

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年1月23日

評価委員：（敬称略、五十音順）

神谷信行（株）KMラボ 社長

重里有三 青山学院大学大学院 理工学研究科 教授

西方 篤 東京工業大学大学院 理工学研究科 教授

確定年月日：平成24年2月27日

プロジェクト名	高機能光触媒材料の研究開発
研究責任者の所属・役職・氏名	環境・エネルギー材料部門 環境再生材料ユニット長（元光触媒材料センター長） 葉 金花
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	<p>地球規模の環境汚染問題とエネルギーの供給不足問題が深刻化する中、環境低負荷型浄化技術及び新エネルギー生産技術の開発が急務になっている。光触媒は有害化学物質の分解・除去、さらには水を分解して水素を生成できるなど、次世代環境浄化及びエネルギー変換材料として期待されている。しかし、既存の材料では紫外光にしか活性を示さないため、効率や用途が著しく制約されている。</p> <p>そこで本研究では、使用環境に制約の少ない可視光応答型光触媒の開発及びその高機能促進材料の探索、表面ナノ構造制御による高機能化、さらに光触媒反応メカニズムの解明に関する研究を行う。</p>
研究内容	<p>有害物質を効率的に分解・除去できる可視光応答型光触媒及びその高機能促進材料の探索、表面ナノ構造制御による高機能化、さらに光触媒反応メカニズムの解明に関する研究を行う。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>サブテーマ1) バンド構造制御による可視光応答型光触媒材料の開発においては、光触媒材料の結晶構造及び電子構造を制御することによって、太陽光及び室内照明の大部分を占める可視光で効率よく使用できる新規複合酸化物光触媒の開発を行う。</p> <p>サブテーマ2) ナノ構造制御による光触媒の高機能化研究においては、微粒子科学、表面科学の手法を駆使したナノレベルでの構造制御・表面特性制御、ナノポーラス及びメソポーラス吸着材とのナノハイブリッド化を行うことによって光触媒反応の高効率化・高機能化を図る。</p> <p>サブテーマ3) 光触媒反応のメカニズムに関する基礎研究においては、光触媒材料におけるキャリアの励起、移動、有機物等の分解プロセス、表面電子構造などを実験的研究及び理論計算の両面から明らかにし、光触媒材料の設計指針及び高機能化指針を確立する。</p> <p>本研究によって、有害物質を効率的に分解・除去できる環境低負荷型浄化技術に関する材料基盤を確立するとともに、光化学エネルギー変換用材料研究への発展を目指す。</p>
平成18年度～平成22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>1) 主な研究成果（アウトプット）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バンド構造を制御することにより、可視光照射下で種々の気相・液相有機有害化学物質を高効率で分解できる新規光触媒材料の開発に成功した。特に独自の材料設計・制御戦略に基づき開発した新規光触媒材料 Ag_3PO_4 は植物の光合成の量子収率に匹敵する酸化活性を示し、環境浄化のみならず、人工光合成への応用も期待される（Nature Mater. 9, 559, 2010）。 ・ナノ構造・低次元構造・ナノヘテロ構造の制御により光触媒材料の機能性及び特性の向上とそのハイブリッド化に成功した。また、組成と構造の制御を行うことにより、ユビキタス元素からなる吸着特性に優れた層状複水酸化物や粘土鉱物などの無機ナノ層状化合物に光触媒特性を初めて見出した。 ・実験的研究と理論計算の両面からアプローチすることにより、バンド構造と光

	<p>触媒活性の関連を明らかにしたのみならず、光触媒表面への水分子の吸着素過程やその電子構造の詳細を明らかにし、高性能光触媒の設計に重要な指針を提供した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・企業との共同研究で硫化水素等腐食性ガスを迅速に分解・除去できる高機能空気清浄器の開発・市販化に成功した。 ・本プロジェクト研究により、光触媒材料の設計・創製・高機能化に関連する基礎・基盤技術を確立した。これらの研究成果は国際誌に180余編におよぶオリジナル論文として発表され、またその集大成としてAdvanced Materials誌に「ナノ光触媒の可能性と挑戦」と題するレビュー(Adv. Mater. 24, 229-251, 2012)を発表した。 <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"> ・本研究の成果が十分に実用される場合、光触媒利用市場を現在の外装材、道路資材などを中心とした屋外利用から、室内環境での様々な利用へと拡大可能となり、生活環境を中心に市場がまず2倍以上に拡大する。さらに、一次産業分野への応用が進展することによって、環境分野に限っても市場が2兆8千億円にも上ると推定される(特許庁平成21年度特許出願技術動向調査報告書「光触媒」より)。 ・将来的には太陽光水素エネルギー生産分野・二酸化炭素資源化分野にも応用が拡大することが予測される。市場の拡大効果及び社会へのインパクトは計り知れない。
<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： 大きな成果を挙げており目標を十分上回った。</p> <p>自己点検・評価： 環境に有害な化学物質を迅速に分解・除去できる新規可視光応答型光触媒材料の創製、高機能化に関連する基礎・基盤技術の確立、実用化の成功など本プロジェクトが目指した目標をすべて実現した。さらに、二酸化炭素をメタンに還元する新規メソポーラス光触媒の開発(Angew. Chem. Int. Ed. 49, 6400, 2010)や植物の光合成の量子収率に匹敵する光触媒の発見(Nature Mater. 9, 559, 2010)など、当初の目標を大きく上回る成果を挙げた。</p> <p>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。また、第三期中期計画(平成23年度～27年度)においては光触媒の短所(吸着特性が弱い、選択性がない)を補うメソポーラス材料、層状珪酸塩吸着材料、金属間化合物触媒材料との複合化、及び共通する表面・界面の現象に関する理論研究を総合的に推進することにより、複雑多様化している環境問題の解決に貢献する「次世代環境再生材料」の実現を目指す。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 (計画はきめ細かったか、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、どこが問題なのか、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究計画、ロードマップに問題はない。 ・総じて実施体制は高く評価できる。 ・新規可視光応答型光触媒材料の創製は社会や産業界からも強いニーズがあり、テーマ設定としては高く評価できる。 ・光触媒を用いた研究は世界でも数多くなされているが、革新的な材料の発見につながった例は多くはない。本グループは光触媒材料の探索、物性評価、実用化への応用研究などサブテーマ間の連携もよく取れていて成果が挙げられている。 ・研究計画はよく考えられており、3つのグループがうまく連携をすることで新規材料の創出に成功したと考えられる。特に理論系と材料合成系との連携はすばらしい。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3サブテーマの関係も明確であり、定期的に研究会を開催し、情報交換・ディスカッションを行っていることは高く評価される。 ・ 国内外との連携も活発に行われており、それが研究開発推進の要因にもなっている。また、研究者や大学院生の受け入れ等の人的交流も積極的で、高く評価できる。 ・ 国内のみならず、海外の研究機関との連携で研究環境の広がりがなされており、すばらしい成果が出ている。 ・ 国内、国外の連携については、研究に対する役割分担がきちんとなされており、単なる人材交流だけでないところが高く評価される。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境に有害な物質の分解除去という、これからの地球規模の課題に対して基礎的で有益なデータが数多く出されており、目標を超える進捗を見せている。 ・ 進捗状況は極めて良好であり、目標は非常に高いレベルで達成された。世界的なレベルとしても、極めて高いと評価できる。 ・ 新しい機能材料を創出することは、常に高いハードルがあり、その点でとても難しいテーマに取り組んでいるが、高いレベルでの研究成果を達成したことは特筆できる。 ・ 従来から研究が進められてきた酸化チタン光触媒は紫外光に対しては効果があるが、可視光への応用は難しかった。本グループは酸化チタン以外の数多くの新規な光触媒の開発に成功し、その評価は高い。 ・ Ag₃PO₄をはじめとする高活性光触媒の開発は高く評価できる。 ・ ナノレベルでの構造制御、表面特性制御により光触媒の高機能化を実現するとあるが、それに対応する成果が少ないように思われる。かなり難しいテーマであるが、次プロジェクトでは、サブテーマ1で開発した光触媒をさらに高機能化するためチャレンジしてほしい。
<p>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト） (世界レベルの質の成果が出たか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか（期待されるか）、研究タイプを考慮した費用対効果は、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 世界的に高レベルな学術誌に多くの原著論文、レビューなどが発表されており、また、特許も数多く出願されている。 ・ 世界レベルの論文誌（Nature, Nature Materials, Angew. Chem. など）での採択が数多くなされており、また、特許登録数も多い。これらの情報発信で世界の研究もさらに進むものと期待される。特にAdvanced Materials誌に掲載された「ナノ光触媒の可能性と挑戦」は特記に値する。 ・ 論文数、特許ともにたいへん優れている。マスコミへの発表もあり、アウトプットとしては十分である。 ・ 複数の企業で商品化や実用化が進んでおり、十分な効果、効用があると判断できる。 ・ 全体としては高いレベルの研究成果が得られている。今後の実用化が期待される研究である。 ・ 二酸化炭素をメタンにする研究など基礎的な研究としては非常にレベルが高いが、これを実用化するには高いハードルがあり、さらなる応用研究が必要であるが、これを進める上での指針が示されると非常に有効である。
<p>④総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイントがあれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総合的に高い評価ができる。 ・ 中間評価で出された助言がよく取り入れられており、研究の進捗はさらに加速された。総合的に高く評価される。 ・ 研究成果は多くの原著論文として発表されているだけでなく、複数の企業で実用化が進められている。 ・ 新規可視光応答型光触媒の創製に成功した。さらに、実用化のために必要な基盤技術の確立をし、実用化に成功している。これらの研究開発は、国内外の多くの研究組織との連携によって成し遂げられており、人的交流も積極的に行われていた。
<p>各委員の総合評価点 (10点満点)</p>	<p>9、10、10（順不同）</p>

総合評価点平均 (10点満点)		9.7 (小数第二位以下四捨五入)
総合評価点	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。 多くの点において非常に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 優れたプロジェクトであった。 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。
7		
6		
5	B	期待されたほどではなかった。 計画を見直して継続すべきであった。
4		
3		
2	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。 大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。
1		