアメタルなど)	不純物管理技術	鉄鋼	リサイクル鉄から銅等トラブメントを除去する技術	スクラップ発生量5千t/y 国内スクラップ鉄積蓄量12億t スクラップ鉄	スクラップ発生量6千t/y	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量	スクラップ発生量		
		アルミニウム	アルミニウムの不純物無害化技術	AIの不純物													
		超微細粒銅	超微細粒銅創製技術 (合金添加元素を含み単純成分)	レアメタル使用抑制 環境負荷軽減超微細粒銅創製技術													
	分離・回収技術	溶融飛灰	溶融飛灰中の銅、亜鉛、鉛、カドミウム等の回収技術	飛灰中 金属回収													
		フィルム焼スラッジ	焼回収等	既存の回収技術は昇華ロス 湿式還元+電気分解で 高回収率等(新技術開発)													
		自動車触媒から白金族回収	廃自動車触媒から白金族回収	回収率90% (中古車輸出分未回収) 廃自動車触媒から 白金族回収	輸出中古車の触媒回収を進める制度必要 ただし、輸出中古車の性能はそれぞれの国情に合わせた代替触媒を充填することがPIL給回遊のための必要												
		自動車ASR	ASRなど金属品位の低いものからの金属回収	ASRからの金属回収技術	ASRからの金属回収技術 出典 政策投資銀行 「使用済み自動車リサイクルを進める展望と課題」												
		電池、永久磁石	レアアースの回収	レアアースの回収	使用済み電池、磁石の回収できていない 製造工程のスクラップのリサイクル率95%以上、 それ以外はリサイクルされていない。	国内リサイクルコスト高>パージン材 中国で処理されている	低コストリサイクル技術										
		PC、携帯等	貴金属(金銀)の回収およびレアメタル回収(Li等)	貴金属回収	携帯電話自主回収5割未満、金(リサイクル率40%)、銀30% 貴金属回収	出典(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 「鉱物資源マテリアル・フロー2004」											
		薄型ディスプレイのITO	パネルから透明ITO分離およびITOスクラップからインジウムリサイクル	液晶パネルからのITO分離	スパッタリング工程で発生するスクラップはリサイクル済 液晶パネルからのITO分離 日本In蓄積世界1位419t(2003)8割ITO20%増加 低濃度から高濃度への蒸餾工程、パネルからのインジウム回収技術(低コスト化) 液晶TV5900万台、プラズマ1160万台世界のTVの37%を占める(2005年) 出典(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 「鉱物資源マテリアル・フロー2004」												
		廃触媒(硫酸製造用等)からのパージンVの回収	廃触媒から低コスト、回収率向上技術 (リサイクル寿命が10年~20年と長いのが特徴)	世界のラインパイプ需要増、銅材の高抗力化需要 世界的需要増と生産減(南ア、露州)供給先確保問題 国内パージンV原料のソースで重要(2003年798t) 出典(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 「鉱物資源マテリアル・フロー2004」													
		超硬工具からのタングステン(W)、コバルト(Co)、モリブデン(Mo)等回収	超硬工具からのタングステン(W)、コバルト(Co)、モリブデン(Mo)等回収	超硬工具から回収技術の確立													
		埋立物	高度前処理技術 (メタル等の分離+均質混合技術)	高度前処理技術(メタル等の分離+均質混合技術)													
		自動車部品等に含まれる添加剤レアメタル	部品のリユース	部品のリユース	中古車500万台(輸出約100万台)、部品としてリユース20~30%、 素材としてリサイクル50~55%合計して再資源化率75~80% 出典 政策投資銀行「使用済み自動車リサイクルを進める展望と課題」 自動車部品のリユース(部品の海外輸出の抑制等)												
		携帯、ノートPC等の筐体、自動車部品等に使用されるMg	使用済み製品からのマグネシウム(Mg)回収方法及びリサイクル	ダイキャスト製品(自動車部品)、射出成型品(筐体)回収方法及びリサイクル技術開発	主要な蓄積量 アルミ合金添加剤19014t/y ダイキャスト3769t/y 射出成型品2857t/y 製造工程の屑はリサイクルされている												
複合素材等	ボート、プリント基板、建設材のFRP(ガラス繊維、炭素繊維)に含まれるホウ素のリサイクル	高分解、単成分化で含有元素ホウ素リサイクル 分離が困難なものについて、適切なマテリアルフローを実現するための社会システムの構築	出典(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構「鉱物資源マテリアル・フロー2004」 使用済みFRP廃棄物、他材料との複合体、不純物汚染再資源化困難														
リデュース技術	各種レアメタルの使用量削減	製造工程での各種レアメタル使用削減技術(W, In, Nd, Dy等)	製造工程での各種レアメタル使用削減技術(W, In, Nd, Dy等)														
代替素材開発	燃料電池の電解質膜、触媒等	高価で希少な白金系を代替するもの開発	白金系に変わる触媒等の開発														
	薄型ディスプレイや自動車室内のITO	透明膜ITOのインジウムInに替わるもの開発	インジウム代替物質でITO製造する技術(酸化亜鉛等)														
その他	共通基盤技術	識別技術 破砕・粉末化技術	構成金属の簡易識別技術 粉末冶金製品の破砕・粉末化技術														
	データ収集	統計データの収集等	レアメタル等のマテリアルフローおよびリサイクル統計データ等整備 マテリアルフロー-動定の規格化														

金属資源 (レアメタルなど)



プロジェクト用語集

ITO (Indium Tin Oxide)	インジウムと錫からなる透明導電性を有する酸化物。低抵抗、可視光高透過性を有し、高い耐薬品性を持つ。液晶ディスプレイでは液晶を挟む透明電極に用いられている。また太陽電池やLED(Light Emitting Diode)などの透明電極として用いられることがある。
IZO (Indium Zinc Oxide)	亜鉛を添加した酸化インジウム。
RPD 法 (Reactive Plasma Deposition 法: 反応性プラズマ蒸着法)	圧力勾配型のプラズマガンと焼結体ターゲットとの間の直流アーク放電により、原料を熱的に蒸発(昇華)させて膜を堆積させる製膜法。イオンプレーティング法的一种である。一般的なスパッタ法に比較して製膜レートが大きいことに特徴があり、高エネルギー飛来粒子が存在しないことから、膜や基板へのダメージが小さいと考えられている。
アスパラギン酸	アミノ酸のひとつで、2-アミノブタン二酸のこと。示性式は $\text{HOOCCH}_2\text{CH}(\text{COOH})\text{NH}_2$ 。酸性アミノ酸の一種で非必須アミノ酸。
as-melt 状態	溶かしたまま手を加えていない状態。
アトマイズ	噴霧法とも呼ばれる。熔融金属を高圧のガスや水などを用いて細孔より噴出させ、瞬時に熔融金属を飛散させるとともに急冷凝固させて金属粉を製造する方法。
アモルファス相	原子の配列が周期性を有していない領域。非晶質相。
アレニウスプロット	アーレニウスの式に従い、プロットしたグラフ。
EPMA	電子プローブマイクロアナライザ (Electron Probe Micro-analysis) の略。電子線を対象物に照射する事により発生する蛍光 X 線の波長から構成元素を分析する装置。
異方性磁場	磁性体の単結晶において、安定な磁化の方向(磁化容易軸)と垂直に強い磁場を加えて磁化を飽和させた時の磁場の強さ。磁性体の粒子サイズが十分に小さく、孤立しているときには、異方性磁場は保磁力の値に一致する。
印加	磁場や電場などをかけること。
インクジェット法	射出孔から吐出した微粒子化インクをデジタルに描画する印刷技術。染料インクなどの液体をはじめ、微細化したナノ顔料(固体)分散液でも可能である。プリンターやコピーの他、種々の配線、パターン化技術で使用されている。
インゴット	熔融した金属を型に鑄込んで固化させたもの。鑄塊。広く鑄込んだ固まりの意味に使われる。
インサート材料	特性の異なる部材を接合する際に、両者の特性を緩和するために間に挟みこむ材料。ロウ付けにおけるロウも広義にはインサート材の一種。本研究では、耐熱性を求めるため、インサート材の融点が被接合材の融点に近くなる。したがって、従来のロウ材(被接合材より極端に融点が高い)とは区別して使用する必要がある(狭義のインサート材)。インサート材が低温で異種材料を接合し、その後加熱しても高温で安定なことが重要であり、アモルファスなどの非平衡材料を中心にインサート材料開発を行う。アモルファス材料は結晶化温度近傍で粘弾性変形を生じるため低温で密着性がよく、その後

	<p>の加熱で規則相に変化するため規則相の融点近傍の温度まで耐熱性を付与することができる。メカニカルアロイング法やスパッタ法では比較的広い合金組成でアモルファスなどの非平衡相を合成できることが知られている。</p>
インターバック式スパッタ装置	<p>連続式多層成膜装置の一種で、基板投入・取出しを同一の真空槽内で行う形態のスパッタ装置。一般的には基板投入・取出しを行う真空槽と成膜を行う真空槽の2層で構成されており、成膜室が常に真空に保たれるため、再現性・生産性に優れる。</p>
ウェットエッチング	<p>酸化亜鉛膜などの薄膜の微細パターンを形成する方法の一種。ホトリソグラフィ技術により膜上に形成した所望パターンのホトレジストをマスクとしてレジストで被覆されていない部分の膜をエッチング（食刻）する。薬液を用いて化学的に反させて膜を除去する方法をウェットエッチングと呼ぶ。反応性ガスのプラズマを用いてエッチングする方法をドライエッチングと呼ぶ。なお、エッチング工程後にマスクとして用いたホトレジストを除去するために剥離液が用いられる。</p>
ATO (Antimony Zinc Oxide)	<p>アンチモンを添加した酸化亜鉛。</p>
AZO (Aluminum Zinc Oxide)	<p>アルミニウムを添加した酸化亜鉛。</p>
SEM (Scanning Electron Microscopy, Scanning Electron Microscope)	<p>走査型電子顕微鏡法の略であるが、最近は走査型電子顕微鏡の意味でも使われる。走査型電子顕微鏡は、細い電子プローブで試料表面を走査したとき、電子プローブの照射点から放出される種々の電子、電磁波を検出して画像化する装置。電子プローブを作り走査する電子光学系、信号を検出する検出器、試料を保持する試料ステージ、画像を表示・記録するためのモニター・記録系、種々の操作をするための操作系、鏡筒や試料室を真空にするための真空排気系などから構成される。</p>
SEM 反射電子像	<p>試料への電子線照射により放出される二次電子を分析する通常のSEMに対して、試料で反射した電子を用いた構造解析によって得られた像のこと。反射電子は試料のより深いところから発生し、入射電子が反射することからエネルギーが高く、その反射の効率性は試料表面への入射角度と試料の組成（平均原子番号）に依存する。</p>
液晶(Liquid Crystal)	<p>結晶と液体の中間的性質を持ち、流動性を持つが液体と異なり構成粒子が何らかの秩序性を持ち、電界を加えることにより結晶のように異方性を発現させることができる。液晶を透明の電極で挟んで画素とし、それを2次元配列したものが液晶ディスプレイである。</p>
液相焼結	<p>固相状態だけの粉末の焼結に対して、一部に液相が出現し固相粒子を含む粉末成形体全体が焼結する現象を液相焼結という。サーメットの場合には、炭窒化物と金属相の共晶融液が約1300℃付近で出現するので、焼結温度はそれ以上の高温で行われる。</p>
FIB 表面研磨	<p>FIB法を用いた表面研磨法。</p>
FIB法	<p>集束イオンビーム（FIB：数keV～30keVのエネルギーを持った細いガリウムイオンビームなど）を用いた手法。微細加工、SEM用の断面試料作製あるいはTEM、STEM用の薄膜試料作製に多用される。なお、FIBと言った場合、集束イオンビーム装置そのものを意味する場合もある。</p>

エッチング	化学薬品などの腐食作用を応用した塑形ないし表面加工の技法。使用する素材の必要部分にのみ防食処理を施し、腐食剤によって不要部分を除去することで目的形状のものを得る。
FE-SEM-EDX	電界放射走査型電子顕微鏡を用いたエネルギー分散X線分光法による局所的な元素分析の手法。
FLAPW 法	Full-potential linearized augmented plane wave method の略。第一原理計算手法の一つで、フルポテンシャル化された LAPW 法のこと。全電子計算手法の中では、最も精度の高い結果を与えるバンド計算手法であるが、その分、必要な計算量も非常に多くなるのが難点。
M級切削チップ	切削チップの加工精度を上げるため、従来は焼結で得られたチップを機械加工して研磨を行っていたが、プレス成形技術、焼結技術の高度化により、現在では焼結したままの状態でも高い寸法精度のチップを作製することが可能となっている。この結果、プレス成形後の焼結工程のみで、後加工することなく低コストでの3次元ブレードの形成が可能となっている。後加工を必要としないためユーザーには安価で供給できるため、一般の切削用チップはM級チップの使用量が多い。なお、具体的なM級チップの寸法精度は内接円許容差で $\pm 0.05 \sim \pm 0.15$ mmである。
オイルダイヤモンド琢磨	オイルダイヤモンドを用いて、鏡面研磨を行うこと。
応力 (Stress)	外因性力に抗して物体の状態を保持するために内部に生じる力。外因性力としては結晶欠陥など結晶配列の乱れ、組成や形状の不均一性、基板と製膜された材料の熱膨張係数の違い、あるいは外部から人為的に加える力など種々の形態が考えられる。基板に成膜したとき膜側が凹になる場合、膜面内方向に引っ張り応力、凸になる場合圧縮応力が膜内に存在する。
オージェ電子分析	高いエネルギーによって内殻電子が励起された原子から放出される、特定のエネルギーを持った電子を利用した分析手法。入射電子によって高いエネルギー準位に励起された原子が、低いエネルギー準位に遷移するときに、差のエネルギー（マイナス結合エネルギー）を持った電子が放出される。これをオージェ電子と言い、元素に特有なエネルギーを持つ。このオージェ電子のエネルギーを測定することによって、試料表面に局在する元素の分析を行う手法。オージェ電子はエネルギーが小さいため、表面敏感であり、極表面の数 nm 深さの分析が可能である。
カー効果偏光顕微鏡 (KEM)	カー効果を利用した磁区観察法。磁気光学カー効果とは磁気カー効果とも呼ばれ、直線偏光を磁化した材料の表面にあてると、反射光が楕円偏光となる現象である。
界面	主相と粒界相の境目といった、異なる2種類の物質のちょうど境目。
核生成 (反転核生成)	磁化反転の際に、逆磁区の発生の最も初期に現れると考えられている、逆磁区の芽、核。
活性化エネルギー	金属や合金の相変態、化学反応、拡散、粘性流などの輸送現象の反応過程において反応を開始させたり継続させるのに必要なエネルギー。
逆磁区	一旦大きな磁場を磁性体にかけるなどして、一方向に磁気モーメントが揃っている状態から磁場を徐々に取り除き、逆方向に磁場をかけると、ある領域の磁気モーメント集団が逆方向を向

	く。その領域を「磁区」と呼び、特に逆向きを向いている領域を「逆磁区」と呼ぶ。
キャビティ	金型のこと。
キャリア濃度	キャリア濃度とはあるエネルギーをもつ電子の数。本プロジェクトでは、電気伝導の評価にはフェルミ準位近傍の電子数と有効質量の積に比例するという有効質量近似を用いた。そのため、省インジウム ITO 材料としてはフェルミ準位近傍のキャリア濃度が大きい組成が望ましい。
凝固長さ	液相の金属が冷却して固相になるときの固相の長さ。
共通接線の法則	組成-自由エネルギー線図において、複数の相の自由エネルギー曲線に対して、共通な接線が引ける場合、接点の組成でこれらの相が互いに平衡すること。
空間群	回転、回反、並進など、無限に広がる結晶構造において可能な対称操作の集合によって作られる群。
クラック	裂け目や狭い割れ目。
グリシン	アミノ酢酸のことで、タンパク質を構成するアミノ酸の中で最も単純な形を持つ。示性式は $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$ 、不斉炭素を持たないため、生体を構成する α -アミノ酸の中では唯一 D-、L- の立体異性がない。非極性側鎖アミノ酸に分類される。
結合相	サーメットを構成する相のうち、金属相のことを結合相と呼ぶ。硬質相粒子を結びつけているという意味。サーメットでは Ni や Co が結合相として用いられる。
結晶磁気異方性	物質の磁氣的性質、特に磁化のしやすさ、しにくさが結晶方位によって異なる性質のこと。異方性磁場の強さが結晶磁気異方性の大きさの目安になる。
結晶場パラメータ	結晶中のある原子位置において、その周囲の原子の電荷が作る電場を合成したものを結晶場と呼び、それを定式化したときの係数を結晶場係数または結晶場パラメータという。結晶磁気異方性の大きさは結晶場パラメータに依存する。
結晶粒界	焼結体において、結晶粒と結晶粒の間に存在する領域。粒界。
ゲルゾル法	東北大学多元物質科学研究所の杉本忠夫名誉教授、村松淳司教授が開発した全く新しい微粒子合成法である。金属水酸化物ゲルを直接前駆体とする液相からの超濃厚系微粒子合成法で、ゲルが粒子のブラウン運動を抑制して凝集を防ぎ、ゲル網から供給される前駆体により粒子は成長する方法である。
コアシェル	コアとその周囲を取り囲むシェルからなる構造体。安価な絶縁性材料(コア)の表面に優れた電気伝導性を持つ ITO 材料(シェル)をコーティングした粒子を用いると少ない In 量で電気伝導を実現できると考えられ、本プロジェクトではパーコレーションモデルにより、コアシェルの形状と電気伝導の関係を求めた。
コア積み厚	トランスなどでは、電磁鋼板などを重ねてコアを作り、そのコアサイズや積み厚により様々な容量のものができる。コア積み厚とはその厚さを意味する。
光学移動度	光透過反射測定や分光エリプソメトリなど分光学的な実験手法をもとに見積もられる移動度。多結晶膜での電気伝導において、ホール効果測定によって得られるホール移動度が結晶粒内およ

	び結晶粒界での散乱が影響するのに対して、光学移動度は粒界での散乱の寄与が含まれないと考えられる。
硬質相粒子	サーメットを構成する相のうち、より硬質なセラミックス相よりなる粒子を意味する。サーメットの場合には炭窒化チタン (Ti (C, N)) の粒子が最も一般的である。
固有保磁力	材料の大きさや構造などを反映した固有の保磁力。
混晶半導体	複数の半導体物質が混合されて固溶体を形成しているような半導体材料。一種の合金材料とも考えられる。例えば Si と Ge が固溶体を形成すると $Si_{1-x}Ge_x$ という混晶半導体が生成され、また例えば ZnO と MgO が固溶体を形成すると $Zn_{1-x}Mg_xO$ という混晶半導体が形成される。原料に使われた半導体の性質とは全く異なる、新しい性質を持つ半導体材料を合成できる可能性がある。
コーティング	コーティングとはある物質からなる膜状の材料を、それとは異なった物質の材料（基材）の上に合成する技術を意味する。硬質材料の分野では、超合金などの基材上にアルミナや窒化チタンなどのセラミックス膜をコーティングした工具が、とくに切削工具として広く用いられている。
コンビナトリアルスパッタ法	効率的に新規組成の探索を行うために、複数のターゲットを同時にスパッタリングして、一つの基板上に傾斜組成を有する薄膜を成膜するスパッタ法。
最大エネルギー積	減磁曲線上の磁束密度と磁場の強さの積の最大値。単位体積当たりの磁気エネルギー。永久磁石の性能を表わす指標。
再多磁区化	ある多数の磁区を内包する磁石粒を着磁し、一つの磁区となった単磁区状態から、逆磁場の印加などによって再び磁区が現れること。
SAD パターン	制限視野回折とは、透過電子顕微鏡で入射電子線を平行にして試料に照射し、点状の斑点からなる回折図形を得て、結晶構造の定性的な解析をする手法。対物レンズの像面に制限視野絞りを入れることにより回折図形（パターン）を得る試料の場所（直径 数 100nm）を選ぶことができる。この方法ならびにパターンを解析することにより、特定の場所の格子定数、格子型、結晶方位を知ることができる。
Sm-Fe-N 系磁石	ネオジム磁石の発見後に開発された希土類磁石の一つ。通常は Sm と Fe の合金に窒素ガスを侵入させて作製する。高温では分解しやすいため、焼結磁石とするのは困難である。
三元共晶	三種類の元素の混合物について、一定の融点で各成分が同時に融解すること。
3次元アトムプローブ	電界イオン顕微鏡に飛行時間型質量分析器を取り付け、3次元的に局所分析を行うことのできる装置。
3次元ブレーカ	鋼のようなねばい被削材を加工する際には、切りくずが連続的に生成し、非常に長い切りくずとなって排出が困難となり、工作機械の自動運転を阻害する。このため、連続的に生成する切りくずを強くカールさせて、短く破碎する技術が必要である。このために利用されるのが、切削チップ表面の3次元ブレーカである。3次元ブレーカの形状は各社のノウハウであるが、半球状のこぶを配置したり、溝を入れたり、チップ表面に立体的な凹凸が形成されている。一般には粉末をプレス成形する際にブレーカ形状の成形を行っており、比較的安価に3次元加工を行えている。

サーメット	硬質粒子を金属で結合した複合材料の総称。工具では、炭化チタンあるいは炭窒化チタンを主成分（合金を構成する体積割合）とし、ニッケルを結合相とする複合材料を一般的にさす。サーメットには、炭化タングステンや炭化モリブデンなどの複数の硬質粒子が含有されている。また、金属相にはニッケル以外にコバルトなどの鉄族金属が利用されている。超硬合金に比べ化学的に安定であり、高速切削用工具材料などへ利用されている。セラミックス (ceramics) と金属 (metal) の焼結複合材料の総称 (造語) である。WC-Co 系もサーメットの一つであるが、超硬合金と呼ぶのが通常 (慣例) である。硬質材料の分野で、超硬合金に対してサーメットと呼ぶのは TiC-Ni または Ti (C, N)-Ni 系を指すのが通常となっている。
酸素固溶度	固溶体とはある金属の結晶格子内に他の元素の原子が入り込んでも依然として元の金属の結晶形を保っている合金。固溶限は固溶体として第2成分が溶け込む限度をいう。第2元素として酸素が溶けることの出来る限界の量を酸素固溶限、固溶度と呼ぶ。
残留磁束密度	磁性体に一旦磁場を印加し、磁場を取り除いた後に残る磁束密度の値。
CF (Color Filter)	液晶ディスプレイのカラー表示を実現するための部品。通常、赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) (RGB) の3色を1組として、ガラス基板上に格子状に形成され、バックライトの白色光がカラーフィルタ (Color Filter) を通ることでカラー画像を映し出す。染料や顔料といった色材を含んだ樹脂が用いられている。CF 上には、全面共通の透明電極が製膜され、共通電極と呼ばれる。
ジェットミル	粗く粉碎したインゴットを、ジェット気流中で、壁またはインゴット同士を高速でぶつけ合うことで粉碎する方法。
磁化	単位体積当たりの磁気モーメントのこと。磁気分極とも呼ばれる。
磁化過程 (磁化曲線)	磁性体にかかる磁場を変化させた際の、磁化の変化の過程。
磁化反転	一旦大きな磁場をかけて磁気モーメントをそろえた状態から、徐々に磁場を減少させ、さらに逆方向に磁場をかけた場合におこる、磁気モーメントの方位の反転。
磁気モーメント	磁石の最小単位。永久磁石の場合には、電子のスピン (自転運動) によるスピン磁気モーメントと、電子の軌道運動による軌道磁気モーメントが重要な役割を担っている。
磁気力顕微鏡	磁化された針をプローブとして行う、磁区観察法。プローブ顕微鏡の一種であり、表面の微小磁区を測定する事ができる顕微鏡である。材料表面からの漏洩磁束を測定する。
磁区構造	磁壁によって囲まれた自発磁化の向きが平行にそろっている領域を磁区といい、その構造を指す。
シート抵抗	一様な厚さを持つ薄膜の電気抵抗を表す方法の一つで、金属配線を形成する前の半導体基板の抵抗値を測る際などに使用される。単位面積当たりの抵抗で、表面抵抗率 (表面抵抗) とも呼ばれる。シート抵抗 R_s は、材料の抵抗率 ρ と膜厚 d によって決まり、 $R_s = \rho / d$ で表わされる。薄膜のシート抵抗の値 R_s が分かれば、試料の長さ L と幅 W から、実際の抵抗 $R = R_s \times L / W$

	を見積もることが出来ることから、薄膜分野でよく用いられている。
GZO (Ga-doped ZnO)	酸化亜鉛 (ZnO) は 3.4eV (エレクトロンボルト) と比較的広いエネルギーバンドギャップ (禁制帯) を有する透明半導体である。このため Ga (Gallium) や Al (Aluminum) を数パーセント添加することにより導電性が付与される。Al 添加酸化亜鉛は AZO (Al-doped ZnO) あるいは ZAO と呼ばれることがある。
ジャケットクエンチ	水が流れている容器を用いて、熱処理を行った試料を急激に冷却する方法。
重希土類元素	ランタニド系列元素における、ガドリニウム (Gd) よりも原子番号が大きい元素の総称。
焼結磁石	磁石粉体を成形し融点以下の温度で加熱することで高密度の固体にさせる方法 (焼結法) によって作られる磁石。ボンド磁石等、他の方法で作られたものに比べて高密度化が可能なため、高性能である。
晶出	固溶体やアモルファスから結晶相が析出すること。
状態密度	あるエネルギー E 以下の状態の和、状態数 N(E) をエネルギーで微分したもの。
焼鈍	焼きなまし。古くは材料を加熱して柔らかくすることを指したが、最近ではアニール処理、熱処理を意味する。
蒸発のエンタルピー	狭義には、物質が蒸発の際に奪う熱量
スイッチング磁場	逆磁区が局所的に発生して磁化が反転 (スイッチ) するときの磁場の大きさ (記録媒体の分野ではよく用いられるが、ハード磁性体の場合は核生成磁場の方が一般的)。一箇所から発生した逆磁区が一気に全体まで広がる場合には、保磁力とほぼ等しくなる。
SQUID	超伝導量子干渉素子。微小磁石や超薄膜などの微弱な磁化信号の精密測定などに用いられる。
STEM	走査型透過電子顕微鏡法の略であるが、最近は走査型透過電子顕微鏡の意味でもつかわれる。薄膜試料を透過した電子を検出して、走査像を得る装置。散乱吸収コントラスト、回折コントラスト、位相コントラストなど TEM で得られるコントラストは全て得られるが、位相コントラストを得るのは検出角の関係で難しい。
ストリップキャスト	溶解したレアアース原料を水冷銅ロール上で急速に冷やすことにより数百 μm の薄帯状原料を製造する方法。
スパッタ装置	真空室に希ガス (アルゴンなど) や酸素ガスなどを微量導入した状態で放電させ、生じた希ガス元素や酸素などのイオンをターゲットと呼ばれる蒸着源板に衝突させ、その表面から物理的にはじき飛ばされたターゲット構成物を対向して配置された基板表面に被着させて製膜を行う。なお、放電させるためにターゲットに加える電力が直流の場合を DC、そしてこの DC に工業用の高周波電力 (RF) を重畳させた場合を RF/DC と表記する。

スパッタリング法	薄膜製造における代表的な方法の1つ。真空チャンバー内に薄膜としてつけたい材料をターゲットとして設置し、高電圧をかけてイオン化させた希ガス元素（通常はアルゴン）を衝突させ、ターゲット表面の原子をはじき飛ばし、基板表面で成長させ薄膜を作製する方法。
スローアウェイ工具	切削工具の中で、刃先（チップ）だけが交換（使い捨て）が可能なタイプの工具を意味する。現在の切削工具の主流となっている。
静電塗布法	塗布する基板と粒子の表面電荷を考慮した塗布法。すなわち、基板と粒子の電荷を異電荷とすることで基板上に粒子がヘテロ凝集することを利用した塗布法であり、単粒子規則配列を可能とし得る手法である。
接着度	硬質粒子が互い接着している割合。硬質粒子／硬質粒子界面の面積×2÷硬質粒子の全表面積。
ソルボサーマル法	高温、高圧の溶媒中での溶解、分解、結晶化等の化学反応をいう。特に溶媒を水に絞った場合を水熱反応という。
第一原理計算	実験結果に基づくパラメータを用いることなく、対象とする系の物性値を求めことのできる計算手法の総称。
第一原理計算コード Wien2k	第一原理手法による電子状態計算プログラムのひとつ
体積抵抗率	材料の導電性（電気の通り易さ）の尺度としては、一般的に電気抵抗（Resistance）が用いられ、この抵抗を単位体積当たりで示した値。
炭窒化物固溶体	硬質相粒子の炭窒化チタン（Ti(C, N)）に対して、他の炭化物、例えば Mo ₂ C、WC、NbC、ZrC などが固溶した物質を意味する。
中性子小角散乱法	中性子線を試料に入射したとき、試料の微細構造を反映してわずかに散乱されることを利用し、その試料の平均的な構造を解析する手法。
中量試レベル	実験室レベルよりも多くまたは大きく、生産レベルよりは少なくまたは小さい量。
超硬合金	硬質な炭化タングステンをコバルトで複合化した硬質材料。耐熱性を付与するために、炭化チタンや炭化タンタルなどの硬質粒子を含有するものもある。切削工具や耐摩耗材料、金型、土木鉱山工具などに利用されている。 超硬合金は、1920年代にドイツで開発され、ダイヤモンドのように硬いという意味から Widea (Wie Diamant) と呼ばれた。英名では、Hard Metal と呼ばれる場合もあるが、固めた（焼結した）炭化物の意味で Cemented Carbide と呼ばれるのが通常となっている。そのような意味では、和名としては焼結硬質合金などが適当と思われるが、当初（戦前）、超硬質合金と呼ばれていたものが、「超硬合金」あるいはそれを「超硬」と略して呼ぶのがこの分野の慣例となっている。
DSC ピーク	DSC（示差走査熱量測定）によって観測された、物質の融点などに起因するピーク。DSCは、測定試料と基準物質との間の熱量の差を計測することで、融点やガラス転移点などを測定する熱分析の手法である。
TFT (Thin Film Transister)	電界効果トランジスタの一種である薄膜トランジスタ。液晶に加える電圧の on/off を制御するための電子素子であり、画素電

	極と呼ばれる透明電極とともに画素を構成する。
TDS (Thermal Desorption Spectroscopy)	試料を加熱したときに試料から離脱する原子や分子などを検出して、その質量より離脱物質の同定とその量を分析する。正確な分析を行う場合には高真空中で加熱しながら分析されることが多い。
ディスポロシウム (Dy)	重希土類元素の一つ。ネオジウム磁石の保磁力を更に高めるために、ネオジウムと部分的に置換される。
Dy リッチシエル	Nd ₂ Fe ₁₄ B 主相の表面付近における Dy が濃化された殻のこと。
鉄系金属	超硬合金やサーメットの結合相に使われる Co や Ni、Fe をさす。一般に WC に対するぬれ性がよい金属であり、液相が生成した際に焼結が一気に進行する。この中では Fe だけが炭化物を形成するため、取り扱いが難しい。また、超硬合金では M6C と呼ばれる脆化相が形成され、W と Co あるいは W と Ni の複合炭化物となっている。
TEM	透過型電子顕微鏡法の略であるが、最近は透過型電子顕微鏡の意味でも使われる。
電荷密度分布	第一原理計算で得られた電子の空間的分布。本プロジェクトではこの電荷密度分布から In を置換した Sn や格子間酸素の影響を議論した。
電子移動度	結晶中の電子の移動のしやすさを示す量。
デンドライト	熔融金属の凝固組織に見られる樹枝状の外形をした結晶の集まり。
デンドライトアーム	デンドライト組織の枝の部分。
DOS	電子のエネルギーに対する状態密度、Density of State。
トルク換算	トルク (torque) は、物体を固定された回転軸を中心に回転運動をさせるときに、回転軸のまわりの力のモーメント (力の能率) をいう。トルク換算とはエンジン・電動機・発電機・タービンなどの性能をトルクの値で表すことをいう。
ナノインク	ナノ粒子 (金属、セラミックス問わず) をバインダや樹脂に混ぜたもので、ITO ナノインクは主にインクジェット法等の塗布法導電膜作製に使用される。
濡れ性	ある相が他の相の表面に自然に広がることを濡れと呼ぶ。濡れ性はそのしやすさをいう。とくに固体の表面や界面における、液体の付着のしやすさなどを評価する場合に用いられる。
ネオジウム (Nd)	ネオジウム磁石の主成分の一元素。Gd よりも原子番号の小さい、軽希土類元素に属す。ネオジウム磁石の大きな保磁力はこの元素に起因している。
熱異常	熱分析を行った際に現れる、比熱とは異なった熱の吸収や発生による異常。
熱衝撃抵抗	本研究では熱衝撃性の評価は、熱衝撃抵抗 (→強度または破壊靱性×熱伝導度÷(熱膨張係数×弾性係数)) を、急速加熱法で実測する予定である。サーメットや超硬合金などでは、ノッチなしの試験片では破壊しないので、ノッチをいれて試験片での評価 (破壊靱性と指標) が有効と考えられる。サーメットの熱

	<p>衝撃抵抗の改良は極めて重要な研究課題であり（とくに切削工具用サーメットにおいて）、そのためには、強度または破壊靱性を向上させ、熱伝導率を増加させ、熱膨張係数を減少させ、弾性係数を減少させる、といった複合的・総合的な材料特性変化のアプローチが必要であるとともに、評価法そのものの研究も必要である。</p>
熱伝導率	<p>材料中において熱の伝わり易さを示す指標（値）。工具材料にとって熱伝導率が高いほど、工具の温度が上がりにくいので、熱衝撃抵抗や高温変形などに対して有利となる。</p>
燃焼合成反応	<p>A 元素と B 元素を近づけることにより安定な AB 化合物を合成する反応。一般には安定な化合物が生成する際に、大きな発熱反応を伴うため、エネルギーを与えなくても一度反応が生じると連続的に反応が進行する。本研究開発で取り上げた TiC は代表的な燃焼合成反応を示す材料であり、出発原料であるチタンと炭素を近づけ、反応のきっかけとなるエネルギーを与えることで化合物である TiC が合成される。本研究で用いているメカニカルアロイング法などでそれぞれの元素を近づけて、加熱などにより反応を誘発させる。ただ、燃焼合成反応では反応熱が制御できないため、反応を途中で止めることができない。</p>
Hydrogen Decrepitation (HD) 現象	<p>希土類を多く含む相（例えば Nd-rich 相）が水素を吸収して体積膨張を起こすことにより、インゴット中にクラックが導入され、粒界、粒内の破壊を通じて、インゴットが粉砕される現象。</p>
破壊靱性値	<p>サーメットの機械的性質の一つで、破壊（クラック進展）に対する抵抗を表す指標（値）。破壊靱性値が高いほど破壊しにくい（強靱な）材料が開発されたことになる。ただし、破壊靱性値は測定方法によって値が異なってくるので、どのような方法あるいは条件で行って求めたかを示す必要がある。本研究では、IF 法、SEPB 法などを用いている。</p>
パーコレーション	<p>基盤状の街路を持つ大都市があり、交差点のうち X% が渋滞で塞がっているとすると、X が増加すると目的地への迂回ルートを探すのが困難になるが、その変化は（徐々にではなく）ある X の臨界値で急激に起きる。共通の「変化の急激さ」が膜中の電気伝導、地層中の液体の浸透、伝染病の拡散など様々な対象で観測されており、パーコレーション理論と呼ばれる統一的枠組みで扱うことができる。</p>
パターンド基板	<p>あらかじめ特定のパターンを施した基板。</p>
パルス通電焼結	<p>粉末の固化焼結方法の一つ。導電性の型に粉末を充填し、パルス状あるいは直流の電気を流しながら加圧を行うことで焼結する技術。空間を加熱する焼結炉に比べて、限られた型と粉末のみを加熱するため高速な昇温が行え、省エネルギー型の焼結技術として注目されている。ホットプレスに近い焼結メカニズムで焼結するため、成形体が 1 個であることが量産化のための問題とされている。</p>
反射率	<p>波動が媒質の境界面で反射する時、入射する波のエネルギーに対する反射する波のエネルギーの比。</p>
バンド計算	<p>結晶内の電子に対するエネルギー準位の構造を計算すること。</p>
バンド構造	<p>結晶中の電子は周期的な電場により、取り得るエネルギーはある領域に限られる。この領域は縦軸にエネルギー、横軸に第 1 ブリルアンゾーンのいくつかの k-点をとった形（バンド構造）</p>

	で描かれ、帯状（バンド状）になる。本プロジェクトではこのバンド構造から省インジウム ITO の透明度、電気伝導度を評価している。
PDOS	電子スピンの向きを区別した部分状態密度、Partial Density of State。
ヒステリシス曲線	磁化曲線のこと。
非平衡化プロセス	硬質材料の作製は一般に硬質粒子と結合する金属粉末を混合して焼結される。硬質粒子の一部あるいは全部に対して硬質粒子を構成する元素粉末（炭化チタンの場合、チタン粉末と炭素粉末）で強いエネルギー下にて混合するとアモルファスや過飽和固溶体などの非平衡粉末とすることができる。また、スパッタなどの気相を利用した合成方法では急速に冷却されるため、化合物の組成が平衡相である化学量論組成からずれる場合がある。特に炭化チタンのように結合炭素量に大きな組成幅のある硬質材料では化学量論組成より少ない結合炭素量であっても安定して作製することができる。このような硬質粒子の非平衡化は組成幅のある炭化物、窒化物、硼化物、酸化物等への適用が可能と考えられ、超硬合金の硬質粒子である炭化タングステンのようなラインコンパウンド（組成幅がない化合物）には適用できない。
複相組織硬質材料	サーメットなどのように複数の硬質材料を組み合わせた硬質材料。特に、従来のプロセスでは用いられていない非平衡相も含めた複数の相で構成される硬質材料。
フラットパネルディスプレイ (Flat Panel Display, FPD)	薄型で、平坦な画面を持ったディスプレイの総称。厚み 10 cm 未満のものを FPD に分類することが多い。FPD にはいくつかの種類があり、液晶ディスプレイ (LCD) やプラズマディスプレイ (PDP) などが代表的な FPD である。他にも発光ダイオード (LED) やエレクトロルミネセンス (EL)、有機 EL ディスプレイなどの方式がある。
フリー面	ストリップキャスト合金の、ホイール側の反対の面。
平均自由行路	サーメットや超硬合金の分野で平均自由行路とは、結合相 (Ni や Co) の平均厚さを意味する。
平衡分配 (率)	ある熱力学的条件において、系の自由エネルギーが最小となるような、最も安定な分配。固溶体をつくる合金の液体 (溶質濃度 CL) が平衡を保ちながら凝固し、Cs の溶質濃度の固相を晶出するとき、Cs/CL の比を平衡分配係数 (率) と呼ぶ。
ヘイズ	くもり度のこと。透明導電成膜の評価値のひとつ。 ヘイズ率 = $\{(\text{光の散乱透過率}) / (\text{光の全透過率})\} \times 100$ で表される。 但し、光の散乱透過率 : (全透過率) - (直線透過率) 光の全透過率 : 積分球を用いて測定したすべての透過光に対する透過率を指す。
偏析	金属や合金が凝固する際、不純物および成分元素の濃度分布が不均一になる現象。
ホイール面	ストリップキャスト合金の、ホイール側の面。
飽和磁化	ある温度で物質が有しうる最大の磁化の値。十分に大きな磁場を加えて一定になったときの磁化の値。

保磁力	磁化の向きと逆方向に磁場を加えて得られる減磁曲線上で、磁化の値がゼロになるときの磁場の強さ。
ポストアニール	あとで熱処理を行うこと。
ホッパー	漏斗状の装置。
ホトレジスト	感光性の樹脂でホトリソグラフィ (photolithography, 写真食刻法) に用いられる。露光装置を用い、所望設計パターンをマスクとして紫外線を照射された部分に変質する。現像液 (Developer) を用いて光が照射された領域のホトレジストが除去される場合をポジ型ホトレジスト、非照射領域が除去される場合をネガ型ホトレジストと呼ぶ。
ポリオール	アルコールの一種で一分子中に複数の水酸基を有する炭化水素類。一般のアルコールに比べて分子量の割に融点・沸点・粘度などが高い性質を示す。
マイクロ磁氣的計算	磁気モーメントの集合体を三次元的に考え、磁場の大きさや境界条件などを決定し、系のエネルギーを最小とするような磁気構造を計算すること。
マッピング	2 次元的に、分析結果などを示すこと。
密度汎関数法	固体中の電子密度 $\rho(r)$ を求める際、エネルギーを電子間相互作用を含めて適当な $\rho(r)$ の汎関数で表わし、その変分によって得られる方程式を自己無撞着に解く方法。
メカニカルアロイング	合金などを構成する金属あるいは無機材料などの粉末を出発原料として、雰囲気を制御した密閉された容器内にて硬質なボールなどを圧力媒体として機械的なエネルギーで混合・粉砕する技術。本来、微細なセラミックス粒子を金属マトリックス中に分散する技術として開発され、日本ではアモルファスなどの非平衡相の合成技術として発展してきた。
メルトスパン	原料合金の溶湯を、回転する金属ロール上へノズルから噴射し、急冷して薄帯を作製する方法。
有効質量	結晶中の電子は真空中とは異なった質量を持っているように観察される。本プロジェクトでは第一原理計算で得られたバンド構造の価電子帯の k -空間に対する曲率から求めた。省インジウム ITO 材料としてはバンド構造中の曲率が小さい組成が望ましい。
ユニットセル	結晶の一つの単位胞。
4f 軌道	希土類元素の磁性を担う 4f 電子の軌道。
ラフネス	荒さ。表面の粗さ。
ラボスケール	実験室の範囲。実験室レベルで作製できる量や大きさを表す時に用いる。
ラメラ間隔	板状の構造単位が一定の規則にしたがって集合してとる構造を「ラメラ」といい、その間隔を指す。
粒子間の交換結合	ネオジム磁石を構成する主相間に働く直接の磁氣的結合の一つ。
レーザー回折式粒度分布計	レーザー光の回折を用いて粉体の粒度分布を測定する装置。

レーザーCVD	レーザーによる励起により、原料の気相（有機金属を使用）からの析出を効率的に行う CVD（化学的気相蒸着）法。東北大学（後藤孝教授ら）が開発した手法で、より低温の基材温度でのコーティングが可能であり、サーメット基材用のコーティング法として最も有望視される。
ロール面	ストリップキャストを行い得られた薄帯の、水冷銅ロール側に接していた面。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

本研究開発は、「ナノテク・材料分野」に列挙されている「戦略重点科学技術」のうち「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」にあたるものであり、文部科学省の元素戦略プロジェクトと連携し基礎から実用化までの間隙のない支援体制を確立して行うもので、我が国の科学技術力の向上という観点からも極めて意義が高いものである。

よって、政策的な位置付けであること、資源セキュリティに係ること、高度な技術開発が必要であること、更に開発リスクが非常に高いこと等の観点からNEDOが推進すべき研究開発プロジェクトである。なお、府省連携とNEDOの関係を図I-1-1に、NEDOが関与することの意義について、図I-1-2に示す。

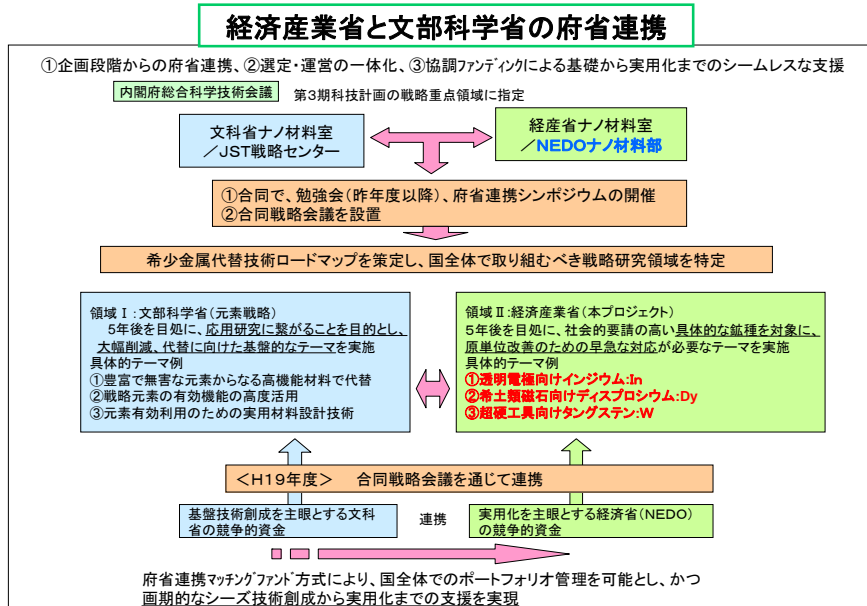
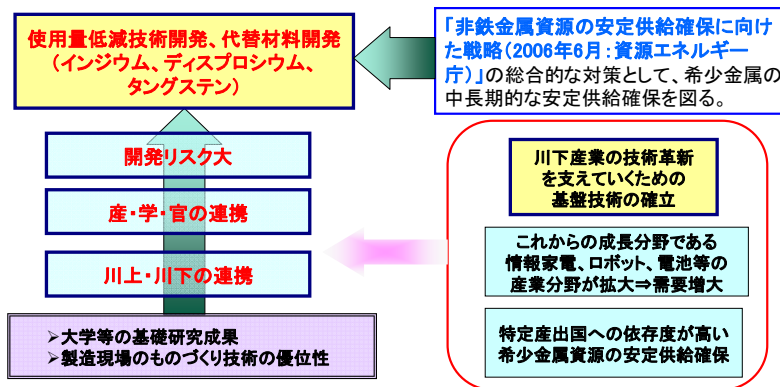


図 I-1-1 府省連携と NEDO の関係

NEDOが関与することの意義



政策的な位置付け・資源セキュリティ・技術開発の開発リスクの観点からNEDOが推進すべき研究開発プロジェクトである。 19FYは、METI直執行

図 I-1-2 NEDO が関与することの意義

1.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトの対象とする希少金属であるインジウム（In）、レアアースに含まれるディスプレイシウム（Dy）、およびタングステン（W）は、日本の基幹産業である自動車、電子・電気機器の開発にとって不可欠なものである。また、日本の資源セキュリティの確保、あるいはハイテク産業を支える高度部材の安定供給による国際競争力の向上の観点からも、これらの代替・低減技術の開発の波及効果は極めて大きい。表 I-1-1 に主要なレアメタルの上位産出国を示す。

表 I-1-1 主要なレアメタルの上位産出国

	主要なレアメタルの上位産出国						上位三カ国の合計シェア
	①	②	③	④	⑤	⑥	
レアアース	① 中国	93%	② インド	3%	③ タイ	2%	【98%】
バナジウム	① 南アフリカ	42%	② 中国	34%	③ ロシア	21%	【98%】
タングステン	① 中国	90%	② ロシア	4%	③ オーストリア	2%	【96%】
プラチナ	① 南アフリカ	78%	② ロシア	12%	③ カナダ	4%	【95%】
インジウム	① 中国	55%	② 日本	15%	③ カナダ	11%	【81%】
クロム	① 南アフリカ	43%	② インド	19%	③ カザフスタン	19%	【81%】
モリブデン	① 米国	34%	② チリ	27%	③ 中国	17%	【77%】
コバルト	① コンゴ民	31%	② ザンビア	17%	③ 豪州	13%	【60%】
ニッケル	① ロシア	22%	② カナダ	15%	③ 豪州	14%	【51%】
マンガン	① 南アフリカ	23%	② 豪州	14%	③ ガボン	13%	【50%】

※現在では、豊羽鉱山の2006年3月末の閉山に伴い、国内鉱からのインジウム生産は消滅し、全量輸入亜鉛精鉱の副産物からの生産に切り替わっている。

出典：「今後のレアメタルの安定供給対策について」2007年7月31日 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会 レアメタル対策部会

1.2.1 インジウム（In）

2006年実績で、インジウムの生産量は全世界で480t生産されており、その大半が中国で生産されている。この内、FPD用の電極材料として430tが使用されている²⁾。FPD用の電極材料の需要が倍増した場合、本研究開発により50%削減が可能になり、将来的なInの供給量に変化がなかった場合、430tの削減効果がある。これは、2006年の地金相場価格（855\$/kg）²⁾では、368億円の削減効果がある。透明電極材の市場規模予測は2010年で781億円であり、この市場確保へも大きく寄与する。また、これらの技術開発は、液晶パネル（生産規模43億9100万枚 市場規模予測14兆円（2013年予測）³⁾）や太陽電池への応用や装置等の関連産業を含めて、日本の産業競争力の向上への貢献が期待される。

1.2.2 ディスプロシウム（Dy）

ハイブリッド車用の永久磁石モータは、国内生産108万個（2007年実績）、260万個（2010年予測）と予想されている²⁾。将来の希土類磁石向け国内Dyの供給量が2004年と同等の260t/年¹⁾として、本技術開発により30%削減可能となった場合、Dy単独でおおよそ110tのディスプレイシウムの削減の効果がある。これは、2006年の価格で換算すると約17億円の削減効果がある。加えて、本技術は現在需要が伸び続けているハイブリッド自動車（「2009年見込684千台（前年比

138.2%) 20年予測 3,750千台(08年比7.6倍)」（富士経済研究所）を下支えする技術として極めて重要である。

1.2.3 タングステン (W)

2004年度のWの需要量は5680トン(需要量)であり、その内、切削工具に使用されるWの需要量は5466トンである¹⁾。本技術開発により、W原単位で30%の削減が可能となった場合、約2985トンの削減効果がある。タングステン鉱石が2006年の価格の200\$ /MTU (1MTU=W₀₃純分10kg)を採用した場合、鉱石換算で約60億円程度の削減効果がある。超硬工具の生産金額は、3340億円(2006年実績、超硬工具協会HPより)であり、本技術はこれらの産業に適用可能である。また、本産業分野のみならず、その出口である自動車部品(エンジン部品、トランスミッション部品、ステアリング部品など)の加工の際に特に多く使用される。これらの個々の部品の加工精度の向上や製造コストの低減といった面で大きく寄与する。特に、超硬工具の利用される産業分野は、工具費に比較して加工費の割合が極めて大きく、本プロジェクトによる高度化・低コスト化は日本の産業分野への大きく貢献する重要な技術となりうる。

1.2.4 費用対効果

以下のように、定量効果として、約8倍強の費用対効果が見込まれる(詳細は表I-1-2参照)。

本プロジェクトの総費用：約50億円

終了時に見込まれる効果：445億円(総額)

368 (うち透明電極向けインジウム原単位削減効果)

17 (うち希土類磁石向けディスプロシウム原単位削減効果)

60 (うち超硬工具向けタングステン原単位削減効果)

表I-1-2 算定根拠の明細

	金額	削減見込量	相場価格	諸元
透明電極向け インジウム	368億円	430t/年	855\$/kg (2006年)	$430t/年 \times 855\$/kg \times 100円/\$ \times 10^3$ = 367.7億円/年 ≒ 368億円/年
希土類磁石向け ディスプロシウム	17億円	110t/年	150\$/kg (2006年)	$110t/年 \times 150\$/kg \times 100円/\$ \times 10^3$ = 16.5億円/年 ≒ 17億円/年
超硬工具向け タングステン	60億円	2985t/年 (W鉱石)	200\$/MTU (2006年)	$2985t/年 \times 200\$/MTU (1MTU=W_{03}純分$ 10kg) $\times 100円/\$ \times (1000/10)$ = 59.7億円/年 ≒ 60億円/年
合計	445億円			

定性効果として、本プロジェクトでターゲットとしているインジウム、ディスプロシウム、タングステンは、それぞれ液晶ディスプレイ、ハイブリッド自動車、超硬工具等の日本の産業競争力を支える製品に使われており、本開発によるレアメタルへの依存リスクの軽減は、本対象のみならず、日本の産業競争力の向上に寄与する。

【参考文献】

- 1) 平成18年度成果報告書「希少資源代替材料開発プロジェクト」に関する調査

- 2) 2008 レアメタル・貴金属関連市場の現状と将来展望 富士経済
- 3) 2008 液晶関連市場の現状と将来展望 富士キメラ総研

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2.1 事業の背景

2.1.1 社会的背景

希少金属は、今後の成長分野である情報家電、ロボット、電池等の新たな産業分野の成長に伴い需要の増大が見込まれるが、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが有効に機能せず、その需給逼迫が経済成長の制約要因となると懸念される。

2.1.2 技術的背景

近年「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来出来なかった「コンピュータの最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等の最先端技術を用いた希少金属の代替／使用量低減の技術開発が可能となりつつある。

2.2 事業の目的

現在及び将来において我が国経済を牽引していく産業分野において、競争力を発揮し世界を勝ち抜いていくために、多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工との水平連携）による研究開発の推進により、当該市場のニーズに応える機能を実現する上で不可欠な高品質・高性能の部品・部材をタイムリーに提供し、又は提案することができる部材の基盤技術を確立することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」、及び環境・資源制約を克服し循環型経済システムを構築することを目的とした「環境安心イノベーションプログラム」の一環として本プロジェクトを実施する。

希少金属は、我が国産業分野を支える高付加価値な部材の原料であり、近年その需要が拡大している。しかし、途上国における著しい需要の拡大や、そもそも他の金属と比較して、金属自体が希少であり、代替性も著しく低く、その偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高いこと等から、我が国の中長期的な安定供給確保に対する懸念が生じている。これに対する具体的な対策として、平成18年6月、資源エネルギー庁から報告された「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」において、①探鉱開発の推進、②リサイクルの推進、③代替材料の開発、④備蓄、等が整理され、現在それぞれにおける具体的な対策が進められている。

本研究開発は、この総合的な対策の一部として非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立を目的としている。

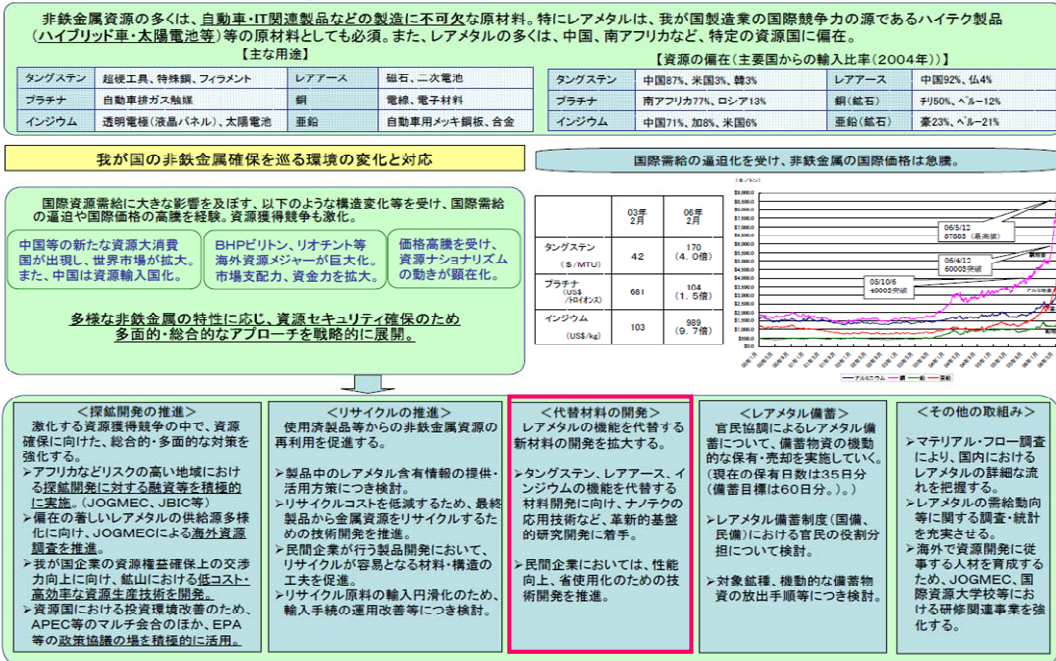


図 I-2-1 非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略

2.3 事業の位置付け

平成18年3月28日に閣議決定された「第3期科学技術基本計画」では、「ナノテク・材料分野」を「重点推進4分野」の一つとして位置づけ、これに優先的に資源配分することとしている。本研究開発は、同分野に列挙されている「戦略重点科学技術」のうち「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」にあたるものであり、文部科学省の元素戦略プロジェクトと連携し基礎から実用化までの間隙のない支援体制を確立して行うもので、我が国の科学技術力の向上という観点からも極めて意義が高いものである。

＜ナノテク・材料分野の戦略重点科学技術の一つ「②資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」に位置付けられる。＞

選択と集中の戦略概念

- 社会、産業からの要請が強く、しかも『True Nano』や革新的材料でなければ解決が困難な課題
- ナノ領域特有の現象・特性を活かし、不連続な進歩や大きな産業応用により国際競争の優位を確保する課題
- 『True Nano』や革新的材料技術によるイノベーションの創出を加速し国際競争の優位を確保する推進基盤

戦略重点科学技術

- 『True Nano』や革新的材料で困難な社会的課題を解決する科学技術
 - ① クリーンなエネルギーの飛躍的なコスト削減を可能とする革新的材料技術
 - ② 資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術
 - ③ 生活の安全・安心を支える革新的ナノテクノロジー・材料技術
 - ④ イノベーション創生の中核となる革新的材料技術
- 『True Nano』で次世代のイノベーションを起こす科学技術
 - ⑤ デバイスの性能の限界を突破する先端のエレクトロニクス
 - ⑥ 超早期診断と低侵襲治療の実現と一体化を目指す先端のナノバイオ・医療技術
- 『True Nano』や革新的材料技術によるイノベーションの創出を加速する推進基盤
 - ⑦ ナノテクノロジーの社会受容のための研究開発
 - ⑧ イノベーション創出拠点におけるナノテクノロジー実用化の先導革新研究開発
 - ⑨ ナノ領域最先端計測・加工技術
 - ⑩ X線自由電子レーザーの開発・共用

図 I-2-2 第3期科学技術基本計画での位置付け

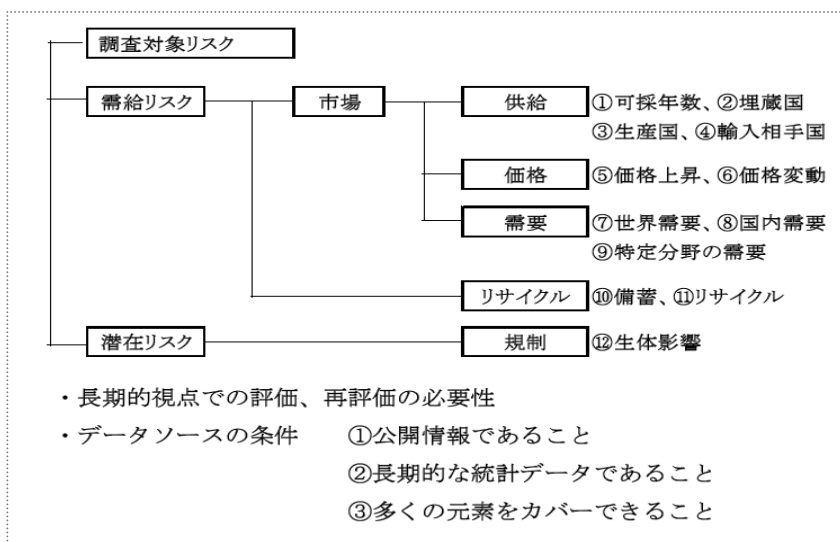
II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 目標の設定根拠

1.1.1 対象元素の選定

本プロジェクトの先導調査として、NEDOは、レアメタル3R技術開発に関する調査を行い、種々の公開情報から、図II-1-1に示す①～⑫項目により各種レアメタルのリスク評価を実施し、表II-1-1に示すような上位13鉱種を選定した。



図II-1-1 各種レアメタルに関するリスク評価方法

上位13鉱種を対象に、カントリーリスクおよび将来の需要動向を考察し、最終的に重要3元素 [タングステン、レアアース（うちディスプレイウム）、インジウム] を選定した。

表II-1-1 リスク評価結果

No.	元素名	族	ケース 区分	カントリーリスクの事例及び今後の動向	対象 元素
3	タングステン(W)	6	遷移元素	・天安門事件による出荷遅延(1989)、中国の鉱石契約一時停止(1991)等リスクの事例がある。 ・超硬工具、電子機器(ヒートシンク等)の需要増加が見込まれる。中国の国内需要が増加している。	○
6	マンガン(Mn)	7		・豪州サイクロンによる出荷遅延(2000)、中国の電力不足による生産障害(2004)等リスクの事例がある。 ・主用途は鉄鋼・アルミニウムの合金元素であり、需要は比較的安定している。	
11	タンタル(Ta)	5		・カントリーリスクの事例はない。	
12	プラチナ(Pt)	10		・一次需給が逼迫し高騰したが、代替材の開発が進み今後のリスクは低い。 ・カントリーリスクの事例はない。	
14	ゲルマニウム(Ge)	14		・触媒等の需要が増加したがマテリアルリサイクルが確立している。燃料電池実用化には時間を要する。	
23	インジウム(In)	13	半金属元素	・カントリーリスクの事例はない。 ・PET樹脂触媒が主な用途であり、需要は安定化している。	
16	リチウム(Li)	1	アルカリ金属	・中国の鉱山事故による減産(2001)、環境汚染による一部精錬所の閉鎖(2006)等、リスクの事例がある。 ・液晶用ターゲット材、無鉛はんだ添加材等需要増加が見込まれる。	○
17	ベリリウム(Be)	2	アルカリ土類金属	・カントリーリスクの事例はない。 ・一次需給が逼迫し高騰したが、代替材の開発が進み今後のリスクは低い。 ・カントリーリスクの事例はない。	
31	ランタン(La)	3	遷移元素	・カントリーリスクの事例はない。 ・端子・コネクタ等銅合金の添加元素であり、需要は安定している。元素自体に毒性がある。	
33	ネオジム(Nd)			・中国政府の対日供給抑制(2000)、環境汚染による生産規制(2006)等、リスクの事例がある。	
34	サマリウム(Sm)			・希土磁石、NiMH電池用水素吸蔵合金に需要の増加が見込まれる。	
35	ディスプレイウム(Dy)			・中国の内需も拡大している。	
36	イットリウム(Y)			・イットリウムは広義のレアアースである。セリウムとともにレアアースの余剰元素である。	

注) ・レアアース元素(La～Y)のなかで、将来にわたり供給不足が予測されるディスプレイ用元素を選定した。
 ・各項目のリスク評価結果の詳細につきましては出典資料をご参照ください。
 ・出典：NEDO平成17年度調査報告書「各種レアメタルに関するリスク評価及び重要元素に関する需給の現状と課題」

1.1.2 重要3元素の用途と必要性について

【インジウム (In)】

平成14年度現在わが国は世界におけるインジウム需要の6割程度を占め、世界最大のインジウム消費国である。そのインジウムの用途は、透明電極が83.4%を占め、ほとんどが透明電極用である。今後、透明電極の主要用途である薄型テレビ、パソコン、モバイル機器等の生産量の大幅な拡大が予想されており、それにともない需要が急拡大するものと思われる。

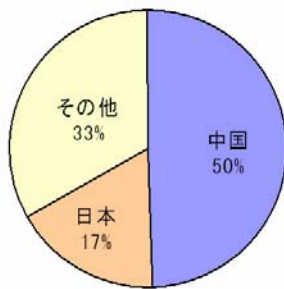


図 II-1-2 インジウムの国別供給割合¹⁾
(平成16年 世界市場)

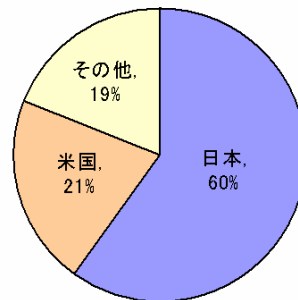


図 II-1-3 インジウムの国別需要割合²⁾
(平成14年 世界市場)

1) USGS「Mineral Commodity Summaries (2004)」
 2) ECONOMICS OF INDIUM 2003 EIGHTH EDITION ROSKILL

インジウムは、珍しくわが国が平成16年度現在で、世界2位の生産量を誇り、全供給量の17%を担っているが、それでも供給の半数強(50%)は中国からの輸入に頼っている。である。インジウムの供給は最大供給国である中国の影響力が大きく、これに加えて、供給リスクを低減する必要がある。特に昨年優良なインジウム鉱山である豊羽鉱山の閉山に伴い、わが国の供給量は、今後減少することが予想されることから、供給リスクを低減する必要がある(以上、図 II-1-2～図 II-1-5 参照)。

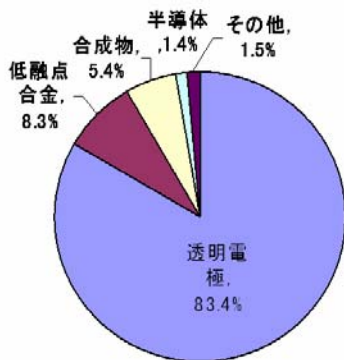


図 II-1-4 インジウムの製品別需要割合
(平成18年 世界市場)

Brian O' Neill「Indium: Is There Enough?」(平成18年)

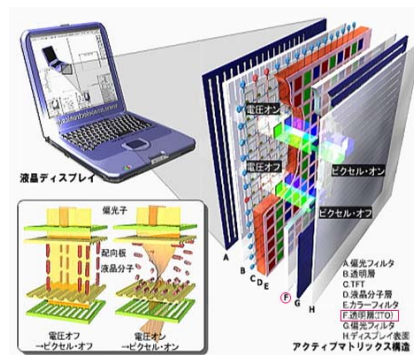


図 II-1-5 透明電極使用事例

<http://www.nanoelectronics.jp/kaitai/cd/3.htm>

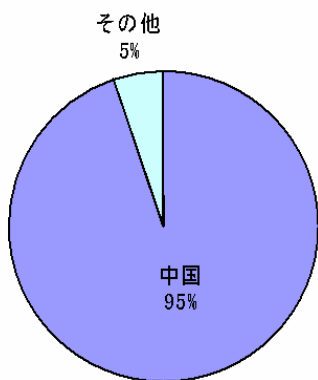


図 II-1-6 レアアースの国別供給割合¹⁾
(平成15年 世界市場)

1) USGS「Mineral Commodity Summaries (2005)」

2) JOGMEC「レアメタル備蓄データ集(2006年版)」

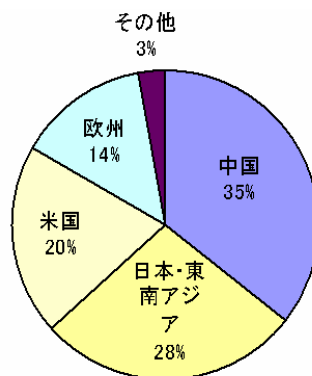


図 II-1-7 レアアースの国別需要割合²⁾
(平成15年 世界市場)

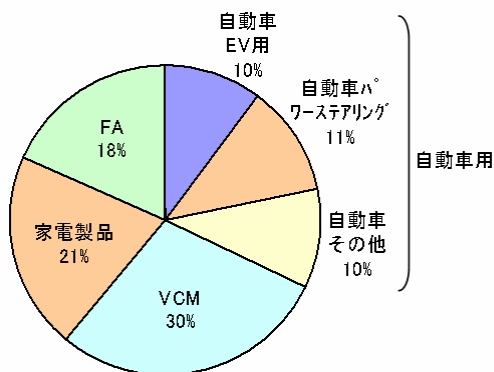
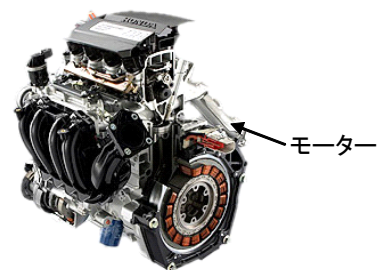


図 II-1-8 ディスプロシウム(Dy)の製品別需要割合
(平成16年 国内市場)

希少性資源の3Rシステム化に資する技術動向調査(平成18年3月)

ハイブリッド自動車用モーター



<http://www.honda.co.jp/tech/auto/engine/honda-ima/detail/index.html>

図 II-1-9 透明電極使用事例

【ディスプロシウム (Dy)】

地球環境に優しい輸送手段として電気自動車(EV) およびハイブリッドカー(HEV) の開発が進められている急務である。1982年に開発されたNd-Fe-B焼結磁石は、世界最強の永久磁石材料であり、EVやHEV(以下電気自動車と記す)の駆動用大型モーターのための最も有望なハード磁性材料である。一般に永久磁石の性能指標である「最大エネルギー積」を高めるには、大きな残留飽和磁化(着磁状態から磁界を取り去ったときに磁石が持ちうる磁気の強さ)と大きな保磁力(逆磁界に対する抵抗力)をもつことが必要である。

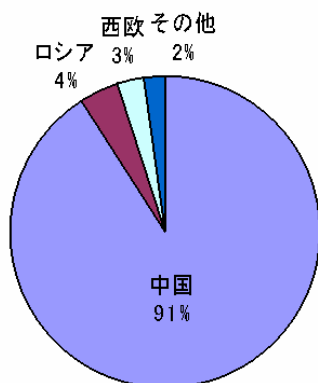
電気自動車に用いるモーターでは動作環境が200°C以上になることが想定される。温度上昇により残留磁化、保磁力ともに低下するが、永久磁石としての機能を維持するためには、高温環境において保磁力を優先的に確保する必要がある。温度上昇にともない、保磁力はほぼ直線的に低下することから、高温環境において必要な保磁力を変化を考慮すると室温状態での値に換算すると30 kOeもの高保磁力を持つNd-Fe-B磁石が必要とされる。

現在、市場に出荷されているNd-Fe-B焼結磁石では、保磁力上昇のために重希土類元素ディスプロシウムDyを添加しているが、ディスプロシウムDyは希土類鉱石中の含有量が少なく、原産地が中国にほぼ限定されているため、将来の電気自動車等の需要拡大に対し供給不足が発生

し、産業の成長を阻害する可能性がある（以上、図Ⅱ-1-6～図Ⅱ-1-9 参照）。

【タングステン（W）】

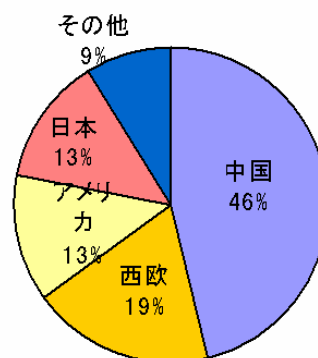
自動車や情報家電、ロボットなどの金属部材の精密機械加工を支える工具として、超硬合金（炭化タングステン-コバルト系）が主に利用されている。これは、炭化タングステンの有する硬度や高温特性、溶融コバルトとの濡れ性に起因する高強度などの優れた特性を利用したものである。最近の高速加工や超精密加工の必要性から超硬合金に対して耐熱性の付与や硬質粒子の超微粒子化が進められており、優れた工具性能を発揮している。さらに、炭化タングステンの電気伝導性を利用した精密加工（放電加工やワイヤーカット等）が利用できるため、複雑な工具形状の成形も可能となり、わが国の精密加工を下支えしている。しかし、タングステンは地域偏在性の極めて高いレアメタルのひとつであり、将来にわたって安定した供給を受けることが難しい状況になりつつある（以上、図Ⅱ-1-10～図Ⅱ-1-13 参照）。



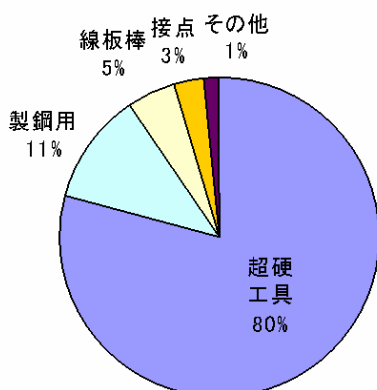
図Ⅱ-1-10 タングステンの国別供給割合¹⁾
（平成16年 世界市場）

1) USGS「Mineral Commodity Summaries 2006」

2) JOGMEC「レアメタル備蓄データ集(2006年版)」



図Ⅱ-1-11 タングステンの国別需要割合²⁾
（平成16年 世界市場）



図Ⅱ-1-12 タングステンの製品別需要割合
（平成16年 国内市場）

JOGMEC「レアメタル備蓄データ集(2006年版)」



図Ⅱ-1-13 超硬工具使用事例

1. 1. 3 ロードマップの策定

本プロジェクト実施に先立ち、技術動向および市場動向を整理し、研究開発の重要度が高いと考えられる技術の絞り込み等を行うため、技術ロードマップの策定を実施した。

1. 1. 3. 1 調査体制

1. 1. 3. 1. 1 希少金属代替材料開発プロジェクト企画委員会

本調査では、希少金属代替材料の技術開発ロードマップづくりについて助言を得るため、産学の有識者からなる「希少金属代替材料開発プロジェクト企画委員会」を設置し、ロードマップの構成要素、背景となる社会動向の予測、希少金属代替／省資源化シナリオ、開発課題、課題・目標について検討を行い、技術開発ロードマップの策定を行った。

また、希少金属代替材料開発プロジェクトの位置づけ、必要性、技術ロードマップで示された研究開発目標の妥当性、実用化・事業化の見通し等の事前評価、さらに希少金属代替材料開発プロジェクトの基本計画および実施方針についても検討を行い、これを策定した。

希少金属代替材料開発プロジェクト企画委員会委員を表Ⅱ-1-2に示す。

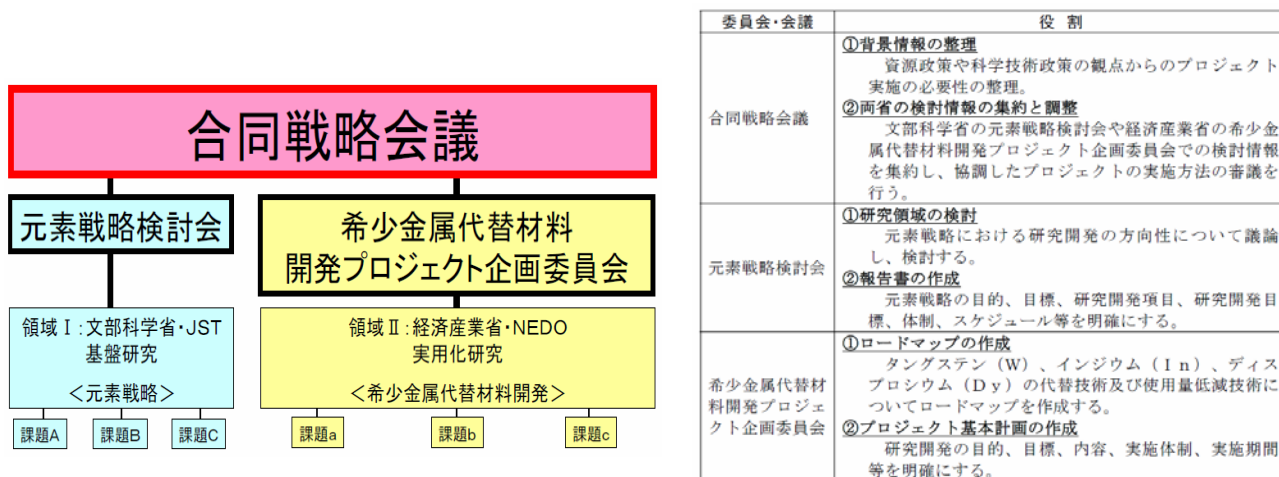
表Ⅱ-1-2 希少金属代替材料開発プロジェクト企画委員会委員

委員長	前田 正史	東京大学 生産技術研究所 所長
委員	安達 毅	東京大学 環境安全研究センター 助教授
委員	金丸 盛宣	株式会社神戸製鋼所 材料研究所 精錬凝固研究室 室長
委員	香山 高寛	CSKベンチャーキャピタル株式会社 投資開発部 部長
委員	北川 雅俊	松下電器産業株式会社 パナソニックAVCネットワークス社 映像・ディスプレイデバイス事業グループ PDPデバイスビジネスユニット 先行開発担当参事
委員	近田 滋	トヨタ自動車株式会社 車両技術本部 HV材料技術部 シニアスタッフエンジニア
委員	近藤 敏	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源開発支援本部 金属資源開発調査企画 グループ グループリーダー
委員	町田 憲一	大阪大学先端科学イノベーションセンター 先端科学技術インキュベーション部門 教授
委員	松尾 伸也	大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 マテリアル科学コース 教授
委員	御園 一郎	超硬工具協会 専務理事

1. 1. 3. 1. 2 合同戦略会議

本調査では、当時 経済産業省およびNEDOが実施予定の「希少金属代替材料開発プロジェクト」と文部科学省およびJSTが実施予定の「元素戦略プロジェクト」との連携を図るため、産学の有識者からなる「合同戦略会議」を設置し、希少金属代替材料開発プロジェクトおよび元素戦略プロジェクトに関する情報交換、また今後の連携のあり方について検討を行った。

合同戦略会議の位置づけ、役割を図Ⅱ-1-14に、合同戦略会議委員を表Ⅱ-1-3に示す。



図Ⅱ-1-14 合同戦略会議の位置づけ、役割

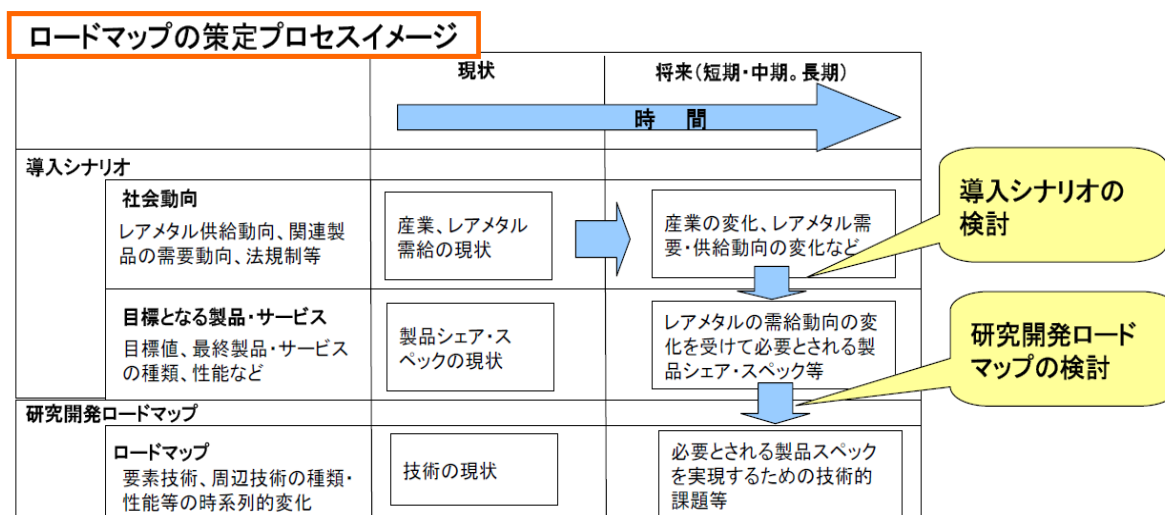
表Ⅱ-1-3 元素戦略／希少金属代替材料開発 合同戦略会議委員

委員長	岸 輝雄	独立行政法人物質・材料研究機構 理事長
委員	石垣 尚幸	日立金属株式会社 NEOMAXカンパニー 理事
委員	井上 明久	東北大学 総長
委員	太田 賢司	シャープ株式会社 理事代表取締役 専務(技術担当)
委員	北澤 宏一	独立行政法人科学技術振興機構 理事長
委員	逆瀬川 敏夫	独立行政法人石油天然ガス・金属 鉱物資源機構 特別顧問
委員	前田 正史	東京大学 生産技術研究所 所長

1. 1. 3. 2 技術開発ロードマップ
 1. 1. 3. 2. 1 ロードマップの構成

技術開発ロードマップは、社会動向および目標となる製品・サービスを整理した「導入シナリオ」、また要素技術や周辺技術の種類・性能等の目標を整理した「研究開発ロードマップ」から構成される（表Ⅱ-1-4 参照）。

表Ⅱ-1-4 技術開発ロードマップの策定プロセスイメージ



「導入シナリオ」では、将来的な産業動向およびレアメタル供給の予測に関する既存資料等を踏まえ、レアメタル需給に関する今後の世界・国内動向、またその予測を踏まえてわが国で必要とされる（希少金属代替材料の研究開発成果¹を織り込んだ）製品・サービスの内容を記載している。必要とされる製品・サービスより、各レアメタルに係る代替材料（および使用量低減技術）開発の具体的な目標（国内における各レアメタル年間消費量）を設定している。

「研究開発ロードマップ」では、「導入シナリオ」で取り上げられている目標（必要とされる製品・サービスおよび国内における各レアメタル年間消費量）を実現するための技術的課題、要素技術、求められる機能を時間軸上に記載している。

1. 1. 3. 2. 2 目標の設定方法

「希少金属代替材料開発プロジェクト」の目標年度を踏まえ、各レアメタルに係る代替材料（及び使用量低減技術）開発の目標は、目標年度の平成 23 年度（2011 年度）²における各レアメタルの目標消費削減率とした。

この目標は、目標年度における各レアメタルの予想国内供給量および予想国内需要量を踏まえ、その時の国内需要量を国内供給量の範囲内に抑制させるための抑えるための数値目標となる。

¹ 「希少金属代替材料の研究開発成果」には、純粋な意味での代替材料のほか、使用量低減技術である高機能化技術（材料）や長寿命化技術（材料）なども概念として含まれる。

² 国内需要量の予測に使用する既存の産業動向予測データは、多くの場合 2010 年（暦年）までしか存在しない。そのため、本ロードマップにおいては、代替措置として、2010 年における予想国内供給量および予想国内需要量をもって、施策目標の設定を行っている。

目標の設定方法は以下のとおりである。

●目標消費削減率の計算方法

以下の式にて計算する。

$$[\text{目標消費削減率}(\%)] = 100 \times \left\{ 1 - \frac{[\text{予想国内供給量}]}{[\text{予想国内需要量}]} \right\}$$

ただし、研究開発ロードマップで取り上げられるテーマが特定製品にのみ適用される場合は、以下式にて計算する。

$$[\text{目標消費削減率}(\%)] = 100 \times \left\{ 1 - \frac{[\text{予想国内供給量}] - [\text{特定製品以外の予想国内需要量}]}{[\text{予想国内需要量}] - [\text{特定製品以外の予想国内需要量}]} \right\}$$

●予想国内供給量

各レアメタルの国内供給量は、現状（平成16年度³）と同等とする。

レアメタル資源の偏在性は、特定国・地域の事情による供給不安定化を招きやすく、供給量の予測を極めて困難なものとしている。また、各レアメタル供給の大半を海外に依存しているわが国においては、産出国における輸出政策動向なども国内供給量の予測に大きな影響を与えることから、予想国内供給量の予測をますます難しいものとしている。そのため、予想国内供給量は、明らかな変動要素を除き、現状維持としている。

●予想国内需要量

各レアメタルの国内需要量は、当該レアメタルを消費する主要製品の生産動向予測データに単位製品あたりに消費される各レアメタル量（現状同等）を乗じて計算する。

$$[\text{予想国内需要量}(\text{t})] = [\text{主要製品の国内生産量}(\text{台})] \\ \times [\text{主要製品における1台あたりのレアメタル消費量}(\text{t}/\text{台})] \\ + [\text{その他製品向けの国内需要量}(\text{t})]$$

主要製品に関する既存の産業動向予測データが複数存在する場合、製品ごとに計算を行い、その和をもって予想国内需要量としている。なお、その他製品の国内需要量については、現状（平成16年度）と同等とする。

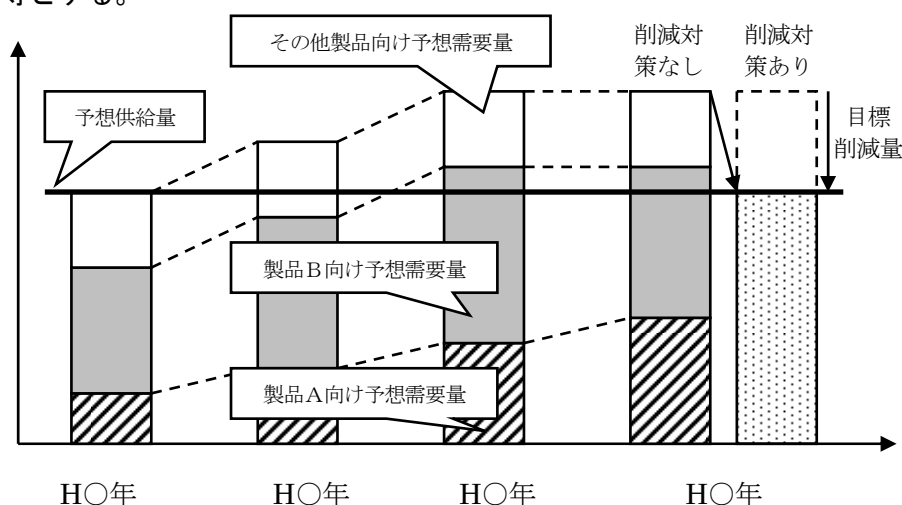


図 II-1-15 予想国内供給量と予想国内需要量のイメージ

³ 平成16年（暦年）データで代替した。

1. 1. 3. 2. 3 削減目標の設定根拠

【インジウム (In)】

需要量の増大要因としては、透明電極の主要用途である薄型テレビ、パソコン、モバイル機器生産量の増大が挙げられる。(透明電極使用量の内訳は、各種液晶ディスプレイのカラーフィルター向けが 48%、薄膜トランジスタ利用の液晶ディスプレイ向けが 33%、プラズマディスプレイパネル向けが 10%、その他 9%ともいわれている。薄膜トランジスタ利用の液晶ディスプレイ及びカラーフィルターを使用する代表例が液晶テレビ、パソコン、携帯電話である。) 一方、ITO⁴膜生成プロセスでの使用量低減、使用済み製品からのリサイクル率向上により、需要量の減少も期待できる。

インジウムの供給は最大供給国である中国の影響力が大きい。

平成 22 年度におけるインジウムの予想国内需要量は、同年の予想国内供給量(平成 18 年 3 月の豊羽鉱山閉山に伴い、国内生産量の減少分を見込んでいる)の 1.69 倍と想定されることから、インジウムの代替材料開発等に係る目標を消費量削減率 50%と設定した。ただし、液晶モニタ等の大型化や新規用途開拓が予想以上に進展することも想定され、技術開発に加え、資源確保戦略もあわせて推進していくことが重要であると考えられる。

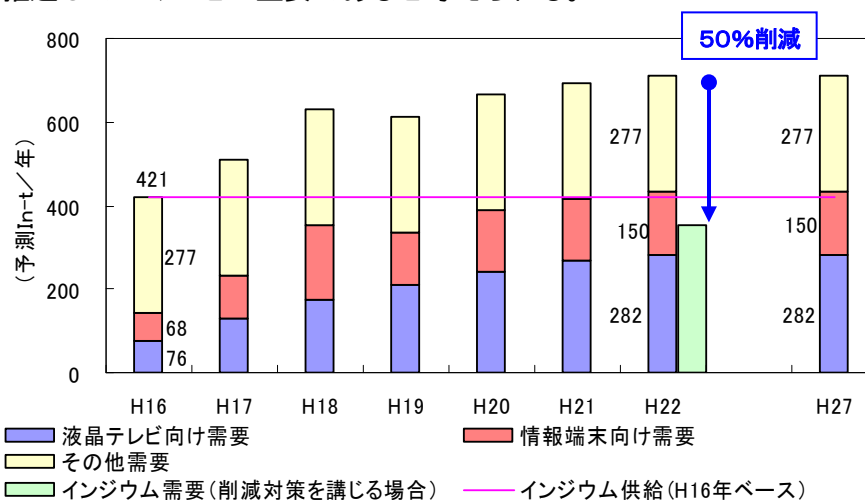


図 II-1-16 わが国におけるインジウム供給と主要製品に関するインジウム需要の予測

【ディスプロシウム (Dy)】

ディスプロシウムの需給バランスに大きな影響を与えると想定されるものに、ハイブリッド自動車・デジタル製品の生産(内蔵のモーターや VCM 需要がのびるため)、主要産出国である中国における E/L 発給枠の抑制、新規鉱山の採掘開始がある。

今後もハイブリッド自動車・デジタル製品の生産に伴うディスプロシウムの需要が伸び続けると思われること、中国の内需拡大により輸出拡大の動きが働きにくいと思われること、新規鉱山からの供給量は全世界供給量のごく一部に過ぎないこと、などから長期的にはディスプロシウムの需給バランスは緊迫する方向にあると考えられる。

平成 22 年におけるディスプロシウムの予想国内需要量は、同年の予想国内供給量の 1.43 倍と想定されることから、ディスプロシウムの代替材料開発等に係る目標を消費量削減率 30%と設定

⁴ Indium Tin Oxide: インジウム・スズ酸化物

した。

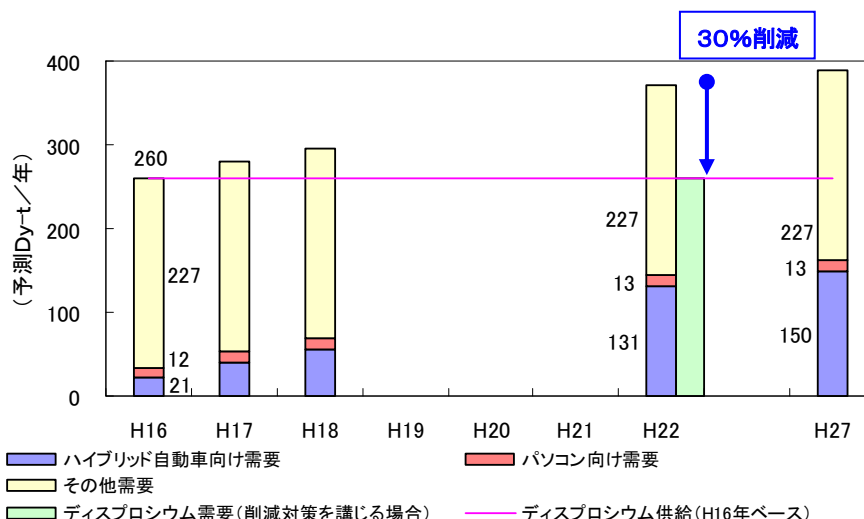


図 II-1-17 わが国におけるディスプロシウム供給と主要製品に関するディスプロシウム需要の予測

【タングステン (W)】

タングステンの需給バランスに大きな影響を与えると想定されるものに、自動車・工作機械の生産（機械工具の需要がのびるため）、主要産出国である中国におけるE/L⁵発給枠の抑制、新規鉱山の採掘開始がある。

今後も自動車・工作機械の生産に伴う機械工具の需要が伸び続けると思われること、中国の内需拡大により輸出拡大の動きが働きにくいと思われること、新規鉱山からの供給量は全世界供給量のごく一部に過ぎないこと、などから長期的にはタングステンの需給バランスは緊迫する方向にあると考えられる。

平成 22 年におけるタングステンの予想国内需要量は、同年の予想国内供給量の 1.36 倍と想定されることから、タングステンの代替材料開発等に係る目標を消費量削減率 30%と設定した。

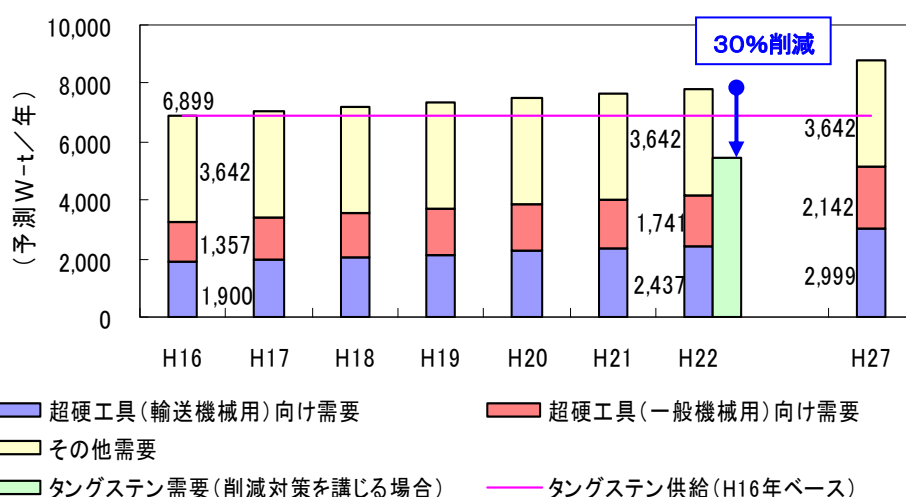
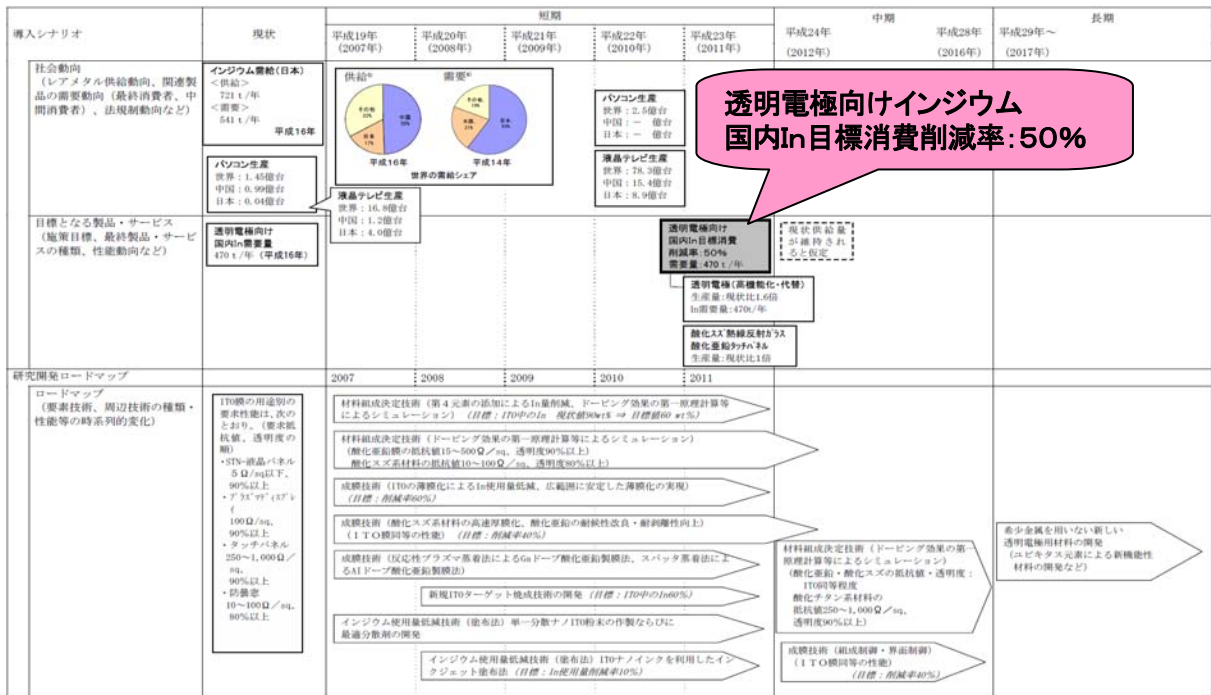


図 II-1-18 わが国におけるタングステン供給と主要製品に関するタングステン需要の予測

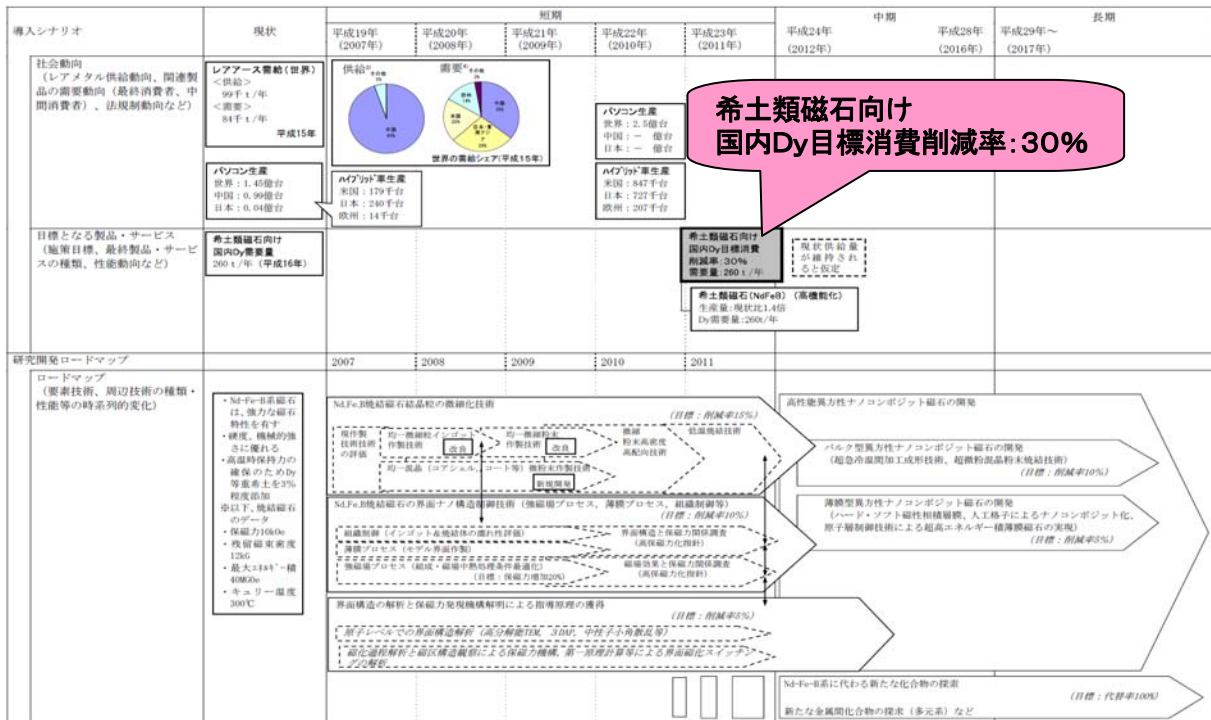
⁵ E/L : Export License (輸出承認書)

1.1.3.2.4 ロードマップの詳細

技術開発ロードマップの詳細を、図Ⅱ-1-19～図Ⅱ-1-21に示す。



図Ⅱ-1-19 技術開発ロードマップ(透明電極向けインジウム)



図Ⅱ-1-20 技術開発ロードマップ(希土類磁石向けディスプレイ)

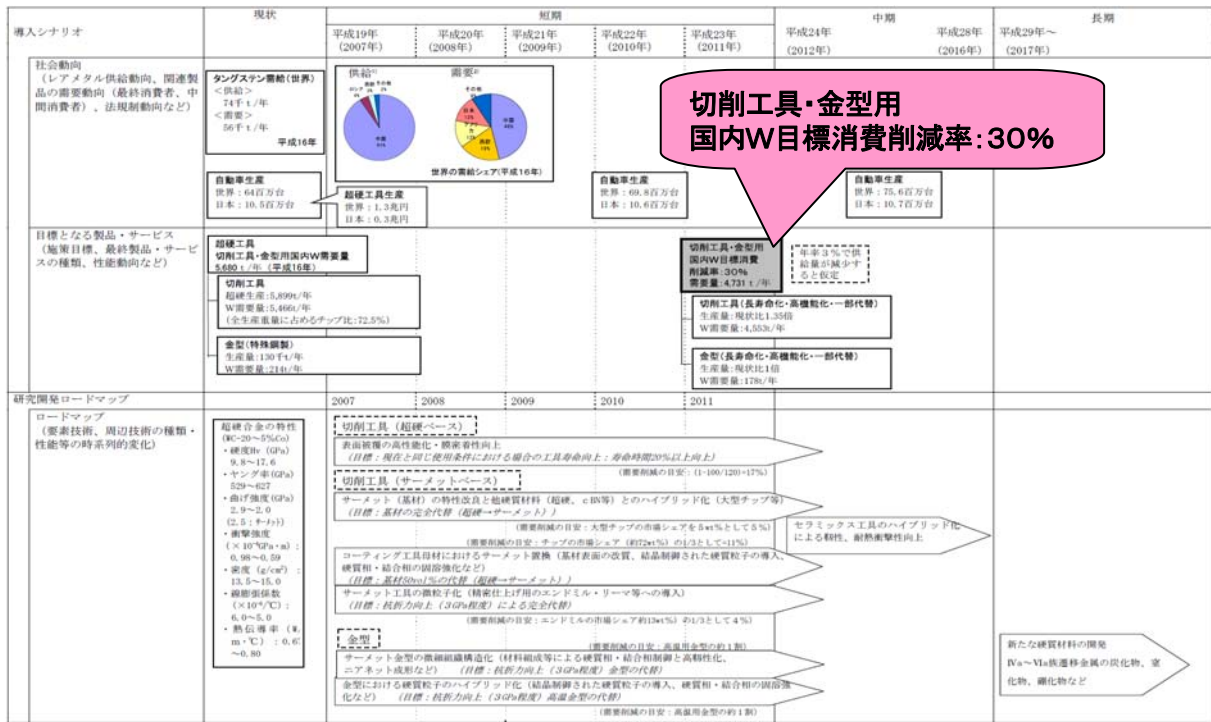


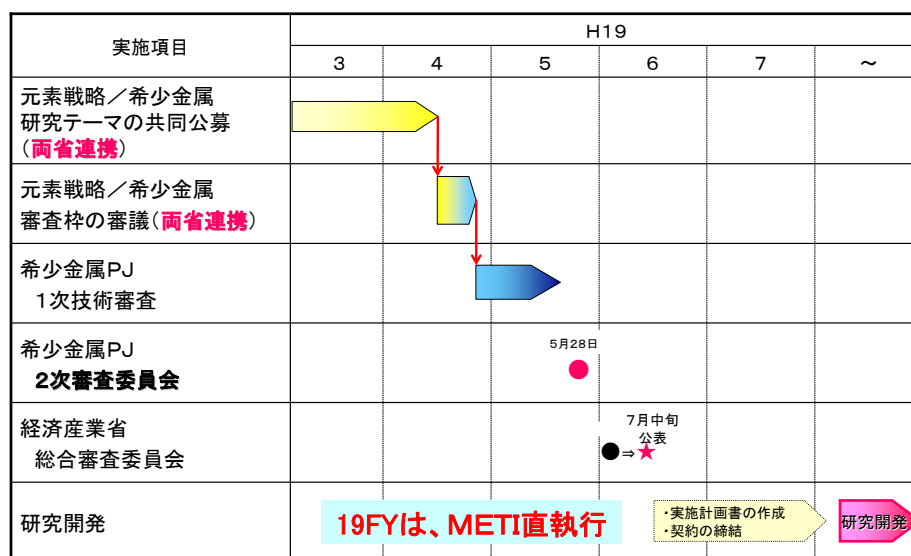
図 II-1-21 技術開発ロードマップ(切削工具・金型用タングステン)

1. 1. 4 公募・採択審査における両省連携

公募・採択審査においては、文部科学省およびJSTが実施予定の「元素戦略プロジェクト」と経済産業省およびNEDOが実施予定の「希少金属代替材料開発プロジェクト」が連携し、提案公募および採択審査を行った。

提案公募では、両省で共同公募を行い、合同で公募説明会を実施した。また、採択審査においては、提案内容を双方で共有し、両プロジェクトの審査委員の相互交流も行った。

図Ⅱ-1-22に採択までのスケジュールを、表Ⅱ-1-5に希少金属代替材料開発技術審査委員会委員を示す。



図Ⅱ-1-22 採択までのスケジュール（経済産業省）

表Ⅱ-1-5 希少金属代替材料開発技術審査委員会委員

委員	安達 毅	東京大学 環境安全研究センター 助教授
委員	五十嵐 伸吾	九州大学大学院 准教授 ペンチャービジネスラボラトリー次長
委員	馬越 佑吉	大阪大学 理事・副学長
委員	金丸 盛宣	株式会社神戸製鋼所 材料研究所 精錬凝固研究室 室長
委員	北川 雅俊	松下電器産業株式会社 パナソニックAVCネットワークス社 映像・ディスプレイデバイス事業グループ PDPデバイスビジネスユニット 先行開発担当参事
委員	近藤 敏	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源開発支援本部 金属資源開発調査企画 グループ グループリーダー
委員長	前田 正史	東京大学 生産技術研究所 所長
委員	町田 憲一	大阪大学先端科学イノベーションセンター 先端科学技術インキュベーション部門 教授
委員	松尾 伸也	大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 マテリアル科学コース 教授
委員	御園 一郎	超硬工具協会 専務理事

(敬称略、五十音順、平成19年5月28日時点)

1.2 全体目標

以上の検討結果から、全体目標として、以下を設定した。

最終目標（平成23年度末）では、以下希少金属元素の使用原単位（一製品当たり）について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確立する。また、製品の機能や製造コストは少なくとも現状と同等を維持することを前提とする。

研究開発項目	対象元素	使用原単位の低減目標値
①及び②	透明電極向けインジウム (In)	現状(2004年)から50%以上低減
③	希土類磁石向けディスポロシウム(Dy)	現状(2004年)から30%以上低減
④及び⑤	超硬工具向けタングステン(W)	現状(2004年)から30%以上低減

1.3 詳細目標と設定根拠

詳細な数値目標は以下の通り。（中間目標：平成21年度末、最終目標：平成23年度末）

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

本研究では、インジウム使用量低減 ITO 材料開発としてインジウム系新組成材料の開発、新材料及びこれに最適な革新的プロセスの開発等、インジウム使用原単位を現状値より50%以上削減可能な基盤技術及び製造技術を開発するため、(a)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」(省In組成のITO並びにその薄膜化技術に関する開発)、(b)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減技術開発」(導電性ITOナノインク塗布技術開発)の研究開発項目について研究開発を実施する。

【中間目標】：平成21年度

(1) 新規ターゲット組成では、小型スパッタリングの実験装置でシート抵抗 $50\Omega/\text{sq}$ を実現する。薄膜化スパッタ技術開発では、ITO膜厚を100nm以下で透過率85%以上(測定波長550nm)を達成する。

以上の結果からInの使用原単位を40%以上削減できることを実験的に立証する。

(2) ナノインクによる電導膜について、透過率80%以上、ヘイズ2%以下、表面抵抗率 $1000\Omega/\text{sq}$ 以下を達成可能な塗布法の開発を目標とする。

以上の結果からInの使用原単位を6%以上削減できることを実験的に立証する。

《設定根拠》

上記性能を持つ省インジウムITOターゲットを開発し、普及すれば、インジウム使用量が30%以上削減可能。

【最終目標】：平成23年度

(1) 新規ターゲット組成では、所定の諸特性(体積抵抗率 $200\sim 250\mu\Omega\text{cm}$ 、透過率は波長550nmで85%以上、エッチング性、高屈折率)を満足する材料を開発する。また、新規組成ターゲット作製工程の最適化を行い高密度(99.5%以上)ターゲットの工業化技術を完成させる。

薄膜化スパッタ技術開発では、スパッタリング法における大型FPD用のITO膜の厚さを両面合せて現状値220nmから100nm以下とし、シート抵抗 $16\Omega/\text{sq}$ ($160\mu\Omega\text{cm}$)以下、

透過率 85%以上（測定波長 550nm）とする製造技術を開発することを目標値とする。

以上の技術を確立し In の使用原単位を 40%以上削減できる工業化・製造技術を確立する。

(2) インクジェット法では、焼成温度 200-300°C、膜厚<150nm (Ra<10nm)、抵抗値 $<5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 、透明性>96% (450-800nm)、耐擦性>3H を満足する ITO インクの確立を目指し、In 使用原単位削減率 10%を達成可能なインクジェット用ナノインクの開発を目標とする。

静電塗布法では、塗布プロセスと条件の最適化により、焼成温度 200°C以下で、膜厚 200nm 以下、透過率 90%以上、ヘイズ 1%以下、表面抵抗 100 Ω/sq 以下を目指し、In 使用原単位削減率 10%を達成可能な塗布法の開発を目標とする。

以上の技術を確立し In の使用原単位を 10%以上削減できる工業化・製造技術を確立する。

上記 (1), (2) の目標達成により、現在の ITO 薄膜で使用されている In 使用原単位の 50%削減を達成する。

《設定根拠》

(1) 上記性能を持つ薄膜化技術を開発し、全体の ITO 薄膜に応用できれば、これだけで半減可能。仮に 3 割に応用すればインジウム約 15%の削減可能。

(2) 上記性能の ITO ナノインクと塗布法を開発し、TFT 電極に応用できれば、スパッタでの使用量が約半減し、そのためのプロセス中のロス約 5%が削減可能。

②透明電極向けインジウム代替材料開発

現状では、フラットパネルディスプレイ用透明電極は、ほぼ全面的にマグネトロンスパッタ製膜にて蒸着された ITO 透明導電膜が採用されている。酸化亜鉛系材料は、その優れた光学的・電気的特性によって、従来から ITO 代替材料として最も有力な候補の一つであるが、製膜の均一性、光学的・電気的特性、耐熱性、耐薬品性等の特性値について所定の目標値を満足する必要がある。

したがって、酸化亜鉛系材料を対象に ITO 代替材料として利用可能な材料開発を実施する。

【中間目標】：平成 21 年度

スパッタ技術開発及び不純物の共添加等の材料開発により、化学的安定性、均一性に優れた成膜技術を開発し、4 インチレベルのパネル試作を実施する。

《設定根拠》

パネル試作により、ITO 代替材料の液晶パネル量産ライン適用上の課題（機能、安定性、信頼性など）抽出及び解決策の具体化が可能となる。

【最終目標】：平成 23 年度

抵抗率、透過率、耐熱性、耐湿性、耐薬品性等の透明電極として使用に耐えうる諸特性を満足し、酸化亜鉛系材料及びその成膜技術を確立する。酸化亜鉛系材料を例えば液晶ディスプレイのカラーフィルター側の透明電極に適用することにより、インジウム使用原単位の 50%以上低減を達成する。

- ・ 抵抗率： $4.5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 以下
- ・ 透過率：可視光平均透過率 85%以上
- ・ 耐熱性：抵抗変化率 $\leq 10\%$ (230°C、大気中 30 分)
- ・ 耐湿性：抵抗変化率 $\leq 10\%$ (60°C、95%、500 時間)
- ・ 耐薬品性：可視光透過率の変化率 $\leq 2\%$ (NaOH (5%) 又は H_2SO_4 (5%) 室温 10 分浸漬)

《設定根拠》

液晶パネルのカラーフィルター側透明電極の膜厚はTFTアレイ側電極の約3倍。
前者代替で50%以上の低減可能。

- ・抵抗率：液晶パネル設計側要求値
- ・透過率：同上
- ・耐熱性：パネル製造工程上必須
- ・耐湿性：製品化試験上の要求
- ・耐薬品性：透明電極加工プロセスからの要求特性。

③希土類磁石向けディスプレイ用ディスポシウム使用量低減技術開発

現状の商用焼結磁石の保磁力は、理論値である異方性磁場(90kOe)の10%程度の値に留まっている。これはNd₂Fe₁₄B主相の結晶粒界で結晶磁気異方性が小さくなるウィークポイントが存在し、そこを起点として逆磁区が核生成するためと考えられている。よって、永久磁石の保磁力を上昇させるには、(1)逆磁区の発生頻度を下げするために磁石粒子のサイズを小さくすること、及び(2)Nd₂Fe₁₄B相と粒界相との界面の状態を制御することが必要である。そこで、この2点を実現するための技術と指導原理を追求し、保磁力の向上を目指す。

【中間目標】：平成21年度

結晶粒径の微細化、強磁場プロセスによる界面ナノ構造制御技術等の開発により、ディスポシウム使用原単位20%削減を達成する。

【最終目標】：平成23年度

下記の各項目について目標を達成し、ディスポシウム使用原単位を30%以上削減可能な技術を確立する。

- (1) 結晶粒径2 μ mで元素濃度分布を最適化した原料合金、並びにディスポシウムフリーで結晶粒径2 μ m以下の焼結磁石、における量産化技術の確立。
- (2) 強磁場プロセスやディスポシウム有効活用技術の導入等によって、高保磁力化の実現(10kOe)。
- (3) 内部又は界面の微細・平均構造と保磁力との相関や磁化反転機構を明らかにし、高保磁力省ディスポシウム磁石開発における指導原理の確立。
- (4) モータ出力密度3倍のための開発要素の明確化。

《設定根拠》

現行からDy量を30%削減する技術は、HEV用モータに必要な保磁力である30kOeを、現状のDy添加量10%程度から7%程度で実現すること。

- (1) 上記の値はDyフリーの無添加合金で保磁力16kOe(目標20kOe)を達成する技術と等価。このため最終的な焼結磁石の結晶粒径を現在の10 μ m程度から3 μ m(目標2 μ m)以下とする。
- (2) 強磁場プロセスでは、現行値と(1)の目標値の差から10kOe増加を設定。Dy有効活用では上記の7%程度までDy量を削減。
- (3) 保磁力決定要因となる構造とその機構解明が、究極的保磁力増加指針となり、
(1)(2)の目標実現に寄与するため。
- (4) HEV用モータの高性能化のロードマップに基づく。

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

本研究開発では超硬工具(切削工具)のタングステン使用原単位を30%以上低減するため、切削工具の基材部分をタングステン使用量の少ない材料に置きかえる(a)「硬質材料のハイブリッド化」、及び工具の刃先近傍や表面以外について炭窒化チタンを主成分とする(b)「複合構造硬質材料化」を図るための技術開発を行う。

【中間目標】：平成21年度

(1)「ハイブリッド切削工具の開発」

従来よりもタングステン使用原単位を20%以上低減した硬質基材を開発し、先端部 cBN との接合技術を開発する。

(2)「複合構造硬質切削工具の開発」

粉末複合化成形技術の開発により、タングステン使用原単位を15%以上低減する。

《設定根拠》

(1) ロウ付け切削工具におけるタングステン削減割合を40%以上にしても実用に資する切削性能を有し、月産2万個のチップ製造を可能とする基盤技術とするため。

(2) コーティング超硬工具におけるタングステンを30%以上削減しても実用に資する切削性能を有し、現行の超硬合金製切削工具と同等の製造コストで作製するため。

【最終目標】：平成23年度

(a)「硬質材料のハイブリッド化」

- ・超硬母材なし硬質材料とタングステン使用原単位を40%低減した硬質材料基材を接合する。
- ・焼入れ鋼(SUJ2)の高負荷連続切削においてロウ付け工具と同等性能を達成する。

(b)「複合構造硬質材料化」

- ・一般鋼又は鋳鉄用被覆超硬工具におけるタングステン使用原単位を30%低減する。
- ・コーティング処理した3次元ブレーカ付きM級精度の複合構造硬質工具による一般鋼の断続切削試験でコーティングを有する超硬合金と同等の切削性能を達成する。

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

超硬工具(切削工具、耐摩耗工具)のタングステン使用原単位を30%以上低減するため、WC基超硬合金に代わる硬質材料として有望な炭窒化チタン(Ti(C,N))基サーメットについて、新規サーメット基材の開発及び新規サーメットを基材とした新規コーティング技術の開発を行い、切削工具及び耐摩耗工具に適用するサーメット及びコーティング技術を開発する。

【中間目標】：平成21年度

下記の各項目について技術を確立する。

- ・サーメットの組織形成シミュレーション技術
- ・新規固溶体粉末を用いたサーメット合成技術
- ・新規コーティング技術

【最終目標】：平成23年度

下記の各項目について目標を達成し、新規炭窒化チタン(Ti(C,N))基サーメット材料を開発することで、WC基超硬工具(切削工具、耐摩耗工具)よりもタングステン使用原単位を30%以上低減する。

(1) 「サーメット及びコーティングの基盤研究」

1) 「サーメットの解析及び設計技術の開発」

積層体焼結(共焼結)のシミュレーション技術の確立と耐熱衝撃性や高温強度の機構を解明する。さらに、組織形成と破壊メカニズムを解明する。また、成形体構造評価技術を確立し、最終的に設計に必要なデータベースを構築する。

2) 「新規サーメット材料の開発」

下記の特性値を満足する新規サーメット材料を開発する。

- ・抗折力：3GPa
- ・破壊靱性値：15MPa・m^{1/2}
- ・耐熱衝撃抵抗：75W・m^{-1/2}

3) 「コーティング技術の開発」

サーメット基材上への安定したコーティングを可能とするために、コーティング時の加熱温度を低温化(800°C)した新規CVDコーティング技術の開発を行う。

(2) 「切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

切削工具用サーメットの成形・焼結技術、傾斜組成化技術等を確立し、下記の特性値を達成する。

- ・破壊靱性値：13MPa・m^{1/2}
- ・熱伝導率：30W/m・K
- ・サーメット工具による鋼等の総合的切削性能

このことで、軽切削用スローアウェイ工具で約70%、穴明けドリル用(軸物)切削工具で約70%のタングステン使用原単位の低減を実現する。

(3) 「耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

耐摩耗工具用サーメットの成形・焼結技術、研削・放電加工技術等を確立し、下記の特性値を達成する。

- ・硬さ HV \geq 1400 で破壊靱性 13MPa・m^{1/2} 以上の高硬度型サーメット
- ・硬さ HV \geq 1200 で破壊靱性 15MPa・m^{1/2} 以上の高靱性型サーメット
- ・サーメット工具によるダイス及び金型の総合的耐摩耗工具性能

このことで、ダイス・プラグ用耐摩耗工具で100%、金型用耐摩耗工具で約94%のタングステン使用原単位の低減を実現する。

《設定根拠》

- (1) 1) 新規サーメット材料の開発、ならびに切削工具・耐摩耗工具用サーメットの開発に必要不可欠な開発内容である。
- 2) 従来のサーメットを上回る特性であり、切削工具および耐摩耗工具としての性能を満たす材料特性値である。
- 3) サーメット基材からコーティング膜へのNiなどの拡散を抑制し、密着性の高い結晶性アルミナコーティングを実現するため条件である。
- (2) 軽中切削用超硬工具に代替可能なサーメットの材料特性値、切削性能である。超硬工具1個(例えば100g)に含まれるW量は83g、代替サーメット工具1個(例えば60g)に

含まれる W 量は 25g、代替により 58g の W が削減されるので、 $58/83=70\%$ の低減。

- (3) ダイス、プラグ等（高硬度型）および製缶工具、圧粉金型等（高靱性型）に使用可能なサーメットの材料特性値、工具性能である。

ダイス・プラグ用の高硬度型サーメットの W 使用量はゼロであることから 100%低減。100g の金型用高靱性超硬合金に含まれる W 量は 80g、代替高靱性型サーメットに含まれる W 量は 5g であり、75g の W が削減されるため $75/80=94\%$ の低減。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

(1)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

第 4 元素を添加することにより、ITO 中の In 量を削減する新規組成 ITO の開発を行い、かつ別途薄膜化技術を開発し、従来の ITO 組成で現状の薄膜のトータル厚さを削減する。

1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

(a) 新規ターゲット組成開発

第一原理計算プログラムにより、超大規模シミュレーションをおこない、安定構造、状態密度、電荷密度分布等の解析を行う。得られた結果を用い、新組成 ITO 薄膜をコンビナトリアル実験手法により作製し、低抵抗、エッチング性、光透過度、高屈折率を向上した新規ターゲットを開発する。

計算機を用いた第一原理計算による手法とコンビナトリアル手法を用いた実験的検証の組み合わせにより、効率的に新規組成の省 In 組成の ITO 薄膜の開発を行う。基本的に第 4 元素は、できるだけ資源的に問題がないものを実施することとする。

(b) 新規ターゲット組成のスパッタプロセスでの支援技術開発

当初、新組成が確定するまでは、SnO₂ 含有量を増やした ITO ターゲット（SnO₂ 含有量が Max. 50wt%）を作製し、基板上への成膜と薄膜評価を進める。第 4 元素を添加した新規組成を受け、本プロセスで薄膜測定を行い、プロセスの効果を明らかにする。

(c) 新規ターゲットの開発（新規組成ターゲットの工業化技術開発）

ターゲットの大型化の問題点として、割れ、反り、低密度化がある。これらを解決するために、新規組成ターゲットの工業化技術開発を行う。

2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

1) の第 4 添加元素含有新組成の検討をするのと並行して、薄膜化（現状の ITO 膜構成よりも薄い膜厚）スパッタ技術による In の省資源化を目指す。

(2)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減技術開発」

ITO ナノインク塗布法の導入により、装置内壁付着とエッチングでロスしている分をなくし、従来ターゲットとして大量に循環していた In の削減を目指す。

1) インクジェット法塗布用ナノインク開発

現在広く実施されている液相法により得られるITO粒子は一次粒子径 10~50nm の凝集粒子で、その粉末抵抗値は~0.1Ωcm である。インクジェット法にて薄膜（膜厚<200nm）、低表面粗さ（Ra<10nm）の要求を達成するためにインク化工程で強力な分散処理を行うが、完全に分散することは出来ず、歩留まりも悪く、さらにITO粒子表面の酸化等により抵抗値が急激に上昇してしまうと言った問題がある。これを解決するために、ゾルーゲル法を主流とした、現行法を改良又は全く新規に開発する新規単分散ITOナノ粒子合成法の開発を行い、インクジェット法に適した工業化技術開発を実施する。

2) 静電塗布用ナノインク開発

粒子合成では、大量生産の指標である、合成系の金属イオン濃度が 0.1mol/L 以上となる濃厚系での液相反応について、特に形態制御と単分散を実現するために、単分散粒子合成の一般的手法である、ゲルゾルー法をさらに発展させて、ITO単分散ナノ粒子合成技術の完成を目指す。また、形態制御された比較的大型のナノ粒子（数十 nm）とその大型ナノ粒子を結合させるための数 nm の粒子を合成し、最密充填を実現するための分布とその分布を実現するための静電塗布法を開発する。

3) シミュレーション

ナノ粒子の形状及びその集合分布を様々に変化させる事が可能なプログラムを開発する。それを用いて、さまざまなナノ粒子形状についてのシミュレーションを行い、表面充填率とナノ粒子量との関係から、塗布剤の最適な充填率を決定する。得られた結果を実験にフィードバックする。

②透明電極向けインジウム代替材料開発

(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発

酸化亜鉛の構成元素を他の様々な元素で置換した新しい混晶半導体を開発し、酸化亜鉛系材料の電気的特性及び化学的安定性を、液晶ディスプレイ用透明電極材料として実用に耐え得る水準にまで向上させる。

(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術(材料技術を含む)の開発

1) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発

- ・酸化抑制製膜条件の最適化
- ・製膜初期制御技術の開発

2) 低酸素含有 ZnO 系焼結体ターゲットの開発

- ・最適 ZnO 系焼結体ターゲットの開発

(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発

- 1) 「大型基板対応製膜技術の開発」として、大型基板（第8世代-2, 160mm × 2,460mm）に対応した製膜技術及び製膜装置の実現の見通しを得る。
- 2) 「透明導電膜部材（ZnO 薄膜）の開発」として、耐熱・耐湿性、耐薬品性などの実使用条件

を満足する条件にて抵抗率変化 10%以下を達成する。

- 3) 「大型液晶パネルの応用開発」として、大型液晶ディスプレイを試作し、ITO透明導電膜と同等以上の表示信頼性を確保しつつ、紫色領域・青色領域・緑色領域において、透過率最大 2 %増大を達成する。

③希土類磁石向けディスプレイ用ディスプロシウム使用量低減技術開発

(1) 「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」

焼結磁石における結晶粒を数ミクロンサイズになるよう微細化することで、ディスプロシウム添加量を低減しても高保磁力が得られる焼結磁石の作製プロセスを確立する。

1) 次世代焼結磁石用原料合金の研究開発

結晶粒径と元素分布を制御することにより、高い保磁力が引き出せる原料合金を開発する。

2) 超微細結晶粒焼結磁石作製プロセスの開発

結晶粒径制御により高保磁力焼結磁石の作製プロセスを開発する。

3) 高保磁力磁石の焼結組織最適化に関する研究

Nd-rich相などの組織形態制御により焼結組織の最適化を図る。

(2) 「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」

強磁場プロセス、薄膜プロセス、組織制御等を検討してNd-Fe-B系焼結磁石の界面ナノ構造を制御し、主相界面の格子整合性を向上させてディスプロシウム添加量の低減と高保磁力の実現の指針を得る。さらに、これらの指針をもとにディスプロシウムを磁石試料中で保磁力増加に効果的な部位に必要なみを添加するディスプロシウム有効活用技術を開発し、ディスプロシウム添加量の削減を図る。

1) 強磁場を用いた界面構造制御による保磁力向上の研究

強磁場熱処理による粒界相の結晶配向を用いて、この界面構造をより均一にして高保磁力化を目指す。

2) 薄膜プロセスで制御した理想界面による保磁力向上の研究

理想的な磁石薄膜と粒界相物質を成膜し、磁化反転のモデル実験を行うことにより、保磁力のメカニズムを解明する。

3) 焼結磁石の組織制御による界面ナノ構造最適化の研究

ディスプロシウムの拡散制御技術の検討により結晶粒表面にディスプロシウムを優先偏析させる技術を開発する。

(3) 「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」

Nd-Fe-B系焼結磁石の界面ナノ構造や磁化過程の詳細な解析をすることによって、現状の保磁力が異方性磁場(90kOe)の10%程度の値に留まっていること、従来の研究から結晶粒を小さくしても保磁力がある結晶粒径で急激に低減すること、などの理由を解明し、さらには計算科学を駆使することによって保磁力向上の指導原理を獲得する。得られた情報は上記項目(1)、(2)の製造プロセスへ還元する。

1) ナノ組織解析・原子レベル元素分析による界面構造評価

焼結磁石の粒界ナノ構造を原子レベルで解析し、粒界構造と保磁力の因果関係を解明する。

2) 中性子小角散乱法による平均界面構造評価と保磁力

中性子小角散乱測定により、保磁力の起源となる磁石内部の平均界面構造を明らかにする。

3) 微小結晶粒子集団における磁化反転機構と制御法の研究開発

磁化反転機構解析により保磁力の決定要因を解明する。

4) 希土類磁石の保磁力機構に関する理論研究

第一原理計算に基づく微視的立場から焼結磁石の保磁力の発現機構を明らかにする。

(4) 「自動車用磁石への応用」

自動車用磁石、特にハイブリッド自動車の駆動モータは、現在ディスプロシウム添加 Nd-Fe-B 系磁石の大きな応用先である。本研究の遂行によって高保磁力高性能な Nd-Fe-B 系磁石を開発できれば、ディスプロシウム使用量の削減が最も効果的に実施できると考えられることから、例えば開発磁石の耐久性評価、モータ適用時の磁石の最適形状設計等といった当該分野への応用について検討を行う。得られた情報は、各製造プロセスへ還元するとともに更なる高性能化への指針とする。

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

(1) 「ハイブリッド切削工具の開発」

焼き入れ鋼用切削工具向けに、炭窒化チタン系硬質材料基材に切削チップの先端部として cBN (立方晶窒化ホウ素) を接合し、ロウ付け cBN 切削工具と同等の切削性能を達成すると同時に、接合部には 1000°C の耐熱性をもたせる。

1) 異種材料のソリッド接合技術及びインサート材料の開発

切削工具の切刃部に要求される特性を有する硬質材料と基材となる材料を接合する技術を開発する。

2) ハイブリッド切削工具の実用化技術の開発

工業化に対応するため、実用工具における被接合材及び基材の形状設計、被接合材と基材の高精度位置決め技術等を開発する。

(2) 「複合構造硬質切削工具の開発」

一般鋼及び鋳鉄用切削工具向けに、複数の硬質材料粉末を用いて粉末複合化成形した 3 次元ブレーカ付き M 級切削チップを開発し、超硬合金工具と同等の切削性能を達成する。

1) 多相組織硬質材料の開発

多成分からなる多相組織硬質材料の焼結技術等を開発し、その特性を明らかにして超硬合金工具の機能代替を達成する。

2) 複合構造硬質切削工具の実用化技術の開発

多相組織硬質材料に 3 次元ブレーカが形成可能な複合構造硬質切削工具の実用化技術を開発する。

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

(1) 「サーメット及びコーティングの基盤研究」

サーメットの解析技術及び設計技術の開発、及び新規サーメット材料を開発するとともに、新規コーティング技術を開発する。具体的には以下の3項目を実施する。

1) 「サーメットの解析及び設計技術の開発」

組織、特性及び焼結性などに関する基盤技術を確立する。

2) 「新規サーメット材料の開発」

サーメットの組織や焼結収縮をより均一化し材料特性を改良するために、原料粉末として従来の単純な混合粉末ではなく、あらかじめ固溶体化した粉末を用いてサーメットを製造し、組織や特性を評価する。

3) 「コーティング技術の開発」

サーメット基材上への安定したコーティングを可能とするために、コーティング時の加熱温度を低温化した新規CVDコーティング技術の開発を行う。

(2) 「切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

上記(1)の成果を活用して、切削工具としてスローアウェイ切削工具や軸物切削工具(穴あけドリル)用のサーメットを対象とし、強度、靱性、熱衝撃性等の材料特性の最適化、成形・焼結プロセス技術の確立、コーティング向け積層化・傾斜組成化技術の確立、切削工具向けコーティング技術の確立等をおこなう。開発したサーメット及びコーティングにより切削工具を作製し、これにより、鋼やアルミニウム合金等の総合的切削性能を達成する。

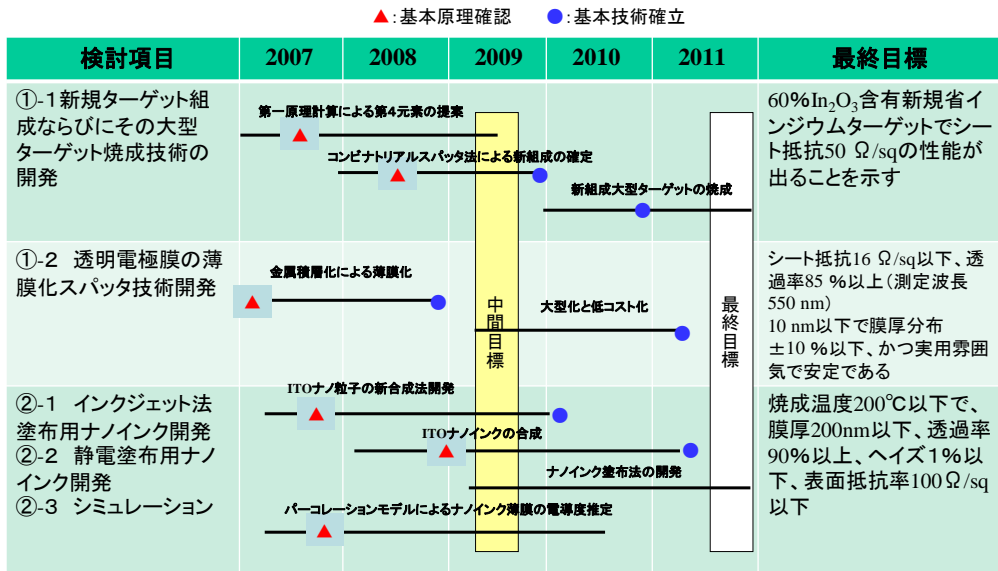
(3) 「耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

上記(1)の成果を活用して、耐摩耗工具として線引きダイス・プラグ等用の高硬度型サーメット及び製缶工具・圧粉金型等の高靱性型サーメットを対象とし、強度、靱性、熱衝撃性等の材料特性の最適化、サーメット大型部材の成形・焼結技術の確立、被研削性・放電加工性等の改良、耐摩耗工具向けコーティング技術の開発等をおこなう。開発したサーメット及びコーティングによりダイス・プラグ用及び金型用耐摩耗工具を作製し、これにより、ダイス・プラグ及び金型としての総合的耐摩耗工具性能を達成する。

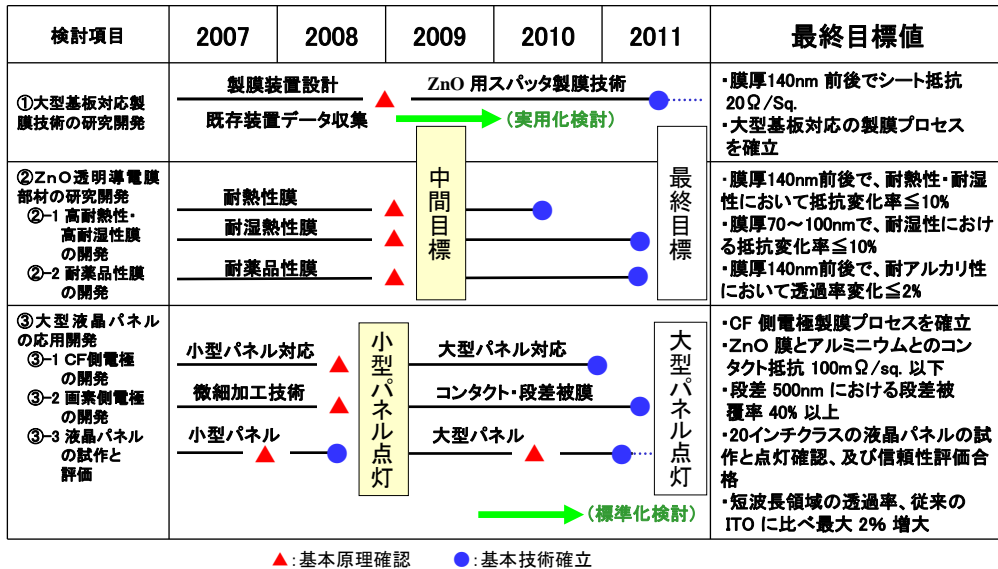
2. 1. 1 各研究開発の全体スケジュール

研究開発項目毎の全体スケジュールを表Ⅱ-2-1～表Ⅱ-2-5に示す。

表Ⅱ-2-1 ①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発



表Ⅱ-2-2 ②透明電極向けインジウム代替材料開発



表Ⅱ-2-3 ③希土類磁石向けディスプレイシウム使用量低減技術開発

▲:基本原理確認 ●:基本技術確立

検討項目	2007	2008	2009	2010	2011	最終目標値
(1) 結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発 (微細化Grp.)		▲	▲	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> 結晶粒径$2\mu\text{m}$で元素濃度分布を最適化した原料合金 Dyフリーで結晶粒径$2\mu\text{m}$以下、保磁力20kOe以上の焼結磁石 Dy量を30%削減
(2) 界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発 (界面Grp.)		▲	▲	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> 強磁場プロセスで保磁力10kOe増加 Dy有効活用技術で、結晶粒径$6\mu\text{m}$以下、Dyリッチシェル$1\mu\text{m}$以下の焼結磁石 Dy量を30%削減
(3) 界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得 (解析Grp.)		▲	▲	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> 内部又は界面の微細構造と保磁力、平均構造と保磁力との相関を解明 保磁力機構・磁化反転機構の解明 高保磁力省Dy磁石開発における指導原理の確立。
(4) 自動車用磁石への応用 (応用Grp.)		▲	▲	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> モータ出力密度3倍のための要素を明確化

表Ⅱ-2-4 ④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

▲:基本原理確認 ●:基本技術確立

検討項目	2007	2008	2009	2010	2011	最終目標値
ハイブリッド切削工具の開発		▲	●	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> ロウ付け切削工具におけるタングステンを40質量%削減 硬質材料を60秒で接合 高負荷連続切削試験でロウ付けチップと同等の切削性能
複合構造硬質切削工具の開発		▲	●	● (実用化検討)	●	<ul style="list-style-type: none"> コーティング超硬工具におけるタングステンを30質量%削減 3次元ブレーカ付きM級精度の複合構造硬質工具による断続切削試験でコーティングを有する超硬合金と同等の切削性能

表Ⅱ-2-5 ⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

▲:基本原理確認 ●:基本技術確立

検討項目	2007	2008	2009	2010	2011	最終目標値
サーメット及びコーティングの基盤研究	サーメットの解析及び設計技術の開発		▲	●		組織形成と破壊メカニズムを解明 所定の特性値を満足する新規サーメット材料を開発。 加熱温度を低温化した新規CVDコーティング技術を開発。
	新規サーメット材料の開発		▲	●		
	コーティング技術の開発		▲	●		
切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発	切削工具用高靱性サーメットの開発		▲	●		切削工具用サーメットにおいて所定の特性値を達成。 切削工具で約70%のタングステン使用原単位の低減。
	切削工具用サーメットの安定製造技術の確立		▲	●	(実用化検討) →	
耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発	高靱性サーメットの開発		▲	●		耐摩耗工具用サーメットにおいて所定の特性値を達成。 摩耗工具で94~100%のタングステン使用原単位の低減。
	大型部材焼結技術、研削等加工条件の確立		▲	●		
	既存コーティング技術の適用		▲	●	(実用化検討) →	

2.1.2 予算（全体及び個別）

開発予算の推移を表Ⅱ-2-6～表Ⅱ-2-11に示す。

予算は、約9～11億円／年で推移している。

表Ⅱ-2-6 全体予算スケジュール

(百万円)

	実施先	H19 METI直執行	H20 (+補正予算)	H21	H22	H23
①In低減 技術開発	東北大学、アルバック 三井金属鉱業、 DOWAI/外ロクス	270	210(70)	170	(338)	(355)
②In代替 材料開発	産業技術総合研究所→ 金沢工業大学 → 高知工科大学グループ→	40 80 80	20(0) 50(0) 80(0)	180	(190)	(170)
③Dy低減 技術開発	東北大学、山形大学、 NIMS、原研、三徳、 インターテックス、TDK	310	270(90)	230	(335)	(331)
④W低減 技術開発	産業技術総合研究所、 住友電気工業	160	160(90)	137	(134)	(110)
⑤W代替 材料開発	産業技術総合研究所、 ファインセラミクスセクター、 タカロイ、富士ガス	160	150(250)	140	(160)	(140)
合計金額		1,100	940(500)	857	(1157)	(1106)

表Ⅱ-2-7 ①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

◆開発予算

(単位:百万円)

検討項目	'07	'08	'09	'10	'11	合計
①-1 新規ターゲット組成ならびに その大型ターゲット焼成技術 の開発	130	70[38]	50	(124)	(135)	(509)
①-2 透明電極膜の薄膜化スパッタ 技術開発	30	50[20]	40	(36)	(50)	(206)
②-1 インクジェット法塗布用ナノイ ンク開発	60	50	30	(78)	(85)	(303)
②-2 静電塗布用ナノインク開発 ②-3 シミュレーション	50	40[12]	50	(100)	(85)	(325)
合計	270	210[70]	170	(338)	(355)	(1343)

[]内は補正予算で外数

表Ⅱ-2-8 ②透明電極向けインジウム代替材料開発

◆開発予算

(単位:百万円)

検討項目	'07	'08	'09	'10	'11	合計
① 大型基板対応製膜技術の開発 ①-1 成膜プロセス開発 ①-2 適正ターゲット開発	10	18	67	(22)	(14)	(131)
② ZnO透明導電膜部材の開発 ②-1 高耐熱性膜開発 ②-2 高耐薬品性膜開発	34	17	24	(44)	(66)	(185)
③ 大型液晶パネルの応用開発 ③-1 CF側電極 ③-2 画素側電極 ③-3 パネル試作と評価	36	33	89	(124)	(90)	(372)
合計	80	68	180	(190)	(170)	(688)

表Ⅱ-2-9 ③希土類磁石向けディスプレイ用プロシウム使用量低減技術開発

◆開発予算

(単位:百万円)

検討項目	'07	'08	'09	'10	'11	合計
① 結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発	137	156[5]	119	(131)	(133)	(676)
② 界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発	103	67[17]	44	(123)	(111)	(448)
③ 界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得	70	47[68]	67	(81)	(87)	(352)
④ 自動車用磁石への応用	0	0	0	(0)	(0)	(0)
合計	310	270[90]	230	(335)	(331)	(1476)

[]内は補正予算で外数

表Ⅱ-2-10 ④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

◆開発予算

(単位:百万円)

検討項目	'07	'08	'09	'10	'11	合計
①-1 異種材料のソリッド接合技術 およびインサート材料の開発	47	82[45]	40	(18)	(10)	(197)
①-2 ハイブリッド切削工具の実用 化技術の開発	20	18	30	(41)	(20)	(129)
②-1 多相組織硬質材料の開発	73	60[45]	50	(30)	(30)	(243)
②-2 複合構造硬質切削工具の実 用化技術の開発	20	90	20	(45)	(50)	(225)
合 計	160	250[90]	140	(134)	(110)	(794)

[]内は補正予算で外数

表Ⅱ-2-11 ⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

◆開発予算

(単位:百万円)

検討項目	'07	'08	'09	'10	'11	合計
① サーメット及びコーティングの 基盤研究	70	70[250]	85	(90)	(70)	(385)
② 切削工具用サーメット及びコー ティングの技術開発	65	55	30	(45)	(45)	(240)
③ 耐摩耗コーティング用サーメット 及びコーティングの技術開発	25	25	25	(25)	(25)	(125)
合 計	160	150[250]	140	(160)	(140)	(750)

[]内は補正予算で外数

2.2 研究開発の実施体制

本事業は、経済産業省により、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者が決定され、共同研究契約等を締結する研究体が構築され、平成19年度より委託により実施された。平成20年度より、NEDOが本事業を運営・管理するに当たっては、外部有識者から構成される技術評価委員会等を設置し、平成19年度の進捗状況を踏まえた事業内容・計画及び実施体制の妥当性についての審議に基づいた評価を行った上で委託実施している。

また、各研究体の有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、各研究体には研究開発責任者（テーマリーダー）を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施している。

研究開発項目毎の実施体制を図Ⅱ-2-1～図Ⅱ-2-6に示す。

なお、研究開発項目②透明電極向けインジウム代替材料開発の実施体制は、図Ⅱ-2-2のように、材料、製膜、パネルの3グループでスタートしたが、平成20年度末の時点で各グループの開発成果、平成21年度以降の実施体制等についての評価を行い、継続の可否を判断することが採択時の条件となっていたため、NEDOにおいて企画委員会（In分科会）を組織し、平成20年度末に開催した。その結果、パネルグループである高知工科大学グループの継続が決定し、平成21年度以降は、図Ⅱ-2-3のような実施体制で推進する。

表Ⅱ-2-12に、企画委員会（In分科会）の委員リストを示す。

表Ⅱ-2-12 インジウム代替材料開発平成20年度企画委員会（In分科会）委員

	氏名	所属
委員長	前田 正史	東京大学 生産技術研究所 所長
委員	安達 毅	東京大学 生産技術研究所・物質・環境系部門 准教授
委員	馬越 佑吉	独立行政法人物質・材料研究機構 理事
委員	香山 高寛	CSKベンチャーキャピタル株式会社 投資開発一部 部長
委員	神門 正雄	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 企画調査部 部長
委員	北川 雅俊	パナソニック株式会社 AVCネットワークス社 映像・ディスプレイデバイス事業グループ PDPデバイスビジネスユニット PDP先行開発グループ グループマネージャー
委員	松尾 伸也	大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 マテリアル科学コース 教授

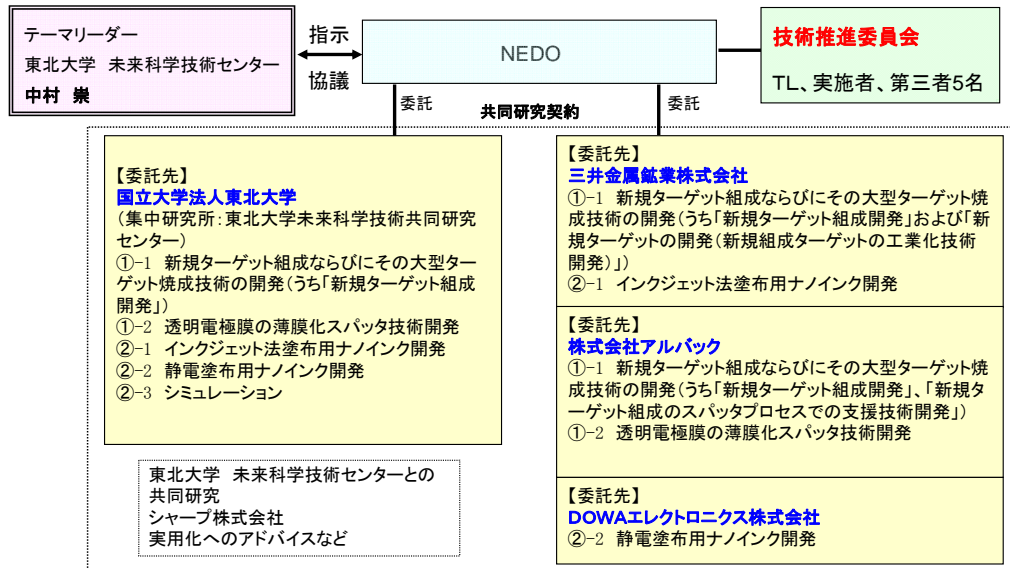


図 II-2-1 ①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

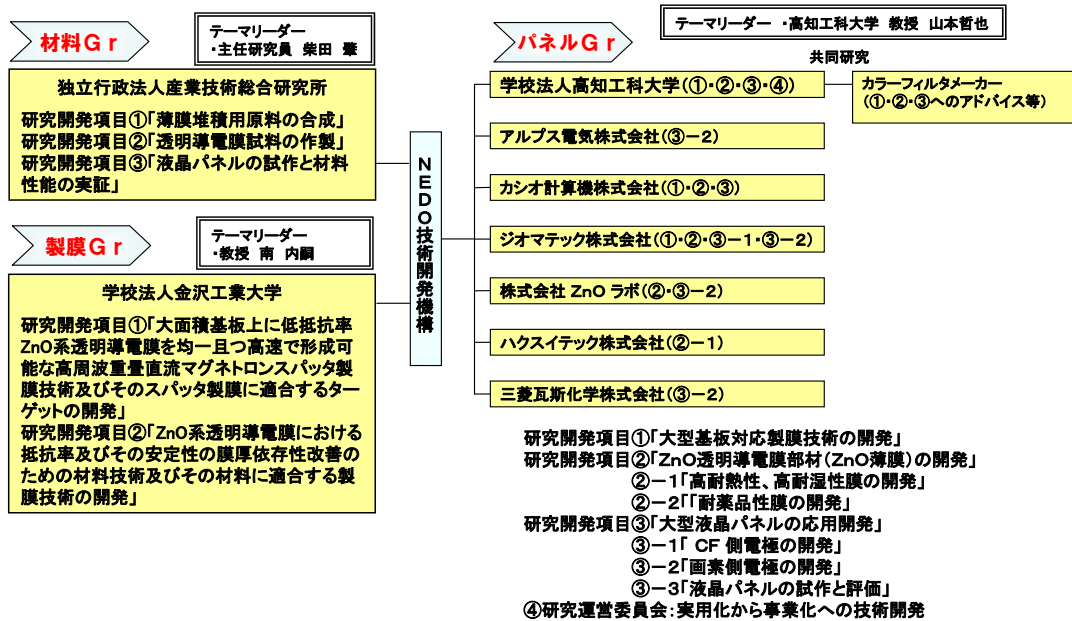


図 II-2-2 ②透明電極向けインジウム代替材料開発 (H19~H20)

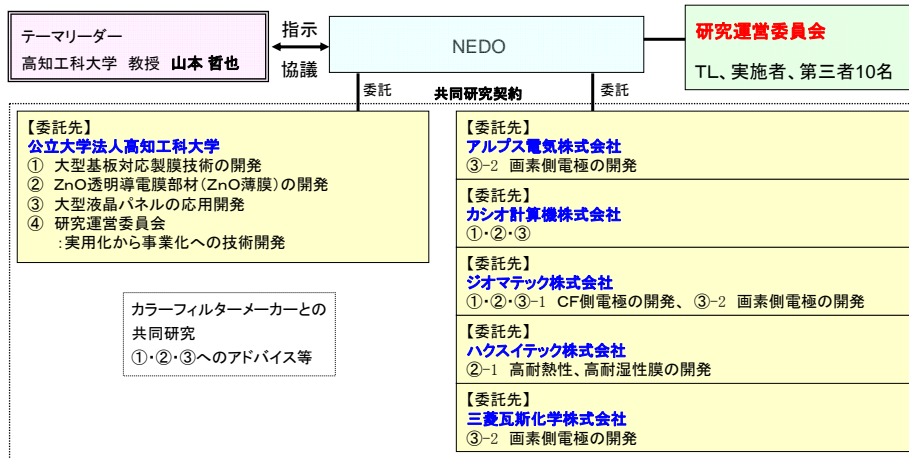


図 II-2-3 ②透明電極向けインジウム代替材料開発 (H21~)

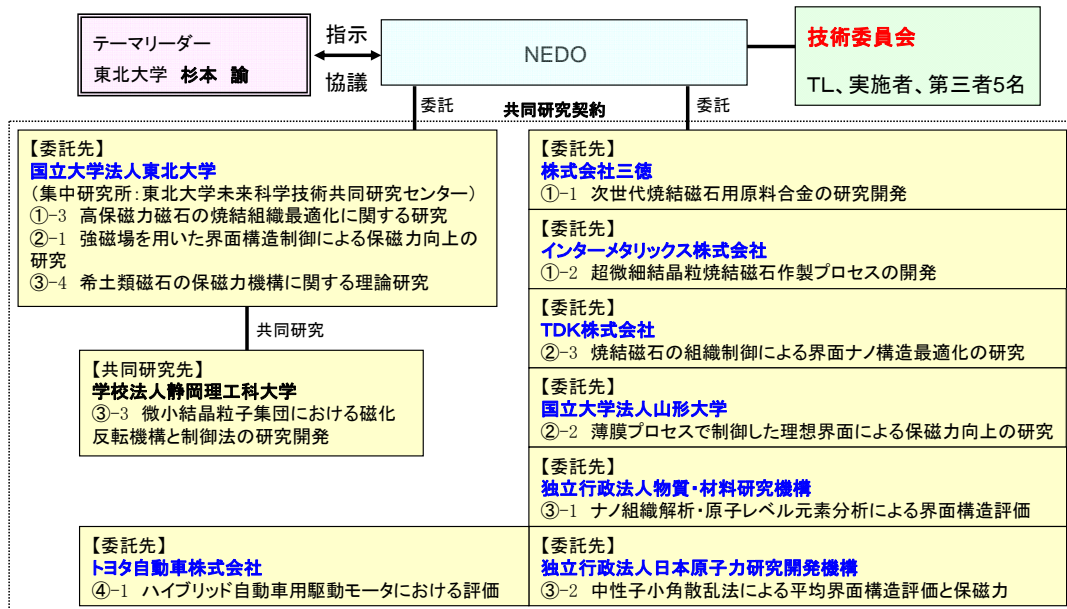


図 II-2-4 ③希土類磁石向けディスポシウム使用量低減技術開発

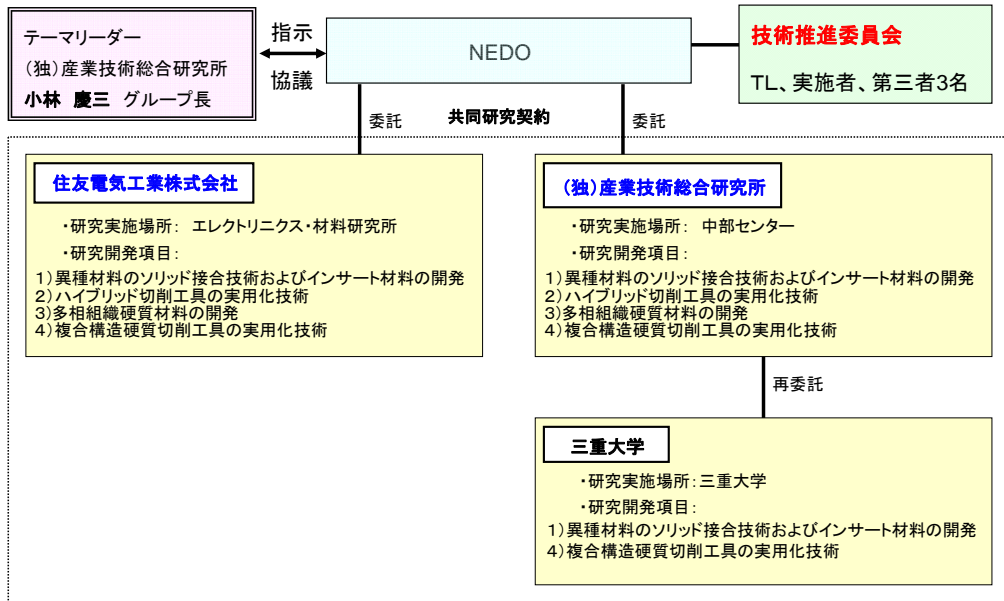


図 II-2-5 ④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

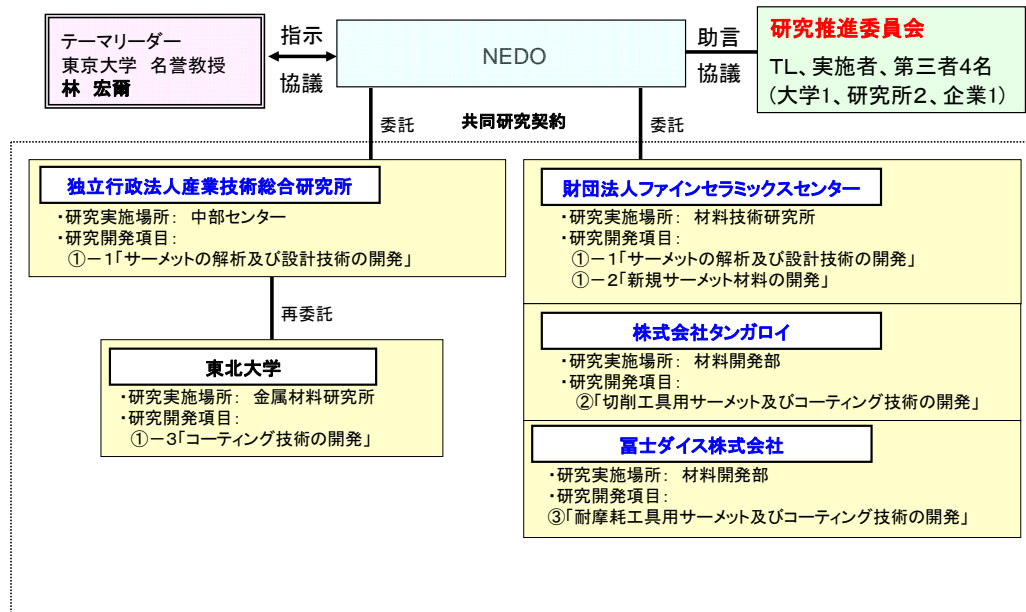


図 II-2-6 ⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標、並びに、本研究開発の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、必要に応じてテーマリーダー（TL）等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行った。研究委員会および各サブグループ会議は、NEDOの指導を受け、各サブグループリーダーが運営を行った。

また、本研究開発プロジェクトは、文部科学省の元素戦略プロジェクトと研究開発推進にあたり、お互いの研究開発成果・課題等について議論する。さらに、得られた研究開発成果については、合同シンポジウム等により積極的に公開する。

技術推進委員会

各テーマリーダー主催による技術推進委員会を3～4回／年開催し、外部有識者の意見を研究体制を含めた運営管理に反映させた。

元素戦略／希少金属代替材料開発 合同シンポジウム

主催：元素戦略／希少金属代替材料開発 合同戦略会議

共催： 内閣府、文部科学省、経済産業省、環境省、(独) 科学技術振興機構、
(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構

これまでの実績を、表Ⅱ-2-13に示す。

表Ⅱ-2-13 合同シンポジウム開催状況

	年月日	場 所
第1回	平成19年2月16日	東京大学 鉄門記念講堂
第2回	平成20年1月23日	東京大学 武田先端知ビル 武田ホール
第3回	平成21年1月27日	東京大学 安田講堂

3. 情勢変化への対応

3.1 新鉱種の追加

本プロジェクトでは、総合的な対策の一環として非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立を目的として、平成19年度からインジウム、ディスプロシウム、タングステンの3鉱種について研究開発を実施しているが、昨今の情勢変化を受けて、平成21年度から、新たに対象鉱種として、白金族、セリウム、テルビウム・ユウロピウムを追加することになり、以下のスケジュールで実施推進中である。

平成20年度末に再び実施したリスク評価結果を表Ⅱ-3-1に、公募概要を図Ⅱ-3-1に示した。

平成21年4月15日…NEDO、文科省同時公募開始（文科省は元素戦略プロジェクト）

4月24日…NEDO、文科省同時公募説明会

5月25日…公募〆切

7月中…採択案件合同発表予定（NEDO、文科省）

表Ⅱ-3-1 リスク評価結果（平成20年度末実施）

No 鉱種	区分	リスクの分析・今後の動向	供給 今後の需要		鉱種選定
			供給	今後の需要	
8 Nb	遷移金属	・主埋蔵国・生産国はブラジル、カナダ、オーストラリア ・鉄鋼添加剤が主用途であり、国内需要（主に低合金高張力鋼）は安定している ・ブラジルCBMM社の供給安定性（量・価格）は長期間の実績がある	安定	増加	—
10 Sb	半金属元素	・世界需要が減少傾向にある（07/98比97%） ・プラスチック難燃助剤が主用途であり国内需要も漸減傾向にある（07/98比89%） ・欧州における規制強化圧力の増大により需要の減少が見込まれる	安定	減少	—
12 Pt	遷移金属	・輸入相手国はロシアから南アフリカに集中しつつある（2007年80%） ・南アフリカの供給懸念・減産が顕在化している ①安全・設備等の問題による鉱山閉鎖 ②電力供給不足による操業停止 ③人種問題に根ざす労働問題 ・世界需要の伸びが比較的低い（07/98比137%）要因は投資・宝飾向けの減少であり、産業用は急増（07/98比203%うち自動車触媒235%）している ・排ガス規制の強化により今後も自動車触媒用途の需要増が見込まれる ・さらに将来燃料電池触媒用途の需要増が見込まれる	懸念大	増加	◎
17 Li	アルカリ金属	・チリが主埋蔵国であるがチリ、オーストラリア、アルゼンチン、中国、カナダ（2007の生産比率各々38、22、12、9、3%）ほかでも生産されている ・二次電池向け炭酸リチウム・水酸化リチウムの需要が増加（226～227%）しており今後も増加が見込まれる	安定	増加	—
31 Bi	半金属元素	・中国が主埋蔵国であるがメキシコ、ペルー、カナダ（2007年の生産比各々53、21、17、3%）ほかでも生産されている ・世界需要は比較的安定している（07/98比125%） ・国内需要・輸入量とも2004年以降は頭打ち、需要減少が見込まれる	安定	安定	—
希土類	遷移金属	・資源は世界に分布しているが、低価格攻勢により中国以外の鉱山は生産を中止 ・中国が世界の供給を独占すると同時に価格が高騰 ・中国内需増加に伴う中国政府の資源保護・国内優先・輸出抑制政策等の強化 ①増値税還付廃止 ②輸出許可制度 ③E/L制度 ④加工貿易禁止 など			
32 La		・光学ガラス用途の需要は比較的安定している（139%）	懸念大	安定	—
33 Ce		・全体の需要が伸び（154%）、特に研磨剤分野の需要が急増している（242%） ・FPDの需要増に応じ今後も需要増が見込まれる	懸念大	増加	◎
37 Eu		・Eu、Tb、Dy等の中希土・重希土資源は特に中国への偏在性が高い ・蛍光灯用途の需要が急増している（Eu267%） ・欧州における白熱灯廃止の動きに伴いさらに需要増が見込まれる	懸念大	増加	◎
38 Tb		・37Euに同じ	懸念大	増加	◎
39 Y		・主用途はYAGレーザー、ジルコニア安定化剤等であり需要の急増はないとみられる	懸念大	安定	—

研究テーマ名 希少金属代替材料開発プロジェクト(新鉱種の追加*)

研究目的

※平成19年度に開始したインジウム、ディスプレイシウム、タングステンの使用量低減技術・代替技術開発に対象元素を追加するものであり、平成21年度に公募予定の項目のみ記載。

プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間(目安として)**
事業費総額 30億円、研究開発期間 5年(平成21~25年度)

背景、目的、必要性
背景:白金族、セリウム、テルビウム・ユーロピウム等の希少金属については、これからの成長分野である自動車、情報家電、省エネ型照明等の新たな産業分野の拡大により需要が増大する見込みである。
目的、必要性:特定産出国への依存度が高い希少金属は、市場メカニズムが必ずしもうまく機能しない可能性を有し、その供給リスクは経済成長の制約要因となる。そこで、本研究開発は非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略の一部として代替/使用量低減を目指すものである。

その他関連図表

※※新鉱種のみ

キーテクノロジーと製品化のイメージ

研究開発課題
特定産出国への依存度が高い希少金属として以下3元素を選定し、使用量低減技術開発、代替材料開発を進める。
○排ガス浄化向け白金族
○精密研磨向けセリウム
○蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム

キーテクノロジー、ブレイクスルーのポイント、オリジナリティ
○結晶粒界・界面・薄膜性状の観察及び制御による、機能発現メカニズムの解明と構造最適化技術の開発。
○新たな材料や原料特性に適合した製造プロセスの開発。
○第一原理計算を初めとする数値計算による材料の最適設計開発技術。 等

目標値とその条件および設定理由
○設定理由:開発対象の各希少金属の需給動向予測から将来の需給の逼迫状況を回避するために必要な国内使用量削減目標値を算定し、これを製造技術開発目標値とした。
○条件:機能、製造コストは現状と同等とする。
○目標値:平成25年度までに以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラベルレベルで提供できる(試料提供)水準に至るまでの技術を確立する。
①排ガス浄化向け白金族(Pt) : 現状から50%以上低減
②精密研磨向けセリウム(Ce) : 現状から30%以上低減
③蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム(Tb, Eu) : 現状から80%以上低減

技術戦略マップ上の位置付け

○ナノテクノロジー分野技術マップ(高度材料界面制御・高次組織制御)
共通基盤 ⇒ 貴金属成分の低減・新材料、新塗布技術 ⇒ 自動車触媒
○3R分野の技術マップ
金属資源3R ⇒ 代替素材技術等 に位置付けられている。

①排ガス浄化向け白金族(Pt)

●白金使用量低減技術開発/代替材料開発

- ・触媒・担体相互作用制御や触媒複合化による触媒活性向上技術の開発
- ・白金利用効率向上技術の開発
- ・NO₂生成不要なPM酸化触媒技術開発



自動車触媒

②精密研磨向けセリウム(Ce)

●セリウム使用量低減技術開発/代替材料開発

- ・研磨メカニズムに関する理論的解明および理想的砥粒の開発
- ・酸化鉄・ジルコニア・シリカの高機能化開発
- ・砥粒の高効率利用技術の開発



液晶パネル用ガラス

③蛍光体向けテルビウム・ユーロピウム(Tb・Eu)

●テルビウム・ユーロピウム使用量低減技術開発/代替材料開発

- ・発光メカニズムの理論的解明によるTb・Eu賦活体の発光効率向上技術開発
- ・高効率で発光可能なガラスの開発
- ・省使用型製造プロセスの開発



蛍光灯

図 II-3-1 公募概要 (NEDO POST 3)

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

本研究項目は、大きく（１）「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」と（２）「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」に分かれている。

（１）「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」は従来のスパッタ法で使用するITOターゲットの組成を低インジウム化することならびに、従来のITO薄膜と金属薄膜の積層化で、膜厚の低減を図り、使用するインジウム量削減を図るものである。そのうち、第4元素添加による低インジウム新規組成ITO開発については、第一原理計算による添加候補元素の確定ならびにその結果を受けたコンビナトリアル手法を駆使した組成の確定がほぼ終わり、目標のインジウム60%組成ITOの組成が決定し、現在その新規ターゲットを作製し、ITO膜製造専用機で最終的な薄膜性の評価を行いつつある。一方金属薄膜積層化による一層の薄膜化については、Agの10nmの薄膜積層化により、当初の目標を達成した。

（２）「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」は、基本的に高性能のITOナノ粒子を作成し、それをもとにナノインクを調整し、手法ならびに使用目的が異なるインクジェット法と静電塗布法の二つの塗布法の確立を目指す。それぞれの塗布法では、使用するITOナノ粒子の形状ならびに大きさが異なるためにそれぞれ、異なったITOナノ粒子合成法を開発した。ナノ粒子の基礎研究は終了し、それぞれの塗布法に必要な特性を備えたナノ粒子、ならびにそれらを利用したナノインクの開発中である。インクジェット法で作製されたITO薄膜は、当初の目標を達成する性能を示した。また、現在、実験室レベルで少量の作製しかできないが、現在その大型化を図るための準備がなされ、一部小型ベンチスケールの設備が完成した。

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 目標の達成度

「透明電極向けインジウム使用量低減技術開発」では、大きく2つの開発ターゲットがある。一つは、（１）「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」と（２）「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」であり、それぞれは、さらに細目にわかれている。

（１）「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」の細目は、1）新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術開発、2）薄膜化スパッタ技術開発の目標であり、（２）「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」は、ITOナノインクの開発で、それぞれ1）インクジェット塗布法と2）静電塗布法を考え、それぞれに対応したITOナノインクを開発することである。

各細目毎の技術開発目標と達成度を表Ⅲ-1に示す。

表Ⅲ-1 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術開発の目標

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由(目標値の妥当性等)
金属積層 IT0 薄膜の作製	60%In ₂ O ₃ 含有新規省インジウムターゲットでシート抵抗 50 Ω/sq の性能が出ることを示す	左記新規ターゲットを大型化し、焼成できる技術を開発する	この技術をすべての IT0 薄膜製造に利用すると約30%のインジウム削減となる。

現在この部分は、まず新規組成の発見を行っており、そのための第一原理計算による IT0 の電気特性評価とそれに対する第4元素の添加の影響を検討した。

表Ⅲ-2 第一原理計算による IT0 の電気伝導度に及ぼす添加元素影響推定のためのプログラム開発の自主目標

検討項目	中間(自主)目標	最終(自主)目標	設定理由(目標値の妥当性等)
高濃度 Sn の可能性	単位胞内 In ₃₂ 原子を最大6個の Sn に置換	単位胞内 In ₃₂ 原子を最大10個の Sn に置換	計算される IT0 中の Sn 濃度に対応 6/32=18.75%, 10/32=31.25%
第4元素の効果	可能性のある元素を全て探索する。	高濃度 Sn 条件下で可能性のある元素を全て探索する	Snのみをドーピングした IT0 よりも高濃度の Sn ドーピングの可能性を評価する。

表Ⅲ-3 第一原理計算による第4添加元素の決定の成果のまとめ

検討項目	中間(自主)目標	最終目標	成果	達成度	コメント
第一原理計算による第4添加元素の決定	プログラム開発と具体的な添加元素の提示	低インジウムでの計算精度の向上	プログラムが完成し、具体的な元素が示された	◎	22年度で終了予定

達成度→中間目標達成：◎，本年度中に中間目標達成見込：○，中間目標未達成：△

また、これらの結果を受けて、コンビナトリアルスパッタ法で新規組成の発見を行っており、その成果のまとめを表Ⅲ-4に示す。

表Ⅲ-4 コンビトリアルスパッタ法による新規組成の決定成果のまとめ

検討項目	中間目標	最終目標	成果	達成度	コメント
新規省インジウム IT0 組成の決定	In ₂ O ₃ 75 wt%組成の IT0 薄膜で従来の IT0 特性を得る	In ₂ O ₃ 60 wt%組成の薄膜で従来の IT0 特性を得る	In ₂ O ₃ 60 wt%組成の薄膜で従来の電気伝導とほぼ同等 注	◎	他の可能性ある元素についてもさらに検討する予定

注：コンビナトリアルスパッタ装置で作製した薄膜は電気伝導度の絶対値で従来の IT0 との比較ができないので、同一装置で IT0 にのみで作製した値と比較する

最終的に新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発の中間目標と成果の比較を表Ⅲ-5に示す。

表Ⅲ-5 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発の中間目標と成果の比較

研究内容（中間目標）	研究結果	達成度
研究1 第一原理計算による第4添加元素の推定	計算手法が確立され、元素としてTi, Sb, Mo, V, Feなどが従来のITOと遜色ない電気伝導特性を示す可能性が明らかになった。	◎
研究2 コンビナトリアルスパッタ法による第4元素添加新規省インジウム組成の決定	第一原理計算により示されたTi とSbについて実験を行い、TiO ₂ で30 wt%程度までIn ₂ O ₃ を代替しても大きく電気伝導度が低下しないことがわかった。 一方、Sbに関しては、ITOにSbドーピングすることで電気伝導度が上昇する可能性を見出した。また、薄膜に関しては、完全にITOと同じレベルの性能は出ていないが、かなり近い特性が出ることがわかった。	◎
研究3 小型の実験装置でシート抵抗50 Ω/sqを実現するための評価用ターゲットを作製する。	大学より提示された評価用ターゲットを作製し、膜評価を実施できた。 しかし、新規組成で高密度化が困難なものもあり、粉、焼成プロファイルなどの見直しが必要である。現在、粉末の調整が進み、新規組成での高密度ターゲットの作製目標がついた。	○

達成度→中間目標達成：◎，本年度中に中間目標達成見込：○，中間目標未達成：△

次に同じく（１）「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」の２）薄膜化スパッタ技術開発の目標とその達成度を表Ⅲ-6、および表Ⅲ-7に示す。

表Ⅲ-6 薄膜化スパッタ技術開発の目標

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由（目標値の妥当性等）
金属積層ITO薄膜の作製	ITO膜厚100nm以下、透過率85%以上（測定波長550nm）	ITOの膜厚を両面合せて100nm以下とし、シート抵抗16 Ω/sq以下、透過率85%以上（測定波長550nm）とする製造技術を開発	この技術を全体のITO薄膜の3割に導入すると約15%のインジウム削減率を実現できる

表Ⅲ-7 薄膜化スパッタ技術開発の目標達成度

検討項目	中間目標	最終目標	成果	達成度	コメント
金属積層 ITO 薄膜 の作製	ITO 膜厚 100nm 以下、透過率 85%以上 (測定波長 550nm)	ITO の膜厚を両面合 せて 100nm 以下と し、シート抵抗 16 Ω /sq 以下、透過率 85%以上 (測定波 長 550 nm) とする製 造技術を開発	シート抵抗 16 Ω /sq 以下、 透過率 85 % 以上 (測定波 長 550 nm)	◎	ほぼ最終目標を 達成、次は新規省 インジウム ITO 薄 膜で挟み込み技 術を応用する。ま たさらなる低コ スト化の努力を 行う。

達成度→中間目標達成：◎，本年度中に中間目標達成見込：○，中間目標未達成：△

本技術は、ほぼ最終目標まで達成されており、後は、実用化のための大型化、低コスト化に注力する。

次に(2)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」についてまとめる。まず、目標を表Ⅲ-8に示す。

表Ⅲ-8 ITO ナノインク技術開発の目標

検討項目	中間目標	最終目標	設定理由 (目標値の妥当性等)
インクジェット用 ITO ナノインクの 開発	数ナノオーダーの 単分散ナノ粒子合 成法の確立	焼成温度 200 ~ 300 °Cで、膜厚 150nm 以下、抵抗値 5×10^{-3} Ω cm 以下、透明性 96% 以上、耐擦性 3H 以上	インクジェット法を実用化する ことにより、エッチング不要で、 その分のインジウムロスがなく なる
静電塗布法用 ITO ナノインクの 開発	透過率 80%以上、 ヘイズ 2%以下、 表面抵抗率 1000 Ω /sq 以下	焼成温度 200°C以下 で、膜厚 200nm 以下、 透過率 90%以上、ヘ イズ 1 %以下、表面 抵抗率 100 Ω /sq 以下	静電塗布法を実用化することで スパッタ法で必要な大量のイン ジウムストックが不要となる

ITO ナノインク技術開発の目標達成度を表Ⅲ-9 にまとめて示す。

表Ⅲ-9 ITO ナノインク技術開発の目標達成度

検討項目	中間目標	最終目標	成果	達成度	コメント
インクジェット用ITO ナノインクの開発	数ナノオーダーの単分散ナノ粒子合成法の確立	焼成温度 200～300 °Cで、膜厚150nm 以下、抵抗値 $5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 以下、透明性 96% 以上、耐擦性 3H 以上	圧粉体抵抗 $0.05 \Omega/\text{sq}$ 以下	◎	市販されている粉末では1ミクロン程度の厚さが必要なのに対して、開発したナノインクは抵抗値が市販最良値よりも1/2以上低いので、導電性の確保のために膜厚を厚くする必要がなく、十分に200～500 nm程度の厚さを達成できる。
静電塗布法用ITO ナノインクの開発	透過率 80%以上、ヘイズ 2%以下、表面抵抗率 $1000 \Omega/\text{sq}$ 以下	焼成温度 200 °C以下で、膜厚 200 nm 以下、透過率 90% 以上、ヘイズ 1 %以下、表面抵抗率 $100 \Omega/\text{sq}$ 以下	圧粉体抵抗 $0.05 \Omega/\text{sq}$ 以下	◎	これにより、従来より6%の削減が可能

達成度→中間目標達成：◎，本年度中に中間目標達成見込：○，中間目標未達成：△

その他、それぞれの支援技術として、第一原理計算によるITOに添加する第4元素の提案とナノインクを作製するにあたり、どのようなナノ粒子の分布が適しているかをシミュレーションする技術開発がある。計算科学部分の自主目標ならびに達成度を表Ⅲ-10、表Ⅲ-11に示す。

表Ⅲ-10 ナノインク塗布後の電気伝導度のシミュレーションモデル開発の自主目標

検討項目	中間（自主）目標	最終目標	設定理由（目標値の妥当性等）
効率よい塗布法を実現するために必要なITO ナノ粒子の形態、分布のシミュレーション	パーコレーションモデルによるシミュレーションモデルの開発とその成果のナノ粒子形態への提言	粒子の表面電荷を考慮したシミュレーションモデルを開発し、より実際の現象に即したモデル開発を行い、塗布法と連携し、塗布法でのTFT電極での使用を可能にする。	TFT電極に塗布法が使用されれば、スパッタによるロスのみならずインジウム等の削減となる。

表Ⅲ-11 ナノインク塗布後の電気伝導度のシミュレーション技術開発の目標達成度

検討項目	中間（自主）目標	最終目標	成果	達成度	コメント
効率よい塗布法を実現するために必要なITOナノ粒子の形態、分布のシミュレーション	パーコレーションモデルによるシミュレーションモデルの開発とその成果のナノ粒子形態への提言	粒子の表面電荷を考慮したシミュレーションモデルを開発し、より実際の現象に即したモデル開発を行い、塗布法と連携し、塗布法でのTFT電極での使用を可能にする。	パーコレーションモデルによるシミュレーションモデルの開発とその成果のナノ粒子形態への提言を行った。	◎	ほぼ最終目標を達成、次は新規省インジウムITO薄膜で挟み込み技術に応用する

達成度→中間目標達成：◎，本年度中に中間目標達成見込：○，中間目標未達成：△

2.2 成果の意義

(1) 「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

本技術開発は、できるだけ従来のスパッタ装置で使用できる新規省インジウム組成の大型ターゲットの作製が目的である。現在まだ、ターゲットの焼成にまで至っていないが、組成については、第一原理計算、ならびにその結果を用いたコンビナトリアルスパッタ法による第4元素添加新規省インジウム組成の決定でITO+TiO₂、ITO+Sb₂O₅系で十分に60 wt%In₂O₃組成のITO薄膜が開発できる可能性を明らかにした。現在、それらの組成の高密度ターゲットの作製中であり、本年までにすくなくとも電気伝導度、光透過性については中間目標を達成できると思われる。

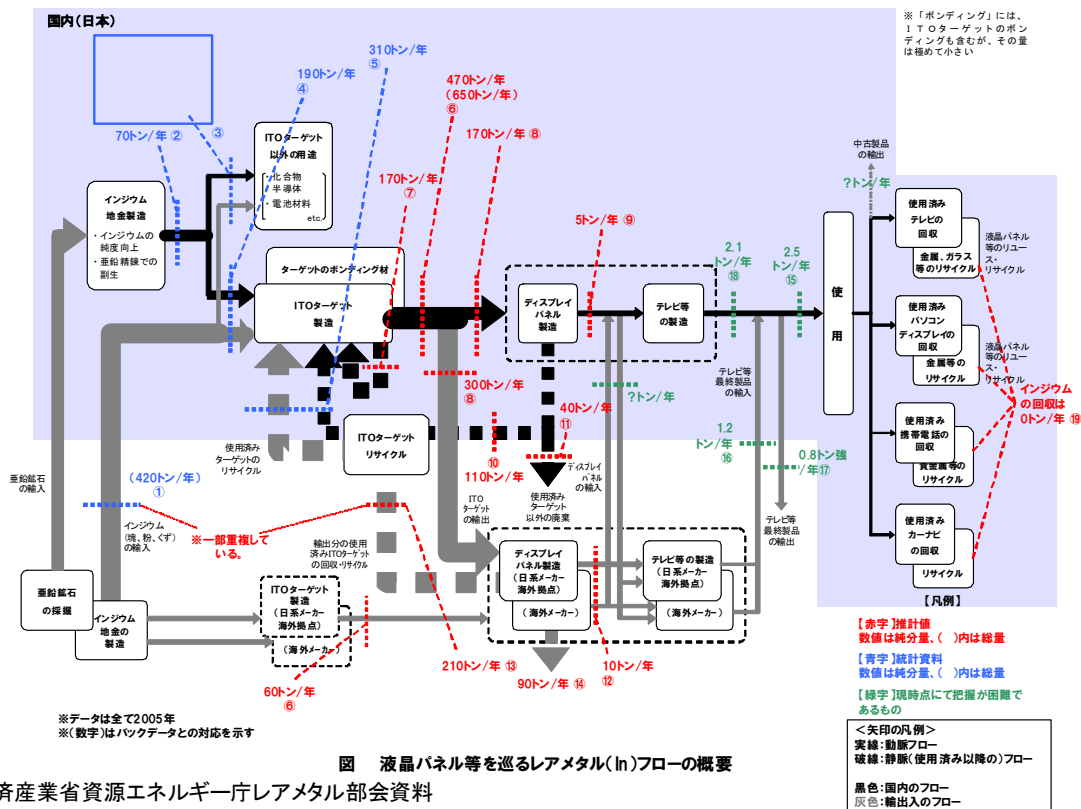
このような技術は、まだどこも達成しておらず、現在世界で最も高いシェアを有する我が国のターゲットメーカーの優位性をさらに確保するものである。

(2) 「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

希少金属であるインジウム（In）を有効活用するためには、ITO透明電極製造プロセスにおける使用量削減を実現することが必要であり、現行のスパッタリング法に代わるプロセス開発が有効であると考えられる。そこで本研究では新たなプロセスとして、粒子塗布法であるインクジェット法あるいは静電塗布法に着目した。図Ⅲ-1にインジウム材料フローを示す。これを見ると、スパッタ法は、①製造時に製品にならない部分を大量に必要とし、また、②製品にならない部分に多くのロスが発生する、という問題がある。ナノインク法が可能となることで、上記①と②の欠点がなくなり、資源の有効利用につながる。

これまでも三井金属鉱業株式会社、DOWAエレクトロニクス株式会社 両社ともITOナノ粒子、ならびにナノインクの合成を行ってきているが、従来品に比べ大幅に性能が向上している。

($5.7 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ まで減少し、焼結抵抗で約50%向上) 今回の開発により、これまで実用化に遠かったナノインクによる塗布法がすくなくとも大型液晶ディスプレイのTFT電極側の薄膜には使用できる可能性が生じた。この塗布法の大型化が図れれば、最終的にスパッタ法の代わりに使用できる可能性を開くことにもつながる。



図Ⅲ-1 液晶パネル等を巡るレアメタル(In)フローの概要

今回のパーコレーションモデルによるシミュレーションモデルの開発で実際のナノインクに使用するナノ粒子の分布に関する考え方が理解できたことから、モデルが適切で応用できることがわかった。

シミュレーションの精度を上げることができれば、より定量的にナノインクの合成に関する知見を得ることができると予想され、実験の手間を大幅に省くことが可能となった。

なお、矛盾するようであるが、塗布法で共通電極側の薄膜も使えるようになると将来（現状の設備が償却される10年くらい先）はスパッタ法の使用がなくなることも予想される。わが国の液晶パネルのシェアは10%程度に低下しているが、塗布法が採用できれば、大型スパッタ装置が不要でそのために真空引きも不要となり、製造コストの大幅な削減が可能となる。したがって、現在低下しているパネルのシェア回復に大きな貢献をすることになる。

2.3 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

現在の特許取得等のまとめを表Ⅲ-12に示す。

表Ⅲ-12 成果の公表のまとめ

区分 年度	特許出願			論文		その他外部 発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	0	0	0	1	0	3
H20FY	2	0	0	2	2	20
H21FY	1	0	0	0	1	11

注：現在 特許について省インジウム新組成について国内1件、ナノインクについて国内1件、手続き中

また、いずれも比較的特許が少ないのは、ターゲット焼成またナノインクの合成については、まったくの製造ノウハウであり、特許化せず、ノウハウとして確保したいとの意向もある。

なお、本技術開発は、標準化とはなじまず、まったく取り組む予定はない。

2.4 成果の普及

論文や学会への口頭発表は、基本的に特許取得後もしくは、直接実用特許と関係しない、第一原理計算や電導度シミュレーションの部分であり、内容を考慮し、適切に行っている。

一方実用的な部分では、プロジェクト内には参加していないが国内の液晶パネル最大手であるシャープ株式会社に東北大学未来科学技術センターとの共同研を通して、情報交換ならびに提供を行っており、技術開発が成功すれば普及の道筋はできていると考えている。

一般に向けては、差し支えない範囲で学会発表やプレス発表を行っている。

2.5 成果の最終目標の達成可能性

(1) 「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

現在、コンビナトリアルスパッタ法でほぼ、新組成を確定させたところであり、現在小型ターゲットの試作とその一部の組成はターゲットを使用したスパッタでの薄膜合成条件の決定中である。6月中には他の複数の小型ターゲットの焼成が出来上がるので、7月中には新組成ターゲットでの製膜条件が確定する予定である。

今年の後半から大型ターゲットの試作について検討するが、本来焼成のためには、新組成でのいいITO粉が必要である。我々のグループではナノインクグループで新しいITOナノ粒子の合成を手がけ成功している。したがって、我々のチームは新組成ターゲットの大型化ならびに高密度化を順調に進める基礎技術を有していることになる。

また、参加している三井金属鉱業株式会社、株式会社アルバックは、現在も有数のターゲットメーカーであり、焼成技術については十分にノウハウを持っており、開発に支障はないといえる。

上記の過程を経て、最終的に所定の諸特性（体積抵抗率 200～ 250 $\mu\Omega\text{cm}$ 、透過率は波長 550 nm で 85 %以上、エッチング性、高屈折率）を満足する材料を開発する。また、新規組成ターゲット作製工程の最適化を行い高密度ターゲットの工業化技術を完成させる。

（2）「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

これまでに全く新規の IT0 ナノ粒子の合成法を開発し、従来の IT0 粒子を使用した焼結体抵抗を大幅に改善している。ナノインクについても自社技術を開発しており、後は大量生産装置の開発に移行している。上記のように開発は順調であり、最終目標の達成にはまったく障害がない。また、インクジェット法、静電塗布法両方とも両者ともプロジェクトは別にインクジェット法、静電塗布法の装置メーカーとの連携しており、装置上の問題はないと考えている。

②透明電極向けインジウム代替材料開発

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発 (材料 Gr : 産総研)

抵抗率、透過率、耐熱性、耐湿性、耐薬品性等の諸特性において、透明電極として使用に耐えうる特性を満足する材料技術と成膜技術を確立する事が出来た。

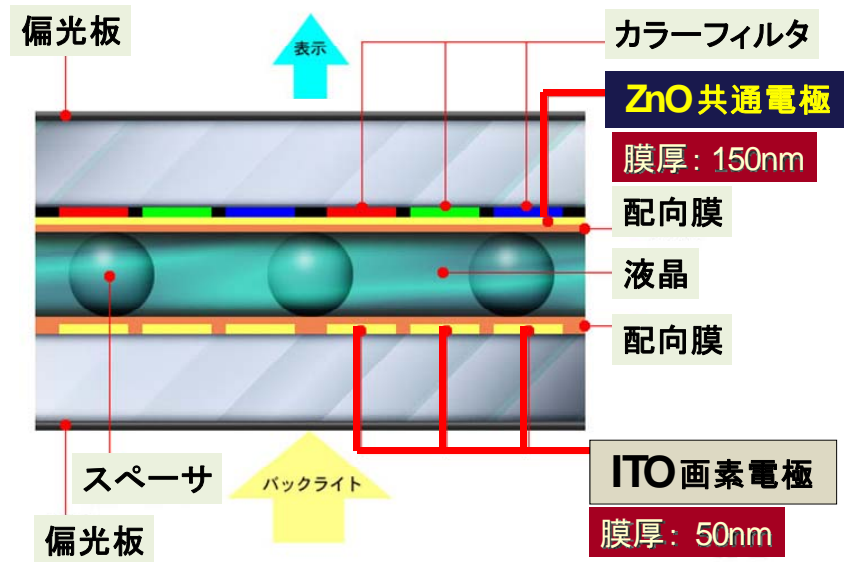
(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発 (製膜 Gr : 金沢工業大学)

抵抗率、透過率、耐熱性、耐薬品性等の諸特性において、透明電極として使用に耐えうる特性を満足する材料技術と成膜技術を確立する事が出来た。

(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発 (パル Gr : 高知工科大学グループ)

平成19、20年度は、ZnO系透明導電膜の液晶ディスプレイへの応用可能性を検討する観点から、カラーフィルタ(CF)側電極にZnO系透明導電膜を実装した3インチの小型液晶パネルを試作し(図Ⅲ-1-1参照)、液晶ディスプレイ製造プロセスにおける課題の抽出と、現行のITO透明導電膜との相違点を明確にすることに重点を置いて研究開発を実施した。

その結果、抵抗率、透過率、耐熱性、耐湿性、耐薬品性等の諸特性において、透明電極として使用に耐えうる特性を満足する材料技術と成膜技術を確立する事が出来た。



図Ⅲ-1-1 試作液晶ディスプレイの断面概略図

本研究において現在得られている事業全体の成果をまとめると、以下の表Ⅲ-1-1 のようになる。

表Ⅲ-1-1 事業全体の成果

目 標	研究開発成果	達成度
<p>プロジェクト全体の目標 (出典：基本計画 p1)</p> <p>(中間目標) スパッタ技術開発および不純物の共添加等の材料開発により、化学的安定性、均一性に優れる成膜技術を開発し、4 インチレベルのパネル試作を実施する。</p> <p>(最終目標) 抵抗率：$4.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下 透過率：可視光平均透過率 85%以上 耐熱性：抵抗変化率$\leq 10\%$ 耐湿性：抵抗変化率$\leq 10\%$ 耐薬品性：可視光透過率の変化率$\leq 2\%$</p> <p>酸化亜鉛系材料を例えば液晶ディスプレイのカラーフィルター側の透明電極に適用することにより、インジウム使用原単位の50%以上低減を達成する。</p>	<p>(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発 (材料 Gr) 【試作パネルの自己評価結果】 抵抗率：$2.60 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 透過率：可視光平均透過率 86.3%</p> <p>(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発 (製膜 Gr) 【試作パネルの自己評価結果】 抵抗率：$6.20 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 透過率：可視光平均透過率 87.5%</p> <p>(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発 (パネル Gr) 【試作パネルの自己評価結果】 抵抗率：$2.39 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 透過率：可視光平均透過率 86.7%</p> <p>【補 足】 ZnO 透明導電膜 CF 電極に適用した3 インチ液晶パネルを試作し、世界初の点灯に成功した。また ITO 電極を用いたパネルと同等の表示特性を確認すると共に、製品化に必要な温度60度、湿度90%での1000時間連続駆動に成功した。また ZnO 透明電極パネルプロセスは ITO 製品パネルプロセスと完全互換性があることを明らかにした。</p>	<p>(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発 (材料 Gr) →達成</p> <p>(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発 (製膜 Gr) →達成</p> <p>(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発 (パネル Gr) →達成</p>

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 成果の内容

(1) 酸化亜鉛系混晶材料による高性能透明電極用材料の開発 (材料 Gr : 産総研)

酸化亜鉛系材料の開発においては、サイズが 100mm×100mm で膜厚が 150nm の薄膜において、電気的特性として比抵抗値として 3×10^{-4} [Ω cm] を達成しており、また化学的安定性としては、温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の N-メチル-2-ピロリドン液に 30 分間浸漬する試験に対して、抵抗変化 $\leq 1\%$ および分光特性変化 $\leq 1\%$ を達成している。

酸化亜鉛系混晶材料の開発においては、サイズが 100mm×100mm で膜厚が 150nm の薄膜において、電気的特性として比抵抗値として 3×10^{-3} [Ω cm] を達成しており、また化学的安定性としては、温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の N-メチル-2-ピロリドン液に 3 分間浸漬する試験に対して、抵抗変化 $\leq 10\%$ および分光特性変化 $\leq 2\%$ を達成していて、中間目標値を達成している。

液晶パネルを試作する研究は、プロジェクト後半期に計画されている事業であるため、研究に着手しておらず、未達成の状態にある。

目標の達成度としては、酸化亜鉛系材料の開発においては、既に最終年度目標値を達成している。また酸化亜鉛系材料の開発においては、中間目標を達成している。また液晶パネルを試作する研究は、プロジェクト後半期に計画されていた事業であるため、研究に着手しておらず、未達成の状態にある。

成果の意義としては、酸化亜鉛系混晶材料においても透明導電膜としての応用可能性がある事を示した事が大きく、特にスパッタ法により成膜された薄膜において実証できた事は大きな意義がある。特に、 $Zn_{1-x}Mg_xO:Ga$ 系材料の電気的特性の値は、スパッタ法を利用して堆積された $Zn_{1-x}Mg_xO$ 混晶系透明導電膜材料としては、これまでに世界中で得られたものの中で最も優れた電気的特性を示している。この成果が波及効果を及ぼす技術領域は、液晶パネルだけでなく太陽電池や各種の光電子素子も含まれるため、新たな技術領域を開拓することが期待できる。成果の汎用性は、成膜にスパッタ技術を利用している事から考えて非常に高く、大規模な産業用の用途にも耐え得るものである。

(2) 酸化抑制型マグネトロンスパッタ製膜技術の開発 (製膜 Gr : 金沢工業大学)

1) 「大面積基板上に低抵抗率 ZnO 系透明導電膜を均一且つ高速で形成可能な高周波重畳直流マグネトロンスパッタ製膜技術及びそのスパッタ製膜に適合するターゲットの開発」

酸化抑制型製膜用 ZnO 系ターゲット作製技術及びそれを用いる抵抗率分布を抑制可能な直流マグネトロンスパッタ製膜技術を開発し、LCD 用カラーフィルター上の ITO 膜に代替可能な ZnO 系透明導電膜を実現した。当該 ZnO 系透明導電膜を使用することにより、LCD におけるインジウム使用量の約 75% を削減可能である。

生産用直流マグネトロンスパッタ製膜装置を用いて 200°C (低温) のガラス基板 (100mm×100mm) 上に膜厚 150nm で抵抗率 $5 \times 10^{-4} \Omega$ cm (抵抗率及び膜厚分布は $\pm 20\%$ 以内) の ZnO 系透明導電膜作製技術を確立した。

既設の円形ターゲット (直径 6 インチ) を用いる直流マグネトロンスパッタ製膜装置を使用することにより、ZnO 系焼結体ターゲット (合計 7 社から、AZO : 13 種類、GZO : 2 種類) を使用して高周波重畳製膜技術を含めたあらゆる製膜条件下で ZnO 系透明導電膜を作製し、得られる膜特性及びアーク放電回数や製膜レート等の ZnO 系透明導電膜実用化に対して極めて重要な各種パラメーターとターゲット性能との関係を明らかにし、その成果をターゲット作製プ

ロセスにフィードバックすることにより、特に、直流マグネトロンスパッタ製膜における現状のターゲットの問題点を明らかにし、酸化抑制型製膜用ターゲット開発の指針を得ることができた。これはLCD用製膜装置に適合したZnO系焼結体ターゲットを総合的に評価した世界初の成果である。

ZnO系透明導電膜特有の抵抗率分布の発生や得られる膜特性が使用する製膜装置に強く依存する等の実用上極めて重要な問題点を上記の酸化抑制型製膜用ターゲットを採用することにより解決するメドをつけた。

周波数を可変可能な小型高周波電源を既設の円形ターゲットを用いる高周波重畳直流マグネトロンスパッタ製膜装置に設置して、ZnO系透明導電膜作製における高周波重畳効果の解明及び重畳する高周波の最適条件を明らかにした。

2) 「ZnO系透明導電膜における抵抗率及びその安定性の膜厚依存性改善のための材料技術及びその材料に適合する製膜技術の開発」

新規な第2不純物(X)共添加ZnO系(AZO:X, GZO:X)材料を採用することにより、膜の安定性、特に懸案の耐湿性の改善に成功した。パルスレーザー蒸着法により作製した膜厚が100nm以上のAZO:V薄膜において、温度60°C、相対湿度95%、空気中の条件下において1000時間後に抵抗率の増加率1.2倍以下を実現できた。

低酸素含有AZO及びGZO焼結体ターゲットに加えて、第2不純物を共添加した低酸素含有AZO焼結体ターゲットを作製した。特に、第2不純物としてバナジウム、インジウム、スズもしくはモリブデンを共添加したAZO及びGZO(AZO:V, AZO:In, AZO:SnもしくはAZO:Mo)及びGZO:V, GZO:In, GZO:Sn,もしくはGZO:Mo)透明導電膜において抵抗率の膜厚依存性及び抵抗率の耐湿性の改善を実現できた。当該技術に関しては既に特許を出願している。

企業の協力(富士電波工業(株)が所有するトライアル用装置を利用)を得てミリ波加熱法を用いる小型低酸素含有ZnO系焼結体ターゲットの作製に成功し、ミリ波焼結技術を用いる省電力・低コストターゲット製造の基礎的な技術を確立できた。本製造技術を用いることにより、従来の電気抵抗炉を用いる焼結体作製プロセスの10分の1以下の極めて短時間に焼結体ターゲットを作製できた。作製したミリ波焼結体ターゲットを用いて、10-4Ωcm台前半の低抵抗ZnO系透明導電膜を作製でき、従来の電気炉焼結ターゲットを用いて作製したZnO系透明導電膜とほぼ同等もしくはそれ以上の特性(性能)を実現できた。

膜の物性解明と併せて抵抗率やその安定性の膜厚依存性を生じる原因の解明をSpring-8によるEXAFS測定等を始めとする実験的手法及び理論的に実施し、膜厚が約50nm以下の多結晶ZnO系透明導電膜における耐湿試験(温度が60°C、相対湿度が90%の空気中で1000h放置)では、粒界表面上への酸素吸着よりむしろ膜表面上への酸素吸着による抵抗率増加が支配的であり、ZnO系多結晶薄膜においては、材料の持つ本質的な性質であることを世界で初めて明らかにした。その対応策として、製膜初期段階での結晶性制御が重要であり、今後、元素吸着が結晶性に及ぼす影響の解明が重要であることを明らかにした。

(3) 酸化亜鉛系液晶ディスプレイの開発 (パルGr:高知工科大学グループ)

1) 「大型基板対応製膜技術の研究開発」

本研究開発項目では、大型液晶ディスプレイに適用可能な大型基板対応のZnO系透明導電膜製膜技術の開発を目的としている。本事業では、CF側透明電極への応用を念頭に、室温から

150 °C 程度の基板温度条件の下、膜厚 140 nm 前後でシート抵抗 30 Ω/Sq. とした ZnO 透明電極付 CF を実装した 4 インチ前後のパネルを試作し、点灯確認の達成と液晶パネルでの光学特性の最適化を平成 20 年度終了時の中間目標として研究開発を推進した。

初年度となる平成 20 年度は、膜厚 140nm 前後でシート抵抗 30 Ω/Sq. を有する ZnO 透明導電膜を実現し、その光学特性を把握する。具体的には、可視光領域における分光透過率をデータベース化することで、現行 ITO との共通点、相違点とを見出すこととした。平成 20 年度は液晶パネル製造プロセスを考慮した ZnO 透明導電膜の耐熱性、耐湿性および耐薬品性に重点をおいて製膜技術の開発を行うこととした。

2) 「透明導電膜部材 (ZnO 薄膜) の開発」

ZnO 系透明導電膜の液晶ディスプレイへの応用に向けた最大の課題は、耐環境性と耐薬品性である。本研究開発項目では、ZnO 系透明導電膜を CF 側透明電極、TFT 側透明電極に応用することを念頭に、実際の液晶ディスプレイ作製プロセスに耐性を持ち、液晶ディスプレイの信頼性を確保する透明導電膜部材 (ZnO 薄膜) を開発する。ここでは、製膜法としてスパッタリング法と RPD 法 (反応性プラズマ蒸着法) の両方からのアプローチを行い、それぞれの成果を明らかにすることで、それらの課題を解決する ZnO 薄膜を実現する。スパッタリング法では、製膜条件と膜の耐熱・耐湿熱特性、耐薬品性との相関を調べ、その課題を抽出する。低抵抗率や耐熱特性に実績のある RPD 法では、ZnO 透明導電膜の材料としてのフィジビリティを追求するとともに、物性の詳細な比較を通して、その成果をスパッタリング法へと波及させる。

3) 「大型液晶パネルの応用開発」…液晶パネルの試作と評価

本研究期間の開発では、CF 側透明電極に ZnO 透明導電膜を用いるための課題抽出を目標とした。そして、パネル試作では画素アレイ側の透明電極には、現在の液晶パネルと同様に ITO 透明電極を用いた。このような構造としたのは、(1) カラーフィルター基板側 ITO 電極を ZnO 透明電極に置き換えることにより、本プロジェクトの目標であるインジウム 50%削減が可能なこと、(2) 画素アレイ基板側電極は微細加工技術、下地の Al 電極・配線との接触抵抗低減そして下地段差上への高被覆性製膜技術など多くの技術を開発する必要があること、(3) 両基板とも同時に ZnO 透明電極に置き換えると、パネル組み立て後の特性評価において各電極個別の問題点や課題の識別抽出が難しくなる、さらには (4) 画素アレイ側の透明電極を ZnO 系に置き換えてパネル試作するにはパネルメーカーの TFT アレイ製造ラインに従来全く用いられていなかった亜鉛を持ち込むことになるため、現段階では企業の製造現場から持ち込み許可が得られる見通しがたたないなどの理由による。

液晶パネル作製には、RGB カラーフィルターアレイ基板と画素アレイを配した基板が必要である。そしてこれらのアレイパターンの設計および液晶を駆動するための回路が必要になる。そこで本研究グループの企業であるカシオ計算機株式会社の 3 インチ (対角) 液晶パネル用のパターンを利用することとした。本試作では複数のマザーガラス基板を準備し、これらの基板を用いて RF/DC マグネトロンあるいは DC マグネトロンなどのスパッタ法での ZnO 透明導電膜形成とともに DC マグネトロンスパッタ法による ITO 透明導電膜形成などの分流試作を行った。各基板から複数個の 3 インチ液晶パネルを作製した。

組み立てが完了したパネルを駆動装置に接続して、その点灯確認を行った。いずれのパネルも点灯に成功した。その例を図 III-2-1 に示した。図からわかるように全く欠陥が観られず、当初の満足な表示が可能か、表示不良 (配向不良など) が生じないか、などの懸念が払拭された。また

C F側透明電極のみをZ n O導電膜に置き換え、画素側透明電極にI T O電極を用いたことによる液晶の配向不良を心配した。しかしそれに起因した特性不良を生じることなく正常に動作した。そして製造パネルの点灯歩留まりは1 0 0 %と良好な結果を得た。

この3インチ液晶パネルの点灯成功により、Z n O透明導電膜のC F側電極への適用の見通を得た。この点灯確認後、ディスプレイの長期駆動試験を行った。この駆動試験は60℃、湿度90%の環境の中で、R⇒G⇒Bサイクルで連続点灯させた。この試験ではZ n O電極液晶ディスプレイとともにI T O電極液晶ディスプレイもリファレンスとして並行して駆動させた。

パネル試作にあたってはC F基板側透明電極としてD Cスパッタ法およびR F/D CスパッタとD Cスパッタ法を組み合わせた方法で形成した種々の仕様のG Z O膜を有するいずれのパネルにおいても1000時間の連続点灯試験でも劣化するパネルは皆無であった。通常、小型液晶パネルを製品化できる目安として上記環境で250時間の連続駆動で表示特性が劣化しないことが要求される。したがって1000時間連続駆動で劣化するパネルが無かったことより、小型液晶パネルに関する限り、C F基板側透明電極をI T OからG Z Oに置き換えられることは可能と言える。

以上をまとめると、3インチ液晶パネルの点灯に成功した。そして本研究期間の目標である大型パネルの開発に向けたZ n O透明電極適用液晶パネルの基本製造プロセスフローを構築した。特筆すべき点は、従来のI T O透明電極を用いた液晶パネルプロセスとコンパティブルなZ n O透明電極液晶プロセスの見通しを得たことである。すなわち現在の液晶パネル製造ラインへの新規設備投資を抑制（コスト抑制）しながらI T O透明電極をZ n O透明電極に置き換えられる可能性が得られた。



(テストパターン: カラーバー)



図Ⅲ-2-1 3インチ液晶点灯表示例

2.2 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

現在までの成果発表に関してまとめると、以下の表Ⅲ-2-1～表Ⅲ-2-4 のようになる。

表Ⅲ-2-1 本研究における成果発表のまとめ（材料 Gr：産総研）

区分 年度	特許出願			論文		その他の外 部発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	0	0	0	0	0	6
H20FY	0	0	0	0	0	10
H21FY	0	0	0	0	0	0

表Ⅲ-2-2 本研究における成果発表のまとめ（製膜 Gr：金沢工業大学）

区分 年度	特許出願			論文		その他の外 部発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	1	0	0	6	0	0
H20FY	2	0	0	4	0	9
H21FY	0	0	0	0	0	0

表Ⅲ-2-3 本研究における成果発表のまとめ（パ^ル Gr：高知工科大学グループ）

区分 年度	特許出願			論文		その他の外 部発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	1	0	0	0	1	2
H20FY	0	4	0	7	16	24
H21FY	1	0	0	1	0	0

表Ⅲ-2-4 本研究における成果発表のまとめ（総合）

区分 年度	特許出願			論文		その他の外 部発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	2	0	0	6	1	8
H20FY	2	4	0	11	16	43
H21FY	0	0	0	1	0	0

③希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減技術開発

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 研究開発の概要

(1)「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」(微細化 Grp)

焼結磁石における結晶粒を数ミクロンサイズになるよう微細化することで、ディスプロシウム添加量を低減しても高保磁力が得られる焼結磁石の作製プロセスを確立する。

1) 次世代焼結磁石用原料合金の研究開発

結晶粒径と元素分布を制御することにより、高い保磁力が引き出せる原料合金を開発する。

2) 超微細結晶粒焼結磁石作製プロセスの開発

結晶粒径制御により高保磁力焼結磁石の作製プロセスを開発する。

3) 高保磁力磁石の焼結組織最適化に関する研究

Nd-rich 相などの組織形態制御により焼結組織の最適化を図る。

(2)「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」(界面 Grp)

強磁場プロセス、薄膜プロセス、組織制御等を検討して Nd-Fe-B 系焼結磁石の界面ナノ構造を制御し、主相界面の格子整合性を向上させてディスプロシウム添加量の低減と高保磁力の実現の指針を得る。さらに、これらの指針をもとにディスプロシウムを磁石試料中で保磁力増加に効果的な部位に必要な量のみを添加するディスプロシウム有効活用技術を開発し、ディスプロシウム添加量の削減を図る。

1) 強磁場を用いた界面構造制御による保磁力向上の研究

強磁場熱処理による粒界相の結晶配向を用いて、この界面構造をより均一にして高保磁力化を目指す。

2) 薄膜プロセスで制御した理想界面による保磁力向上の研究

理想的な磁石薄膜と粒界相物質を成膜し、磁化反転のモデル実験を行うことにより、保磁力のメカニズムを解明する。

3) 焼結磁石の組織制御による界面ナノ構造最適化の研究

ディスプロシウムの拡散制御技術の検討により結晶粒表面にディスプロシウムを優先偏析させる技術を開発する。

(3)「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」(解析 Grp)

Nd-Fe-B 系焼結磁石の界面ナノ構造や磁化過程の詳細な解析をすることによって、現状の保磁力が異方性磁場 (90 kOe) の 10%程度の値に留まっていること、従来の研究から結晶粒を小さくしても保磁力がある結晶粒径で急激に低減すること、などの理由を解明し、さらには計算科学を駆使することによって保磁力向上の指導原理を獲得する。得られた情報は上記項目 (1)、(2) の製造プロセスへ還元する。

1) ナノ組織解析・原子レベル元素分析による界面構造評価

焼結磁石の粒界ナノ構造を原子レベルで解析し、粒界構造と保磁力の因果関係を解明する。

2) 中性子小角散乱法による平均界面構造評価と保磁力

中性子小角散乱測定により、保磁力の起源となる磁石内部の平均界面構造を明らかにする。

3) 微小結晶粒子集団における磁化反転機構と制御法の研究開発

磁化反転機構解析により保磁力の決定要因を解明する。

4) 希土類磁石の保磁力機構に関する理論研究

第一原理計算に基づく微視的立場から焼結磁石の保磁力の発現機構を明らかにする。

(4)「自動車用磁石への応用」(応用 Grp)

自動車用磁石、特にハイブリッド自動車の駆動モータは、現在ディスプレイウム添加 Nd-Fe-B 系磁石の大きな応用先である。本研究の遂行によって高保磁力高性能な Nd-Fe-B 系磁石を開発できれば、ディスプレイウム使用量の削減が最も効果的に実施できると考えられることから、例えば開発磁石の耐久性評価、モータ適用時の磁石の最適形状設計等といった当該分野への応用について検討を行う。得られた情報は、各製造プロセスへ還元するとともに更なる高性能化への指針とする。

1.2 全体の成果

本研究において現在得られている全体の成果を、中間目標と比較してまとめると、以下の表Ⅲ-1-1 のようになる。

表Ⅲ-1-1 研究開発項目全体の成果

目 標	研究開発成果	達成度
<p>中間目標：平成 21 年度 結晶粒径の微細化、強磁場プロセスによる界面ナノ構造制御技術等の開発により、ディスプレイウム使用量原単位 20% 削減を達成する。</p>	<p>①2.7 μm まで粉末粒径を小さくすることにより高保磁力を実現し、Dy20%~30%削減に相当する磁気特性を有する Dy フリー焼結磁石の作製に成功した。</p> <p>②Dy リッチシエル化率 82%と界面制御することにより、Dy20%削減に相当する磁気特性を有する焼結磁石の作製に成功した。</p>	<p>達成</p>

2. 検討項目毎の成果

2.1 目標の達成度

(1)「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」(微細化 Grp)

1) 次世代焼結磁石用原料合金の研究開発

- ・結晶核の発生数とデンドライト径についての知見を得、その結果を基に鑄造装置を新たに導入し、結晶の成長をコントロールすることで結晶粒径 2 μm の合金を作製し、目標を達成した。
- ・結晶粒径 2 μm の合金の高分解能 EPMA 観察により、元素分配の傾向が冷却速度により異なることおよび Dy の元素分配の異なる理由がわかった。

2) 超微細結晶粒焼結磁石作製プロセスの開発

- ・従来の窒素ガスジェットミル粉碎で、原料粉末粒径を5 μm から2.7 μm まで微細化して、保磁力を17 kOeまで向上させた。その結果、Dy 20%~30%削減に相当する磁気特性を有する焼結磁石の作製に成功した。(中間目標達成)
- ・原料粉末の微細化と低酸素・窒素化のため、He循環式ジェットミル等の磁石作製装置を集中研に導入した。
- ・He循環式ジェットミルの改良を行い、組成ズレのない粒度分布がシャープな低酸素・超微粉末の作製条件を確立した。粉末粒径1.2 μm 以下・酸素量1500 ppmで焼結磁石作製し、平成20年度の目標レベルを達成した。粉末粒径は21年度目標を達成した。

3) 高保磁力磁石の焼結組織最適化に関する研究

- ・ストリップキャスト材に対して、点算法を改良した方法によってNd-rich相の存在状況の評価を可能とした。結果、約4 μm の層間隔となっていること、ロール面から50 μm 程度の領域に組織不均一になっていることを明らかにするとともに、ストリップキャスト材の評価技術を確立した。また、熱処理によってSC材におけるNd-richの組織形態が変化すること、Dy量の分配率が2-14-1相内よりもNd-rich相内が大きいことを明らかにした。さらに、ストリップキャスト材の作製条件と組織の関係について調査し、ストリップキャスト材の厚みを薄くすることにより、ラメラ間隔を小さくできることを見出し、新たな合金作製手法を提案した。
- ・水素処理材およびジェットミル粉末のNd-richの存在形態について評価を行い、ジェットミル粉末の平均粒径が小さくなるほど、Nd-richの付着率が低下することを明らかにした。
- ・焼結磁石の組織観察から、微細なジェットミル粉を用いた焼結体では結晶粒径は低下するが、結晶粒界にNd-rich相が存在する確率が低下することなどを見出した。
- ・Nd-rich相の濡れ性評価および成膜技術を用いた界面モデルの検討を行った。濡れ性評価からは、Cuの添加により濡れ性が向上すること、酸素固溶度が増大することを明らかにした。薄膜を用いた粒界モデルの組織観察から、熱処理によって保磁力が回復した試料では、Nd₂Fe₁₄B相とNd-rich相の界面にアモルファス相が形成されていることを世界で初めて見出した。さらにこれらの評価と界面モデルの考察から、焼結過程および熱処理過程における高保磁力を得るための理想的な組織変化のモデルを構築し、製造プロセスグループへ情報を還元した。
- ・上記の事項により、詳細検討項目における中間目標を達成した。

(2) 「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」(界面 Grp)

1) 強磁場を用いた界面構造制御による保磁力向上の研究

- ・Nd-Fe-B系焼結磁石の強磁場中熱処理を行い、Al、Cuを添加した試料で、しかも500°Cおよび550°Cという特定の熱処理温度付近でのみ顕著な保磁力上昇が見られることを見出した。
- ・これらの温度は、粒界に存在するNd-Cu相 およびAl-Cu相の共晶温度と一致し、磁場効果の機構と関係があることが示唆された。
- ・「強磁場中熱処理後急冷システム」「マルチサンプル磁場中熱処理装置」、および「磁場掃引誘導型マルチサンプル磁化測定装置」を設計・製作し、強磁場プロセスの迅速な最適化を可能にした。

- ・特に、粒径が5 μm の試料では、磁場中保磁力比FCRが最大52%に達し、これまでの最高値を示すことを見出した。
 - ・強磁場中熱処理によりDyフリーの粒径微細化試料では最大15%、従来法で作製された試料では最大52%の保磁力上昇を観測した。それぞれ、ゼロ磁場中熱処理時の保磁力に対し、1.9 kOeおよび 4.7 kOeの保磁力上昇に対応する。一方、Dyを10%含む試料では、475°Cで140 kOeを印加して熱処理した場合に、保磁力が6 kOe上昇することがわかった。
 - ・保磁力のゼロ磁場に対する上昇量は、平成20年度終了時点において平成21年度における中間目標値6 kOeに既に到達している。
- 2) 薄膜プロセスで制御した理想界面による保磁力向上の研究
- ・サファイア単結晶基板にエピタキシャル成長させたTa上にNd₂Fe₁₄Bを成長させることで、3~4 μm 程度の幅の微細組織を有するNd₂Fe₁₄Bの島状単結晶を得ることができた。
 - ・この薄膜上にNd over layerをつけたときに保磁力の有為な上昇がみられることを確認した。
 - ・平成21年度の中間到達目標である「5 μm 程度のサイズをもつ主相粒子の形成」をSiO₂基板上へのNd₂Fe₁₄B膜の作製によって、ほぼ達成した。
 - ・サファイア基板上に形成した粒子サイズが3 μm 程度であるNd₂Fe₁₄B単結晶粒子へNd over layerを形成し、連続的に500°Cのポストアニールを行うことで、平成21年度の中間目標である保磁力の6 kOe増大を超える「12 kOeの保磁力上昇」を新たに確認した。
- 3) 焼結磁石の組織制御による界面ナノ構造最適化の研究
- ・Dyリッチ原料の種類・サイズの検討及び、混合条件を制御することで、焼結前の時点でDyを高分散させることに成功した。
 - ・焼結後のDy分布は焼結前のDy分布に影響されることを確認し、磁石粒子の表面がDyリッチ領域で覆われている粒子の割合82%を実現した。このとき、磁気特性はDy削減20%等価ラインに到達し中間目標を達成した。
- (3) 「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」(解析 Grp)
- 1) ナノ組織解析・原子レベル元素分析による界面構造評価
- ・Nd-Fe-B焼結磁石の微細組織をミクロから原子レベルまでのマルチスケール解析によって、添加元素、最終熱処理が粒界相ならびにNdリッチ相に及ぼす効果を明らかにすることを目的とし、実際に商用磁石における粒界相、Ndリッチ相の組織解析を進め、保磁力発現に有効な要因を明確にした。
 - ・Dyを含む商用磁石の組織解析より、Dyの分布、ナノ組織を明らかにし、Dy低減のための指針を得た。
- 2) 中性子小角散乱法による平均界面構造評価と保磁力
- ・中性子小角散乱法によって、Nd-Fe-B焼結磁石の内部構造を調べたところ、低温熱処理温度、磁場プロセスの相違による保磁力の変化と小角散乱強度の間に明確な相関があることを明らかにすることに成功し、中間目標の達成に近づいた。
 - ・検討項目(1)の成果による1.2 μm の焼結粉末を使って作成した焼結磁石と、従来の3.0 μm の焼結粉末を使った焼結磁石を比較し、粉末粒径や保磁力の違いによる中性子小角散乱パターンとの明瞭な変化が現れることを確認、中間目標に上げた3.0 μm を上回る1.2 μm の結晶微細化試料の内部構造の観測に成功した。

- ・レーザー加熱装置を作成して動作確認を完了するとともに、中性子小角散乱実験用に特別に設計された無冷媒超伝導磁石の仕様を確定、製作を進め、次年度に向けた磁場中プロセスのその場観測の準備をほぼ完了した。
- ・中間目標に上げた10 nmよりも薄い主相を取り巻く界面相の観測に成功し、中間目標を達成した。

3) 微小結晶粒子集団における磁化反転機構と制御法の研究開発

- ・磁気測定では、最高 10^{-7} emuの磁力計の装置的完成を達成（制御部、励磁部と測定系の整合性を確保）し、 10^{-6} emu感度までの測定が安定して行える状態まで整備が進んだ。Sm-Fe-N系磁石粒子による動作確認をへて、FIB法で加工、調製したNd-Fe-B系粒子群の検討を開始した。さらに、100 μ m厚程度の厚膜から切り出した微細試料で、結晶粒子数 10^4 個程度の磁気特性の測定を開始した。また、研究方針として、磁化反転時の磁区構造の観察から、比較的大きな結晶粒子集団単位の磁化反転（又は再多磁区化）を確認したので、当初の数結晶粒子試料の検討に加え、1000結晶粒子以上の試料のような、少し大きな集団試料の測定も重要であることを認識し、研究している。

4) 希土類磁石の保磁力機構に関する理論研究

- ・Nd₂Fe₁₄Bバルク状態に対して、FLAPW法による第一原理バンド計算を行い、Nd原子の4f電子に自己交換相関エネルギーの補正を取り入れることにより、4f軌道のエネルギーレベルが深い準位に移動し、局在した電子状態が再現されることを確認した。Feサイトの価電子による磁気モーメントを、実験値に対して誤差10%で再現した。第一原理に基づくバンド計算から得られるNd₂Fe₁₄Bの磁気モーメントは実測値をほぼ再現することが確認された。
- ・上記手法のもとで結晶場パラメータを評価し、Nd原子の4f電子に自己交換相関エネルギーの補正を取り入れることにより、結晶場パラメータが正の値をとり、磁気異方性定数 K_0 が 10^{-7} (J/m³)程度という実験事実と整合する結果が得られた。
- ・Nd₂Fe₁₄B磁石では、結晶粒の面方位によって表面付近のNdモーメントの異方性が著し影響を受け、Ndとそれを囲むFeの磁気モーメントが逆磁区の核生成の起点となりうることを示唆している。結晶粒表面のNdの磁気異方性定数 K_0 が面方位によっては負となり得ることを示したのは本研究が初めてであり、保磁力機構を解明する上で重要な手がかりとなるものと考えている。

(4) 「自動車用磁石への応用」(応用 Grp)

- ・Dy 30%低減により、残留磁束密度が5%向上する。これは、トルク換算で2.5%向上に相当する。
- ・目標達成の為に、残留磁束密度向上代に加え、モータ構造上の工夫、すなわち、電流密度向上、高回転化、コア積み厚アップなどとの最適化が必要である。
- ・上記構造の最適化から、中間目標として、160°Cにおいて、保磁力720~800 kA/m (9~10 kOe)の磁石が必要である。

2.2 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

現在までの成果発表に関してまとめると、以下の表Ⅲ-2-1 のようになる。

表Ⅲ-2-1 本研究における成果発表のまとめ

区分 年度	特許出願			論文		その他の外 部発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H19FY	0	0	0	3	5	36
H20FY	1	0	0	6	8	57
H21FY	0	0	0	5	0	0

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

Ⅲ. 研究開発成果について

希少金属であり地域偏在性の高いタングステンの使用量を低減するため、わが国におけるタングステン需要を調査したところ、60%近くが炭化タングステンとして超硬工具に利用されていることがわかった。そこで、超硬工具におけるタングステン使用量を低減するため、炭化タングステンの機能の一部を代替できる省タングステン技術開発を実施した。本研究開発においては、従来の超硬工具に比してプロセスのコストアップを抑えながら、超硬工具におけるタングステンの使用量を30%以上低減できる基盤技術を開発することが最終目標である。

超硬工具においては、3次元ブレーカ付きM級コーティングチップとロウ付けチップを開発対象に選定し、超硬合金の一部についてサーメットを中心とする硬質材料に置き換えることでタングステン使用量の低減を実現する。なお、開発当初における対象工具の代表的な組成は下記の通りである。

ロウ付けチップ…基材(98mass%) : 90mass%WC-10mass%Co+硬質材料(2mass%)

3次元ブレーカ付きM級チップ…85mass%WC-8mass%Co-7mass%炭化物

これに対して、ロウ付けチップに対しては、WC使用量を55mass%未満(37%低減)としたサーメット基材に硬質材料を接合した“ハイブリッド切削工具”を開発した。また、3次元ブレーカ付きM級チップについては、工具の刃先近傍や表面のみ超硬合金を利用しWC使用量を60mass%未満(25%低減)とした“複合構造硬質切削工具”を開発した。

1. 事業全体の成果

超硬工具におけるタングステンの使用量を低減するため、切削工具の機能を再検討し、タングステンを工具機能として必要な部位のみに使用し、その他の部位にサーメットを中心とする硬質材料に代替した上で、工具の機能を同等以上に高める技術を開発した。

硬質な被削材を切削加工するためには、工具の刃先部へ鋼との親和性が低く、硬質な材料を超硬基材にロウ付けして使用されてきたが、基材をサーメットに置き換えても強固に接合する技術を新たに開発した。本技術はインサート材料に非平衡化した金属粉末を用い、かつ局所的な加熱を実現することで基材や硬質材料への熱負荷を抑えることに成功した。また、実際の工具形状に適した装置の試作、改良を行うことで中間目標であった120秒以下(月産1万個/台の量産に移行できる生産性から換算)の処理時間で100MPaを超える接合強度(従来のロウ付け以上)を達成できた。この処理時間の中には接合雰囲気制御する時間、加熱時間、冷却時間も含まれており、月産1万個の量産に移行できる生産性、プロセスコストの低減効果を確認できた。得られたハイブリッド切削工具は外周研削も問題なく実施することができており、コーティングにおける成膜条件を確認の後、切削テストを実施する予定である。

比較的連続した切屑を排出する被削材を加工するには、工具表面に3次元のブレーカが必要であり、その表面を硬質で被削材と低反応性のセラミックス薄膜でコーティング処理しなければならない。3次元ブレーカの形成は粉末をプレス成形する際に作りこむことがコスト面から有利であり、従来のコーティング技術を活用するためには工具表面のみ超硬合金で作製する必要があると判断した。そこで、切削工具の内部を炭窒化チタン等の複相硬質材料からなるサーメットで作

製し、表面部を超合金からなる複合構造成形体で作製する技術を開発した。さらに焼結温度の異なる両材料を同時焼結する技術を開発した。この結果、3次元ブレーカ付きの焼結体を従来と同等以下のコストで作製する技術を開発することができた。また、焼結後の両材料における残留応力を解析し、切削工具として有効である表面層(超合金層)への圧縮応力の導入を実証した。同時焼結で作製するサーメットの特性を制御可能な基盤技術を構築するため、サーメットにおける熱伝導性、耐酸化性およびサーメットを構成する硬質粒子の耐酸化性などに関する基礎データを収集した。また、硬質粒子の結晶粒成長機構や添加元素による固溶体生成に関する基礎データを収集し、サーメットの組織微細化につながる知見を得た。さらに、焼結時に炭化物相を合成するプロセスを導入し、サーメットの中に微細組織を作りこむことに成功した。

本研究において現在得られている全体の成果を、中間目標と比較してまとめると、表Ⅲ-1-1のようになる。

表Ⅲ-1-1 事業全体の成果

目 標	研究開発成果	達成度
プロジェクト全体の中間目標	目標に対する成果	
(1) ハイブリッド切削工具の開発 ①ロウ付け切削工具におけるタングステンを20質量%削減 ②硬質材料を120秒で接合 ③連続切削試験でロウ付けチップと同等の性能 (2) 複合構造硬質工具の開発 ①3次元ブレーカ付きM級チップにおけるタングステンを15質量%削減 ②複合構造硬質工具による連続切削試験でM級コーティング工具と同等の切削性能	(1) ハイブリッド切削工具の開発 ①試作工具におけるタングステン削減量63質量%。タングステン削減量30質量%以上。 ②超硬付き硬質材料を120秒で接合(取り出しまで) ③工具形状への加工済み (2) 複合構造硬質工具の開発 ①試作工具におけるタングステン量60質量%。タングステン削減量25質量%。 ②3次元ブレーカ付きチップの作製完了コーティング処理確認中	(1) ハイブリッド切削工具の開発 ① 達成 ② 達成 ③ 達成見込み(21年8月) (2) 複合構造硬質工具の開発 ① 達成 ② 達成見込み(21年8月)

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 成果の内容

(1) ハイブリッド切削工具の開発

1) 異種材料のソリッド接合技術およびインサート材料の開発

<接合材料>

切削工具の先端を構成する硬質材料として、鋼との親和性が低く硬度に優れる硬質材料を選定した。硬質材料は成形にて作製されており、超硬合金母材の上に硬質材料を形成した超硬母材つき硬質材料と、硬質材料のみで形成された超硬母材無し硬質材料の2種類の形態がある。いずれも超硬合金にロウ付けすることによって、切削工具として市販されている。本研究課題では超硬母材付き硬質材料を炭窒化チタン系硬質材料に接合する技術開発を行った。

<接手法>

現在市販されているロウ付け工具（硬質材料と超硬合金基材の接合体）は、一度に多数個を真空中でロウ付けしている。ロウ材は 800°C程度の融点を有し、真空炉中でロウ材の融点以上に加熱することで、接合を行う。真空炉の処理に時間を有するため、多数個を一度に処理することで、製造コストを低減している。加熱中はロウ材の表面張力のみで硬質材料を固定しているため、硬質材料が傾いたまま接合されてしまうこともある。本研究では、従来のロウ材の融点より高い処理温度に対応するため、また、接合精度を高くするため、新たな接合方法を検討した。検討に当たっては、将来の製造を見越してできるだけシンプルな機構であることを考慮した。

上記の検討を基に、超硬母材付き硬質材料と Ti (C, N) 基サーメットの接合を行うために、予備実験を行ったところ、超硬母材付き硬質材料とサーメットを直接新接合法接合することは困難であった。すでに焼結されてソリッドになっている2種類の硬質材料を接合するためには、材料の間に両者との接合を助けるインサート材料を用いることが有効であり、超硬母材付き硬質材料と Ti (C, N) 基サーメットの接合に適したインサート材料を検討する必要がある。工具への応用を考えた場合、超硬母材付き硬質材料とサーメットはサブミリメートルレベルで精密に接合する必要がある。切削工具としての使用環境下では刃先が高温になることから、比較的融点の高い金属系のインサート材による接合が不可欠と考えられる。ただ、金属系のインサート材料を用いて高温で接合する際には、インサート材料および接合面の酸化を防ぐ観点から真空状態での処理が必要と考えられる。このような接合を本研究の目的である短時間で実現するためには、高速昇温ができるとともに、短時間で真空状態を作り出す機構を有する新しい接合装置を開発しなければならない。

<接合装置の開発>

上記条件を満たすために、接合する材料を加熱する新接合法を採用し、これを真空中でかつ短時間で行うことが可能である装置を設計・試作した。10秒以内に真空度 10Pa を実現することができる。

<接合強度>

この装置を用いて超硬母材付き硬質材料とサーメット (WC63mass%) の接合を行った。この方式では接合の際に、硬質材料をサーメットより約 1mm 程度突き出すようにし、これをインストロン式万能試験機によって、圧縮荷重を加えることにより、接合界面に剪断力を与え、接合強度を測定した。

インサート材として、超硬合金あるいはサーメットの構成元素である金属粉末を対象として接

合実験を行った。炭化物あるいは結合金属相として利用されている元素であれば接合界面における拡散で比較的短時間でも強固な接合を実現できると考えた。しかし、実際の接合を行うと、Niより酸化しやすい金属の粉末では接合時にチャンバー内の残留酸素により酸化皮膜が形成され、接合には適さないことが明らかとなった。特に Co 粉末でも接合時に酸化されてしまい、短時間の接合は難しいことがわかった。さらに、粉末をメカニカルアロイング処理で非平衡化し、新接合法加熱時に結晶化させることで短時間の接合を行おうとしたところ、粉末合成時の酸素増加が短時間接合の阻害要因になることが明らかとなった。酸化しやすい金属については、箔などの表面積が小さい形態で利用することで短時間接合に利用できることがわかった。得られた接合強度の一例として、Ni 粉末を用いた接合強度と Ti 箔を用いた接合強度を示す。接合時の温度が高くなるほど、接合強度は強くなっており、接合強度は温度依存性があることが明らかとなった。特に、接合時の温度が 1050~1100°C の間で急激に増加することがわかった。本実験に用いた Ti (C, N) 基サーメットと超硬母材付き硬質材料であれば Ni 粉末でも十分な接合強度が得られることが明らかとなった。

基材となる Ti (C, N) 基サーメットは熱伝導性が超硬合金に比べて悪く、短時間加熱すると熱衝撃により亀裂が発生することがある。さらに、硬質材料焼結体も熱衝撃に伴う亀裂の発生や特性の劣化が懸念され、短時間接合時の大きな問題となった。そこで、予備加熱を行いながら接合に必要な加熱温度を実現する最適条件を模索した。その結果、硬質材料やサーメット基材の亀裂を生じることなく、接合を行うことができた。これらの基盤技術をもとに、実際の切削工具形状においてハイブリッド切削工具の短時間接合を実現できるものと考えられる。また、従来のロウ付け工具に比べてハイブリッド切削工具の性能を向上するため、真空中において 1000°C の加熱処理を行った後、接合強度を測定したところ、接合時の温度依存性を保ったまま、170MPa 以上となり、接合界面が劣化しないことを確認した。ロウ付け工具はロウ材部分の耐熱温度がボルトネックとなり、高負荷切削や高速切削に耐えられない場合があるが、ハイブリッド切削工具ではこれらの問題点を克服できるものと考えられる。これに加えて、コーティング技術として皮膜の密着性および耐熱性に優れた CVD コーティングが実施できる可能性が示唆できた。

なお、平成 21 年度後半の課題である超硬母材なし硬質材料を Ti (C, N) 基サーメットに新接合法接合を行うべく、現在新たなインサート材料の開発に着手しているところである。

2) ハイブリッド切削工具の実用化技術の開発

成形で得られた小さな超硬母材付き硬質材料を工具刃先に接合するため、新たな Ti (C, N) 基サーメット基材の形状設計を行った。(1)-1 で開発した新接合法接合装置へのハンドリングが比較的容易であり、接合されたハイブリッド切削工具の後加工が実施しやすいようにサーメット基材を作製した。接合には焼結したままのサーメット基材を利用できるように焼結状態で寸法精度に優れた合金組成を採用した。本研究ではタングステン含有量が 63 質量%程度の Ti (C, N) 基サーメットを用いた。

一般の焼結プロセスを経て作製されたサーメット基材と超硬母材付き硬質材料チップを本研究で開発した新接合法接合装置に Ni 粉末を介してセットし、短時間接合を行う。Ni 粉末は溶剤などでスラリー化して、基材の接合部へ塗布した。真空引きに約 10 秒、接合のための新接合法に 10~20 秒、さらに接合材の冷却のために 30 秒放置することによりハイブリッド切削工具を取り出すことができる。基材とチップをセットしてからハイブリッド切削工具を取り出すまでの時

間は 60 秒程度であり、目標であった 120 秒を大きく短縮することができた。得られたハイブリッド切削工具は全周を研磨して、刃先処理を施し、必要に応じて表面にコーティングを施して切削工具として利用される。

実用チップ形状においては、新接合法により接合する部位が非常に小さいため、(1)-1 に比べて熱の制御を設計しなければならない。これにより(1)-1 で求めた接合温度を局所的に実現でき、目的の強度を有する接合を行うことができた。得られたハイブリッド切削工具の接合界面は、超硬母材付き硬質材料の接合では、超硬合金/Ni/サーメットで形成されている。塗布した Ni 粉末が超硬母材と Ti (C, N) 基サーメットの界面部および硬質材料と Ti (C, N) 基サーメットの界面部に拡散していることがわかった。

接合のメカニズムを明らかにするため、界面部分の微細組織観察を行ったところ、超硬母材と Ni 層の間には、超硬母材から拡散してきたと思われる Co が超硬母材表面に認められた。一方、Ti (C, N) 基サーメット基材と Ni 層の間にはそのような層は認められなかった。(1)-1 で実施した接合強度試験後の破断面を見ると、Ni インサート材は超硬母材に張り付いており、Ni/サーメット界面で破断していた。これらのことから、接合強度はインサート材料とサーメット基材の界面で決定されるものと考えられる。この拡散層をさらに詳細に調べるため、透過電子顕微鏡によりさらに微視的な組織、元素分布を測定した。超硬合金母材と Ni 層界面において、WC 粒子より約 500nm 離れた領域の組成分析を行った結果、超硬合金母材と Ni 層との界面では Co が多く存在している。Co と Ni は全率固溶するため、超硬母材と Ni 層の強度が高くなっているものと思われる。また、同時にタングステンおよび炭素の固溶が認められ、短時間の新接合法接合時においても、比較的長距離に渡って拡散していることがわかる。また、サーメットと Ni 層の界面は、Ni インサート層中においては TiC 系粒子からわずか 30nm 程度しか離れていない領域でも Ti および W の Ni 相中への固溶量は少なかった。これは溶融 Ni と TiC のぬれ性が溶融 Co と WC に比べて悪く、Ni-TiC で共晶反応による融点の低下が生じないためと考えられる。今後さらなる接合強度の改善が必要になった場合には、Ni 層とサーメット基材界面の拡散層の拡大を図ることが有効と考えられ、サーメットにおける構成元素の改良やインサート材の改良の指標になるものと考えられる。

得られたハイブリッド切削工具については、切削工具の性能評価を行うための研削加工、刃立て加工などを進め、実施計画に基づき切削試験を行った。その結果、ハイブリッド切削工具は従来ロウ付けチップと同等の切削性能を有することを確認できた。

(2) 複合構造硬質切削工具の開発

1) 多相組織硬質材料の開発

超硬合金の主成分である炭化タングステンに近い特性の硬質粒子を検討するため、非平衡化プロセスを積極的に導入した材料開発を行った。特に、大きな機械的エネルギーを投入することで粉末を微細化あるいは非平衡化できるメカニカルアロイング(MA)法と気相を利用したスパッタ法による材料開発を実施した。

スパッタ法では新たな硬質材料の探索を効率的に行うことを実施した。新硬質材料の探索を行うにあたっては、一般的に機械的特性に優れていると言われている 4、5、6 族、Al、Si の窒化物、炭窒化物を探索することとした。これらの元素の単体窒化物としての特性は、広く知られているものも多い。しかし、Ti-Si-N 化合物のように、二つの元素を組み合わせることで、硬度、耐酸化性が大幅に向上できることが近年報告されており、本研究においても 2 種類の元素を組み合わせ

せることによる特性の大幅な向上の可能性を探索することとした。このような実験においては、選択する材料系と共に組成比が重要である。そこでコンビナトリアルケミストリー手法（以下コンビケム手法）を用いて、1回の実験で組成が異なる複数の二元系硬質材料を作製する効率的な方法を開発した。スパッタ法は絶縁材料や非平衡材料も創製可能であり、コーティング膜として硬質材料を作製して評価した。平板状の2枚の純金属ターゲットを突き合わせてセットし、反応ガスとして窒素ガスを導入しながらイオン化した Ar でスパッタすることにより、装置中心部にセットした基板上では上下方向で膜組成が連続的に傾斜化したコーティング膜が得られる。これらのコーティング膜の硬度、耐酸化性、熱浸透率の測定、X線回折による物質同定を行うことで、一回の成膜実験で一組の元素組合せ系における組成依存性を効率よく調査することができた。なお、本手法の妥当性については、組成により硬度の特異点を示す Ti-Al-N 系により確認し、妥当であることを確認できた。

耐酸化性は大気中で加熱処理した後、膜面における光沢有無で判定した。膜の表面が濁っている場合は基材まで酸素が到達しており、光沢がある場合は基材まで酸素が到達してないと考えられるため、独自の点数付けを施した。すなわち、850°Cで1時間加熱した後、試料表面が濁っている場合は評点を1とし、光沢がある場合にはさらに1050°Cで1時間加熱した。この時点で濁った場合は評点3とし、光沢のあるものはさらに1100°Cで30分加熱して濁った場合を評点4とした。また、この時点でも光沢がある場合を評点5とした。この独自の評点基準を切削工具に用いられている一般的な薄膜材料に適用すると、TiNが評点1、Ti50Al50Nが評点3、Ti80Si20Nが評点4となった。

硬度は基準硬度（硬度比=1.0）をWCとして、各組合せの系における耐酸化性と硬度の関係を整理した結果、数多くの二元系窒化物組成で優れた耐酸化性と硬度を両立していることが確認できた。さらに、二元系炭窒化物の試作評価も行った。窒化物の成膜にはガス流量比（C/(C+N)）などの成膜条件を最適化する必要があり、種々検討した結果、最も高硬度の膜が得られる条件を見出した。硬度の組成依存性について検討した結果、WCに比較するとほとんどの系が高硬度を示すことが確認できた。

以上のように、これまでに試作した二元系窒化物および炭窒化物の中からWC、TiCNよりも高硬度で耐酸化性に優れる硬質材料を多数見いだすことができた。

MA法では、非平衡化した原料粉末から焼結過程で硬質粒子を合成するプロセスを導入することにより、多相組織硬質材料の強度改善をねらう研究を行った。これまでにサーメットの構成元素であるTi粉末、Ni粉末、炭素粉末を出発原料としてMA法で粉末を合成すると、非平衡状態の粉末が合成された後、燃焼合成反応によりTiC粒子が合成された。燃焼合成反応をパルス通電焼結による焼結過程で行うと、200nm程度のTiC粒子が分散したサーメットを合成できることを見出した。しかし、燃焼合成反応時の発熱量は大きいため、通常の真空焼結では焼結体が破壊するという問題があった。そこで、多種類の硬質粒子から構成されるサーメットに対して、TiCあるいはTi(C,N)粒子の一部を焼結中に合成するプロセスを採用することで、組織制御による高強度化を図った。得られた焼結体の組織は、硬質粒子の間に微細なTiC粒子が分散した組織となった。このようなプロセスで得られたTiC基サーメット（多相組織硬質材料）の3点曲げによる強度（抗折強度）を測定した。サーメット中の炭化タングステン含有量の減少により強度は低下するが、構成元素の選定によって1.5GPaを超えるような材料となることがわかった。なお、開発材料は結合相となる金属相の割合を5mass%程度、10mass%程度、20mass%程度の3水準で合成している。

目標としている 2GPa の抗折強度には到達していないが、焼結体にまだ気孔が残存していることから、焼結条件の最適化により気孔が消失すれば 2GPa 以上の強度が得られるものと考えている。

タングステンに代わる硬質材料として有望なチタン系硬質材料には TiC、TiN、TiB₂ などの硬質材料がある。それぞれの耐酸化性を大気中で加熱して重量変化(TG)から評価した。1200℃までの重量変化は、WC に比べて TiC や TiN は低温から酸化による重量増加が認められ、耐酸化性が劣ることがわかった。TiB₂ は WC よりわずかに高温から酸化しており、高温における酸化速度はかなり速いことがわかった。一方、WC は高温においては昇華するため、重量が急激に減少しているが、耐酸化性からみると TiB₂ が比較的 WC と近い特性を有していることがわかる。TiB₂ は硬度にも優れ、熱伝導性も良好 (TiC の 3 倍程度) であることから、多相組織硬質材料の構成元素として期待される。ただ、TiB₂ はコストが高く、鋼との反応も問題になる。また、サーメットや超硬合金の結合相である Ni や Co を用いた焼結が難しい。そこで、新しい結合相として FeAl 金属間化合物を用い、TiC-TiB₂-FeAl サーメットを MA 法により合成しパルス通電焼結により固化成形した。TiB₂ を添加することにより、熱伝導率は直線的に向上している。これは、熱伝導率に優れる TiB₂ の添加に加えて、TiB₂ の一部が結合相と反応して硼化鉄を生成し、硼化物のネットワーク構造を形成することに起因していることがわかった。なお、本プロセスで作製した TiB₂-30mass%FeAl 合金は 1.8GPa 程度の抗折強度を有しており、TiC 量が増加すると強度が低下する傾向を示した。

超硬合金を構成する WC と Co の加熱時の変化について熱分析により評価すると、WC-Co 系では 1190℃程度で液相が生成することがわかり、これが液相焼結において緻密な成形体を作製できるメカニズムの 1 つと考えられる。一方、TiC-Ni 系や Ti(C,N)-Ni 系サーメットにおいては 1200℃まで明確な液相の生成が観察されない。そのため、焼結温度近傍にて急激に焼結が進むものと考えられる。これに対して Mo₂C-Ni 系では 1050℃付近で液相を生成することが明らかになった。これは Mo₂C-Co 系においても観察されており、多相組織硬質材料において Mo₂C を添加することで結合金属相の液相生成温度を低下させることができるものと考えられる。ただ、Mo₂C は WC より低温から昇華する可能性があり、Mo₂C を含有する多相組織硬質材料は耐酸化性を持たせる合金設計が別途必要になると考えられる。

2) 複合構造硬質切削工具の実用化技術の開発

超硬合金粉末と多相組織硬質材料をプレス成形時に複合構造化して、表面の超硬合金部に 3 次元ブレーカが形成可能な複合構造硬質切削工具の実用化技術を開発する。本開発目標達成のため、①異種粉末の複合構造化プレス技術の開発、②異種粉末の同時焼結技術の開発、並びに工具性能向上を狙いとして③表面層への圧縮残留応力導入の検討を進めた。

2) ①異種粉末の複合構造化プレス技術の開発

切削工具におけるタングステン使用量を低減する有効な手段として、超硬合金粉末と省タングステン硬質材料粉末を用いて、表面部が超硬合金、内部が省タングステン硬質材料となる複合構造の 3 次元ブレーカを付与したプレス成形体を作製し、異種材料を同時に焼結することで、製造コストを従来並に抑え、従来の切削性能を維持するプロセスの開発に取り組んだ。まず、異なる硬質材料粉末を金型内に充填しながらプレス成形できる粉末複合化成形技術を開発した。

これまで異種粉末を複合構造化するプレス成形が可能な装置は市販されていない。複合構造硬

質切削工具を実現するためには新たなプレス成形装置を設計・開発する必要があり、プレス工程でのパンチ、ダイス、給粉フィーダーの複雑かつ高精度な動作が可能で、異種粉末の複合化充填に対応可能な高精度 CNC プレス機の机上検討を行った。具体的には、シミュレーションソフトを用いて複合化充填、加圧プロセスのシミュレーションを行った。

その結果、パンチやダイス、給粉フィーダーが干渉する問題がなく、複合構造化されたチップの作製が可能であることが確認できた。

シミュレーション解析に基づき、給粉フィーダーを3個有することで異種粉末の給粉が可能で、ダイス位置を高精度に制御できる複合構造プレス成形体用 CNC 高精度プレス機を開発した。

2) ②異種粉末の同時焼結技術の開発

複合構造プレス体が作製できる基盤技術が開発できたことで、次の開発ステップとして、従来の超硬合金製切削工具と同様に M 級精度（焼き上がりで無加工使用）を実現するための技術開発が必要となる。

複合構造プレスで得られた超硬合金とサーメットの異種粉末のプレス成形体を同時焼結した際の問題点について、超硬合金として WC-10wt%Co-2wt%TaC、サーメットとして、TiCN-17wt%WC-8wt%Ni-8wt%Co の粉末を用いて、複合構造チップを作製して焼結して調査した。

超硬合金層の厚みを約 0.1mm、0.5mm として総厚み 6mm にプレス成型し、焼結した超硬/サーメット複合構造焼結体は、表面の超硬層が剥離したり、非常に大きく変形したりすることがわかった。これらの実験結果から、超硬合金とサーメットの同時焼結には剥離、変形の抑制が大きな課題であることがわかった。また、超硬合金とサーメットの焼結挙動の差異がこれらの現象に大きく影響していると考えられた。

そこで、サーメット中の WC 添加量を変化させたときの同時焼結への影響について基礎的に検討した。超硬合金層の厚みを約 0.3mm として総厚み 5mm のプレス成形を行い、同時焼結を行った。サーメットへの WC 添加量を 12wt%~52wt%まで段階的に変化させて複合構造プレスを行い、焼結した結果、WC 添加量を 36wt%以上にすることで剥離の発生を抑制できることが確認できた。WC の添加量を増加させることでサーメットと超硬合金間の焼結時の収縮特性が近くなり、超硬—サーメット界面間に焼結中に生成する剪断力よりも超硬合金—サーメット間の接合力が上回り、剥離抑制につながったものと考えられた。

ISO 型番で CNMG120408NWX (内接円寸法 12.7mm、厚み 4.76mm、頂角 80° の菱形) なる形状の 3 次元プレーカ付き M 級複合構造切削チップの試作を行った。表面層 0.3mm が超硬合金、内部がサーメットの構造である。試作品側面の窪み変形量は 0.04mm であり、暫定目標とした 0.05mm よりも変形量を低減することができた。しかしながら、さらなる技術の高度化による高精度制御が必要である。今後も継続して変形量低減技術の開発を進める必要がある。

2) ③表面層への圧縮残留応力の導入効果検討

切削工具表面に圧縮応力を残留させる技術は、切削工具の性能向上に寄与するものと考えられる。超硬合金とサーメットの熱膨張係数は大きく異なり、超硬 (WC-6wt%Co) の熱膨張係数は 4.5×10^{-6} であるのに対し、サーメット (TiCN-15wt%WC-5wt%Ni-10wt%Co) の熱膨張係数は 7.5×10^{-6} である。したがって、焼結完了後の冷却過程においてサーメットは超硬合金よりも大きな収縮力が発生することになる。本研究開発で取り組む複合構造の焼結体の場合、内部のサーメットは超

硬合金によって拘束されているため熱膨張係数に応じた収縮を行うことができず、表面部の超硬合金には圧縮応力が生成することになる。切削工具は圧縮残留応力が付与されると強靱化し、耐欠損性が向上することがよく知られており、特に高速切削時に発生しやすい熱亀裂の生成および進展抑制にとって有効である。タングステンの省使用化を実現するために開発する複合構造硬質切削工具にとって、圧縮残留応力の導入による切削チップの耐欠損性の向上は付加価値の向上であり、中間評価後に積極的に取り組むべき課題としている。超硬合金とサーメットの界面における残留応力を実際に測定したところ、超硬合金側で圧縮応力、サーメット側で引張応力が作用していることが確認できた。ただ、本測定方法ではX線回折法を用いており、焼結体を切断して解析しているため、新たな残留応力の解析方法が必要である。また、表面の超硬合金層の厚みのみが異なる複合構造焼結体を作製し、超硬合金層に生成する圧縮残留応力の大きさをマクロに測定する準備を進めているところであり、圧縮残留応力と耐欠損性の相関についても切削試験で明らかにする予定である。

2.2 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

現在までの成果発表に関してまとめると、以下の表Ⅲ-2-1 のようになる。

表Ⅲ-2-1 本研究における成果発表のまとめ

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H19FY	1件	0件	0件	0件	0件	1件
H20FY	0件	0件	0件	0件	2件	11件
H21FY	3件	0件	0件	2件	0件	13件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 成果の内容

超硬工具（切削工具、耐摩耗工具）のタングステン使用原単位を低減するため、WC基超硬合金に代わる硬質材料として有望な炭窒化チタン（Ti(C, N)）基サーメットについて、新規サーメット基材の開発および新規サーメットを基材とした新規コーティング技術の開発を進めた。

サーメットの組織、特性及び焼結性などに関する基盤技術を確立するために、接着度・結晶粒径などの組織学的因子を評価する技術と共に、粒界・界面構造等を明らかにする微構造解析技術を確立した。また、サーメット焼結プロセス中に生じる組織変化を予測するために、固相焼結から液相焼結までの焼結・粒成長を一貫してシミュレーションする技術を開発し、中間目標である“サーメットの組織形成シミュレーション技術の確立”を達成することができた。

新規サーメットを開発するために、新規固溶体粉末を合成する技術、および開発した固溶体粉末を用いて新規サーメットを作製する技術を確立し、中間目標である“新規固溶体粉末を用いたサーメット合成技術の確立”を達成することができた。

新規コーティング技術を開発するために、レーザーCVDによるサーメット基材用コーティング技術の開発を行い、従来の熱CVDに比べ十分低い温度で α -Al₂O₃コーティングを合成する技術を確立した。これにより、中間目標である“新規なコーティング技術の確立”を達成することができた。

スローアウェイ切削工具や軸物切削の切削工具用サーメット及び線引きダイス・プラグや製缶工具・圧粉金型等の耐摩耗工具用サーメットを開発するために、強度、靱性、熱衝撃性等の材料特性の最適化を目的として、新規に開発した固溶体粉末を用いてサーメットを作製し、高熱伝導材料、高靱性材料等を開発した。

1.2 成果のまとめ

本研究において現在得られている全体の成果を、中間目標と比較してまとめると、以下の表Ⅲ-1-1 のようになる。

表Ⅲ-1-1 事業全体の成果

目 標	研究開発成果	達成度と今後の課題
プロジェクト全体の中間目標 以下の項目について技術を確立する。 ・サーメットの組織形成シミュレーション ・新規固溶体粉末を用いたサーメット合成技術 ・新規なコーティング技術	目標に対する成果 ・サーメットの組織（コア・リム構造等）解析技術と焼結シミュレーション技術を開発。 ・(Ti, X) (C, N) 固溶体 (X=Mo, W 等) 粉末合成と新規サーメット開発。 ・レーザーCVDによるサーメット基材用コーティング技術の開発。	達成 <今後の課題> ・組織解析と特性との関係、シミュレーションによる材料・部材合成設計など。 ・より高度な組織設計のサーメット開発による特性向上（とくに破壊靱性）。 ・サーメット基材での安定したコーティングと特性向上（耐剥離性等）。

2. 研究開発項目毎の成果

(1) 「サーメット及びコーティングの基盤研究」

1) サーメットの解析及び設計技術の開発

1)-1 組織学的因子の解析技術及び組織形成過程のシミュレーション技術の開発

サーメットの特性とサーメット組織を関連づける為の基礎技術として、組織学的因子（硬質相の粒径、硬質相の接着度など）の定量化手法を検討した。サーメット組織画像を採取する方法を確立すると共に、得られた像を解析することにより、コア・リム相の定量化、硬質相の接着率、硬質相粒子の粒径を評価する手法を確立した。

サーメットの焼結プロセス中に生じる組織変化を予測するために、モンテカルロ法による焼結・粒成長シミュレーションの開発を行い、温度の上昇と共に結合相が溶融すると共に緻密化が進む状況を模擬するシミュレーション手法を確立した。大型あるいは複雑形状のサーメット焼結体の変形、そり、割れなどを予測するため、マイクロ・マクロ連携法（モンテカルロ法と有限要素法の連携）による焼結歪等の予測技術を開発した。

1)-2 サーメットの構造評価技術、濡れ性評価技術、成形性・焼結性評価技術

サーメットの構造を評価するために、高分解電子顕微鏡を用いた微構造解析技術を確立し、サーメットの組織形成メカニズムについて、高分解能観察により界面の格子欠陥に関する知見を得ることができるなどの成果を得た。従来の混合粉サーメットと炭窒化物固溶体粉末を用いたサーメットの組織を透過電子顕微鏡により観察し、微細構造および元素分布を比較検討した。サーメットの硬質相と結合相との濡れ性を評価するために、定量的な接触角測定技術を確立した。成形性・焼結性を評価するために、成形性・焼結性に与える従来の成形助剤の効果を明らかにした。

2) 新規サーメット材料の開発

硬質相である炭窒化物固溶体を合成する方法として、高温熱処理法を適用し、熱処理温度の影響を明らかにし、その合成方法を確立した。硬質相である炭窒化物の特性を系統的に調べるため、炭窒化物焼結体を作製しその特性を明らかにした。炭窒化物固溶体粉末の効果を検証する為に、新規に開発した固溶体粉末を用いてサーメットを作製し、特性を評価し、炭窒化物混合粉末の代わりに炭窒化物固溶体粉末を用いることにより、破壊靱性が高くなることを確認した。

3) コーティング技術の開発

レーザーCVD法を用いた Al_2O_3 のコーティングにおいて、従来CVD法の成膜温度よりもおよそ400 K程度低い920Kでの低温合成に成功した。これは、中間時(H21)の目標値(1173 K)だけでなく、最終目標値(1073 K)を達成するものである。達成したコーティング性能は、世界最高水準である。合成条件を変化させることで、膜の微細構造および配向を制御することに成功した。成膜速度は熱CVDの10~100倍であり、(006)、(104)および(012)に配向した $\alpha-Al_2O_3$ 膜が得られた。

(2) 「切削工具用サーメット及びコーティングの技術開発」

サーメットの主原料Ti(C,N)の固溶体化による改質と改質原料を用いてのサーメットの特性改良を目的とした研究開発を行った。W, Nb, Mo等を単独添加した炭窒化物固溶体を作製してそれらの熱伝導率、硬さを評価した。固溶体化により熱伝導率は低くなるが、硬さは高くなることを明らかにした。

W, Nb, Mo等を単独添加した炭窒化物固溶体を用いてサーメットを作製して特性を調べた結果、Nb、Wを添加した炭窒化物固溶体を用いたサーメットは破壊靱性が高い傾向にあった。次に、元素を複合添加した炭窒化物固溶体($Ti_{0.8}Nb_{0.1}W_{0.1}$)(C,N)、($Ti_{0.8}Nb_{0.1}Mo_{0.1}$)(C,N)を作製し、特性を評価した。熱伝導率は、W・Mo添加による影響が大きくTi(C,N)より小さくなったが、硬さはわずかに上昇した。さらにこれらの固溶体を用いてサーメットを作製して、同組成の混合粉末からなる通常サーメットと特性を比較、評価した結果、($Ti_{0.8}Nb_{0.1}W_{0.1}$)(C,N)固溶体サーメットは、通常サーメットと比較して、破壊靱性が大きいことが分かった。

(3) 「耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発」

通常のTi(C,N)+ Mo_2C 混合粉末および新規開発の(Ti, Mo)(C,N)固溶体粉末を用いて調製した二種のサーメットについて組織と特性を調べた。混合粉末サーメットではコア・リムからなる不均質な硬質相粒子の組織となるが、固溶体粉末サーメットでは明瞭なコア・リムを示さないかなり均質な硬質相粒子の組織とすることができた。混合粉末サーメット及び新規に開発した固溶体粉末を用いたサーメットを作製し、同一硬さの下での破壊靱性値を評価した。耐摩耗工具用サーメット肉厚品の焼結割れについて、原因と解決策を検討した。各種のサーメットおよびWC基超硬合金用の配合粉末について、ミル時間を種々変化させ、成形助剤を添加した後に粉末成形体を作製し、焼結(脱成形助剤処理および緻密化処理)し、焼結割れの原因を解明すると共に解決策を考案した。Ti(C,N)基サーメットは超硬合金に比べてダイヤモンド砥石による被研削性が著しく劣ることについての原因と解決策を検討し、超硬合金の研削の場合に比べはるかに高い被研削性を得る砥石と加工条件を開発した。

2.2 知的財産権等の取得及び標準化の取り組み

現在までの成果発表に関してまとめると、以下の表Ⅲ-2-1 のようになる。

表Ⅲ-2-1 本研究における成果発表のまとめ

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H19FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H20FY	3件	0件	0件	1件	0件	18件
H21FY	1件(4件)	(1件)	0件	1件(5件)	0件	5件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し

1.1 成果の実用化可能性

(1)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

現在は、新規省インジウム薄膜の組成を決め、小型ターゲットを焼成し、評価を行っている段階であるが、基本的には大型化のための生産技術は、三井金属鉱業株式会社ならびに株式会社アルバックとも保有しているため、大きな障害にはならない。ただ、本質的にインジウムを削減し、 SnO_2 が増加すると、エッチングに関し、従来のエッチング液が使用できない可能性があり、新たなエッチング液の使用が必要となり、そのため従来の設備が使用できなくなると実用化に多少の問題がでる。これは、インジウムの価格にも依存するので、現段階で明確なことはできないが、大幅な増産が行われ、中国からの輸入に支障が出れば、十分に実用化が可能と考えている。

2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

今回、新たに耐久性試験も行いこの技術はほぼ完成に近づいた。ただコストの問題で使用されるかどうかが決まる。現在の状況ではコスト的に多少厚くても従来のITOスパッタ膜の方が安価であると思われるが、もしインジウム価格が2倍程度になると競争力が出てくると予想されるので、あとは、いかに大型化し、多少複雑なスパッタ装置の簡易化が鍵となる。

(2)「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

1) インクジェット法塗布用ナノインク開発

2) 静電塗布用ナノインク開発

1) 2) は塗布法で薄膜製造を行う場合の補完技術なので、以下両者同一の説明にする。

ITO ナノインク開発では、静電塗布法による単粒子層塗布に成功し、100 nm 程度の厚さのITO薄膜製造に見通しがついた。インクジェット用ITOナノインクについても逆混法合成のスケールアップを行い、事業化の見通しはついている。

1.2 波及効果

(1)「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

今回、新規省インジウム組成の大型ターゲットが完成し、薄膜製造がエッチングも含めて可能となると、新たなエッチングプロセスを利用して別な組成のITO薄膜について検討が進む可能性があり、選択の幅が広がる。また、TiドーパのITO薄膜は、磁性特性が優れている可能性があり、その応用も期待される。

さらにSbドーパのITO薄膜は、赤外線領域で非常に優れた透過特性を示していることから色素増感型の太陽電池などで大きな発展があるとそのための導電性光透過膜として使用される可能性も出てくる。

2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

現在、Ag 薄膜を ITO 薄膜で挟みこんでいるが、他の安価な金属の挟み込みが可能になればさらに低コストが図れる可能性がある。

また、当然であるが将来は光半導体の一部にも応用できる可能性もある。

(2) 「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

1) インクジェット法塗布用ナノインク開発

2) 静電塗布用ナノインク開発

現行のスパッタ製膜法の問題点を解決する有効な手法としては、ITO ナノ粒子を合成、インク化し基板上に直接塗布・大気中焼成により製膜・配線化する塗布型 ITO 成膜技術が注目されつつある。この方法では、In 原料の使用効率をほぼ 100%に高めることが可能であると共に、印刷法による一度に大面積の電極作成も可能である。さらには使用する材料やエネルギー使用量が大幅に削減できることや、微細で高集積な回路も形成可能である。塗布型製膜法はスパッタ製膜法に比べて高い導電性が得られないという欠点を持つが、逆にスパッタ製膜法に比べフレキシブル性（屈曲性）に優れているという特徴を持つ。現行のスパッタ製膜法で製膜される ITO 膜の 100%塗布型への置き換えは困難であるが、今後今後伸びが予想される有機 EL などの電子ペーパー市場、または LCD 市場の配線形成材の一部置き換えが可能であり、これらの市場から展開することにより、年間 4000 億市場の数%から十数%程度の経済効果が期待できるものと考えられる。

1.3 事業化までのシナリオ

(1) 「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

平成 23 年度に大型ターゲットの製造が可能となったら、本プロジェクトに合わせて東北大学未来科学技術センターで共同研究を推進している株式会社シャープに試作品を評価してもらい、実用化を進める。

省 In ターゲット開発が完成することにより、海外（特に中国）への依存度が少なくなり ITO ターゲット価格の高騰を抑制できる。市場としては液晶 TV を代表とした TFT-LCD、プラズマディスプレイが主流である。

新規ターゲット、及び新規ターゲットを搭載したスパッタリング装置を販売する。実用化の課題としては、大型化基板でのターゲット、膜特性評価を行い、小型装置で作製した場合と同等の性能を確認することである。

実用化のための大型化技術開発を行い、新規組成ターゲットで世界シェア 50%以上（約 800 トン/年）を目指す。（ITO ターゲットの 2010 年度需要予測：1600 トン/年より算出）

2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

基本技術は確立したので、別途大型化と低コスト化の技術開発を進め、将来のインジウムの供給障害に備える体制作りを行う。

(2) 「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

- 1) インクジェット法塗布用ナノインク開発
- 2) 静電塗布用ナノインク開発

まず、スパッタ法と同様に東北大学未来科学技術センターで共同研究を推進している株式会社シャープに試作品を評価してもらい、実用化を進める。

その他、最近開発が進んでいるフレキシブルなディスプレイを試作している企業にサンプル教を行い、評価を依頼することを検討している。

1.4 今後の展開

(1) 「スパッタリング法における透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

- 1) 新規ターゲット組成並びにその大型ターゲット焼成技術の開発

今後ターゲットの大型化を検討するに当たっては、焼成雰囲気や焼成条件の最適化を目的とした小型焼成炉と実機サイズの焼成に必要な大型の焼成炉。また、第4元素や組成によっては原料の調整として粉末の仮焼炉、粉末解砕機や混合機が必要である。

今後は成形前の粉の粒度や成形後の密度、焼成雰囲気、焼成プロファイルなどを検討し最終目標を達成する。

- 2) 透明電極膜の薄膜化スパッタ技術開発

すでに最終目標まで基本技術は開発できたので、いかに大型化を行い、低コストで生産できるかを検討する。また、他のテーマで開発中の新規省インジウム組成の薄膜を使うことでさらなる省インジウム化を目指す。

(2) 「非スパッタリング法による透明電極向けインジウム使用量低減化技術開発」

- 1) インクジェット法塗布用ナノインク開発
- 2) 静電塗布用ナノインク開発

今後は事業化に向けて、インクジェット用 IT0 ナノインク、静電塗布法用 IT0 ナノインクともに、パイロットプラント実験によるサンプル出荷開始と、インク塗布技術の確立を目指す。

このコンビネーションで大型パネルに対して非スパッタ法で IT0 薄膜の形成が可能となると大幅なコストダウンが可能となり、現在世界シェアとして 10%程度のパネルのシェアを大きく回復できる可能性が出てくる。

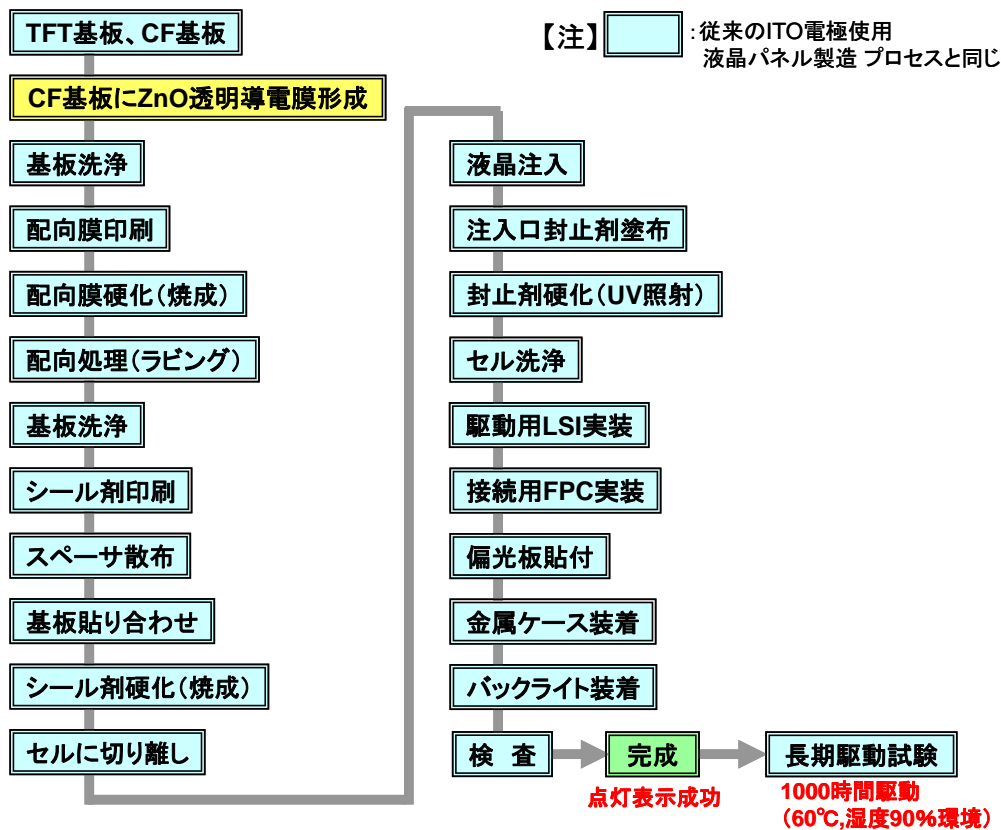
②透明電極向けインジウム代替材料開発

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し（パネルGr）

1.1 成果の実用化可能性

中間目標である共通電極にZnO透明電極を用いた3インチ液晶ディスプレイパネルの点灯表示に世界で初めて成功した。この試作成功により小型液晶パネルでは本プロジェクトの目標であるインジウムの使用原単位50%を超える75%低減を実現した。本試作成功で最も重要な点は従来のITO電極を用いたパネル製造プロセスにおいてZnO透明導電膜の製膜工程以外は全く変更する必要が無く（図IV-1-1参照）、またパネル製造過程においてZnO膜起因の問題も全く生ぜずに100%歩留まりでパネル組み立てを完成できたことである。



図IV-1-1 ZnO透明共通電極応用液晶パネルの製造工程流れ図

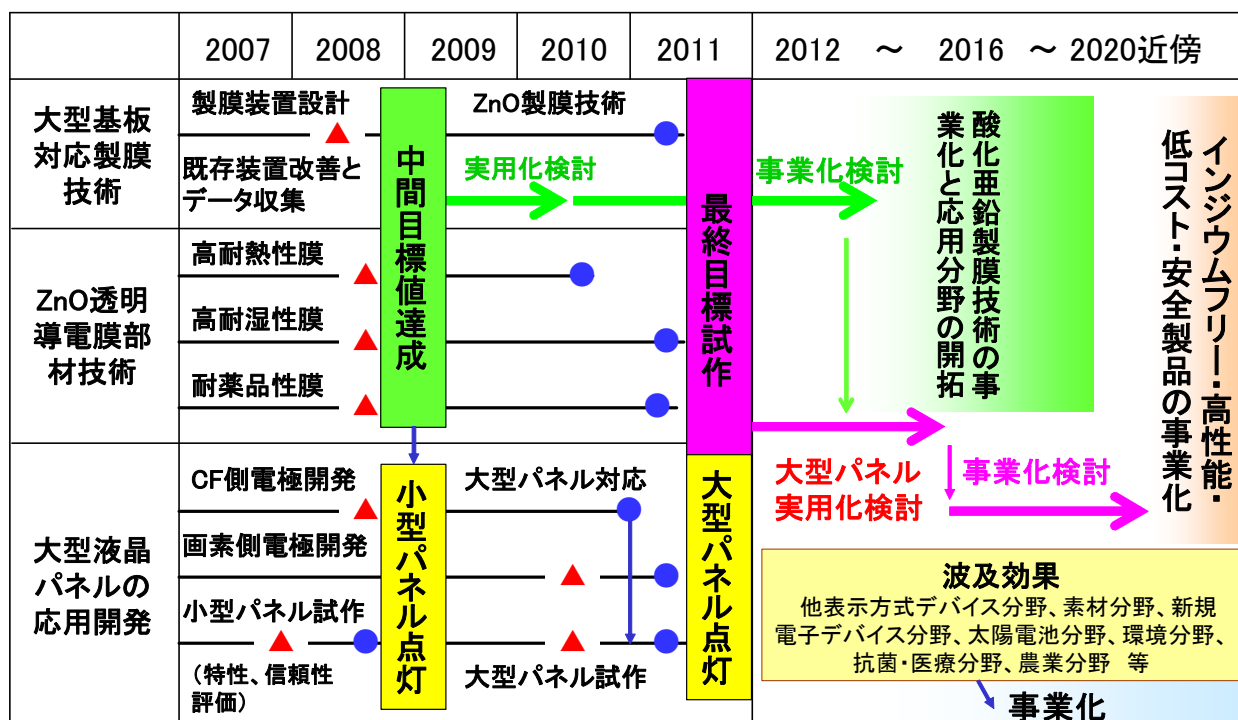
すなわち従来のITO使用パネルプロセスと完全コンパティブルにできることを立証した。Znは廉価であるため、ZnO透明電極を用いるパネルメーカーが増えるとZnOスパッタターゲットはITOターゲットより1ないし2桁程度低価格になる可能性を含んでいる。したがって完全コンパティブルであることは液晶パネル製造コストを低減できる要素を有していることを示している。なお小型パネル製造メーカーであるカシオ計算機株式会社がパネル組み立てを担当し、製品化判断基準より長時間の連続駆動試験（60℃、湿度90%で1000時間連続駆動）によっても全く表示特性が劣化を生じないことより、実用化の見通しが得られたと言える。

1.2 事業化までのシナリオ

携帯電話などの小型液晶パネルについては、本中間成果により事業化の可能性を示したと言える。しかし大型液晶パネルは小型パネルと構造および表示方式が異なる部分があるため、実用化および事業化は21年度から23年度に実施する大型液晶パネルへのZnO透明電極の応用研究開発成果にて実現させる。

本研究開発はZnOの素材、製膜、エッチング液そしてパネル組み立てまで、すなわち液晶パネル製造における川上から川下までの企業が構成し、緊密な連携の下に一致団結して推進している。このため参画企業の製造レベルごとの事業化が可能であり、すでに事業化の計画を有する企業がある。Ga添加ZnOの素材をハクスイテック株式会社はすでに製品化実施済みである。またジオマテック株式会社は本開発で成功したマグネトロンスパッタ法による低抵抗、可視光高透過率の高性能ZnO透明導電膜の製膜受託事業を平成21年度下期より開始する。ZnO薄膜の微細加工関連の薬液の開発を担当した三菱瓦斯化学株式会社ではリソグラフィ関連薬液およびエッチング薬液の一部を製品化済みである。パネルアセンブリメーカーであるカシオ計算機株式会社では本プロジェクトにより実用化可能と判断しており、インジウムの枯渇などによりITO透明電極の供給に問題が生じたときのために態勢を整えておく。大型液晶パネルは21年度以後の研究開発成果により事業化のシナリオが決まる。なお19年度、20年度に参画した株式会社ZnOラボは反応性プラズマ蒸着法によるGa添加ZnO膜の受託製膜ならびに製膜装置の販売を開始した。以上の概要を、表IV-1に示す。

表IV-1 事業化までのシナリオ



1.3 波及効果

世界で初めてのZnO透明電極を用いた小型液晶パネル成功と関連技術を新聞、国際学会ならびに各種出版物にて発表した。これらにともない国内外より情報の問い合わせとともに製膜や微細加工依頼が多数寄せられている。問い合わせは液晶パネル関連メーカーはもちろんであるが、むしろ全く関係の無い分野を生業とする企業からの問い合わせが多い。これらの情報より以下の波及効果が考えられる。

①液晶パネル関連分野

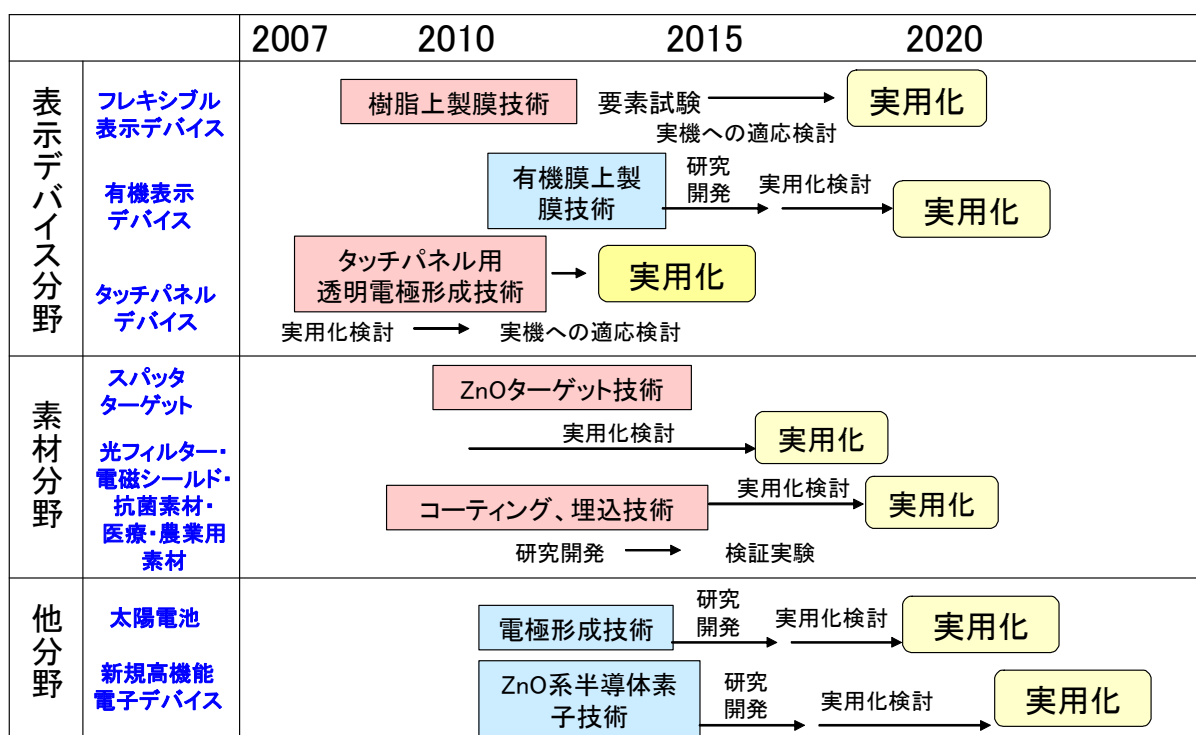
本研究開発に参画していない素材企業においてもZnO透明導電膜成膜源（スパッタターゲットなど）やZnO関連エッチング液などに関する製品開発が活発化してきた。また新規参入企業がでてきた。本試作と異なる液晶パネル方式を採用している企業からもZnO透明電極を用いたパネル開発に興味を持つ企業がでてきた。

②他分野

ZnO透明導電膜はITOより可視光透過率に優れている。特に青色など短波長領域の透過率に優位性がある。この透過率の優位性はタッチパネルにおいて表示色に直接的な改善効果が見られる。本研究開発テーマの参画企業であるアルプス電気株式会社において製品応用を行う。またこの優位性は太陽電池の透明電極への応用の可能性を含んでいる。さらに高知工科大学で研究開発を進めてきた透明電磁シールドや紫外光と赤外光を透過し難くする効果を利用して可視光バンドパスフィルター機能の利用した窓ガラス建築素材など、他分野への応用が考えられる。また本研究開発で得た高性能ZnO薄膜製膜技術は今後発展が期待されているZnO系半導体などの電子デバイスへの波及効果が期待できる。

以上の概要を、表IV-2に示す。

表IV-2 波及効果



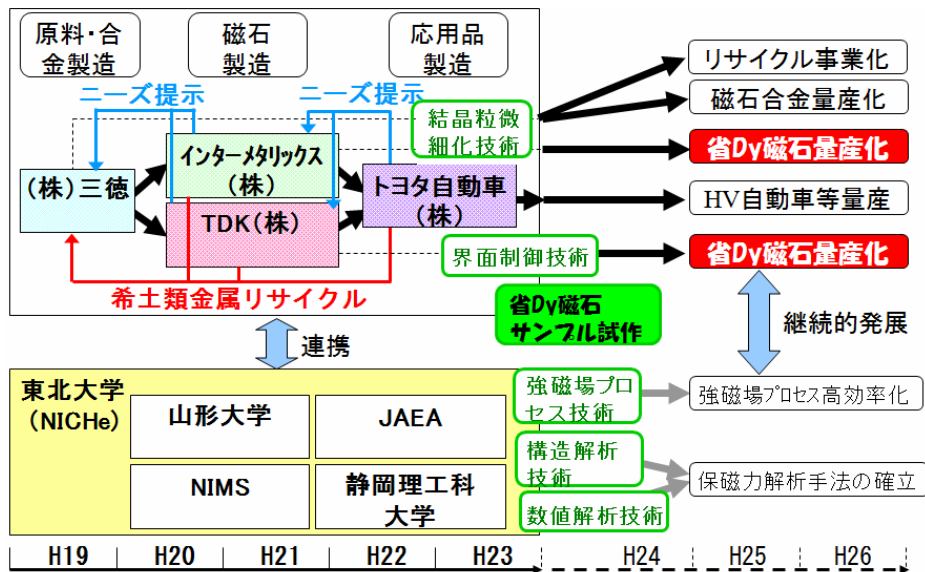
③希土類磁石向けディスプレイシウム使用量低減技術開発

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し

1.1 プロジェクト全体での見通し

本研究開発成果の実用化のスキームを図IV-1-1に示した。本研究では、希土類金属・合金製造から磁石応用までの産業分野において学術研究機関と連携研究体制を築いて目標を達成し、実用化・事業化につなげる。その見込みを以下に示す。



図IV-1-1 本研究開発成果の実用化のスキーム

まず、省 Dy 焼結磁石の実用化は、インターメタリックス(株)とTDK(株)の成果によってなされる。インターメタリックス(株)は検討項目(1)「結晶粒微細化・原料粉末最適化技術の開発」において、保磁力の増加するための合金組成、プロセス条件を検討し、結晶粒が細かく高保磁力の焼結磁石の開発をしている。すでにこれまでの成果で従来に比べて微細な粉末の作製に成功しており、実現は十分可能である。さらに本プロジェクト終了時には、その量産化に向けた磁石製造法なども提案できると期待される。一方、検討項目(2)「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」を部分担当するTDK(株)は、磁石製造メーカーとしてNd-Fe-B系磁石の量産化を手がけてきた。本プロジェクトにおいてもDyリッチ化率の向上により、中間目標を達成している。今後もDyの有効利用のための組織制御技術の開発により、それに基づいた焼結磁石の製造は十分可能である。上記2社による省Dy磁石製造プロセス技術における研究成果は、国内の磁石メーカーからも注目されるようになり、国内における更なる省Dy磁石の量産化技術へと発展すると思われる。

省Dy焼結磁石用の合金設計・製造には(株)三徳が技術を駆使して実現に寄与している。同社

はストリップキャスト技術も世界に先駆けて開発してきたが、本プロジェクトでも、すでに合金における結晶粒径をさらに細かくする新たな合金設計製造方法に取り組んでいることから、インターメタリックス（株）とTDK（株）が目指す秀でた合金を供給する能力あり、これら3社の連携により大きな成果が期待される。さらに同社は、各希土類金属含有材料からの希土類金属のリサイクル技術を確立している日本で数少ない企業の一つであることから、本プロジェクトの目標でもある希土類金属の有効活用を一層推進できる。合金設計・製造における研究成果は、省Dy磁石用合金量産化技術ならびに希土類資源リサイクル技術の向上を促す。

上記体制によって製造される省Dy焼結磁石は、検討項目（4）「自動車用磁石への応用」において、トヨタ自動車（株）によって自動車用磁石への応用が検討されるが、本研究により開発した焼結磁石を適用することにより、Dyの使用量を格段に抑えることが可能になると期待される。特に今後ハイブリッド自動車の普及が加速し、高保磁力=高Dy 磁石の需要増加が予測されていることから、本研究成果はハイブリッド自動車の普及に大きく貢献するといえる。また、開発された省Dy焼結磁石がハイブリッド自動車だけでなく、各種工作機械、エレベータ、大型家電用モータ等にも採用されれば、エネルギー効率が飛躍的に向上することが考えられ、省エネルギー効果が極めて高くなり、これら産業においても即採用されると推定される。

1.2 各研究開発グループでの見通し

これまでに得られている成果から、各研究開発グループにおいての実用化、事業化の見通しについてまとめると、以下のようになる。

（1）「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」（微細化 Grp）

原料合金、微粉末の微細化ならびに Dy 削減率についてほぼ目標を達成し、その実用化の検討に入ることが可能となった。焼結磁石の磁気特性からも Dy 削減率の中間目標値を達成しているが、さらに Nd-rich 相均一分散技術の確立により実用化は可能と考えられる。

（2）「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」（界面 Grp）

強磁場プロセスや薄膜モデルの知見を実用化に生かすことが可能と考えられる。また、Dy 源の高分散化で中間目標の磁気特性値を達成し、Dy 削減に効果的なポイントが明確となったことから、最終目標値の実現と実用化の可能性は高いと判断される。

（3）「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」（解析 Grp）

3次元アトムプローブ解析法とマルチスケール組織解析法が確立され、中性子小角散乱法の準備も整った。また、磁区観察、理論研究により、粒子集団で磁化反転が生じること、結晶粒界近傍の核生成によって生じる磁化反転機構についても新たな知見が得られてきたこと、などから、今後、これらの知見を、試料作製 Grp へ還元するとともに、保磁力機構を解明、高保磁力磁石の構造を提案して、実用化への支援を行うことができると考えられる。

（4）「自動車用磁石への応用」（応用 Grp）

これまででシミュレーションにより最適モータ設計を行い、磁石目標性能が判明してきた。今後、①電流密度アップの構造設計、②高周波数・高回転化、③コア積み厚アップ などの構造上の最適化を図る。さらに構造上から生じるモータ温度の上昇を抑制するため、冷却構造も合わせて検討すれば、モータ出力密度3倍を実現することは可能と考えられる。

1.3 今後の展開

これまでに得られている成果から、各研究開発グループにおける今後の展開についてまとめると、以下のようになる。

(1) 「結晶粒の微細化・原料粉末最適化による保磁力向上技術の開発」(微細化 Grp)

原料合金では条件の最適化やスケールアップのためのデータ収集、焼結磁石では Nd リッチ相を均一に分散させる技術を開発し、微細結晶粒焼結磁石の作製工程を実現する。

(2) 「界面ナノ構造制御による保磁力向上技術の開発」(界面 Grp)

強磁場プロセスでは微細構造と保磁力の相関について明確化、単結晶薄膜では界面の精密な構造・組成制御による保磁力上昇を図る。Dy 有効活用は、焼結条件や合金組成・組織等の影響を検討することで、最終目標を達成する。

(3) 「界面構造解析と保磁力発現機構解明による指導原理の獲得」(解析 Grp)

マルチスケール組織解析法では解析精度の向上、中性子小角散乱法ではシミュレーションとの比較、磁区観察では磁気測定・磁区観察手法の高度化、理論計算では実際の磁化過程のシミュレーションを行う。これらにより、保磁力の支配要因に関する理解を深め、特性向上に向けての総合的な設計指針を提案する。

(4) 「自動車用磁石への応用」(応用 Grp)

出力密度向上の為に構造設計による温度上昇を最小限に抑えつつ、磁石として必要な $H_{c,j}$ 、 B_r の精査・明確化を進める。

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し

本技術開発では、超硬工具におけるタングステン使用量を 30%低減できる基盤技術を開発することを目標として、タングステン使用量が超硬合金よりも少ない炭窒化チタン系硬質材料等を最大限活用した新しいコンセプトの“ハイブリッド切削工具”および“複合構造硬質切削工具”を開発するものである。開発されたそれぞれの工具は、すでに市場が存在するロウ付け工具および 3次元ブレーカ付き M 級コーティング工具を代替する製品として投入する予定である。これらの工具は資源価格の動向次第で早期に実用化できるものと考えている。

(1) 成果の実用化可能性

実用化、事業化を考える上で、製品としては希少資源の省使用化あるいは代替化だけではユーザーの要求を満足させることは難しく、既存材料と同等以上の性能を従来工具よりも安価に供給する必要がある。本技術開発で取り組む“ハイブリッド切削工具”および“複合構造硬質切削工具”は市場が明確である上、中間目標である切削試験および最終目標の切削試験を達成することで、ユーザーの要求を満足した製品をサンプル提供することが可能となる。特に、タングステン資源価格が高騰したときの開発成果の実用化価値は非常に大きいものとなる。

さらに、“ハイブリッド切削工具”においては、ロウ付け工具に比べて耐熱性を向上させており、高速切削の実現および耐摩耗性に優れるセラミックコーティングの可能性が期待される。また、“複合構造硬質切削工具”においては、表面の超硬合金層に圧縮残留応力を導入することで、超硬工具の耐欠損性の向上が期待できる。このため、幅広い領域でユーザーの新たなニーズを発掘できるものと期待される。

(2) 事業化までのシナリオ

本プロジェクトにより超硬工具におけるタングステン使用量を 30%低減できる基盤技術が構築できれば、安価に安定した製品を供給できる体制の構築が課題となる。ハイブリッド切削工具は耐熱性をいかした製品開発により付加価値が増大するため、プロジェクト終了後 3 年程度のコーティングを含めた量産化検討を行い、さらに 3 年程度の実用化検討を行ってから事業化を検討する必要がある。一方、複合構造硬質切削工具は耐欠損性の向上など付加価値を向上させた工具を提供できるため、3 年程度の実用化検討後は早期に事業化検討できるものと考えられる。

いずれの開発材料もプロジェクト期間内に目標を達成できれば、プロジェクト終了後直ちにサンプル出荷によるユーザー意見の反映も行え、プロジェクト終了後の量産技術開発および実用化検討の後に事業化が行える見通しである。

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通し

(1) 成果の実用化可能性

本PJの実用化は、以下のことを目指す。概要を図IV-1に示す。

- ・切削工具市場に、スローアウェイおよび軸物の切削工具用に使用可能なサーメットを提供する。
- ・耐摩耗工具市場に、ダイス、プラグ等（高硬度型）および製缶工具、圧粉金型等（高靱性型）に使用可能なサーメットを提供する。

事業化に向けて、新規サーメットの特性を更に向上させるため、新規サーメットに用いる新規複合炭窒化物固溶体粉末を開発するとともに、新規サーメット・コーティング・成形技術の開発を行う。

(2) 事業化までのシナリオ

サーメット及びコーティングの基盤研究については、1) サーメットの解析及び設計技術の開発、2) 新規サーメット材料の開発、3) コーティング技術の開発の成果を基に、波及効果としての事業化を目指す。本項目については、以下(3)項にて記載する。

切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発については、切削工具用高靱性サーメットの開発および切削工具用サーメットの安定製造技術の確立を行うと共に実用化の検討を行い、2011年に最終目標試作を実施する。その成果を基にその後の事業化を目指す。

耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発については、高靱性サーメットの開発および大型部材焼結技術、研削等加工条件の確立を行うと共に実用化の検討を行い、2011年に最終目標試作を実施する。その成果を基にその後の事業化を目指す。

以上の概要を、表IV-1に示す。

(3) 波及効果

本プロジェクトで実施した基礎技術開発は、波及効果として以下の分野での実用化が期待される。微細組織評価技術の開発は、界面機能を利用した新規材料の創出につながることを期待され、材料分野での実用化が期待される。焼結シミュレーション技術は、ニアネットシェイプ焼結など素形材分野の粉末冶金に関わる技術として実用化が期待される。新規炭窒化物合成技術は、高性能セラミックスなど材料分野に関わる技術として実用化が期待される。新規コーティング技術は、耐熱・耐摩耗材料用高機能膜として、材料分野での実用化が期待される。

以上の概要を、表IV-2に示す。

本PJの実用化は、以下のことを目指す。

・切削工具市場に、スローアウェイおよび軸物の切削工具用に使用可能なサーメットを提供する。

スローアウェイ工具

軸物工具

(株)タンガロイ



・耐摩耗工具市場に、ダイス、プラグ等(高硬度型)および製缶工具、圧粉金型等(高靱性型)に使用可能なサーメットを提供する。

ダイス、プラグ(高硬度型)

製缶工具(高靱性型)

富士ダイス(株)



→ サーメット工具の市場拡大

図IV-1 成果の実用化可能性

表IV-1 事業化までのシナリオ

	2007	2008	2009	2010	2011	2012~2014
サーメット及びコーティングの基盤研究		サーメットの解析及び設計技術の開発 新規サーメット材料の開発 コーティング技術の開発				波及効果 材料分野・素形材分野
切削工具用サーメット及びコーティング技術の開発 (株)タンガロイ		切削工具用高靱性サーメットの開発 素材安定製造基礎技術の確立			最終目標試作 (実用化検討)	新規切削工具用サーメットの事業化 (事業化検討)
耐摩耗工具用サーメット及びコーティング技術の開発 (富士ダイス株)		高硬度型・高靱性型サーメットの開発 大型部材焼結技術、研削等加工条件の確立			(実用化検討)	新規耐摩耗工具用サーメットの事業化 (事業化検討)

▲:基本原理確認 ●:基本技術確立

表IV-2 波及効果

適用分野		2010	2015	2020
材料分野・素形材分野	材料設計	微細組織評価技術 界面評価・組織制御技術の高度化	界面機能を利用した 新規材料の創出	実用化検討
	粉末冶金	焼結シミュレーション技術 シミュレーションの高度化	ニアネットシェイプ焼結 検証実験	実用化検討 → 実用化
	セラムックス	新規炭窒化物合成技術	高機能セラミックス 試作、要素試験	実用化検討 → 実用化
	高機能膜	新規コーティング技術 研究開発	耐熱・耐摩耗材料 実機材料への適用	実用化検討 → 実用化

①透明電極向けインジウム使用量低減技術開発

V. 成果資料

1. 特許関連：3件

番号	出願者	出願番号	国内 海外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	DOWA エレク トロニクス株 式会社	特願 2008- 179992	国内	2008/07/10	出願	ITO 粉末およびその製造 方法、透明導電材用塗料 並びに透明導電膜	村松淳司, 蟹江澄志, 斎 藤和久, 田上幸治, 永富 晶
2	DOWA エレク トロニクス株 式会社	1の海外特 許	海外	2009/05/10	出願	ITO 粉末およびその製造 方法、透明導電材用塗料 並びに透明導電膜	村松淳司, 蟹江澄志, 斎 藤和久, 田上幸治, 永富 晶
3	三井金属鋳 業株式会社	特願 2008- 334479	国内	2008/12/26	出願	錫ドーパオキシ水酸化イン ジウム粒子の製造方法	坂上貴彦, 瓦谷浩一, 林 尚男, 村松淳司, 蟹江澄 志

※2009年6月にSbドーパITO薄膜に関する組成特許を申請中で、現在手続き中

2. 著書、論文：6件

番号	発表者(著者名)	所属	タイトル	発表誌名(著書名)、ページ番 号	査読	発表年
1	T.M.Inerbaev, R.Sahara, H.Mizuseki, Y.Kawazoe, T.Nakamura	東北 大学	Interstitial Oxygen and Dopant Atoms Arrangement in Tin-Doped Indium Oxide	Materials Transactions, 48, 666-669,	有	2007
2	Yosuke Endo, Takafumi Sasaki, Kiyoshi Kanie, Atsushi Muramatsu,	東北 大学	Direct Preparation and Size Control of Highly Crystalline Cubic ITO Nanoparticles in a Concentrated Solution System	Chemistry.Letters,37, 1278-1279	有	2008
3	志田和人、佐原亮二、水 関博志、川添良幸	東北 大学	パーコレーションモデルを用い た電導薄膜の材料設計・インジ ウム使用量削減をめざして	日本金属学会誌 73 (3)171-173	有	2009
4	村松淳司, 蟹江澄志, 佐 藤王高	東北 大学	ITO ナノインクの新合成法と新 薄膜化技術	透明導電膜の新展開Ⅲ—ITO とその代替材料開発の現状 —, シエムシー出版、南内 嗣, 95-107		2008
5	川添良幸、水関博志、佐 原亮二	東北 大学	第一原理シミュレーション計算 の概要と代替材料開発への適 用	レアメタルの代替材料とリサイ クル 監修・原田幸明、中村 崇 .221-229		2008

6	川添良幸、水関博志、佐原亮二	東北大学	第一原理シミュレーション計算の概要と代替材料開発への適用	レアメタルの代替材料とリサイクル 監修・原田幸明、中村崇 .221-229	2008
---	----------------	------	------------------------------	---------------------------------------	------

3. 国際会議：9件

番号	発表者	タイトル	会議名、開催地	開催日
1	Atsushi Muramatsu, Kiyoshi Kanie	ITO Nano-ink: Synthesis Method of ITO Nanoparticles Precisely Controlled in Size and Shape	2nd international Symposium on Transparent Conductive Oxides, Crete, Greece	2008/10/22-26
2	Hiroshi Mizuseki, Talgat M. Inerbaev, Ryoji Sahara, Takashi Nakamura, Yoshiyuki Kawazoe	Reducible and Nonreducible Defect Clusters in Tin-Doped Indium Oxide	MRS2008FallMeeting, USA	2008/12/01
3	Kazuhito Shida, Ryoji Sahara, Hiroshi Mizuseki, Yoshiyuki Kawazoe	Controlling the percolation behavior of conductor-insulator composites by changing the granular size of insulators	ACCMS-VO, Sendai, Japan	2009/02/16
4	Kazuhito Shida, Ryoji Sahara, Hiroshi Mizuseki, Yoshiyuki Kawazoe	Controlling the percolation behavior of conductor-insulator composites by changing the granular size of insulators	APS 2009 March, Pittsburgh, PA	2009/03/16
5	Takafumi Sasaki	Development of One-step Synthesis of ITO Nanoparticles with Size and Shape Precisely Controlled and Evaluation of their Electrical Resistivity	International Symposium on Engineering of Indium Saving for Transparent Conductive Film, Sendai, Japan	2009/05/26
6	Kazuhito Shida	Controlling of Electroconductivity of Thin Film by Modulating the Granular Size of Materials	International Symposium on Engineering of Indium Saving for Transparent Conductive Film, Sendai, Japan	2009/05/26
7	M. N. Tripathi	Ab-initio Study of the Electronic and Optical Properties of the Oxidized Indium Tin Oxide	International Symposium on Engineering of Indium Saving for Transparent Conductive Film, Sendai, Japan	2009/05/26
8	Leandro Andres VOISIN ARAVENA	Optical and Electrical Properties for Doped ITO Thin Films Prepared by Combinatorial Sputtering Method	International Symposium on Engineering of Indium Saving for Transparent Conductive Film, Sendai, Japan	2009/05/26

9	Atsushi Muramatsu, Yosuke Endo, Takafumi Sasaki, Kiyoshi Kanie,	Preparation of ITO Nanoparticles Precisely Controlled in Size and Shape	13th IACIS International Conference on Surface and Colloid Science and the 83rd ACS Colloid & Surface Symposium, New York, U.S.A.	2009/06/14- 19
---	--	--	--	-------------------

4. 国内会議：19件

番号	発表者	タイトル	会議名、開催地	開催日
1	中村 崇	省インジウム ITO の開発について	平成 19 年度日本学術振興会第 69 委員会研究会、東京大学・生産技術研究所(東京)	2007/07/15
2	遠藤 瑤輔, 酒井洋, 蟹江 澄志, 村松 淳司, 佐藤 王高	超濃厚液相条件における ITO 微粒子の合成と形態制御	第 60 回コロイドおよび界面化学討論会, 信州大学・松本・旭キャンパス(長野県)	2007/09/20 -22
3	遠藤 瑤輔, 酒井洋, 蟹江 澄志, 村松 淳司, 佐藤 王高	ゲルゾル法を用いた ITO 微粒子の合成: サイズ・形態制御における初期 pH の効果	日本化学会第 88 回春期年会, 立教大学・池袋キャンパス(東京都)	2008/03/26 -30
4	川添良幸、水関博志、佐原亮二	第一原理計算による省 In ITO 組成探索	資源素材 2008, 国際センター(宮城県)	2008/10/7- 9
5	佐原亮二、志田和人、水関博志、蟹江澄志、大野かおる、村松淳司、川添良幸	パーコレーション転移にみる相転移の臨界現象	日本学術振興会第 172 委員会状態図研究会第 15 回委員会・研究会、東京大学・本郷キャンパス(東京都)	2008/05/16
6	佐原亮二、水関博志、蟹江澄志、大野かおる、村松淳司、川添良幸	不均質な形状の粒子を有するサイトパーコレーションの臨界現象	ナノ学会第6回大会	2008/05/07
7	遠藤瑤輔, 佐々木隆史, 蟹江 澄志, 村松 淳司	ITO ナノ粒子の一段階合成法の開発とサイズ・形態・結晶性の制御	第 61 回コロイドおよび界面化学討論会, 九州大学・六本末キャンパス(福岡県)	2008/09/07 -09
8	佐々木 隆史, 遠藤瑤輔, 蟹江 澄志, 村松 淳司	超濃厚水熱合成による ITO 前駆体 $\text{In}(\text{OH})_3$ 粒子のサイズ・形態制御	第 61 回コロイドおよび界面化学討論会, 九州大学・六本末キャンパス(福岡県)	2008/09/07 -09

9	村松 淳司, 遠藤 瑠輔, 佐々木 隆史, 蟹江 澄志, 田上 幸治, 永富 晶, 齊藤 和久	高結晶性立方状ITOナノ粒子の液相直接合成	第 61 回コロイドおよび界面化学討論会, 九州大学・六本末キャンパス (福岡県)	2008/09/07 -09
10	佐原亮二、水関博志、志田和人、蟹江澄志、大野かおる、村松淳司、川添良幸	不均質な形状の粒子を含むパーコレーションモデルの普遍性解析	金属学会秋期大会、熊本大学	2008/09/23 -25
11	大塚 誠, Voisin Aravena Leandro Andres, 中村 崇	コンビナトリアルスパッタ法による ITO 薄膜の作製	資源素材 2008, 国際センター (宮城県)	2008/10/07 -09
12	遠藤 瑠輔, 佐々木 隆史, 蟹江 澄志, 村松 淳司, 永富 晶, 田上 幸治, 齊藤 和久	ITO ナノ粒子の一段階合成法の開発とサイズ・形態・結晶性の制御	東北学協会, 八戸工業大学 (青森県)	2008/10/11 -13
13	佐々木 隆史, 遠藤 瑠輔, 蟹江 澄志, 村松 淳司, 永富 晶, 田上 幸治, 齊藤 和久	One-pot 法による高電導性立方体 ITO ナノ粒子の作製とサイズ制御	第 8 回多元研研究発表会, 東北大学・片平さくらホール (宮城県)	2008/12/11
14	佐々木 隆史, 遠藤 瑠輔, 蟹江 澄志, 村松 淳司, 永富 晶, 田上 幸治, 齊藤 和久	形態制御された ITO ナノ粒子の One-pot 合成とその電気抵抗特性評価	日本化学会第 89 春季年会, 日本大学・船橋キャンパス (千葉県)	2009/03/27 -30
15	Talgat M. Inerbaev, 佐原亮二、水関博志、川添良幸、中村 崇	Reducibility of Tin-Doped Indium Oxide	金属学会 2009 年春季講演会、東京工業大学大岡山キャンパス (東京)	2009/03/28
16	M. N. Tripathi, Hiroshi Mizuseki, Yoshiyuki Kawazoe	Ab-initio Study of the electronic and Optical Properties of the Oxidized Indium tin Oxide	ナノ学会第7回大会 (東京)	2009/05/9- 11
17	志田和人、佐原亮二、水関博志、川添良幸	直径分布のある場合の繰り込みによるパーコレーション閾値の予測	ナノ学会第7回大会 (東京)	2009/05/9- 11

18	志田和人、佐原亮 二、水関博志、川 添良幸	粒子直径に分布があるサイトパーコレーシ ヨンの繰り込み論	東北大学・金属材料研究所 所内講 演会(仙台)	2009/05/14
19	M. N. Tripathi, Hiroshi Mizuseki, Yoshiyuki Kawazoe	Ab-initio Study of Manganese-doped Indium Tin Oxide	東北大学・金属材料研究所 所内講 演会(仙台)	2009/05/14

5. その他／成果発信（イベント出展）：3件

番号	タイトル	イベント名称、開催地	開催日
1	透明導電膜用 ITO ナノ粒子の最前線	東北大学イノベーションフェア 2008, 仙台国際センター	2008/09/30
2	希少金属代替開発プロジェクト	nano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議, 東京ビッグサイト	2008/02/18-20
3	元素戦略	希少金属代替材料開発第3回シンポジウム、東大 安田講堂	2009/01/27

6. その他／プレス発表：3件

番号	タイトル	媒体名	掲載日
1	液晶向け透明電極材 微細粒子を大量生産 東北大グループ技術開発	日経産業新聞	2009/05/15
2	ITO ナノ粒子 東北大が大量合成法 熱処理不要 スズ添加	日刊工業新聞	2009/05/19
3	インジウム使用低減技術シンポ 東北大、透明電極向け	日刊工業新聞	2009/05/22

②透明電極向けインジウム代替材料開発

V. 成果資料

(1) 特許：

- ① 国内出願（出願日 H20. 03. 31）
- ② 米国出願 ③韓国出願、④台湾出願、⑤中国出願（出願日 2009 年 3 月 27 日）
- ⑥ 国内出願（出願日 H21. 05. 19）

(2) 対外発表・広報：

学術論文（査読付き）：8 件

1. Aki Miyake, Takahiro Yamada, Hisao Makino, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Properties of Highly Transparent Conductive Ga-Doped ZnO Films on Polymer Substrates by Reactive Plasma Deposition with DC arc Discharge", J. Photopolym. Sci. Technol., 22, No. 4, (2009) pp.497-502.
2. Tetsuya Yamamoto, Takahiro Yamada, Aki Miyake, Toshiyuki Morizane, Tooru Arimitsu, Hisao Makino, Naoki Yamamoto, "Properties of Transparent Conductive Ga-Doped ZnO Films on Glass, PMMA and COP Substrates", Invited Paper, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, E91-C, No. 10, pp. 1547-1553, Oct. 01. 2008.
3. Naoki Yamamoto, Takahiro Yamada, Aki Miyake, Hisao Makino, Seiichi Kishimoto, and Tetsuya Yamamoto, "Relationship Between Residual Stress and Crystallographic Structure in Ga-Doped ZnO Film", J. Electrochemical Soc., 155, No. 9, (2008) pp. J221-J225.
4. Takahiro Yamada, Toshiyuki Morizane, Tetsuhiro Arimitsu, Aki Miyake, Hisao Makino, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Application of low-resistivity Ga-doped ZnO films to transparent electromagnetic interference shielding material", Thin Solid Films, 517, issue 3 (2008) pp.1027-1031.
5. Aki Miyake, Takahiro Yamada, Hisao Makino, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Effect of substrate temperature on structural, electrical and optical properties of Ga-doped ZnO films on cycro olefin polymer substrate by ion plating deposition", Thin Solid Films, 517, issue 3 (2008) pp.1037-1041.
6. Takahiro Yamada, Aki Miyake, Hisao Makino, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Effect of thermal annealing on electrical properties of transparent conductive Ga-doped ZnO films prepared by ion plating using direct-current arc discharge", Thin Solid Films, 517, Issue 10 (2009) pp. 3134-3137.

7. Aki Miyake, Takahiro Yamada, Hisao Makino, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Structural, electrical and optical properties of Ga-doped ZnO films on cyclo-olefin polymer substrates", Thin Solid Films, 517, Issue 10 (2009) pp. 3130-3133.
8. Hisao Makino, Aki Miyake, Takahiro Yamada, Naoki Yamamoto and Tetsuya Yamamoto, "Influence of substrate temperature and Zn-precursors on atomic layer deposition of polycrystalline ZnO films on glass", Thin Solid Films, 517, Issue 10 (2009) pp. 3138-3142.

国際会議発表：14件（招待1件、口頭7件、ポスター6件）

1. T. Yamamoto, T. Yamada, A. Miyake, T. Morizane, T. Arimitsu, H. Makino and N. Yamamoto, 招待講演, "Transparent Conductive Ga-Doped ZnO Films Properties on Glass, PMMA and COP Substrates", The 14th International Display Workshops, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, December 5-7, 2007, December 7, Main Hall B, FMC5: Materials, FMC5-4 11:20 -11:40.
2. T. Yamada, A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, 口頭講演, "Application of Low Resistivity Ga-Doped ZnO Films to 1-3 GHz Electromagnetic Interference Shielding", The 35th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Town and Country Hotel, San Diego, California, April 28- May 02, 2008, Optical Thin Films, Session C2-1, C2-1-10 10:40-11:00.
3. A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, T. Yamada, 口頭講演, "Multiple Deposition Method of Producing Crack-Free Ga-Doped ZnO Films on Cyclo Olefin Polymer Substrates by Ion Plating", The 35th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Town and Country Hotel, San Diego, California, April 28- May 02, 2008, Optical Thin Films, Session C2-2, C2-2-8 3:30-3:50.
4. N. Yamamoto, T. Yamada, A. Miyake, H. Makino, S. Kishimoto, T. Yamamoto, ポスター発表, "Residual stress in Ga-doped ZnO films formed by reactive plasma deposition system", The 7th International Conference on Coatings on Glass & Plastics, The NH Conference Center Koningshof, Eindhoven, Netherland, June 15-19, 2008, P5-18.
5. A. Miyake, T. Yamada, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, ポスター発表, "Structural, electrical and optical properties of Ga-doped ZnO films on cyclo olefin polymer substrate", The 7th International Conference on Coatings on Glass & Plastics, The NH Conference Center Koningshof, Eindhoven, Netherland, June 15-19, 2008, P5-21.
6. T. Yamada, A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, ポスター発表, "Influence of thermal annealing on the properties of transparent conducting Ga-doped ZnO films prepared by ion plating", The 7th International

- Conference on Coatings on Glass & Plastics, The NH Conference Center Koningshof, Eindhoven, Netherland, June 15–19, 2008, P5–22.
7. H. Makino, A. Miyake, T. Yamada, N. Yamamoto, T. Yamamoto, ポスター発表, “Substrate temperature dependences on growth characteristics of polycrystalline ZnO films on glass substrates by atomic layer deposition”, The 7th International Conference on Coatings on Glass & Plastics, The NH Conference Center Koningshof, Eindhoven, Netherland, June 15–19, 2008, P5–24.
 8. T. Yamamoto, K. Kobayashi, J. J. Kim, E. Ikenaga, M. Kobata, S. Ueda, H. Makino, and T. Yao, 口頭講演, “Investigation of Electronic Structures on O- and Zn-Polar ZnO Single Crystal Surfaces by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy and LDA+U Calculation”, International Conference on Electronic Materials 2008, Hilton Sydney, Sydney, Australia – 28th July to 1st August 2008, Symposium A: Wide Band Gap Materials including GaN, ZnO, SiC, Diamond, June 28, SESSION A1–S2: ZnO Materials and Devices, A1–S2.3, 11:45–12:00.
 9. A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, T. Yamada, 口頭講演, “Internal Stress in Transparent Conductive Ga-Doped ZnO Films on Polymer Substrates”, The 15th International Display Workshops (IDW), Toki Messe Niigata Convention Center, Niigata, Japan, December 3–5, 2008, Topical Session on Flexible Displays, Dec. 04, FLX3-1 13:20–13:40.
 10. H. Makino, N. Yamamoto, A. Miyake, T. Yamada, Y. Hirashima, H. Iwaoka, T. Itoh, H. Hokari, H. Aoki, T. Yamamoto, 口頭講演, “Influence of thermal annealing on electrical and optical properties of Ga-doped ZnO thin films”, The 36th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Town and Country Hotel, San Diego, California, April 27– May 01, 2009, April 29, Optical Thin Films for Active Devices and Microsystems, Session C2–2, C2–2–2 13:50–14:10.
 11. T. Yamada, A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, 口頭講演, “Investigation of Scattering Mechanisms in Transparent Conductive Ga-doped ZnO Films with Thicknesses of Less than 100 nm”, The 36th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Town and Country Hotel, San Diego, California, April 27– May 01, 2009, May 01, Optical Thin Films, Session C3, C3–9 10:20–10:40.
 12. H. Makino, N. Yamamoto, A. Miyake, T. Yamada, Y. Hirashima, H. Iwaoka, T. Itoh, H. Hokari, M. Yoshida, H. Morita, and T. Yamamoto, ポスター発表, “Ga-doped ZnO transparent conductive film as substitution for ITO common electrode in TFT-LCDs”, SID 2009 International Symposium, June 2 – 5, 2009, Henry B. Gonzalez Convention Center, San Antonio, Texas, USA, June 4, P. 7.
 13. T. Yamada, A. Miyake, H. Makino, N. Yamamoto, T. Yamamoto, 口頭講演, “Thickness dependences of Hall mobility and optical mobility of transparent

conducting Ga-doped ZnO films prepared by ion-plating deposition”, E-MRS 2009 Spring Meeting, Congress Center, Strasbourg, France, June 8-12, 2009, Symposium H, Synthesis, processing and characterization of nanoscale multi functional oxide films II, June 10, H6-4, 11:30-11:45.

14. H. Makino, N. Yamamoto, A. Miyake, T. Yamada, S. Shirakata, T. Yamamoto, ポスター発表, “Influence of thermal annealing on electrical properties of Ga-doped ZnO films studied by optical absorption and photoluminescence”, E-MRS 2009 Spring Meeting, June 8 - 12, 2009, Strasbourg, France, Symposium H, Synthesis, processing and characterization of nanoscale multi functional oxide films II, June 8, H-P1-33.

招待講演 : 11 件

1. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜の物性制御」～ガラス基板上製膜から樹脂基板上製膜へ～, 主催 : 財団法人ファインセラミックス, 先端技術基礎セミナー, 2007. 12. 20 13:30-15:00, 財団法人ファインセラミックスセンター 2F 研修室
2. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜におけるミクロ構造とマクロ特性」, 平成 19 年度 東北大学金属材料研究所ワークショップ, 2007 年 12 月 21 日, 東北大学多元物質科学研究所, 科学計測研究棟 S 棟 2 階セミナー室・中会議室, 10:15-10:45.
3. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「岐路に立つ酸化亜鉛透明導電膜」, 情報機構セミナー, 2008 年 2 月 22 日 12:30-16:30.
4. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛ベースの透明電極材料の開発」, 電子ジャーナル第 186 回テクニカルセミナー, 透明電極材料の最前線, 2008 年 5 月 21 日, 14:50-16:30.
5. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「第 5 講 レアメタル代替材料としての酸化亜鉛の可能性」, 株式会社エヌ・ティー・エス, 希少金属 (レアメタル) の埋蔵量分析と今後の展望, 2008 年 6 月 10 日 15:35-16:35.
6. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「ガラス基板および樹脂基板上に製膜された酸化亜鉛透明導電膜の特性ーインジウム使用量 75%削減液晶パネル製造技術の確立を目指して」, 高分子同友会, 2008 年 8 月 25 日 17:00~18:30.
7. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜の特徴と実用化への課題」, 第 26 回『ナノテク部会』研究会, 平成 20 年 9 月 12 日 14:20-15:05.
8. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 基調講演: 「酸化亜鉛透明導電膜におけるミクロ構造と電気・光学特性: どこまで制御可能か」, 日本金属学会 2008 年秋期大会, 平成 20 年 9 月 23 日, シンポジウム S5 情報・電子材料の新展開: 構造の制御と機能の発現
9. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜: 構

造と制御、および特性」, 日本学術振興会透明酸化物光・電子材料第 166 委員会, 2008 年 11 月 21 日 15:20 ~16:10.

10. 山本哲也、山田高寛、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛ベースの透明電極材料の開発」, 電子ジャーナル主催, 第 401 回 Technical Seminar 透明電極材料の最前線 ★徹底検証, 2009 年 5 月 18 日 15:20 ~16:10.
11. 山本哲也, 「非インジウム系透明導電膜の動向」, 映像情報メディア学会 アントレプレナー・エンジニアリング研究会, 2009 年 6 月 26 日 13:45-14:25.

国内学会発表 : 14 件

1. 山田 高寛, 有光 徹紘, 森實 敏之, 三宅 亜紀, 牧野 久雄, 山本 直樹, 山本 哲也, 第 25 回プラズマプロセッシング研究会(SPP-25) プログラム, 2008 年 1 月 23-25 日, 山口県教育会館、ゆ〜あいプラザ 山口県社会福祉会館, 1 月 24 日 ポスター 2, P2-30 「イオンプレーティング法により成膜した透明導電性 Ga 添加酸化亜鉛薄膜の熱処理効果」
2. 山田 高寛, 有光 徹紘, 森實 敏之, 三宅 亜紀, 牧野 久雄, 山本 直樹, 山本 哲也, 第 25 回プラズマプロセッシング研究会(SPP-25) プログラム, 2008 年 1 月 23-25 日, 山口県教育会館、ゆ〜あいプラザ 山口県社会福祉会館, 1 月 25 日 プラズマによる薄膜形成 1, 11:20-11:40 A5-02, 「イオンプレーティング法によりガラス基板上に成膜した 透明導電性 Ga 添加酸化亜鉛薄膜の a 軸及び c 軸配向性」
3. 三宅亜紀, 山田高寛, 牧野久雄, 山本直樹, 山本哲也, 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 23-25 日, 日本大学理工学部 船橋キャンパス, 合同セッションK「酸化亜鉛系機能性材料」, 3 月 28 日 28p-ZJ-/ I, II, 「反応性プラズマ蒸着法による Ga 添加 ZnO 多層成膜の下地層の影響」
4. 山田高寛, 三宅亜紀, 牧野久雄, 山本直樹, 山本哲也, 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 23-25 日, 日本大学理工学部 船橋キャンパス, 合同セッションK「酸化亜鉛系機能性材料」, 3 月 28 日 28p-ZJ-/ I, II, 「Ga 添加 ZnO 透明導電膜の熱処理による粒界での Ga 偏析」
5. 山本哲也, 山田高寛, 三宅亜紀, 牧野久雄, 山本直樹, 2008 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 23-25 日, 日本大学理工学部 船橋キャンパス, 第 42 回応用物理学会スクール, ZnO 系半導体の結晶成長、デバイスの基礎 15:50 ~ 16:40, 「透明導電膜と薄膜トランジスタ応用」
6. 牧野久雄, 山本直樹, 三宅亜紀, 山田高寛, 平島義典, 岩岡啓明, 保苺一志, 青木久, 山本哲也, 2008 年秋季 第 69 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 9 月 05 日, 中部大学, 21.1 合同セッション K「酸化亜鉛系機能性材料」5p-N-/ I, II, 13:45-14:00, 「反応性プラズマ蒸着法およびスパッタ法で製膜した Ga 添加 ZnO 薄膜の熱安定性 (2)」
7. 山本直樹, 牧野久雄, 山田高寛, 三宅亜紀, 平島義典, 岩岡啓明, 保苺一志, 青木久, 山本哲也, 2008 年秋季 第 69 回応用物理学会学術講演会, 2008 年 9 月 05 日, 中部大学, 21.1 合同セッション K「酸化亜鉛系機能性材料」5p-N-/ I, II,

13:30-13:45, 「反応性プラズマ蒸着法およびスパッタ法で製膜した Ga 添加 ZnO 薄膜の熱安定性 (1)」

8. 三宅亜紀, 山本直樹, 山田高寛, 牧野久雄, 山本哲也, 2008 年秋季 第 69 回応用物理学学会学術講演会, 2008 年 9 月 05 日, 中部大学, 21.1 合同セッション K 「酸化亜鉛系機能性材料」 5p-N- / I, II, 13:15-13:30, 「反応性プラズマ蒸着法により作製した樹脂基板上 Ga 添加 ZnO 薄膜中の熱応力」
9. 山田 高寛, 有光 徹紘, 森實 敏之, 三宅 亜紀, 牧野 久雄, 山本 直樹, 山本 哲也, 2008 年秋季 第 69 回応用物理学学会学術講演会, 2008 年 9 月 05 日, 中部大学, 21.1 合同セッション K 「酸化亜鉛系機能性材料」 5p-N- / I, II, 13:00-13:15, 「反応性プラズマ蒸着法により成膜した Ga 添加 ZnO 薄膜の可視光学スペクトルの評価」
10. 山本哲也, 山田高寛, 三宅亜紀, 牧野久雄, 山本直樹, 応用物理学学会シンポジウム「ワイドギャップ酸化物半導体の進展と今後の展望」2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 3 月 30 日, 「ZnO 透明導電膜: 成膜法と構造、機能、および制御」
11. 牧野久雄, 三宅亜紀, 山田高寛, 山本直樹, 白方祥, 山本哲也, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 01 日、合同セッション K 「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」 1p-ZK-10, 「RPD 法によって製膜した Ga 添加 ZnO 膜の光吸収および発光特性に与える熱処理の影響」
12. 山田高寛, 三宅亜紀, 牧野久雄, 山本直樹, 山本哲也, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 01 日、合同セッション K 「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」 1p-ZK-11, 「反応性プラズマ蒸着法により成膜した GZO 膜の膜厚に対する電子散乱機構の変化」
13. 山本直樹, 岡部哲, 松原将英, 丸山岳人, 大曾根聡, 岩岡啓明, 保莉一志, 牧野久雄, 山田高寛, 三宅亜紀, 山本哲也, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 01 日、合同セッション K 「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」 1p-ZK-12, 「化学エッチング液を用いた Ga 添加 ZnO 透明導電膜における微細配線加工技術の開発」
14. 三宅亜紀, 山本直樹, 山田高寛, 牧野久雄, 山本哲也, 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 01 日、合同セッション K 「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」 1p-ZK-13, 「シクロオレフィンポリマー (COP) 基板上 Ga 添加 ZnO 薄膜の残留応力と電気特性」

新聞記事 : 3 件 (日経産業新聞、読売新聞)

1. 平成 20 年 4 月 24 日 日経産業新聞第 1 面掲載、「インジウム使用 75%減」
2. 平成 20 年 11 月 23 日 読売新聞第 1 4 面掲載、「脱レアメタル身近な元素で代替」
3. 平成 21 年 3 月 09 日 日経産業新聞第 1 面掲載「液晶パネル酸化亜鉛で薄膜 インジウム不要」

雑誌記事 : 11 件 (FPD ガイドブック、工業材料、OplusE など) .

1. 山本哲也、山本直樹、牧野久雄、山田高寛、三宅亜紀, 「酸化亜鉛」, 工業材料、第56巻1号、(2008) pp. 48-49.
2. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜の光学特性制御」, O plus E Vol. 30, No. 8 (2008) pp. 850-854.
3. 山本哲也、三宅亜紀、山田高寛、牧野久雄、山本直樹, 「酸化亜鉛透明導電膜付プラスチック基板：最新技術の動向と研究開発状況」, 株式会社矢野経済研究所 2008年5月16日, 光学フィルム特集号, pp. 91-104.
4. 山本哲也：特集 可能性広がる酸化亜鉛 ー実用化に向けた開発動向を探るー、解説「酸化亜鉛研究開発の動向と今後の展開」, 工業材料、Vol. 56 No. 10 (2008) pp. 18-23.
5. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 特集 可能性広がる酸化亜鉛 ー実用化に向けた開発動向を探るー、事例・トピックス「酸化亜鉛の透明導電膜実用化に向けた技術開発」, 工業材料、Vol. 56 No. 10 (2008) pp. 45-48.
6. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「反応性プラズマ蒸着法による ZnO 薄膜の特性と応用」, マテリアルインテグレーション, Vol. 21, No. 10 (2008) pp. 7-12.
7. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 「ZnO 薄膜の可能性を徹底検証 共通電極素材として LCD へ応用, RPD 法成膜で実用化に向けた透明導電膜」, Semiconductor FPD World, Technology Plus, Vol. 28, No.1 (2009) pp. 64-66.
8. 山本哲也, 「透明導電膜」, FPD ガイドブック、社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA)、2009年3月発行, pp. 44-45.
9. 山本哲也, 「透明電極向け ITO 代替材料開発」, 工業レアメタル、No. 124 (2008) pp. 18-20.
10. 山本哲也, 特集 元素戦略を推進するセラミックス材料技術「ITO 代替材料としての ZnO 実用化研究開発の現状と課題」, セラミックス 2009年5月号
11. 山本哲也、山田高寛、三宅亜紀、牧野久雄、山本直樹, 特集 透明導電材料「ZnO ベースの透明電極材料の開発」, 月刊ディスプレイ 2009年5月号

テレビ放映：3件 (NHK、NHK BS1)

1. 平成20年10月1日 23:40~24:00 経済最前線 (全国放送)
2. 平成20年10月2日 6:30~7:00 おはよう日本 (全国放送)
3. 平成20年11月16日 WHAT`S ON JAPAN 「レアメタルを超えろ日本の工業新素材」 (海外)

展示会：2件 (CEATEC、nanotech)

1. CEATEC JAPAN 2008, 講演「ITO 代替酸化亜鉛 ZnO 透明電極ベース液晶パネル」
2. nanotech 2009, 3インチ酸化亜鉛透明電極実装液晶パネル

研究会主催：1件

1. 研究会名称：ZnO ビジネス 21 研究会

日時：平成 20 年 10 月 20 日（月）13：15－17：30

会場：財団法人総評会館 2F201 会議室

主催：高知工科大学 総合研究所 マテリアルデザインセンター

参加人数：80名

プログラム：主催者挨拶 山本哲也

[1]「薄膜太陽電池の研究開発動向と透明電極の役割」中田時夫（青山学院大）、

[2]「酸化亜鉛透明導電膜の応用開発」

尾藤三津雄（アルプス電気株式会社事業開発本部）、

[3]「透過型電子顕微鏡による材料評価」

永田文男（ソリューション・ナタ、元日立中研）、

[4]「ZnO 透明導電膜の研究開発動向と現状」山本哲也（高知工科大）

③希土類磁石向けディスプレイシウム使用量低減技術開発

V. 成果資料

平成19年度 成果発表リスト

1. 特許関連 0件

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
	なし						

2. 著書、論文

(1) 著書 6件

番号	発表者	所属	タイトル	書籍名、ページ番号	発表年
1-2-1	佐川真人 (代表編集者、分担執筆)	インター メタリック クス(株)	I-1 「永久磁石の発展」	『永久磁石 ー材料科学と応用ー』((株)アグネ技術センター)、pp.3 ~ 18.	2007
1-3-1 (2-1-1)	杉本諭、 加藤宏朗 (分担執筆)	東北大	II-3 「永久磁石の基礎物性」	『永久磁石 ー材料科学と応用ー』((株)アグネ技術センター)、pp.51~136.	2007
1-3-2	杉本諭 (分担執筆)	東北大	III-5 「アルニコ磁石およびFe-Cr-Co系磁石」	『永久磁石 ー材料科学と応用ー』((株)アグネ技術センター)、pp.163~182.	2007
1-2-2	杉本諭 (分担執筆)	東北大	V-B 「磁気の単位」	『永久磁石 ー材料科学と応用ー』((株)アグネ技術センター)、pp.411~418.	2007
3-3-1	小林久理 眞	静岡理工 科大	第2章「電気を通す材料と通さない材料」、 第3章「シリコン半導体とトランジスター」)	『現代無機材料科学』(化学同人)(2007/01/30出版)、pp.9~36.	2007
3-3-2	小林久理 眞	静岡理工 科大	II-4 「永久磁石の保磁力」	『永久磁石 ー材料科学と応用ー』((株)アグネ技術センター)、pp.137~160.	2007

(2) 論文 8件 (内査読有 3件)

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
2-1-1	H. Kato, T. Akiya, M. Sagawa, K. Koyama, and T. Miyazaki	東北大 (インターメ タックス)	Effect of high magnetic field on the coercivity in sintered Nd-Fe-B magnets	J. Magn. Magn. Mater. 310, 2596-2598.	有	2007
3-3-1	Kurima Kobayashi, Takayuki Kohno, Kazuo Hayakawa, and Masato Sagawa	静岡理 工科大 (インターメ タックス)	Measurements of Domain Structure Reformation Temperatures in Sintered Dy-free Nd ₂ Fe ₁₄ B Magnets	J. Magn. Magn. Mater., 301, pp.e878-e880.	有	2007
3-3-2	Kurima Kobayashi, K. Itoh, D. Shimizu, K. Hayakawa and M. Sagawa	静岡理 工科大 (インターメ タックス)	Indirect Observation of Inner Domain Structure in Nd ₂ Fe ₁₄ B Sintered Magnets	Journal of the Magnetism Society of Japan, vol. 31, No. 5, pp.393-397.	有	2007
3-3-3	小林久理眞、高野隆之、坂元敏志、松下、早川一生、佐川真人	静岡理 工科大 (インターメ タックス)	Nd-Fe-B 系焼結磁石の反転核生成と保磁力	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-15 (2007/3) pp.51-58.	無	2007
3-3-4	落合佑紀、早川一生、小林久理眞、増田宏、佐川真人	静岡理 工科大 (インターメ タックス)	調製条件の異なる Dy フリーNd-Fe-B 焼結磁石における磁壁運動と保磁力の相関	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-124 (2007/12) pp.31-36.	無	2007
3-3-5	坂元敏志、松下亨、早川一生、小林久理眞、佐川真人	静岡理 工科大 (インターメ タックス)	磁区構造観察による Dy フリーNd-Fe-B 系焼結磁石の磁化及び減磁過程の解析	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-125 (2007/12) pp.37-42.	無	2007
3-3-6	小林久理	静岡理	Dy フリーNd-Fe-B 系焼結	マグネティックス研究会	無	2007

	眞、松下亨、 早川一生、 高野隆之、 佐川真人	工科大 (インターメ リックス)	磁石の磁化及び減磁過程 の解析	会 ((社) 電気学会) MAG-07-126 (2007/12) pp.43-48.		
3-3-7	小林久理眞	静岡理 工科大	Nd-Fe-B 系高配向焼結磁石 の磁化及び減磁過程の拡 張イジング模型による理 論的解析	マグネティックス研究 会 ((社) 電気学会) MAG-07-128 (2007/12) pp.55-61.	無	2007

3. 招待講演、口頭発表等

(1) 招待講演等 3件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	国外 国内	発表年 月日
2-1-1	加藤宏朗	東北 大	Nd-Fe-B 磁石の Dy 省使用技術 開発 (招待講演)	第26回エレクトロセ ラミックスセミナー	国内	2007年 11月30 日
3-1-1	T. Ohkubo, W. F. Li, K. Hono, T. Hanada, T. Akiya, H. Kato	NIMS (東 北大)	SEM-FIB/TEM/3DAP multiscale structure analysis of sintered Nd-Fe-B magnet"	Int. Symp. "Future Prospects of Scanning Electron/He+ Ion Microscope for Nano-surface Analysis"	国内	2007年 11月26 日-29 日
3-1-2	大久保忠 勝, W.F. Li, 宝野和博	NIMS	SEM-FIB/TEM/3DAP によるマ ルチスケール組織解析	日本顕微鏡学会第33 回関東支部講演会, 東京	国内	2008年 3月7日

(2) 口頭発表 23件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	形式	発表年月日
1-3-1	M. Matsuura, S. Funaoi, R. Goto, N Tezuka, and S. Sugimoto	東北大	Crystalline Orientation and Magnetic Properties of Nd-Fe-B films	International Workshop on Nano-structured Materials & Magnetics	国外、ポ スター	2008年2月 11日
1-3-2	松浦昌志、佐 藤岳、加藤 元、嶋敏之、 手束展規、杉 本諭	東北大、 トヨタ、 東北学院 大	Nd ₂ Fe ₁₄ B/Nd 薄 膜における結 晶配向と磁気 特性	平成19年度若手希 土類研究者発表会	国内、ポ スター	2007年10月 11日
1-3-3	服部高史、西	東北大	Nd-Fe-B 系合	平成19年度若手希	国内、ポ	2007年10月

	尾翔太、松浦昌志、手束展規、杉本諭		金におけるNd-rich 相の濡れ性と組織	土類研究者発表会	スター	11 日
2-1-1 (2-2-1)	T. Akiya, H. Kato, M. Takeda, J. Suzuki, D. Yamaguchi, S. Koizumi, and K. Koyama	東北大 (JAEA)	Effect of magnetic field applied during annealing on the coercivity in sintered Nd-Fe-B magnets	International Conference on Magneto-Science (ICMS2007)	国外	2007年11月14日
2-1-2	秋屋貴博、加藤宏朗、小山佳一	東北大	Nd(Dy)-Fe-B系焼結磁石の熱処理時に印加した磁場と保磁力の関係	日本金属学会 2008 年春期 (第 142 回) 大会	国内、口頭	2008 年 3 月 27 日
3-1-1	大久保忠勝, Wanfeng Li, 宝野和博, 佐川真人	NIMS (インターメタリクス)	微細粒 Nd-Fe-B 焼結磁石のマルチスケール組織解析	第 31 回日本応用磁気学会学術講演会	国内、口頭	2007 年 9 月 11 日-14 日
3-1-2	大久保忠勝, Wanfeng Li, 宝野和博, 秋屋貴博, 加藤宏朗	NIMS (東北大)	Nd-Fe-B 系焼結磁石における Cu 添加の影響	日本金属学会 2007 年秋期(第 141 回) 大会	国内、口頭	2007 年 9 月 19 日-21 日
3-1-3	W. F. Li, T. Ohkubo, and K. Hono, M. Sagawa	NIMS (インターメタリクス)	Microstructure study on sintered NdFeB magnet with small grain size	日本金属学会 2007 年秋期(第 141 回) 大会	国内、口頭	2007 年 9 月 19 日 -21 日
3-3-1	小林久理眞、坂元敏志、松下亨、早川一生、佐川真人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	Nd-Fe-B 系焼結磁石における磁化反転時の磁区構造変化の観察	日本金属学会 2007 年春期 (第 140 回) 大会、シンポジウム S7「ナノ構造磁性体研究の最近の進展」、S7-23	国内、口頭	2008 年 3 月 28 日
3-3-2	榎智仁、広沢哲、小林	静岡理工科大	サブミクロン結晶 Nd-Fe-B	粉体粉末冶金協会 春期 (第 99 回) 大	国内、口頭	2007 年 6 月 6 日

	久理眞		系磁石の磁化過程及び磁区構造変化	会、1-13A		
3-3-3	坂元敏志、清水大輔、小林久理眞、早川一生、佐川眞人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	着磁によるNd ₂ Fe ₁₄ B系焼結磁石の磁区構造変化の異なる感度によるMFM観察結果	日本応用磁気学会 学術講演会(第31回)、14aG-9	国内、口頭	2007年9月14日
3-3-4	小林久理眞、高野隆之、松下亨、早川一生、佐川眞人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	調製法の異なるDyフリーNd-Fe-B系焼結磁石粒子着磁挙動の分類	日本金属学会秋期大会(第141回)、シンポジウムS5希少金属代替希土類磁石の開発を目指して、S5-2	国内、口頭	2007年9月19日
3-3-5	落合佑紀、早川一生、小林久理眞	静岡理工科大	熱処理条件の異なるSm ₂ Fe ₁₇ N ₃ /Zn焼結体の磁壁運動の直流磁化率測定による解析	文部科学省科学研究費補助金「希土類系物質のパノスコピック形態制御と高次機能設計」、若手研究発表会、P22	国内、ポスター	2007年10月11~12日
3-3-6	坂元敏志、松下亨、早川一生、小林久理眞、板倉賢、町田憲一	静岡理工科大	Tb熱拡散法により調製したNd-Fe-B系焼結磁石の磁区構造	文部科学省科学研究費補助金「希土類系物質のパノスコピック形態制御と高次機能設計」、若手研究発表会、P23	国内、ポスター	2007年10月11~12日
3-3-7	松下亨、早川一生、小林久理眞、佐川眞人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	微細結晶粒子径(<3μm)のNd-Fe-B系焼結磁石における磁化過程の解析	文部科学省科学研究費補助金「希土類系物質のパノスコピック形態制御と高次機能設計」、若手研究発表会、P24	国内、ポスター	2007年10月11~12日
3-3-8	小林久理眞、	静岡理工	微細結晶粒子	粉体粉末冶金協会	国内、口	2007年11月

	松下亨、坂元敏志、早川一生、佐川真人	科大 (インターメタリクス)	径 (<3 μ m) の Nd-Fe-B 系焼結磁石における磁化および減磁過程の解析	秋期 (第 100 回) 大会、3-26A	頭	20 日
3-3-9	小林久理眞、落合佑紀、早川一生、佐川真人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	直流磁化率測定を用いた結晶粒径の異なる NdFeB 系焼結磁石における磁化過程の解析	粉体粉末冶金協会 秋期 (第 100 回) 大会、3-27A、京都市芸繊維大学	国内、口頭	2007年11月20日
3-3-10	落合佑紀、早川一生、小林久理眞、増田宏、佐川真人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	調製条件の異なる Dy フリー Nd-Fe-B 焼結磁石における磁壁運動と保磁力の相関	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-124	国内、口頭	2007年12月6日
3-3-11	坂元敏志、松下亨、早川一生、小林久理眞、佐川真人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	磁区構造観察による Dy フリー Nd-Fe-B 系焼結磁石の磁化及び減磁過程の解析	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-125	国内、口頭	2007年12月6日
3-3-12	小林久理眞、松下亨、早川一生、高野隆之、佐川真人	静岡理工科大 (インターメタリクス)	Dy フリー Nd-Fe-B 系焼結磁石の磁化及び減磁過程の解析	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-126	国内、口頭	2007年12月6日
3-3-13	小林久理眞	静岡理工科大	Nd-Fe-B 系高配向焼結磁石の磁化及び減磁過程の拡張イジングモデルによる理論的解析	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-07-128	国内、口頭	2007年12月6日
3-1-14	松下亨、坂元	静岡理工	Tb 熱拡散法で	日本金属学会 2008	国内、口	2008年3月

	敏志、早川一生、小林久理眞、板倉賢、町田憲一	科大	調製したNdFeB系焼結磁石の磁区構造と磁化過程	年春期大会、175	頭	27日
3-1-15	落合佑紀、早川一生、小林久理眞、増田宏、佐川眞人	静岡理工科大 (インターメタリックス)	調整条件の異なるDyフリーNd-Fe-B焼結磁石における磁壁運動と保磁力	日本金属学会2008年春期大会、176	国内、口頭	2008年3月27日

4. その他（イベント出展、プレス発表等） 4件

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体	形式	発表年月日
1-2-1	佐川眞人	インターメタリックス	元素戦略／希少金属代替材料開発 第2回シンポジウム	代表的な研究紹介	口頭	2008年1月23日
1-3-1	杉本諭	東北大	レアメタル代替材料の開発動向と展望 V.希土類代替材料の開発と展望		口頭	2007年11月26日
1-3-2	杉本諭	東北大	元素戦略／希少金属代替材料開発 第2回シンポジウム	パネルディスカッション パネラー	口頭	2008年1月23日
1-3-3	杉本諭	東北大	NHK 教育テレビ「サイエンスZERO」 世界最強！日本の磁石研究 最前線	専門家ゲスト	口頭	2008年1月26日

平成20年度 成果発表リスト

1. 特許関連 1件

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1-2-1	インターメタ リック ス(株)、岩谷瓦 斯(株)	特願 2009-081034	国内	2009年 3月30 日	出願	希土類焼結磁 石製造方法	宇根康裕、佐川 真人、樋内新助、 岩田健次、長谷 川公司

2. 著書、論文

(1) 著書 1件

番号	発表者	所属	タイトル	書籍名、ページ番号	発表年
1-3-1 2-1-1 2-2-1	加藤宏朗、 杉本論(分 担執筆)	山形大 東北大	第3章第1節「希土類磁石 Sm-Co, Nd-Fe-B」	足立吟也 監修「希土類の材 料技術ハンドブック」pp. 141 ～pp. 156.	2008

(2) 論文 14件(内査読有 6件)

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査 読	発表年
1-2-1	M. Sagawa and Y. Une	インター メタ リック ス(株)	A new process for producing Nd-Fe-B sintered magnets with small grain size	Proceedings of 20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications, Edited by D. Niarchos, p.103 ~ 105.	無	2008
1-3-1	西尾翔太、後 藤龍太、松浦 昌志、手束展 規、杉本論	東北大	Nd-Fe-B 系合金における Nd ₂ Fe ₁₄ B 相と Nd-Rich 相 間の濡れ性	日本金属学会誌、72、 1010～1014.	有	2008
1-3-2	R. Goto, S. Nishio, M. Matsuura, N. Tezuka, and S. Sugimoto	東北大	Wettability and Interfacial Microstructure between Nd ₂ Fe ₁₄ B and Nd-rich Phases in Nd-Fe-B Alloys	IEEE Trans. Magn., 44、 4232～4234.	有	2008
1-3-3	T. Hattori, N. Fukamachi, R. Goto, N.	東北大	Microstructural evaluation of Nd-Fe-B strip cast alloys	Mater. Trans., 50、479 ～482.	有	2009

	Tezuka and S. Sugimoto					
1-3-4	S. Sugimoto	東北大	Towards high coercivity Dy-free Nd-Fe-B sintered magnets	Proceedings of 20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications, Edited by D. Niarchos, 106~110.	無	2008
1-3-5	R. Goto, S. Nishio, M. Matsuura, S. Sugimoto, and N. Tezuka	東北大	Influence of Dy addition on wettability between Nd ₂ Fe ₁₄ B and Nd-rich phases in Nd-Fe-B alloys	Proceedings of 20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications, Edited by D. Niarchos, 118~121.	無	2008
2-1-1	Hiroaki Kato, Takahiro Akiya, Kunihiro Koike, Keiichi Koyama, and Masato Sagawa	東北大 (山形大、インターメタリックス)	Coercivity enhancement induced by high-magnetic-field annealing in sintered Nd-Fe-B magnets	Proceedings of 20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications, Edited by D. Niarchos, p. 111- 113.	無	2008
2-1-2	Takahiro Akiya, Hiroaki Kato, Masato Sagawa and Keiichi Koyama	東北大 (インターメタリックス)	Enhancement of coercivity in Al and Cu added Nd-Fe-B sintered magnets by high field annealing	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1 , 012034.	有	2009
3-3-1	K. Kobayashi, Y. Ochiai, K. Hayakawa, and M. Sagawa	静岡理工科大 (インターメタリックス)	Relation between domain wall motion and coercivity in Nd-Fe-B sintered magnets prepared in various conditions	IOP Conf. Series: Material Science and Engineering, vol. 1 No.012035 (8 pages).	有	2009
3-3-2	K. Kobayashi, S. Sakamoto, T. Matsushita,	静岡理工科大 (インター	Magnetic reversal in groups of crystal grains in sintered Nd-Fe-B magnets	Proceedings of 20th International Workshop on Rare Earth Permanent	無	2008

	K. Hayakawa, M. Sagawa	メタリック ス)		Magnet and Their Applications, Edited by D. Niarchos, pp.138-143.		
3-3-3	松下亨、早川 一生、小林久 理眞、佐川眞 人	静岡理 工科大 (インター メタリック ス)	磁区構造観察による Dy フ リーNd-Fe-B 系焼結磁石の 磁化及び減磁過程の解析 (2)	マグネティックス研究 会 ((社) 電気学会) MAG-08-151 pp. 39-42.	無	2008
3-3-4	小林久理眞、 松下亨	静岡理 工科大	Nd-Fe-B 系焼結磁石内の粒 子集団における協同現象的 減磁挙動の準定量的解析方 法について	マグネティックス研究 会 ((社) 電気学会) MAG-08-152 pp.43-47.	無	2008
3-4-1	H. Moriya, H. Tsuchiura, and A. Sakuma	東北大	First-Principles Calculation of the Crystal Field Parameter near the Surfaces and Interfaces of Nd ₂ Fe ₁₄ B	Journal of Applied Physics, 105, 07A740-1 ~07A740-3.	有	2009
3-4-2	土浦宏紀、 梅 裕太、守谷浩 志、佐久間昭 正	東北大	第一原理計算ソフトウェア WIEN2K による磁気特性研 究の手引き	まぐね (日本磁気学会 誌) , 3 巻 ,pp.586 ~ pp.593.	無	2008

3. 招待講演、口頭発表等

(1) 招待講演等 11件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	国外 国内	発表年月 日
1-2-1	M. Sagawa	インター メタ リック ス (株)	A new process for producing Nd-Fe-B sintered magnets with small grain size (招待講演)	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外	2008年9 月6日
1-3-1	S. Sugimoto	東北大	Towards high coercivity Dy-free Nd-Fe-B sintered magnets (招待講演)	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外	2008年9 月9日

1-3-2	杉本諭	東北大	「希少金属代替材料開発プロジェクト」希土類磁石向けディスプレイウム使用料低減技術開発(基調講演)	日本金属学会 2009 年春期 (第 144 回) 大会 (東工大)	国内	2009 年 3 月 29 日
2-1-1	Hiroaki Kato, Takahiro Akiya, Keiichi Koyama	東北大	Coercivity Enhancement Induced by Magnetic Annealing in Sintered Nd-Fe-B Magnets (招待講演)	3rd International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP3)	国外	2008 年 5 月 16 日
2-1-2	Hiroaki Kato, Takahiro Akiya, Kunihiro Koike, Keiichi Koyama, and Masato Sagawa	東北大	Coercivity enhancement induced by high-magnetic-field annealing in sintered Nd-Fe-B magnets (招待講演)	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外	2008 年 9 月 9 日
2-1-3	加藤宏朗	東北大	中性子小角散乱による永久磁石材料のナノ構造解析と保磁力機構	日本磁気学会第 160 回研究会	国内	2008 年 5 月 16 日
2-1-4	加藤宏朗	東北大	日本磁気学会における永久磁石材料研究	第 3 回日本磁気科学会年次大会	国内	2008.10.2
2-1-5	加藤宏朗	東北大	希土類永久磁石開発の現状と応用	応用物理学会シンポジウム 「磁場発生技術の現状と応用 - 永久磁石から超強磁場まで - 」	国内	2009 年 3 月 31 日
2-2-1 (2-1-6)	加藤宏朗	山形大 (東北大)	Nd ₂ Fe ₁₄ B 永久磁石の開発動向	2008 年みちのく磁性 談話会	国内	2008 年 7 月 12 日
3-1-1	K. Hono, W.F. Li, T. Ohkubo	NIMS	Revisit to the microstructure of Nd-Fe-B sintered magnets at atomic resolution	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications	国外	2008 年 9 月 8-10 日

3-1-2	大久保忠勝, W.F. Li, 宝野和博	NIMS	Nd-Fe-B 磁石の保磁力と ナノ組織(基調講演)	日本金属学会 2008 年春期(第 144 回)大 会, 東京	国内	2009 年 3 月 28-30 日
-------	----------------------	------	-------------------------------	---------------------------------------	----	--------------------------

(2) 口頭発表 41件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	形式	発表年月日
1-2-1	佐川 真人	インター メタリッ クス (株)	NdFeB 系焼結磁石 の新製法	2008 BM 国際シン ポジウム	国内、 口頭	2008 年 12 月 5 日
1-3-1	R. Goto, S. Nishio, M. Matsuura, N. Tezuka, and S. Sugimoto	東北大	Wettability and interfacial microstructure between Nd ₂ Fe ₁₄ B and Nd-rich phases in Nd-Fe-B alloys	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG2008)	国外、 口頭	2008 年 5 月 8 日
1-3-2	R. Goto, S. Nishio, M. Matsuura, S. Sugimoto, and N. Tezuka	東北大	Influence of Dy addition on wettability between Nd ₂ Fe ₁₄ B and Nd-rich phases in Nd-Fe-B alloys	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外、 口頭	2008 年 9 月 8 日
1-3-3	松浦昌志、後 藤龍太、手束 展規、杉本諭	東北大	Nd-Fe-B / Nd 薄膜 における界面状態 と磁気特性	第 32 回 日本磁気学会 学術講演	国内、 口頭	2008 年 9 月 15 日
1-3-4	服部高史、手 束展規、杉本 諭	東北大	Nd-Fe-B 系ストリ ップキャスト材の 組織と HD 処理後 の粒度分布	第 143 回 日本金属学会	国内、 口頭	2008 年 9 月 25 日
1-3-5	西尾翔太、後 藤龍太、松浦 昌志、杉本 諭、手束展規	東北大	Nd-Fe-B 系合金に おける Nd ₂ Fe ₁₄ B 相と Nd-rich 相間 の濡れ性(第 3 報)	第 143 回 日本金属学 会、	国内、 口頭	2008 年 9 月 25 日
1-3-6	松浦昌志、後 藤龍太、手束 展規、杉本諭	東北大	Nd-Fe-B/Nd 薄膜の 酸化と保磁力	日本金属学会 2009 年 春期 (第 144 回) 大会	国内、 口頭	2009 年 3 月 29 日

1-3-7	服部高史、石原大輝、後藤龍太、手束展規、杉本諭、宇根康裕、佐川真人	東北大、 (インターメ リックス)	Nd-Fe-B 系ジェ ットミル粉末の組織	日本金属学会 2009 年 春期 (第 144 回) 大会	国内、 口頭	2009 年 3 月 29 日
2-1-1	Hiroaki Kato, Takahiro Akiya, and Keiichi Koyama	東北大	Field-induced coercivity enhancement phenomena in sintered Nd-Fe-B magnets	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 08)	国外、 口頭	2008 年 5 月 6 日
2-1-2	Takahiro Akiya, Hiroaki Kato, Masayasu Takeda, Jun'ichi Suzuki, Daisuke Yamaguchi, Masato Sagawa and Keiichi Koyama	東北大 (JAEA、 インターメタリ ックス)	Small angle neutron scattering study of interface nanostructure in sintered Nd-Fe-B magnets	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 08)	国外、 ポスタ ー	2008 年 5 月 6 日
2-1-3	Takahiro Akiya, Hiroaki Kato, Masayasu Takeda, Jun'ichi Suzuki, Daisuke Yamaguchi, Satoshi Koizumi, Masato Sagawa, and Keiichi	東北大 (JAEA、 インターメタリ ックス)	Small Angle Neutron Scattering Study of Interface Nanostructure in Sintered Nd-Fe-B Magnets	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外、 ポスタ ー	2008 年 9 月 9 日

	Koyama					
2-1-4	秋屋貴博、加藤宏朗、武田全康、鈴木淳市、山口大輔、小泉 智	東北大 (JAEA)	中性子小角散乱で見た Nd-Fe-B 系焼結磁石の微細構造と保磁力	日本金属学会 2008 年秋季大会	国内、口頭	2008 年 9 月 25 日
2-1-5	秋屋貴博、佐藤文隆、小山佳一、佐川真人、加藤宏朗	東北大 (インターナリックス)	Nd-Fe-B 系焼結磁石の強磁場中熱処理の研究	第 3 回日本磁気科学会年次大会	国内、口頭	2008 年 10 月 1 日
2-1-6	Takahiro Akiya, Hiroaki Kato, Keiichi Koyama	東北大	Field-Induced Coercivity Enhancement Phenomena in Sintered Nd-Dy-Fe-B Magnets	The IUMRS International Conference in Asia 2008(IUMRS-ICA 2008)	国内、口頭	2008 年 12 月 12 日
2-1-7	秋屋貴博、佐藤文隆、加藤宏朗、宇根康裕、佐川真人、小山佳一	東北大 (インターナリックス)	結晶粒径を微細化した Nd-Fe-B 系焼結磁石における強磁場中熱処理と保磁力	日本金属学会 2009 年春季大会	国内、口頭	2009 年 3 月 29 日
2-2-1	五十嵐 進、小池邦博、秋屋貴博、小川 大介、加藤宏朗	山形大	Rietveld 法によって評価した Nd-Fe-B 系スパッタ薄膜の結晶粒配向と磁気特性	日本金属学会 2008 年秋季大会	国内、口頭	2008 年 9 月 25 日
2-2-2	五十嵐 進、小池邦博、秋屋貴博、小川 大介、加藤宏朗	山形大	Nd-Fe-B/Ta スパッタ薄膜の結晶粒配向と磁気特性	第 63 回応用物理学会東北支部学術講演会	国内、口頭	2008 年 12 月 5 日
2-2-3	小池邦博、五十嵐 進、秋屋貴博、小川 大介、加藤宏朗	山形大	Nd ₂ Fe ₁₄ B スパッタ薄膜の結晶粒配向と磁気特性	日本金属学会 2009 年春季大会	国内、口頭	2009 年 3 月 29 日
2-3-1	日高徹也、石坂力、堀徹男	TDK (株)	Nd-Fe-B 系焼結磁石に及ぼす Dy 含有	日本金属学会 2009 春期大会	国内、口頭	2009 年 3 月

			微細合金粉添加の影響			28 日
3-1-1 (2-1-8)	T. Ohkubo, W.F. Li, T. Akiya, H. Kato, K. Hono	NIMS (東北 大)	The role of Cu addition in the coercivity enhancement of sintered Nd-Fe-B magnets	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 08)	国外、 口頭	2008 年 5 月 4-8 日
3-1-2	W.F. Li, T. Ohkubo, K. Hono	NIMS	Effect of heat treatment on the magnetic property and microstructure of sintered Nd-Fe-B magnets	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 08)	国外、 口頭	2008 年 5 月 4-8 日
3-1-3	W.F. Li, T. Ohkubo, K. Hono	NIMS	The effect of magnetic field annealing on the microstructure and coercivity of a (Nd,Dy)-Fe-B sintered magnet	第 32 回日本磁気学会学 術講演会	国内、 口頭	2008 年 9 月 12-15 日
3-1-4	W.F. Li, T. Ohkubo, K. Hono	NIMS	The origin of the coercivity decrease of fine grained Nd-Fe-B sintered magnets	日本金属学会 2008 年秋 期(第 143 回)大会	国内、 口頭	2008 年 9 月 23-25 日
3-1-5	K. Hono, W.F. Li, T. Ohkubo	NIMS	Microstructure and coercivity of Nd-Fe-B based permanent magnets	日本磁気学会第 163 回 研究会「ハード・ソフト 磁性材料における高性 能化とナノ組織制御技 術」	国内、 口頭	2008 年 12 月 4 日
3-1-6	W.F. Li, 大久 保忠勝, 長谷 直基, 宝野和 博	NIMS	(Nd,Dy)-Fe-B 焼結 磁石中の Dy の分布	日本金属学会 2008 年秋 期(第 144 回)大会	国内、 口頭	2008 年 3 月 28-30 日
3-2-1 (2-1-9)	武田全康、鈴 木淳市、山口 大輔、秋屋貴 弘、加藤宏	JAEA (東北 大、インター ナショナル)	Polarized Small-Angle Neutron Scattering Measurements of	International Workshop on Polarized Neutrons in Condensed Matter Investigations 2008.	国内、 口頭	2008 年 9 月 5 日

	朗、佐川眞人、小山圭一		Averaged Internal Structures in Nd-Fe- ¹¹ B Sintered Magnets			
3-2-2	武田全康	JAEA	中性子小角散乱法で見る Nd-Fe-B 焼結磁石の平均内部構造	材料構造解析研究会「小角散乱法によるハードマターの微細組織解析」分科会 公開研究会	国内、口頭	2008年10月7日
3-2-3	武田全康、鈴木淳市、山口大輔、秋屋貴博、加藤宏朗、佐川眞人	JAEA (東北大、インターナリックス)	中性子小角散乱法で見た Nd-Fe-B 焼結磁石の内部平均構造と保磁力の相関	日本金属学会 2009 年度春期大会	国内、口頭	2009年3月29日
3-3-1	K. Kobayashi, S. Sakamoto, T. Matsushita, K. Hayakawa, M. Sagawa	静岡理工科大 (インターナリックス)	Magnetic reversal in groups of crystal grains in sintered Nd-Fe-B magnets	20th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnet and Their Applications (REPM'08)	国外、口頭	2008年9月9日
3-3-2	K. Kobayashi, T. Matsushita, S. Sakamoto, K. Hayakawa, M. Sagawa	静岡理工科大 (インターナリックス)	Domain wall motion in incompletely magnetized and partially demagnetized regions in the Dy-free Nd-Fe-B sintered magnets	FM01, Joint European Magnetic Symposia, Dublin	国外、口頭	2008年9月16日
3-3-3	K. Kobayashi, Y. Ochiai, K. Hayakawa, M. Sagawa	静岡理工科大 (インターナリックス)	Relation between domain wall motion and coercivity in Nd-Fe-B sintered magnets prepared in various conditions	The IUMRS International Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008)	国内、口頭	2008年12月4日
3-3-4	松下亨、早川一生、小林久理眞、佐川眞人	静岡理工科大 (インターナリックス)	磁区構造観察による Dy フリー Nd-Fe-B 系焼結磁石の磁化及び減磁過程の解析 (2)	マグネティックス研究会 ((社) 電気学会) MAG-08-151	国内、口頭	2008年12月4日
3-3-5	小林久理眞、	静岡理工	Nd-Fe-B 系焼結磁	マグネティックス研究	国内、	2008

	松下亨	科大	石内の粒子集団における協同現象的減磁挙動の準定量的解析方法について	会 ((社) 電気学会) MAG-08-152	口頭	年 12 月 4 日
3-3-6	小林久理眞、 松下亨	静岡理工 科大	Nd-Fe-B 系焼結磁石における結晶粒子集団の協同現象的磁化反転機構の解析	日本金属学会第 144 回 (春期) 大会、シンポジウム S 3 「Dy 低減高保磁力 Nd-Fe-B 系磁石を目指して」、S3-10	国内、 口頭	2009 年 3 月 29 日
3-3-7	松下亨、早川 一生、小林久 理眞、佐川眞 人	静岡理工 科大 (インターナ リクス)	磁区構造観察による Nd-Fe-B 系焼結磁石の保磁力発現機構の解析	日本金属学会第 144 回 (春期) 大会、238	国内、 口頭	2009 年 3 月 30 日
3-3-8	伊奈照高、早 川一生、小林 久理眞	静岡理工 科大	微小な Nd-Fe-B 系焼結磁石粒子の磁化測定	日本金属学会第 144 回 (春期) 大会、239	国内、 口頭	2009 年 3 月 30 日
3-4-1	榎裕太、土浦 宏紀、佐久間 昭正	東北大	Nd ₂ Fe ₁₄ B/ α -Fe 交換スプリング磁石の界面近傍における磁気特性の第一原理計算	第 32 回日本磁気学会学 術講演会	国内、 口頭	2008 年 9 月 15 日
3-4-2	H. Moriya, H. Tsuchiura and A. Sakuma	東北大	First-Principles Calculation of the Crystal Field Parameter near the Surfaces and Interfaces of Nd ₂ Fe ₁₄ B	MMM 53rd Magnetism and Magnetic Materials Conference	国外、 口頭	2008 年 11 月 12 日
3-4-3	守谷浩志、土 浦宏紀、佐久 間昭正	東北大	Nd ₂ Fe ₁₄ B における結晶場パラメータの第一原理的評価	応用物理学会東北支部 第 63 回学術講演会	国内、 口頭	2008 年 12 月 5 日
3-4-4	H. Moriya, H. Tsuchiura, and A. Sakuma	東北大	First-principles calculation of crystal field parameters of Nd ions around the surface/interface of Nd ₂ Fe ₁₄ B	文部科学省スーパーコ ンピュータプロジェクト「次世代ナノ情報・材 料グループ」成果報告会	国内、 口頭	2008 年 12 月 11 日
3-4-5	土浦宏紀、榎	東北大	NdFeB 磁石の界面	日本金属学会学 2009 年	国内、	2009

	裕太、守谷浩志、佐久間昭正		における結晶場の第一原理的評価	春季大会	口頭	年3月29日
--	---------------	--	-----------------	------	----	--------

4. その他（イベント出展、プレス発表等） 4件

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体	形式	発表年月日
PJ-all	PJ all members	All	NanoTECH2009		ポスター	2009年2月18-20日
1-3-1	杉本諭、後藤龍太	東北大		環境・エネルギー材料研究展 ポスターセッション	ポスター	2008年5月30日
1-3-2	杉本諭	東北大	元素戦略／希少金属代替材料開発プロジェクト成果報告	元素戦略／希少金属代替材料開発 第3回シンポジウム	口頭	2009年1月27日
3-3-1	小林久理眞	静岡理工科大	レアメタル争奪戦	静岡新聞	プレス発表	2008年6月1日-29日、毎日曜日連載

平成21年度 成果発表リスト

1. 特許関連 0件

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
	なし						

2. 著書、論文

(1) 著書 0件

番号	発表者	所属	タイトル	書籍名、ページ番号	発表年
	なし				

(2) 論文 5件 (内査読有 5件)

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1-3-1	M. Matsuura, S. Sugimoto, R. Goto and N. Tezuka	東北 大	Interfacial state and magnetic properties of Nd-Fe-B / Nd thin films	J. Appl. Phys., 105, 07A741.	有	2009
1-3-2	S. Nishio, S. Sugimoto, R. Goto, M. Matsuura, and N. Tezuka	東北 大	Effect of Cu addition on the phase equilibria in Nd-Fe-B sintered magnets	Mater. Trans., 50, 723 ~726.	有	2009
3-1-1	W. F. Li, T. Ohkubo, T. Akiya, H. Kato and K. Hono	NIMS (東北 大)	The role of Cu addition in the coercivity enhancement of sintered Nd-Fe-B permanent magnets	J. Mater. Res., 24, 413-420.	有	2009
3-1-2	W. F. Li, T. Ohkubo, K. Hono and M. Sagawa	NIMS (インタ ーメタリッ クス)	The origin of coercivity decrease in fine grained Nd-Fe-B sintered magnets	J. Mag. Mag. Mater., 321, 1100-1105.	有	2009
3-1-3	W. F. Li, T. Ohkubo and K. Hono	NIMS	Effect of post-sinter annealing on the coercivity and microstructure of Nd-Fe-B permanent magnets	Acta Mater., 57, 1337-1346.	有	2009

3. 招待講演、口頭発表等

(1) 招待講演等 0件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	国外 国内	発表年 月日
	なし					

(2) 口頭発表 0件

番号	発表者	所属	タイトル	発表学会名称等	形式	発表年 月日
	なし					

4. その他（イベント出展、プレス発表等） 0件

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体	形式	発表年 月日
	なし					

④超硬工具向けタングステン使用量低減技術開発

V. 成果資料

(特許、論文リスト)

【特許：4件】

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(独)産総研/ 住友電気工業(株)				出願/未公開		
2	住友電気工業(株)				出願/未公開		
3	(独)産総研/ 住友電気工業(株)				出願/未公開		
4	住友電気工業(株)				出願/未公開		

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文：4件】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	小林慶三	産総研	タングステン低減プロジェクト	工業レアメタル No.124, 16-17(2008)	無	2008
2	小林慶三	産総研	超硬工具におけるタングステン使用量低減技術開発	表面科学, Vol.29, No.601-606(2008)	無	2008
3	K. Ogura, S. Kotake, Y. Suzuki	三重大学	Evaluation of Quench Hardening in Steel from Three-Dimensional Magnetic Flux Vectors	Trans. Mater. Res. Soc. Jap, 34-1, 73-76 (2009)	有	2009
4	小林慶三, 尾崎公洋, 多田周二, 中山博行	産総研	MA-PCS 法による WC-TiC 系硬質材料の作製	粉体および粉末冶金, Vol.56, No.8(2009)	有	2009

【外部発表 (プレス) : 1件】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年
1	小林慶三	産総研	産総研の新研究戦略レアメタル	日刊工業新聞, 2008, 10.6	2008

【外部発表（学会・口頭）：21件】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年
1	小林慶三, 尾崎公洋, 森口秀樹, 池ヶ谷明彦	産総研/ 住友電工	超硬工具向けタングステン使用 量低減技術開発	元素戦略／希少金属代替材料 開発第2回シンポジウム	2008
2	小林慶三, 尾崎公洋, 多田周二, 中山博行	産総研	MA-PCS法で作製したWC-TiC硬 質材料の特性	粉体粉末冶金協会 平成20年度 秋季講演大会	2008
3	中山博行, 小林慶三, 三上祐史, 多田周二, 尾崎公洋	産総研	TiC-Fe-Al サーメット合金の熱伝 導率におよぼす TiB ₂ 添加の影響	粉体粉末冶金協会 平成20年度 秋季講演大会	2008
4	友澤方成, 尾崎公洋, 小林慶三	産総研	パルス通電焼結法による Al ₂ O ₃ 添加 B ₄ C の固化成形	粉体粉末冶金協会 平成20年度 秋季講演大会	2008
5	小林慶三	産総研	タングステンの需給と代替材料技 術の動向	第72回 CSTC フォーラム	2008
6	小林慶三, 尾崎公洋, 森口秀樹, 池ヶ谷明彦	産総研/ 住友電工	超硬工具向けタングステン使用 量低減技術開発	元素戦略／希少金属代替材料 開発第3回シンポジウム	2009
7	小林慶三, 尾崎公洋, 三上祐史, 森口秀樹, 池ヶ谷明彦	産総研/ 住友電工	超硬工具向けタングステン使用 量低減技術開発	Nano tech 2009	2009
8	多田周二, 尾崎公洋, 中山博行, 小林慶三	産総研	TiB ₂ -FeAl サーメット合金の機械 的性質に及ぼす FeAl 量の影響	日本金属学会 2009年春期大会	2009
9	K. Ogura, S. Kotake, Y. Suzuki	三重大学	Evaluation of Quench Hardening in Steel from Three-Dimensional Magnetic Flux Vectors	IUMRS International Conference in Asia 2008	2008
10	岡本 壮平, 小竹茂夫, 鈴木泰之	三重大学	超硬工具加工面の3次元残留磁 化測定	日本機械学会 2008年度年次大 会	2008
11	桑鶴 貞雄, 塚原 修一, 東 浄 沢間, 小竹茂夫, 鈴木泰之	三重大学	3次元残留磁化によるプロセスト ライボロジー特性の評価	日本機械学会 2008年度年次大 会	2008
12	小竹茂夫, 関澤克哉, 長谷浩一, 鈴木泰之	三重大学	残留磁化ベクトルから見た静的・ 動的破壊現象	日本機会学会 M&M2008 材料力 学カンファレンス	2008
13	岡本 壮平, 中西 栄徳, 小竹茂夫, 鈴木泰之, 牧清二郎	三重大学	残留磁化測定による超硬工具表 面の切削応力分布の評価	日本機械学会 東海支部 第58 期講演会	2009

14	桑鶴貞雄, 小竹茂夫, 鈴木泰之	三重大学	回転交流消磁後の残留磁化による塑性変形後の残留応力分布測定	日本機械学会 東海支部 第58期講演会	2009
15	尾崎公洋	産総研	超硬工具におけるタングステンおよびコバルトの省使用化技術	第21回最新科学機器展 代替材料フォーラム	2009
16	小林慶三	産総研	超硬工具用省タングステン材料プロセス技術	学振 先進セラミックス第124委員会	2009
17	中山博行, 小林慶三, 尾崎公洋, 多田周二, 三上祐史	産総研	パルス通電焼結で作製した TiB ₂ 添加 TiC / Fe-Al サーメットの特性	粉体粉末冶金協会 平成21年度春季大会	2009
18	森口秀樹	住友電工	超硬工具用タングステン使用量低減技術の開発	学振 先進セラミックス第124委員会	2009
19	宮永美紀, 田林大二, 瀬戸山誠, 森口秀樹	住友電工	硬質材料の効率的組成探索手法の検討	粉体粉末冶金協会 平成21年度春季大会	2009
20	石田友幸, 広瀬和弘, 森口秀樹, 池ヶ谷明彦	住友電工	超硬合金とサーメットの材料特性の基礎検討	粉体粉末冶金協会 平成21年度春季大会	2009
21	小竹茂夫, 桑鶴貞雄, 鈴木泰之	三重大学	強磁性金属の塑性変形による自発磁化	日本塑性加工学会 2009年度春期講演会	2009

⑤超硬工具向けタングステン代替材料開発

V. 成果資料

(特許、論文等リスト)

1. 特許：4件

番号	出願日(年)	特許出願の状況	出願人
1	平成20年	出願済み、未公開	富士ダイス(株)
2	平成20年	出願済み、未公開	(財)ファインセラミックスセンター、(株)タンガロイ
3	平成21年	出願済み、未公開	(株)タンガロイ
4	平成21年	出願済み、未公開	(株)タンガロイ

2. 論文：2件

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	平成21年3月20日	セラミックス(日本セラミックス協会)	超硬工具向けタングステン代替材料のためのサーメット・コーティング技術の開発	松原秀彰
2	平成21年5月25日	17 th Plansee Seminar 2009 Proceedings (Plansee Group)	Microstructure and Properties of Cermets Prepared from (Ti,W or Mo,Nb)(C,N) Carbonitride Solid Solution Powders	K.Tamura, K.Kitamura, Y.Taniguchi, H.Nomura, H.Matsubara and K.Hayashi

3. 研究発表・講演(口頭発表も含む)：20件

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	平成20年5月27日	社団法人粉体粉末冶金協会 平成20年度春季大会	サーメットの焼結および組織発展のMCシミュレーション	野村 浩
2	平成20年11月6日	社団法人粉体粉末冶金協会 平成20年度秋季大会	炭窒化物固溶体粉末を用いたサーメットの組織と性質	松原 秀彰
3	平成20年11月6日	社団法人粉体粉末冶金協会 平成20年度秋季大会	液相存在下の焼結・粒成長における組織形成過程のシミュレーション解析	野村 浩
4	平成20年11月6日	社団法人粉体粉末冶金協会 平成20年度秋季大会	(Ti,W,Nb)および(Ti,Mo,Nb)炭窒化物固溶体粉を用いたサーメットの組織と性質	田村圭太郎
5	平成20年11月6日	社団法人粉体粉末冶金協会 平成20年度秋季大会	サーメットの焼結割れに及ぼす諸因子の影響	庄司 隆行

6	平成20年11月6日	粉末粉末冶金協会平成20年度秋季大会九州大学	複合固溶体炭窒化チタン基サーメットの透過電子顕微鏡観察	趙星彪、加藤清隆、下島康嗣、松本章宏
7	平成20年11月16 ~18日	Proceeding of 14 th International Metallurgy & Materials Congress, PP. 921-928, Istanbul, Turkey	High-speed and low temperature synthesis of α -Al ₂ O ₃ films by laser chemical vapor deposition for cutting tools	Takashi Goto, Hokuto Kadokura and Teiichi Kimura
8	平成20年9月17日 ~19日	日本セラミックス協会第21回秋季シンポジウム 北九州国際会議場、口頭発表	半導体レーザーを用いたCVD法による α -Al ₂ O ₃ 膜の低温合成	尤玉、塗 溶、後藤 孝
9	平成20年9月17日 ~19日	日本セラミックス協会第21回秋季シンポジウム 北九州国際会議場、口頭発表	Microstructure and preferred orientation of TiN _x films by laser chemical vapor deposition	Yansheng Gong, Rong Tu and Takashi Goto
10	平成20年11月5日 ~ 7日	粉体粉末冶金協会平成20年度秋季大会(第102回講演大会) 九州大学、口頭発表	Preferred orientation and composition of TiN _x films prepared by laser CVD	Yansheng Gong, Rong Tu and Takashi Goto
11	平成20年11月14 ~17日	The 1st International Symposium on Advanced Synthesis and Processing Technology for Materials (ASPT08) Wuhan, China、口頭発表	microstructure of titanium nitride films prepared by laser CVD	Yansheng Gong, Rong Tu and Takashi Goto
12	平成21年1 月8 日~9 日	第47 回セラミックス基礎科学討論会 大阪市、口頭発表	High-speed deposition and orientation control of TiN _x films by laser CVD	Yansheng Gong, Rong Tu and Takashi Goto
13	平成21年1 月8 日~9 日	第47 回セラミックス基礎科学討論会 大阪市、口頭発表	Microstructure and preferred orientation of α -Al ₂ O ₃ films fabricated by a semiconductor laser enhanced chemical vapour deposition	Yu You, Rong Tu and Takashi Goto
14	平成21年3月16日 ~18日	日本セラミックス協会2009年年会、東京理科大学 口頭発表	Preparation of titanium carbide films by laser chemical vapor deposition	Yansheng Gong, Rong Tu, Takashi Goto
15	平成21年3月16日 ~18日	日本セラミックス協会2009年年会、東京理科大学、口頭発表	レーザーCVD法による α -Al ₂ O ₃ の高速合成	尤玉、塗溶、後藤孝
16	平成21年4月28日	先進セラミックス第124委員会 第131回、東北大学、口頭発表	超硬工具用タングステン代替材料の設計	松原秀彰
17	平成21年4月28日	先進セラミックス第124委員会 第131回、東北大学、口頭発表	複合固溶体炭窒化チタン基サーメットの透過電子顕微鏡観察	松本章宏

18	平成21年4月28日	先進セラミックス第124委員会 第131回、東北大学、口頭発表	(Ti,W,Nb)および(To,Mo,Nb)炭窒化物固溶体粉を用いたサーメットの組織と性質	田村圭太郎
19	平成21年4月28日	先進セラミックス第124委員会 第131回、東北大学、口頭発表	Ti(C,N)基サーメットの焼結割れの原因解明と防止対策	佐々木章
20	平成21年4月28日	先進セラミックス第124委員会 第131回、東北大学、口頭発表	レーザーCVD法による α -Al ₂ O ₃ コーティングの低温合成	後藤孝

4. 新聞・雑誌等への掲載：1件

FocusNEDO spring 2009 31 Vol.8 No.3

「希少金属に頼らない新しい切削工具を求めて」

5. 展示会への出展：3件

番号	出展年月日	媒体	場所
1	平成20年1月23日(水)	元素戦略／希少金属代替材料開発・第2回シンポジウム)	東京大学 武田先端知ビル5階 武田ホール
2	平成21年1月27日(火)	元素戦略／希少金属代替材料開発・第3回シンポジウム	東京大学 安田講堂
3	平成21年2月18～20日	nano tech 2009	東京ビッグサイト