

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成29年1月20日

評価委員：（敬称略、五十音順）

中島 章 東京工業大学 物質理工学院 材料系 教授

宮山 勝 東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 教授

山口真史 豊田工業大学 スマートエネルギー技術研究センター シニア研究スカラ

確定年月日：平成29年4月7日

プロジェクト名	次世代環境再生材料の研究開発
研究責任者の所属・役職・氏名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・MANA 主任研究者・葉金花
実施期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>（研究目的）：持続可能な社会の実現に向けた、環境再生・修復技術に貢献する革新的な物質・材料の開発・創製、およびその基礎研究を行うことを目的とする。</p> <p>（意義）：有害物質による環境汚染や二酸化炭素による温暖化などの地球規模の環境問題が複雑多様化・深刻化する中、環境低負荷型浄化材料・技術の研究開発に対する社会的な要請が年々高まりを見せている。特に我が国においては東日本大震災とその後の原子力発電所の事故で放射性物質による汚染問題が緊急な課題となり、第4期科学技術基本計画においては、「環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーションの推進」を我が国の将来にわたる成長と社会の発展を実現するための主要な柱として位置付け、「科学技術イノベーション政策を戦略的に展開する」と、関連する研究開発の重要性と投資の強化が謳われている。環境問題の抜本的な解決には総合的なイノベーションが必要不可欠であるが、なかでも材料技術に寄せられている期待は非常に高い。物質・材料研究の中核機関であるNIMSにおいて本研究プロジェクトを遂行することによって、深刻化する環境汚染問題の解決に対する社会の要請に応えることが可能となり、環境浄化・環境再生材料・技術の飛躍的な発展が期待できる。産業的には、新しい「環境再生材料・技術・システム」を提供することによって、既存経済活動の活性化・高度化に止まらず、新たな水・大気・土壌環境関連事業の創出にも繋がり、今後の我が国の基幹産業に成長するであろう環境再生材料・技術の発展に対して本質的な寄与を果たす。また、資源の乏しい我が国においては、こうした先進的な環境技術の確立は重要な知的資源として、戦略的にも国益確保に不可欠であり、その波及効果は政治的・経済的な国際競争力の向上にも大いに貢献できる。</p>
研究内容	<p>水・大気・土壌などの環境における有害物質の選択的固定・貯留や物質変換による無害化を可能にする材料のナノレベルでの開発・創製、およびその機能のブレークスルーを図るための基礎・基盤研究を行う。具体的には、環境問題の解決に寄与できる光触媒、金属・酸化物触媒、機能性多孔質材料・粘土等の層状吸着材料などの要素材料・技術と、表面・界面反応の理解と高機能化に必要な不可欠な理論研究を総合的・融合的に推進することにより、物質・材料が持ちうるポテンシャルを最大限に引き出し、これまでにない環境浄化および再生材料・システム・方法論の開発に、多角的に挑む。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>革新的な環境浄化および再生材料・システム・方法論の創出を目標とする。 具体的には：</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 高効率な有害化学物質の分解・除去システムの構築 ② 放射性物質等を吸着・除去する超低負荷・高機能性吸着材料の開発 ③ 有害ガス・液体の選択的除去システムの構築

	<p>④ 排気ガスの清浄化等に対する新しい金属触媒の開発 ⑤ 表面・界面における化学反応の系統的理解と材料設計指針の確立</p>
<p>平成23年度～平成27年度までの主な研究成果(アウトプット)及び研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>1) 主な研究成果(アウトプット)：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 第二期で開発した新規光触媒 Ag_3PO_4 に関し、理論と実験の連携で画期的な光酸化活性の起因を明らかにしたと共に、高活性な結晶面を選択的に成長させる手法の開発及び他の材料との複合化を行うことで、液相・気相有機有害物質の分解&除去に10倍以上の高活性を実現した。また、ナノ金属の組成・形態等を制御することで、太陽光のほぼ全波長範囲を有効に利用できる光誘起熱触媒材料を構築し、高効率な二酸化炭素メタン化の実現に新たな道筋を示した。 ・ 天然に存在するジオマテリアルの環境再生材料としての優位性を活かして、有害物質の選択的吸着・分離・除去に特化した技術開発を推進し、緊急課題である除染技術開発をはじめ、二酸化炭素回収、石油分離回収に関する技術開発で実用性の高い多くの知見を得た。 ・ 貴金属白金等のメソポーラス化に簡便な手法を開発することで成功した。合金化、構造の最適化をすることで、市販の白金触媒比10倍以上の性能向上を確認した。白金の使用量を大幅に削減可能な技術と注目されている。 ・ 安価で豊富な銅やニッケルなどの遷移金属のみから構成されているにもかかわらず、貴金属触媒を超える優れた自動車排気ガス清浄化機能を発揮する、「貴金属フリー排気ガス触媒」の創成に成功した。 ・ 実験と理論の連携による材料開発の効率化を促進し、Sn_3O_4、$Sr(VO_3)_2$ など新規光触媒の発見に成功した。電子状態が触媒活性に与える影響を調べることで金属間化合物触媒 Pt_3Ta、Pt_3Zr の開発に貢献した。面方位・格子欠陥・金属/酸化物界面が触媒活性に与える影響を計算科学的に調べ、その理解を深めた。 <p>2) 研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自然光のみの利用で有害化学物質を分解・除去する環境にやさしい光触媒浄化技術の飛躍的な発展および応用市場の拡大が期待できる。また、地球温暖化ガスの削減&再利用技術の実現に繋がる重要なアプローチとなりうる。 ・ 地球環境で極めて安定・安全な素材である粘土鉱物等のジオマテリアルは、有害物質の選択吸着・除去が可能な実用性の高い機能性吸着材料となりうる。 ・ あらゆる金属を多孔化する技術を活用することで、従来の電極触媒、環境ナノ触媒などに不可欠な希少金属の使用量を大幅に削減することができる。 ・ 貴金属需要の過半を占める自動車排気ガス清浄化において貴金属材料の完全無使用化を可能にすることで、貴金属供給・価格の安定化をもたらし、貴金属材料にかかわるすべての産業・技術に対して甚大な波及効果を与える。 ・ 様々な環境再生材料を網羅的に解析した成果を元に、機械学習の方法を適用することで材料予測の高精度化・高効率化への道筋を立てることが可能。
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い：順調に進展し目標を達成できた</p> <p>自己点検・評価：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 理論と実験の強い連携および要素材料技術間の複合化を推進することにより、各環境再生要素材料において、目標以上の性能向上を実現し、これまでにない次世代環境浄化材料の創出に繋がった。特に、貴金属フリー清浄化触媒に関しては、すでに量産化にも成功し、自動車排気ガス清浄化への実用化が期待される。また、日本社会が直面している緊急課題である福島第一原発事故に伴って放出された放射性物質の吸着および脱離技術の開発にも多く

	<p>の成果を上げ、社会貢献を果たした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 今後は本プロジェクトで得られた研究成果を発展させるべく、企業等との共同研究をさらに促進し、より一層の実用化を展開していく予定である。
【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 (事前・中間評価の結果を受けて、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 物性理論研究、材料合成、材料評価が融合された研究計画で、研究成果からみても、高く評価できる。 ・ プロジェクト全体と要素材料のサブテーマにおいて、理論計算を取り入れた材料・プロセスの設計と開発、構造・物性の制御と評価、応用展開と学理構築、という適切なロードマップ・計画に基づいて研究開発が進められた。 ・ 環境技術を支える材料の研究開発の重要性は認められる。 ・ ロードマップ上の問題点は特には感じない。 ・ ロードマップは良く考えられているが、状況の変化に合わせて変更する必要があるだろう。 ・ 材料研究開発と理論研究を融合した実施体制および適切なマネージメントにより、プロジェクトを有効に進めている。 ・ サブテーマ間だけでなく、国内外の機関や産業界と連携が良くできており、マネージメントもできている。 ・ 外部研究機関等と積極的な研究連携を進め、海外との連携研究センターを開設するなど有用な成果を残している。 ・ 国際連携等も活発で、評価できる。 ・ 特に海外の大学（天津大学）と連携して研究センターを設立し、学生や研究者の交流を通じて研究成果を出した点は特筆に値する。 ・ 但し、中長期的テーマが多く、代替材料との比較や目標数値が不明確なものもある。 ・ 貴金属フリー自動車排ガス清浄化触媒や放射性物質の吸着・脱離技術などは、重要だが、時機を逸している懸念がある。 ・ 完成度を含むタイミングが重要であろう。
<p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ サブテーマ間で進捗の程度にやや差があるものの、当初の目標は概ね達成できていると考える。 ・ 具体的な目標値はプロジェクト開始当初からやや曖昧なものもあったが、学術的価値の高い研究成果が数多く得られている。 ・ 各サブテーマにおいて多くの論文等の成果を上げており、環境再生に貢献する物質・材料・方法の開発・創製という学術的な目標を達成している。 ・ 基礎研究としての学術的価値は十分に高い。 ・ 学術的に優れた研究成果が得られているが、研究テーマの数値目標が不明確なものもあり、実用化に向けた道筋が見え難いものもある。 ・ Ag_3PO_4、$\text{Ru}/\text{Al}_2\text{O}_3$、$\text{Cu}@\text{ZrO}_x$ など、新材料の研究開発で、被引用数の高い(847)学術的にも高い成果が得られ、評価できる。 ・ 放射性物質の吸着・除去技術の開発と関連基礎研究は、原発事故後の対策という意味だけでなく、将来の安全安心な社会の構築に向けた基盤となる社会的価値がある。 ・ 本プロジェクトのタイプは基礎研究から応用研究までなので、社会的価値や経済的価値の創造に関しては、実用化を見据えた今後の検討に委ねられる。 ・ 自動車排ガス清浄化触媒など、社会へのインパクトのある芽が出ているものもあるが、完成度が低い状況であり、企業との連携を含め、実用化に向けた集中化が必要に思う。 ・ 今後は特に、廃棄物の吸着により発生すると思われる二次汚染物質への対応や、開発した物質の実際の部材へのインテグレート方法等が課題になり、産業界と連携してこれらの課題もさらに進めていくことが望まれる。

<p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・世界トップレベルの研究成果が数多く得られており、予算に見合った内容である。 ・プロジェクト代表者が、英国王立化学会のフェローに選出され、代表者およびサブテーマ責任者が、2016年 Highly Cited Researchers に選ばれるなど、高い評価を得ている。 ・学術論文数 531、招待講演数 296、特許出願 46、論文被引用数など、高い学術的研究成果が得られている。 ・高活性かつ広い波長領域を用いる光機能材料や精密に構造制御した吸着・触媒材料など、世界をリードする高いレベルの研究成果や将来の学術的発展に繋がる重要な基礎成果が得られている。 ・特に貴金属フリー自動車排ガス触媒の構造と特性は、環境浄化触媒の設計概念に新たなブレークスルーを与える可能性がある、興味深い成果である。 ・今後は、実用化に向けた展開が必要であり、産学連携を含めて、課題の明確化と実用化計画の策定が必要であろう。
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・影響力の大きな国際学術雑誌に多数の論文が掲載されており、極めて水準の高い優れた成果が得られている。 ・多くの国際会議発表や一般向けの解説・講演など、研究開発成果を積極的に社会に発信しており、この分野の重要性の社会認識を高める努力がうかがえる。 ・プロジェクトリーダーが英国王立化学会のフェローや、トムソン・ロイターから Highly Cited Researcher に選出されるなど、世界におけるプレゼンスを明確に獲得した点は高く評価できる。 ・多くの特許出願をしており、将来の産業発展の礎を築いている。 ・貴金属フリー排ガス清浄触媒など、日本だけでなく世界で至急に必要とされる材料・技術を開発しており、社会的・産業的価値の高いアウトプットを得ている。 ・貴金属フリー自動車排ガス清浄化触媒や放射性物質の吸着・脱離技術などは、重要であり、産学連携を強化する必要がある。 ・我が国の喫緊の環境問題や危機は単に福島の汚染水だけでなく、PM2.5による大気汚染や、ウィルスパンデミックなどもある。本研究の成果はこれらにも展開できる可能性があり、更なる検討を期待する。 ・開発されつつある各種新規材料が、今後、どう実用化されるかが、重要である。 ・実用化に向けた研究計画の見直しと研究開発テーマの重点化が必要であろう。
<p>総合評価点平均 (10点満点)</p>	<p style="text-align: center;">9.0点 (小数第二位四捨五入)</p>
<p>その他 研究全体に対する総合的な所見、①～④に入らない所見、問題点、あるいはプロジェクトに対する印象など自由にご記入ください</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究全体としては、優れた学術的成果が得られ、高く評価できる。 ・得られた基礎研究成果をどのように実社会に反映させてゆくか、方向性が示されるとよい。 ・開発されつつある各種新規材料が、今後、どう実用化されるかが、重要である。 ・実用化に向けた研究計画の見直しと研究開発テーマの重点化が必要であろう。 ・今後の研究の進め方を示す基礎となるため、(外部機関と連名になっている論文など) 各種の連携が成果にどのような寄与があったか示すことが望まれる。 ・今後の材料研究では、計算科学の占める役割が大きくなる。表面や界面での物質やそれらを構成する電子の挙動は、バルク材料中とは大きく異なり、今だこれらの反応に関する計算科学の十分な学理が確立されたとは言いがたい。本プロジェクトの成果や今後のさらなる検討を通じて、この点の確立に資する形に繋げることができると、本プロジェクトの価値がさらに高いものになる。

	と思われる。
--	--------

第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れていた。 多くの点において模範的に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。
7		
6		
5	B	平均的なプロジェクトであった。 一部の計画の見直しが必要であった。
4		
3		
2	C	期待されたほどではなかった。 計画を大幅に見直して実施すべきであった。
1		