

## 日中韓フォーサイト事業 平成24年度 実施報告書

### 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学大学院工学系研究科
中国側拠点機関：	中国科学院 大連化学物理研究所
韓国側拠点機関：	浦項工科大学

### 2. 研究交流課題名

(和文)： 高効率な水分解を指向した複合型光触媒システム  
(交流分野： 触媒化学 )

(英文)： Composite Photocatalytic Systems for Efficient Overall Water Splitting  
(交流分野： Catalysis )

研究交流課題に係るホームページ：

<http://www.domen.t.u-tokyo.ac.jp/collaboration/foresight/index.html>

### 3. 採用期間

平成22年 8月1日～平成25年 7月31日

( 3 年度目)

### 4. 実施体制

#### 日本側実施組織

拠点機関： 東京大学大学院工学系研究科

実施組織代表者(所属部局・職・氏名)： 大学院工学系研究科・研究科長・原田昇

研究代表者(所属部局・職・氏名)： 大学院工学系研究科・准教授・久保田純

協力機関： 京都大学

事務組織： 東京大学 工学系・情報理工学系等事務部

#### 相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 中国側実施組織：

拠点機関：(英文) Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences

(和文) 中国科学院 大連化学物理研究所

研究代表者(所属部局・職・氏名)：(英文) Professor and Vice-Director・LI, Can

(2) 韓国側実施組織：

拠点機関：(英文) Pohang University of Science and Technology

(和文) 浦項工科大学

研究代表者 (所属部局・職・氏名)：(英文) Department of Chemical Engineering

・ Professor ・ LEE, Jae Sung

## 5. 全期間を通じた研究交流目標

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。実施組織である日本、韓国、中国のグループでは、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。これに関しては、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。可視光で水を分解する光触媒の開発は、1972年の本多・藤嶋効果の発見にはじまり、それ以来日本が世界をリードしてきた。近年では、中国や韓国でも研究が活発に進められてきており、本事業の韓国と中国の研究代表者2名は、それぞれの国における代表的な研究者である。したがって、このような3ヶ国間での連携には大きな意義がある。

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、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ことを目的とする。

## 6. 平成24年度研究交流目標

平成24年度においては、韓国内でセミナーを開催することが決定しており、6月の開催で計画が進んでいる。日本側からは15名前後の参加研究者が赴き研究発表や研究施設見学を行う。光触媒による水からの水素の製造はエネルギー問題が緊迫する中で極めて重要な課題であり、人工光合成的反応であることから学術的な注目が高まりつつある。日本側は「水分解のための非酸化物系複合体光触媒」という副題の下で水の分解のための酸窒化物系光触媒の開発とカルコゲナイド系光触媒電極の研究開発を引き続き行う。前年度において中国側との共同研究によって始められた、光触媒のCO<sub>2</sub>還元への応用などについても新たに取り組む。また、韓国側との共同研究でグラフェン等との複合光触媒の検討も始めたので、これについても共同研究を進める。

平成 24 年度においてもまた、大学院生等を交換し実際に中国側・韓国側で実験をさせることによって詳細な実験手法の交換を行う。前年度までに訪問の機会に恵まれなかった大学院生についても順次派遣し技術交流を行う。研究発表からでは汲み取れない実験の細部について情報交換することにより、本研究課題の飛躍的な進歩が期待でき、確固たる研究協力体制を構築できる。

また、これまでに共同研究やセミナーでの討論から得られた研究成果について、国際的な触媒分野の学術会議である 15<sup>th</sup> International Congress on Catalysis 2012.7.1-6 (ドイツ) において研究発表を行い、得られた知見を学术界に還元する。本会議では中国側 PI(Prof. Can Li)もキーノートレクチャーとして研究発表が予定されていて、会議中に本フォーサイトプログラムの進捗状況の打合せができる。

本プログラムにおけるセミナー発表や国際会議発表は大学院生を中心にした若手研究者を中心に行い、日中韓の若手研究者の横のつながりを作るとともに、本研究分野において、日本がリーディングカントリーとして将来的にも中国・韓国を牽引していけるような若手研究者を育成することも目的とする。

## 7. 平成 24 年度研究交流成果

(交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めてください。)

### 7-1 研究協力体制の構築状況

韓国浦項工科大学において当初の計画通り 2012 年 6 月 21-24 日にフォーサイトセミナーを開催し、中国から約 8 名、日本から約 17 名の参加者が会合を行った。韓国において日本・中国の両方の研究室が集うのは最初であった。セミナーでは日本からは参加研究者の東京大学教授・堂免一成による基調講演、大学院生を中心に 8 件の口頭発表、7 件のポスター発表が行われた。中国、韓国側からもほぼ同数の講演、ポスター発表が行われた。また、韓国側研究室の研究施設の見学が行われ、現場で実験を行う大学院生同士が相互に実験装置などについてディスカッションを行った。

韓国におけるセミナーでは参加研究者のみならず、他の交流経費によって韓国に滞在していたインドの K. M. Parida 博士、V. Durga Kumari 博士の講演も行われた。K. M. Parida 博士は日本側の研究室と平成 21~22 年度に JSPS 二国間 (日印) 交流事業を行っており、同分野で活発に研究を進めている研究者である。現在、インド・韓国間で国際交流プログラムをしているとのことで、日中韓のみならずアジアに広がった当該分野の研究ネットワークの構築が確実に進んでいるといえる。

また、特に中国側の研究室とは人的交流が進んでいて、本事業の中にはないが、本研究室の特任助手が大連化学物理研究所の研究代表者の研究室に異動したり、また大連化学物理研究所の研究室から日本側の研究室で博士研究員を雇用することが決まったりと交流が進んでいる。これは本事業の交流から生まれたものであり、本事業の成果に他ならない。日中韓の 3 研究室による光触媒を用いた水分解の研究領域の研究ネットワー

クは確固たるものになりつつある。

## 7-2 学術面の成果

光エネルギーによる化学エネルギー物質の生産、いわゆる人工光合成反応は極めて注目されている分野である。特に本事業の始まる震災前よりも、震災を経た我が国では原子力に対する不安や、輸入化石燃料の高騰によるエネルギーセキュリティへの不安が高まり、自然エネルギーの利用は社会的期待の大きい研究課題である。本課題の表題の「複合型光触媒」に表されるように、シンプルな半導体材料のみで水を高い効率で分解することは困難であり、助触媒材料との組み合わせや、助触媒との電子的な接合の作り込み、助触媒表面上の逆反応の抑制など、複雑な構造の光触媒を作る必要がある。p-n 接合の光触媒・光電極への導入など、本年度においても精力的な研究が進められ、多くの知見が得られている。

また、光触媒に関する科学技術は日本が世界を凌駕しているといつて過言ではない。日本の光触媒による水分解のトップの研究室と中国、韓国の研究室が連携できることは、中国、韓国の研究室のレベルアップにつながっていることは疑う余地もない。中国や韓国とも、人工光合成反応に対する研究投資は年々増えていて、これを支える研究技術の統一化に本事業は多大な貢献を成している。

## 7-3 若手研究者育成

本事業ではフォーサイトセミナーのみならず、当初の計画通りにドイツで行われた第15回国際触媒会議にて成果発表を行い、大学院博士課程学生を主体として多くの研究発表を行った。会議においては中国側、韓国側の研究室からも数多くの大学院生が出席発表を行っていた。中国韓国側の学生の国際学会参加の費用の元が、本事業であるかどうかは定かではないが、本事業で形成された研究ネットワークは触媒化学分野の一研究領域を確実に形成しているものであり、その中で日中韓の大学院生が健全に育成されていることが認められる。

大学院学生、特に修士課程の学生に国際活動の機会は非常に少なく、本事業の補助は極めて効果的である。一般的な研究費を大学院生の国際発表経費に使うことは限界があり、低学年の学生への支援が行き渡らないことも多い。国際交流経費は研究費というより国際活動のための経費であり、大学院学生を初めとした若手研究者の国際活動を活性化させるものであり、教育的にも高い効果があったと認められる。

## 7-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

日本においては太陽エネルギーからの化学エネルギー物質生産に関して文部科学省系の研究プロジェクトのみならず経済産業省のプロジェクトが本年度から精力的に開始されて

いる。これらの基盤に本事業は著しい貢献を成したものだと考えられる。また、欧米では太陽エネルギーからの化学エネルギー物質生産に係る巨大研究プロジェクトが数多く立ち上がっているが、国際共同研究に基づく本事業は世界的にも稀であり、非常に有意義であるといえる。特に我が国と韓国は共に資源に恵まれない小国である。太陽光による水素エネルギー生産は、社会の期待も大きい。事実、当研究室は高校生や学部下級生に対して、光触媒による水の分解の演示実験を行う機会が年に数回あるが、いずれも多く参加希望を受けている。これらを通し社会へ科学技術の夢を送信している。

#### 7-5 今後の課題・問題点

本事業は平成 25 年 7 月末をもち終了が予定されているが、申請の通り延長が認められれば、さらに 2 年間、事業が延長でき、多くの大学院生などの若手研究者に国際研究活動を体験できる機会が与えられる。逆に終了した場合、新たな大学院生などの若手研究者には、この機会を与えられないこととなる。本事業が終了した場合は新たな若手研究者育成の方法を検討する必要がある。

また、延長された場合には、延長期間で行う内容を精査する必要がある。本事業の 3 年間では毎年のセミナー開催を主体としてきたが、セミナーも平成 25 年 5 月に予定されているもので 4 回目になり漫然化しつつある。チュートリアル的な講義を含めたり、参加研究者以外からの招待講演を入れるなど、工夫が必要だと考えられる。

#### 7-6 本研究交流事業により発表された論文

平成 24 年度論文総数 9 本

相手国参加研究者との共著 0 本

(※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)

(※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

## 8. 平成24年度研究交流実績状況

### 8-1 共同研究

—研究課題ごとに作成してください。—

整理番号	R-1	研究開始年度	平成22年度	研究終了年度	平成25年度
研究課題名	(和文) 高効率な水分解を指向した複合型光触媒システム (英文) Composite Photocatalytic Systems for Efficient Overall Water Splitting				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 久保田純・東京大学大学院工学系研究科・准教授 (英文) KUBOTA, Jun・School of Engineering, University of Tokyo・Associate Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	LI, Can・中国科学院 大連化学物理研究所・教授 LEE, Jae Sung・浦項工科大学・工業化学科・教授				
交流人数 (※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入のこと。)	① 相手国との交流				
	派遣先	日本 〈人/人日〉	中国 〈人/人日〉	韓国 〈人/人日〉	計 〈人/人日〉
	派遣元				
	日本 〈人/人日〉	実施計画	0/0	0/0	0/0
		実績	0/0	16/64(1/4)	16/64(1/4)
	中国 〈人/人日〉	実施計画	1/90	0/0	1/90
		実績	0/0	0/0	0/0
	韓国 〈人/人日〉	実施計画	1/90	0/0	1/90
		実績	0/0	0/0	0/0
	合計 〈人/人日〉	実施計画	2/180	0/0	2/180
		実績	0/0	16/64(1/4)	16/64(1/4)
	② 国内での交流	34/136	人/人日		
日本側参加者数	40名 (12-1 日本側参加研究者リストを参照)				
中国側参加者数	26名 (12-2 中国側参加研究者リストを参照)				
韓国側参加者数	20名 (12-3 韓国側参加研究者リストを参照)				

<p>24年度の研究 交流活動</p>	<p>太陽光を用いて水を水素と酸素に分解するための光触媒の研究を、日中韓の3研究室によって進めた。研究の進捗状況は下記の韓国におけるフォーサイトセミナーや第15回国際触媒会議などで研究発表を行うことにより相互に理解を深めた。特に本年度は複合光触媒システムの表題の通り、光触媒と助触媒や電極金属との接合などに研究の中心がおかれ、高効率な光触媒を得るための一層の尽力がなされた。</p> <p>また、当初予定した大学院生の招へいについては、韓国でのセミナーに係る出張費用と、第15回国際触媒会議や国内学会での成果報告によって本事業経費を消化できたので取り止めた。</p> <p>なお韓国におけるフォーサイトセミナーは第3回目であり最終回を予定していたが、中国において25年度に最終回を行うことが本年度の交流の中で決定された。</p>
<p>24年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>本事業によるもののみならず、日中韓の本事業の参画研究室は、常に相互に研究内容を確認しつつ研究を進めている。学生レベルで研究討論をする場が与えられ、それを目指した研究をすることで大学院学生など若手研究者の意欲が向上し、研究の進捗に貢献していると考えられる。特に24年度においては大学院修士課程の日本人学生の全てに韓国浦項におけるセミナーでの発表機会を与えたため、その準備のための研究活動は目覚ましいものがあり、本事業が若手育成に非常に効果的であることが確認できた。</p> <p>光触媒による水からの水素生成に関わる研究は、日毎論文が増えている研究分野であり、特に中国からの発表論文は顕著である。中国・韓国側の研究室は各国の中では国をリードする中心研究室であり、これらと我が国の研究室が連携することで、アジアにおける光触媒研究のプラットフォームが築けたものと認められる。特に中国・韓国からは化学的論拠の怪しい論文が数多く見受けられるが、本事業の参画研究室が各国内で本事業の研究交流によって得られた知識で研究基盤を確立させ、科学的に明確な研究領域が育っていることが認められる。</p>

## 8-2 セミナー

—実施したセミナーごとに作成してください。—

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会日中韓フォーサイト事業「高効率な水分解を指向した複合光触媒システム」
	(英文) A3 Foresight Program Seminar “Composite Photocatalytic Systems for Efficient Overall Water Splitting“
開催期間	平成 24 年 6 月 21 日 ～ 平成 24 年 6 月 24 日 (4 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 浦項工科大学 POSCO インターナショナルセンター (韓国、浦項)
	(英文) POSCO International Center, POSTECH (Korea, Pohang)
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 久保田純・東京大学大学院工学系研究科・准教授
	(英文) KUBOTA, Jun・School of Engineering, Univ. Tokyo・Associate Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) LEE, Jae Sung, Dept. of Chem. Engin., POSTECH, Professor

参加者数

派遣先 派遣元	セミナー開催国 (韓国)	
	A.	B.
日本 〈人/人日〉	A.	16/64
	B.	0/0
	C.	1/4
中国 〈人/人日〉	A.	0/0
	B.	0/0
	C.	8/32
韓国 〈人/人日〉	A.	0/0
	B.	0/0
	C.	13/52
合計 〈人/人日〉	A.	16/64
	B.	0/0
	C.	22/88

A. セミナー経費から旅費を負担

B. 共同研究・研究者交流から旅費を負担

C. 本事業経費から旅費を負担しない (参加研究者リストに記載されていない研究者は集計しないでください。)



セミナー開催の目的	<p>本プログラムの高効率な水分解を指向した複合型光触媒システムの国際共同研究を遂行するにあたり、参画各国の研究室の研究者や大学院生の研究の進捗状況や、研究戦略や研究分野の理解度を相互に確認する必要がある。大学院生を含めた若手研究者を集めてセミナーで相互に発表させ、各国研究室の研究が円滑に進行しているか確認することを目的とする。また、研究者派遣を行った者の帰国後の研究の進捗状況を確認し、研究者派遣に意義があったか検討をする。</p>	
セミナーの成果	<p>セミナーを開催し、参画各研究室の教員が直接研究討論することにより、共同研究の円滑な推進が図れた。今回のセミナーは本事業3回目のセミナーであった。各国の3年目での研究の進行状況を確認することから、各研究室のアクティビティーを測り知ることができ、今後の共同研究の基礎ともなった。</p> <p>また、本事業のセミナーは、大学院生を中心に研究発表が行われることから、若手の国際学会発表の練習の良い場となった。本事業の年度を経る毎に、学生は入学・卒業と参加者が変化していて、新たな学生に国際的に自分の研究成果を発表する機会を与え、また、海外の学生と交流できることから、彼らを国際的な研究者に育成できたと認められる。</p>	
セミナーの運営組織	<p>セミナーは韓国側 PI を中心に会場準備、会議準備を行った。プログラムは各国 PI が電子メールで相談し、日本側参加者の発表、要旨原稿などの取りまとめを日本側 PI、中国側参加者の発表、要旨原稿などの取りまとめを中国側 PI が行った。</p>	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 旅費 金額 1,385,680 円
	中国側	内容 旅費
	韓国側	内容 会場費、参加者宿泊費、参加者食費・懇親会費

### 8-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

#### ① 相手国との交流

派遣先		日本 〈人/人日〉	中国 〈人/人日〉	韓国 〈人/人日〉	ドイツ (第三国) 〈人/人日〉	計 〈人/人日〉
日本 〈人/人日〉	実施計画		0/0	0/0	9/54	9/54
	実績		0/0	0/0	8/74	8/74
中国 〈人/人日〉	実施計画	0/0		0/0	0/0	0/0
	実績	0/0		0/0	0/0	0/0
韓国 〈人/人日〉	実施計画	0/0	0/0		0/0	0/0
	実績	0/0	0/0		0/0	0/0
合計 〈人/人日〉	実施計画	0/0	0/0	0/0	0/0	9/54
	実績	0/0	0/0	0/0	0/0	8/74
② 国内での交流		0/0 人/人日				

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣時期	用務・目的等
東京大学・准教授・久保田純	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.7	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・特任助教・嶺岸耕	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.7	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・博士大学院生・熊諳珂	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.9	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・博士大学院生・西村直之	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.9	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・博士大学院生・SEO, Jeongsuk	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.9	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・博士大学院生・MA, Su Su Khine	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.9	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・博士大学院生・HAM, Yeilin	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.9	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表
東京大学・研究員・LI, Yanbo	ドイツ・ミュンヘン・国際会議場	2012.6.30-7.7	15th International Congress on Catalysis 国際学会・参加、成果発表

## 9. 平成24年度研究交流実績総人数・人日数

### 9-1 相手国との交流実績

派遣先		派遣元		日本	中国	韓国	ドイツ (第三国)	合計
		<人/人日>		<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>	<人/人日>
日本 <人/人日>	実施計画			0/0	17/68	9/54	26/122	
	実績			0/0	16/64(1/4)	8/74	24/138(1/4)	
中国 <人/人日>	実施計画		1/90		(19/76)	0/0	1/90 (19/76)	
	実績				0/0	(13/52)	0/0	(13/52)
韓国 <人/人日>	実施計画		1/90	0/0		0/0	1/90	
	実績			0/0		0/0	0/0	0/0
合計 <人/人日>	実施計画		2/180	0/0	17/68 (19/76)	9/54	28/302 (19/76)	
	実績				0/0	0/0	16/64 (14/56)	8/74

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※日本側予算によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。(合計欄は( )をのぞいた人数・人日数としてください。)

### 9-2 国内での交流実績

実施計画	実績
20/60 <人/人日>	34/136 <人/人日>

## 10. 平成24年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	2,259,520	
	外国旅費	3,482,853	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	2,940,702	
	その他経費	628,419	
	外国旅費・謝金等に 係る消費税	188,506	
	計	9,500,000	
委託手数料		950,000	
合 計		10,450,000	

## 11. 四半期毎の経費使用額及び交流実績

	経費使用額 (円)	交流人数<人/人日>
第1四半期	3,696,663	24/138
第2四半期	921,131	18/69
第3四半期	890,200	0/0
第4四半期	3,992,006	16/67
計	9,500,000	58/274