

課題番号	GR001
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成24年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	太陽光水素製造を実現する革新的光触媒システムの開発
研究機関・ 部局・職名	国立大学法人京都大学・大学院工学研究科・教授
氏名	阿部 竜

1. 当該年度の研究目的

前年度までに得られた知見を生かし、水素生成系および酸素生成系において30%程度の量子収率を示す可視光応答型光触媒をそれぞれ開発する。さらに本年度から、水素と酸素の分離生成を可能とする構造体の開発を本格化する。(1)イオン液体を多孔質ガラス等に閉じ込め、その両サイドに異なる可視光応答型光触媒を固定化した構造体、および(2)垂直配向型カーボンナノチューブ電極の表裏にp型およびn型半導体光触媒を固定化した構造体、等を中心に検討を進める。また前年度に検討した、シンプルなセパレーターを使用した分離生成系も、コストパフォーマンスの点から継続的に開発を進める。開発中の高効率可視光応答型光触媒については、構造体への適用を鑑みた粒子形状の付与等も検討する。

2. 研究の実施状況

光触媒の量子収率向上については、タンタル系酸窒化物表面を酸化コバルトナノ粒子によって高密度に被覆した後に導電性基板上に固定化し、さらにリン酸緩衝溶液中において光照射を行って酸素生成に活性の高いリンコバルト複合体を形成させることによって、可視光下における酸素生成の量子収率(バイアス印加状態)がTaON(500 nmまで吸収可能)において50%程度、長波長まで吸収できるBaTaO₂N(680 nmまで吸収可能)では20%程度まで向上することを見出した。さらには、このリンコバルト複合体とともに、ロジウム系のナノ粒子を共担持させることによって、量子収率・安定性ともに大きく向上することを見出した。また、酸化タングステン粒子の表面を酸化チタン層で薄く被覆すると、ヨウ素レドックス存在下での酸素生成選択性が向上することを見出した。水素生成用光触媒としては、広範囲の可視光を吸収できる色素増感系の開発に取り組み、チオフェン環を正電荷安定部位として有するカルバゾール系色素を、リン酸基を介して層状ニオブ酸の表面に固定化することによって、ヨウ素レドックス存在下において高効率かつ安定に水素を生成できることを実証した。さらには、これらの色素増感系光触媒と、前述のタンタル系酸窒化物等の光電極を組み合わせた新規な可視光水分解系の構築に取り組み、外部バイアスの印加無しで、水素と酸素を分離して生成できることを実証した。半導体材料の固定化については、3次元構造を有する炭素繊維布が導電性基材として適していることを見出し、酸化タングステン、タンタル酸窒化物等のn型半導体を固体化することで高い量子収率を示す光電極体が得られることを実証するとともに、p型特性を有するCuInS₂などの硫化物半導体からなる高効率水素生成光電極の開発にも成功した。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 5 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 2 件</p> <ol style="list-style-type: none"> Masanobu Higashi, Kazunari Domen, Ryu Abe: "Highly Stable Water Splitting on Oxynitride TaON Photoanode System under Visible Light Irradiation", <i>J. Am. Chem. Soc.</i>, 2012, 134, 6968-6971. 阿部 竜、富田 修、大谷 文章、「酸化タングステン系光触媒を用いたベンゼン環の水酸化反応」、<i>触媒 (触媒学会)</i>, Vol. 54, pp. 314-320 (2012). <p>(掲載済み一査読無し) 計 3 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 阿部 竜、「タンタル(オキシ)ナイトライド系光アノードを用いた高効率可視光水分解」、<i>光化学 (光化学協会)</i>, Vol. 43, pp. 18-23 (2012). 阿部 竜、「タンタルオキシナイトライド光電極を用いた高効率可視光水分解」、<i>セラミックス (セラミックス協会)</i>, Vo. 47, pp. 669-673 (2012). 阿部 竜、「白金担持型酸化タングステン光触媒の開発と応用」、<i>光技術コンタクト (日本オプトメカトロニクス協会)</i>, Vol. 50, pp. 11-17 (2012). <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 34 件</p>	<p>専門家向け 計 29 件 (国際会議招待講演)</p> <ol style="list-style-type: none"> Ryu Abe: "Photocatalytic and photoelectrochemical water splitting into H₂ and O₂ under visible light irradiation", <i>The 17th Malaysian Chemical Congress</i>, October 15-17, 2012 (Kuala Lumpur, Malaysia). Ryu Abe: "Visible-Light-Responsive Photocatalysts for Solar Hydrogen Production", <i>The 1st CNER Annual Symposium and International Workshop 2013</i>, January 31, 2013 (Fukuoka, Japan). Ryu Abe: "Development of Visible-Light-Responsive Photocatalysts for Solar Hydrogen Production", <i>2012 OCARINA Annual International Meeting</i>, March 4-6, 2013 (Osaka, Japan). <p>(国内招待依頼講演)</p> <ol style="list-style-type: none"> 阿部 竜、「光合成を模倣した2段階励起型光触媒水分解系の開発」、<i>日本光合成学会若手の会第六回セミナー</i>、2012年6月2日(神奈川県横浜市)、日本光合成学会若手の会 阿部 竜、「光合成模倣型光触媒水分解系の開発」、<i>光機能材料研究会第37回講演会「最新人工光合成」</i>、2012年6月7日(東京都目黒区)、光機能材料研究会 阿部 竜、「白金担持型酸化タングステン光触媒の開発と応用」、<i>光機能材料研究会第38回講演会「可視光応答型半導体光触媒の開発と最新技術(第1講)」</i>、2012年6月26日(東京都千代田区)、光機能材料研究会 阿部 竜、「2段階励起による可視光水分解」、<i>光機能材料研究会第38回講演会「可視光応答型半導体光触媒の開発と最新技術(第2講)」</i>、2012年6月26日(東京都千代田区)、光機能材料研究会 阿部 竜、「高効率可視光水分解のためのオキシナイトライド光電極」、<i>光機能材料研究会第38回講演会「可視光応答型半導体光触媒の開発と最新技術(第3講)」</i>、2012年6月26日(東京都千代田区)、光機能材料研究会 阿部 竜、「酸化タングステン系光触媒を用いた有機物分解および有機合成」、<i>第12回光触媒研究討論会</i>、2012年7月10日(東京都目黒区)、光機能材料研究会 阿部 竜、「太陽光エネルギー変換および環境浄化を目指した新規可視光応答型光触媒系の開発」、<i>第50回触媒研究懇談会</i>、2012年8月2日-8月4日(広島県廿日市市)、触媒学会 阿部 竜、「人工光合成実現のための新規光触媒系」、<i>第234回分子工学コロキウム</i>、2012年10月23日(京都府京都市)、京都大学工学研究科 阿部 竜、「太陽光水素製造のための新規光触媒系の開発」、<i>岩澤コンファレンス 2012「サステナブル社会のための最先端触媒化学・表面科学」</i>、2012年10月30日-31日(兵庫県神戸市)、岩澤コンファレンス組織委員会 阿部 竜、「高効率可視光水分解のためのナノ構造光触媒の開発」、<i>触媒学会ナノ構造触媒研究会講演会</i>、2012年11月9日(京都府京都市)、触媒学会 阿部 竜、「Development of a New Photocatalytic System toward Efficient Solar Hydrogen Production」、<i>東北大学原子分子材料科学高等研究機構ジョイントセミナー</i>、2012年11月30日-12月1日(宮城県仙台市)、東北大学原子分子材料科学高等研究機構 阿部 竜、「光合成を模倣した2段階励起型光触媒水分解」、<i>新学術領域「人工光合成」第1回公開シンポジウム</i>、2012年12月17日-18日(東京都目黒区)、新学術領域「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換: 実用化に向けての異分野融合」総括班 阿部 竜、「人工光合成実現のための新規可視光応答型光触媒系」、<i>分子研研究会「無機化学の現状と未来: 若い世代が切り開く新しいサイエンス」</i>、2013年1月17日-19日(愛知県岡崎市)、大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所

	<p>14. 阿部 竜、「太陽光水素製造のための高効率光触媒系の開発」、北海道大学触媒化学研究センター平成24年度研究討論会「革新的触媒技術の創出に向けて」、2013年1月23日-24日(東京都文京区)、北海道大学触媒化学研究センター</p> <p>15. 阿部 竜、「半導体光触媒を用いた人工光合成系の構築～高効率水素生成のための新規光触媒系～」、人工光合成研究会講演会「人工光合成の最先端」、2013年1月28日(大分県大分市)、大分大学工学部応用化学科</p> <p>16. 阿部 竜、「水素発生用光触媒による人工光合成の進展」、水素の製造と利用に関するシンポジウム、2013年2月1日(東京都新宿区)、触媒学会</p> <p>(国内一般研究発表)</p> <p>1. 東正信, 堂免一成, 阿部竜、「可視光水分解を目的とした高性能 BaTaO₂N 光電極の開発」、第110回触媒討論会、2012年9月24日-26日(福岡県福岡市)、触媒学会</p> <p>2. 東正信, 堂免一成, 阿部竜、「高効率可視光水分解のためのオキシナイトライド系光電極の開発」、第31回 固体・表面光化学討論会、2012年11月21日-22日(大阪府吹田市)、固体・表面光化学討論会</p> <p>3. 杉浦元彦, 細川三郎, 和田健司, 井上正志, 阿部竜、「可視光応答型 N-Si 共修飾 TiO₂ 光触媒を用いた高効率気相有機物分解」、第31回固体・表面光化学討論会、2012年11月22日(大阪府吹田市)、固体・表面光化学討論会</p> <p>4. 東正信, 堂免一成, 阿部竜、「可視光水分解を目的とした高性能 BaTaO₂N 光電極の開発」、第19回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」、2012年12月10日(東京都目黒区)、光機能材料研究会</p> <p>5. 中村彰利, 細川三郎, 東正信, 和田健司, 阿部竜、「ソルボサーマル法による Ca₂Nb₂O₇ の合成とその光触媒活性」、日本セラミックス協会 2013 年年会、2013 年 3 月 17 日-19 日(東京都目黒区)、日本セラミックス協会</p> <p>6. 亀井啓, 冨田修, 東正信, 細川三郎, 和田健司, 阿部竜、「酸化タンゲステン(VI)光触媒によるベンゼンからの高選択的水酸化反応における助触媒の効果」、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日-25日(滋賀県草津市)、日本化学会</p> <p>7. 鈴木肇, 東正信, 細川三郎, 和田健司, 阿部竜、「層状金属酸化物を用いて反応場を制御した二段階励起型水分解システムの開発」、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日-24日(滋賀県草津市)、日本化学会</p> <p>8. 杉浦元彦, 細川三郎, 和田健司, 井上正志, 阿部竜、「可視光応答型 N-Si 共修飾 TiO₂ 光触媒を用いた高効率気相有機物分解」、第111回触媒討論会、2013年3月25-26日(大阪府吹田市)、触媒学会</p> <p>9. 東正信, 堂免一成, 阿部竜、「可視光水分解を目的とした高性能 BaTaO₂N 光アノードの開発」、電気化学会創立第80周年記念大会、2013年3月29日-31日(宮城県仙台市)、電気化学会</p> <p>10. 上野航輝, 東正信, 細川三郎, 和田健司, 阿部竜、「リン-コバルト系助触媒担持による可視光水分解用 TaON 光電極の高効率化」、電気化学会創立第80周年記念大会、2013年3月29日-31日(宮城県仙台市)、電気化学会</p> <p>一般向け 計5件</p> <p>1. 阿部 竜、「人工光合成でクリーンな水素エネルギー」(ポスター対話)、京都大学アカデミックデイ、2012年9月2日(京都府京都市)、京都大学</p> <p>2. 阿部 竜、「人工光合成および環境浄化のための新規可視光応答型光触媒系の開発」、京都工業会京都産学公連携フォーラム 2012、2012年11月15日(京都府京都市)、京都大学 外</p> <p>3. 阿部 竜、「人工光合成技術の現状と展望～クリーンエネルギー創製のための半導体光触媒技術～」、情報機構技術セミナー、2012年11月21日(神奈川県川崎市)、(株)情報機構</p> <p>4. 阿部 竜、「人工光合成型可視光応答型光触媒の研究開発」、光反応機能材料セミナー、2012年11月26-28日(東京都港区)、(株)オプトロニクス社</p> <p>5. 阿部 竜、「人工光合成と半導体光触媒技術」、Electronic Journal 第1536回 Technical Seminar、2013年1月11日(東京)、(株)電子ジャーナル</p>
<p>図書 計1件</p>	<p>阿部 竜、「光合成を模倣した二段階励起型可視光水分解系の開発」、人工光合成実用化に向けた最新技術 ～水素利用・有機物合成・エネルギー・CO₂還元～(情報機構)、第6節、pp. 67-83(2012).</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>

様式19 別紙1

Webページ (URL)	京都大学大学院工学研究科物質エネルギー化学専攻阿部研究室 http://www.ehcc.kyoto-u.ac.jp/eh41/home/abe/
国民との科学・技術対話の実施状況	京都大学アカデミックデイ、2012年9月2日、京都大学百周年時計台記念館、一般対象、参加人数約530名、 【実施内容】一般向けに、環境問題やエネルギー問題について分かり易く説明し、これらの解決に向けた研究の1つとして、当プログラムにおいて実施している「太陽光による水素製造」を簡単に説明するとともに、光触媒に光を当てて水素が発生する様子の実演等を行った。
新聞・一般雑誌等掲載 計0件	
その他	

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	129,000,000	62,800,000	33,100,000	33,100,000	
間接経費	38,700,000	18,840,000	9,930,000	9,930,000	
合計	167,700,000	81,640,000	43,030,000	43,030,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	18,692,661	33,100,000	0	51,792,661	51,274,165	518,496	
間接経費	5,607,799	9,930,000	0	15,537,799	7,768,900	7,768,899	
合計	24,300,460	43,030,000	0	67,330,460	59,043,065	8,287,395	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	30,916,861	ラマン顕微鏡、触媒分析装置、自動ガスサンプリングシステム、試薬、実験用消耗品等
旅費	1,382,946	研究打ち合わせ旅費(北海道)、研究発表・情報収集旅費(マレーシア、豊中市、吹田市、横浜市外)等
謝金・人件費等	14,377,613	研究者・研究補助者等人件費
その他	4,596,745	実験機器移設経費、学会参加費等
直接経費計	51,274,165	
間接経費計	7,768,900	
合計	59,043,065	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
自動ガスサンプリングシステム	AU-306-T01-CH (有)幕張理化学硝子製作所製	1	2,793,000	2,793,000	2012/7/26	京都大学
純水製造装置	Elix Advantage3 独国メルク社製	1	741,342	741,342	2012/7/26	京都大学
X線回折装置用空冷循環式送水装置	4816A417 (株)リガク製	1	765,450	765,450	2012/8/22	京都大学
ガス分析装置	マイクロGCモジュール GCMOD-30 中国インフィコム製	1	741,447	741,447	2012/11/22	京都大学
ラマン顕微鏡	XploRA-RAK (株)堀場製作所製	1	11,970,000	11,970,000	2013/3/11	京都大学
触媒分析装置	BELSORP-B-SP 日本ベル(株)製	1	6,300,000	6,300,000	2013/3/27	京都大学