

研究開発課題の事後評価結果  
(案)

【元素戦略プロジェクト<産学官連携型>】

平成19年度採択課題

平年 25 年 1 月

## 元素戦略プロジェクト〈産学官連携型〉事後評価検討会 構成員名簿

氏名 所属・職名

主査 村井 眞二 奈良先端科学技術大学院大学 理事・副学長

射場 英紀 トヨタ自動車株式会社 電池研究部 部長

瀬戸山 亨 株式会社三菱化学科学技術研究センター 無機材料研究所長

高尾 正敏 大阪大学大学院基礎工学研究科 特任教授

玉尾 皓平 独立行政法人理化学研究所 基幹研究所 所長

新原 皓一 長岡科学技術大学 学長

(委員は 50 音順)

## 元素戦略プロジェクト<産学官連携型> 平成19年度採択課題

- ・亜鉛に替わる溶融Al合金系めっきによる表面処理鋼板の開発(東京工業大学) .....3
- ・アルミ陽極酸化膜を用いた次世代不揮発性メモリの開発(物質・材料研究機構) .....6
- ・サブナノ格子物質中における水素が誘起する新機能(東北大学) .....9
- ・脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘(原子力研究開発機構) .....12
- ・圧電フロンティア開拓のためのバリウム系新規巨大圧電材料の創生(山梨大学) .....15
- ・ITO代替としての二酸化チタン系透明導電極材料の開発(神奈川科学技術アカデミー) .....18
- ・低希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発(日立金属) .....21

# 「亜鉛に替わる溶融 Al 合金めっきによる表面処理鋼板の開発」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

溶融亜鉛 (Zn) 及び亜鉛合金めっきによる表面処理鋼板は、高機能性や高生産性の点でわが国の鉄鋼業が世界をリードする製品である。しかしながら、大量に使用されている亜鉛は豊富な資源ではなく (クラーク数 0.004% で銅 (Cu) やニッケル (Ni) の半分以下、可採年数 : 23 年)、いずれその代替が必要とされる。本プロジェクトは、豊富で無害なアルミニウム (Al) 系合金を用いた溶融めっきにより亜鉛系めっきに匹敵する耐食性と犠牲防食性を得ること、今後の需要拡大が予想される高張力鋼に溶融めっきを適用すること、現用のめっきプロセスを大幅に変更しない生産プロセスを開発することを目標としている。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

機能性、生産性で世界をリードするわが国の亜鉛系表面処理鋼板の技術を大幅に変更することなく Al 合金系めっきに替えることは、亜鉛需給のひっ迫の懸念だけでなく、亜鉛系で危惧される高張力鋼の水素脆化を回避でき、また、自動車等のさらなる軽量化のために多用されるであろう Al との混用を広げられる技術である。近い将来に要求される本技術の実用化のために本事業の必要性は高い。

### 【有効性】

本事業で開発する表面処理技術は、自動車用鋼板に限らず広く高張力鋼の表面処理に適用可能であり、めっきと熱処理の同時施工による生産プロセスの簡素化とエネルギーの高効率化を合わせて推進できると期待される。

### 【効率性】

コアとなる大学 4 研究室と企業研究者との連携により、産業化・実用化における問題点を見極めた効率的な研究開発が可能となる。加えて、進捗や計画について専門家からなるアドバイザリーボードからの意見を聞くこととしており、また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター (PD)、プログラムオフィサー (PO) として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取ることとしている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	64.2	56.8	47.0	32.9	34.0	234.9
内訳 (間接経費含)	東工大 60.3 東北大 3.9	東工大 45.8 東北大 3.9 物材機構 2.6 JFE スチール 4.5	東工大 35.0 東北大 4.0 物材機構 4.0 JFE スチール 4.0	東工大 23.9 東北大 3.0 物材機構 3.0 JFE スチール 3.0	東工大 22.5 東北大 0.5 物材機構 7.3 JFE スチール 3.7	東工大 187.5 東北大 15.3 物材機構 17.3 JFE スチール 15.2

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 水流 徹

研究機関: 東京工業大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
① 耐食性と犠牲防食特性に優れた Al 系合金の開発	東京工業大学	◎水流 徹
② 鋼材の組織と強度の評価	東北大学 物質・材料研究機構	○小林 覚(H19~H23) ○小林 覚(H23)
③ Al 系合金の犠牲防食性に関する電気化学的評価	物質・材料研究機構	○片山 英樹(H20~H23)
④ Al-Mg 合金めっき鋼板の耐食性評価	JFE スチール株式会社	○藤田 栄(H20~H23)

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 亜鉛に替わる溶融 Al 合金系めっきによる表面処理鋼板の開発

### 2. 評価結果

#### (1) 課題の進捗状況

亜鉛に替わるアルミニウム合金めっき鋼板の開発という、産業上も極めて明快な目標を有する課題に対して、大学中心の体制としては十分な研究成果を得ることができた。Al-Mg-Si 系めっきの組成最適化を図り亜鉛系と同等またはそれ以上の耐食性、犠牲防食性を確認している。また高張力鋼板に適用する際に懸念となる水素脆性を抑制できることを確認している。機械特性に関して、めっき層、金属間化合物層が薄いほど沿面割れが起こり難い、金属間化合物は脆いが亜鉛めっきに較べて開発めっき組成の方が金属間化合物の剪断破断応力が大きいことなどを明らかにした。金属間化合物層の厚さを  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  以下にする必要があることを提案し、実験条件を確立できた。一方、耐食性の評価は十分ではなかった。

中間評価指摘事項については、企業の協力により高張力鋼、炭素鋼などへのめっきを実行した。参画企業との連名分も含め特許を 3 件出願し、論文も 10 件発表した。

#### (2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

PD、PO の助言の下、アルミニウム系の新しい表面処理物質の創製と被覆技術の開発に成功し、その基本原理が得られており、その意味で独創性は高い。

一方で、実用化に向けた取組については、現時点では明瞭でない。今後、高張力鋼板のような高級な基板材料だけでなく世界生産を見据えた低品位な鋼板を用いた場合にも、どの程度めっきを施すことにより耐食性を高めることができるかが重要あるが、その視点は十分でない。

#### (3) 今後の展望

実用化の展開については、具体的な民間企業と技術導入の可能性を、対象材料、プロセス技術、利用技術などの広範囲な課題に渡って個別に議論しなければならない。その際に、大学や公的研究機関と民間企業の連携における役割分担の調整に十分な時間をかける必要がある。

# 「アルミ陽極酸化膜を用いた次世代不揮発性メモリの開発」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

次世代のユニバーサルメモリとして期待されている在来の ReRAM (Resistance Random Access Memory : 抵抗変化型メモリ) は、プラセオジウム (Pr) や白金 (Pt) 等の希少元素を使用するうえ、基本的な動作原理が解明されていないことが実用化における大きな課題となっている。本プロジェクトは、ユビキタス元素であるアルミニウム (Al) を陽極酸化して得られたナノ構造を持つアルミナを用いて次世代メモリ ReRAM の動作原理を解明すること、及び AAA-ReRAM (Anodic Aluminum Amorphous oxide ReRAM) の開発を最終目標としている。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

アルミニウムを用いた抵抗変化型メモリ(ReRAM)の開発は、希少資源を主要部に用いない点で元素戦略的に意義があるうえ、フラッシュメモリの性能を越える次世代メモリの開発は、我が国メモリ業界の復権につながる課題であり、その必要性は高い。

### 【有効性】

高集積化に適した自己組織化ナノ構造は、集積メモリに有効であるばかりでなく、高速性を活かしたワーキングメモリへの転用により、永年の懸案であったレジスタ領域の不揮発性化が可能になり、データ保持性の向上と省電力化に有効である。本事業で動作原理が解明されれば、これを他の ReRAM に水平展開することにより、酸化物エレクトロニクスにおける酸素欠陥の有効性が実証できる。

### 【効率性】

特異な酸素欠陥の電子準位を利用する独創的技術開発を進める国研と、メモリ集積化の知見を有するエンジニアリング会社が連携することにより、効率的な研究開発が可能となる。また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター(PD)、プログラムオフィサー(PO)として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取ることとしている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	62.0	98.5	61.0	30.5	20.0	272.0
内訳 (間接経費含)	物材機構 46.0 日本 GIT 16.0	物材機構 66.5 日本 GIT 32.0	物材機構 45.0 日本 GIT 16.0	物材機構 21.5 日本 GIT 9.0	物材機構 20.0	物材機構 199.0 日本 GIT 73.0

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 木戸 義勇

研究機関: 物質・材料研究機構

業務項目	担当機関等	研究担当者
① アルミ陽極酸化膜と ReRAM に関する研究	物質・材料研究機構	◎木戸 義勇
② 集積メモリ製造技術に関するエンジニアリング	株式会社日本 GIT	○中野 嘉博(H19~H22)

◎課題代表者、○サブテーマ代表者



# 事後評価票

1. 課題名 アルミ陽極酸化膜を用いた次世代不揮発性メモリの開発

## 2. 評価結果

### (1) 課題の進捗状況

本プロジェクトの根幹をなす AAA-ReRAM の基本的な動作原理に関して、酸素空孔バンドモデルを精密な熱刺激電流測定によって立証することに成功した。メモリの動作については、動作箇所の確認、ON/OFF 動作起源の特定、動作速度など目標を達成している。集積メモリ製造の基板技術については、整列ナノホール作成を適用した製造方法を適用し、一応の成功を収めている。また、メモリの試作について研究実施機関内で完成させたことは評価できる。

プロセス上の課題解決に関し、中間評価で指摘された実用化の道筋の明確化について、プログラマブルデバイスへの組み込みを目指すこととしており、こちらの課題について引き続き研究の継続が望まれる。中間評価で指摘された論文発表については、特許出願を一通り完了した時点で4件発表した。

### (2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

スイッチング機能を活かした新規メモリ材料向けに、酸化アルミニウムを素材とした開発に取り組むことの独創性を高く評価する。とりわけ、初期フォーミングが不要な抵抗変化メモリの可能性が示されたことは特筆に値する。基礎物理に基づいて材料を設計し、素材機能を得ただけでなく、自らの努力でデバイス化をした際の性能評価にまで到達した。

### (3) 今後の展望

産業界の国際的かつスピーディーな事業再編に追随するためには、より普遍的で際立ったインパクトが必要である。もの作りの立場での継続研究が必要であり、関係企業を巻き込んだ更なる努力が必要である。今回の成果について実用化の展開を図り、我が国への利益として還元する上で、行政側が実施機関との対話を通じて、次のステップへの移行を主導する必要がある。

# 「サブナノ格子物質中における水素が誘起する新機能」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

近年、水素が水素原子の形で材料のサブナノ格子に侵入して結晶構造や組織を変化させるという特性を活用して、水素原子を積極的に利用しようとする技術が注目されている。本プロジェクトは、Al、Cu、Ag、Au、Ti 系合金などの材料において、水素が果たすナノ加工プロセス機能を解明して材料特性の向上を目指すこと、各種材料中への水素原子導入により誘起される新しい機能発現を追求して、実用材料への適用可能性を検討することを目標としている。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

クリーンな水素を利用する水素社会が実現すれば、水素は我々の日常の生活で用意に入手可能となり、身近なものとなる。しかし、水素が材料中で発揮する機能について、未だ十分に解明されていないのが現状である。本事業は、来る水素社会に向けて水素の活用方法を切り拓く事業であり、その必要性は高い。

### 【有効性】

本プロジェクトを通じて、Cu 基導電材料やチタン系構造材料の特性向上、非接触・無指向性の応力センサーの開発、CuPd 系の安価なナノ触媒の開発などが期待される。

### 【効率性】

大学における水素に関する基礎科学の研究結果が円滑に実用化・製品化されるように、各研究・開発グループには企業アドバイザーが配置され、産学の緊密な連携が図られることにより、効率的な研究開発が可能となる。また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター(PD)、プログラムオフィサー(PO)として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取ることとしている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	50.9	47.1	42.0	29.4	30.0	199.4
内訳 (間接経費含)	東北大 23.0 九大 9.4 岩手大 9.4 福山大 9.1	東北大 24.6 九大 0.2 北大 7.3 岩手大 7.5 福山大 7.5	東北大 21.0 北大 7.0 岩手大 7.0 福山大 7.0	東北大 14.7 北大 5.9 岩手大 3.9 福山大 4.9	東北大 15.0 北大 6.0 岩手大 4.0 福山大 5.0	東北大 98.3 九大 9.6 北大 26.2 岩手大 31.8 福山大 33.5

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 岡田 益男

研究機関: 東北大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
① Al、Cu 基合金のナノ結晶粒化と特性の向上	東北大学	◎岡田 益男
② 水素処理によるチタン系合金の超微細組織化と超塑性	福山大学	○中東 潤
③ 水素吸放出による光学特性変化を利用した窓用材料の開発	岩手大学	○山口 明
④ 金属ナノ粒子における水素誘起高機能発現	九州大学 北海道大学	○山内 美穂(H19~H20) ○山内 美穂(H20~H23)

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 サブナノ格子物質中における水素が誘起する新機能

2. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

水素戦略とも言うべき課題群の目標設定を、開始時から実用化の観点に基づいたブレークダウンで行ってきているため、得られた研究成果の今後の展開が明瞭である。Al、Cu 基合金における水素熱処理によるナノ結晶粒化と特性の向上に関して、Cu-Ti 合金において現行の Cu-Be 合金に匹敵する強度と電気伝導度を得ている。Ti-V-Al 合金における水素熱処理による超塑性に関して、世界記録である 10,900%の伸びを達成している。水素吸放出による光学特性変化を利用した窓用材料の開発に関して、電場印加のみで光透過率を変化させることに成功し、試作には至らなかったが概ね目標を達成している。メタ磁性材料における水素導入による磁歪・応力センシング機能応用に関して、La(Fe, Si)<sub>13</sub> 化合物の巨大磁気体積効果から圧力センサーを試作している。金属ナノ粒子における水素誘起高機能発現に関して、CuPd ナノ粒子を規則合金化させアンモニア合成触媒作用を見出している。

以上から、水素元素が有するナノ加工プロセス機能、材料中における水素元素固溶誘起高機能発現ともに目標をほぼ達成した。

中間評価指摘事項であるメリハリの付いたサブ課題の運用についても、成果の進捗に応じた資源配分がなされた。

(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

水素を用いた HDDR 法による組織制御によって、多彩な材料が創製できるという優位性が示された。世界記録を達成した超塑性材料や新規な圧力センサーなど、事業終了後も直ちに産業界と共同研究に移行できるサブ課題群が少なくない。Fe-Ni 微粒子に関し、L10 構造の兆しが出ているので早急に確認を進めるべき。また、研究参画者の中から、JST 戦略創造、内閣府最先端研究に採択された若手が多数おり、人材育成の面でも大きな成果を得た。

(3) 今後の展望

複数の民間企業と共同研究体制を組んでおり、産業界への実用展開を積極的に進めて行くことを期待する。工業化に向けた課題はまだ少なからず残っているが、若手を中心とした継続研究が別事業で展開されているので、これらを介して更なる成果発現が望まれる。

# 「脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

本プロジェクトは、産業界で広く利用されている自動車排出ガス浄化触媒や有機合成反応触媒の貴金属使用量（特にパラジウム（Pd）、ロジウム（Rh）、白金（Pt））を大幅削減するための普遍的な触媒設計手法を提案するものである。特に、「インテリジェント触媒」として当研究グループにより既に発見された、ペロブスカイト酸化物への貴金属の固溶・析出現象の概念を発展させることを主眼としている。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

本事業は、産業界で広く利用されている自動車排出ガス浄化触媒や有機合成反応触媒の貴金属使用量（特にパラジウム、ロジウム、白金）を大幅削減するための普遍的設計手法を提案するものであり、その必要性は高い。

### 【有効性】

触媒が自らの置かれた環境変動に機能的に応答することによって時間的空間的に効率よく分散され、高い触媒活性が維持される環境応答型のメカニズムは新しい概念であり、展開が期待される。

### 【効率性】

触媒合成・活性評価を行う企業、放射光を用いた構造解析を行う国研、触媒のメカニズム解明と新規触媒のデザインを行う学が連携することにより、効率的な研究開発が可能となる。また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター（PD）、プログラムオフィサー（PO）として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取ることとしている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	73.2	74.0	64.0	36.8	33.0	281.0
内訳 (間接経費含)	原研機構 19.2 阪大 2.6 ダイハツ 14.0 北興化学 37.4	原研機構 14.0 阪大 27.6 ダイハツ 29.9 北興化学 2.5	原研機構 25.4 阪大 33.4 ダイハツ 2.6 北興化学 2.6	原研機構 5.1 阪大 27.1 ダイハツ 1.3 北興化学 3.4	原研機構 2.0 阪大 27.0 ダイハツ 2.0 北興化学 2.0	原研機構 65.7 阪大 117.7 ダイハツ 49.8 北興化学 47.9

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 西畑 保雄

研究機関: 日本原子力研究開発機構

業務項目	担当機関等	研究担当者
① 放射光 X 線の利用技術の高度化による触媒機能の解明	日本原子力研究開発機構	◎西畑 保雄
② ナノ粒子自己形成触媒の考案と試作評価	ダイハツ工業株式会社	○田中 裕久
③ ナノ粒子自己形成触媒の調整とラボ評価	北興化学工業株式会社	○御立 千秋
④ ナノ粒子自己形成触媒の解明と脱貴金属触媒デザインの理論的研究	大阪大学	○笠井 秀明

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘

### 2. 評価結果

#### (1) 課題の進捗状況

放射光を用いた解析で、DXAFS（時分割 XAFS）法を開発し、触媒反応中の金属ナノ粒子の構造と電子状態の変化を「その場観察」により評価した。産業界や理論設計とよく連携して、銅を用いた新規な触媒提案に結びつけることができた。Fe、Co、Ni の固溶・析出を起こす酸化物の合成に成功し、限定的な条件下で実機により良好な結果を得た。また、理論計算により Cu ナノ粒子貴金属と同等の触媒活性が得られる可能性が示唆された。

一方で、当初目標としていたインテリジェント触媒としての機能に到達する物質創製に至るには、まだ課題が残っている。解析主導で新規材料創製を図ろうとした場合に理論研究とのバランスが取りにくくなるという困難さを十分に克服できなかった。

中間評価での指摘事項については、おおむね達成されているものの、Cu の高温酸化の問題の解決には至らなかった。

#### (2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

論文、特許などは多数なされている一方、現行 Pd 触媒の機能解析に費やしたリソースが相対的に高くなってしまっており、希少金属、貴金属を削減していくという元素戦略の趣旨からは、それに徹したマネジメントがよりなされて然るべきであった。

有機反応への展開は、希少元素代替を見据えた実用化の観点から、十分に目標を達成したとは言い難い。

#### (3) 今後の展望

産業界からのニーズが高い課題であることから、民間企業の中からアカデミアに対する研究目標を再提示してもらうことが望ましい。とりわけ自動車の排ガス浄化の実用化に関しては、この系の耐久テストが必要不可欠であり、今後の継続研究に期待する。

# 「圧電フロンティア開拓のためのバリウム系新規巨大圧電材料の創生」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

本プロジェクトでは、現在幅広く用いられている鉛 (Pb) 系圧電材料を超える圧電特性を有し、かつ環境に有毒な鉛、また、シリコンプロセスに不適合なカリウム (K)、ナトリウム (Na) 及びリチウム (Li) を含まない、ペロブスカイト構造のバリウム (Ba) 系新規圧電材料を創生する。最終的には、圧電定数  $d_{33}=850\text{pm/V}$  以上、キュリー温度  $T_c = 250^\circ\text{C}$  以上 という「圧電フロンティア領域」を目指す。また、得られたバリウム系新規圧電材料の能力を十分に発揮できる新デバイス設計も実施する。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

産業界において、ロボットの駆動部などの高性能アクチュエータへの期待は大きく、特に、高性能かつ環境に優しい非鉛系圧電体の需要は飛躍的に増大している。これまで、鉛系圧電体開発において世界トップであった我が国が、高性能非鉛系圧電体でも世界のデファクトスタンダードを得るためにも、本事業の必要性・緊急性は高い。

### 【有効性】

本事業において開発した従来材料を遥かに超える高性能と、かつ環境に優しい圧電体を用いることで、従来の圧電素子の性能を著しく向上させるに留まらず、圧電発電や医療応用などこれまで実用化が困難であった新規素子などを実現でき、社会の発展に貢献できる。

### 【効率性】

独創的な基盤技術を有する大学・国研の知見と、産業化に関する高い知見を有する企業とが、戦略的に連携して本事業を推進することにより、成果の実用化・製品化に向けた研究開発が可能となる。また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター (PD)、プログラムオフィサー (PO) として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取ることとしている。



#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	54.1	51.7	50.0	42.5	44.0	242.3
内訳 (間接経費含)	山梨大 16.0 東工大 11.5 京大 7.4 理科大 7.4 産総研 10.4 キャノン 1.3	山梨大 15.7 東工大 6.8 京大 8.4 理科大 6.5 上智大 2.3 産総研 10.7 キャノン 1.3	山梨大 17.9 東工大 10.0 京大 5.2 理科大 3.9 上智大 2.0 産総研 9.1 キャノン 2.0	山梨大 16.2 東工大 5.7 京大 2.3 理科大 3.7 上智大 2.0 産総研 8.5 キャノン 1.5	山梨大 22.2 東工大 6.7 理科大 3.7 上智大 2.0 産総研 8.0 キャノン 1.5	山梨大 88.0 東工大 43.3 京大 23.4 理科大 25.2 上智大 8.1 産総研 46.7 キャノン 7.6

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 和田 智志

研究機関: 山梨大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
① ドメインエンジニアリングによる巨大圧電材料の物質設計と合成及び圧電評価	山梨大学	◎和田 智志
② ドメインエンジニアリングによる巨大圧電材料の薄膜作成と圧電評価	東京工業大学	○船窪 浩
③ ドメインエンジニアリングによる巨大圧電材料合成と薄膜作成	上智大学	○内田 寛(H20~H23)
④ MPB エンジニアリングによる巨大圧電材料の物質設計と合成	京都大学 東京工業大学	○東 正樹(H19~H22) ○東 正樹(H22)
⑤ MPB エンジニアリングによる巨大圧電材料の薄膜の作成	東京理科大学	○岡村 総一郎
⑥ MPB エンジニアリングによる巨大圧電材料の電気特性評価	産業技術総合研究所	○飯島 高志
⑦ バリウム系新規圧電材料の探索、作成及びデバイス化への機能評価	キャノン株式会社	○福井 哲朗

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 圧電フロンティア開拓のためのバリウム系新規巨大圧電材料の創生

### 2. 評価結果

#### (1) 課題の進捗状況

ドメインエンジニアリングの領域で Mg、Fe、を含むチタバリ系の新しい非鉛系圧電材料をビスマス化合物の中から見出し、キュリー温度 450°C、圧電定数  $d_{33}$  で 850pm/V という当初掲げた極めて高い目標に、研究室レベルとはいえ到達できたことは高く評価される。新規材料の組成として、当初のチタバリ系だけでなく、プロジェクト中に見い出されたペロブスカイト系についても取組がなされた。MPB エンジニアリングの領域で、Bi (Fe, Co) O<sub>3</sub> 系において PZT とほぼ同じ微構造を持つ非鉛 MPB 組成を発見し、さらに第一原理計算と現象論に基づくシミュレーションから、強誘電性及び圧電性の出現メカニズムを解明した。

中間評価の指摘事項である BGN のリーク電流問題の解決や高压合成を用いない常圧合成の可能性探索等については、全て達成した。

#### (2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

科学的な成果として、ドメイン制御の新しい概念を打ち立てることが出来た。これを実現するプロセス研究についても、十分取組がなされた。圧電特性と温度のトレードオフの関係を両立する評価結果を得たことは、一つのマイルストーンとして評価できる。

一方、具体的な応用を絞り込むためには、スケールアップなどの実用化を念頭に置いた性能向上の取組を更に進めなければならない。

#### (3) 今後の展望

実用化に向けては、見い出された新規材料のバルク化も含めたシステム化に適合させる必要があり、産業界との密接な対話が不可欠である。特に、目的とする応用技術によって要求される機能は様々であることから、目標設定には注意が必要となる。民間企業との連携は良好に進められているので、狙いを絞った継続研究が望まれる。

# 「ITO 代替としての二酸化チタン系透明電極材料の開発」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

希少元素からなる ITO (酸化インジウムスズ) 透明電極材料の代替としてのニオブ添加アタナーゼ型二酸化チタン(TNO)透明電極材料 (抵抗率 $\rho=5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$  以下、内部吸収率 5%以下) を開発するため、広範な応用が見込まれるガラス基板上への透明電極作製プロセスの開発を行う。また、高屈折率という TNO に特有な性質に注目し、これを生かした新たな展開として、窒化ガリウム(GaN)系青色発光ダイオード用透明電極への応用を進める。さらに、種々の分光計測や第一原理計算により TNO の基礎物性の解明を進め、より高性能な二酸化チタン系材料の開発を目指す。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

スズを添加した酸化インジウム(ITO)は、フラットパネルディスプレイ用透明電極としての利用が爆発的に拡大しているが、主成分であるインジウムは希少元素であり、産出国も限られていることから(主に中国とロシア)今後の安定供給が危惧されており、インジウムを含まない透明導電体の開発が急務となっている。ITO 代替として二酸化チタン系透明電極材料の開発を進める本事業の必要性・緊急性は高い。

### 【有効性】

本事業により、二酸化チタン系透明導電体を ITO 代替材料として確立され、かつ二酸化チタン系の特性を生かした、ITO では実現できない新たな応用分野が開拓されると期待される。

### 【効率性】

二酸化チタン系材料の独創的な基盤技術を有する財団法人と、産業化に関する経験を有する企業、ならびに基礎研究に関して知見を有する大学とが相互に連携することにより、本事業の成果の実用化・製品化に向け、効率的な研究開発が可能となる。また、専門的知見を有する専門家を、プログラムディレクター(PD)、プログラムオフィサー(PO)として、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取っている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	71.4	68.3	68.0	57.8	60.0	325.5
内訳 (間接経費含)	KAST 18.9 東大 52.0 豊田合成 0.6	KAST 18.4 東大 23.4 豊田合成 0.6 旭硝子 26.0	KAST 30.3 東大 36.1 豊田合成 0.8 旭硝子 0.8	KAST 29.9 東大 26.8 豊田合成 0.6 旭硝子 0.6	KAST 31.0 東大 27.8 豊田合成 0.6 旭硝子 0.6	KAST 128.4 東大 166.1 豊田合成 3.0 旭硝子 28.0

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者： 長谷川 哲也

研究機関： 神奈川科学技術アカデミー

業務項目	担当機関等	研究担当者
① スパッタ法、CVD 法によるガラス基板上へのニオブ添加二酸化チタン系透明電極形成	神奈川科学技術アカデミー	◎長谷川 哲也
② ニオブ添加二酸化チタンの基礎物性解明	東京大学	○広瀬 靖
③ ニオブ添加二酸化チタンの発光ダイオード用電極への展開	豊田合成株式会社	○守山 実希
④ CVD 法による二酸化チタン系透明電極の作成	旭硝子株式会社	○東 誠二(H20~H23)

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 ITO 代替としての二酸化チタン系透明電極材料の開発

### 2. 評価結果

#### (1) 課題の進捗状況

薄膜法によるガラス基板上への TNO 電極形成について、スパッタ膜で、抵抗率、透明性ともに目標を達成できた。TNO の青色発光ダイオード用透明電極への展開についても、抵抗率、吸収率ともに目標を達成し、青色 LED を試作した。電極界面の電気特性の更なる改善が求められているが、課題解決の手法は見い出されており、実用化の筋道はできている。TNO の基礎物性解明においては、高い導電性の起源や酸素欠陥と導電性との関係を明らかにしている。したがって、いずれもほぼ当初の計画どおり研究が実施されたと認められる。

中間評価の指摘事項に関しても、エッチング液の開発についてはリン酸塩系溶液、新ドーパントの探索については W、F、Li、更なる低抵抗化については多結晶体でそれぞれ  $5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  を達成するとともに、結晶配向制御を行うと更に  $3 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$  への向上が見られ、着実に達成したと認められる。アモルファスシリコン太陽電池へのコーティング剤として実用展開が図られつつある。

#### (2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性

d 電子系であるニオブ添加二酸化チタンを ITO と同等レベルの透明性、導電率を持つ電極として作製できたことは特筆に値する。実用化の可能性は高いと考えられる。今回の研究はプロセス開発に軸足が置かれ、基礎からのアプローチとしてユニークであり、それが成功を収めたポイントであろう。

一方、Nb という元素そのものの機能発現の科学的究明は今後更に追及すべきであり、戦略的にこの材料を使いこなしていく上で極めて重要である。

#### (3) 今後の展望

新たに探索した新しいドーパントに関する継続研究、プラスチック上への成膜を狙った更なる低温下等につき、引き続き研究が進められていくことを期待する。実用化を見据えたプロセス開発において、基礎研究の位置付けは重要であるが、本プロジェクトだけで纏めきれものではない。今後も継続的な研究が望まれる。特に、民間企業との幅広い対話の継続が極めて重要となる。

# 「低希土類組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発」

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成19年度～平成23年度  
( 中間評価:平成21年度 )

## 2. 研究開発概要・目的

高性能希土類磁石は、エネルギー高効率利用技術の心臓部品である磁石式高出力高効率モーターに必須の機能材料であり、その主原料である希土類元素の含有量を削減することが該技術の継続利用を可能にするために必要である。本プロジェクトは、ディスプロシウム (Dy) 等の希少元素を使用せず、かつ、現状の焼結磁石よりもネオジム (Nd) 使用量を低減した高性能新規磁石材料の創製を目標としている。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

次世代電気自動車に必須の磁石式高効率モーターに使用されている高保磁力希土類磁石の大量消費時代が目前に迫っており、希土類資源の調達リスクを負う産業界からの希土類元素使用量を削減した高性能磁石材料開発の要請が強い。高保磁力磁石の新パラダイムを創出し、希土類元素使用量削減を目指す本事業の必要性・緊急性は高い。

### 【有効性】

従来材よりも一桁小さな微結晶組織の結晶粒界組成制御技術開発による高保磁力化技術の開発を目指す本事業は、大量消費可能な Dy 元素レスかつ高温使用可能な高性能永久磁石及び低希土類元素組成新磁石の創製を生み、電気自動車など高性能磁石使用を前提とする技術のユビキタス利用を可能にすることにより、地球温暖化ガス排出抑制技術の普及に貢献することができる。

### 【効率性】

希土類磁石メーカーとして豊富なノウハウと基盤技術を有する企業研究者と、マルチスケール解析技術、高温磁界中その場観察による高温保磁力機構解析技術、及びナノ金属粒子化学合成技術を有する官学の研究者が緊密な連携を組むことにより、効率的な研究開発が可能となる。加えて、専門的知見を有する専門家をプログラムディレクター (PD)、プログラムオフィサー (PO) として張り付け、計画の妥当性や進捗状況について指導を得る体制を取っている。

#### 4. 予算(執行額)の変遷

プロジェクト予算(執行額)額(単位:百万円)

年度	H19	H20	H21	H22	H23	総額
執行額	54.8	52.6	42.0	35.7	34.0	219.1
内訳 (間接経費含)	日立金属 34.8 物材機構 6.0 九工大 10.4 名工大 3.6	日立金属 15.8 物材機構 10.0 九工大 17.3 名工大 9.5	日立金属 10.9 物材機構 10.0 九工大 9.3 愛媛大 11.8	日立金属 6.9 物材機構 9.5 九工大 8.7 愛媛大 10.6	日立金属 6.2 物材機構 8.5 九工大 9.6 愛媛大 9.6	日立金属 74.6 物材機構 44.0 九工大 55.3 名工大 13.1 愛媛大 32.0

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 廣澤 哲

研究機関: 日立金属株式会社

業務項目	担当機関等	研究担当者
① 異方性コンポジット磁石創製に関する研究	日立金属株式会社	◎広沢 哲
② 希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発	名古屋工業大学	○隅山 兼治(H19~H20)
③ 希土類磁性粉末との複合化に適した遷移金属合金磁性ナノ粒子の開発	愛媛大学	○山室 佐益(H21~H23)
④ HDDR プロセスにおける組織生成機構及び保磁力発現機構に関する研究	物質・材料研究機構	○大久保 忠勝
⑤ 微結晶磁性体の高分解能磁区構造観察手段の開発と磁化過程解析に関する研究	九州工業大学	○竹澤 昌晃

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

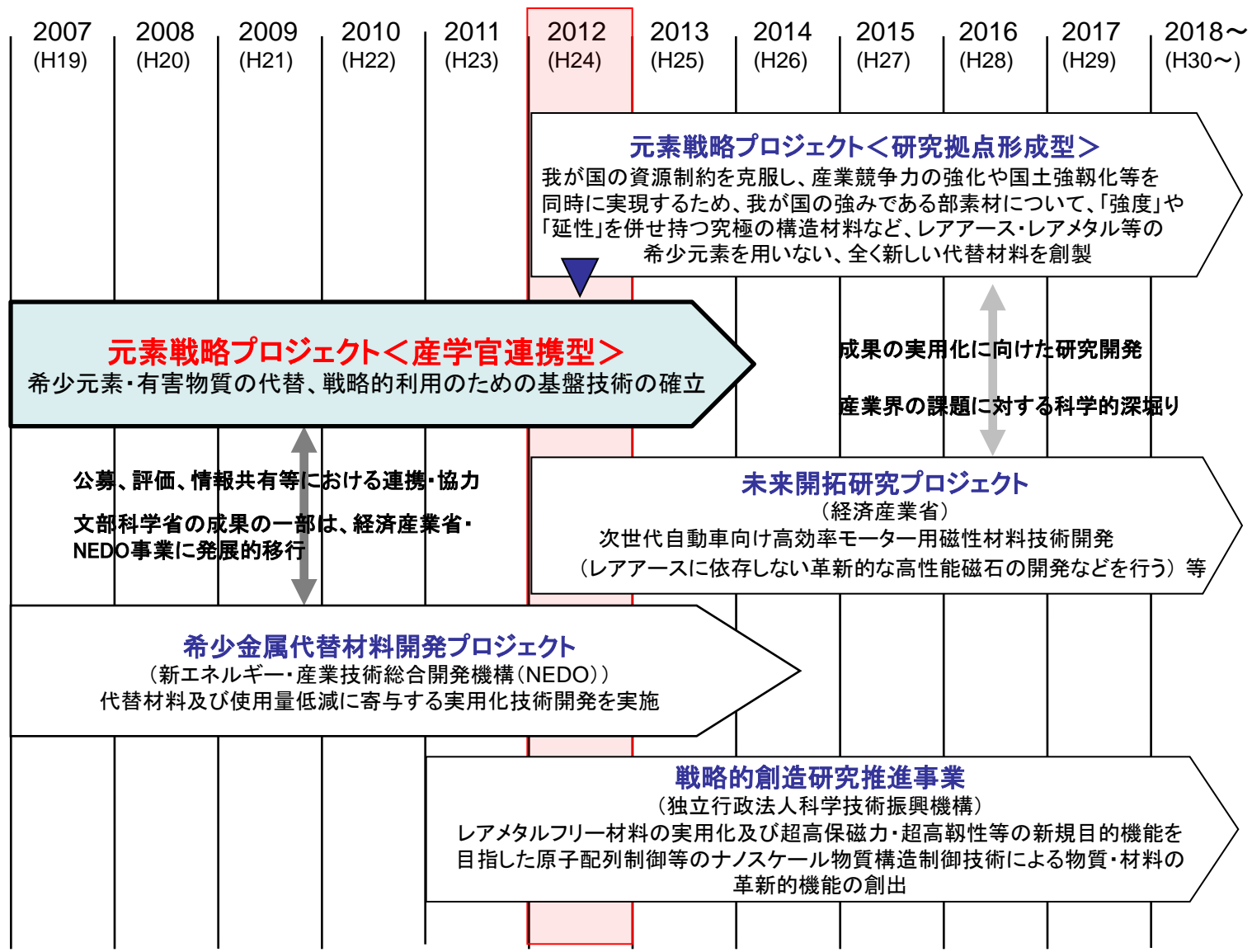
1. 課題名 低希土類組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 <p>Dy を含まない高保磁力 Nd 磁石の基盤技術開発及びナノコンポジット磁石の技術開発を目標とし、HDDR 法を適用した微結晶異方性組織の最適化による高保磁力を達成した。コンポジット化前の磁粉で保磁力 1.6MA/m、バルク化後で 1.4MA/m を実証した。希土類磁性粉末との複合化に適した遷移金属合金磁性ナノ粒子の開発では、炭素、酸素などの不純物低減が重要であることを明らかにし、低酸素ナノコート技術を開発した。HDDR プロセスのメカニズム解析に関して、異方性組織の生成機構を調べ、その中核機構を抽出した。高分解能磁区観察装置の開発に関しては、紫外カ一頭微鏡磁区観察装置を開発するとともに、その改良を加えることにより、目標に到達した。</p> <p>中間評価での指摘事項に関し、低酸素実験ができる設備を整備して実験を実施し、不純物の効果を定量化することについては全て克服しているが、ナノコンポジット磁石における鉄微細粒の酸化制御については一部課題を残している。</p>
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 <p>当該分野においては比較的標準と見なされるプロセス開発が中心であったと考えられるが、その中で基材バルク材料の高保磁力化に成功するなど優れた成果を挙げた。本研究成果が実現すれば、経済的・社会的波及効果は計り知れない。本プロジェクトは、元素戦略プロジェクトの中でも最も注目され、早期の研究成果が求められたものであるが、それに十分応えられている。同等の微細組織化研究の中ではチャンピオンデータが得られている。</p>
(3) 今後の展望 <p>組織のハイブリッド化や磁性発現学理の確立については、化学など異分野との連携などにより技術の完成に向けて更なる努力が求められる。これらの継続的な課題は、経済産業省、文部科学省等の次の大型プロジェクトの中で実施されることとなっており、我が国が強みとする磁性材料学の発展に大きく寄与することが強く望まれる。文部科学省のプロジェクトについては磁気モーメント、高保磁力の発現学理の追求、耐熱性に関する基礎物理からの理論説明等において、経済産業省事業についてはモーターに組み込んでその性能を発揮させるための実用特性開発等において、それぞれ我が国が引き続き世界をリードする成果を達成することを強く期待する。</p>



# 【ナノテクノロジー・材料科学技術】

## 希少元素の革新的な代替材料を創製する研究開発の推進

レアアース・レアメタル等の代替材料の研究開発



我が国の資源制約を克服し、産業競争力の強化や国土強靱化等を実現

※赤字は事後評価対象課題。 ▼ :事後評価