

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
「太陽光と光電変換機能」
(2009年度～2016年度)

研究総括: 早瀬 修二

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	9
2.1 追跡調査について.....	9
2.1.1 調査の目的.....	9
2.1.2 調査の対象.....	9
2.1.3 調査方法	11
2.2 追跡調査概要.....	11
2.2.1 研究助成金.....	12
2.2.2 論文	20
2.2.3 特許	24
2.2.4 受賞	26
2.2.5 共同研究や企業との連携.....	28
2.2.6 実用化・製品化.....	28
2.2.7 ベンチャー.....	28
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.....	29
2.3.1 研究領域の展開状況(まとめ図).....	29
2.3.2 研究成果の科学技術の進歩への貢献.....	32
2.3.3 研究成果の社会・経済への貢献.....	37
2.3.4 その他の特記すべき事項.....	38

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「太陽光と光電変換機能」(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。

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

戦略目標名：「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」

2008年5月に総合科学技術会議が取りまとめた「革新的技術戦略」において、「高効率な太陽光発電技術」の開発は国を挙げて取り組むべき課題に選定された。また、「環境エネルギー技術革新計画」（2008年5月 総合科学技術会議）においても、『新しい技術の芽を実用化するには、多くの技術的課題を乗り越える必要がある。これらの課題のブレークスルーを実現するため、新しい触媒や材料などを開発する基礎・基盤的な技術の研究を推進する。』と言及されており、既存の太陽電池が抱える課題を解決するための基礎研究が極めて重要と認識している。しかし、量産段階に入ったシリコン系太陽電池のさらなる効率向上及び生産合理化が企業を中心に行われているものの、次世代の社会を支える発電システムを構築するにはまだ多くの課題が残されている。また、政府の「低炭素社会づくり行動計画」（2008年7月閣議決定）において、①太陽光発電の導入量を2020年に10倍（1,400万kW）、2030年に40倍（5,300万kW）にすること、②3～5年後に太陽光発電システムの価格を現在の半額程度にすること等を目標とするとともに、「安心実現のための緊急総合対策」（2008年8月 政府・与党とりまとめ）においても、低炭素社会の実現に向けた新エネ技術の抜本的導入のための具体的施策として、家庭・企業・公共施設等への太陽光発電の導入拡大が位置付けられている。さらに、2008年11月に国土交通省、経済産業省、文部科学省、環境省の連携による「太陽光発電の導入拡大のためのアクションプラン」が公表され、関係省庁との連携を強化し、本アクションプランの取組の更なる深化・具体化が図られることとなった。

本戦略目標では、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。

1.2 研究領域の目的

「太陽光と光電変換機能」(2009年度発足)

本研究領域では、次世代太陽電池の提案につながる研究を対象とする。化学、物理、電子工学等の幅広い分野の研究者の参画により異分野融合を促進し、未来の太陽電池の実用化につながる新たな基盤技術の構築を目指す。

具体的には、色素増感系、有機薄膜系、量子ドット系高性能太陽電池の研究や、従来とは異なるアプローチによるシリコン系、化合物系太陽電池の研究を対象とする。同時に、まったく新しい原理に基づいた太陽電池の創出につながる界面制御技術、薄膜・結晶成長、新材料開拓、新プロセス、新デバイス構造などの要素研究も対象とする。次世代太陽電池の創出という視点を重視し、理論研究から実用化に向けたプロセス研究にわたる広域な研究を対象とする。

本研究領域では、次世代太陽電池の創出という大目的のために必要な要素研究を重視する。高効率化、長寿命化、最適材料の探索など現在の太陽電池が直面している諸課題を、既存の研究分野・研究テーマの延長ではなく、原理に立ち返った独創的アプローチで解決するような目的基礎研究型、課題解決型の研究を推進する。この目的を達成するために、物理、化学、電子工学、光学、その他の多くの学問分野の研究者を結集し、異分野研究者の参入を積極的に図ることで、材料研究とデバイス物理研究の融合、太陽電池研究と有機発光デバイス研究の融合、無機太陽電池研究と有機太陽電池研究の融合等によるインタラクティブイノベーションを目指す。

1.3 研究総括

早瀬修二 (九州工業大学大学院生命体工学研究科 研究科長/教授)

1.4 領域アドバイザー

本研究領域では、次の14名の領域アドバイザーの参加を得た。人選に当たっては、太陽電池研究分野、ならびにその周辺技術分野をもれなくカバーできる斯界の権威のある専門家を、学界ならびに産業界より招き、本研究領域の領域アドバイザーとして選任した。

表 1-1 領域アドバイザー

領域アドバイザー 一名	所属	現役職	任期
阿澄玲子	産業技術総合研究所電子光技術研究 部門	グループ長	2009年6月～2017 年3月
安達千波矢	九州大学未来化学創造センター	教授	2009年6月～2017 年3月

岡田至崇	東京大学先端科学技術研究センター	教授	2009年6月～2017年3月
櫛屋勝巳	昭和シェル石油(株)エネルギーソリューション事業本部	担当副部長	2009年6月～2017年3月
小長井誠	東京工業大学大学院理工学研究科	教授	2009年6月～2017年3月
近藤道雄	産業技術総合研究所イノベーション推進本部	上席イノベーションコーディネータ	2009年6月～2017年3月
清水正文	エネルギー・環境研究所	代表	2009年6月～2017年3月
瀬川浩司	東京大学先端科学技術研究センター	教授	2009年6月～2017年3月
中嶋一雄	FUTURE-PV Innovation 郡山センター	チームリーダー	2009年6月～2017年3月
錦谷禎範	JX日鉱日石エネルギー(株)研究開発本部中央技術研究所	エグゼクティブリサーチチャー	2009年6月～2017年3月
韓礼元	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門	ユニット長	2010年5月～2017年3月
平本昌宏	自然科学研究機構分子科学研究所分子スケールナノサイエンスセンター	教授	2009年6月～2017年3月
藤平正道	東京工業大学	名誉教授	2012年1月～2017年3月
吉川暹	京都大学エネルギー理工学研究所	特任教授	2009年6月～2017年3月

1) 研究領域終了時の所属・役職

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36件の研究課題が採択された。表1-2に各期の研究者、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(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～)	層間励起移動を用いた光捕集系を有する広帯域有機薄膜太陽電池	市川結	信州大学繊維学部准教授	信州大学大学院総合工学系研究科 准教授	信州大学学術研究院繊維学系 教授

期 (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
2013年 3月)	高分子太陽電池の新 発電原理の分子論的 探求	大北英生※ 2, 3	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	京都大学大学院工 学研究科 教授
	瞬間結晶化によるガ ラス基板上への超高 性能多結晶 Si 薄膜形 成	大平圭介	北陸先端科学技術 大学院大学マテリ アルサイエンス研 究科 助教	北陸先端科学技術 大学院大学先端科 学技術研究科マテ リアルサイエンス 系 環境・エネルギ ー領域 准教授	北陸先端科学技術 大学院大学先端科 学技術研究科 教 授
	プラズモニクスを利用 した高効率・超薄 膜太陽電池	岡本晃一	科学技術振興機構 さきがけ研究者	九州大学先端物質 化学研究所 准教授	大阪府立大学大学 院工学研究科 教授
	マイクロ波法による ドナー・アクセプター 系薄膜中の光誘起 電荷ナノダイナミクス	佐伯昭紀	大阪大学大学院工 学研究科 助教	大阪大学大学院工 学研究科 准教授	大阪大学大学院工 学研究科 教授
	半導体量子ドットの 多重励起子生成と太 陽電池への応用	沈 青	電気通信大学量 子・物質工学科 助 教	電気通信大学大学 院情報理工学研究 科 教授	電気通信大学大学 院情報理工学研究 科 教授
	交互分子積層により 結晶性を制御した高 性能太陽電池の研究 開発	當摩哲也※ 2	産業技術総合研究 所 太陽光発電研究 センター 研究員	金沢大学理工研究 域サステナブルエ ネルギー研究セン ター テニユアトラ ック 准教授	金沢大学 ナノマテ リアル研究所 教授
	量子界面制御による 半導体量子ドット増 感太陽電池の開発	橘泰宏	大阪大学大学院工 学研究科 講師	ロイヤルメルボル ン工科大学工学研 究科 准教授	ロイヤルメルボル ン工科大学 Professor/大阪大 学 理学研究科 招 へい教授
	量子切断・波長変換に よる太陽光発電高効 率化	田部勢津久 ※2	京都大学大学院人 間・環境学研究科 教授	京都大学大学院人 間・環境学研究科 教授	京都大学大学院人 間・環境学研究科 教授
	ホットキャリア太陽 電池へ向けたキャリ ア間相互作用制御の 探索	太野垣健	京都大学化学研究 所 助教	産業技術総合研究 所 太陽光発電研究 センター 主任研究 員	産業技術総合研究 所 エネルギー・環 境領域 主任研究員
	シート状高分子を用 いた光エネルギー変 換材料の創製	江東林	自然科学研究機構 分子科学研究所 准 教授	北陸先端科学技術 大学院大学先端科 学技術研究科 教 授	National University of Singapore Professor
	カルコパイライト型 リン化物を用いた新 規太陽電池の創製	野瀬嘉太郎	京都大学大学院工 学研究科 助教	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
	有機薄膜太陽電池の 劣化機構のミクロ解 明と耐久性向上	丸本一弘	筑波大学数理物質 系 准教授	筑波大学数理物質 系 准教授	筑波大学 数理物質 系 准教授
	超低速電子線源を用 いた有機半導体の伝 導帯の直接観測法の 開発	吉田弘幸	京都大学化学研究 所 助教	千葉大学大学院融 合科学研究科 教授	千葉大学大学院工 学研究院 教授
第2期 (2010 年10	有機薄膜系太陽電池 に応用可能な n 型半 導体材料の開発	家裕隆	大阪大学産業科学 研究所 准教授	大阪大学産業科学 研究所 准教授	大阪大学産業科学 研究所 教授

期 (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
月～ 2014年 3月)	高効率化に向けた有機薄膜太陽電池用の長波長光吸収層材料の開発	梅山有和	京都大学大学院工学研究科 助教	京都大学大学院工学研究科 准教授	兵庫県立大学大学院工学研究科 教授
	高効率有機薄膜太陽電池を目指した新規半導体ポリマーの開発	尾坂格	広島大学大学院工学研究院 助教	広島大学大学院工学研究院 教授	広島大学大学院先進理工系科学研究科 教授
	電子スピンコヒーレンスによる有機太陽電池基板の電子伝達機能の解明	小堀康博	静岡大学理学部 准教授	神戸大学大学院理学研究科 教授	神戸大学 分子フォトサイエンス研究センター 教授
	高不整合材料による中間バンド太陽電池の創製	田中徹	佐賀大学大学院工学系研究科 准教授	佐賀大学大学院工学系研究科 教授	佐賀大学大学院工学系研究科 教授
	相互侵入型相分離ポリマーの合成と3Dナノ構造有機薄膜太陽電池への応用	東原知哉	東京工業大学大学院理工学研究科 助教	山形大学大学院有機材料システム研究科有機材料システム専攻 准教授	山形大学大学院有機材料システム研究科 教授
	Si 多結晶インゴットの組織制御技術の開発 (H23年度中断※1)	藤原航三	東北大学金属材料研究所 准教授	東北大学金属材料研究所 准教授	東北大学金属材料研究所 教授
	次世代有機薄膜太陽電池創出のための近赤外色素の開発	村中厚哉	理化学研究所 内山元素化学研究室 専任研究員	理化学研究所 内山元素化学研究室 専任研究員	理化学研究所 環境資源科学研究センター 専任研究員
	色素増感太陽電池のレドックス種の拡散挙動解明と高効率化への提案	柳田真利※2	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 太陽光発電材料ユニット 主幹研究員	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 太陽光発電材料ユニット 主幹研究員	物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点 主幹研究員
	DFT 計算を駆使したπ軌道の精密制御に基づく有機色素材料の開発	若宮淳志※2	京都大学化学研究所 准教授	京都大学化学研究所 准教授	京都大学化学研究所 教授
第3期 (2011年10月～ 2015年3月)	光捕集アンテナ構造を組み込んだ光合成型光電変換デバイスの創製	浅岡定幸	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 准教授	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 准教授	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 准教授
	レアメタルフリー新型化合物系薄膜太陽電池の開発	荒木秀明※3	国立高等専門学校機構 長岡工業高等専門学校 物質工学科 准教授	国立高等専門学校機構 長岡工業高等専門学校 物質工学科 准教授	国立高等専門学校機構 長岡工業高等専門学校 物質工学科 教授
	新規酸窒化物を用いたピエゾ電界誘起量子井戸型太陽電池の創成	板垣奈穂	九州大学大学院システム情報科学研究院 准教授	九州大学大学院システム情報科学研究院 准教授	九州大学大学院システム情報科学研究院 教授
	波長可変な顕微過渡吸収分光を用いた光電変換系における電荷捕捉サイトおよび光退色過程の解明	片山哲郎	大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センター 特任助教	関西学院大学大学院理工学部化学科 助教	徳島大学大学院社会産業理工学研究部(理工学域) 助教

期 (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
	機能性結晶粒界による超高品質シリコン結晶の実現	杵掛健太郎	東北大学金属材料研究所 助教	東北大学金属材料研究所 助教	理化学研究所革新知能統合研究センター 研究員
	ギャッププラズモンによる光学的に厚く物理的に薄い高効率太陽電池の創製	久保若奈	理化学研究所基幹研究所 特別研究員	東京農工大学工学府先端電気電子部門 特任准教授	東京農工大学大学院工学研究院 准教授
	量子ナノ構造を利用した新型高効率シリコン系太陽電池の開発	黒川康良※ 2	東京工業大学大学院理工学研究科 助教	名古屋大学大学院工学研究科 講師	名古屋大学大学院工学研究科 准教授
	放射光を利用した有機薄膜太陽電池のエネルギー損失解析	櫻井岳暁	筑波大学数理物質系 講師	筑波大学数理物質系 准教授	筑波大学数理物質系 教授
	光電変換過程の高効率化を目指した有機界面の精密制御	但馬敬介※ 2	東京大学大学院工学系研究科 講師	理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー	理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー
	酸化チタンとジシアノメチレン化合物の界面錯体を用いた新型有機系太陽電池の開発	藤沢潤一	東京大学教養学部附属教養教育高度化機構 特任准教授	群馬大学大学院理工学府分子科学部門 准教授	群馬大学大学院理工学府 准教授
	ヘテロエピタキシーを基盤とした高効率単結晶有機太陽電池	宮寺哲彦※ 3	産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター 研究員	産業技術総合研究所太陽光発電研究センター 研究員	産業技術総合研究所エネルギー・環境領域 主任研究員
	赤外線集中加熱による太陽電池用単結晶シリコンの作製	綿打敏司	山梨大学大医学工学総合研究部 准教授	山梨大学大学院総合研究部 准教授	山梨大学大学院総合研究部 教授

※1 2010年度採択の藤原は、内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択されたため、2011年3月末にさきかけ研究を中止しているため、本調査より除外する。

※2 2009年度採択の大北、當摩、田部、2010年度採択の柳田、若宮、2011年度採択の黒川、但馬は5年型

※3 2009年度採択の大北、2011年度採択の荒木、宮寺は、実現の可能性の観点からは明確な見通しが得難いが、成功した場合には飛躍的、画期的な成果が期待できる、「大挑戦型研究課題」として採択した。

表 1-3 に採択課題の年度ごとのテーマ分布を示す。

表 1-3 採択課題のテーマ分布

採択課題のテーマ	課題数	2009年度採択	2010年度採択	2011年度採択
有機太陽電池 (新材料合成)	5		家、梅山、東原、村中、若宮	
有機太陽電池 (新デバイス開発)	6	江	尾坂、柳田	浅岡、藤沢、宮寺
有機太陽電池 (界面制御技術の開発)	5	市川、大北、當摩、丸本		但馬

無機太陽電池 (シリコン系)	4	大平、	藤原	沓掛、綿打
無機太陽電池 (化合物)	4	野瀬	田中	荒木、板垣
量子ドット太陽電池	3	沈、橘、太野垣		
新技術に基づく太陽電池	4	岡本、田部		久保、黒川
新計測技術	5	佐伯、吉田	小堀	片山、櫻井

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、国立研究開発法人科学技術振興機構(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「太陽光と光電変換機能」(2009年度～2016年度)を対象とする。表 2-1 に調査対象と調査対象期間を示す。

表 2-1 調査対象と調査対象期間

採択年	研究者	さきがけ研究期間	さきがけ終了後の調査対象期間
第 1 期 (2009 年)	市川結	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	大北英生	2009 年 10 月～2015 年 3 月	2015 年 4 月～調査終了月
	大平圭介	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	岡本晃一	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	佐伯昭紀	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	沈 青	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	當摩哲也	2009 年 10 月～2015 年 3 月	2015 年 4 月～調査終了月
	橘泰宏	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	田部勢津久	2009 年 10 月～2015 年 3 月	2015 年 4 月～調査終了月
	太野垣健	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	江東林	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	野瀬嘉太郎	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
	丸本一弘	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月
吉田弘幸	2009 年 10 月～2013 年 3 月	2013 年 4 月～調査終了月	
第 2 期 (2010 年)	家裕隆	2010 年 10 月～2014 年 3 月	2014 年 4 月～調査終了月
	梅山有和	2010 年 10 月～2014 年 3 月	2014 年 4 月～調査終了月
	尾坂格	2010 年 10 月～2014 年 3 月	2014 年 4 月～調査終了月
	小堀康博	2010 年 10 月～2014 年 3 月	2014 年 4 月～調査終了月
	田中徹	2010 年 10 月～2014 年 3 月	2014 年 4 月～調査終了月

	東原知哉	2010年10月～2014年3月	2014年4月～調査終了月
	藤原航三	2010年10月～2011年3月	調査せず
	村中厚哉	2010年10月～2014年3月	2014年4月～調査終了月
	柳田真利	2010年10月～2016年3月	2016年4月～調査終了月
	若宮淳志	2010年10月～2016年3月	2016年4月～調査終了月
第3期 (2011年)	浅岡定幸	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	荒木秀明	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	板垣奈穂	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	片山哲郎	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	杵掛健太郎	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	久保 若奈	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	黒川康良	2011年10月～2017年3月	2017年4月～調査終了月
	櫻井岳暁	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	但馬敬介	2011年10月～2017年3月	2017年4月～調査終了月
	藤沢潤一	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	宮寺哲彦	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月
	綿打敏司	2011年10月～2015年3月	2015年4月～調査終了月

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。

(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た。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。著者名から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、著者の所属がさきがけであるもの、助成金情報に JST またはさきがけの記載があるもの、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と、さきがけの発展として研究者からのアンケート回答に記載された論文を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。

(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 2-1 の研究者が発明者となっている特許で、出願日が研究課題開始以降調査時点までの特許を収集した。特許の場合、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 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

研究終了後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、各研究者へアンケートを実施し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

本研究領域の研究者が研究代表者として獲得した研究助成金の状況を表 2-2 に示す。
研究費総額 1 千万円/件以上のものについて、出資元(JST、科研費、NEDO 等)ごとに色分けして示した。

表 2-2 研究助成金獲得状況

科研費 ■ JST ■ 内閣府 ■ 文科省 ■ NEDO ■ その他 ■

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1 千万 円)
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
市川結	2009 ～ 2012	JST (さきがけ)	層間励起移動を用いた光捕集系を有する広帯域有機薄膜太陽電池	■	■	■															4.1
大北英生	2009 ～ 2014	JST (さきがけ)	高分子太陽電池の新発電原理の分子論的探求	■	■	■	■	■													11.4
	2014 ～ 2018	科研費 (基盤研究(A))	共役高分子結晶相における励起子ダイナミクス						■	■	■	■									3.2
	2021 ～ 2025	科研費 (基盤研究(A))	π 共役分子系における対称性の破れによるオフセットレス電荷生成													■	■	■	■		3.3
大平圭介	2009 ～ 2012	JST (さきがけ)	瞬間結晶化によるガラス基板上への超高性能多結晶 Si 薄膜形成	■	■	■															3.9
	2015 ～ 2017	科研費 (基盤研究(B))	爆発的結晶化による多結晶シリコン形成とその太陽電池応用							■	■										1.6
岡本晃一	2009 ～ 2012	JST (さきがけ)	プラズモニクスを利用した高効率・超薄膜太陽電池	■	■	■															4.5
佐伯昭紀	2009 ～ 2012	JST (さきがけ)	マイクロ波法によるドナー・アクセプター系薄膜中の光誘起電荷ナノダイナミクス	■	■	■															4.1
	2015 ～ 2018	JST (さきがけ)	超高速スクリーニング法を駆使したエネルギー変換材料の探索							■	■	■									3.7
	2016 ～ 2019	科研費 (基盤研究(A))	非鉛ペロブスカイト太陽電池の探究と基礎物性の包括的解明								■	■	■								3.2

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2020 ～ 2024	科研費 (学術変 革領域 (A))	マイクロ波過渡分 光法による動的エ キシトンのナノ空 間評価																			6.2
沈 青	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	半導体量子ドット の多重励起子生成 と太陽電池への応 用																			4.6
	2014 ～ 2016	科研費 (基盤研 究(B))	ナノヘテロ接合型 量子ドット太陽電 池の創成と多重励 起子の電荷分離機 構の解明																			1.2
	2017 ～ 2019	科研費 (基盤研 究(B))	ヘテロ接合型量子 ドット太陽電池の ナノ界面制御と多 重励起子の電荷分 離に及ぼす効果																			1.4
	2020 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(B))	ヘテロ接合型量子 ドット太陽電池の ナノ界面の構築と 多重励起子の電荷 分離効率の向上																			1.5
	2009 ～ 2014	JST (さきが け)	交互分子積層によ り結晶性を制御し た高性能太陽電池 の研究開発																			
當 摩 哲 也	2015 ～ 2016	NEDO (戦略的 省エネ ルギー 技術革 新プロ グラム)	ナノロッドテンプレ ートのロール張り 合わせによる有機 デバイス創出																			1.0
	2020 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(B))	大気下駆動可能な 極長寿命ペロブス カイト太陽電池の 実現とそのメカニ ズム解明																			1.3
橘 泰 宏	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	量子界面制御によ る半導体量子ドッ ト増感太陽電池の 開発																			4.9
	2019 ～ 2021	科研費 (基盤研 究(B))	ペロブスカイト半 導体膜の光生成キ ャリアの伝導・移 動反応メカニズム の定量的解明																			1.3
田 部 勢	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	量子切断・波長変 換による太陽光発 電高効率化																			7.1

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)		
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
津久				9	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
太野垣健	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	ホットキャリア太 陽電池へ向けたキ ャリア間相互作用 制御の探索																					3.5
江東林	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	シート状高分子を 用いた光エネルギ ー変換材料の創製																					4.0
	2017 ～ 2020 (201 8に 辞 退)	科研費 (基盤研 究(A))	有機多孔材料によ る特異ナノ空間の 構築と選択的CO2 分離・回収機能の 開拓																					3.3
	2021 ～ 2024	シンガ ポール 教育省 Tier 2	全共軛有機半導体																					9.1
野瀬嘉太郎	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	カルコパイライト 型リン化物を用い た新規太陽電池の 創製																					5.1
	2014 ～ 2016	科研費 (基盤研 究(B))	新規カルコパイラ イト型リン化物の 探索と太陽電池へ の応用																					1.2
	2017 ～ 2019	金属資 源の生 産技術 に関する基礎 研究 (JOGMEC)	低品位鉱石の有用 資源化に向けた高 リスク素材活用材 料に関する研究																					1.1
	2017 ～ 2019	科研費 (基盤研 究(B))	化学ポテンシャル 図を基にした半導 体成膜プロセスの 構築－SnS 成膜を 例として－																					1.3
	2020 ～ 2021	科研費 (基盤研 究(B))	硫化錫におけるド ーピングと固溶体 形成：低融点金属 を反応場としたカ チオン導入の試み																					1.3
丸本一弘	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	有機薄膜太陽電池 の劣化機構のミク ロ解明と耐久性向 上																					4.1

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	2016 ～ 2021	JST (ALCA)	環境負荷の少ない 高性能ペロブスカ イト系太陽電池の 開発																			2.0	
	2020 ～ 2021	JST (未来社 会創造 事業)	CFRP 複合材劣化の オペランドマイクロ 計測分析法と余寿 命推定モデル																				1.2
吉田 弘幸	2009 ～ 2012	JST (さきが け)	超低速電子線源を 用いた有機半導体 の伝導帯の直接観 測法の開発																			4.7	
	2014 ～ 2019	科研費 (基盤研 究(B))	低エネルギー逆光 電子分光法による 有機半導体の空準 位バンド分散測定																				1.3
	2021 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(B))	有機半導体の伝導 帯バンド構造観測 の実現と電子-フ ォノン相互作用の 研究																				1.7
家裕 隆	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	有機薄膜系太陽電 池に応用可能な n 型半導体材料の開 発																			4.0	
	2020 ～ 2024	科研費 (国際共 同研究 加速基 金)	有機化学とデバイ ス物理の融合によ る有機半導体材料 開発：物理的性質 の相関解明と活用																				1.4
	2020 ～ 2024	科研費 (学術変 革領域 研究 (A))	動的エキシトン利 用を志向した機能 性有機半導体材料 開発と太陽電池応 用																				9.5
	2020 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(B))	革新的な太陽電池 駆動メカニズムを 指向した高誘電率 の非フラレン型 アクセプター開発																				1.3
	2021	NEDO 先 導研究 プログ ラム	農業用途を視野に 入れた波長選択型 有機太陽電池の研 究開発																				2.6
梅山 有和	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	高効率化に向けた 有機薄膜太陽電池 の長波長光吸収層 材料の開発																			4.0	

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
				9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2		
	2016 ～ 2017	科研費 (若手 研究 (A))	ナノカーボンを土 台とした構造-光 物性相関解明と高 効率光電変換特性 の実現																			1.8	
	2020 ～ 2022	科研費 (基盤研 究(B))	光エネルギー変換 系への展開に資す る表面化学修飾に よる光機能化原子 層材料の創出																				1.3
尾 坂 格	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	高効率有機薄膜太 陽電池を目指した 新規半導体ポリマ ーの開発																			5.3	
	2014 ～ 2019	JST (ALCA)	高効率ポリマー系 太陽電池の開発																				15.0
	2016 ～ 2018	科研費 (基盤研 究(B))	高性能電子輸送性 半導体ポリマーの 創製																				1.3
	2020 ～ 2024	JST (未来社 会創造 事業)	革新的有機半導体 の開発と有機太陽 電池効率20%への 挑戦																				12.3
	2021 ～ 2022	NEDO 先 導研究 プログ ラム	高効率シースルー 有機薄膜太陽電池 を用いた革新的発 電窓の研究開発																				4.5
小 堀 康 博	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	電子スピンコヒー レンスによる有機 太陽電池基板の電 子伝達機能の解明																				4.6
	2013 ～ 2015	科研費 (基盤研 究(B))	植物光合成の光化 学系 II における 初期電荷分離状態 の立体構造																				1.9
	2016 ～ 2018	科研費 (基盤研 究(B))	フラビン酵素の光 電荷分離過程に伴 う立体構造変化																				1.7
	2019 ～ 2022	科研費 (基盤研 究(A))	電子スピン分極の 三次元映像化で解 く多重励起子・電 荷分離立体構造の 分子運動効果																				4.5
	2020 ～ 2025	科研費 (学術 変革領 域研究 A)	電子スピン分極の 空間映像化による 光誘起動的エキシ トン相互作用の解 析																				13.0
田 中 徹	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	高不整合材料によ る中間バンド太陽 電池の創製																			4.0	

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)		
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
				9	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	2015 ～ 2018	科研費 (基盤研 究(B))	高品質マルチバン ドギャップ半導体 の光電子物性制御 と中間バンド型太 陽電池への応用																					1.6
	2019 ～ 2022	科研費 (基盤研 究(B))	マルチバンドギャ ップ半導体を用い た中間バンド型太 陽電池における光 電変換機構の解明																					1.7
	2021 ～ 2022	公益財 団法人 JK A・研 究補助	マルチバンドギャ ップ半導体を用い た人工光合成技術 の開発補助事業																					1.0
東原 知哉	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	相互侵入型相分離 ポリマーの合成と 3D ナノ構造有機薄 膜太陽電池への応 用																					4.2
	2016 ～ 2018	科研費 (基盤 研究 (B))	熱可塑性半導体エ ラストマー材料の 創製とストレッチ ャブル電子デバイ スへの応用																					1.7
	2021 ～ 2023	科研費 (若手 研究 (A))	シーケンス制御ブ ロック共重合体群 の創成と伸縮性有 機薄膜トランジス タへの応用																					1.7
村中 厚哉	2010 ～ 2013	JST (さきが け)	次世代有機薄膜太 陽電池創出のため の近赤外色素の開 発																					4.0
	2012 ～ 2015	科研費 (若手研 究(A))	らせん構造をもつ フタロシアン系 化合物の合成と機 能開拓																					2.0
	2020 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(B))	らせん構造をもつ フタロシアン系 化合物の合成と機 能開拓																					1.3
柳田 真利	2010 ～ 2015	JST (さきが け)	色素増感太陽電池 のレドックス種の 拡散挙動解明と高 効率化への提案																					6.3
若宮 淳志	2010 ～ 2015	JST (さきが け)	DFT 計算を駆使し たπ軌道の精密制 御に基づく有機色 素材料の開発																					10.2

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)			
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	
				9	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
	2013 ～ 2021	JST (COI)	フィルム太陽電池 の開発																					34	
	2016 ～ 2021	JST (ALCA)	環境負荷の少ない ペロブスカイト系 太陽電池の開発																						6.7
	2020 ～ 2022	NEDO	高自由度設計フィ ルム型ペロブスカ イト太陽電池の基 盤技術研究開発																						7.2
	2021 ～ 2023	科研費 (基盤研 究(A))	鉛フリー型ペロブ スカイト太陽 池 の 性 化のための 基礎化学研究																						3.2
浅岡定幸	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	光捕集アンテナ構 造を組み込んだ光 合成型光電変換デ バイスの創製																						4.1
	2015 ～ 2017	科研費 (基盤研 究(B))	光合成の動作機構 を応用した光電変 換デバイスの創製																						1.3
荒木秀明	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	レアメタルフリー 新型化合物系薄膜 太陽電池の開発																						4.1
	2016 ～ 2019	科研費 (基盤研 究(B))	バンドエンジニア リングで実現する 世界最高効率 In フリー化合物薄膜 太陽電池の開発																						1.6
	2019 ～ 2022	科研費 (基盤研 究(B))	Na 添加を用いた結 晶成長技術の革新 による高効率 In フリー化合物薄膜 太陽電池の開発																						1.7
板垣奈穂	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	新規酸窒化物を用 いたピエゾ電界誘 起量子井戸型太陽 電池の創製																						4.0
	2015 ～ 2018	科研費 (若手 研究 A)	フラックス制御ス パッタによる高品 質酸窒化物の創製 と新概念光スイッ チへの応用																						2.3
	2018 ～ 2021	科研費 (基盤 研究 B)	スパッタエピタキ シーによる革新的 エキシトンデバイ スの実現と励起子 輸送機構の解明																						1.7
	2021 ～ 2024	科研費 (基盤 研究 B)	励起子トランジス タの創成と励起子 輸送の学理探求：																						1.7

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			情報担体へ進化する励起子																			
片山哲郎	2011 ～ 2014	JST (さきがけ)	波長可変な顕微過渡吸収分光を用いた光電変換系における電荷捕捉サイトおよび光退色過程の解明																			4.0
沓掛健太郎	2011 ～ 2014	JST (さきがけ)	機能性結晶粒界による超高品質シリコン結晶の実現																			4.4
久保若奈	2011 ～ 2014	JST (さきがけ)	ギャッププラズモンによる、光学的に厚く物理的に薄い高効率太陽電池の創製																			4.0
黒川康良	2011 ～ 2014	JST (さきがけ)	量子ナノ構造を利用した新型高効率シリコン系太陽電池の開発																			10.0
櫻井岳暁	2011 ～ 2014	JST (さきがけ)	放射光を利用した有機薄膜太陽電池のエネルギー損失解析																			4.0
	2015 ～ 2019	NEDO	CIS 太陽電池高性能化技術の研究開発（結晶欠陥の検出と同定、欠陥密度低減化技術開発支援）																			9.6
	2019 ～ 2021	科研費 (基盤研究(B))	可視光応答水分解光触媒の欠陥物性評価ならびに少数キャリアフロー制御技術開発																			1.7
	2020 ～ 2022	NEDO	軽量基板上化合物薄膜太陽電池の高効率化技術開発（電氣的光学的欠陥解析による CIS 系太陽電池開発支援）																			1.8
但馬敬介	2011 ～ 2016	JST (さきがけ)	光電変換過程の高効率化を目指した有機界面の精密制御																			9.8
	2020 ～ 2025	科研費 (基盤研究(A))	表面偏析単分子膜を用いた有機半導体薄膜構造の精密制御とその応用																			5.0

研究者	研究期間 (年度)	研究種 目	研究課題	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	金額 (1千万 円)
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
藤沢潤一	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	酸化チタンとジシ アノメチレン化合 物の界面錯体を用 いた新型有機系太 陽電池の開発																			3.8
宮寺 哲彦	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	ヘテロエピタキシ ーを基盤とした高 効率単結晶有機太 陽電池																			4.0
	2016 ～ 2019	科研費 (若手研 究 (A))	有機鉛ペロブスカ イト太陽電池高効 率化のための結晶 成長制御																			1.9
	2020 ～ 2022	科研費 (基盤 (B))	精密結晶成長制御 による鉛フリーペ ロブスカイト太陽 電池の高性能化																			1.3
綿打敏司	2011 ～ 2014	JST (さきが け)	赤外線集中加熱に よる太陽電池用単 結晶シリコンの作 製																			4.0

2021年6月22日調査

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り、数値として評価・比較が容易な論文発表件数を以下にまとめた。

表 2-3 に、研究者の論文(原著論文)数、平均 FWCI 値¹、Top10%以内論文数などをまとめた。図 2-1 には①さきがけの成果と認められる論文数、②さきがけの発展と認められる論文数、および Top10%以内論文数を、図 2-2 には各研究者の論文数分布、また図 2-3 には各研究者の①さきがけの成果、②さきがけの発展に関する論文数および Top10%以内論文数を示す。

¹ FWCI 値とは、当該文献の被引用数を、同じ出版年・同じ分野・同じ文献タイプの文献の世界平均で割った値である。すなわち、この論文が類似の論文と比較してどの程度引用されているかを示す指標で、FWCI 値が 1 を上回る論文は、平均よりも多く引用されていることを意味する。

表 2-3 さきがけの成果および発展の論文(原著論文)数

期 (採択年度)	研究者	①さきがけの成果								②さきがけの発展							
		論文数	責任著者論文数	平均FWCI値	TOP論文数				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				10%以内	1%以内	0.1%以内	0.01%以内		
1期(2009年度)	市川結	16	13	0.62	0	0	0	0	5	3	0.33	0	0	0	0		
	大北 英生	45	28	3.27	17	4	0	0	32	13	1.96	5	2	0	0		
	太平圭介	19	19	1.20	2	0	0	0	7	4	1.17	1	0	0	0		
	岡本晃一	7	3	1.02	1	0	0	0	22	6	0.62	0	0	0	0		
	佐伯昭紀	41	21	2.16	8	2	0	0	109	37	1.32	17	1	0	0		
	沈青	36	13	4.35	15	4	1	0	63	20	2.34	18	3	0	0		
	當摩哲也	22	1	1.40	4	0	0	0	28	4	0.67	1	0	0	0		
	橋 泰宏	13	3	3.80	8	1	0	0	16	6	1.19	2	0	0	0		
	田部 勢津久	16	0	3.26	5	2	0	0	39	1	2.20	12	1	0	0		
	太野垣 健	12	9	0.92	0	0	0	0	22	7	1.29	4	0	0	0		
	江東林	18	11	6.19	17	1	0	0	67	55	5.96	47	13	0	0		
	野瀬 嘉太郎	5	4	0.61	0	0	0	0	13	5	0.60	0	0	0	0		
丸本 一弘	30	21	0.59	0	0	0	0	16	8	0.59	0	0	0	0			
吉田 弘幸	21	10	1.66	7	0	0	0	21	3	2.45	7	1	0	0			
2期(2010年度)	家 裕隆	24	20	1.01	3	0	0	0	21	12	0.55	0	0	0	0		
	梅山 有和	21	2	2.36	7	1	0	0	29	18	1.04	2	0	0	0		
	尾坂 格	16	10	8.56	8	6	1	0	47	23	1.94	9	2	0	0		
	小堀 康博	7	6	1.13	1	0	0	0	16	11	1.24	3	0	0	0		
	田中 徹	14	9	1.26	3	0	0	0	64	7	0.68	1	0	0	0		
	東原 知哉	32	19	1.50	4	1	0	0	19	14	0.67	2	0	0	0		
	村中 厚哉	18	5	0.90	0	0	0	0	14	7	1.22	2	0	0	0		
	柳田 真利	7	3	2.22	2	0	0	0	7	3	1.90	2	0	0	0		
若宮 淳志	27	15	3.27	11	2	0	0	57	17	1.85	17	1	0	0			
3期(2011年度)	浅岡 定幸	1	0	3.59	1	0	0	0	2	0	0.05	0	0	0	0		
	荒木 秀明	9	5	12.58	7	3	2	0	14	5	0.98	1	0	0	0		
	板垣 奈穂	29	4	1.57	5	0	0	0	28	4	0.78	3	0	0	0		
	片山 哲郎	11	1	0.60	0	0	0	0	7	1	0.94	1	0	0	0		
	沓掛 健太郎	4	1	2.38	2	0	0	0	6	1	0.63	0	0	0	0		
	久保 若奈	3	2	0.13	0	0	0	0	6	6	0.82	0	0	0	0		
	黒川 康良	12	5	2.31	2	1	0	0	5	0	0.65	0	0	0	0		
	櫻井 岳暁	13	1	0.61	0	0	0	0	4	1	2.35	1	0	0	0		
	但馬 敬介	37	24	1.73	7	1	0	0	15	8	2.36	3	1	0	0		
	藤沢 潤一	16	10	2.33	3	1	0	0	20	17	1.06	1	0	0	0		
宮寺 哲彦	12	3	1.76	3	0	0	0	12	6	1.31	2	0	0	0			
綿打 敏司	5	5	0.34	0	0	0	0	7	2	0.13	0	0	0	0			
領域全体	595 (24)	305 (1)	2.38	148 (5)	29 (1)	4 (0)	0 (0)	833 (27)	333 (2)	1.31	157 (7)	23 (2)	0 (0)	0 (0)			

1 各研究者の論文数は重複論文を含むため、領域全体の論文数と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。さきがけの成果論文の重複は、當麻と宮寺の共著が5報、佐伯と家、吉田と但馬の共著がそれぞれ2報、沈と柳田、大北と若宮、櫻井と宮寺、大北と佐伯、大北と但馬、當麻と若宮、家と尾坂、當麻と丸本、佐伯と尾坂、大北と尾坂、吉田と家、若宮と片山の共著がそれぞれ1報ずつ、大北、佐伯、吉田、家の4名による共著が1報あった。さきがけの発展論文の重複は、佐伯と若宮の共著が4報、佐伯と尾坂、當麻と宮寺の共著がそれぞれ3報、大北と尾坂、大北と若宮、大北と梅山、吉田と但馬の共著がそれぞれ2報、大北と丸本、吉田と尾坂、尾坂と

小堀、橘と若宮、當麻と丸本、佐伯と片山、丸本と小堀の共著がそれぞれ1報ずつ、大北、吉田、尾坂の3名による共著が1報あった。

- 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30日検索
(被引用数、FWCI、TOP%は2021年8月1日時点)

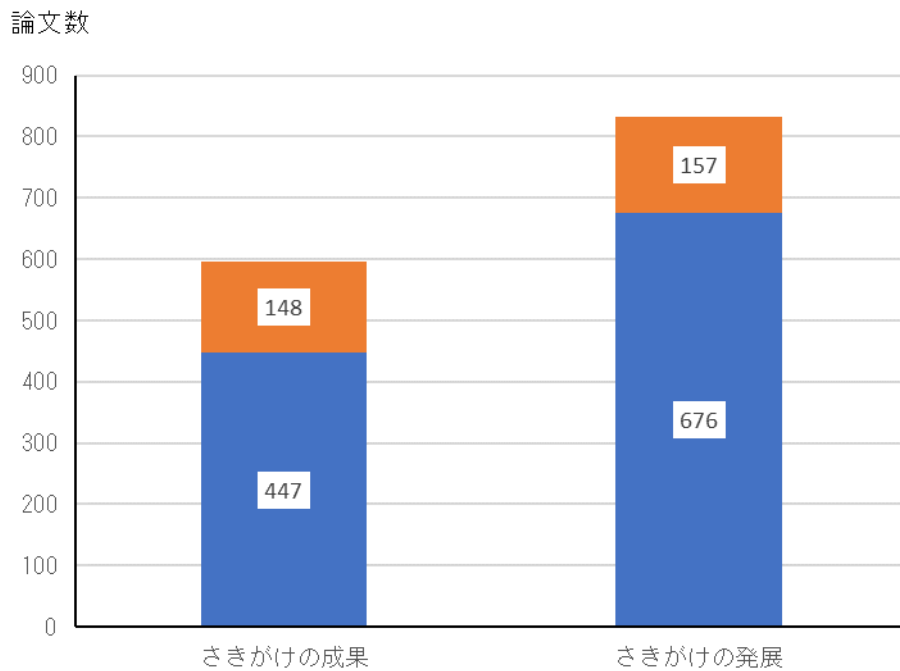


図 2-1 さきがけの成果および発展に関する論文数

本研究領域全体では、さきがけの成果論文が595報（このうちTop10%以内は148報）であり、発展論文は833報（このうちTop10%以内は157報）と多く、研究終了後に論文数は増加している。また、さきがけの発展論文に関しては、佐伯、田部、江、若宮などTop10%以内の論文数が大きく増加している研究者も確認できる。FWCIの平均値はさきがけの成果論文で大北、沈、橘、田部、江、尾坂、若宮、浅岡、荒木ら多くの研究者が3以上の高い数値を示している。研究終了後の発展論文のFWCI値は全般的に低下しているが、江の論文の平均FWCI値が5.96と非常に高い。

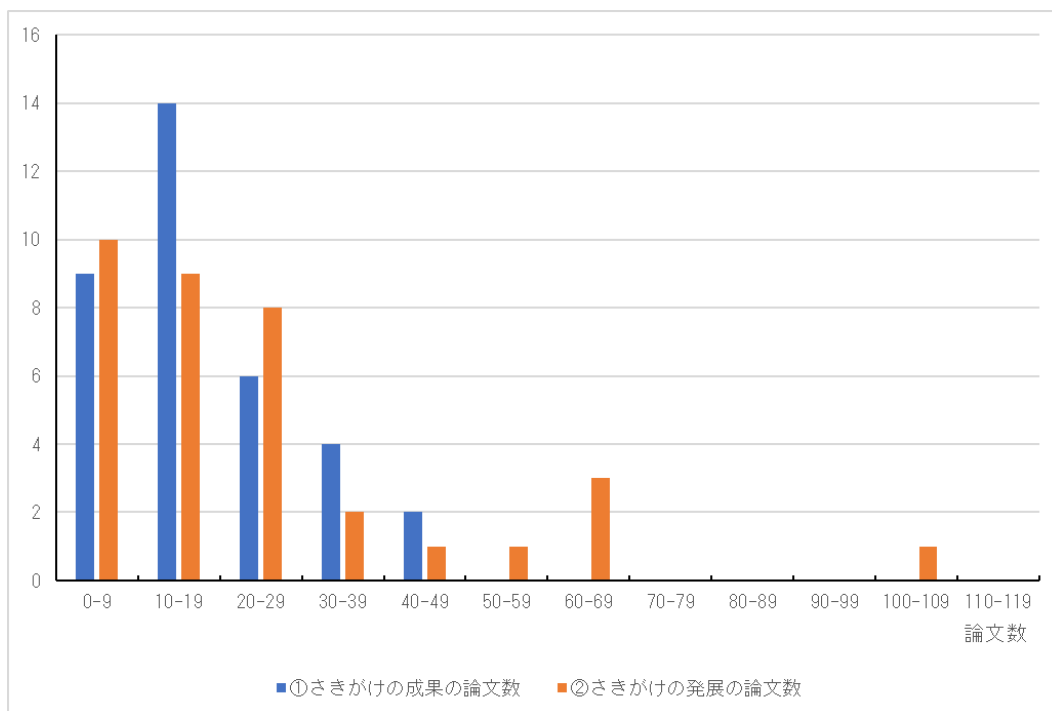


図 2-2 各研究者の論文数分布

研究者別の論文数にはばらつきがあるが、さきがけの研究成果の論文を最も多く発表したのは、第1期の大北で45報、次いで第1期の佐伯が41報、第3期の但馬が37報であった。また、さきがけの研究成果の発展論文に関しては、第1期の佐伯が109報で最も多く、次いで第1期の江が67報、第2期の田中が64報であった。一方、さきがけの研究成果の発展に関して、Top10%以内の論文数は、江が47報、沈が18報、佐伯と若宮が17報と多い。

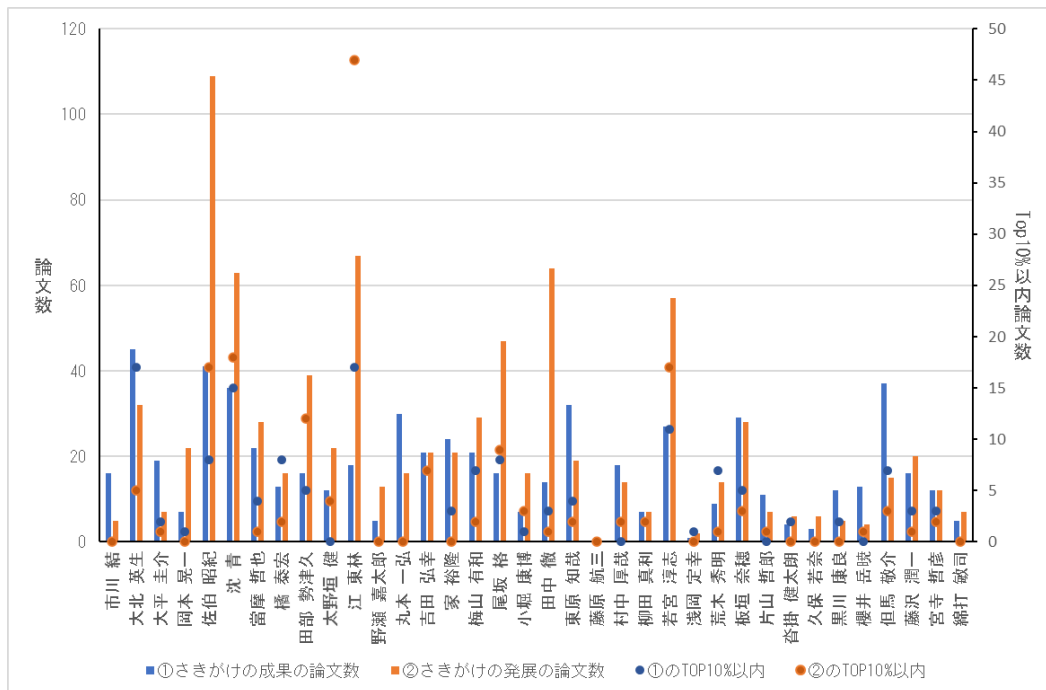


図 2-3 各研究者の研究期間中・終了後の論文数

本研究領域は研究者同士の共著論文数が非常に多いことが特徴であり、研究期間中の成果論文で 24 報、研究終了後の発展論文でも 27 報に上る。研究終了後も本研究領域の研究者同士の交流が継続していることがわかる。特に大北、佐伯、吉田ら計測技術に関連する成果を上げた研究者と他の研究者との共著が多い。

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 2-4 に研究者毎に特許の出願件数や登録件数をまとめた。

表 2-4 研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

期 (採択 年度)	研究代表者	研究期間中				研究終了後			
		出願件数		登録件数		出願件数		登録件数	
		国内	海外	国内	海外	国内	海外	国内	海外
第 1 期 (2009 年度)	市川 結	2	1	2	1	0	0	0	0
	大北 英生	0	0	0	0	0	0	0	0
	大平 圭介	0	0	0	0	2	2	1	0
	岡本 晃一	1	1	0	1	1	0	0	0

	佐伯 昭紀	1	1	1	1	1	0	1	0
	沈 青	2	0	0	0	6	1	3	0
	當摩 哲也	2	0	0	0	2	0	2	0
	橘 泰宏	0	0	0	0	0	0	0	0
	田部 勢津久	0	0	0	0	2	2	0	0
	太野垣 健	0	0	0	0	2	1	0	0
	江 東林	0	0	0	0	0	0	0	0
	野瀬 嘉太郎	1	0	1	0	1	1	0	0
	丸本 一弘	1	1	1	1	1	0	0	0
	吉田 弘幸	1	1	1	1	3	1	2	1
第 2 期 (2010 年度)	家 裕隆	7	3	1	0	17	15	2	1
	梅山 有和	2	2	0	0	0	0	0	0
	尾坂 格	8	6	4	2	9	1	2	0
	小堀 康博	0	0	0	0	0	0	0	0
	田中 徹	0	0	0	0	0	0	0	0
	東原 知哉	1	0	1	0	1	0	0	0
	村中 厚哉	2	0	2	0	4	2	2	1
	柳田 真利	1	0	1	0	1	0	0	0
	若宮 淳志	7	4	5	2	7	4	1	0
第 3 期 (2011 年度)	浅岡 定幸	1	0	1	0	2	0	0	0
	荒木 秀明	0	0	0	0	0	0	0	0
	板垣 奈穂	1	1	1	1	0	0	0	0
	片山 哲郎	0	0	0	0	0	0	0	0
	沓掛 健太郎	1	0	0	0	2	0	2	0
	久保 若奈	1	0	0	0	3	0	0	0
	黒川 康良	2	0	0	0	0	0	0	0
	櫻井 岳暁	0	0	0	0	0	0	0	0
	但馬 敬介	0	0	0	0	0	0	0	0
	藤沢 潤一	2	0	1	0	0	0	0	0
	宮寺 哲彦	1	1	1	1	0	0	0	0
	綿打 敏司	1	0	0	0	3	0	1	0
領域全体		49	22	24	11	69	29	19	3

- 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。
- 3) 研究終了後の出願の重複は家と尾坂の国内、海外それぞれ 1 件ずつ。

2021 年 5 月 25 日調査
2021 年 8 月 11 日更新

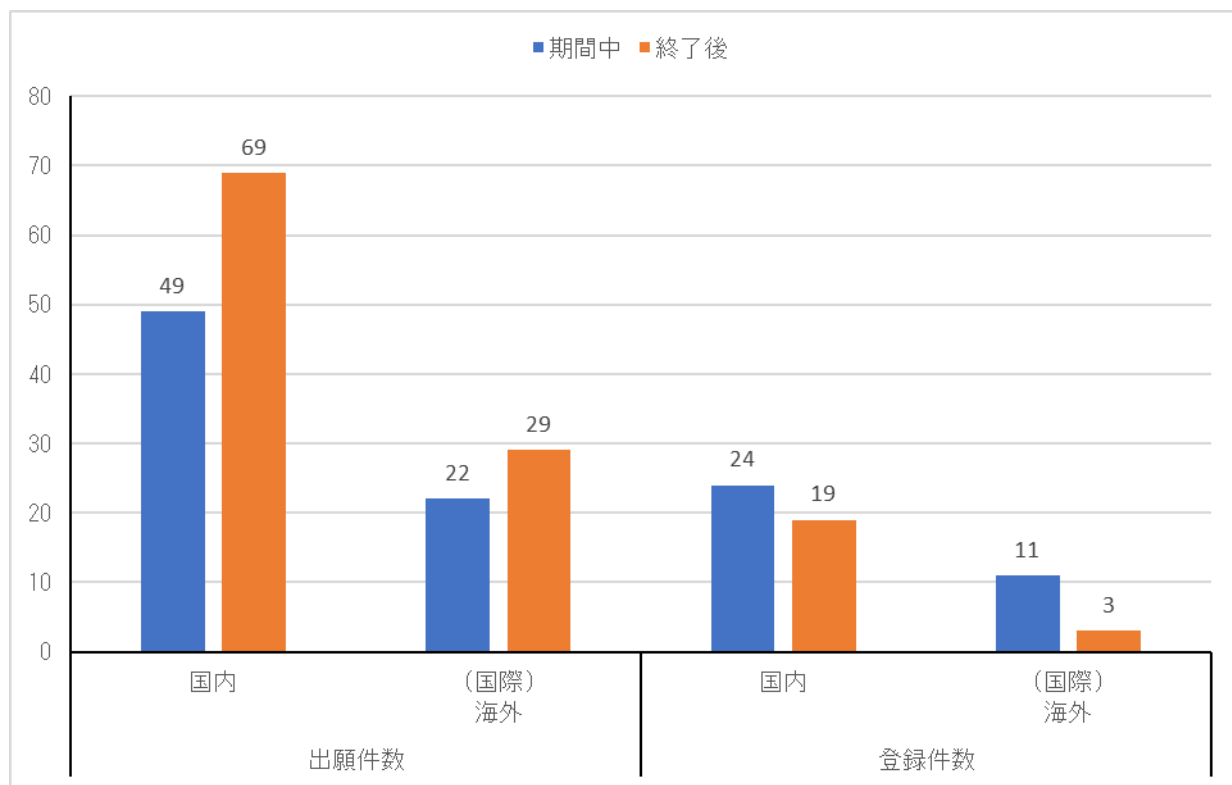


図 2-4 研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

研究領域全体では、研究期間中の出願件数に比べて研究終了後の出願件数は、国内および海外ともに増加している。特に国内出願数は 20 件ほど多くなっている。一方、研究終了後の登録件数は研究期間中に比べて、国内および海外ともに減少しているが、これから登録される場合もあると考えられる。

各研究者別では、研究期間中に最も多く出願しているのは、第 2 期の尾坂で、国内に 8 件、海外に 6 件出願し、それぞれ 4 件、2 件が登録されている。研究終了後に最も多く出願しているのは第 2 期の家で国内に 17 件、海外に 15 件出願し、それぞれ 2 件、1 件が登録されている。その他では第 2 期の若宮が研究期間中、終了後共に積極的に特許出願していることが目立つ。

本研究領域では、全体として多くの特許出願がなされ、審査が終了したと考えられる研究期間中の出願についての登録率は、国内で 49%、海外で 50%となっている。

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。表 2-5 に研究終了後の研究者の受賞を示す。

本研究領域の研究者の多くは関連学会などの賞を受賞しているが、それ以外に文部科学省から、佐伯が平成 25 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰を受賞している。なお、研究

終了後の受賞のみをリスト化しているため記載していないが、若宮と但馬も研究期間中の平成24年度と平成25年度に、それぞれ同賞を受賞している。

表 2-5 研究終了後の受賞リスト

No.	受賞者	賞の名称	授与機関	受賞年
1	大北英生	2018年度光化学協会賞	光化学協会	2018
1	佐伯昭紀	文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2013
2		大阪大学総長奨励賞	大阪大学	2013
3		大阪大学総長奨励賞	大阪大学	2014
4		大阪大学総長奨励賞	大阪大学	2015
5		高分子学会日立化成賞	高分子学会	2019
1	沈青	第4回日本応用物理学会女性研究者研究業績賞	応用物理学会	2014
1	當摩哲也	2015年度 金沢大学先端科学・イノベーション推進機構協力会第1回若手研究者奨励賞	金沢大学先端科学・イノベーション推進機構協力会	2015
1	江東林	日本化学会第34回学術賞	日本化学会	2016
1	吉田弘幸	第12回有機分子・バイオエレクトロニクス分科会論文賞	応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会	2014
2		Best Oral Presentation Award	Grand Renewable Energy 2014 International Conference	2014
3		第8回有機EL討論会業績賞	有機EL討論会	2015
1	梅山有和	The APA Prize for Young Scientist 2015	The Asian and Oceanian Photochemistry Association	2016
1	小堀康博	第33回光化学協会賞	光化学協会	2019
2		第4回(2019年度)分子科学国際学術賞	分子科学会	2019
1	田中徹	佐賀大学エスタブリッシュド・フェロー	佐賀大学	2017
1	東原知哉	日立化成賞	高分子学会	2020
1	村中厚哉	第1回理研産業連携奨励賞	理化学研究所	2016
1	若宮淳志	イノベティブPV賞	日本学術振興会第175委員会	2016
2		第70回化学技術賞	近畿化学協会 (KCS)	2018
3		4th Yoshida Prize Symposium Lecturer (Distinguished Lecturer)	国際有機化学財団 (IOCF)	2019
4		第19回(2019年度)GSC賞 文部科学大臣賞	新化学技術推進協会(JACI)	2020
5		日本化学会第38回学術賞	日本化学会 (CSJ)	2021
6		第53回 市村地球環境学術賞 貢献賞	市村清新技術財団	2021

1		第14回プラズマエレクトロニクス賞	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	2016
2	板垣奈穂	女性研究者研究業績・人材育成賞（小館香椎子賞）	応用物理学会	2021
1	櫻井岳暁	講演奨励賞	2017年多元化合物・太陽電池研究会年末講演会	2017
1	但馬敬介	高分子学会日立化成賞	高分子学会	2018
1		AMFPD-16 Paper Award	International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices	2016
2	宮寺哲彦	産総研PV奨励賞	産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター	2016

2.2.5 共同研究や企業との連携

本研究領域の研究者が企業と行った共同研究の内容は太陽電池に限らず、新材料の開発や成膜法など多岐に渡り、数多くの共同研究が実施されている。

例えば、佐伯は3社の企業と共同研究を行っており、尾坂はこれまでに民間企業6社と共同研究を行い、そのうち2社とは現在も推進中である。尾坂の東レ株式会社との共同研究は2021年度から国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)先導研究プログラムに採択された。

また、丸本、小堀は複数の企業に技術指導を行った。但馬は本研究領域での研究をもとにした企業との共同研究で、表面偏析単分子膜を用いた有機電子デバイスの特許を出願した。

2.2.6 実用化・製品化

吉田は研究期間中に開発した低エネルギー逆光電子分光法の技術移転を国内企業3社に対して行い、低エネルギー逆光電子分光装置が市販されている。2020年には年間8-9台が販売された。また、尾坂は開発した有機半導体材料に関する特許を民間企業へ実施許諾し、試薬として販売している。若宮が研究期間中に開発したペロブスカイト用高純度化前駆体材料は国内メーカーから市販され、世界中で広く利用されている。これらについては2.3.3節で詳しく述べる。

2.2.7 ベンチャー

野瀬は研究期間中の成果の一部を発展させ、太陽電池などに応用が期待されるSnSをはじめとする14族モノカルコゲナイドのバルク・薄膜作製について、蒸留単離を利用した新しいプロセスを開発し、特許を出願するとともにベンチャー企業カルコジェニック株式

会社²の設立に携わった。現在、14族カルコゲナイドの薄膜サンプル提供に向けて技術開発中であり、事業化を図っている。

若宮は2018年1月に京都大学発ベンチャー株式会社エネコートテクノロジーズを設立し、ペロブスカイト太陽電池のモジュールの試作や、製造販売を進めている。

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(まとめ図)

本研究領域では、2009年から2011年にかけて合計36件の研究課題を採択し、途中で1課題が内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択されたために終了したが、35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研究を遂行した。研究領域の展開と発展の状況を図2-5に示した。

本研究領域では、戦略目標を実現するため、有機系太陽電池の光電変換効率の飛躍的な向上、シリコン系・化合物系太陽電池の高効率化のための新手法の実現、新原理に基づいた太陽電池の創出を目指し、下記のような研究課題が採択された。

- ・有機太陽電池の新材料合成(家、梅山、東原、村中、若宮)
- ・有機太陽電池の新デバイス開発(江、尾坂、柳田、浅岡、藤沢、宮寺)
- ・有機太陽電池の界面制御技術開発(市川、大北、當摩、丸本、但馬)
- ・シリコン系太陽電池の結晶化技術、新プロセス(大平、沓掛、綿打)
- ・化合物系太陽電池の結晶化技術、新デバイス構造(野瀬、田中、荒木、板垣)
- ・量子ドット太陽電池(沈、橘、太野垣)
- ・新技術に基づく太陽電池(岡本、田部、久保、黒川)
- ・新計測技術(佐伯、吉田、小堀、片山、櫻井)

採択された研究課題は有機太陽電池に関するものが多かったが、本研究領域の研究期間終盤に海外での高効率なペロブスカイト太陽電池実現の情報を得て、早瀬研究総括指導のもとに本研究領域内の共同研究グループとして「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」を立ち上げ、付加的な研究費が投入された³。このプロジェクトから若宮のペロブスカイト用試薬などの直接的な成果も生まれたが、研究終了後に大北、佐伯、沈、當麻、橘、丸本、柳田、若宮、櫻井、宮寺など本研究領域の多くの研究者が、競争的資金の獲得や共同研究によりペロブスカイト太陽電池の研究に参入し、その後、中心的な役割を果たしていくきっかけになったと推察される。

以下、それぞれの研究の展開状況と今後の展望および波及効果をまとめる。

佐伯は研究期間中に開発したデバイスレスの材料評価法であるマイクロ波伝導度法をツールとして利用することで、人工知能による有機薄膜太陽電池の材料探索へと研究を展開している。吉田は研究期間中から企業との共同研究を進め、低エネルギー逆光電子分光装置の製品化に成功しているが、研究終了後にこの装置に新機能を加え、有機半導体中の電子状

² カルコジェニック株式会社ホームページ : <https://chalcogenic.co.jp/>

³ 早瀬修二先生へのインタビューより

態の高精度測定に関する研究を発展させている。これらの新計測技術やマテリアルズインフォマティクス⁴に関連する基盤技術は、短期的には次世代の太陽電池用新材料の効率的な探索に資するものと期待されるが、さらに広い分野への応用の可能性もあることから、科学的な側面での大きなインパクトが予想される。

若宮は「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」への参画を契機として、研究終了後も高効率太陽電池の作製法、スズ系ペロブスカイト太陽電池の高効率化などペロブスカイト太陽電池に関する研究を発展させている。ベンチャー企業株式会社エネコートテクノロジーズ設立や「フィルム型太陽電池コンソーシアム」の発足によりペロブスカイト太陽電池実用化への動きを加速するとともに、鉛フリーのペロブスカイト太陽電池の研究開発にも取り組み、我が国のペロブスカイト太陽電池研究開発をリードしている。

尾坂は研究終了後も新規 p 型半導体ポリマーの開発による有機薄膜太陽電池の高効率化の研究を継続しており、JST の先端的低炭素化技術開発(ALCA)、未来社会創造事業などの大型の競争的資金を獲得している。尾坂の開発した半導体ポリマーや大北が原理を実証した三元ブレンド有機薄膜太陽電池による高効率化は、近年、中国などから発表されている高効率の有機薄膜太陽電池実現の道筋を示す先駆的な成果であった。有機薄膜太陽電池は現時点では効率でペロブスカイト太陽電池に劣るものの、室内光用途やカラー化によるデザイン性の高い用途などでの実用化が期待されている。

⁴ 計算科学・実験科学・データ科学を融合させ、材料開発を効率的に行う試み

さきがけ「太陽光と光電変換機能」まとめ図

戦略目標、達成目標	インプット	アクテビティ/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																																																						
<p>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</p> <p>達成目標： ・太陽電池の高効率化、長寿命化、低コスト化 ・新しい原理に基づいた太陽電池の創出 ・異分野の研究の融合等によるイノベーションイノベーション</p>	<p>研究総括 早瀬修二</p> <p>研究者 35名</p> <table border="1"> <tr><td>市川祐</td></tr> <tr><td>大北英生</td></tr> <tr><td>大平圭介</td></tr> <tr><td>岡本寛一</td></tr> <tr><td>佐伯昭紀</td></tr> <tr><td>沈青</td></tr> <tr><td>菅原哲也</td></tr> <tr><td>橋本宏</td></tr> <tr><td>田部勢津久</td></tr> <tr><td>大野巨健</td></tr> <tr><td>江東林</td></tr> <tr><td>野瀬嘉太郎</td></tr> <tr><td>丸本一弘</td></tr> <tr><td>吉田弘幸</td></tr> <tr><td>家裕隆</td></tr> <tr><td>梅山有和</td></tr> <tr><td>尾坂格</td></tr> <tr><td>小堀康博</td></tr> <tr><td>田中徹</td></tr> <tr><td>東原知哉</td></tr> <tr><td>村中厚哉</td></tr> <tr><td>柳田真利</td></tr> <tr><td>若宮淳志</td></tr> <tr><td>浅岡定幸</td></tr> <tr><td>荒木秀明</td></tr> <tr><td>坂垣泰穂</td></tr> <tr><td>片山哲郎</td></tr> <tr><td>菅井健太郎</td></tr> <tr><td>久保若奈</td></tr> <tr><td>黒川康良</td></tr> <tr><td>櫻井岳崎</td></tr> <tr><td>但馬敬介</td></tr> <tr><td>藤沢潤一</td></tr> <tr><td>宮寺哲彦</td></tr> <tr><td>緒打敏司</td></tr> </table>	市川祐	大北英生	大平圭介	岡本寛一	佐伯昭紀	沈青	菅原哲也	橋本宏	田部勢津久	大野巨健	江東林	野瀬嘉太郎	丸本一弘	吉田弘幸	家裕隆	梅山有和	尾坂格	小堀康博	田中徹	東原知哉	村中厚哉	柳田真利	若宮淳志	浅岡定幸	荒木秀明	坂垣泰穂	片山哲郎	菅井健太郎	久保若奈	黒川康良	櫻井岳崎	但馬敬介	藤沢潤一	宮寺哲彦	緒打敏司	<p>研究成果</p> <p>論文</p> <table border="1"> <tr> <td>① さきがけ研究 成果の論文数</td> <td>833 (157)</td> </tr> <tr> <td>② さきがけ研究 成果の論文数</td> <td>833 (157)</td> </tr> </table> <p>(1)の値はTop10%以内論文数</p> <p>特許申請・登録</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>期間中</td> <td>終了後</td> </tr> <tr> <td>出願</td> <td>49</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>海外</td> <td>22</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>登録</td> <td>24</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>海外</td> <td>11</td> <td>3</td> </tr> </table> <p>アウトリーチ活動</p> <p>日本学術振興会第175委員会 ・産学協力研究委員会公開シンポジウムへの参加・広報 さきがけ合同シンポジウムへの参加・広報 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議への参加・広報 ふくしま復興再生可能エネルギー産業フェアへの出席 JST太陽電池キヤラバの開催</p> <p>マネジメント</p> <p>ペロブスカイト成果集結プロジェクトの企画・推進</p>	① さきがけ研究 成果の論文数	833 (157)	② さきがけ研究 成果の論文数	833 (157)		期間中	終了後	出願	49	69	海外	22	29	登録	24	19	海外	11	3	<p>～追跡調査時点</p> <p>科学技術的および社会・経済的な波及効果</p> <p>科学技術の進歩への貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高効率ペロブスカイト太陽電池作製法の開発、スズ系ペロブスカイト太陽電池高効率化への展開 (若宮) ・新規P型半導体材料の開発と有機薄膜太陽電池の高効率化 (尾坂) ・人工知能(AI)による有機薄膜太陽電池の性能予測と材料探索 (佐伯) ・低エネルギー逆光電子分光法の開発と角度分解測定への展開による有機半導体の電子準位の高精度測定 (吉田) ・三元ペロブスカイト有機薄膜太陽電池による高効率化の原理実証と発電機構の解明 (大北) <p>社会・経済への貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低エネルギー逆光電子分光装置の製品化と市販による普及 (吉田) ・ペロブスカイト太陽電池研究用試薬 (ヨウ化鉛) の製品化と高い売上実績 (若宮) ・有機半導体材料に関する特許の民間企業への実施許諾と試薬販売 (尾坂) ・カルピエニエ株式会社 (ベンチャー) の設立 (野瀬) ・(株) エネコートテクノロジー (ベンチャー) の設立とフィルム型太陽電池研究コンソーシアム発足によるペロブスカイト太陽電池実用化の加速 (若宮) <p>展開</p> <p>科学研究 (基礎研究(A))：大北、佐伯、江、小堀、若宮、但馬 科学研究 (学術革新領域(A))：佐伯、家、小堀 JST ALCA：丸本、尾坂、若宮 JST 未来社会創造事業：丸本、尾坂 JST COI：若宮 NEDO(先導研究プログラムなど)：菅原、家、尾坂、若宮、櫻井</p> <p>受賞/人材育成・成長等</p> <p>文部科学大臣表彰：佐伯 日本化学会学術賞：江、若宮 教授への昇進：市川、大北、大平、岡本、佐伯、菅原、橋、家、梅山、東原、若宮、荒木、板垣、櫻井、緒打</p>	<p>今後予想される展開</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ペロブスカイト太陽電池の実用化 ・総アリーのペロブスカイト太陽電池の高効率化 ・有機薄膜太陽電池の高効率化と室内光用途などでの実用化 ・新型計測装置による評価やマテリアルズインフォマティクスによる太陽電池用新材料の効率的な探索 <p>今後想定される波及効果</p> <p>太陽光発電の導入量拡大による低炭素社会の実現と地球温暖化の防止</p>
市川祐																																																										
大北英生																																																										
大平圭介																																																										
岡本寛一																																																										
佐伯昭紀																																																										
沈青																																																										
菅原哲也																																																										
橋本宏																																																										
田部勢津久																																																										
大野巨健																																																										
江東林																																																										
野瀬嘉太郎																																																										
丸本一弘																																																										
吉田弘幸																																																										
家裕隆																																																										
梅山有和																																																										
尾坂格																																																										
小堀康博																																																										
田中徹																																																										
東原知哉																																																										
村中厚哉																																																										
柳田真利																																																										
若宮淳志																																																										
浅岡定幸																																																										
荒木秀明																																																										
坂垣泰穂																																																										
片山哲郎																																																										
菅井健太郎																																																										
久保若奈																																																										
黒川康良																																																										
櫻井岳崎																																																										
但馬敬介																																																										
藤沢潤一																																																										
宮寺哲彦																																																										
緒打敏司																																																										
① さきがけ研究 成果の論文数	833 (157)																																																									
② さきがけ研究 成果の論文数	833 (157)																																																									
	期間中	終了後																																																								
出願	49	69																																																								
海外	22	29																																																								
登録	24	19																																																								
海外	11	3																																																								

図 2-5 研究領域の展開と発展の状況 (まとめ図)

2.3.2 研究成果の科学技術の進歩への貢献

以下に、研究者本人へのインタビューによって得た情報などを基に、研究成果の科学技術の進歩への貢献について幾つかの事例を示す。

佐伯は研究期間中に「時間分解マイクロ波伝導度法」を開発し、デバイス作成をせずに有機薄膜太陽電池(OPV)の材料を評価し、デバイス性能を予測することを可能にした。研究終了後はこのコンセプトを発展させ、人工知能(AI)アルゴリズム(ランダムフォレスト⁵⁾)を初めてOPVの性能予測に適用し、デバイスどころか材料さえ合成せずにデバイス性能を予測することを可能にした。

OPVに用いられる半導体ポリマーの分子構造には無数の組み合わせが存在し、また、ポリマーの側鎖(アルキル鎖)は計算で予測できないため、人海戦術的な実験や従来の計算化学によって太陽電池の性能を予測することには限界があった。佐伯はこれまでに報告されているポリマーの化学構造、物性値を学習データとしてAIにより素子性能を予測し、「時間分解マイクロ波伝導度法」を用いた実験スクリーニングによる性能予測と近い結果を得た。また、このAIによる手法を、近年エネルギー変換効率の改善が進んでいる半導体ポリマー・非フラーレン太陽電池に適用し、仮想的に生成した20万種類の高分子材料の中から材料探索を行い、実際に合成して確認した実験値との良い一致を得ることができた。これらの佐伯の成果は世界的にも注目されており、日本学術会議の提言「化学・情報科学の融合による新化学生成に向けて」(2020年7月7日)においても、マテリアルズインフォマティクスの成功例として引用されている。

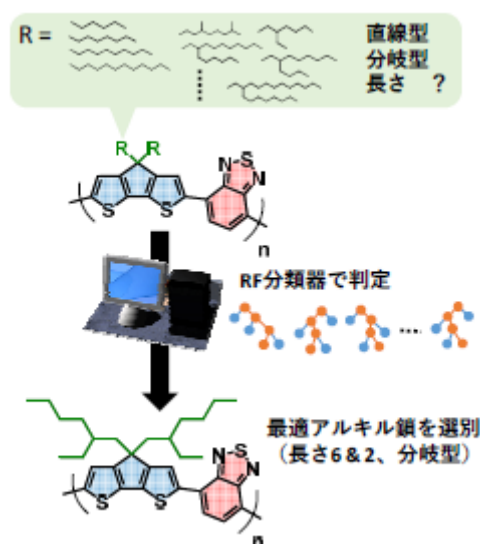


図2-6 AIによるOPV高分子アルキル鎖選別のスキーム⁶

⁵ 「決定木」と呼ばれる予測モデルを複数組み合わせ、分類・予測を行う機械学習のアルゴリズム

⁶ さきがけ「理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築」研究領域 領域活動・評価報告書- 2018年度終了研究課題-」p43 図1

吉田が研究期間中に開発した低エネルギー逆光電子分光法(LEIPS)(図2-7)により、有機半導体の空準位電子状態や電子親和力の測定が初めて可能になった。LEIPSでは従来の逆光電子分光法(IPES)と異なり、低エネルギーの電子線を照射するので、有機試料の損傷の問題がほとんどない。また、光検出系にも従来のIPESで主に用いられてきたガイガー・ミュラー管ではなく、光電子増倍管を用いるなどの工夫がなされ、分解能が大幅に改善された。

この新規開発の装置により、吉田は有機半導体中の様々な物理現象の解明に貢献している。まず、これまで信頼できる値のなかった有機半導体の電子親和力や励起子束縛エネルギーなどの基本的なエネルギーパラメータを決定してきた。また、LEIPSによる高精度な測定と光電子分光を組み合わせることにより、有機半導体の電子準位が、分子の永久四重極がつくる静電場によって大きくシフトすることを明らかにし、静電場を実験的に決定する方法を確立した。この静電場は有機薄膜太陽電池中の励起子の電荷分離機構との関連からも注目されている。

また、吉田は研究終了後にLEIPSを発展させ、新型装置として角度分解低エネルギー逆光電子分光法(ARLEIPS)を開発した。この装置では新たな電子線源の開発などにより、試料を回転して角度分解測定することが可能となり、空準位のエネルギーと波数の分散関係である伝導帯バンド構造を観測できる。これにより、有機半導体の伝導帯バンド構造の直接観測に初めて成功した。ARLEIPSによるバンド幅の精密観測をもとに有機半導体中の電子・フォノン相互作用に関する理解が進み、これまで実験では明らかでなかったポーラロン形成を実証した。さらに、ポーラロン形成が有機半導体の移動度を制限する様子が明らかになってきた。

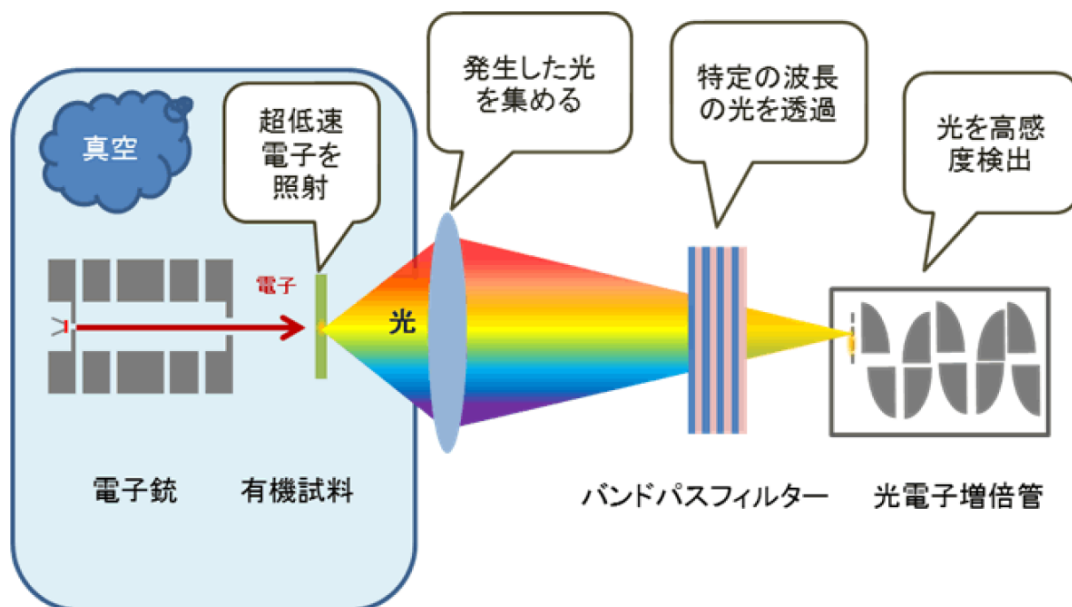


図2-7 低エネルギー逆光電子分光法(LEIPS)測定装置の概略図⁷

⁷ 2012年5月11日 JST、京都大学プレスリリース「有機半導体を格付けできる新・伝導準位測定法と装置を発明」、<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20120511-2/index.html>

若宮は研究期間中に本研究領域で行われた「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」への参画を契機に、ペロブスカイト太陽電池(PSC)の研究に着手した。研究期間中に原料として用いる PbI_2 の簡便な脱水精製法を開発し、再現性良く高効率の PSC を作製することを可能にした。さらに、上記高純度材料の知見の活用や、溶液法によるペロブスカイト層の成膜方法の最適化により、国内で初めてエネルギー変換効率 20% を達成した。

研究終了後、若宮は環境や人体への影響が懸念される鉛を使用しない PSC として、スズ系 PSC の研究を進めた。PSC は溶液の塗布により作製するが、スズ系では鉛系のような均一な膜を得られなかった。若宮らは材料が溶けにくい溶媒（貧溶媒）の滴下と膜のアニール方法の工夫により、均一性の高いスズ系ペロブスカイト膜の成膜を可能にし、再現性良く高効率の太陽電池を作製できる手法を確立した⁸。

また、スズ系ペロブスカイト材料においては、材料中の 2 価のスズイオン (Sn^{2+}) が非常に酸化されやすく、半導体特性を低下させる 4 価のスズイオン (Sn^{4+}) を生じることが問題となっていたが、ペロブスカイト膜を作製する直前に、高い反応性を持つ 0 価のスズナノ粒子を系中で発生させて作用させ、 Sn^{4+} 種を Sn^{2+} 種に還元する手法（スカベンジャー法）を開発し（図 2-8）、 Sn^{4+} フリーのペロブスカイト膜により、スズ系 PSC としては当時世界最高レベルのエネルギー変換効率 11.5% を実現した⁹。

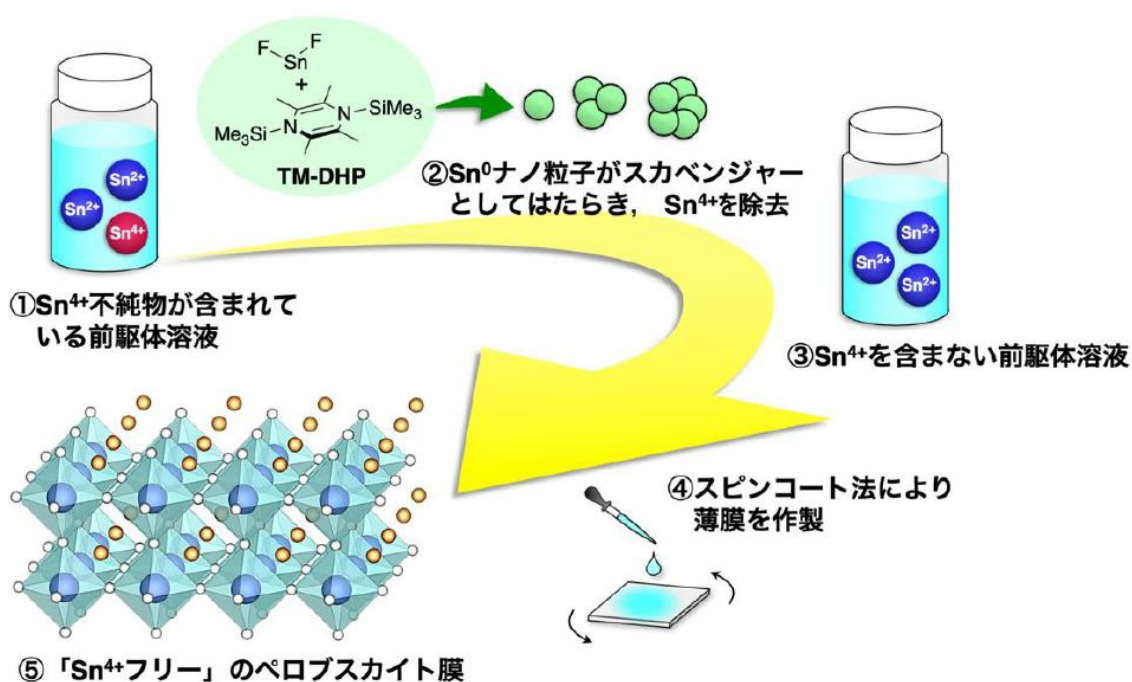


図 2-8 Sn^{4+} 不純物を取り除くスカベンジャー法の概略図

⁸ 2018 年 9 月 6 日 京都大学プレスリリース「スズ系ペロブスカイト太陽電池の高効率化—再現性良く高品質半導体膜を作製できる手法を確立」、<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2018-09-06>

⁹ 2020 年 6 月 16 日 京都大学、JST プレスリリース「高純度スズ系ペロブスカイト半導体膜の作製法を確立—4 価のスズ不純物を取り除くスカベンジャー法の開発—」
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200616/pdf/20200616.pdf>

PSCは既に実用化を目指したフェーズへ研究が進んでいるが、基礎的な研究としては、例えば、沈らの時間分解分光法を駆使したペロブスカイト太陽電池の各界面における電荷分離・再結合機構の解明に関する研究¹⁰や、當麻らのイオン液体をペロブスカイト前駆体溶液に少量添加してナノ粒子膜化することによる高性能化・長寿命化の研究結果¹¹などが注目されている。

尾坂らは研究期間中に開発したp型半導体ポリマー PNTz4Tで、2015年に当時の有機薄膜太陽電池(OPV)の世界最高のエネルギー変換効率10%を達成。その後、新しいポリマーで開放電圧を高めることに成功すると共に、OPVのn型材料を非フラーレン材料とすることによりエネルギー変換効率を15%まで改善した。

尾坂らはPNTz4Tの分子の骨格の硫黄を酸素に変えた新規p型半導体ポリマー PNOz4Tを開発した。このp型ポリマーでは、分子軌道の準位がn型材料であるフラーレンと近くなり、光エネルギー損失¹²を低減できるため、無機太陽電池と比べて低いOPVの開放電圧を高めることができる。一方、p型半導体ポリマーとn型フラーレンの分子軌道の準位差は励起子を乖離する駆動力でもあるため、光エネルギー損失を低減した材料では電流が減少し、結果的にエネルギー変換効率の下がる課題があったが、PNOz4Tにより、光エネルギー損失が小さいうえに、高いエネルギー変換効率を示すOPVが世界で初めて実証された(図2-9)。この研究は大北と共同で進められ、大北が研究期間中に検討した過渡吸収分光法等の知見の活用により発電機構の解析を進め、光エネルギー損失が小さいにも関わらず、ドナー・アクセプター界面における励起子の解離効率はほぼ100%と極めて高いことが明らかになった¹³。また、PNOz4Tは結晶性が良いため欠陥などを介したキャリアの再結合が少なく、ホール移動度も高いため電流が増大し、特異的に高いエネルギー変換効率を得られたと尾坂らは考えている。

近年、中国の研究グループなどにより、OPVのエネルギー変換効率は20%に迫るところまで改善しているが、n型材料である非フラーレン材料の開発によるところが大きい。これらの高効率OPVの特徴はエネルギー損失が小さくても外部量子収率が高い(電流が保たれる)点にあり、尾坂らの先駆的な研究が最先端の研究開発トレンドに大きな影響を与えたと言える。

¹⁰ 例えば、F.Lie et al. Journal of Physical Chemistry Letters, 2018, 9, 294-297. など

¹¹ 2021年4月28日 金沢大学プレスリリース「イオン液体を一滴加えるだけでペロブスカイト太陽電池の高性能化と長寿命化に成功」、<https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/92312>

¹² 吸収した太陽光エネルギーを電力に変換する際に失うエネルギー

¹³ 2015年12月2日 JST、理化学研究所、京都大学プレスリリース「有機薄膜太陽電池で飛躍的なエネルギー変換効率の向上が可能に～新材料開発で光エネルギー損失低減に成功～」

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20151202/index.html>

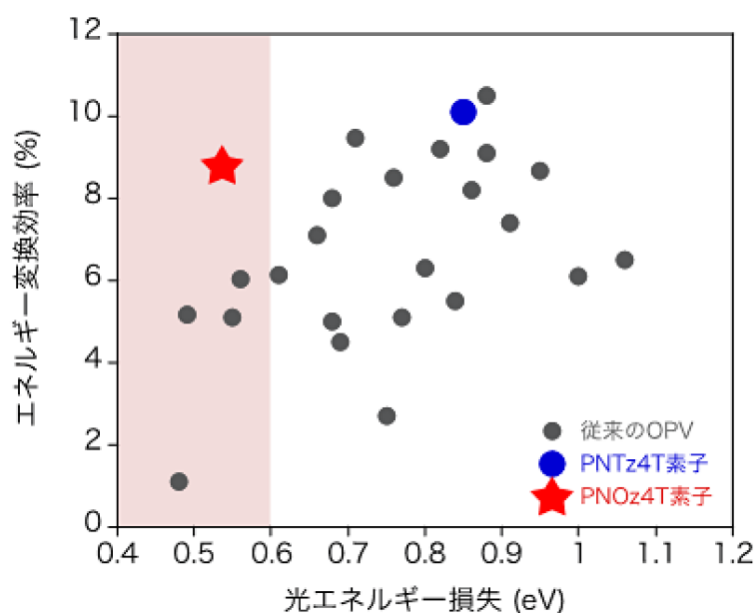


図 2-9 OPV の光エネルギー損失とエネルギー変換効率の関係¹⁴

大北は研究期間中に OPV の高効率化のため、ドナー、アクセプター材料以外に、第三成分として近赤外色素を導入することで光吸収帯域を拡大した三元ブレンド OPV を提案し、色素増感によるエネルギー変換効率改善の可能性を示していた。研究終了後に、表面エネルギーが低いアルキル基と表面エネルギーの高いベンジル基を、かさ高い軸配位子として有するヘテロ構造の近赤外色素を新規に合成し、光電変換層に高濃度に導入することに成功し、エネルギー変換効率を二元ブレンド OPV と比べて 3 割向上させた (図 2-10)¹⁵。

さらに、大北は導入する色素の量が少なくても十分な増感作用が得られる系として、尾坂が開発した結晶性の良い p 型半導体ポリマー (PTzBT) と組み合わせた三元ブレンド OPV を提案した。この OPV では、電荷輸送効率の高い PTzBT を使用することで光電変換層の厚膜化が可能となり、光の干渉効果を利用した大きな増感作用が得られることを明らかにした¹⁶。このように、大北は従来の OPV で主流であったドナー、アクセプター材料の二元系に、第三成分として増感色素を導入することによる高効率化の手法を、世界に先駆けて提案してきた。最近、中国の研究グループから報告された世界最高効率の OPV も三元ブレンド OPV であり、OPV の高効率化には、三元ブレンドの技術は不可欠となってきている。大北の一連の研究成果は、近年の高効率 OPV の実現につながる先駆的なものと言える。

¹⁴ 2015 年 12 月 2 日、JST、理化学研究所、京都大学プレスリリース「有機薄膜太陽電池で飛躍的なエネルギー変換効率の向上が可能に～新材料開発で光エネルギー損失低減に成功～」、<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20151202/index.html>

¹⁵ 2015 年 8 月 28 日、JST、京都大学プレスリリース「せっけんの構造をまねて高分子太陽電池の高効率化に成功～色素を高濃度で導入し、限界効率打破に貢献～」、<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20150828/index.html>

¹⁶ 2020 年 11 月 25 日、国立大学法人広島大学、国立大学法人山形大学、国立大学法人京都大学、国立大学法人千葉大学、JST プレスリリース「光干渉効果を利用し、低コストで有機薄膜太陽電池を飛躍的に高効率化することに成功」、https://www.hiroshima-u.ac.jp/system/files/154137/20201125_pr01.pdf

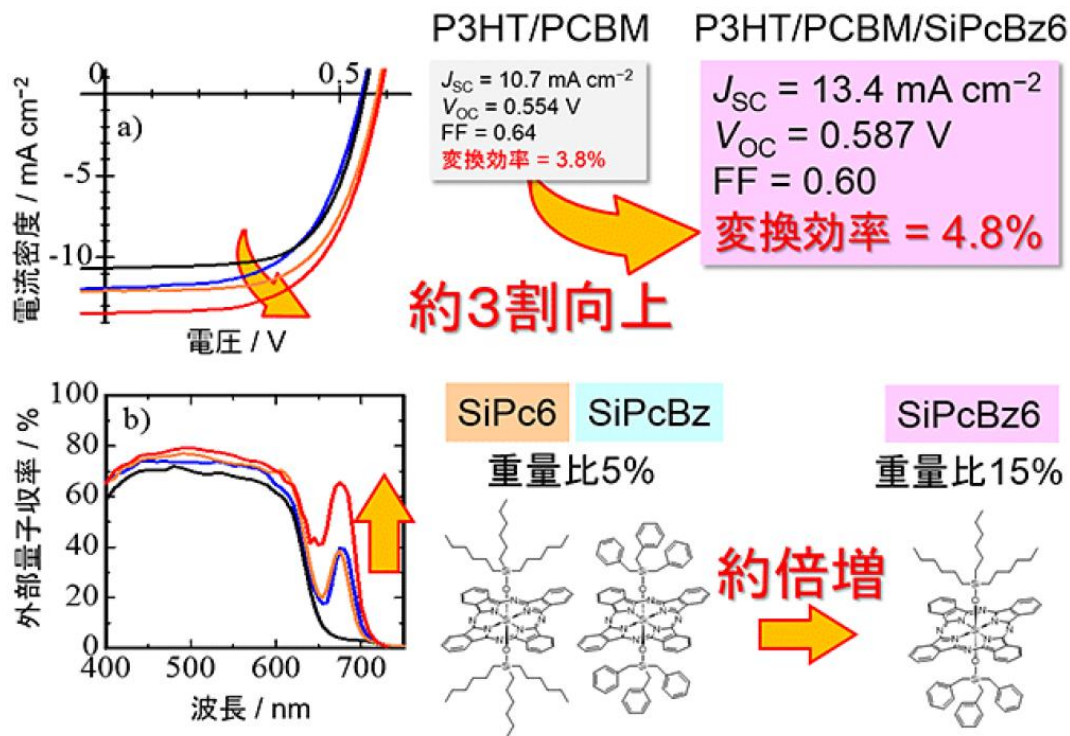


図 2-10 三元ブレンド OPV の発電特性

有機太陽電池に関する基礎的な研究としては、但馬と吉田が共同で効率的な光生成電流に必要な有機半導体のエネルギー差を明らかにした研究成果も注目されている。彼らは異なる分子構造と電子エネルギーを持つ電子供与性と電子受容性の有機半導体を4種類ずつ用いて、合計16個の平面ヘテロ接合構造を持つ有機太陽電池を作製し、材料の電子エネルギーと電流発生効率の相関を系統的に調べ、有機半導体の励起状態と界面での電荷移動状態の間に0.2~0.3eVのエネルギー差があるときに、最も効率的に光を電流に変換できることを見いだした。一方で、これまで重要と考えられてきた電荷移動状態と自由電荷状態のエネルギー差は、電荷生成効率（太陽電池が吸収した光子に対して生成する電子の割合）との明確な相関が見られず、これまでの有機半導体開発の指針に修正を迫るものと考えられている¹⁷。

2.3.3 研究成果の社会・経済への貢献

以下に、研究者本人へのインタビューによって得た情報などを基に、研究成果の社会・経済への貢献について幾つかの事例を示す。

¹⁷ 理化学研究所プレスリリース：「有機太陽電池の駆動に必要なエネルギーを解明 ー有機半導体の効率的な開発へ指針ー」2019年6月7日、https://www.riken.jp/press/2019/20190607_1/

吉田は研究期間中に株式会社エイエルエステクノロジー、アドキャップバキュームテクノロジー株式会社の2社とLEIPSの実用化を進め、既に両社から一体型装置、あるいは既存装置へとりつけるコンポーネントの形で販売している。さらにアルバック・ファイ株式会社も同社の表面分析装置にとりつけるオプションとして、2019年からLEIPSの販売を開始した。国内だけでなく中国や欧州など海外からの引き合いも多い。市販装置の普及に伴い、有機半導体の電子親和力の最も信頼できる測定法としてだけでなく、固体二次電池など新たな応用分野が大きく広がりつつある。現在、海外との共同研究で0.1 eVを超える分解能の改善も進めており、実現すれば応用分野はさらに広がる。固体物質の空準位と電子親和力の標準的な測定法として、今後も広く利用されることが期待できる。

若宮が研究期間中に開発した高純度PbI₂は、2014年10月よりペロブスカイト太陽電池用高純度化試薬として東京化成工業株式会社より市販され¹⁸、溶液の高濃度化が可能で性能の再現性が高い原料として世界中で使われており、高い販売実績がある。

また、若宮はフィルム型PSCの実用化へ向けた研究開発にも積極的に取り組んでおり、JSTのセンター・オブ・イノベーションプログラム(COI)で素材メーカーなど8社と共同で災害時のテント用電源の開発を行った¹⁹。この活動をさらに発展させ、COI参加企業を含む25社で2020年10月1日に「フィルム型太陽電池研究コンソーシアム」を発足し、屋内のセンサ用電源用途を想定してPSC実用化の研究を進めている。

さらに、若宮は京都大学発ベンチャー株式会社エネコートテクノロジーズを2018年1月に設立し、これまでに開発した独自の高純度化材料や塗布法に関する基礎研究の知見を活用したPSCモジュールの試作や、製造販売を進めている²⁰。株式会社エネコートテクノロジーズは国内唯一のPSCの研究開発ベンチャー企業であり、PSCの実用化に向けた若宮の社会的貢献は極めて大きい。

尾坂らが研究期間中に開発した半導体ポリマーは三協化成株式会社に特許実施許諾して製造、サンプルとして提供した。また、中間体化合物は東京化成工業株式会社など2社から試薬として販売している。昨年採択されたJSTの未来社会創造事業で開発した新しい半導体ポリマー材料については、特許を企業と共同出願しており、スケールアップ合成を検討中。この材料を使って太陽電池モジュールの実用化も進めようとしている。

2.3.4 その他の特記すべき事項

本研究領域の研究者35名のうち17名が研究終了後に昇進した。そのうち准教授から教授への昇進が15人となっている(表1-2)。

¹⁸ 東京化成工業株式会社ウェブサイト「ペロブスカイト太陽電池用前駆体ヨウ化鉛(II)精製品」、https://www.tcichemicals.com/assets/brochure-pdfs/Brochure_FF031_J.pdf

¹⁹ 京都大学COI拠点研究推進機構ウェブサイト、拠点概要「災害インフラ」、<http://www.coi.kyoto-u.ac.jp/overview/field3>

²⁰ 株式会社エネコートテクノロジーズウェブサイト、<https://www.enecoat.com/>