

戦略的創造研究推進事業  
さきがけ(個人型研究)  
追跡評価用資料

研究領域  
「光エネルギーと物質変換」  
(2009 年度～2016 年度)

研究総括: 井上 晴夫

2023 年 3 月

## 目次

要旨 .....	1
第 1 章 研究領域概要.....	2
1.1 戦略目標.....	2
1.2 研究領域の目的.....	3
1.3 研究総括.....	3
1.4 領域アドバイザー.....	3
1.5 研究課題および研究者.....	4
第 2 章 追跡調査 .....	8
2.1 追跡調査について.....	8
2.1.1 調査の目的.....	8
2.1.2 調査の対象.....	8
2.1.3 調査方法 .....	8
2.2 追跡調査概要.....	9
2.2.1 研究助成金.....	9
2.2.2 論文 .....	9
2.2.3 特許 .....	11
2.2.4 受賞 .....	12
2.2.5 共同研究や企業との連携.....	13
2.2.6 実用化・製品化.....	13
2.2.7 ベンチャー.....	13
2.3 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果.....	14
2.3.1 研究領域の展開状況(展開図).....	14
2.3.2 研究成果の科学技術の進歩への貢献.....	16
2.3.3 研究成果の社会・経済への貢献.....	20
2.3.4 その他の特記すべき事項.....	21

## 要旨

本報告書は、戦略的創造研究推進事業のさきがけ(個人型研究)の研究領域「光エネルギーと物質変換」(2009年度～2016年度)において、研究終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況等を明らかにし、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)事業及び事業運営の改善等に資するために、追跡調査を実施した結果をまとめたものである。研究終了後の研究進展を以下のような目次に沿って、本報告書にまとめる。

第1章では、研究領域概要について、戦略目標、研究領域の目的、研究総括、領域アドバイザー、研究領域および研究者をまとめた。

第2章では、追跡調査の目的、対象および方法を記述し、研究助成金、論文、特許、受賞、共同研究や企業との連携、実用化・製品化およびベンチャー企業についてまとめた。また研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果について、研究領域の展開状況、研究成果の科学技術の進歩への貢献、研究成果の社会・経済への貢献および新たな展開や分野間融合をまとめた。

## 第 1 章 研究領域概要

### 1.1 戦略目標

「異分野融合による自然光エネルギー変換材料及び利用基盤技術の創出」

本戦略目標は、関連分野間の技術融合の一形態として、例えば先行しているシリコン太陽電池と化合物半導体太陽電池の科学的な知見や技術的経験を、有機薄膜・色素増感型太陽電池、量子ドット太陽電池等の新型高効率太陽電池や太陽光利用水素生成等の飛躍的な効率改善に活用することを推進する。併せて、シリコン太陽電池や化合物半導体太陽電池との共通技術要素である表面・界面制御、新概念・新構造の提案などに関する研究を推進する。

また、本戦略目標が示す研究領域は材料化学とデバイス物理が融合した分野である。太陽光利用技術に取り組む国内の研究者数は非常に少ない現状にあり、物理学、化学、電子工学等の異分野の研究者の英知を結集し、太陽光の利用という共通の課題の下で共同研究を推進してインタラクティブイノベーションを引き出すことや、異分野融合によるブレークスルーの誘発を促すことが本研究事業の重要なポイントである。

本戦略目標の下で推進される研究分野と異分野融合の具体例として、以下が挙げられる。

[研究分野]

#### ①太陽光発電技術

- ・シリコン系、化合物薄膜型
- ・色素増感型、有機薄膜型
- ・新型超高効率系(III-V族、量子ドット型、多接合型など)

#### ②太陽光利用による有用物質・エネルギー生成技術

- ・水素、ギ酸等の有用物質生成
- ・有用物質とエネルギーの同時生成

[本戦略目標で期待される異分野融合]

- ①半導体、有機ELディスプレイなど関連分野の研究者に、太陽電池材料への適用研究、劣化機構の解明、発電効率改善の研究を期待
- ②界面現象の研究者に、効率的に電荷分離する材料探索を期待
- ③結晶物理、薄膜形成の研究者に、シリコン薄膜の欠陥制御についての研究を期待
- ④フォトニック結晶による光制御の研究者に、集光や光閉じ込め制御の研究を期待
- ⑤光触媒などの研究者に、太陽光エネルギーを積極的に利用した発電効率改善についての研究を期待

本研究領域では、[研究分野]の②「太陽光利用による有用物質・エネルギー生成技術」に焦点を当てて研究を推進した。

## 1.2 研究領域の目的

本研究領域では、太陽光エネルギー獲得のお手本となる天然の光合成を、1) 学び、理解し、2) 真似る、光合成と同等の機能発現を図る、3) 光合成を超える という研究推進姿勢を取る必要があると考えた。主に、1) 光合成機能、2) 酵素機能、3) 分子触媒機能、4) 半導体など集合体の触媒機能、などについて徹底した学理解明、分子合成、集合体合成、機能探索、分子計測、理論解析・予測を異分野融合の視点から可能な展開を図ることにより、戦略目標の達成を目指した。

具体的には、半導体触媒や有機金属錯体による光水素発生、二酸化炭素の光還元、高効率な光捕集・電子移動・電荷分離・電子リレー系、光化学反応場の制御、水分子を組み込んだ酸化還元系、ナノテクノロジーを駆使した光電変換材料、高効率光合成能を有する植物、藻類、菌類などの利用技術、光を利用したバイオマスからのエネルギー生産、光合成メカニズムの解明などが含まれる。光化学、有機化学、材料科学、ナノテクノロジー、バイオテクノロジーなど幅広い分野から、将来のエネルギー・システムへの展開を目指した革新的技術に新しい発想で挑戦する研究を推進した。

## 1.3 研究総括

井上 晴夫（首都大学東京人工光合成研究センター センター長・特任教授）

## 1.4 領域アドバイザー

領域アドバイザーに関しては、本研究領域が関係する光反応化学、光触媒、有機・無機機能材料化学、レーザー化学、生物物理、触媒化学、錯体化学、光合成、植物生理、光合成細菌など幅広い学問分野において優れた研究実績があり、世界的にみて現在も活躍中の高名な研究者を中心に人選を進めた。さらに、国際的に活躍されている国内外の著名研究者の方にインターナショナルアドバイザーボード(国際アドバイザー)をお願いした。表 1-1 に領域アドバイザーを示した。

表 1-1 領域アドバイザー

領域アドバイザー	研究終了時の所属	研究終了時の役職	任期
石谷 治	東京工業大学	教授	2009年6月～2017年3月
伊藤 攻	東北大学	名誉教授	2011年7月～2017年3月
伊藤 繁	名古屋大学	名誉教授	2010年12月～2017年3月
喜多村 昇	北海道大学	教授	2009年6月～2017年3月
工藤 昭彦	東京理科大学	教授	2010年12月～2017年3月
嶋田 敬三	首都大学東京	客員教授	2009年6月～2017年3月
沈 建仁	岡山大学異分野基礎科学研究所	教授	2012年1月～2017年3月
瀬戸山 亨	三菱化学㈱	フェロー・執行役員	2009年6月～2017年3月
高木 克彦	(財)神奈川科学技術アカデミー	研究顧問	2009年6月～2017年3月

領域アドバイザー	研究終了時の所属	研究終了時の役職	任期
民秋 均	立命館大学	教授	2012年1月～2017年3月
堂免 一成	東京大学	教授	2009年6月～2017年3月
藤田 恵津子	米国・ブルックヘブン国立研究所	シニアケミスト	2009年6月～2017年3月
真嶋 哲朗	大阪大学産業科学研究所	教授	2009年6月～2017年3月
宮坂 博	大阪大学	教授	2009年6月～2017年3月
橋本 和仁	東京大学	教授	2009年6月～2010年8月
松永 是	東京農工大学	学長	2009年6月～2010年8月
徳丸 克己※	筑波大学	名誉教授	2010年9月～2017年3月
朴 鐘震※	韓国・高麗大学校	教授	2010年9月～2017年3月
トーマス J. マイヤー※	米国・ノースカロライナ大学 チャペルヒル校	特別荣誉教授	2010年9月～2017年3月
ビビアン W. W. ヤン※	中国・香港大学	教授	2010年9月～2017年3月
根岸 英一※	米国・パデュー大学	特別教授	2011年9月～2017年3月

※：国際アドバイザーボードとして就任

## 1.5 研究課題および研究者

研究課題(研究者)の公募は 2009 年度から 3 年間、3 期にわたり、総計 39 件の研究課題が採択された。表 1-2 に各期の研究代表者、研究課題、採択時の所属と役職、終了時の所属と役職並びに追跡調査時点の所属と役職を示した。

表 1-2 研究課題と研究者(第 1 期、第 2 期、第 3 期)

期 (研究期間)	研究課題	研究者	採択時の 所属・役職	終了時の 所属・役職	追跡調査時の 所属・役職
第 1 期 (2009 年 10 月 ～2013 年 3 月)	時間分解 X 線構造解析による光エネルギー変換機構の分子動画像観測	足立 伸一	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 准教授	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 教授	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 理事・教授
第 1 期 (2009 年 10 月 ～2011 年 3 月)	機能分離型色素を用いた高効率水分解系の構築	阿部 竜 ※	北海道大学触媒化学研究センター 准教授	京都大学大学院工学研究科 教授	京都大学大学院工学研究科 教授
第 1 期 (2009 年 10 月 ～2013 年 3 月)	光機能性巨大π共役系化合物の創製	荒谷 直樹	京都大学大学院理学研究科 助教	奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科 准教授	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授
第 1 期 (2009 年 10 月 ～2013 年 3 月)	光反応中心・光受容体蛋白質における光反応の分子制御	石北 央	京都大学生命科学系キャリアパス形成ユニット 特定助教	東京大学先端科学研究技術センター 教授	東京大学先端科学技術研究センター 教授
第 1 期 (2009 年 10 月 ～2015 年 3 月)	ペプチド折り紙で創る二酸化炭素多電子還元触媒	石田 齊	北里大学大学院理学研究科 准教授	北里大学大学院理学研究科 准教授	関西大学大学院理工学研究科 教授

期 (研究期間)	研究課題	研究者	採択時の 所属・役職	終了時の 所属・役職	追跡調査時の 所属・役職
第1期 (2009年10月 ～2015年3月)	ナノ構造体の階層的 構造制御による光機 能性材料の創製	伊田 進太 郎	熊本大学大学院 自然科学研究科 助教	九州大学大学院 工学研究院 准 教授	熊本大学産業ナノマ テリアル研究所 教 授
第1期 (2009年10月 ～2013年3月)	可視光エネルギーを 駆動力とする触媒的 有機分子変換システ ムの開発	高尾(稲垣) 昭子	東京工業大学資 源化学研究所 助教	首都大学東京大 学院理工学研究 科 准教授	東京都立大学大学院 理学研究 科 准教授
第1期 (2009年10月 ～2015年3月)	蛋白質工学的アプロ ーチによる高効率ギ 酸生産藻類の設計	伊原 正喜	東京大学大学院 工学系研究科 特任助教	信州大学農学部 生命物質科学科 助教	信州大学学術研究院 農学系 准教授
第1期 (2009年10月 ～2015年3月)	[Fe]-ヒドロゲナー ゼの活性中心鉄錯体 の生合成	嶋 盛吾	マックスプラン ク陸生微生物学 研究所 リーダ ー	マックスプラン ク陸生微生物学 研究所 グルー プリーダー	マックスプランク陸 生微生物学研究所 グループリーダー
第1期 (2009年10月 ～2013年3月)	光合成膜タンパク質 分子集合系の機構解 明	出羽 毅久	名古屋工業大学 大学院工学研究 科 准教授	名古屋工業大学 大学院工学研究 科 教授	名古屋工業大学大学 院工学研究科 教授
第1期 (2009年10月 ～2013年3月)	ホスファルケン系 配位子を持つ鉄錯体 を触媒とする二酸化 炭素の高効率光還元 反応	中島 裕美 子	京都大学化学研 究所 助教	産業技術総合研 究所触媒化学融 合研究センター 主任研究員	産業技術総合研究所 材料・化学領域 研究 チーム長
第1期 (2009年10月 ～2013年3月)	水の可視光完全分解 を可能にする高活性 酸素発生触媒の創製	正岡 重行	九州大学大学院 理学研究院 助 教	分子科学研究所 生命錯体分子科 学研究領域 准 教授	大阪大学大学院工学 研究科 教授
第1期 (2009年10月 ～2013年3月)	水素生成型太陽電池 を目指した水の光酸 化ナノ複合触媒の開 発	八木 政行	新潟大学大学院 自然科学系 教 授	新潟大学大学院 自然科学系 教 授	新潟大学大学院自然 科学研究科 教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	安定デバイス創製に 向けた光合成光反応 制御機構の解明	伊福 健太 郎	京都大学大学院 生命科学研究所 助教	京都大学大学院 生命科学研究所 助教	京都大学大学院農学 研究科 教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	油生産緑藻の葉緑体 と細胞全体の生理と の相関を見る多角的 顕微分光分析	熊崎 茂一	京都大学大学院 理学研究科 准 教授	京都大学大学院 理学研究科 准 教授	京都大学大学院理学 研究科 准教授
第2期 (2010年10月 ～2011年3月)	複合体解析による光 合成エネルギー変換 の完全理解	栗栖 源嗣 ※	大阪大学蛋白質 研究所 教授	大阪大学蛋白質 研究所 教授	大阪大学 蛋白質研 究所 教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	分子性酸化物を用い た高効率な水の完全 酸化触媒の創生	定金 正洋	広島大学大学院 工学研究院 准 教授	広島大学大学院 工学研究院 准 教授	広島大学大学院先進 理工系科学研究科 教授
第2期 (2010年10月 ～2016年3月)	光合成による高効率 エネルギー変換と水 の酸化機構の解明	杉浦 美羽	愛媛大学無細胞 生命科学工学研 究センター 准 教授	愛媛大学プロテ オサイエンスセ ンター 准教授	愛媛大学 プロテオ サイエンスセン ター 准教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	光アンテナにナノ粒 子や分子を集める・ 観る・反応させる	坪井 泰之	北海道大学大学 院理学研究院 准教授	大阪市立大学大 学院理学研究科 教授	大阪市立大学大学院 理学研究科 教授

期 (研究期間)	研究課題	研究者	採択時の 所属・役職	終了時の 所属・役職	追跡調査時の 所属・役職
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	光合成で駆動する新しい生物代謝	永島 賢治	首都大学東京大 学院理工学研究 科 准教授	神奈川大学理学 部水素生産研究 所 客員教授	神奈川大学光合成水 素生産研究所 プロ ジェクト研究員
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	光エネルギー変換過 程における固/液界 面構造のその場計測	野口 秀典	物質・材料研究 機構ナノ材料科 学環境拠点ナノ 界面レーザー計 測グループ チ ームリーダー	物質・材料研究 機構ナノ材料科 学環境拠点ナノ 界面レーザー計 測グループ チ ームリーダー	物質・材料研究機構 エネルギー・環境材 料研究拠点 グル プリーダー
第2期 (2010年10月 ～2016年3月)	籠型分子の内部に展 開する光-物質変換 機能触媒の創出	舩橋 靖博	名古屋工業大学 大学院工学研究 科 准教授	大阪大学大学院 理学研究科 教 授	大阪大学大学院理学 研究科 教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	超解像蛍光顕微鏡に よる珪藻のバイオミ ネラリゼーションの 解析	堀田 純一	ルーベンカトリ ック大学 上級 博士研究員	山形大学大学院 理工学研究科 准教授	山形大学大学院理工 学研究科 准教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	表面バンドエンジニア リングによる高性 能水分解光触媒の創 生	前田 和彦	東京大学大学院 工学系研究科 助教	東京工業大学理 学院 准教授	東京工業大学理学院 准教授
第2期 (2010年10月 ～2014年3月)	光化学的手法による 天然有機色素の金属 バインディング機能 創出	村橋 哲郎	大阪大学大学院 工学研究科 准 教授	東京工業大学物 質理工学院 教 授	東京工業大学物質理 工学院 教授
第2期 (2010年10月 ～2016年3月)	太陽光と新規酸素吸 収酸化物を用いた燃 料生成	山崎 仁丈	カリフォルニア 工科大学 上級 博士研究員	九州大学稲盛フ ロンティア研究 センター 教授	九州大学大学院工学 府 教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	光化学系 II 複合体 の酸素発生反応の構 造化学的な手法によ る原理解明	梅名 泰史	大阪大学蛋白質 研究所 特任研 究員	岡山大学自然科 学研究科附属光 合成研究センタ ー 特別契約職 員准教授	名古屋大学シンクロ トロン光研究センタ ー 准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	ナノコンポジット光 触媒を用いた反応サ イト分離型CO <sub>2</sub> 固定 化系の構築	横野 照尚	九州工業大学大 学院工学研究院 教授	九州工業大学大 学院工学研究院 教授	九州工業大学大学院 工学研究院 教授・工 学研究院長
第3期 (2011年10月 ～2017年3月)	新しい時間分解赤外 振動分光法を用いた 複雑な光エネルギー 変換過程の解明	恩田 健	東京工業大学大 学院総合理工学 研究科 特任准 教授	東京工業大学大 学院理工学研究 科理学流動研究 機構 研究員	九州大学大学院理学 研究院 教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	新しい人工光合成系 を目指したナノ粒子 超構造の構築	坂本 雅典	筑波大学大学院 数理物質科学研 究科 助教	京都大学化学研 究所物質創製化 学研究系 准教 授	京都大学化学研究所 准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	アリアルホウ素化合 物による化学的光エ ネルギー変換への展 開	作田 絵里	北海道大学大学 院理学研究院 特任助教	長崎大学大学院 工学研究科 准 教授	長崎大学大学院工学 研究科 准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	金属錯体の配位およ び配位子の機能を利用 したCO <sub>2</sub> 還元触媒 の創製	佐藤 俊介	(株)豊田中央研究 所森川特別研究 室 副研究員	(株)豊田中央研究 所森川特別研究 室 研究員	(株)豊田中央研究所森 川特別研究室 研究 員

期 (研究期間)	研究課題	研究者	採択時の 所属・役職	終了時の 所属・役職	追跡調査時の 所属・役職
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	カーボンニュートラルエネルギーイノベーションを目指した層状粘土化合物による水中での二酸化炭素の光還元	寺村 謙太郎	京都大学大学院工学研究科 講師	京都大学大学院工学研究科 准教授	京都大学大学院工学研究科 准教授
第3期 (2011年10月 ～2017年3月)	超高速電子移動のドライビング・フォースと反応場の解明	長澤 裕	大阪大学大学院基礎工学研究科 准教授	立命館大学生命科学部応用化学科 教授	立命館大学大学院生命科学研究科 教授
第3期 (2011年10月 ～2016年3月)	褐藻類の光合成アンテナに結合した色素の構造と機能の解明	藤井 律子	大阪市立大学複合先端研究機構 特任准教授	大阪市立大学複合先端研究機構 准教授	大阪市立大学人工光合成研究センター 准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	様々な光エネルギー変換系における水分子の構造・機能相関解明	古谷 祐詞	分子科学研究所生命錯体分子科学研究領域 准教授	分子科学研究所生命錯体分子科学研究領域 准教授	名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	光によって引き起こされるヒドリド移動反応を利用したエネルギーポンプ系の構築	松原 康郎	米ブルックヘブン国立研究所化学部門 博士研究員	神奈川大学工学部物質生命科学科 特別助教	大阪市立大学人工光合成研究センター 特任准教授
第3期 (2011年10月 ～2015年3月)	高効率な二酸化炭素還元を目指した新規光触媒の創製	森本 樹	東京工科大学大学院理工学研究科 助教	東京工科大学工学部応用化学科 講師	東京工科大学大学院工学研究科 准教授
第3期 (2011年10月 ～2017年3月)	励起キャリアーの動きとエネルギー制御	山方 啓	豊田工業大学大学院工学研究科 准教授	豊田工業大学大学院工学研究科 准教授	豊田工業大学大学院工学研究科 准教授

※)2009年度採択の阿部研究者と2010年度採択の栗栖研究者は、内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択され、2011年3月末にさきがけ研究を中止しているため、本追跡調査の対象より除外する。

## 第 2 章 追跡調査

### 2.1 追跡調査について

#### 2.1.1 調査の目的

追跡調査は研究領域終了後、一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、JST の事業および事業運営の改善に資するために行うもので、研究終了後の研究者の研究課題の発展状況等を調査した。

#### 2.1.2 調査の対象

本追跡調査は、さきがけ研究領域「光エネルギーと物質変換」(2009 年度～2016 年度)を対象とする。調査した具体的な研究者は表 1-2 に示した。

#### 2.1.3 調査方法

##### (1) 研究助成金

調査対象期間は、本研究領域の研究期間中を含めて調査対象月とし、本研究領域の研究者が研究の代表を務める研究助成金を調査した。その中から、原則、研究助成金の総額が 1 千万円/件以上のものを抽出した。

ただし、各研究課題の開始後に研究助成を受け、当該研究課題が終了する前に、その助成期間が終了してしまう事案、および当該研究課題終了と同年度に助成期間が終了する事案に関しては対象外とした。研究助成資金の獲得状況については、研究者へのアンケートによって調査した。アンケートに回答しなかった研究者に対しては、科学研究費助成事業データベース<sup>1</sup>を検索した。

##### (2) 論文

論文の抽出は、文献データベースとして Scopus を用い、Book、Editorial、Erratum を除く全文献タイプの論文を対象とし、研究者が著者になっている論文を著者名検索により出力した。著者ごとに論文リストを作成し、①さきがけの成果と認められるもの、②さきがけの発展と認められるもの、③さきがけと無関係と考えられるものに分類し、論文数を求めた。上記の論文リストのうち、終了報告書に記載の論文、著者の所属が PRESTO であるもの、助成金情報に JST または PRESTO の記載があるもの、謝辞の対象に JST があるもの、四つの条件のいずれかを満たせば①の論文とした。この①の論文を引用している研究終了後の論文を②とした。また、さきがけの成果および発展に関する論文について、研究者が責任著者となっている論文数も調べた。

---

<sup>1</sup> <https://kaken.nii.ac.jp/ja/>

### (3) 特許

特許の検索の場合、年月日まで指定ができるため、表 1-2 に記載された研究者が発明者となっている特許で、出願日が課題開始以降調査時点までの特許を収集した。この際、所属機関などで絞り込みを行うと必要な特許が収集できない危険があるため、所属機関などでの絞り込みは行わず、収集できたデータを目視で確認し、リストを作成した。

PATENT SQUARE (パナソニック株式会社) の国内検索を用い、まずは上記で特許を収集した後、同様に世界検索を行い、特許の海外での登録状況や、日本に出願せず海外に出願したか否かを確認した。

### (4) 受賞、共同研究や企業との連携等

研究終了以降から現在に至るまでの受賞、共同研究や企業との連携等について、各研究者へのアンケート結果を基にそれぞれのリストを作成した。

## 2.2 追跡調査概要

### 2.2.1 研究助成金

さきがけ研究終了後も、ほとんどの研究者は研究助成金を獲得し、これまでの研究成果をさらに発展、展開させている。

横野は、JST の先導的物質変換領域 (ACT-C) において、研究課題「CO<sub>2</sub> の資源化を実現するナノ構造を制御した光触媒電極の構築」(2012 年度～2018 年度) の研究代表者として採択された。足立は、科研費の特別推進研究と基盤研究 (S)、および文部科学省の重点戦略研究課題と国家課題対応型研究開発推進事業の高額の助成金を獲得した。他にも科研費に関しては、前田、正岡、村橋が新学術領域研究、作田と山方は学術変革領域研究 (A) の大型助成金を得た。さらに定金は、日本学術振興会の研究拠点形成事業に採択された。

### 2.2.2 論文

研究活動の成果を評価する指標としては、発表された論文の内容とともにその件数が重要である。表 2-1 に論文発表件数を以下にまとめた。図 2-1 に全体の投稿論文数および Top10% 以内論文数を示した。

研究領域全体で投稿された論文は、さきがけの成果論文として 577 報 (このうち Top10% 以内は 94 報) であり、発展論文は 485 報 (このうち Top10% 以内は 52 報) であった。また、発展論文の Top10% 以内論文数に関しては、前田の投稿論文が複数の Top1% 以内論文を含めて 20 報以上に達しており、山方、梅名、横野、佐藤がそれに続いている。さらに、本研究領域内での共著論文数は、成果論文で 14 報、発展論文に関しては 18 報であった。研究期間中から研究者間での共著論文数は多い研究領域ではあったが (図 2-2 に研究期間中の共同研究の状況を提示)、研究終了後の共著論文数が増加しており、研究者間での共同研究が継続されていることがわかる。

表 2-1 さきがけ研究の成果論文および発展論文の(原著論文)数

①成果論文						
論文数	責任著者論文数	平均FWCI値	TOP%論文数			
			10%以内	1%以内	0.1%以内	0.01%以内
577(14)	306(1)	1.46	94(2)	6(1)	1	0
②発展論文						
論文数	責任著者論文数	平均FWCI値	TOP%論文数			
			10%以内	1%以内	0.1%以内	0.01%以内
485(18)	229	1.07	52	3	0	0

- 1 各研究代表者の論文数は重複論文を含むため、領域全体の論文数の合計数は一致しない。( )中の数値は重複論文数。領域全体の論文数には重複論文数は含めない。
- 2 責任著者とは Corresponding Author と同義。
- 3 平均FWCI 値は、調査最終年マイナス1年まで(今回の調査では2020年末まで)の論文を対象とし、FWCI 値が得られる論文(FWCI 値=0 含む)で平均した数値とした。
- 4 Top%値はFWCI 値ベースとする。また Top%論文は「論文数」でリストアップした論文を対象とする。
- 5 各 Top%論文数は“以内”を意味し、例えば Top10%の欄には1%以下も含む件数がカウントされる。

2021年6月25日検索  
2021年8月1日確認

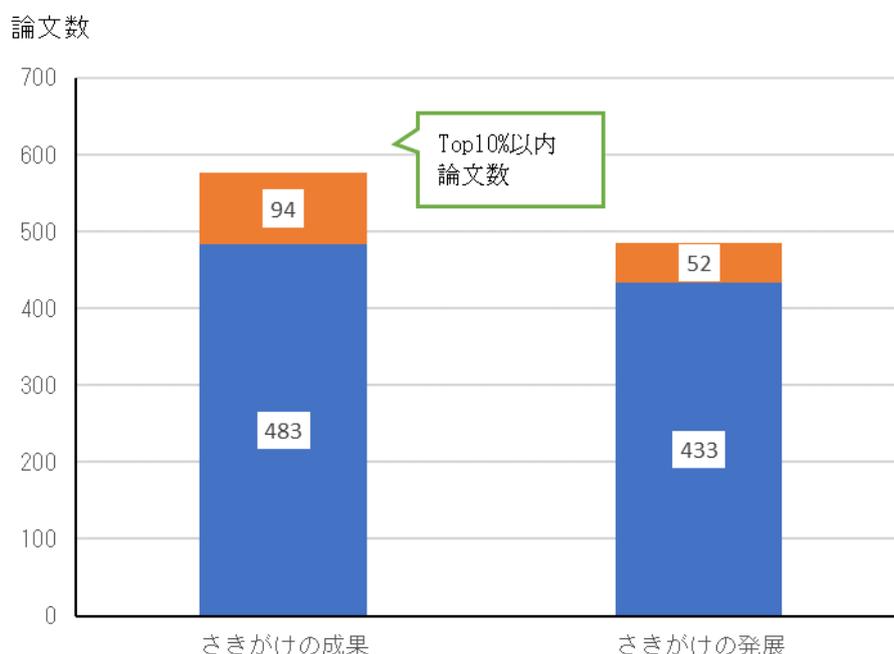


図 2-1 さきがけ研究の成果論文および発展論文の(原著論文)数

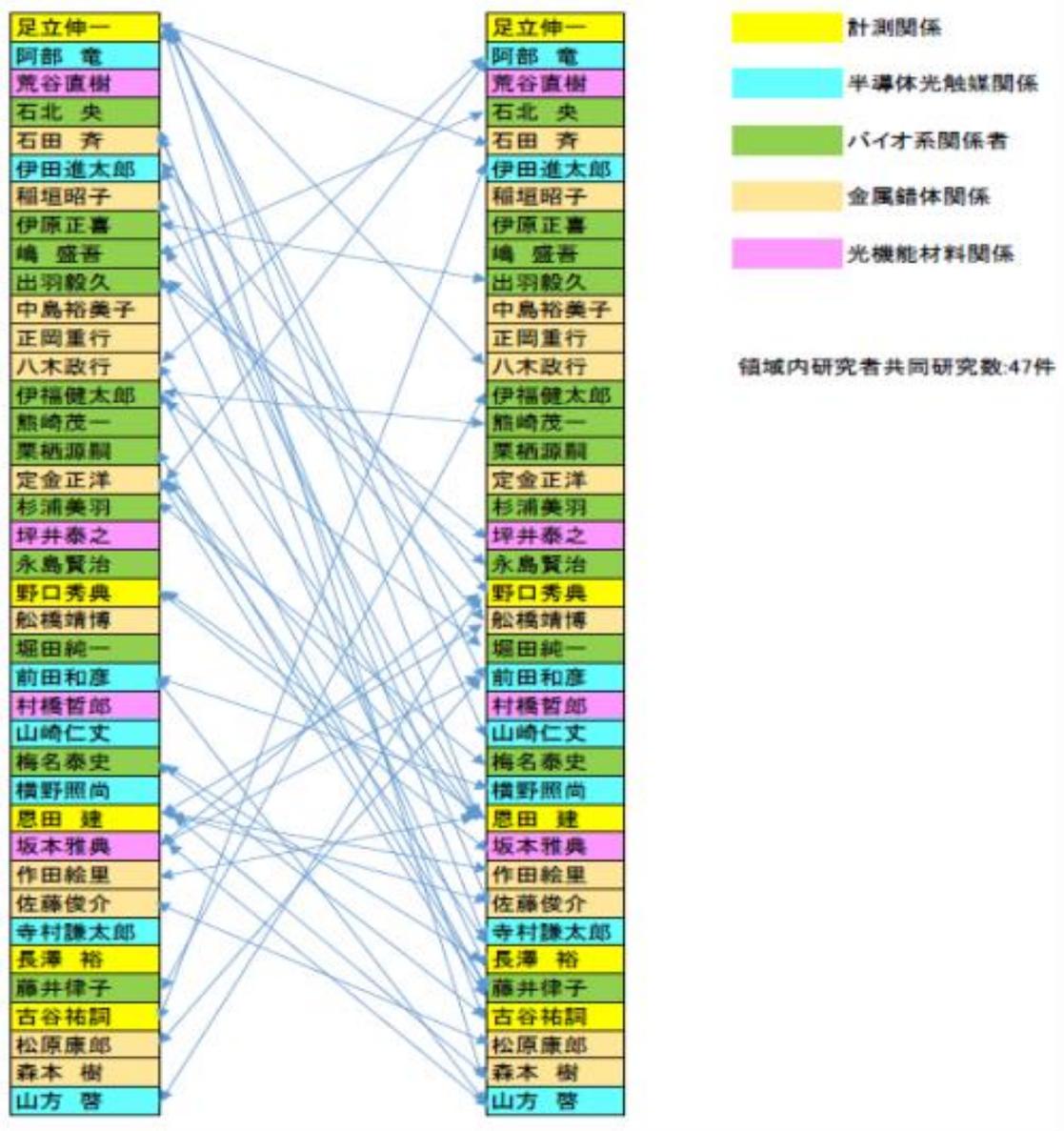


図 2-2 さきがけ研究期間中の共同研究の状況

### 2.2.3 特許

特許は、基礎研究から産業への貢献を分析する指標となり、特許からさらに次の段階の研究が発展することから、研究活動の成果を評価する重要な指標である。表 2-2 および図 2-2 に特許の出願件数や登録件数をまとめた。

国内の出願件数に関しては、研究期間中の 13 件から研究終了後は 62 件に大幅に増加しており、海外出願でも 3 件から 12 件に伸びている。登録された特許についても同じ傾向が見られ、本研究領域の研究成果が社会実装に向けて確実に展開されていることが示唆されている。

表 2-2 研究期間中・研究終了後の特許出願件数と特許登録件数の状況

	出願件数		登録件数	
	国内	海外	国内	海外
研究期間中	13	3	6	1
研究終了後	62	12	14	2

- 1) PCT 出願、海外国への個別特許申請のいずれかがあれば、海外としてカウント。
- 2) 国内特許出願し PCT 出願あるいは直接 PCT 出願された場合は国内出願件数に含めてカウント。

2021年5月26日調査  
2021年8月11日確認

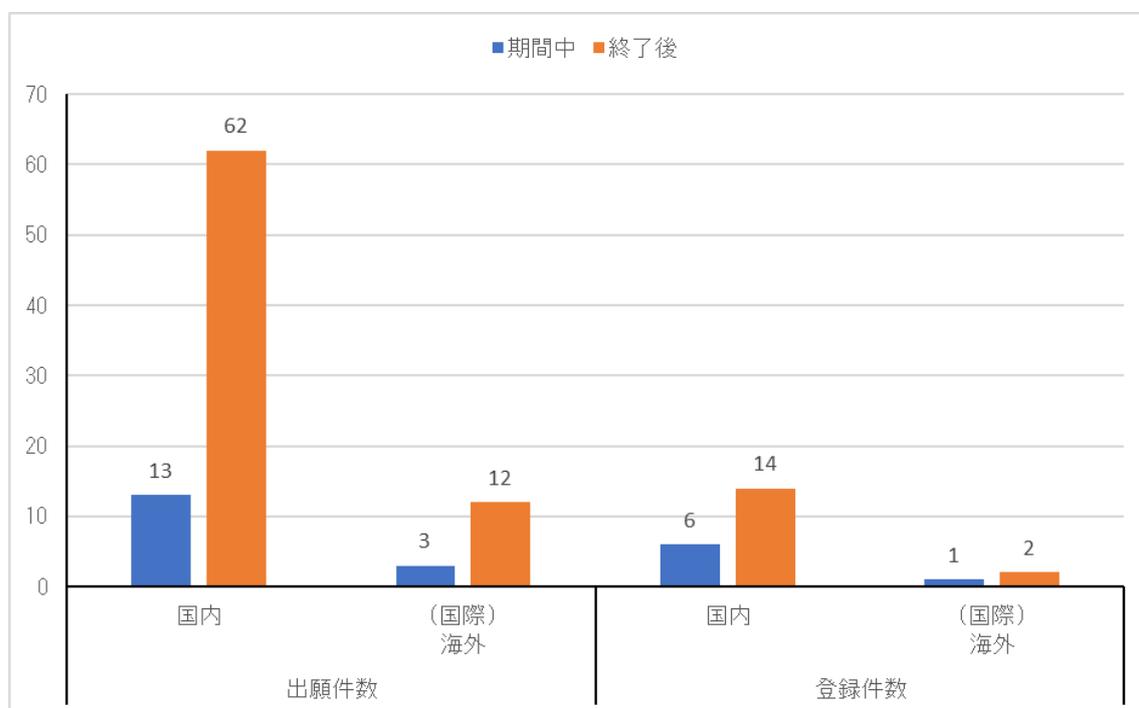


図 2-3 研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

#### 2.2.4 受賞

科学技術の進歩への貢献や研究成果に関する評価を示す指標の一つとして、受賞が挙げられる。

伊田と前田は平成 28 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、前田と正岡は第 13 回日本学術振興会賞 (2016 年)、作田は日本化学会の第 7 回女性化学者奨励賞 (2019 年) を受賞した。この他にも、光化学協会、基礎有機化学会といった関連学会からそれぞれ賞を授与された研究者がいる。

### 2.2.5 共同研究や企業との連携

研究成果を社会実装させるために、企業との共同研究や連携を進めている研究者も多く存在する。

荒谷は、近赤外発光色素について企業 2 社と共同研究し、そのうち 1 社がこの研究と関連する特許を 1 件出願した。

石田は、測定機器メーカーと群馬大学のグループと共同で、発光量子収率測定に関して研究した。この中で石田はルテニウム錯体の発光量子収率の再評価を担当した。

坪井は、新型高性能光ピンセットの開発に関して民間企業 3 社から委託研究を請け負った。

恩田<sup>2</sup>は、化学メーカーと時間分解分光法を用いた化合物の構造解析というテーマで、多くの化学メーカーと有機 EL 材料における励起状態の構造変化の解明というテーマで、民間企業研究所と人工光合成系の反応機構解明というテーマで、それぞれ共同研究を実施した。

寺村は、水を電子源とする二酸化炭素光還元に関して、民間企業と共同研究を実施中である。

藤井は、エネルギー関連企業と民間企業と共同で、有用成分を蓄積する藻類の生育に関する研究を実施した。

### 2.2.6 実用化・製品化

さきがけ研究終了後 5 年では、期間が短すぎて得られた研究成果が実用化あるいは製品化にまで至らないケースが多いが、本研究領域の研究成果の中には萌芽が見られる例がある。

中島は、ポリエーテル末端の選択的ヒドロシリル化を達成する触媒を開発し、これを利用して高シリル化率を有する変性シリコーンの開発に成功した。さらに、民間企業 3 社との共同研究へ展開し、企業への技術指導を実施するとともに、1 社との間で特許の譲渡契約を締結した。高シリル化変性シリコーンの量産化検証が終了し次第、実用化を見込んでいる。

横野は、ガス拡散電極と n 型光電極を複合化した連続的 CO<sub>2</sub> 還元システムの開発研究で得られた知見を基に、鉄鋼メーカーとの間で炭酸ガス連続還元システムの大型化について 3 年間共同研究を実施した。その結果、100mL/min の炭酸ガス供給を行う実験室レベルのシステムから、1L/min のスケールへ拡大を行うことに成功した。

### 2.2.7 ベンチャー

坂本は、エネルギーとして利用が困難であった赤外光を吸収して発電する透明性の高い新規材料を開発し、2021 年 10 月に京都大学の産学連携支援の下、ベンチャー企業<sup>3</sup>を設立し、取締役役に就任した。同社の役職員は 3 名、従業員は 3 名で、資本金は 3 百万円である。事業内容等については、2.3.3 項で詳細を記述する。

<sup>2</sup> <https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/337>

<sup>3</sup> <https://optmass.com>

## 2.3 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

### 2.3.1 研究領域の展開状況(展開図)

本研究領域では、2009年から2016年にかけて合計39件の研究課題が採択され、途中で2研究課題が内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」への移行のために2011年3月末にさきがけ研究終了となったが、37件の研究課題は「異分野融合による自然光エネルギー変換材料及び利用基盤技術の創出」という戦略目標の下で完遂された。展開と発展の状況を展開図として図2-4にまとめる。

戦略目標 達成目標	インプット	アクティビティ/アウトプット	アウトカム (short/mid-term)		アウトカム (long-term) / インパクト																						
			～追跡調査時点	今後予想される展開	今後想定される波及効果																						
<b>戦略目標・達成目標</b>  戦略目標： 異分野融合による自然光エネルギー変換材料及び利用基盤技術の創出  達成目標： 太陽光利用による有用物質・エネルギー生成技術の開発  研究分野： (1)計測技術 (2)半導体光触媒 (3)バイオテクノロジー (4)金属錯体 (5)光機能材料 (6)光合成の解明	<b>研究体制</b>  研究総括 井上 晴夫  研究者 足立 伸一 阿部 竜 荒谷 直樹 石北 央 石田 斉 伊田 進太郎 高尾(稲垣) 昭子 伊原 正喜 嶋 盛吾 出羽 毅久 中島 裕美子 正岡 重行 八木 政行 伊福 健太郎 熊崎 茂一 栗栖 源嗣 定金 正洋 杉浦 美羽 坪井 泰之 永島 賢治 野口 秀典 船橋 靖博 堀田 純一 前田 和彦 村橋 哲郎 山崎 仁文 梅名 泰史 横野 照尚 恩田 健 坂本 雅典 作田 絵里 佐藤 俊介 寺村 謙太郎 長澤 裕 藤井 律子 古谷 祐詞 松原 康郎 森本 樹 山方 啓 39名	<b>研究成果のまとめ</b>  論文投稿  ①さきがけ研究成果論文の数    ②さきがけ研究発展論文の数 557 (14)                      485 (18) ()の値はTop10%以内論文数  特許申請・登録  <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">出願</th> <th rowspan="2">登録</th> <th colspan="2">期間中</th> <th rowspan="2">終了後</th> </tr> <tr> <th>国内</th> <th>海外</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13</td> <td>6</td> <td>13</td> <td>3</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>1</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	出願	登録	期間中		終了後	国内	海外	13	6	13	3	62	3	1	6	1	14	2	2			2	<b>科学技術的および社会・経済的な波及効果</b>  ・X線による超高速分子構造解析手法の確立 ・時間分解赤外分光を用いたCO <sub>2</sub> 光還元過程における電子移動機構の解明 ・赤外分光法によるイオン選択に関わる分子指紋の同定  ・酸素とケイ素からなるシリケートナノシートの開発と燃料電池の電解質や触媒担体への応用 ・色素増感型ナノシート触媒による水分解 ・ガス拡散電極およびn型光電極を複合化したデバイスによるCO <sub>2</sub> 光還元  ・鉄ヒドロゲナーゼ等の生体酵素の構造解析と触媒活性機構の解明 ・油を生産できる緑藻、微細光合成生物、植物の生物種での生理的状態の検知・診断 ・野外培養可能な藻類の培養方法の確立  ・光触媒の機能を有する各種金属錯体の創生 ・金属錯体触媒を用いた水の光分解による酸素発生反応 ・金属錯体触媒を用いたCO <sub>2</sub> 光還元反応 ・世界最小の過電圧を実現する酸素発生アノード材料の開発  ・赤外線を電気エネルギーに変換するナノ粒子半導体の開発 ・新型高性能光ピンセットの開発  ・光合成における反応活性点の構造解明 ・バイオミメティックな光触媒の開発  <b>研究の展開</b>  <b>助成金</b> ・JST/ACT-C：1件(横野) ・文部科学省事業：2件(足立) ・科研費/特別推進研究：1件(足立) /新学術領域研究：3件(前田、正岡、村橋) /学術変革領域研究(A)：2件(作田、山方) /基盤研究(S)：1件(足立) ・日本学術振興会/研究拠点形成：1件(定金)  <b>受賞</b> ・文部科学大臣表彰若手科学者賞：2件(伊田、前田) ・日本学術振興会賞：2件(前田、正岡) ・日本化学会/女性化学者奨励賞：1件(作田)	・新規の分光学的分析法の開発による素反応および遷移状態での分子挙動の詳細解明  ・半導体光触媒を用いた太陽光による水の酸化分解およびCO <sub>2</sub> の還元  ・植物の生体内における光合成の反応メカニズムの解明 ・有用化合物を生産可能な藻類の開発 ・高効率光合成能を有する植物、藻類、菌類等の培養  ・半導体光触媒を用いた太陽光による水の酸化分解およびCO <sub>2</sub> の還元  ・赤外線遮蔽ナノ粒子の開発 ・赤外線をエネルギー源とする太陽電池の開発  ・バイオミメティックな光触媒による水の酸化分解 ・バイオミメティックな光触媒によるCO <sub>2</sub> の還元	<b>SDGsの目標への対応</b> ・7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに ・9 産業と技術革新の基盤をつくろう ・11 住み続けられるまちづくりを ・13 気象変動に具体的な対策を  <b>光合成のメカニズムの解明と人工光合成の確立</b>  <b>クリーンな太陽光エネルギーを資源とする発電</b>  <b>太陽光の赤外線を活用できるデバイスの創出</b>  <b>二酸化炭素の資源化</b>  <b>植物・藻類・菌類を利用するクリーンエネルギーと有用物質の創出</b>  <b>赤外線発電が可能な窓ガラス採用のビル群におけるヒートアイランド現象の阻止</b>
出願	登録	期間中			終了後																						
		国内	海外																								
13	6	13	3	62																							
3	1	6	1	14																							
2	2			2																							

図 2-4 さきがけ研究領域「光エネルギーと物質変換」の展開図

### 2.3.2 研究成果の科学技術の進歩への貢献

太陽光エネルギー獲得のお手本となる天然の光合成を、1) 学び、理解し、2) 光合成と同等の機能発現を図る、3) 光合成を超える という本研究領域の研究姿勢と研究成果はそれぞれの研究者により、研究終了後も発展、展開されており、新しい研究領域の創成、世界トップ水準の研究成果の創出など、科学技術の進歩に大きく貢献している。以下に事例を示す。

さきがけ研究期間中、坂本は研究課題「新しい人工光合成系を目指したナノ粒子超構造の構築」において、人工光合成の触媒として機能することが期待できる半導体ナノ粒子あるいは金属ナノ粒子を合成し、ナノ粒子集合体へ複合化させることを検討した。設計図に基づいてナノ粒子集合体を段階的に組み上げていくボトムアップ手法を開発し、ナノ粒子複合体の精密な制御に成功した。さらに、CdS/CdTe あるいは CuInS<sub>2</sub>/CdS などの異方性相分離構造を有するナノ粒子を合成し、それらの光誘起キャリアダイナミクスの解明によって、ナノ界面で起こっている現象を明らかにした。

さきがけ研究終了後は、JST の創発的研究支援事業および科研費(基盤研究(A))の助成金を獲得し、さきがけ研究での研究成果を基に赤外光を化学エネルギーに変換する技術の開発を進めた。地表に到達する太陽光の46%は赤外光であり、今後のエネルギー資源として大きな可能性を秘めているが、有するエネルギーが紫外光や可視光と比較して低いため、これまでエネルギーとして活用することは困難とされていた。

坂本は、ナノ粒子の示す特殊な光学特性の一つである局在表面プラズモン共鳴(LSPR:Localized Surface Plasmon Resonance)が可視光から赤外光までの幅広い領域に強い吸収を示すことに着目し、LSPR 材料と半導体とを接合したプラズモニック p-n 接合界面を新たに開発することで、赤外光を化学エネルギーに変換することに成功した。赤外域に LSPR を示す Cu<sub>7</sub>S<sub>4</sub> ナノ粒子と CdS ナノ粒子とを連結させたヘテロ構造ナノ粒子を合成し、これに Pt を担持させた化合物を光触媒に用いた結果、外部量子収率 3.8% という波長 1100nm における世界最高の効率で赤外光から水素を生成させることができた。このシステムでは従来のプラズモン誘起電荷分離を利用した光触媒と比べ、電荷分離の寿命が長いことが判明し、優れた触媒活性の原因となっていることが示唆された。この研究は、同じさきがけ研究領域の研究者である豊田工業大学の山方らとの共同研究であり、さきがけ研究終了後も研究領域内での共同研究は維持されている。

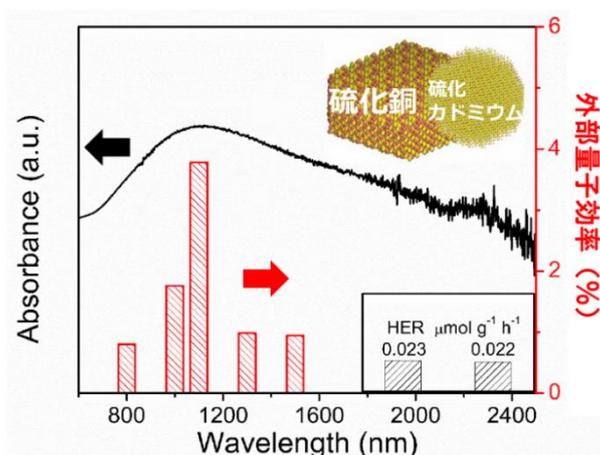


図 2-5 Cu<sub>7</sub>S<sub>4</sub>/CdS 光触媒を用いた赤外光からの水素生成反応

上記の研究成果によって、赤外光のエネルギー利用に関する研究は国際的に注目を浴びるようになり、新しい研究領域が生まれるとともに、世界の多くの研究者が参画し始めている。坂本らの研究は、世界のトップランナーとなってこの研究領域をリードしている。

さきがけ研究期間中、佐藤は研究課題「金属錯体の配位および配位子の機能を利用したCO<sub>2</sub>還元触媒の創製」において、光エネルギーを化学エネルギーに変換する半導体-金属錯体ハイブリッド触媒の開発を進めるために、新たな金属錯体触媒の創製に注力した。金属錯体の配位子を適切に設計することで、CO<sub>2</sub>還元反応での過電圧を下げられることに着目し、効率よくCO<sub>2</sub>を還元することを目指した。種々の中心金属に設計した配位子を配位させて検討した結果、CO<sub>2</sub>還元反応の触媒として機能するIr錯体を世界で初めて調製することに成功した。さきがけ研究期間中の時点で世界最高を誇っていた単核Re錯体光触媒のターンオーバーナンバーをこの触媒が二倍近く上回り、20%以上の量子収率で動作できることを明らかとした。また、このIr錯体触媒は、電気エネルギーを用いてCO<sub>2</sub>を変換する電気化学触媒として機能することも見出した。

さらに実用化を目指す上で中心金属にFe、Mn、Ni等の非貴金属を選択し、さきがけ研究で得られた配位子設計の知見を活用して研究開発を進めた結果、電子吸引性のカルボン酸エステル基を導入したジアミン配位子を用いることで、Mn錯体触媒が水中でCO<sub>2</sub>をCOへと電気化学的に還元する触媒となることを見出した。

さきがけ研究終了後は、所属する同じ研究所の森川健志が研究代表者を務めるACT-Cプログラム(研究課題：太陽光と水で二酸化炭素を資源化する光触媒反応系の開発)に参画するとともに、環境省の二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業(研究課題：人工光合成技術を活用した二酸化炭素の資源化モデル事業)の助成金も獲得し、上記の触媒の社会実装に重点を置いて、さきがけ研究領域での研究成果を展開させた。いずれのプロジェクトでもさきがけ研究で開発したMn錯体触媒を用いており、環境省の事業の研究成果として、太陽光変換効率が10%を超えてCO<sub>2</sub>をCOへと還元することに成功し

た。今後は、金属錯体の配位子を詳細に設計してさらなる触媒性能の向上を図り、CO<sub>2</sub>還元システムの実用化を目指す。

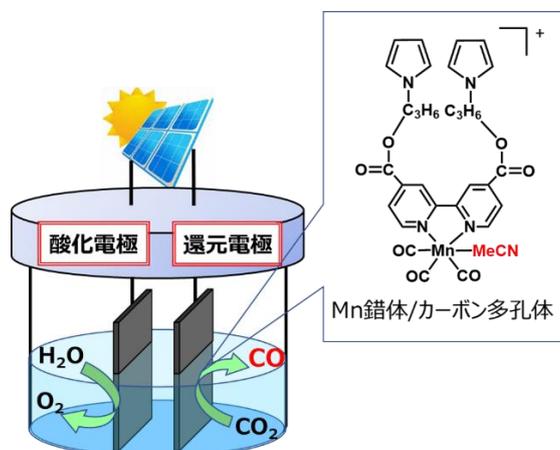


図 2-6 Mn 錯体触媒を用いた水中における CO<sub>2</sub> の CO への電気化学的還元反応

さきがけ研究期間中、前田は研究課題「表面バンドエンジニアリングによる高性能水分解光触媒の創生」において、当時あまり着目されることがなかった光触媒粒子表面を独立した構成要素として捉えた研究を推進し、固体表面の格子欠陥を能動的に制御することによって水分解光触媒の性能を向上させることを目指した。その結果、ZrO<sub>2</sub>/TaON 光触媒系で格子欠陥と触媒活性との間に相関があることを突き止めた。これを使用可能な可視光領域の広い BaTaO<sub>2</sub>N および BaZrO<sub>3</sub>-BaTaO<sub>2</sub>N 光触媒系に適用し、バンドギャップ 2.0eV 未満の半導体としては世界で初めて、水の酸化還元を広域可視光の照射下で実証した。さらに、酸化物触媒であるルチル型 TiO<sub>2</sub> を光触媒とし、光音響分光法を用いて格子欠陥量を測定して、格子欠陥と触媒活性との間の相関関係を定量的に示すことに成功した。

さきがけ研究終了後は、科研費(新学術領域研究、基盤研究(B))を獲得し、酸化物ナノシートを用いた色素増感型水分解光触媒の開発を推進した。一般的に光触媒では、三次元構造の固体よりも二次元構造のナノシートの方が格子欠陥を生じにくく、かつ比表面積が広い。ここに着目し、HCa<sub>2</sub>Nb<sub>3</sub>O<sub>10</sub> のナノシートに Pt を担持させ、Ru(II) 錯体を光増感剤として添加した光触媒系を完成させた。現在本テーマは、企業から共同研究の打診を受ける段階に進展している。

さらに、プロトン交換能を有する K<sub>2</sub>LaTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub>N の層状光触媒を開発した。これまで層状の酸窒化物は単一化相での合成が困難な上、合成できても化学的に不安定と考えられてきた。その一方でこの光触媒は例外的に安定性が高く、Ir で修飾すると水分解光触媒としての活性が、Pt/ZrO<sub>2</sub>/TaON 光触媒系の活性の 6 倍に達した。

一方、科研費(若手研究(A))も獲得し、水分解光触媒のみならず CO<sub>2</sub> からギ酸を合成するための錯体/半導体融合光触媒の開発も並行して進めている。具体的には、窒化炭素ナノシートと Ru 二核錯体を組み合わせた半導体/錯体融合光触媒等を用い、常温常圧の条件下での CO<sub>2</sub> 変換反応を高い効率で進行させることに成功した。

BaZrO<sub>3</sub>-BaTaO<sub>2</sub>N光触媒を用いて、バンドギャップ2 eV未満の半導体としてはじめて水の酸化還元を実証

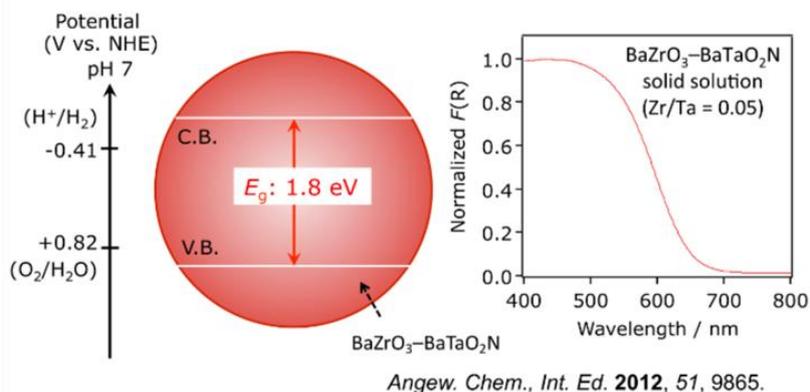


図 2-7 バンドギャップ 2eV 未満の半導体を用いた水の酸化還元反応

さきがけ研究期間中、八木は研究課題「水素生成型太陽電池を目指した光酸化ナノ複合触媒の開発」において、光合成のように太陽光エネルギーを利用して水から高エネルギー有用物質を生成する水素生成型太陽電池の創製を目指した。目標達成には水の光酸化系の構築が必須であるので、この酸化反応の触媒となる Ru 錯体の開発を進めた。その結果、新規の二核 Ru 錯体を合成し、その活性が従来の対応する単核 Ru 錯体よりも 4.7 倍高いことを見出した。さらに、水の光酸化アノードとなる材料の開発も手掛けた。ポリクロムオキソ化合物電着酸化チタン電極を作製し、理論電位よりも 0.8V 低い電位で可視光照射により水から酸素を発生させることに成功した。

さきがけ研究終了後は、本研究領域の研究総括であった井上が研究代表者を務める科研費(新学術領域研究(研究領域提案型))の研究課題「水の酸化光触媒機能を有する人工光合成システム」に参画し、人工光合成の構築を目指して金属酸化物による酸素発生アノードの開発を行った。また、自身が研究代表者となって科研費(基盤研究(B))の研究課題「人工光合成を指向した酸素/過酸化水素生成の pH 制御光アノードの創製」にも取り組み、近接した H<sub>2</sub>O 配位子と OH-配位子を有する二核 Ru アコ錯体の酸化還元特性を研究した。本錯体をアルカリ条件下で 2 電子酸化すると、H<sub>2</sub>O 配位子と OH-配位子間で O-O 結合が形成され、過酸化水素が生成することを見出した。従来、高原子価(IV価あるいはV価)の Ru 錯体でのみ O-O 結合が形成可能とされてきたが、さらに研究を進め、低原子価の二核 Ru<sup>III</sup> 錯体でも O-O 結合が形成されることを世界で初めて実証した。この結果は、Ru 錯体の高原子価を経由することなく水を酸化できる可能性を示し、人工光合成の達成に向けて、より低過電圧で水の酸化が可能な画期的な Ru 錯体触媒の開発に繋がると期待できる。

この他にも正岡は、多核金属錯体を利用した酸素発生触媒を開発し、酸化還元活性な金属元素間に強い電子的相互作用を持ち、かつ隣接する基質活性化サイトを有する多核金属錯体が、高い活性を有する酸素発生触媒として機能することを見出した。また、その電子

移動挙動と触媒機能の相関について考察した。さらに、金属錯体を利用した二酸化炭素還元触媒の開発にも着手し、光増感能を付与することにより単一分子で光化学的に二酸化炭素を還元できる触媒を創出することに成功した。また、二酸化炭素捕捉能を付与することにより水中での触媒機能を高効率化することにも成功した。

### 2.3.3 研究成果の社会・経済への貢献

本研究領域の研究終了後、研究成果は科学技術の進歩への貢献のみならず、ベンチャー企業の設立、企業への技術移転などの社会実装にも展開されており、社会的・経済的にも貢献している。以下にいくつかの例を示す。

坂本は、上記 2.3.2 で述べた研究成果を基にベンチャー企業を設立した(2.2.7 項参照)。事業分野は「熱線遮蔽ナノ粒子」と「透明太陽電池」の二つで、前者は P 型半導体ナノ粒子と N 型半導体ナノ粒子を溶剤に分散させることで、インク、コーティング材、フィルムなどの様々な形態で使用可能となる。形成した材料は赤外線を吸収することで熱線を遮蔽し、冷房コストの低減や各種材料の発熱対策等に使用される。吸収波長領域は制御可能で、近赤外線から遠赤外線の広い領域(780nm~10,000nm)に対応できる。この材料の分野で予想される市場規模は 2023 年には 3,725 億円と見込まれていて、同社は 2025 年の量産化を目指している。

一方、「透明太陽電池」は、開発した半導体ナノ粒子が吸収した赤外線のエネルギーを電気エネルギーに変換することで発電する電池で、成膜した場合に透明となるので、ガラスにコーティングして窓の材料として使うことができる。したがって、これをビル等の窓ガラスに展開すると、太陽光エネルギーの 46%を占める赤外線を利用した自家発電に留まらず、これまで赤外線が引き起こしてきたビル街のヒートアイランド現象の防止に繋がる。すでに、報道等で一般社会の注目を集めていて、予想される市場規模は 2027 年で 5.9 兆円と言われており、太陽電池の効率がたとえ 1%としても日本で年間 3,000 万 t の CO<sub>2</sub> 削減効果があると期待されている。同社は 2028 年の量産化を計画しており、そのコンセプトは、「未使用太陽エネルギーの資源化を通じ、人類社会におけるエネルギー革新を目指す。」で、「ビル群を森林に変換する。」と謳っている。

さきがけ研究終了後、八木は触媒の研究とともに酸素発生アノード材料の開発を進めた。将来の実用化も念頭に置いて卑金属化合物を中心に探索した結果、Ni 硫化物/窒化炭素複合電極を簡便な方法で合成し、32 mV という世界最小の過電圧で水から酸素を発生させることに成功した。過電圧は電極表面での反応の著しいエネルギーロスを引き起こし、高効率な電極開発のためには避けて通れない課題となっているが、従来の電極では 200~300 mV に達していた過電圧を一桁下げることが可能になり、低コストで水から水素を製造できると期待される(図 2-8)。すでに企業との共同研究を準備中で、将来のマーケティングまで見通している。

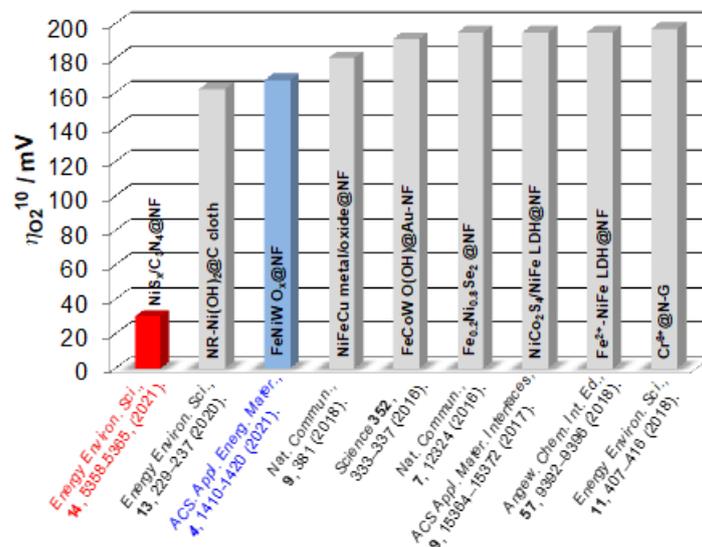


図 2-8 最新の酸素発生アノードの酸素発生過電圧  $\eta_{O_2}^{10}$  値の比較  
(赤棒は八木らの NiS<sub>x</sub> / C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 複合アノードの値を示す。)

伊原はさきがけ研究期間中、エネルギーキャリア物質としてのギ酸に注目し、太陽光を用い、蛋白質工学的アプローチにより最適化した藻類生物系システムでギ酸を生産することを目指した。その結果、NADPH 型 FDH による細胞内外光ギ酸生産と、Mo-FDH と PSI との複合体による細胞外光ギ酸生産の実証に成功した。

研究終了後は、生産されたギ酸を生分解性プラスチックなどに変換するために、ギ酸を資化するバクテリアの利用についても研究するとともに、藻類応用の最も重要なボトルネックとなる藻類の野外大量培養にも挑んでいる。民間企業との共同研究 2 件、技術提携 1 件によって開発が進められており、これらの案件の中には実用化に向けた実証実験もスタートしている。さきがけ研究領域での研究成果を着実に社会実装へ繋げている。

本研究領域の研究期間中、参加した各研究者は研究総括より「まず、基礎・基本に基づいて原理・原則を明確にする研究を推進するように」という指導を受けた。この方針は科学的・技術的な研究成果を創出したことに留まらず、得られた研究成果を社会実装させる上でも実用化を促進する基盤となった。その結果、研究終了後 5 年という短い期間で多くの社会・経済への貢献に繋がる案件が誕生した。

#### 2.3.4 その他の特記すべき事項

今回調査した 37 名のうち、採択時に研究員・助教・講師だった研究者が今回の調査時点で教授になった者が 5 名、准教授に昇格した者が 12 名、准教授から教授になった者が 8 名いた。また公的研究機関において 3 名の研究者が昇格した。キャリアアップの面からも実績が挙げられている。

以上