

戦略的創造研究推進事業  
—個人型研究(さきがけ)—

研究領域「太陽光と光電変換機能」

研究領域事後評価用資料

研究総括：早瀬修二

2017年2月

## 目 次

1. 研究領域の概要 .....	1
(1) 戦略目標 .....	1
(2) 研究領域 .....	9
(3) 研究総括 .....	9
(4) 採択研究課題・研究費.....	10
2. 研究領域および研究総括の選定について.....	15
3. 研究総括のねらい .....	16
4. 研究課題の選考について .....	17
5. 領域アドバイザーについて .....	18
6. 研究領域の運営の状況について.....	19
7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況.....	26
8. 総合所見 .....	34

## 1. 研究領域の概要

### (1) 戦略目標

本研究領域は、2009年度に文部科学省が設定した戦略目標「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」に基づき立ち上げたもので、取り組むべき研究開発課題の内、太陽光発電技術、特に、次世代太陽電池の提案につながる研究に焦点を当てた。

1. 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」

2. 具体的内容：

#### (1) 本戦略目標の意義

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。

革新的技術戦略を具体化すべく文部科学省が検討会を設置して取りまとめた「今後のナノテクノロジーを活用した環境技術の研究開発の進め方について」（2008年7月）において、大学等の優れた人材を政策的に環境技術開発に誘導することによって、10～15年先を見据えたブレークスルーのための研究開発の必要性が強調されている。また、環境技術の実用化のためには、オールジャパン体制によるプロジェクトを構築するとともに、ファンドの特長を活かした組み合わせによる立体的な研究支援を行う必要性が併せて強く指摘されている。

自然光の中でも太陽光利用技術は、自然エネルギーからエネルギーを取り出す最も有力な手段であり、将来のエネルギー供給源としての期待が大きい。このような認識の下、米国も基礎研究からの強力な研究開発体制（HELIOS プロジェクトなど）で推進しており、太陽電池の世界シェアではドイツが世界首位の座を占めている中、太陽光利用技術は我が国の国益の観点でも、政府を挙げて最優先に取り組むべき環境技術である。

## (2) 具体的な研究開発課題

太陽光利用技術の構築は、地球温暖化を止めることが最大の目的である。したがって、例えば太陽電池を作るために必要な全エネルギーよりも、作製した太陽電池が発電するエネルギーの方が十分大きい太陽電池製造技術を創出することが必要である。この技術を実現することにより、化石燃料を使わずに全世界の電力を太陽光発電で供給でき、二酸化炭素排出抑制に貢献することができる。

太陽電池では、シリコン(結晶とアモルファス)や化合物半導体を用いたものは既に実用化段階にあり、産業界並びに経済産業省や新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトによりシステムの高効率化・低コスト化が推進されている。しかし、効率を維持しながら希少元素であるインジウムを使わない系の探索が求められるなど、挑戦的な課題も多い。一方、有機薄膜太陽電池、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並びに太陽光利用水素生成については、その将来性が大いに期待されているものの、実用化のためにはエネルギー変換効率の大幅改善や耐久性向上などが必須であり、新規材料技術の開拓が強く望まれている。また、新規材料技術に基づく原理解明と新構造の提案がさらなるブレークスルーを誘発すると期待される。このため、光電変換材料・触媒材料・色素材料の開拓、バンド設計、表面・界面制御、理論的な最大効率の検証など、基礎的研究レベルの課題を解決した上で、デバイス化さらにはシステム化へと道筋をつける必要がある。

シリコン系太陽電池・化合物半導体太陽電池と比べて、それ以外の太陽電池は研究の進度に大きな隔たりがあるとはいうものの、太陽光を利用するという見地からは相互補完性を有しており、将来の発展性をより広く確保するためにも複線的な研究開発の推進が必要である。しかし現状においては、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は、市場における普及拡大を目指したコスト低減に力点を置いた研究開発が主に推進され、界面制御、薄膜・結晶成長、新材料開拓といった基盤的研究要素に対する支援が十分なされていない傾向にある。一方、有機薄膜・色素増感型太陽電池、新型高効率太陽電池や、太陽光利用水素生成と発電を同時に実現するようなシステムについては、いまだ市場での普及を考える段階には至っておらず、少なくともエネルギー変換効率の抜本的な向上に資する材料・プロセス・構造の開拓が不可欠である。また、太陽電池技術により培われてきた技術を活用することにより、太陽光エネルギーを積極的に利用した水素生成技術や発電技術において革新的な特性改善を図ることが期待される。

そこで本戦略目標では、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。

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

3. 政策上の位置付け

2007年6月のG8ハイリゲンダム・サミットにおいて我が国は「2050年に温室効果ガス(GHG)排出量の半減を目指す」との声明を先導する役割を果たした。

第3期科学技術基本計画において、『理念2 国力の源泉を創る ～国際競争力があり持続的発展ができる国の実現に向けて～』を実現するための目標として、『目標3 環境と経済の両立ー環境と経済を両立し持続可能な発展を実現 (4) 地球温暖化・エネルギー問題の克

服』が設定されている。

また戦略重点科学技術として、ナノテクノロジー・材料分野において『True Nano や革新的材料で困難な社会的課題を解決する科学技術』の『クリーンなエネルギーの飛躍的なコスト削減を可能とする革新的材料技術』、エネルギー分野では『運輸部門を中心とした石油依存からの脱却』の『太陽光発電を世界に普及するための革新的高効率化・低コスト化技術』としてそれぞれ挙げられている。

総合科学技術会議において取りまとめられた「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」（平成 15 年 4 月）では、地球温暖化対策に関してインパクトの大きい研究開発課題に積極的かつ重点的に取り組むことの重要性を指摘している。さらに、「革新的技術戦略」では「地球温暖化対策技術」の中の「高効率な太陽光発電技術」が選出されており、開発のために必要とされる組織・体制として、産学官連携・府省連携の推進、異業種・異分野融合の促進等が指摘されている。また「環境エネルギー技術革新計画」において、本戦略目標と関連するものとして、「太陽光発電」と「水素生成」が選ばれている。特に、太陽光発電に関する記述のうち「第三世代：多接合化や量子ナノ構造等、新材料・新構造を活用することにより、飛躍的な効率の向上とコストの低減を図る太陽電池」については、本戦略目標の具体的な課題と密接に関連している。水素生成については、ロードマップ中に飛躍的な低価格化を可能とする革新的水素製造技術の一つとして光触媒が記載されている。

また、前述した文部科学省が取りまとめた報告書では、太陽電池をエネルギー創出の代表的環境技術と位置づけ、太陽光を利用し循環する未来型エネルギーフローシステムを提案している。さらに、前述したように4省連携による「太陽光発電の導入拡大のためのアクションプラン」が出されており、文部科学省から太陽光発電に特化した政策を打ち出す重要な時期であるといえる。

#### 4. 本研究事業の位置づけ、他の関連施策との切り分け、政策効果の違い

本研究事業は、太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽光発電技術、太陽光エネルギーにより化学燃料を生成する水素生成技術、電気エネルギーと化学燃料を同時に生成する技術等を対象とする。

科学技術振興機構（JST）の研究開発戦略センターは2007年12月にワークショップを開催し、従来文部科学省及びJST、並びに経済産業省及びNEDOが取り組んできた領域を整理した。

このうち、太陽光発電については、デバイスの効率向上・コスト低減等の具体的な数値目標を伴う課題については経済産業省・NEDOを通じた公的な技術開発資金が投入されているが、将来の高効率・低コスト太陽電池技術を実現するためには、デバイス物理・材料化学や挑戦的な新規材料探索を含む基礎・基盤研究をさらに加速する必要がある。例えば、NEDOプロジェクト「革新的太陽光発電技術研究開発」は、革新型太陽電池国際拠点整備事業に基づき2050年を目指した長期的視点で開発目標を立て、それに向けた7年計画事業を推進

しているが、これらの基礎・基盤研究を大学や独立行政法人を中心に開発することが望まれている。

科学技術政策担当大臣や総合科学技術会議有識者議員による、2008 年度概算要求における科学技術関係施策の優先度判定等(2007 年 10 月 29 日)の中で、NEDO の新エネルギー技術研究開発(太陽光・風力)について、「次世代技術の課題、特に材料開発などの基礎・基盤研究の推進にあたっては、積極的に文部科学省や大学と連携をとり、普及促進への制度整備や標準化等も検討しながら、今後も我が国が世界をリードし続けるためにも、国際研究拠点を整備することが重要である。」と文部科学省及び JST、並びに経済産業省及び NEDO の連携の必要性やその意義を指摘している。

なお、戦略目標で太陽光利用を一部に含むものとして、「環境負荷を最大限に低減する環境保全・エネルギー高度利用の実現のためのナノ材料・システムの創製」がある。しかしながら、これに基づいて行われた JST の CREST「エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製」は全ての研究課題を 2007 年度内に既に終了している。また、この後に設置された戦略目標「持続可能な社会に向けた温暖化抑制に関する革新的技術の創出」を受けて、2008 年度から進められている CREST「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」は、二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出を目標とするもので、二酸化炭素削減の手段の一つとして太陽光利用を含みうるものである。この研究領域の中で、2008 年度には軽量・安価なプラスチック太陽電池を開発目標とした「有機薄膜太陽電池の高効率化に関する研究」が採択されているが、あくまで炭素削減の手段という広範な課題の一環としての太陽電池研究であり、しかも有機薄膜太陽電池の高効率化に焦点を絞った研究課題となっており、太陽電池の基盤技術創成に十分とはいえない。リソースの有効配分の観点からも、2009 年度から本戦略目標に太陽電池に関する課題を集め、費用対効果を最大限に高めることが望まれる。

また、物質・材料研究機構で進められている「低コスト次世代太陽電池の高効率化基礎研究」についても、色素増感型太陽電池に特化した研究課題であり、異分野融合による革新的技術の創出の観点からは十分な体制であるとはいえない。さらに、2009 年度から実施予定の「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発」は、前述した CREST「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」と同様に二酸化炭素削減を目標とし、太陽電池を課題として含むものの、課題解決型の研究拠点の構築が主目的となっており、本戦略目標とは施策の目的が異なる。

次世代太陽電池の研究開発は、欧米との競争も激化しており、革新的技術戦略を着実に実行し、我が国の国際競争力を維持・向上する観点からも、政府を挙げて重点的に研究開発を実施することが重要であり、例えば大規模発電はシリコン薄膜型で実現し、小規模特殊用途発電は新型太陽電池により実現するなど、次世代の太陽電池の地位を占めるに相応しいと有望視される複数の型式の動作原理を、その利用形態を構想しつつ科学的に徹底的に解明することが極めて重要な課題となる。ドイツの施策などにより、Q-Cells AG 社が日

本のシャープ社を抜き太陽電池生産量で首位となった。基幹技術として位置づけられる太陽電池技術について、国の施策として普及を促進するための基礎・基盤技術を創出することが重要である。

#### 5. 将来実現しうる成果等のイメージ

エレクトロニクス分野の急成長を背景に、電力消費量も世界的に増大していることは周知のとおりである。現状として、世界の年間電力消費量 17 兆 kWh に対して、日本ではその 5%程度にあたる年間 9,000 億 kWh の電力を消費しており、年間 4 億トンもの二酸化炭素を排出している。今後さらに電力消費量は増大し、2020 年には世界の年間電力消費量は 25 兆 kWh となることが予想されている。前述した政府の「低炭素社会づくり行動計画」は国内での到達目標をうたったものであり、世界規模での温暖化抑制策を文部科学省として実施すべきである。

この観点から、例えば発電効率 20%の太陽電池を用いた場合、25 兆 kWh を供給するためには日本の国土の 30%以上の面積 (12 万 km<sup>2</sup>) が必要となる。このように、全世界の電力を供給しようとすると比較的広い面積の太陽光発電所を世界に分散配置することになる。したがって、太陽電池に使用するすべての資材・資源が安定に確保できることが絶対必要条件となる。結果として、可能な限り薄く、かつ変換効率の大きい太陽電池であることが求められる。しかし、シリコンでも単結晶シリコンでは 30%近い変換効率は得られるが、光の吸収係数が小さいために厚さが 100  $\mu$ m 程度必要となり、全世界に電力を送電するために 8 万 km<sup>2</sup> の太陽電池を作ると、1,800 万トンを超えるシリコンが必要となるため全く現実的でない。現在シリコン集積回路が世界的に大量に使用されているが、毎年生産されるシリコン結晶は数万トンである。アモルファスシリコンは光の吸収係数が大きく、0.5  $\mu$ m 程度の厚さで効果が得られるため、資源的には圧倒的に有利である。しかし、現状のアモルファスシリコンの太陽電池の変換効率は 10%に満たない状況にある。製造されているアモルファスシリコンに欠陥が多すぎるために、太陽光により励起された電子・ホールが発電に寄与する前に欠陥で消滅してしまうためである。欠陥の無い超高品質のアモルファスシリコン太陽電池を極めて高い生産性の下で製造するために、新しい製造装置、新しい製造プロセスや新しい素材・材料の創出が必須である。報告されている理論的検討によると、欠陥の無い超高品質のアモルファスシリコンの太陽電池ができれば、変換効率は 20%を超えるはずである。そうすると、全世界に電力を送電するために必要な太陽電池を製造するために必要なシリコン量は 14 万トンに減少し、きわめて現実的である。その電力を活用した海水の淡水化が実現すれば、世界の砂漠の緑化に寄与し、食糧危機の困難に解を与えられる。さらにこの電力で充電して走る電気自動車を普及させれば、二酸化炭素をまったく発生することがなく、世界のすべての大都市はクリーンできわめて静かな都市になる。

シリコン太陽電池による大規模発電に加え、有機薄膜型や量子ドット型などの発電効率 50%を超える小型・軽量の新型太陽電池を実現することにより、太陽光のみならず、蛍光

灯などの微細光で駆動する携帯型電子機器が実現される。さらに、太陽光エネルギーを利用した高効率水素生成技術やエネルギー生成技術の開発により、将来の太陽電池による発電システムと相互補完的な発電システムが実現できる。

以上のような技術を実現することにより、文部科学省が取りまとめた「今後のナノテクノロジーを活用した環境技術の研究開発の進め方について」(2008年7月)の中で述べられている、太陽光を利用した未来型エネルギーフローシステム構築への貢献も期待される。このエネルギーフローシステムは、環境負荷を最小化するため、太陽を中心とした自然エネルギーを電気エネルギー等に変換する「創エネルギー」と、二次電池や超伝導技術等を活用したエネルギー損失の少ない「貯蔵・輸送」、燃料電池等による二酸化炭素排出を低減した「エネルギー利用」、断熱材料の開発等による「省エネルギー」から構成される。この中で、太陽電池は、「創エネルギー」の代表的環境技術と位置づけられ、水素生成技術は、「貯蔵・輸送」のキーテクノロジーとなることが期待される。

また、我が国が世界に先駆けて太陽光エネルギーから二次エネルギー・燃料へ低コストで転換する技術を開発することは、2050年での温室効果ガスの排出量の半減(G8ハイリグendum・サミット)に大きく寄与するのみならず、地球温暖化対策と経済成長を同時に実現する低炭素社会への転換を推し進めることにつながる。ひいては、我が国の新エネルギー関連産業の国際競争力が強化され、海外からの輸入に依存せず、持続可能で、環境にも配慮したエネルギー・システムが確立することにより、日本の経済の発展並びに環境、安全保障及び生活水準の維持に寄与できる。

## 6. 科学的裏付け

太陽電池については、結晶シリコン系などを中心に世界中で実用化が進んでいる。我が国は技術レベル、普及率共に世界トップであったが、近年はドイツの先導的な振興策によって普及率は逆転された状況である。シリコン系については市場拡大をねらって各国の熾烈な追い上げを受けるものと考えられる。また新型太陽電池においても色素増感型ではスイスなども高いレベルにあり、有機薄膜型では米国が突出している状況である。高効率低コストの太陽電池技術の開発のためには、山積する基礎的研究課題を解決する必要がある。既にシステム化が進みつつあるシリコン系及び化合物系太陽電池においても、さらなる効率改善には基礎基盤に立ち戻って界面制御・薄膜成長に関する研究や光劣化機構の解明に関する研究を進めることが求められている。また、効率以外の数値目標による新材料開拓やインジウム等の希少元素を用いない系の開拓も強く求められている。有機薄膜型太陽電池では、フラーレンをN型分子に適用したときのような、新材料の出現による変換効率の大幅向上が期待されており、原理解明と新構造の提案による大幅な発電効率の向上と色素材料の長寿命化とともに、それらを低温・大面積で作製可能とする新規なプロセスの開拓、また有機PN活性層の高機能化(N型分子探索、PN層作製に向けた自己組織化プロセスの開発など)やPN活性層における伝導輸送現象の解明などの課題がある。また、薄膜型シリコ

ン太陽電池における光劣化機構の解明や単結晶シリコン型太陽電池でのシリコン節減化の検討などにも取り組む必要がある。

太陽光による水素生成についても日本は世界のトップレベルにあるが、現在の光エネルギー変換効率は1%程度であり、この変換効率の大幅な向上が大きな課題である。新規ナノ触媒の設計と生成の詳細解明などが必須検討項目になる。

「科学技術・研究開発の国際比較 2008年版（ナノテクノロジー・材料分野）」（2008年2月 JST 研究開発戦略センター）において、「2.2.3 エネルギー・環境分野の2.2.3.2 中綱目ごとの比較の(1)太陽電池及び(3)太陽光による水素発生」において、それぞれの国内及び国外における研究開発動向が記述されている。なお、前掲の同研究開発センターのワークショップ（2007年12月）において、色素増感型太陽電池と太陽光水分解による水素生成の両分野は、よって立つ基本原理（正負キャリア励起・電荷分離・有機／無機界面など）を共有し、両分野の研究者が共同で課題に取り組めば共に進展が期待されるにもかかわらず、我が国ではこれまで両分野の融合の場が殆どないことが明らかになった。本研究事業では、この両分野に共通する課題を積極的に採用するなど、ナノテクノロジー・材料分野を中心とする、化学、物理学、電子工学など広い分野の研究の潜在能力を結集することでインタラクティブイノベーションを引き出すことを目指す。

ここで、本戦略目標の中心的研究課題の一つである有機薄膜太陽電池の日本国内の研究者人口は現時点で欧米よりかなり少ないが、有機ELディスプレイ、電界効果デバイスといった関連デバイス基礎分野には産業界を含め多数の研究者が存在する。本戦略目標の設定により、これら他分野に偏在している関連研究者からの提案をエネルギー分野に戦略的に誘導できる可能性が高い。

## 7. 留意点

本戦略目標の真の目的とはインタラクティブイノベーションの創出にあり、何よりも研究総括の先見性あるリーダーシップと柔軟な領域運営が強く求められる。

4. に記した総合科学技術会議の指摘も踏まえ、本戦略目標の推進にあたっては、文部科学省及びJST、並びに経済産業省及びNEDOを含んだオールジャパン体制による一体的な取組が望まれる。また、研究プロジェクトとしては、シーズを様々な応用に発展させるという形ではなく、システム応用の視点から課題解決をはかるものを重視する。新材料を戦略的な探索により見だし、新材料・新構造を用いたデバイスの動作メカニズムを検証するところまでを対象とする。

全体を俯瞰できる研究総括の強力なイニシアチブの下、互いのグループ間の連携を密にし、共通インフラも使いながら、グループ内での明確な役割分担、理論と実験の融合、人材の交流等の研究投資を有効に成果につなげるための具体的システムが必要となる。日本では共同で研究を進める施設の整備が十分には整っていないことから、本戦略目標に関わるプロジェクトは、ナノテクノロジーネットワークプロジェクトと有効に結び付いて推進

されることが望まれる。

## (2) 研究領域

「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。

## (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)

## (4) 採択研究課題・研究費

(2016年11月30日現在)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究領域終了時 下段：応募時	研究課題	研究費※ (百万円)
2009年度 (1期生)	市川結	信州大学大学院総合工学系 研究科 准教授 信州大学繊維学部 准教授	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	41
	大北英生 ※3	京都大学大学院工学研究科 准教授 同上	高分子太陽電池の新発電 原理の分子論的探求	114 (5年型)
	大平圭介	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 学マテリアルサイエンス研 究科 助教	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	39
	岡本晃一	九州大学先導物質化学研究 所 准教授 科学技術振興機構 さきがけ 研究者	プラズモニクスを利用し た高効率・超薄膜太陽電池	45
	佐伯昭紀	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 助教	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	41
	沈 青	電気通信大学大学院情報理 工学研究科 教授 電気通信大学大学量子・物質 工学科 助教	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	46
	當摩哲也	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 産業技術総合研究所太陽光 発電研究センター 研究員	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	101 (5年型)

	橋泰宏	ロイヤルメルボルン工科大学工学研究科 准教授 大阪大学大学院工学研究科 講師	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	49
	田部勢津久	京都大学大学院人間・環境学研究科 教授 同上	量子切断・波長変換による太陽光発電高効率化	71 (5年型)
	太野垣健	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 京都大学化学研究所 助教	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	35
	江東林	北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授 自然科学研究機構分子科学研究所 准教授	シート状高分子を用いた光エネルギー変換材料の創製	40
	野瀬嘉太郎	京都大学大学院工学研究科 准教授 同 助教	カルコパイライト型リン化合物を用いた新規太陽電池の創製	51
	丸本一弘	筑波大学数理物質系 准教授 同上	有機薄膜太陽電池の劣化機構のマイクロ解明と耐久性向上	41
	吉田弘幸	千葉大学大学院融合科学研究科 教授 京都大学化学研究所 助教	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	47
2010年度 (2期生)	家裕隆	大阪大学産業科学研究所 准教授 同上	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	40
	梅山有和	京都大学大学院工学研究科 准教授 同 助教	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	40
	尾坂格	広島大学大学院工学研究院 教授 同 助教	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	53

	小堀康博	神戸大学大学院理学研究科 教授 静岡大学理学部 准教授	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	46
	田中徹	佐賀大学大学院工学系研究 科 教授 同 准教授	高不整合材料による中間 バンド太陽電池の創製	40
	東原知哉	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 東京工業大学大学院理工学 研究科 助教	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	42
	藤原航三	東北大学金属材料研究所 准 教授 同上	Si 多結晶インゴットの組 織制御技術の開発 (2011 年度中断※1)	<1
	村中厚哉	理化学研究所 内山元素化学 研究室 専任研究員 同上	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	40
	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 同上	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	63 (5 年型)
	若宮 淳志 ※2	京都大学化学研究所 准教授 同上	DFT 計算を駆使した $\pi$ 軌 道の精密制御に基づく有 機色素材料の開発	102 (5 年型)
2011 年度 (3 期生)	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 同上	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	41
	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 同上	レアメタルフリー新型化 合物系薄膜太陽電池の開 発	41
	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 同上	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	40

片山哲郎	関西学院大学大学院理工学部化学課 助教 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	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	40
沓掛健太郎	東北大学金属材料研究所 助教 同上	機能性結晶粒界による超高品質シリコン結晶の実現	44
久保若奈	東京農工大学工学府先端電気電子部門 特任准教授 理化学研究所基幹研究所特別研究員	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	40
黒川康良 ※2	名古屋大学大学院工学研究科 講師 東京工業大学大学院理工学研究科 助教	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	100 (5年型)
櫻井岳暁	筑波大学数理物質系 准教授 同 講師	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	40
但馬敬介 ※2	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 東京大学大学院工学系研究科 講師	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	98 (5年型)
藤沢潤一	群馬大学大学院理工学府分子科学部門 准教授 東京大学教養学部附属教養教育高度化機構 特任准教授	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	38
宮寺哲彦 ※3	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太陽光発電工学研究センター 研究員	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	40
綿打敏司	山梨大学大学院総合研究部 准教授	赤外線集中加熱による太陽電池用単結晶シリコン	40

		同 医学工学総合研究部 准 教授	の作製	
			<b>総研究費</b>	1829

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

※2 2010年度採択の柳田研究者、若宮研究者、2011年度採択の黒川研究者、但馬研究者は、5年型として採択した。

※3 2009年度採択の大北研究者、2011年度採択の荒木研究者、宮寺研究者は、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。

## 2. 研究領域および研究総括の選定について

以下の判断に基づいて研究領域と研究総括が選定された。

### (1) 研究領域の選定について

2009年度は、同じ戦略目標「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」の下に、3つの研究領域が誕生した。

#### 1 「太陽光と光電変換機能」(さきがけ)

#### 2 「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」(CREST)

#### 3 「光エネルギーと物質変換」(さきがけ)

これらの研究領域は、共通点として、太陽電池をはじめとした太陽光利用技術の研究開発を、関連する化学、物理学、電子工学など幅広い分野の研究の潜在能力を結集することでインタラクティブイノベーションを引き出しつつ推進することを目指した。また、従来技術の単なる延長ではない、基礎的な知見の蓄積と理論に裏付けられた新材料、新構造、新原理の探求に挑戦し、将来の社会システムに貢献する革新的なエネルギー技術の創出を目指した研究を対象とした。

次世代太陽電池の実現には、実用化段階にあるシリコン系、化合物系に加えて、特に基礎研究段階にある、有機薄膜系、色素増感系、量子ドット系の各分野において、既存分野にとらわれない個人研究者の斬新なアイデアと異分野融合に基づくブレークスルーが必須であるとの考えを基に、さきがけ「太陽光と光電変換機能」研究領域を選定した。

一方で、CREST「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」研究領域は、同じ太陽電池に主眼を置きつつも、太陽エネルギーを利用した独創的クリーンエネルギー技術を、多岐に渡る視点から研究するために、異分野の研究者が一つの研究チームとして密接に融合して創造的な研究開発を行うことを目指した。そして、さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域は、太陽電池のさらに次の技術とされる、太陽光エネルギーを水素や他の有機化合物など化学エネルギーに変換する技術を、個人研究者の独創的で新しい発想によって、挑戦的に推進することを目指してさきがけとして選定した。

以上3つの研究領域は、研究領域間での有機的な連携が期待されるとともに、従来より行われている経済産業省・NEDOによる研究開発プログラムと相互に補完し合うものとして考慮された。

### (2) 研究総括の選定について

早瀬修二氏は、(株)東芝・研究開発センターにおいて、電子材料、デバイス、燃料電池、有機EL分野における研究開発に長年携わり、多くの研究業績を上げている。また2001年からは九州工業大学大学院生命体工学研究科教授として、大学教育、若手研究者育成に注力すると共に、有機系太陽電池分野、特に日本では研究者数の少ないとされていた色素増感太陽電池分野で先駆的な研究を行ってきており、当該分野の第一人者である。これらの卓越した研究成果により、全国発明表彰(発明協会会長賞)、日本化学会化学技術賞、電気

工業技術功績者表彰を受賞している。

上記の経験から、早瀬氏は、研究領域の運営に必須となる、シリコン系、化合物系から有機系、量子ドット系にまで至る広範な研究分野をカバーすることのできる実績・見識・洞察力を有していると見られ、また、研究領域が最終的に目指すべき目標を明確に意識しつつ、個々の基礎研究に対して高い見識を持って研究マネジメントを行うための十分な経験・能力を有していると見られる。さらに、本領域では、アカデミア出身の研究者だけでなく産業界出身の研究者の参加を期待しており、早瀬氏は、産業界・アカデミア双方での十分な研究経験を有していることから、各々がおかれている立場や特徴の違いを良く理解しつつ、双方の長所を最大限に引き出して異分野融合を促進するような領域運営を行うことが期待できる。

これらを総合すると、早瀬氏は、さきがけ研究領域の研究総括として適任と思われ、本研究領域について先見性および洞察力を有すると同時に、適切なマネジメントを行う経験、能力を有し、あわせて関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行いうる人物と見られる。

### 3. 研究総括のねらい

太陽電池は将来のエネルギー供給源として大きく期待されている。現在シリコン系太陽電池、化合物系太陽電池が実用化され、大きな市場を形成しつつある。今後、更なる高効率化や原料ソースを多様化しなければならないという観点から、高効率、長寿命、低コストを達成する次世代の太陽電池に対する期待がますます強くなってきている。現在、色素増感系、有機薄膜系、量子ドット系太陽電池等の次世代太陽電池の実現を目指した研究が個別に行われているが、高効率化、長寿命化、低コスト化を達成して実用化につなげるためには、既存の研究に斬新なアイデアを加える必要があり、また、まったく新しい原理に基づいた太陽電池の創出のためには、理論（計算）—新材料合成—デバイス作製プロセス—新デバイス構造—デバイス解析に関する研究が融合し、一つの目的のために結集する必要がある。本領域では、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。

高効率化を図るためには光制御—光吸収—(エキシトン拡散)—電荷分離—電荷収集のすべての過程に高効率化が必要である。例えば、有機系太陽電池（含色素増感太陽電池）の効率を飛躍的に高めるためには、近赤外、赤外領域の光電変換効率を飛躍的に向上する必

要があり、このためには酸化物半導体や長波長色素、有機半導体の伝導帯準位や HOMO-LUMO コントロール、電子収集ロスが少ないハイブリッド、タンデム構造の提案、電荷収集プロセス、光閉じ込め構造の提案、およびこれらを作製するためのプロセス研究等が必要になる。電荷分離効率を上げるためには、画期的な界面制御技術、界面解析技術、結晶化技術、新材料開拓が必要である。既に実用化されているシリコン系、化合物系太陽電池の領域においても、高効率化のための新しい手法、例えば、界面制御技術、結晶化技術、新デバイス構造、塗布による新プロセスなどは本領域の対象とする。

研究領域発足時のビジョンを明確に進めつつ、次世代太陽電池の研究動向に注目し、新技術の台頭を研究に柔軟に取り入れられるような研究領域運営を目指す。

#### 4. 研究課題の選考について

本研究領域では、以下の方針に従って研究課題の選考を行った。

- ・戦略目標の達成に貢献するものであること。
- ・研究領域の趣旨に合致したものであること。
- ・提案者自身の着想であること。
- ・独創性を有していること。
- ・研究構想の実現に必要な手掛かりが得られていること。
- ・今後の科学技術に大きなインパクト（新技術の創出、重要問題の解決等）を与える可能性を有していること。
- ・研究が、個人研究を特徴とするさきがけ研究として適切な実施規模であること。
- ・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こと。
- ・「提案する研究が、将来の太陽電池のどの部分に、どのように貢献できるか、具体的に説明できるかどうか」が重要な選考基準となる。

各年度において、以下のような方針で審査を進めた結果、全体として、当初計画した太陽電池研究分野とその周辺技術の研究課題を網羅できた。

2009 年度は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して募集した。面接選考に際しては、研究構想が本領域の趣旨にあっていること、研究計画に高い独創性と新規性を有し、挑戦的であり、また単なる基礎研究ではなく、提案者自身が将来の太陽電池のどこにどのように役立つ目的の基礎研究なのかを理解していることを重視して厳正な審査を行った。

2010 年度は次世代太陽電池に画期的なインパクトを与える新材料の研究開発に関する提案を慎重に審査した。

2011 年度は次世代太陽電池に画期的なインパクトを与える新材料とともに新デバイス構造の研究開発に関する提案を慎重に審査した。

上記の方針の下に 3 回募集・選考を行った結果、有機太陽電池分野の優れた提案が多く提案なされたが、採択課題としては、広い分野における研究課題 36 件をバランスよく採択できた。(詳細は 7. 参照)

- ・有機太陽電池 (新材料合成) 5 課題
- ・有機太陽電池 (新デバイス開発) 6 課題
- ・有機太陽電池 (界面制御技術の開発) 5 課題
- ・無機太陽電池 (シリコン系) 4 課題
- ・無機太陽電池 (化合物) 4 課題
- ・量子ドット太陽電池 3 課題
- ・新技術に基づく太陽電池 4 課題
- ・新計測技術 5 課題

## 5. 領域アドバイザーについて

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。

表 1 領域アドバイザーリスト

領域アドバイザー名	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～
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～
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～
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～
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～
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～
清水正文	エネルギー・環境研究所	代表	2009 年 6 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～
中嶋一雄	FUTURE-PV Innovation 郡山センター	チームリーダー	2009 年 6 月～
錦谷禎範	JX 日鉱日石エネルギー(株)研	エグゼクティブリ	2009 年 6 月～

	究開発本部中央技術研究所	サーチャージャー	
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～
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～
藤平正道	東京工業大学	名誉教授	2012年1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～

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。

## 6. 研究領域の運営の状況について

### (1) 研究総括の研究領域運営方針や研究領域のマネジメントについて

本研究領域では次世代の革新的新太陽電池創成への種を提案し、それを実証するという研究ベクトルをそろえた目的基礎研究型の運営を行った。さきがけは本来若手研究者を中心とした個人研究であり個々の研究の充実が重要であるが、本研究領域では材料系、新計測技術系、デバイス評価系等の異分野の研究者をバランスよく採択し、これら異分野の若手研究者間の専門性の欠如を相補的にカバーできる研究ネットワーク作りに注力し、シナジー効果を発揮できるような運営を積極的に進めた。

1) 研究者、領域アドバイザー等、領域関係者が全員参加する領域会議（年2回開催）で若手研究者の発言を促すとともに、各自の研究進捗発表に加えて、若手研究者が発言しやすい雰囲気を作り、若手研究者の議論が活発になる工夫を行った。研究者は一つの研究に集中しがちなため、視野を広くし太陽電池全体をよく理解できるように、各太陽電池分野での現状と問題点や研究動向に関する特別講演、特にどのように太陽電池が実用化されているか、どのようなシステムの中で動いているかを実体験するための見学会を企画した。

2) 外部に対するさきがけ研究成果の発表を促した。

3) 一般社会に向けたアウトリーチ活動を積極的に行った。

4) 研究領域内特別プロジェクト「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」を企画・推進した。

詳細は、以下のとおり。

#### 1) 領域会議における工夫など

「太陽光と光電変換機能」領域のさきがけ研究成果を大きくしていくには、各研究者の

強みを活かした連携を有効に進めることが大事であると考え、さきがけチーム力向上の取り組みを意識して、領域会議プログラムを企画・実施した。

- ・口頭発表における活発な質疑応答時間の確保
- ・ポスター発表の掲示設定の工夫
- ・懇親会後のポスター掲示の場での交流会
- ・本会議終了後の「ナイトセッション」において、研究討論の機会を提供
- ・さきがけ研究者の希望を織り込んだ企画の実施

その結果、さきがけ研究者間の連携の輪が拡大してきた。(具体例は7. に記載)。

更に、太陽電池研究の理解を深めるために、領域会議のプログラムで「領域アドバイザーによる特別講義」、「太陽光発電関連施設の見学会」、ならびに「太陽電池研究の特別講演」を企画実行することにより、異分野から参画している「さきがけ研究者」が次世代太陽電池について理解を深め、研究推進に資することを期待して継続的に実施した。たとえば、第9回では、CREST「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」(以下、CREST「太陽光」という。)研究領域の研究代表者2名を招き、研究交流の場を設けた。

#### 【領域会議の特別企画】

①第1回領域会議(2010年1月21~22日@別府市)

小長井領域アドバイザー『太陽電池開発の現状と将来展望 2020年、2030年、2050年を目指して』

吉川領域アドバイザー『有機薄膜太陽電池の現状と将来展望』

②第2回領域会議(2010年5月17~18日@つくば市)

錦谷領域アドバイザー『有機太陽電池の高効率化に向けた新展開』

近藤領域アドバイザー『薄膜シリコン太陽電池の基礎と将来展望』

見学会：産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター (日本でトップクラスの太陽光発電研究施設と耐久性実証実験設備に関する知見を得るため)

③第3回領域会議(2011年1月17~19日@北杜市)

平本領域アドバイザー(CREST「太陽光」研究代表者)『有機薄膜太陽電池の基礎』

櫛屋領域アドバイザー『CIS系薄膜太陽電池の技術開発の歴史、商業化動向および今後の課題』

見学会：北杜サイト(NEDO大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究施設)

(メガソーラー太陽光発電設備に関する知見を得るため)

④第4回領域会議(2011年6月8~10日@姫路市)

韓領域アドバイザー(CREST「太陽光」研究代表者)『色素増感太陽電池の高効率化研究について』

見学会：三洋電機加西グリーンエナジーパーク

(最先端のシリコン系太陽電池作製工場見学のため)

⑤第5回領域会議(2012年1月16~18日@福岡市)

産業技術総合研究所 増田淳研究体長『太陽電池モジュールの信頼性』

岡田領域アドバイザー『量子ドット太陽電池の現状と将来展望』

見学会：「太陽電池パネル試作棟及び太陽電池パネル屋内外評価設備」産業技術総合研究所  
太陽光発電工学研究センター九州センター（日本でトップクラスの耐久性実証実験設備に  
関する知見を得るため）

⑥第6回領域会議(2012年6月18～20日@甲府市)

清水領域アドバイザー『次世代太陽光発電システムの課題と展望』

見学会：東京電力米倉山太陽光発電所

（メガソーラー太陽光発電設備に関する知見を得るため）

⑦第7回領域会議(2012年12月18日@東京都)

（第1回研究成果報告会と継続開催し、短縮日程で実施した）

⑧第8回領域会議(2013年6月10～12日@宮古島市)

（メガソーラー太陽光発電設備に関する知見を得るため）

宮古島市 大金課長『「環境モデル都市宮古島」の取組について』

琉球大学 千住智信教授『離島における再生可能エネルギーの有効活用について』

早瀬研究総括『アドバンスDSC研究紹介』

見学会：宮古島メガソーラー実証研究設備、日本ウェザリングテストセンター宮古島試験  
場、地下ダム資料館

（太陽電池耐久性実施試験に関する知見を得るため）

⑨第9回領域会議(2013年12月10～11日@府中市)

大阪大学 岡本博明教授（CREST「太陽光」研究代表者）『薄膜シリコン系太陽電池研究開発  
を巡って』

奈良先端科学技術大学院大学 山田容子教授（CREST「太陽光」研究代表者）『革新的塗布型  
材料による有機薄膜太陽電池の構築』

桐蔭横浜大学 宮坂力教授『躍進するペロブスカイト系有機ハイブリッド太陽電池の開発と  
課題』

⑩第10回領域会議(2014年5月19～21日@宮崎市)

宮崎大学 西岡賢祐准教授『集光型太陽光発電』

見学会：

・ソーラーフロンティア（株）国富工場（宮崎県東諸県郡国富町田尻）

・宮崎大学 太陽光発電プロジェクト施設（宮崎大学 木花キャンパス）

（最先端の化合物系太陽電池作製工場見学、および日本最大集光型太陽電池見学のため）

⑪第11回領域会議(2015年1月15日@東京都)

（第3回研究成果報告会と継続開催し、短縮日程で実施した）

⑫第12回領域会議(2015年5月22日～23日@東京都)

・H27年度成果報告会（非公開）（2016年2月15日@東京都）

総括・領域アドバイザーによる講評と評価アンケート実施

⑬第 13 回領域会議/H28 年度成果報告会合同会議(2016 年 11 月 26 日@東京都)

総括・領域アドバイザーによる講評と評価アンケート実施

## 2) 外部への研究成果発信

i) 本研究領域が主催する公開シンポジウムを開催、さきがけ研究成果の発表の場を設けた。

- ・ 第 1 期生の研究成果報告会(2012 年 12 月@アキバホール)
- ・ 第 2 期生の研究成果報告会(2013 年 12 月@秋葉原 UDX ギャラリーネクスト)
- ・ 第 3 期生の研究成果報告会(2015 年 1 月@東京大学弥生講堂)

ii) 研究領域として、日本学術振興会産学協力研究委員会主催の第 175 委員会シンポジウムへ参加し、さきがけ研究成果の発表を促した。発表件数は以下のとおり

なお、第 8 回及び第 9 回シンポジウムにおいて、CREST「太陽光」との合同ポスターセッションを設けた。

- ・ 第 7 回『次世代の太陽光発電システム』シンポジウム(2010 年 7 月@北九州市):7 件
- ・ 第 8 回『次世代の太陽光発電システム』シンポジウム(2011 年 6 月@岐阜市):12 件
- ・ 第 9 回『次世代の太陽光発電システム』シンポジウム(2012 年 5 月@京都市):27 件
- ・ 第 10 回『次世代の太陽光発電システム』シンポジウム(2013 年 5 月@金沢市):11 件
- ・ 第 11 回『次世代の太陽光発電システム』シンポジウム(2014 年 7 月@宮崎市):15 件

iii) 国際会議において、さきがけ研究成果を発表。発表件数は以下のとおり。

- ・ 再生可能エネルギー国際会議 RE2010(2010 年 6 月@横浜市):8 件

※本研究領域のセッションを設けた。

- ・ 第 21 回太陽光発電国際会議 PVSEC21(2011 年 11 月@福岡市):20 件
- ・ 再生可能エネルギー国際会議 RE2014(2014 年 7 月@東京都):17 件
- ・ 第 6 回太陽光発電世界会議 WCPEC-6 サテライトミーティング(2014 年 11 月@京都市):8 件

※研究領域が主体となり JST さきがけ「Perovskite Solar Cells」(ペロブスカイト型太陽電池)セッションを開催。

iv) 光エネルギー関連の他の JST さきがけ研究領域と連携して合同シンポジウムを開催し、研究交流の場を設けた。

- ・ さきがけ 3 研究領域合同国際シンポジウム(2011 年 3 月@横浜市):震災のため中止

※さきがけ研究領域:「光の利用と物質材料・生命機能」、「光エネルギーと物質変換」

- ・ さきがけ 4 研究領域合同国際シンポジウム(2012 年 3 月@横浜市):28 件

※さきがけ研究領域:「光の利用と物質材料・生命機能」、「光エネルギーと物質変換」、「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」

v) 「次世代太陽電池研究会」の開催(研究者主導、非公開)

本研究会では、さきがけの研究テーマに限らない、次世代太陽電池について多様な視点

から深い議論を行うことで、研究者間の連携を深めるとともに、各自のさきがけ研究の飛躍的な発展を目指した。研究者が毎回、企画を提案し、研究総括の意見を踏まえて決定した。各会の発表件数、参加人数は以下のとおり。

・第1回次世代太陽電池研究会(2011年7月@京都市):2件、10名参加

2期生・若宮研究者「色素増感太陽電池を指向した分子設計」

1期生・野瀬研究者「リン化合物を用いた化合物太陽電池の可能性」

・第2回次世代太陽電池研究会(2012年1月@嬉野市):3件、29名参加

2期生・藤原研究者「Si多結晶の融液成長について」

2期生・梅山研究者「有機太陽電池光活性層材料の開発」

3期生・板垣研究者「窒素添加結晶化法による高品質酸化亜鉛薄膜の作成とその応用」

・第3回次世代太陽電池研究会(2013年8月@京都市):4件、50名参加

招待講演:ペクセル・テクノロジーズ(株)小島陽宏氏「有機無機ペロブスカイト結晶を用いた光電変換デバイスの構築」、御國色素(株)瓦屋正英氏「有機vs無機～塗料の世界から～」、兵庫県立大学 伊藤省吾 准教授「ペロブスカイト太陽電池の最前線」

1期生・田部研究者「機能の宝庫:ペロブスカイト結晶化学の基礎と生成条件」

・第4回次世代太陽電池研究会(2014年1月@金沢市):6件、25名参加

「ペロブスカイトに関する講演と進捗状況報告」6件

招待講演:九州工業大学 尾込祐平 助教、近畿大学 大久保貴志 准教授

### 3)一般などに向けたアウトリーチ活動

i)本研究領域が主体となり「JST太陽電池キャラバン」を開催:高校生以上を対象として、さきがけ研究者による太陽電池の最先端研究の紹介、研究者と一般の方の意見交換を行うもの。

・第1回 JST太陽電池キャラバン「太陽電池学で語る未来 in 神戸」(2014年2月)

・第2回 JST太陽電池キャラバン「太陽電池学で語る未来 in 宮城」(2014年5月)

・第3回 JST太陽電池キャラバン「太陽電池学で語る未来 in お台場」(2014年11月)

※第3回は国内最大の科学コミュニケーションイベントである「サイエンスアゴラ 2014」の一環として行った。

ii)国際ナノテクノロジー総合展・技術会議へ参加し、さきがけ研究成果を発表。

nanotech2011 出展:第1期生 岡本晃一 研究者

「プラズモニクスを利用した高効率・超薄膜太陽電池」

nanotech2014 出展:第2期生 東原知哉 研究者(高分子学会研究奨励賞)

「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」

iii)ふくしま復興再生可能エネルギー産業フェアへポスターパネル出展。

第1回 REIF (2012年):第1期生 吉田弘幸 研究者

「有機半導体を格付けできる LUMO 準位の非破壊・精密測定法の実現」

(LUMO 準位を、有機系試料に損傷を与えずに精密測定することに成功)

第 2 回 REIF (2013 年) : 第 3 期生 杓掛健太郎 研究者

「モノライク Si の研究開発 -多結晶 Si の作り方で単結晶 Si を作る-

(機能性結晶粒界というコンセプトを使って、高品質なシリコン結晶の成長に成功)

iv) 論文発表に際して、研究機関、JST によるプレスリリースを積極的に行った (計 23 件)。

主な例は次のとおり。

1 期生 大北英生「せっけんに学ぶ高分子太陽電池高効率化の原理の解明」(2011 年 4 月 27 日)

1 期生 吉田弘幸「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」(2012 年 5 月 11 日)

2 期生 尾坂格 研究者「塗るだけできれいに配列する半導体ポリマーを開発」(2013 年 6 月 4 日)

#### 4) 「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」の企画・推進

2013 年度、研究総括の提案により、近年新型高効率太陽電池として台頭してきた「ペロブスカイト型太陽電池」に関する特別プロジェクト(「ペロブスカイトを用いた高効率有機-無機ハイブリッド太陽電池の創成と機構解明」)を実施した。

研究総括が、①新材料開発および高性能デバイス作製技術の確立を目指す「材料・デバイス開発」グループと、ペロブスカイト型太陽電池の光電変換機構解明を目指す②「発電機構解明グループ」への参加を呼びかけたところ、30 名のさきがけ研究者が時限的プロジェクトに参加し、2013 年度下半期に、各自のさきがけ研究計画書に研究項目を追加して進めた。主にペロブスカイト型太陽電池の合成や評価に必要な機器や試薬、グループ間の議論や研究報告会のための旅費を各自の研究費に追加充当した(計 2 千万円程度、1. (4)に含まれる)。

プロジェクトの成果として、論文が出始めているほか、後述するとおり、市販のペロブスカイト合成試薬が 2014 年度に発売された。また、2014 年 11 月 22 日に国立京都国際会館で開催された WCPEC-6 国際会議(最も大きな太陽電池国際会議)にサテライトミーティングとして JST さきがけ「ペロブスカイト型太陽電池」セッションを設定し、情報発信した。

## (2) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況について

研究領域として、上記のように、積極的に成果発信を促し、学会等との共同等による若手研究者の活躍の場を設け、より幅広い視野をもって研究を進めるよう、様々な工夫を行った。また、各学術賞への推薦も積極的に行った。その結果、多くの研究者がさきがけ研究をきっかけに飛躍したと考えている。

1) さきがけ研究を経て、研究機関等で新たな職を得た等、ステップアップ状況。

教授昇格者 6 名、准教授昇格者 11 名(特任准教授 1 名を含む)等、昇格者は総計 20 名に

あがる (2016年11月30日現在)。

- ・助教→教授 3名
- ・准教授→教授 3名
- ・助教→准教授 5名
- ・講師→准教授 5名
- ・さきがけ研究者→准教授 1名
- ・特任准教授→准教授 1名
- ・研究員→テニュアトラック准教授 1名
- ・基礎科学特別研究員→特任准教授 1名
- ・助教→主任研究員 1名
- ・講師→チームリーダー 1名
- ・特任助教→助教 1名

2) さきがけ研究成果を契機に、学術賞等を受賞した例。

① 文部科学省若手科学者賞

H24年度受賞 2期生 若宮淳志 研究者

業績：「ホウ素を鍵元素として用いた機能性 $\pi$ 電子系化合物の研究」

H25年度受賞 1期生 佐伯昭紀 研究者

業績：「有機エレクトロニクス材料中の電荷ダイナミクスの研究」

H25年度受賞 3期生 但馬敬介 研究者

業績：「機能性高分子材料におけるナノ構造制御の研究」

② 応用物理学会第4回女性研究者研究業績部門受賞

H25年度受賞 1期生 沈青 研究者

業績：「半導体量子ドットにおける多重励起子生成と緩和ダイナミクスに関する研究」

沈研究者の業績は次世代高効率太陽電池として注目されている半導体量子ドット太陽電池の多重励起子生成と緩和ダイナミクスに関する先導的研究。世界で初めての MEG ダイナミクス観察やヨウ化鉛 (PbS) 量子ドットにおける光励起キャリアダイナミクスの評価などの沈研究者の研究は世界的にも高く評価されている。

3) さきがけ研究成果が研究者に大きなインパクトを与えた例。

① 1期生 吉田弘幸研究者

吉田研究者がさきがけ研究で提案・開発した固体有機半導体試料の空準位の測定を可能にする「低エネルギー逆光電子分光法」は発表当時より注目され、2012年8月1日付の日経産業新聞に掲載された技術トレンド調査(3~5月)において、「実用性+市場性」の2項目で7位にランクインした。

研究成果をきっかけに、応用物理学会の第12回有機分子・バイオエレクトロニクス分科会

論文賞（2014年）を受賞。

対象論文名：“Near Ultraviolet Inverse Photoemission Spectroscopy Using Ultra-Low Energy Electrons”, *Chem. Phys. Lett.* 539-540, 180-185 (2012).

主な受賞理由：吉田研究者は、逆光電子分光法の抱える問題点を克服する新実験手法「低エネルギー逆光電子分光法」を開発したことにより、有機エレクトロニクス研究に必要な0.1 eVの精度でダメージを気にせず初めて可能になった。この新しい研究は、有機材料の重要な物理量である電子親和力に関する情報を提供し、有機エレクトロニクス研究開発を後押しする波及効果が期待される。

その後の発展として、さきがけ研究で開発した「低エネルギー逆光電子分光法」を採用した市販装置が2014年度内に完成予定。

②2期生 尾坂格 研究者

さきがけ研究終了後、同じさきがけ研究領域1期生の大北英生研究者、吉田弘幸研究者とチームを組んで2014年度JST・先端的低酸素化技術開発（ALCA）の研究代表者に採択（研究開発課題：「高効率ポリマー系太陽電の開発」）。

③2期生 若宮淳志 研究者

2013年、若宮研究者は、研究領域内で実施した成果結集プロジェクトの一環として、ペロブスカイト型太陽電池の材料となるヨウ化鉛の高効率な精製手法を発見、特許化。この知見を基に、2014年に、東京化成工業が高効率なヨウ化鉛を量産化、販売開始。

2016年革新技术領域課題（ALCA）に採択された。

④3期生 黒川康良 研究者

2016年革新技术領域課題（ALCA）に採択された。

## 7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況

研究総括のねらいの第一は、異なる専門分野が融合する相乗効果により生まれる新技術・新材料による「次世代の太陽電池」の創成を目指す目的基礎研究である。広い分野の研究者を採択したことを説明するために、まず、本研究領域を構成する「さきがけ研究者」メンバーのバックグラウンドについて述べる。

### 1) 採択された研究課題の「さきがけ研究者」の専門分野

本研究領域に採択された「さきがけ研究者」の博士後期課程専攻は、次のとおりである。

【理学系】化学、物質エネルギー化学、物理学、物理学・宇宙物理学、先端エネルギー理工学、物質創成

【工学系】工業化学、応用化学、分子化学、高分子化学、化学生命工学、材料化学、物質化学、有機・高分子物質、物理工学、応用物理学、材料物性工学、電子物理工学、材料生産システム、マテリアル科学、電子情報工学、超伝導工学、物質工学

本研究領域は、大きく分類し化学系21名、物理系5名、電子系10名の異分野の研究者で構成されている。

## 2)採択された「さきがけ研究者」の所属学会

本研究領域の「さきがけ研究者」の採択時の所属学会は、次のとおりである。

- ・日本化学会           ・高分子学会           ・米国化学会
- ・光化学協会           ・分光学会
- ・応用物理学会       ・有機 EL 討論会       ・触媒学会
- ・日本物理学会       ・米国物理学会       ・英国物理学会
- ・電気学会            ・電気化学会           ・電子情報通信学会
- ・電子スピンスイエンス学会            ・分析化学会
- ・日本放射光学会    ・分子科学会           ・日本分析化学会
- ・ナノ学会            ・日本表面科学会       ・日本金属学会
- ・資源・素材学会    ・日本セラミックス協会
- ・MRS (Materials Research Society )

さきがけ研究者の様々な専門分野の強みを活かした研究開発が期待された。

## 3)採択課題のテーマ分布

表 2 採択課題の年度毎のテーマ分布

採択課題のテーマ	課題数	H21 採択 (1 期)	H22 採択 (2 期)	H23 採択 (3 期)
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	杓掛、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

このように、太陽電池というテーマの中であっても、広い専門分野の研究者および多岐にわたる研究課題をバランスよく採択し、領域会議等で積極的に議論の場を設けたことによって、さきがけ研究者間の連携が活発に進んだことを特筆したい。具体的には、30名の研究者による約60件の連携実績(図1)、があり、共著論文も発表されている(表3)。

前述した「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」を含めると、全研究者が、なんらか

の形で、他の研究者との連携を行っており、更に、さきがけ研究成果を契機に、さきがけ研究領域外や領域アドバイザーと連携を始めた例もある。

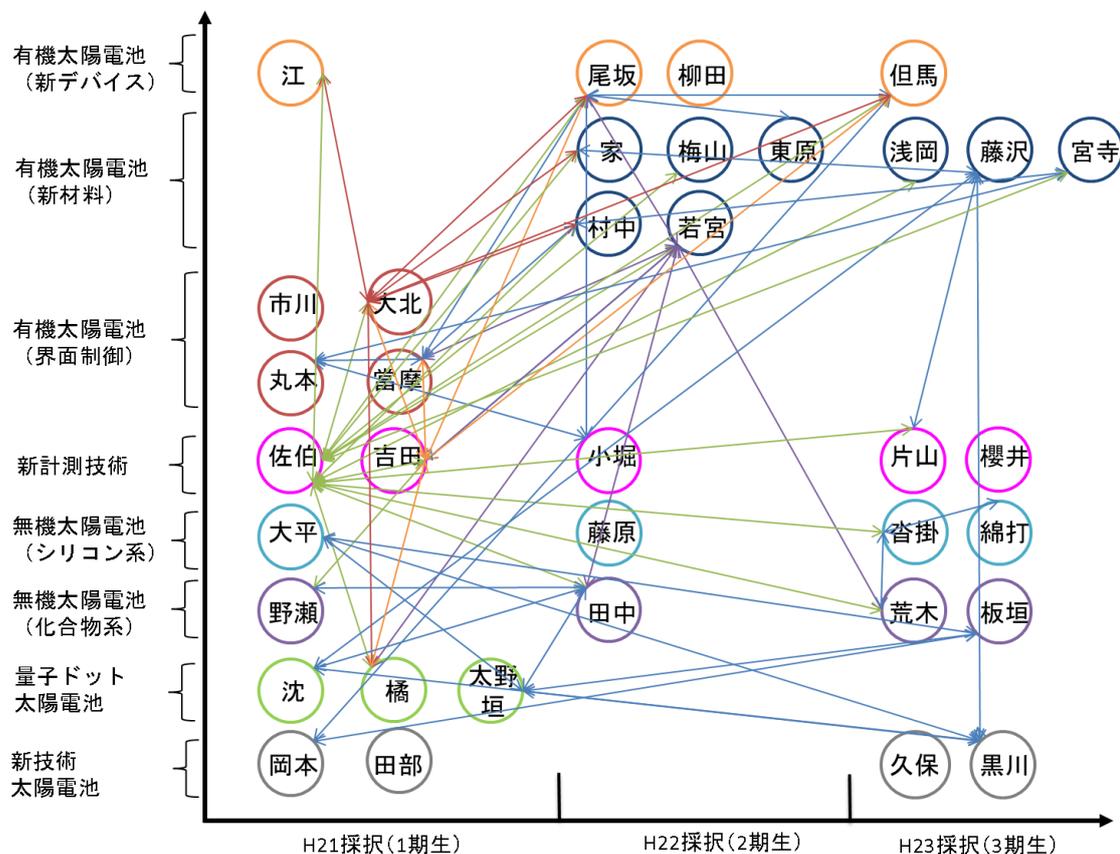


図1 さきがけ研究者間の連携

(但し、ペロブスカイト成果結集プロジェクトにおける連携は含まない)

もっとも連携数が多かったのは、計測技術の研究を行った佐伯研究者と吉田研究者であるが、分野や採択年度を問わず、活発な連携が行われていることがわかる。

・連携数が7件以上の研究者：

- 佐伯 (1期生、新計測技術) : 16件
- 吉田 (1期生、新計測技術) : 8件
- 大北 (1期生、界面制御) : 8件
- 尾坂 (2期生、有機新デバイス) : 7件
- 若宮 (2期生、有機新材料) : 7件

表3 研究者同士の共著論文の例

さきがけ研究者	共著論文
---------	------

家（有機・新材料）、吉田（計測）、佐伯（計測）、大北（有機・界面技術）	<p><u>Yutaka Ie*</u>, Makoto Karakawa, Seihou Jinnai, <u>Hiroyuki Yoshida</u>, Akinori Saeki, Shu Seki, Shunsuke Yamamoto, <u>Hideo Ohkita</u>, and Yoshio Aso</p> <p>“Electron-donor function of methanofullerenes in donor-acceptor bulk heterojunction systems”, <i>Chem. Commun.</i> 50 (2014) 4123-4125.</p>
佐伯（計測）、大北（有機・界面技術）	<p>Marina Ide, Yoshiko Koizumi, <u>Akinori Saeki*</u>, Yuta Izumiya, Hideo Ohkita, Shinzaburo Ito, and Shu Seki</p> <p>“Near-Infrared Absorbing Thienoisindigo-Based Copolymers for Organic Photovoltaics”, <i>J. Phys. Chem. C</i>, 117, 26859-26870 (2013).</p>
大北（有機・界面技術）、但馬（有機・界面技術）	<p>Shunsuke Yamamoto, Hiroaki Yasuda, <u>Hideo Ohkita*</u>, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, Shoji Miyanishi, <u>Keisuke Tajima</u>, and Kazuhito Hashimoto</p> <p>“Charge Generation and Recombination in Fullerene-Attached Poly(3-hexylthiophene)-Based Diblock Copolymer Films”, <i>J. Phys. Chem. C</i>, 118, 10584-10589 (2014).</p>
村中（有機・新材料）、佐伯（計測）	<p>Tsuneaki Sakurai, Kentaro Tashiro, Yoshihito Honsho, <u>Akinori Saeki</u>, Shu Seki, Atsuhiko Osuka, <u>Atsuya Muranaka</u>, Masanobu Uchiyama, Jungeun Kim, Sunyeo Ha, Kenichi Kato, Masaki Takata, and Takuzo Aida*</p> <p>“Electron- or Hole-Transporting Nature Selected by Side-Chain-Directed <math>\pi</math>-Stacking Geometry: Liquid Crystalline Fused Metalloporphyrin Dimers”, <i>J. Am. Chem. Soc.</i> <b>2011</b>, 133, 6537-6570.</p>
若宮（有機・新材料）、佐伯（計測）、尾坂（有機・新デバイス）	<p><u>Wakamiya, A.</u>, Nishimura, H., Fukushima, T., Suzuki, F., <u>Saeki, A.</u>, Seki, S., <u>Osaka, I.</u>, Sasamori, T., Murata, M., Murata, Y. and Kaji, H.</p> <p>“On-Top <math>\pi</math>-Stacking of Quasipolar Molecules in Hole-Transporting Materials: Inducing Anisotropic Carrier Mobility in Amorphous Films”, <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> <b>2014</b>, 53, 5800-5804.</p>
但馬（有機・界面制御）、吉田（計測）	<p>Yufei Zhong, Seiichiro Izawa, Kazuhito Hashimoto, <u>Keisuke Tajima*</u>, Tomoyuki Koganezawa, and <u>Hiroyuki Yoshida*</u></p> <p>“Crystallization-Induced Energy Level Change of [6,6]-Phenyl-C61-Butyric Acid Methyl Ester (PCBM) Film: Impact</p>

	of Electronic Polarization Energy” , <i>J. Phys. Chem. C</i> , 2015, 119 (1), pp 23-28.
--	---

本研究領域における特筆すべき研究成果について、以下に代表的な事例をあげて記述する。

## 1) 有機系太陽電池

### ① 「高分子太陽電池の新発電原理の分子論的探求」 大北英生研究者

本研究は大挑戦型研究課題として、有機太陽電池の内部で起こる一連の素過程の探究という基盤研究と新規現象の解明という発展研究を相補的に行うことによって、この二つの研究を補完的かつ相乗的に研究を進め、大きな成果を得た。具体的には、過渡吸収分光測定法を用いて「有機薄膜太陽電池」の作動機構の解析を行い、光電変換の初期過程で興味深い知見を得ることができた。また、「色素増感高分子太陽電池」、「多重励起子太陽電池」等についても新しい発電機構を明らかにすることができ、今後の新発電原理に基づく「新型太陽電池」開発に重要な知見を得ている。具体的には、ポリチオフェン：フラーレン誘導体 (P3HT:PCBM) 系太陽電池において、励起子拡散、電荷分離、電荷輸送効率が P3HT の結晶性に依存することを明らかにした。また、バンドギャップ高分子を用いた PCPDTBT:PCBM 系太陽電池を用いて、電荷分離効率が高分子の結晶性に依存していることを示した。さらに、新型太陽電池においては、初めて可視光を用いて多重励起子生成を観測することができた。世界一級の素晴らしい研究成果を上げており、有機太陽電池研究に多大な貢献をしている。

### ② 「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」 尾坂格研究者

本研究では、高いキャリア輸送能をもつオリジナルな縮合多環芳香族ユニットを用いて、分子科学的アプローチから高性能半導体ポリマー材料創出を目指した。これまでに、新しい分子骨格を持つ有機薄膜太陽電池用新規ポリマーの合成とその太陽電池素子特性の性能評価を通して推進した、新規縮合多環骨格と高移動度半導体ポリマーの開発、ならびに配向制御と電荷輸送特性と太陽電池特性の向上の 2 つの研究テーマとも、当初の研究計画を十分に達成した。新規材料の合成とナノ構造の制御により、共役高分子の光吸収長波長化と正孔高輸送性を同時に達成する分子設計に成功した。正孔高輸送性を太陽電池で達成する基板面外方向への正孔輸送のための配向制御技術の開発へと展開し、新規骨格の p 型材料を開発し、側鎖の変更等によりバンドギャップ  $E_g=1.2\text{eV}$  を実現した。具体的には、チアゾロチアゾール/ナフトジチオフェンなど独自の新規ドナー材料の開発に成功し、8.2%の高効率を実現した。また、分子構造と配向・変換効率の関係を調べ、フェイスオン配向が高効率化に重要であることを明らかにしたことも評価したい。6. (2) で述べたとおり、さきかけ研究終了後、本研究領域の研究者と共同チームを組み、ALCA にて研究を発展。

## 2) 新計測技術

### ① 「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」 吉田弘幸研究者

本研究では、有機薄膜太陽電池の動作解明や発電効率の向上を目的に、超低速電子線を用いて有機半導体に損傷を与えずに精度よく伝導帯を調べる新しい解析法を開発することを目指した。これまでに、5eV以下の超低速電子線源と近紫外光検出器の開発により、有機半導体の電子線照射損傷を回避できる条件下で伝導準位の高精度測定を可能とする装置を開発した。超低速電子線源を用いて、これまで正確な測定に限界があった、有機半導体の伝導体レベルの測定を、精確、簡便に測定する新しい手法を開発でき、初期の目標を達成し、十分な成果が得られている。有機半導体の伝導準位を低ダメージで逆光電子分光を測定するというのは、今だかつてない難しいテーマであり、装置上の問題を数多く克服する必要があったが、結果的に所望の測定ができるようになった点は高く評価できる。限られた研究期間中に所期の成果を得て、低ダメージであることを実証したことで測定の信頼性が大幅に向上し、この測定結果で材料デバイス研究者が同じ土俵で議論できるようになったことは特筆すべきである。6.(2)で述べたとおり、市販装置も完成予定である。

#### ②「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」 佐伯昭紀研究者

本研究では、バルクヘテロジャンクションに代表されるドナー・アクセプター含有薄膜中で、光パルス照射により過渡的に生成した電荷キャリアが引き起こすナノスケール電気伝導度とそのダイナミクスについて、マイクロ波を用いた非接触時間分解測定を行い、測定・解析、理論・計算、材料から多面的に有機太陽電池の基礎科学にアプローチし、新たな光電気特性評価手法の確立と新規光機能性材料の開発を目指した。

この時間分解マイクロ波伝導度法 (Time-Resolved Microwave Conductivity: TRMC 法) を用いて、白色パルス光を使用する新しい測定法を開発し、有機太陽電池の評価、性能予測が可能となり、TRMC 法を有機電荷キャリア移動度の迅速簡便に測定できる優れた装置として確立したことは高く評価される。具体的には、代表的なバルクヘテロジャンクションであるポリチオフェン (P3HT) とフラーレン誘導体 (PCBM) 混合膜の光過渡電気伝導度を検討し、過渡伝導度信号の強度・減衰速度の積を指標とすることで、デバイスでの最適比率

(P3HT:PCBM=1:1 付近) を一意に与えることが分かった。マイクロ波評価法においても、周波数変調 (周波数依存性) と複素伝導度分離のための装置と解析法を開発し、色素増感太陽電池を対象とした興味深い結果を得ている。

### 3) 量子ドット太陽電池

#### 「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」沈青研究者

本研究では、ナノ構造酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) 光電極に対して、半導体量子ドットを増感剤として適用し、①MEG (多重励起子生成) 効果の発現と向上に関わるメカニズムの解明と実験条件の最適化を行い、②各ナノ接合光機能界面の改質と制御に還元し、光電変換効率の向上を目指した。半導体量子ドットを吸着した  $\text{TiO}_2$  光電極系の作製に関するテーマから、光励起キャリア緩和過程の評価と MEG メカニズムの評価と解析、そして半導体量子ドット増感

TiO<sub>2</sub> 太陽電池の作製と評価に至るまで幅広く手がけ、全体として順調に研究を進展させ、半導体量子ドット中の MEG 現象の発現を明らかにした点は高く評価できる。具体的には、MEG 効果を太陽電池に利用する場合、利用できる条件は、光エネルギーが 2.7Eg 以上であること、また数 10ps 以内に電子と正孔に電荷分離させるべきであることを示した。半導体量子ドット増感太陽電池において、表面修飾、TiO<sub>2</sub> ナノ構造電極の表面形態、量子ドットの種類等が、光電変換特性に強く影響することを系統的に調べ上げ、PbS（硫化鉛）量子ドットにおける光励起キャリアダイナミクスを評価し、世界で初めて MEG の生成ダイナミクスの観察に成功した。このことは太陽電池の設計に有意義なデータとなる。

#### 4) シリコン系太陽電池

「機能性結晶粒界による超高品質シリコン結晶の実現」沓掛健太郎研究者

本研究では、シリコン結晶の成長過程で、結晶粒界を制御することで、高品質なシリコン結晶を得ることを目指した。沓掛研究者は、現在のシリコン太陽電池を取り巻く環境や問題を十分理解した上での研究開発を行っており、シリコン太陽電池の方向性が変化する中で、現実的な、実用化に近い研究を実施している。「機能性結晶粒界」の発想はユニークであり、今後のシリコンインゴット成長に与える影響も大きく、産業の基盤を支える重要な課題に真正面から取り組んだ点は非常に意義がある。また、結晶性とキャリア寿命の相関を明らかにした点も評価される。自然発生粒界の観察に基づき、機能性粒界を利用した疑似単結晶シリコンの多結晶化の抑制を提案し、40cm 角の産業展開が見えるサイズで実証できたことはインパクトが大きく、評価に値する。

既存の疑似単結晶成長法との親和性も高く、大型化も容易であり、大きな発展性を持つ。本成果の論文は、*Appl. Phys. Express* 誌の 2013 年の Spotlight 論文に選出され、また本論文により沓掛研究者は、第 36 回（2014 年度）応用物理学会論文奨励賞を受賞した。

本研究領域における論文・発表と特許出願件数の外部発表実績は表 4 のとおりである。表より研究成果発表を積極的に推進している状況がわかる。

表4 研究終了時の外部発表実績件数（黒川、但馬両研究者は、2016年11月20日現在）  
 （括弧内：特許は登録数、口頭発表は招待講演数を、内数で記入）

	論文			特許			口頭発表		
	合計	国内	国際	合計	国内	国際	合計	国内	国際
第1期生	277	27	250	15(2)	9(1)	6(1)	806(283)	527(164)	279(119)
第2期生	126	2	124	36(0)	33(0)	3(0)	385(144)	266(92)	119(52)
第3期生	95	2	93	8(0)	7(0)	1(0)	377(92)	234(50)	143(42)
領域合計	498	31	467	59(2)	49(1)	10(1)	1568(519)	1027(306)	541(213)

特に、大北研究者（1期生）の以下の論文は基礎研究ではあるものの、これまでに知られていなかった、有機太陽電池の効率を考える上で非常に重要な成果であり、注目された。

Guo J, Ohkita H, Benten H, Ito S,

“Charge Generation and Recombination Dynamics in Poly(3-hexylthiophene)/Fullerene Blend Films with Different Regioregularities and Morphologies”, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 6154–6164. [被引用件数：199件]

概要：P3HT/PCBM ブレンド膜における電荷生成・再結合ダイナミクスを過渡吸収法により観測し、非晶性 RRa-P3HT では界面 CT を形成するため対再結合が主たる失活過程であるのに対して、結晶性 RR-P3HT では励起子拡散過程での失活が一部存在するものの電荷解離効率は極めて高いことを明らかにした。これらの成果は、高分子太陽電池の光電変換素過程の全容を初めて明らかにしたものであるため、200件近い引用を得ており、Web of Science において高被引用文献と認定されている。また、現在では結晶・非晶のバランス良い構造が高い素子特性に重要であることが複数の研究者により提案されているが、本研究ではこのコンセプトを先駆的に示している。

また、以下は、チャレンジングな課題であるため、終了時点では研究の途上であるが、レアメタルフリー元素を使った化合物太陽電池が得られれば、将来的に大きな成果に繋がる可能性がある。

「レアメタルフリー新型化合物系薄膜太陽電池の開発」荒木秀明研究者

本研究では、レアメタルフリーの銅スズ硫化物  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  (CTS) を用いた新しい化合物系薄膜太陽電池の開発を、また、挑戦的な課題として、ケイ素(Si)を含む  $\text{Cu}_2(\text{Si}, \text{Sn})\text{S}_3$  太陽電池の開発を目指した。レアメタルフリーの銅スズ硫化物の CTS を提案し、豊富かつ安価な銅・スズ・硫黄元素のみで構成される光吸収材料を用いた新しい化合物系の薄膜太陽電池として、このさきがけ期間での変換効率 4.3% を得たことは、かなり良い成果であり、たいへん高く評価できる。しかしながら、変換効率はまだ数%と低く、実用化までには道のりは長い。CTS 薄膜セル特性の内、開放電圧が低い原因については究明が必要であり、また、Si-Sn 系固溶体のセル化については固溶体の基礎物性評価に十分留意して単層化を進める必要があ

る。成膜条件やセルのバンド構造の最適化により太陽電池としての動作確認を行い、今後の改良点のポイントを明確にしているため、これらの条件を基に、実デバイスとしてどこまで高効率化が達成できるかについて、基礎データを積み上げ、高効率太陽電池の可能性を見極めて欲しい。今後の展開に期待したい。

## 8. 総合所見

### (1) 研究領域と研究総括の選定について

研究領域については、2009年度は、同じ戦略目標「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」の下に、3つの研究領域が誕生した。

- 1 「太陽光と光電変換機能」（さきがけ）
- 2 「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」（CREST）
- 3 「光エネルギーと物質変換」（さきがけ）

これらの研究領域は、共通点として、太陽電池をはじめとした太陽光利用技術の研究開発を、関連する化学、物理学、電子工学など幅広い分野の研究の潜在能力を結集することでインタラクティブイノベーションを引き出しつつ推進することを目指した。この中で、さきがけ「太陽光と光電変換機能」研究領域は、従来技術の単なる延長ではない、基礎的な知見の蓄積と理論に裏付けられた新材料、新構造、新原理の探求に挑戦し、将来の社会システムに貢献する革新的なエネルギー技術の創出を目指した研究を対象とした。次世代太陽電池の実現には、実用化段階にあるシリコン系、化合物系に加えて、特に基礎研究段階にある、有機薄膜系、色素増感系、量子ドット系の各分野において、既存分野にとられない個人研究者の斬新なアイデアと異分野融合に基づくブレークスルーが必須であると考へ研究領域を選定した。

本研究領域の研究総括の早瀬氏は、本研究領域運営に必須となる、シリコン系、化合物系から有機系、量子ドット系にまで至る広範な研究分野をカバーすることのできる実績・見識・洞察力を有していると見られ、また、研究領域が最終的に目指すべき目標を明確に意識しつつ、個々の基礎研究に対して高い見識を持って研究マネジメントを行うための十分な経験・能力を有していると見られる。さらに、本研究領域では、アカデミア出身の研究者だけでなく産業界出身の研究者の参加を期待しており、早瀬氏は、産業界・アカデミア双方での十分な研究経験を有していることから、各々がおかれている立場や特徴の違いを良く理解しつつ、双方の長所を最大限に引き出して異分野融合を促進するような領域運営を行うことが期待できる。これらを総合すると、さきがけ研究領域の研究総括として適任と思われ、本研究領域について先見性および洞察力を有すると同時に、適切なマネジメントを行う経験、能力を有し、あわせて関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行う人物と見られる。以上の理由により、研究総括として早瀬氏を選定した。

## (2) 研究領域のマネジメントについて（課題選考、領域運営）

第1期から第3期までの課題選考において、書類選考、ならびに面接選考を通して、太陽電池の技術分野全体のバランス調整を意識して、研究課題を絞り込むことにより、結果として、異なる専門分野を持つ「さきがけ研究者」を結集させることができた。

領域運営は、合宿形式で年2回開催する「領域会議」等における発表の場を有効活用した。具体的には、領域会議毎の行事・企画プログラムを有効活用し、単に研究進捗発表の討論に終始することなく、「さきがけ研究者」の要望を採用するなど、企画内容に工夫を加えた。また、外部発表の機会を活用して、さきがけセッションの場を設ける等、さきがけ研究者間の連携を意識した情報発信を実行した。そして、領域活動の集大成の試みの一つとして企画した、「ペロブスカイト成果結集プロジェクト」では、本研究領域の結束の良さが発揮されて、大きな弾みとなった。

(3) 研究領域としての成果（科学技術の進歩に貢献する成果、具体的応用に繋がった成果、科学技術イノベーションに資する成果、さらに事後評価（予備評価）時点では研究の途上であるが、将来的には大きな成果に繋がる可能性があるもの）

### 【科学技術の進歩に貢献する成果】

「高分子太陽電池の発電原理の分子論的探究」大北英生研究者

### 【具体的応用に繋がった成果】

「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」吉田弘幸研究者

「ペロブスカイト太陽電池用材料の開発」若宮淳志研究者

### 【科学技術イノベーションに資する成果】

「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」沈青研究者

### 【事後評価時点では研究途上であるが、将来的には大きな成果に繋がる可能性があるもの】

「レアメタルフリー新規化合物系薄膜太陽電池の創製」荒木秀明研究者

## (4) 科学技術イノベーション創出への展望

科学技術分野のイノベーション創出のためには、途切れることのない継続した研究開発が必須である。そのためには、このさきがけ研究期間を終了した後も継続して、さきがけ研究者間の人的・情報ネットワークを積極的に活用、推進し、「太陽光と光電変換機能」をキーワードのひとつとして、さきがけ研究者間のコラボレーションが定着して、進展することが望まれる。

(5) 本研究領域を設定したことの意義、科学技術に対する貢献、問題点等（研究開始以前と事後評価時点の比較を念頭において）

本研究領域において採択された「さきがけ研究課題」を単発の研究課題に終わらせることなく、その波及効果を強めて発揮させることで、より大きな目標へ挑戦する原動力が生

まれることを期待する。個々のさきがけ研究課題の軸足を固めつつ、さきがけ研究者自身の専門分野の強みを活かすことで、単なる孤立した個人型研究の集団では獲得することが難しい大きな成果が芽生えている。個人型研究の長所を保持しつつ、今後、さきがけ研究者がお互いに切磋琢磨し合う相乗効果、シナジー効果が新たな展開を拓くことにつながっていくことが期待される。

#### (6) 今後への期待や展望

さきがけ研究者間のネットワークをコアとして、コラボレーションの取り組みを強めていくことが大切である。これまでの「さきがけ研究」の取り組みを、当初のさきがけ研究期間で終了させることなく、地道に継続していくことにより、次世代の太陽電池研究を展開していくことが重要である。すでに、そのような取り組みは、さきがけ研究者間の共同研究として開始されており、これからの進展を大いに期待したい。

#### (7) 感想、その他

本研究領域の運営を進めるにあたって、具体的には、応募された研究課題の書類選考会、面接選考会から始まり、研究進捗内容を討論する領域会議への参画・支援、更には、研究成果の事後評価に至るまで、学界から産業界までを俯瞰できる斯界の専門家を領域アドバイザーとして依頼し、大変、有益な支援、ならびに指導・助言をいただくことにより、これまで本研究領域の活動を力強く推進することができたことを、心より、御礼申し上げます。