

ナノテクノロジー・材料科学技術に係る 研究開発課題の評価結果

平成24年1月24日

研究計画・評価分科会

目次

第6期 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員名簿	2
---------------------------------------	---

研究開発課題の事後評価結果

ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発〈産学官連携型〉

組織制御構造体の開発	3
超高強度軽量移動体を可能にする複層鋼板	
ナノ環境機能触媒の開発	8
革新的環境・エネルギー触媒の開発	
還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換	

第6期 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員名簿

平成23年4月

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
潮田 浩作	新日本製鐵株式会社技術開発本部フェロー
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
◎ 川合 知二	大阪大学産業科学研究所特任教授
北川 進	京都大学物質－細胞統合システム拠点副拠点長
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
○ 榊 裕之	豊田工業大学学長
袖岡 幹子	独立行政法人理化学研究所基幹研究所主任研究員
曾根 純一	独立行政法人物質・材料研究機構理事
田中 一宜	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
中村 栄一	東京大学大学院理学系研究科化学専攻教授
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
松下 祥子	東京工業大学大学院理工学研究科准教授

(◎主査、○主査代理)

ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発
＜産学官連携型＞
「組織制御構造体の開発」

事後評価結果

評価課題(平成 18 年度採択課題)

超高強度軽量移動体を可能にする複層鋼板

小関 敏彦(東京大学工学系研究科)

ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発(産学官連携型) 「組織制御構造体の開発」の概要

1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成 18 年度～平成 22 年度

中間評価 平成 20 年 7 月、事後評価 平成 23 年 12 月

2. 研究開発概要・目的

文部科学省では、ナノテクノロジー・材料分野を中心とした新たな先端的融合研究領域において、これまでの基礎研究の成果であるシーズ技術を生かして、産学官連携研究体制や研究拠点を構築することにより、研究開発を強力に推進し、技術革新を創出することを目的とし、平成 17 年度より、「ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発」を実施している。

特に、シーズを持った大学、独立行政法人等の研究開発機関と実用化を見据えた明確なビジョンを持った民間企業を組み合わせた戦略的な産学官連携の研究体制の下で実施する「産学官連携型」の研究開発領域においては、ナノテクノロジー・材料と他分野との融合領域において、世界標準につながる革新的な製品・サービスをはっきり見据えた研究開発領域として、「ナノ環境機能触媒の開発」及び「組織制御構造体の開発」を定め、研究開発を加速し、技術革新を創出することとしている。

このうち、平成 18 年度～22 年度に実施された「組織制御構造体の開発」に関する課題の概要を以下に示す。

○超高強度軽量移動体を可能にする複層鋼板

自動車をはじめとする移動体は我が国の主要な CO₂ 排出源の一つであり、低炭素で持続可能な社会の実現に向けて、移動体の CO₂ 排出量削減と省エネルギー化が必須である。そのためにはガソリンエンジンからの脱却に加え、移動体の軽量化が最も有効であり、これまでも様々な高強度材料の開発と適用が進められてきた。一方、移動体の構造材料には、自動車を例に取れば年間 1000 万台の生産を高い生産性と低コストで可能にする優れた成型加工性や溶接性、衝突時の安全性のための高い延性、さらにリサイクル性も併せて必要である。次世代の移動体には、これらを更に高いレベルで両立する高強度材料が必要であるが、延性や成型加工性、溶接性は材料の高強度化とともに著しく低下するため、大幅な軽量化を可能にする飛躍的な高強度材料の実現には至っていない。

このような背景の下、本課題では、超高強度と高延性を両立する新たな鉄鋼材料を、異なる組織・特性を有する鋼を複層化しナノからマクロまでマルチスケールで“組織制御構造化”した「複層鋼板」によって実現する。具体的には、複層鋼板の基本設計指針の確立、実用化を視野に入れた材質や性能の評価と解析、利用加工技術、製造法、信頼性評価技術の検討を行うとともに、並行して、その基盤となる金属-金属のヘテロ界面の解明、ヘテロ構造金属材料の力学的挙動の解明、複層化による高強度脆性材料の変形機構の解明を進めた。これらを通して、次世代の高性能、安心・安全、環境対応に資する新たな複層型金属材料、並びに、その材料科学の基盤の構築を目指した研究開発を行った。

3. 研究開発の必要性等

移動体の高強度・軽量化は、高速・高性能化のみならず、省エネ・省資源、低排出ガスの環境負荷低減に不可欠である。自動車をはじめ、世界中で取り組まれるが、材料高強度化に伴う延性低下や疲労などの多くの課題解決策が見出されておらず、ブレークスルーが必要である。

4. 予算(執行額)の変遷

単位(千円)

課題名	機関名	開始 年度	終了 年度	中核 機関	H18		H19		H20		H21		H22		合計	
					契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別		
超高強度軽量移動体を可能にする複層鋼板	国立大学法人東京大学	18	22	○		216,600		200,300		133,800		116,300		66,000	911,200	
	独立行政法人物質・材料研究機構	18	22			31,200		33,000		15,000		13,000		9,100		
	国立大学法人熊本大学	18	22			4,900		4,900		0		1,500		1,200		
	国立大学法人東北大学	18	22		270,200		1,000	260,000		1,000	158,000		1,000	83,000		800
	学校法人上智学院	18	22			2,600		4,300		2,600		2,600		2,000		
	新日本製鐵株式会社	18	22			10,000		10,000		5,600		5,600		3,900		
	特殊金属工業株式会社	18	19			3,900		6,500		0		0		0		

5. 課題実施機関・体制

研究代表者 東京大学工学系研究科教授 小関 敏彦

主管研究機関 東京大学

共同研究機関 東北大学、上智大学、物質・材料研究機構、新日本製鐵(株)

事後評価票

(平成 24 年 1 月現在)

1. 課題名 組織制御構造体の開発「超高強度軽量移動体を可能にする複層鋼板」

2. 評価結果

(1) 課題の達成状況

本課題は、次世代の軽量移動体を可能にする、超高強度と高延性を両立する新たな「複層鋼板」の基本設計指針の確立、実用化を視野に入れた材質や性能の評価と解析、利用加工技術、製造法、信頼性評価技術の検討に取り組んだものであり、東京大学を中核とし、3つの大学、独立行政法人、鉄鋼メーカーにおいて形成される産学官連携体制の下で研究開発が推進された。

ステンレス鋼系の SUS420 と SUS301 については、目標値である強度 1200MPa 以上、伸び 20%以上という所期の目標を達成し、設計にあたっての基本指針が確立できているところまで達したといえる。一方で、製造法や信頼性評価については基礎的検討にとどまっており、実用化に向けては更なる検討が必要である。また、自動車用強度部材として使用される低合金鋼系の SCM-SM については、強度 1200MPa における伸びは目標値(20%以上)程度の結果が得られている。

このように、各研究項目について所期の研究開発目標を概ね達成している。

(2) 成果

複層化により生じたナノ界面を制御することにより、脆性的な超硬質のマルテンサイトにおいて期待以上の延性を得て既存技術に対する優位性を見出し、中間評価でも指摘された硬質層と軟質層の交互積層材料の変形機構解明に取り組んだことは評価される。その研究成果により複層鋼板の設計にあたっての基本指針が確立できるところまで達成している。

また、本課題で得られた成果の対外的発表として、40 件の学術論文、132 件の学会発表が行われた点も評価できる。このように、本技術がもたらす社会的なインパクトは大きい。

(3) 今後の展望

本課題の制約要因等を考えれば、非常に優れた成果と考えられるが、ここで得られた技術の実用化に向けては、経済的な波及効果を生み出すための汎用的・工業的大量生産プロセスの確立などの課題が残っており、意欲的な目標設定とそのアプローチの検討が引き続き必要と考えられる。また、溶接技術に関しては、予算削減の影響でスポット溶接、レーザー溶接、摩擦攪拌溶接の基本的検討にとどまっており、実用化のためには母相-構成相同士の高信頼性の高い接合技術の確立が望まれる。

なお、本課題の研究成果の一部は、複層鋼板の設計にあたっての基本指針が確立されたことから、独立行政法人科学技術振興機構(JST)において 2010 年から開始された先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)の「鉄鋼の高性能化と低炭素化を両立する複層鋼板」のプロジェクトへと展開しており、研究成果のさらなる発展が期待される。

ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発

＜産学官連携型＞

「ナノ環境機能触媒の開発」

事後評価結果

評価課題(平成 18 年度採択課題)

革新的環境・エネルギー触媒の開発

堂免 一成 (国立大学法人東京大学大学院工学系研究科)

還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換

石原 達己 (国立大学法人九州大学大学院工学研究院応用化学部門)

ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発(産学官連携型) 「ナノ環境機能触媒の開発」の概要

1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成 18 年度～平成 22 年度

中間評価 平成 20 年 7 月、事後評価 平成 23 年 12 月

2. 研究開発概要・目的

文部科学省では、ナノテクノロジー・材料分野を中心とした新たな先端的融合研究領域において、これまでの基礎研究の成果であるシーズ技術を生かして、産学官連携研究体制や研究拠点を構築することにより、研究開発を強力に推進し、技術革新を創出することを目的とし、平成 17 年度より、「ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発」を実施している。

特に、シーズを持った大学、独立行政法人等の研究開発機関と実用化を見据えた明確なビジョンを持った民間企業を組み合わせた戦略的な産学官連携の研究体制の下で実施する「産学官連携型」の研究開発領域においては、ナノテクノロジー・材料と他分野との融合領域において、世界標準につながる革新的な製品・サービスをはっきり見据えた研究開発領域として、「ナノ環境機能触媒の開発」及び「組織制御構造体の開発」を定め、研究開発を加速し、技術革新を創出することとしている。

このうち、平成 18 年度～22 年度に実施された「ナノ環境機能触媒の開発」に関する 2 課題の概要を以下に示す。

○革新的環境・エネルギー触媒の開発

本課題は、独創的・先端的触媒開発を行うことにより、現在人類の直面する環境問題・エネルギー問題に本質的に貢献できる触媒技術の確立を目指すことである。具体的には、(1)太陽光と水から水素製造を目的としたエネルギー変換型光触媒の開発及び実用的プロセスの提案、(2)酸素及び過酸化水素を酸化剤とする高活性・高選択性酸化触媒の開発、(3)硫酸代替可能な固体酸と新規なゼオライト触媒プロセスの開発及び実用レベルの性能を達成することを目的とした研究開発を行った。

○還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換

本課題では、石油価格の高騰や今後の枯渇に鑑み、資源的により埋蔵量の豊富なメタンを基点とする新しい物質フローの展開や、従来に無く高選択的な酸化反応を進行可能な部分酸化プロセスの創出を目的に H_2 から直接 H_2O_2 を合成可能な高活性ナノコロイド触媒の開発に取り組んだ。このために還元的な雰囲気中で酸化反応を行う新しい酸素分子の活性化触媒の開発、この触媒を用いる H_2O_2 の高選択的合成触媒の高活性化及びこの触媒の性能に基づく、新しい工業プロセスの設計を検討した。また、得られた過酸化物を利用する、または中間体とする展開研究を行い、新しい工業プロセスとなるべき、反応系の構築について検討を行った。

3. 研究開発の必要性等

○革新的環境・エネルギー触媒の開発

触媒は、多様な物質合成・分解反応や製造プロセスに用いられている社会の基盤となる材料である。触媒プロセスにおける高いエネルギー効率や高い転換効率などの実現はエネルギーや資源の有効利用のためには重要である。環境調和型の触媒反応プロセスの開発は欧米でも活発に行われ始めているが、当該分野において我が国は世界をリードしている。

○還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換

現在、 H_2O_2 は種々のユニークな部分酸化反応を進行できることに加え、副生物も H_2O_2 であり、種々の分野で需要が高まっている。そこで、 H_2 から直接 H_2O_2 が合成できる直接法の工業化が期待されている。

4. 予算(執行額)の変遷

課題名	機関名	開始年度	終了年度	中核機関	H18		H19		H20		H21		H22		合計	
					契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別	契約額	機関別		
革新的環境・エネルギー触媒の開発	国立大学法人東京大学	18	22	○	210,000	143,860	200,000	129,250	190,000	113,550	164,000	101,400	130,000	87,300	894,000	
	国立大学法人東京工業大学	18	22			50,000		45,000		43,420		33,150		20,800		
	三菱化学株式会社	18	22			10,140		10,000		10,000		8,200		5,000		
	株式会社日本触媒	18	22			6,000		6,000		6,000		5,000		3,900		
	国立大学法人京都工芸繊維大学	19	22			0		3,250		3,250		3,250		3,250		
	国立大学法人新潟大学	19	22			0		3,250		3,250		3,250		3,250		
	国立大学法人北海道大学	19	22			0		3,250		10,530		9,750		6,500		
還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換	国立大学法人九州大学	18	22	○	80,000	59,200	65,000	42,900	65,000	47,900	52,000	42,550	45,000	38,500	307,000	
	国立大学法人名古屋大学	18	22			9,100		9,100		9,100		4,400		2,600		
	国立大学法人大分大学	18	22			6,500		6,500		6,500		6,500		3,900		2,600
	昭和電工株式会社	18	19			5,200		5,000		0		0		0		
	三菱瓦斯化学株式会社	19	22			0		1,500		1,500		1,150		1,300		

5. 課題実施機関・体制

○革新的環境・エネルギー触媒の開発

研究代表者 東京大学大学院工学系研究科教授 堂免 一成
 主管研究機関 東京大学
 共同研究機関 東京工業大学、(株)三菱化学、(株)日本触媒

○還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換

研究代表者 九州大学大学院工学研究院応用化学部門教授 石原 達己
 主管研究機関 九州大学
 共同研究機関 名古屋大学、大分大学、昭和電工(株)、三菱瓦斯化学(株)

事後評価票

(平成 24 年 1 月現在)

1. 課題名 革新的環境・エネルギー触媒の開発

2. 評価結果

(1) 課題の達成状況

本課題は、①太陽光と水から水素製造を目的としたエネルギー変換型光触媒の開発及び実用的プロセスの提案、②酸素及び過酸化水素を酸化剤とする高活性・高選択性酸化触媒の開発、③硫酸代替可能な固体酸と新規なゼオライト触媒プロセスの開発及び実用レベル性能の達成、これら3つのテーマに取り組んだものであり、東京大学を中核とし、5つの大学と2つの触媒メーカーの産学官連携体制の下で研究開発が推進された。①については、単一光触媒系の水分解光触媒活性において世界最高活性(量子収率 5.1% @420nm)を示すなど高いレベルでの研究事業を展開しており、一部目標未達成の部分はあるものの、全体として事業開始時に掲げた個別の研究課題の目標を概ね達成している。また、中間評価を受けて研究開発目標を一部改訂し、課題によっては新規メンバーの参入により、研究体制の強化を図る努力が行われている点も評価に値する。

(2) 成果

各種の水分解光触媒系の開拓研究において世界をリードする研究成果をあげ、反応機構の解明に基づく有効触媒設計指針の確立と実用化への展開研究を着実に遂行した。上記①の水素製造に関するテーマでは、難易度が高く挑戦的な課題ではあったが世界を牽引する性能を実証した。②の選択酸化のテーマでは、構造が明確な化合物を基本とした高機能な分子触媒の創出する方法の開発を通じ、新規触媒創出の指針を与える成果を創出した。③の固体酸・ゼオライト触媒のテーマでは、安価な大量製造法の確立に向け、近い将来の実用化が期待できる成果を得た。

このように、3テーマとも優位性の高い研究成果を上げている。特に水分解光触媒及びカーボン系固体酸触媒の開発は独創性も高く、それらは論文発表件数(429 件)、招待講演数(50 件)に如実に現れている。特許出願件数については、一部の研究において不十分な点はあるが、実証試験へ進展させているなどの努力も行われており、実用化に向けて、適切な対応が行われていると評価できる。

(3) 今後の展望

上記①の水分解光触媒については、従来の触媒系に比してかなり高効率であるため、新規環境技術の確立につながる重要な成果である。光変換効率の大幅向上と、水素、酸素分離を含めたリアクターデザインの改善に注力が必要だが、それらの解決方針は得られており、さらなる工夫と検証が望まれる。②の選択性酸化触媒、③の固体酸触媒の研究展開については、いずれも実用化技術としての確立が見込まれる段階に到達しつつあり、共同研究企業での実用化研究を経て、社会的要請に応える環境技術の開発が望まれる。

なお、本課題の研究成果の一部は、独立行政法人科学技術振興機構(JST)において平成 22 年度より開始された先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)の「大規模展開を目指したソーラー水素光触媒システムの開発」プロジェクトへと展開しており、研究成果のさらなる発展が期待される。

事後評価票

(平成 24 年 1 月現在)

1. 課題名 還元的酸素分子の活性化に基づく新しい環境調和型物質転換

2. 評価結果

(1) 課題の達成状況

本課題は、還元的な雰囲気中で酸化反応を行う新しい酸素分子の活性化触媒の開発と、この触媒を用いた過酸化水素の高選択的合成触媒の高活性化及び工業プロセスの設計、さらには得られた過酸化水素を利用する展開研究の遂行に取り組んだものであり、九州大学を中核とし、3つの大学と2つのメーカーとの産学官連携体制の下で研究開発が推進された。

過酸化水素の収率 92%は目標(50%)を達成しており、蓄積濃度 5.6%は目標(10%)を下回っているものの、一部の実用化においては十分な数値であり、その後の反応及び構造の解析において触媒設計に貢献する重要な知見を得た点は高く評価できる。

応用展開については概ね計画通りに研究が実施されている。中間評価の指摘事項への対応としては、公知・先行研究の枠から大きく超えていない部分も見受けられるが、ナノ触媒のメカニズムの解明に進展は認められることから、今後の展開が期待される。

(2) 成果

酸素からの過酸化水素合成においては、理論計算と実験結果の詳細な検討から、ナノコロイド触媒を用いた各種の反応条件に関する独創的工夫で水を反応溶媒とした高効率合成法を確立した点が高く評価できる。Pd-Au 触媒による過酸化水素収率 92%は画期的であり、過酸化水素濃度 5.6%も用途によっては実用レベルであるため、本課題は工業的・社会的にインパクトの大きいプロセスを開発したと言える。

また、展開研究における、固体触媒を活用したアルカンの部分酸化に関する研究成果は従来法にはない特徴を有しており、独創性や将来の優位性を示すものと言える。

なお、成果の発表状況については、論文や講演など 50 件以上あり成果の発信は十分である。一方、知的財産権の出願については、本課題の成果にプロセス的な改善・工夫によるものも多く含まれることから、より一層の出願努力が求められる。

(3) 今後の展望

本課題は、多くの挑戦にもかかわらず実用化の目途が立たなかった過酸化水素の直接合成について、ブレイクスルーとなる成果を得ており、高く評価できる。実用化に向けては、反応機構や触媒活性点など、反応工学的な課題の更なる解明等が必要であるが、今後、用途を具体的に選んで課題を整理しつつ、効率的に改良を加え本技術のポテンシャルを着実に向上させることで、実用化の展望が開ける可能性が十分にある。

なお、本課題の研究成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NE DO)において平成 23 年度より開始された「グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発」(研究開発項目④化学品原料の転換・多様化を可能とする革新グリーン技術の開発)の「気体原料の化学品原料化プロセスの開発」プロジェクトへと展開しており、研究成果のさらなる発展が期待される。