

平成25年度 日中韓フォーサイト事業 終了時評価資料(進捗状況報告書)

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	Composite Photocatalytic Systems for Efficient Overall Water Splitting (高効率な水分解を指向した複合型光触媒システム)		
日本側拠点機関名	東京大学大学院工学系研究科		
研究代表者 所属・職・氏名	東京大学大学院工学系研究科・准教授・久保田純		
相手国(地域)側	国名	拠点機関名	研究代表者 所属・職・氏名
	中国	中国科学院大連化学物理研究所	Professor and Vice-Director・LI, Can
	韓国	浦項工科大学	Dep. of Chem. Engineer.・Prof.・LEE, Jae Sung

2. 研究交流目標

申請時に計画した目標とその達成度について記入してください。

○申請時の研究交流目標

太陽エネルギーと粉末光触媒を利用した水の分解反応は、クリーンで再生可能な水素エネルギーの大規模生産を可能とする究極の反応として注目され、近年では可視光で駆動する光触媒材料の開発が盛んに行われている。日本、韓国、中国のグループでは、これまでに可視光照射下で水から水素を製造する光触媒材料の研究開発に従事し、その成果を国際会議での講演や論文発表などを通じて公表してきた。これまでのところ各グループは独立して研究を進めてきたが、本交流プログラムでは各国がこれまでに独自に培ってきた水分解光触媒開発に関する知見を融合させ、これまでにない世界最先端の研究協力体制を構築する。具体的には、それぞれの国から研究者を招聘してセミナーを開催し、3ヶ国間での情報交換を密接に行う。大学院生やポスドク研究員などの若手研究者同士の交流も積極的に盛り込む予定である。

このように、各国間での綿密な研究連携体制をとることでそれぞれがもっている独自の知見を融合し、夢の化学反応と言われる可視光水分解を高効率に進行させる光触媒を開発することを目的とする。そして、それを通じて、国内外を問わずに活躍できる優れた人材を育成する。

○目標に対する達成度

- 研究交流目標は十分に達成された。
 研究交流目標は概ね達成された。
 研究交流目標はある程度達成された。
 研究交流目標はほとんど達成されなかった。

【理由】

平成22年度より毎年度のセミナー開催や大学院生招へいなどによって、特に大学院生に国際共同研究の場を与えたことは大きい成果である。通常、修士課程の大学院生が英語による口頭発表を国際的な場で行うことは稀であるが、本研究室においては修士課程の学生全てが英語による研究発表を行っており、若手研究者の育成という観点からは非常に有意義である。また、大学院学生招へいも中国や韓国の大学院生に3ヵ月間と限られた期間ながら日本に滞在し研究活動を行う機会を与えることは非常に有意義である。学術的にも、研究交流だけではなく、大学院学生招へいによって行われた実験成果が論文発表されるなど、直接的な成果につながっている。

3. 研究交流活動の成果

これまでの交流を通じての成果を「学術的側面」「若手研究者の育成」及び「日中韓における継続的な研究教育拠点の構築」の観点から記入してください。また、活動成果から発生した波及効果がある場合には記入してください。

○学術的側面

光触媒による水分解の研究は本多藤嶋効果に端を発する日本独自の科学技術であるが、本事業により中国や韓国における同分野の研究がかなり進んできていることが明らかになってきた。しかし、未だ中国や韓国は水を全分解可能な光触媒の開発には至っておらず日本との技術の差は明確であった。本事業により、中国や韓国側の研究者が日本の技術を超えるための課題を正確につかみ、研究に取り組めたことに意義が大きい。また、日本側としても中国側、韓国側の研究機関の研究設備の斬新さに直接触れることができ、中国側や韓国側の研究者らが発表している学術論文のレベルを知ることができた。光触媒による水分解の分野では本事業の日中韓3研究室が世界をリードする研究室であり、教授レベルでの交流ではなく実際に実験を進めている研究者レベルで共同研究基盤を確立させ、科学的な実験結果の解釈や論理の共通認識を得たことは、当該分野において国による実験結果の解釈の相違などをなくすために重要なことであった。

○若手研究者の育成

本事業は、修士以上の大学院生に国際口頭発表の場を与える貴重なものである。これまでの3年間弱の間のセミナーや2国間ミーティングで、30～40名の日本の若手研究者が口頭発表を行ったことは特筆すべきことである。これは日本側だけでなく中国や韓国側についてもいえることで、大学院生が海外に赴き研究発表を行うことは研究意欲の向上につながり、非常に重要であった。また、セミナーでは研究発表だけでなく、食事などの際に互いの国の研究室の生活などを知ることができ、若手研究者が将来、国際的に活躍できる能力の向上につながった。

また平成24年度ではドイツで行われた国際触媒会議において博士課程を中心とした大学院生などの本事業の研究成果が発表された。中国側、韓国側の本事業参加者も同会議において多くの発表を成しており、大学院生間で馴染みが深いため、躊躇のない活発な研究討論が行われた。

本事業では中国や韓国の大学院生合計5名に日本で約3ヵ月間の研究活動を行わせた。日本の大学の研究環境に直接触れ、中国、韓国との差異を実感させることができ、彼らの今後の国際的な研究活動に重要な意義をもたらしたものと考えられる。

○日中韓における継続的な研究教育拠点の構築

日本・中国・韓国の各研究室は光触媒による水分解の研究分野では世界をリードする3大研究室である。これらの拠点間で若手研究者を交流させられたことは非常に意義が高い。継続的な研究教育交流が行われることが好ましく、本事業の延長のみならず他研究事業においても、3つの研究室の間の共同研究体制を模索する。

○成果の波及効果

光触媒による水分解は化石資源からの脱却のための旗艦であり、ますます注目される分野になってきている。特に近年、欧州の再生可能エネルギーの導入は飛躍的に進み、再生可能エネルギーの新規技術への期待は強い。本事業の成果は、欧米を含む諸外国が光触媒などの太陽光から化学エネルギーを生産する技術へ多大なる研究投資を行っていることを下支えしていることは疑う余地もなく、本国においても文科省系・経産省系の多くの太陽光から化学エネルギーへの変換に関わる研究プロジェクトの基となっている。

4. 研究交流活動の実施状況

(1)これまでの研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。※各年度における派遣及び受入実績については、「終了時評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

光触媒を用いた水の分解による水素製造の実現という、大きな課題に対し、日中韓の3つの研究室が連携して研究を遂行した。中国側はカルコゲナイド材料を中心とした助触媒との複合化など、韓国側は光電極へのp/n接合の作り込みや、グラフェンの応用など特徴のある研究課題を提案し、相互に課題を調整しつつ研究を遂行した。本事業では、中国・韓国のグループの大学院学生を、平成22年度には韓国から1名、平成23年度には中国から2名、韓国から2名を約3ヵ月間招へいし、日本の研究室において研究活動を行わせた。特に大学院生招へいから始められた研究課題、酸化タンタル光電極表面上のp型カルシウムフェライトによる修飾、は論文発表や国際学会発表も行われ、日韓の両方の研究者が連名となっている特筆すべき成果である。これ以外の各研究室の研究論文についても、連名にはなっていないものの毎年のフォーサイトセミナーでの深い討論を踏まえた上で執筆されたものであり、本事業の寄与するところは大きい。

下記セミナーと別に、平成22年度には日本と韓国のグループ間で韓国において二国間ミーティングを共同研究の中で開催した。また、平成23年度には日本と韓国の触媒学会で催している日韓触媒シンポジウムが韓国済州で開催され、大学院生を主とする参加研究者が成果発表を行い日本側の参加研究者が韓国側の参加者と研究討論を行う機会があった。

平成24年度ではドイツで行われた第15回国際触媒会議において博士課程を中心とした大学院生などの本事業の研究成果が発表された。中国側、韓国側の参加研究者も多く参加発表していて、本分野において本事業の3研究室が中心的役割を果たしていることが確認された。

○セミナー

	平成22年度	平成23年度	平成24年度
国内開催	0回	1回	0回
海外開催	1回	0回	1回
合計	1回	1回	1回

【概要】

各年度1回ずつ、中国、日本、韓国の順でセミナーを開催し、各国15名程度の大学院生を含む者が国際派遣されセミナーに参加し研究討論を行った。また、開催国側からはさらに多くの参加者があった。セミナーにおいては教授陣の講演のみならず、大学院生の研究発表が中心であり、特に若手の育成には非常に効果が高かった。また、セミナーは参加者が宿泊場所、飲食を共にするものであり。講演発表中の議論のみならず、それ以外の時間における交流で、各国の研究生活や、上級生下級生の関係などの違いを若手研究者が実感できる点も重要であった。

○研究者交流

【概要】

本事業での研究者交流は、共同研究とセミナー開催に分類し、特に研究者交流の分類は設けなかった。

(2) 本事業における、「日本側拠点機関の実施体制」、「中国・韓国の拠点機関との協力体制」、「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

○日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）

日本側において、共同研究やセミナー開催については研究代表者が中心となり企画運営した。本事業では、協力機関（申請時・筑波大学、現・京都大学）との連携は研究者間の共同研究に留まり、特に機関間としては連携しなかった。本事業の事務的な運営は全て東京大学工学系・情報理工学系等事務部によって行われた。協力機関からの参加研究者のセミナー参加に関しては全て拠点機関からの手配で行った。

○中国・韓国の拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

研究者レベルでは、各代表研究者が相互に連携をとり、セミナーや大学院学生招への企画運営を行った。中国や韓国でセミナーが開催されたときには、それぞれの国の拠点機関の会議場が与えられた。また宿泊、飲食についても、本事業の規約通り中国や韓国側の機関（研究代表者）により手配され、円滑なセミナー開催が行われた。また大学院生招へいについても、中国韓国側の拠点機関は円滑な処理を行い、日本側拠点でも協力研究員として速やかに受け入れを行った。

○日本側拠点機関の事務支援体制（拠点機関全体としての事務運営・支援体制等）

日本側拠点の東京大学大学院工学系研究科として、工学系・情報理工学系等事務部国際推進課国際交流チームより、本事業の実施に対して十分かつ丁寧な支援体制がとられた。具体的には JSPS への提出書類の確認、提出や、例えばセミナー開催の際の事業から支出できる費目などの確認など、事業に関わる事務的な支援は全て国際交流チームによって行われた。また、購入物品の支払い業務や出張管理などは、他の研究予算と同様に工学系・情報理工学系等事務部の担当課が行った。

5. この課題に関連した主な発表論文名・著者名

研究代表者あるいは参加研究者が実施期間中に発表した論文等で、この交流の成果であり、**本事業名が明記されているもの**を記載してください。研究代表者・参加研究者の氏名にはアンダーラインを付してください。また、相手国の参加研究者との共著論文には、文頭の番号に○印を付し、その場合、中国・韓国いずれの研究者との共著論文かが分かるように備考欄に国名を記入してください。

(1) 学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

・査読がある場合、印刷済み及び採録決定済のものに限り、査読中・投稿中のものは除く。また「査読」欄に○印を付すこと。

整理番号	著者名、発表論文名、学会誌名、発表年月巻号等	査読	相手国名 (共著の場合)
1	<u>Xuwan Lu</u> , Athula Bandara, <u>Masao Katayama</u> , Akira Yamakata, <u>Jun Kubota</u> , <u>Kazunari Domen</u> * “Infrared Spectroscopic Study of the Potential Change at Cocatalyst Particles on Oxynitride Photocatalysts for Water Splitting by Visible Light Irradiation” <i>J. Phys. Chem. C</i> , 115 (2011) 23902–23907.	○	
2	<u>Xuwan Lu</u> , Tsutomu Minegishi, Jun Kubota, and Kazunari Domen “Improvement of Photoelectrochemical Properties by Surface Modification with Iron Oxide on p-Type Si Electrodes for Hydrogen Evolution from Water” <i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> 50 (2011) 085702	○	

3	<u>Jaehong Kim, Tsutomu Minegishi, Jun Kubota, and Kazunari Domen</u> “Investigation of Cu-Deficient Copper Gallium Selenide Thin Film as a Photocathode for Photoelectrochemical Water Splitting” <i>Japan. J. Appl. Phys.</i> 51 (2012) 015802	○	
4	<u>Jaehong Kim, Tsutomu Minegishi, Jun Kubota and Kazunari Domen</u> “Enhanced photoelectrochemical properties of CuGa ₃ Se ₅ thin films for water splitting by the hydrogen mediated co-evaporation method” <i>Energy Environ. Sci.</i> , 5 (2012) 6368–6374	○	
5	<u>Peng Wang, Tsutomu Minegishi, Guijun Ma, Kazuhiro Takanabe, Yasushi Satou, Shunsuke Maekawa, Yoshihiro Kobori, Jun Kubota, Kazunari Domen</u> “Photoelectrochemical Conversion of Toluene to Methylcyclohexane as an Organic Hydride by Cu ₂ ZnSnS ₄ -Based Photoelectrode Assemblies” <i>J. Am. Chem. Soc.</i> 134 (2012) 2469-2472	○	
6	<u>Fuxiang Zhang, Kazuhiko Maeda, Tsuyoshi Takata, Takashi Hisatomi, Kazunari Domen</u> “Investigation of cocatalysts on silver-modified Sm ₂ Ti ₂ S ₂ O ₅ photocatalyst for water reduction and oxidation under visible light irradiation” <i>Catalysis Today</i> 185 (2012) 253–258	○	
7	<u>Fuxiang Zhang, Akira Yamakata, Kazuhiko Maeda, Yosuke Moriya, Tsuyoshi Takata, Jun Kubota, Katsuya Teshima, Shuji Oishi, Kazunari Domen</u> “Cobalt-Modified Porous Single-Crystalline LaTiO ₂ N for Highly Efficient Water Oxidation under Visible Light” <i>J. Am. Chem. Soc.</i> , 134 (2012) 8348–8351	○	
8	<u>Takashi Hisatomi, Tsutomu Minegishi, Kazunari Domen</u> “Kinetic Assessment and Numerical Modeling of Photocatalytic Water Splitting toward Efficient Solar Hydrogen Production” <i>Bull. Chem. Soc. Jpn.</i> 85 (2012) 647-655	○	
9	<u>Jeongsuk Seo, Dongkyu Cha, Kazuhiro Takanabe, Jun Kubotaa and Kazunari Domen</u> “Highly-dispersed Ta-oxide catalysts prepared by electrodeposition in a non-aqueous plating bath for polymer electrolyte fuel cell cathodes” <i>Chem. Commun.</i> , 48 (2012) 9074–9076	○	
10	<u>Su Su Khine Ma, Takashi Hisatomi, Kazuhiko Maeda, Yosuke Moriya, and Kazunari Domen</u> “Enhanced Water Oxidation on Ta ₃ N ₅ Photocatalysts by Modification with Alkaline Metal Salts” <i>J. Am. Chem. Soc.</i> , 134 (2012) 19993-19996	○	
11	<u>Tsutomu Minegishi, Nobuyuki Nishimura, Jun Kubota, Kazunari Domen</u> “Photoelectrochemical properties of LaTiO ₂ N electrodes prepared by particle transfer for sunlight-driven water splitting” <i>Chem. Sci.</i> , 4 (2013) 1120–1124	○	
12	<u>Yanbo Li, Tsuyoshi Takata, Dongkyu Cha, Kazuhiro Takanabe, Tsutomu Minegishi, Jun Kubota, Kazunari Domen</u> “Vertically Aligned Ta ₃ N ₅ Nanorod Arrays for Solar-Driven Photoelectrochemical Water Splitting” <i>Adv. Material</i> 25 (2013) 125-131	○	

13	<u>Ryoji Ohnishi, Kazuhiro Takanabe, Masao Katayama, Jun Kubota, Kazunari Domen</u> “Nano-nitride Cathode Catalysts of Ti, Ta, and Nb for Polymer Electrolyte Fuel Cells: Temperature-Programmed Desorption Investigation of Molecularly Adsorbed Oxygen at Low Temperature” <i>J. Phys. Chem. C</i> 117 (2013) 496-502	○	
14	<u>S. Isogai, AK. Xiong, W. Kawamura, S. Itabashi, H. Kasuga, K. Maeda, T. Minegishi, J. Kubota, K. Domen</u> “Composite of $Rh_yCr_{2-y}O_3/(Ga_{1-x}Zn_x)(N_{1-x}O_x)$ Photocatalysts with Hydrophobic Polytetrafluoroethylene (PTFE) Membranes for the Fabrication of Novel Reaction Sites for Water Vapor Splitting Under Visible Light” <i>Catal. Lett.</i> 143 (2013) 150-153	○	
⑮	<u>Eun Sun Kim, Naoyuki Nishimura, Jae Young Kim, Ji-Wook Jang, Hwicheon Jun, Jun Kubota, Kazunari Domen, Jae Sung Lee</u> “Fabrication of $CaFe_2O_4/TaON$ Heterojunction Photoanode for Photoelectrochemical Water Oxidation “ <i>J. Am. Chem. Soc.</i> 2013, accepted (ja-2012-08723w.R2)	○	韓国

(2) 国際会議における発表

- ・著者名(参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること)、発表題目名、発表した学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等を記載すること。発表者に○印を付すこと。
- ・査読がある場合、「査読」欄に○印を付すこと。

整理番号	著者名、発表題目名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
1	○ <u>T. Minegishi, N. Nishimura, J. Kubota, and K. Domen</u> , “Photoelectrochemical Water Splitting using electrodes prepared by Particle Transfer method”, Pacific Rim Meeting on electrochemical and solid-state science 2012 (Hawaii, USA), Oral, Dec. 9 (2012)	○	
2			
3	学会は要旨集等の紙面が限られるため、事業名などの記載は通常は行っていません。		
4			
5			

(3) 国内学会・シンポジウム等における発表

- ・(2)と同様に記載すること。

整理番号	著者名、発表題目名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
1	学会は要旨集等の紙面が限られるため、事業名などの記載は一切行っていません。		
2			
3			