

# ナノテクノロジー・材料科学技術に関する 研究開発課題の評価結果（案）

平成26年2月

ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

## 目次

● 第7期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員名簿	2
＜事後評価＞	
● 元素戦略プロジェクト＜産学官連携型＞	4
高分散貴金属ミニマム化触媒の物質設計およびプロセッシング（熊本大学：町田正人）	7
貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の創製（北海道大学：魚崎浩平）	10
貴金属代替分子触媒を用いる革新的エネルギー変換システムの開発（九州大学：成田吉徳）	14
材料ユビキタス元素協同戦略（東京工業大学：細野秀雄）	19
ケイ素酸素系化合物の精密合成による機能設計（早稲田大学：黒田一幸）	24

## 第7期 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員名簿

平成25年4月現在

	氏名	所属・職名
主査	川合 知二	大阪大学産業科学研究所特任教授
主査代理	榊 裕之	豊田工業大学学長
	五十嵐正晃	新日鐵住金株式会社技術開発本部フェロー
	伊丹 敬之	東京理科大学大学院イノベーション研究科教授
	射場 英紀	トヨタ自動車株式会社電池研究部長
	大林 元太郎	東レ株式会社研究本部顧問
	岡野 光夫	東京女子医科大学先端生命医科学研究所長・教授
	長我部信行	株式会社日立製作所中央研究所長
	片岡 一則	東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻教授
	北川 進	京都大学物質-細胞統合システム拠点拠点長
	栗原 和枝	東北大学原子分子材料科学高等研究機構教授
	小池 康博	慶應大学理工学部教授
	小長井 誠	東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻教授
	小林 昭子	日本大学文理学部化学科教授
	曾根 純一	独立行政法人物質・材料研究機構理事
	田中 一宜	科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
	常行 真司	東京大学大学院理学系研究科 教授
	橋本 和仁	東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻教授
	福島 伸	東芝株式会社研究開発センター首席技監
	松下 祥子	東京工業大学大学院理工学研究科准教授
	三島 良直	東京工業大学 学長



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20年度採択課題

平成26年1月

# 元素戦略プロジェクト〈産学官連携型〉平成20年度採択課題

## 事後評価検討会 構成員名簿

主査 村井 眞二 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学 特任教授

主査代理 玉尾 皓平 独立行政法人理化学研究所 研究顧問

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 三菱化学株式会社 執行役員

高尾 正敏 国立大学法人大阪大学 特任教授

新原 皓一 国立大学法人長岡技術科学大学 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20年度採択課題

- ・高分散貴金属ミニマム化触媒の物質設計およびプロセッシング(熊本大学:町田正人)
- ・貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の創製(北海道大学:魚崎浩平)
- ・貴金属代替分子触媒を用いる革新的エネルギー変換システムの開発(九州大学:成田吉徳)
- ・材料ユビキタス元素協同戦略(東京工業大学:細野秀雄)
- ・ケイ素酸素系化合物の精密合成による機能設計(早稲田大学:黒田一幸)

# 「高分散貴金属ミニマム化触媒の物質設計およびプロセッシング」

(研究代表者: 町田正人、研究機関: 熊本大学)

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成20年度～平成24年度  
(中間評価: 平成22年度)

## 2. 研究開発概要・目的

貴金属(白金(Pt)、ロジウム(Rh)及びパラジウム(Pd))の最大の用途である自動車排気浄化触媒(以下「自動車触媒」という。)に注目し、その使用量の徹底した削減を達成するため、微量の貴金属を担体上に高分散状態で強く固着した、高活性と長寿命を両立した触媒を創製することを最終目標とする。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

環境触媒技術は我が国の自動車産業の国際的優位性を支える重要技術の一つであるが、現行の自動車触媒には、資源的・価格的风险が大きい貴金属が使用されている。貴金属の大幅節減を目指す本課題は、我が国の自動車産業の国際的優位性を更に高めて我が国の産業全体に多大なる波及効果をもたらすことが期待でき、必要性・緊急性が極めて高い課題である。

### 【有効性】

局所相互作用によるRh、Pt、Pd等の貴金属の高分散固定化技術の開発を目指す本研究により、微量の貴金属を担体上に高分散状態で強く固着した、高活性と長寿命を両立した革新的触媒の創製が可能となる。これにより、資源的・コスト的リスクの少ない自動車触媒の創製が可能となり、ハイブリッド車などの次世代自動車への展開によって、温暖化ガス等の排出抑制に貢献できる。

### 【効率性】

二輪及び四輪を含めた自動車触媒事業で豊富な実用化技術を有する企業研究者と、触媒物質科学及びナノ構造解析技術を専門とする大学研究者とが緊密に連携することによって、新規触媒物質の設計及び解析から、実用性の評価にわたる多様な研究開発項目を効率的かつ迅速に実施できる。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、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

プロジェクト予算額(執行額)(単位:百万円)

年度		H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額		30.5	38.2	30.9	33.9	39.0	172.5
内訳 (間接経費含)	熊本大	30.5	35.6	29.9	31.3	36.4	163.8
	三井金属鉱業	0	2.6	1.0	2.6	2.6	8.8

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者:町田 正人

研究機関:熊本大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
1. 高分散貴金属触媒の固定化 (1)オキソ酸塩担持貴金属触媒の合成と触媒特性の解析 (2)貴金属固定化機構の解析 (3)自動車触媒としての適合性の評価	熊本大学大学院 自然科学研究科	◎町田 正人
2. アークプラズマ(AP)法触媒調製法の確立	熊本大学大学院 自然科学研究科	◎町田 正人 池上 啓太
3. 局所構造の解析 (1)高分解能電子顕微鏡解析 (2)X線局所構造解析	熊本大学大学院 自然科学研究科	◎町田 正人 松田 光弘 池上 啓太
4. 実用触媒特性の解析 (1)ハニカム触媒の試作(H20-24) (2)実用触媒性能の評価(H22-24)	熊本大学大学院 自然科学研究科	◎町田 正人 (H20-24)
	三井金属鉱業	柴 茂栄(H21) 中原 祐之輔 (H21-24) 佐藤 隆広(H22-23) 永尾 有(H23-24))
5. プロジェクトの総合的推進	熊本大学大学院 自然科学研究科	◎町田 正人

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 高分散貴金属ミニマム化触媒の物質設計およびプロセッシング
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 自動車排ガス触媒に関して、従来、構造不安定性などから適用が難しかったオキシ酸塩を担体に活用することで、白金(Pt)等の貴金属使用量の抜本的な削減に成功した。触媒物質の電子状態を担体との界面物性を利用して制御するという着想に基づき新規の担体を探索し、高温安定性評価や実際の自動車運転モードに即した解析実験から実車で性能評価に至るまでを計画に従って着実に実施しており、極めて独創性の高い研究であると評価できる。また、物質探索においては、独自に開発したアークプラズマ法に取り組み、従来にない多元素系での機能の探索を進めた。さらに、界面物性を活用した触媒活性という視点での新しい学問分野にも踏み込むことが出来た。今後は理論研究との連携を積極的に展開し、「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」触媒・電池材料領域にも参画するなど、その深化に取り組むこととしている。 人材育成面では、研究チーム内の若手を独立した研究者として育成することに成功していると評価できる。また、地域の高等専門学校や高等学校を訪問し講義を行うなど、材料科学教育に関する取組も積極的に実施した。
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 オキシ酸塩を触媒担体に用いる独創的な研究として着実な成果を創出しており高く評価できる。また、参画企業が既に実用触媒の開発を手掛けており、本プロジェクトの成果も実用研究の段階に十分達しているといえる。 一方で、相当な複雑系を対象としているだけに、課題抽出も含めて端緒についたばかりであり、第一原理計算等の基礎理論との連携について、引き続き注力すべきである。
(3) 今後の展望 電子論に基づく計算科学コミュニティとの連携を図ることによって、複雑系システムについて新たな学理の構築に寄与することが望まれる。また、本研究を通じた革新的な新規触媒材料の創製や経済産業省、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、民間企業等との一層の連携も視野に入れつつ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。

# 「貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の創製」

(研究代表者:魚崎浩平、研究機関:北海道大学)

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成20年度～平成24年度  
(中間評価:平成22年度)

## 2. 研究開発概要・目的

再生可能エネルギーシステムの実現のための貴金属を用いない触媒の創製を目指して、① 燃料電池に資する貴金属フリー・ナノハイブリッド電極触媒の開発、及び② 光エネルギー利用に資する貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の開発を中心課題とし、両者の共通基盤として、③ 酸素/水の自在変換を実現する錯体・合金触媒の理論設計に関する研究を推進する。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

持続的社会的の実現には、自然エネルギーを活用したクリーンなエネルギーシステムの構築が不可欠である。水を太陽光で分解して水素を得て、燃料電池により電気エネルギーを得るというシステムは、副産物フリーのクリーンなシステムであるが、このシステムの鍵である触媒には、現在は貴金属が用いられている。本システムを真に効果的なものとして機能させるためには、貴金属フリー触媒の実現が必須であり、本研究の必要性・緊急性は高い。

### 【有効性】

幅広い分野(理論化学、錯体合成、表面物理化学、機能物質化学)の研究グループが結集し、理論的理解と高度な錯体合成、表面配列・解析技術を生かして、燃料電池と水の光電気化学的分解に関わる貴金属フリー触媒の開発に正面から取り組んでおり、新しい視点での触媒開発指針の確立が見込める。元素戦略の視点を持ち高度な専門性と幅広い視野を兼ね備えた人材を養成し、持続可能な社会の実現に大いに貢献する。

### 【効率性】

北海道大学理学研究院附属元素戦略教育研究センターを設置するとともに、元素戦略プロジェクト共同実験ラボを設け、理論、計測、合成の各分野の博士研究員、大学院学生が常時議論を交わしながら新しい概念での融合研究を推進する体制を構築している。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、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

プロジェクト予算額(執行額)(単位:百万円)

年度		H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額		18.3	31.6	27.2	28.0	28.0	133.1
内訳 (間接経費含)	北海道大	18.3	31.6	27.2	28.0	28.0	133.1

#### 5. 課題実施機関・体制

研究代表者:魚崎 浩平

研究機関:北海道大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
1. 燃料電池に資する貴金属フリー・ナノハイブリッド電極触媒の開発 (1) ナノハイブリッド電極触媒  (2) 金属単原子ワイヤー(H20) (3) ナノカーボン触媒(H21-22)	北海道大学大学院理学研究院	○ 村越 敬 ◎魚崎 浩平 野口 秀典(H20-21) 張 華新 加藤 昌子 張 浩徹 小林 厚志 松本 剛(H21-24) 村越 敬 木口 学(H20) 保田 諭(H21-24) 並河 英紀 (H20-22)
2. 光エネルギー利用に資する貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の開発 (1) 電子リレーと水素、酸素発生触媒のナノハイブリッド化  (2) 水酸化(酸素発生)用多核金属錯体触媒	北海道大学大学院理学研究院	○ 加藤 昌子 ◎魚崎 浩平 池田 勝佳 野口 秀典(H20-21) 加藤昌子 張 浩徹 小林 厚志 松本 剛(H21-24)

3. 酸素／水の自在変換を実現する錯体・合金触媒の理論設計	北海道大学大学院理学研究院	○ 武次 徹也 中山 哲 小野ゆり子(H21-24) Andrey Lyalin (H22-24) 前田 理(H24)
4. プロジェクトの総合的推進	北海道大学大学院理学研究院	◎ 魚崎 浩平 加藤 昌子 清水 麻友(H21-24)

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 貴金属フリー・ナノハイブリット触媒の創製
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 窒化ホウ素や炭素材料系の絶縁体に、ドーピングや欠陥導入等の手法で電子状態の不均一を生じさせることによって導電性を持たせることに成功した。触媒等の機能の付与について、理論研究から原理解析と機能設計を行い、それに従って分子合成に展開させた。このように、理論予測に基づいた新規物質創製に到達した実績は高く評価できる。また、企業からのアドバイスも受け、燃料電池等への応用の方向付けも十分になされた。実用化研究としての見込みは現段階では見出されていないものの、本課題の成果は、「元素戦略プロジェクト〈研究拠点形成型〉」触媒・電池材料領域にも引き継がれるなど、他の理論研究との連携の下での幅広い展開が始まっている。 人材育成面では、「元素戦略教育研究センター」を設立し、「元素活用先端講義」を開講するなどのユニークな取組を行い、事業終了後も同センターの下での研究教育が実施されている。また、研究実施者の中からは、他の主要な競争的資金や独立した研究者のポストを獲得した若手を多数輩出している。
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 本来絶縁性である窒化ホウ素や窒素ドーピング炭素系での酸素電極還元触媒活性の発見や完全貴金属フリー鉄系触媒による光水素発生触媒に関し、理論研究が先行し、実験が実証するという極めて独創性の高い研究成果が得られた。また、「元素戦略教育研究センター」を設立するなど、事業規模を考慮すれば十分に成果目標を達成した。一方で、実用化という観点では、出口となる燃料電池や化成触媒に関して特性の目標設定が必要である。
(3) 今後の展望 錯体の基礎研究として、次のステップに向けた研究の芽が見出されたことは評価できる。今後は、理論計算や解析技術等の本課題の成果は「元素戦略プロジェクト〈研究拠点形成型〉」触媒・電池材料領域に展開するなど、着実な継続研究が望まれる。 また、「元素戦略教育研究センター」は、事業終了後も学内組織として維持継続されることが強く期待される。

# 「貴金属代替分子触媒を用いる革新的エネルギー変換システムの開発」

(研究代表者:成田吉徳、研究機関:九州大学)

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成20年度～平成24年度  
(中間評価:平成22年度)

## 2. 研究開発概要・目的

基礎的な検討に基づいた分子設計を施した貴金属を代替する卑金属を含む水分解及び酸素還元分子新規触媒の開発と電極への固定方法を開発する。また、これら分子触媒を電極上に強固に固定するための大面積を有する表面修飾チタン電極も合わせて開発し、高効率での水電解及び燃料電池セル・プロトタイプ の作製を目指す。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

水素エネルギー社会構築において、貴金属触媒を用いることなく再生可能エネルギーを用いた水分解による水素製造触媒及び燃料電池における酸素還元触媒の創成は、重要な技術的課題である。特に、本課題における水分解による水素製造及び燃料電池における酸素還元のための貴金属フリー触媒の創製は、緊急性の高い喫緊の課題である。

### 【有効性】

本課題により、従来の水分解錯体触媒と比較して水分解過電圧の0.5V以上の低減、触媒回転数3桁以上の向上、酸素還元に向けての鉄を含む分子触媒とその方法論を取り入れた燃料電池陰極創出による高起電力燃料電池が可能となり、水素社会に向けての基幹技術確立に貢献できる。

### 【効率性】

水分解触媒設計とチタン材料開発研究者の連携体制に、アドバイザー機関としてチタン加工材及び自動車会社等の参画を得て、効率的かつ迅速な研究開発が可能としている。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、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

プロジェクト予算額(執行額)(単位:百万円)

年度		H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額		28.2	33.9	28.9	26.0	26.0	143.0
内訳 (間接経費含)	九州大	18.0	21.6	19.1	17.4	17.4	93.5
	中部大	10.2	12.3	9.8	8.6	8.6	49.5

## 5. 課題実施機関・体制

研究代表者:成田 吉徳

研究機関:九州大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
1. 水分解分子触媒 (1) マンガンポルフィリン二量体分子触媒の開発 (2) 分子触媒修飾電極の長時間水分解性能の検証と最適化	九州大学 先導物質化学研究所  大学院 理学府 理学部	◎○成田 吉徳 太田 雄大 ザキ N.A. ザーラン 嶋村 直美 古新 奈緒美(H20,22-24) マリアパン マリアパン(H20) アーメド A. E.モハマド イマン (H22-24)  石田 正敏(H20) 田尾 和也(H20)
2. 酸素還元分子触媒 (1) 鉄ポルフィリン誘導体における酸素活性化過程の解明と電気化学的酸素還元触媒プロトタイプの開発 (2) プロトタイプ酸素還元分子触媒の還元反応追跡・電気化学反応及び改良型分子触媒の合成鉄ポルフィリン誘導体開発 (3) 燃料電池酸素極用の分子触媒の改良、酸素還元触媒アッセンブリー作成と評価	九州大学 先導物質化学研究所  大学院 理学府	◎○成田 吉徳 太田 雄大 劉 勁剛 アナダ C.マイティー(H21) 焼山 正敏 吉田 日乃美 楠原 圭子 ペルメンドラ ナガラジュ(H24) 清水 健太(H20)
3. 電気化学反応の評価	九州大学 先導物質化学研究所  大学院 理学府	◎○成田 吉徳 太田 雄大 ザキ N.A. ザーラン(H24) 王 昂(H20-21)
4. 表面修飾チタン多孔体への修飾: 分子触媒の修飾チタン板表面への固定方法の開発・最適化・固定の評価	九州大学 先導物質化学研究所	◎○成田 吉徳 太田 雄大



	大学院 理学府	ザキ N.A. ザーラン(H22-24) アナダ C.マイティー(H22-23) 王 昂(H20-21)
5.チタン多孔体のナノ表面処理と多孔体金属電極特性に関する研究	中部大学 生命健康科学部	○高玉 博朗 小久保 正 松下 富春 木付 貴司 Deepak Kumar Pattanayak(H20) 山口誠二(H21-22) Rohit Khanna(H23) Valanezhad Saeidabad Alireza(H24)
6. プロジェクトの総合的推進	九州大学 先導物質化学研究所	◎○成田 吉徳

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 貴金属代替分子触媒を用いる革新的エネルギー変換システムの開発
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 水の酸化分解に関し、白金に代替する触媒物質としての酵素系分子ポルフィリン金属錯体の開発に取り組み、ポルフィリン二量体を用いてほぼゼロ電圧での水分解に成功した。さらに、酸素還元分子触媒としては、フッ素置換鉄ポルフィリン系で白金に匹敵する性能創出に成功するとともに、これらを表面修飾して電極とするための多孔質チタン材料を開発した。 また、貴金属に替えてチタンで表面形状を制御し、表面層を酸化／窒化処理することで修飾能と導電性を両立する構造制御に成功した。個々の要素課題については目標を達成したが、システムとしての触媒性能の評価には至っていない。 人材育成面では、国際シンポジウム等の開催を通じて、若手研究者、学生らの育成に意欲的な国内外の最先端研究者を招き、指導を仰ぐなどの取組を積極的に行った。
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 鉄ポルフィリン錯体による酸化還元反応の成果が国内外で高く評価されるなど、学術としてのアプローチは高いレベルにある。一方で、電極開発と一体化したシステム研究という視点で、実用化への展開については、今後十分な検討が必要である。また、表面形状を制御したチタン電極の活用については、実用化に向けた取組が始まっており、今後も積極的な取組を期待する。
(3) 今後の展望 水分解による水素発生に関しては、競合技術との比較による優位性の検討や、今後の社会ニーズについて更なる検討が求められる。実用化に関し、民間企業の既存機器の低コスト化に貢献できる可能性があることから、産業界も巻き込んだ研究開発の継続実施が望まれる。

# 「材料ユビキタス元素協同戦略」

(研究代表者:細野秀雄、研究機関:東京工業大学)

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成20年度～平成24年度  
(中間評価:平成22年度)

## 2. 研究開発概要・目的

本プロジェクトは、界面・表面、格子欠陥、異常原子価などの構造要素を工夫することで、ユビキタス元素を使ってこれまで実現していなかった機能の実現と、機能開発のためのプロトコルの確立を目指す。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

陶磁器やセメントなどの原料となっているクラーク数上位のありふれた安価な元素を駆使して有用な材料創製を行うことは、希少資源確保に留まらず、今後の我が国の酸化物系材料開発の目指す方向の一つであり、その緊急性と必要性は極めて高い。

### 【有効性】

ありふれた酸化物で有用な機能が実現すれば、元素の個性に依存しない新しい材料科学の基盤構築や、ナノテクノロジーを活用した我が国独自の重要な学問体系の創製につながり、若手研究者を次世代材料研究のリーダーとして養成する場としても貢献することになる。

### 【効率性】

東工大応用セラミックス研究所を元素戦略拠点として、実験系研究者に理論計算研究者を加え、企業を連携メンバーとして、基礎研究の成果を応用ステージに迅速に移管できる体制を構築しており、研究成果の波及と人材育成の効率が極めて高い。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、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

プロジェクト予算額(執行額)(単位:百万円)

年度		H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額		33.8	39.0	33.2	36.5	40.0	182.5
内訳 (間接経費含)	東京工業大	31.2	37.7	33.2	36.5	40.0	178.6
	東北大	2.6	1.3	0	0	0	3.9

## 5. 課題実施機関・体制

研究代表者: 細野 秀雄

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. 非銅系新超電導体探索(H20-21)	東京工業大学 フロンティア研究センター 応用セラミックス研究所 大学院理工学研究科 東北大学 WPI	◎○細野 秀雄 金 聖雄(H21) 阿藤 敏行 斎藤 晋 Peter Sushko(H20-21)
2. 活性種を利用した化学・機械機能探索(H20-21) (1)液相での活性種の活用技術の開拓と化学 (2)ユビキタス酸化物固体中の微構造を利用した機能開拓 (3)ユビキタス酸化物表面での活性種の生成と気相応用	東京工業大学 応用セラミックス研究所	○林 克郎 阿藤 敏行 吉住 年弘(H22-24)
	大学院理工学研究科	斎藤 晋 青木 祐太(H24)
	フロンティア研究センター (フロンティア研究機構)	◎細野 秀雄 戸田 喜丈(H21)
3. 人工表面・界面を利用した電子機能発現 (1) 二元系軽金属酸化物界面におけるトランジスタ機能開発 (2) 籠状酸化物C12A7 界面の酸素移動を利用した抵抗変化スイッチ素子開発	東京工業大学 応用セラミックス研究所	○須崎 友文 神谷 利夫
	フロンティア研究センター (フロンティア研究機構)	◎細野 秀雄 松崎 功佑(H21-24)
	東北大学WPI	Peter Sushko(H20-21)
4. 自然ナノ構造を利用した電子デバイス開発 (1)自然ナノ構造における特異な配位構造、電子構造、電子・磁気機能の解析と予測(H20-22) (2) 自然ナノ構造デバイスの提案 (3) 自然ナノ構造デバイスの作製と評価	東京工業大学 応用セラミックス研究所	○神谷 利夫(H20-22) 神谷 利夫(H23-24) 伊藤 節郎(H23-24) 林 克郎(H20-24)
	フロンティア研究センター (フロンティア研究機構)	◎細野 秀雄(H20-22) ◎○細野 秀雄(H23-24) 小林 弘美(H22-24)
	大学院理工学研究科 東北大 WPI	斎藤 晋 山上 雄一郎(H22) P.V. Sushko(H20-21)
5. 壊れ方を機能とする材料の開発(H23-24)	東京工業大学 応用セラミックス研究所	○阿藤 敏行

	大学院理工学研究科 フロンティア研究機構	斎藤 晋 ◎細野 秀雄
6. プロジェクトの総合的推進	東京工業大学 フロンティア研究センター (フロンティア研究機構)	◎○細野 秀雄

◎課題代表者、○サブテーマ代表者

## 事後評価票

1. 課題名 材料ユビキタス元素協同戦略
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 当初、本課題の主要なテーマであった鉄系超伝導体の研究開発は、中盤において、より大きなプロジェクトへの展開が妥当とされ、「最先端研究開発支援プログラム(FIRST)」に移管された。アルミナセメントと類似の結晶構造を持つエレクトライドを活用した蛍光灯用スパッタレス放電極については、蛍光灯の寿命を抜本的に延ばすことに成功した。プロジェクト内に民間企業との連携研究室が発足し、既に実用化研究の段階に入っている。 また、ジルコニアをベースにした活性酸素発生物質は半導体製造プロセスへの実用化に向けて大きな展開が予想されるため、国際特許を出願済みである。 さらに、既に市販が予定されている研究成果として、肌荒れ防止化粧品への応用がある。日焼け止めに用いられる酸化チタンが紫外線を受けて発生する活性酸素が肌荒れの原因となることから、これを吸収する物質を開発し、企業との共同研究の中で化粧品としての最適化が図られた。 また、学内に「東工大元素戦略研究センター」を設立し、人材育成も含めた研究教育活動を行っている。その多くは「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」電子材料領域に組み込むこととしている。
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 本プロジェクトで得られた研究成果群は、発想の段階から高い独創性に基づいて進められ着実に実用化に結び付いていることから、高いレベルに到達していると評価できる。学術論文や特許出願の数も多いことも評価すべき特徴の一つである。いずれもありふれた元素を用いて予想できなかった機能を発現させるという研究成果であり、十分に高く評価できる。また、新たな学理の構築を通じ、未知な学術領域に挑戦するという面から若手の育成に大いに貢献することができた。
(3) 今後の展望 「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」電子材料領域として、学内に「東工大元素戦略センター」を設立しており、人材育成を含めた発展的な研究教育の継続が望まれる。また、他の幾つかのプロジェクトにも貢献できる可能性が見込まれ、本プロジェクトの成果の多方面への展開が期待される。 知財戦略に関しては、外国出願を考える場合には、全体として効果的・効率的に運用できる仕組みを、企業を巻き込んで十分に検討することが望まれる。

# 「ケイ素酸素系化合物の精密合成による機能設計」

(研究代表者:黒田一幸、研究機関:早稲田大学)

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成20年度～平成24年度

(中間評価:平成22年度)

## 2. 研究開発概要・目的

本プロジェクトでは、クラーク数最上位元素群からなるケイ素(Si)酸素系化合物を材料設計の主軸とし、規定された構造を有するケイ素酸素系ビルディングブロックを用い、構造・組成が原子レベルから精密に制御されたメソ構造材料を開発する。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

ありふれた元素から成るケイ素酸素系化合物を用いて、触媒等に有用な材料創製を行うことは、レアメタル等の希少資源確保に留まらず、材料開発基盤の強化という観点から見て今後の我が国の化学系材料開発の目指す方向の一つであり、その必要性は極めて高い。

### 【有効性】

本課題におけるケイ素化学やゾルゲル法などの材料創製基盤技術の推進により、材料開発における新たな学理創成の実現につながる。加えて、本課題を通して、ケイ素酸素系化合物の精密合成・構造解析・物性評価、新規概念に通ずる、柔軟な発想の出来る新たな分野における若手人材育成が可能となり、その実現に貢献する。

### 【効率性】

ケイ素酸素系化合物を用いた材料合成、特にメソ構造材料の合成及び構造評価に関して国際的な実績を有するグループを中心に据え、国内外の構造解析及び物性評価に精通する研究者らをアドバイザーとして、材料創成から実用化までのプロセスを推進している。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、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

プロジェクト予算額(執行額)(単位:百万円)

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額	
執行額	24.5	33.0	28.1	29.0	31.2	145.8	
内訳(間接経費含)	早稲田大	24.5	33.0	28.1	29.0	31.2	145.8

## 5. 課題実施機関・体制

研究代表者:黒田 一幸

研究機関:早稲田大学

業務項目	担当機関等	研究担当者
1. 低次元ケイ酸化合物を用いた新規メソ構造材料の合成	早稲田大学理工学術院	◎○黒田 一幸 那須 慎太郎(H20-21) 長田 師門(H22-24)
2. ケイ酸オリゴマーの精密設計による新規メソ構造材料の合成	早稲田大学理工学術院	○萩原 快朗(H20-21) ◎○黒田 一幸 (H22-H24) 住友 慶子(H22-23) 若林 隆太郎(H22-23) Choi Kwang-Min(H24)
3. プロジェクトの総合的推進	早稲田大学理工学術院	◎黒田 一幸

◎課題代表者、○サブテーマ代表者



## 事後評価票

1. 課題名 ケイ素酸素系化合物の精密合成による機能設計
2. 評価結果
(1) 課題の進捗状況 クラーク数上位の酸素とケイ素からなる新規メソ構造体の合成に取り組み、数多くの新規物質を創製した。本課題では主に、低次元ケイ酸化合物に類する物質、ケイ酸オリゴマーに類する物質が合成されており、触媒材料、イオン交換樹脂、エポキシ合成助剤から医療材料まで、極めて広い応用展開の可能性が提示された。また、その合成に関する独自の学術体系は、分子化学を包含しながらメソスコピックな構造形成に及び、大きな進展を見せた。具体的な実用研究課題に十分取り組むことはできなかったものの、最終的には化粧品等への展開において民間企業との連携に着手することとなった。また、合成に関する新しい手法は、経済産業省の「未来開拓研究プロジェクト」等に移行され、成果を深化させることとしている。 人材育成面では、国際シンポジウム等の開催を通じて、若手研究者、学生等の育成に意欲的な国内外の最先端研究者を招き、指導を仰ぐなどの取組を積極的に行った。
(2) 研究成果の評価と今後の研究開発の方向性 ケイ酸塩をベースとしたメソ構造体の合成に関する研究代表者の豊富な経験を活かし、元素戦略の視点に立った独創的な新物質の創製に関する多くの成果が得られたことは高く評価できる。一方で、実用化を目指したアプローチにおいて、終盤で目標を相当に絞り込むこととなり、その独創性・学術的成果を十分に生かし切れなかった研究成果も少なくなかった。プロジェクト終了後も、それらの成果を実用化に展開できるよう、応用研究との積極的な連携が望まれる。
(3) 今後の展望 プロジェクト終了後、卓越したケイ酸塩メソ構造体の合成手法の活用に向け、経済産業省「未来開拓研究プロジェクト」の有機ケイ素部材製造プロセス技術開発に参画しているとともに、本プロジェクトの成果をもとにした知財に関して、連携する企業等との共同出願を進めている。これらの取組の着実な実施を通じて、今後の成果の更なる展開が期待される。