

戦略的創造研究推進事業
—個人型研究(さきがけ)—

研究領域「光エネルギーと物質変換」

研究領域事後評価用資料

研究総括 井上晴夫

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	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	21
6. 研究領域の運営の状況について.....	22
7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況.....	55
8. 総合所見	64

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、太陽光利用による有用物質・エネルギー生成技術の提案につながる研究に焦点を当てた。

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および利用基盤技術の創出」

① 具体的な戦略目標

(i) 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ルギー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。

(ii) 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]

- ・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)
- ・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]

- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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

(iii) 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－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」(2003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。

(iv) 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。

(v) 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通りである。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 km²) 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 μ m 程度必要となり、全世界に電力を送電するために 8 万 km² の太陽電池を作ると、1,800 万トンを越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 μ 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% を越えるはずである。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ハイリゲンダム・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。

(vi) 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(正負キャリアー励起・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。

(vii)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。

(iv)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

「光エネルギーと物質変換」(2009年度発足)

研究領域の概要

本研究領域では、1. (1)戦略目標の下、人類にとって理想的なエネルギー源である太陽光による広義の物質変換を介して、光エネルギーを化学エネルギーに変換・貯蔵・有効利用し得る高効率システムの構築を目指した独創的で挑戦的な研究を対象とした。

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、物理化学、有機化学、無機化学、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対象とした。

(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)

(4) 採択研究課題・研究

(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究 費※
2009 年度 (第1 期)	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・教授 同・准教授	時間分解 X 線構造解析法による光エネルギー変換機構の分子動画観測	42
	阿部 竜 ※1	京都大学大学院工学研究 科・教授 北海道大学触媒化学研究 センター・准教授	機能分離型色素を用いた高効率水分解系 の構築	31
	荒谷直樹	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 京都大学大学院理学研究 科・助教	光機能性巨大 π 共役系化合物の創製	41
	石北 央	東京大学先端科学研究技 術センター・教授 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	光反応中心・光受容体蛋白質における光 反応の分子 制御	38
	石田 斉	北里大学大学院理学研究 科・准教授 同上	ペプチド折り紙で創る二酸化炭素多電子 還元触媒	98
	伊田 進太郎	九州大学大学院工学研究 院・准教授 熊本大学大学院自然科学 研究科・助教	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	89
	稲垣昭子	首都大学東京大学院理工 学研究科・准教授 東京工業大学資源化学研	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	38

		研究所・助教		
	伊原正喜	信州大学農学部生命物質 科学科・助教 東京大学大学院工学系研 究科・特任助教	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	88
	嶋 盛吾	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 同 リーダー	[Fe]-ヒドロゲナーゼの活性中心鉄錯体 の生合成	46
	出羽毅久	名古屋工業大学大学院工 学研究科・教授 同・准教授	光合成膜タンパク質分子集合系の機構解 明	38
	中島 裕美子	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 京都大学化学研究所・助 教	ホスファア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	36
	正岡重行	分子科学研究所生命錯体 分子科学研究領域 ・准教授 九州大学大学院理学研究 院・助教	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	46
	八木政行	新潟大学大学院自然科学 系・教授 同上	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	75
2010 年度 (第2 期)	伊福 健太郎	京都大学大学院生命科学 研究科・助教 同上	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	39
	熊崎茂一	京都大学大学院理学研究 科・准教授 同上	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	36
	栗栖源嗣 ※1	大阪大学蛋白質研究所・ 教授 同上	複合体解析による光合成エネルギー変換 の完全理解	22
	定金正洋	広島大学大学院工学研究 院・准教授 同上	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	37

	杉浦美羽	愛媛大学プロテオサイエンスセンター・ 准教授 同 無細胞生命科学工学 研究センター・ 准教授	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	106
	坪井泰之	大阪市立大学大学院理学 研究科・教授 北海道大学大学院理学研 究院・准教授	光アンテナにナノ粒子や分子を集める・ 観る・反応させる	43
	永島賢治	神奈川大学理学部水素生 産研究所・客員教授 首都大学東京大学院理工 学研究科・准教授	光合成で駆動する新しい生物代謝	43
	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 同上	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	39
	船橋靖博	大阪大学大学院理学研究 科・教授 名古屋工業大学大学院工 学研究科・准教授	籠型分子の内部に展開する光―物質変換 機能触媒の創出	90
	堀田純一	山形大学大学院理工学研 究科・准教授 ルーベンカトリック大 学・上級博士研究員	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	60
	前田和彦	東京工業大学理学院・准 教授 東京大学大学院工学系研 究科・助教	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	47
	村橋哲郎	東京工業大学物質理工学 院・教授 大阪大学大学院工学研究 科・准教授	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	44
	山崎仁丈	九州大学稲盛フロンティア 研究センター・ 教授 カリフォルニア工科大 学・上級博士研究員	太陽光と新規酸素吸収酸化物を用いた燃 料生成	107
2011年	梅名泰史	岡山大学自然科学研究科 付属光合成研究センタ	光化学系 II 複合体の酸素発生反応の構造	40

度 (第3 期)		一・特別契約職員准教授 大阪大学蛋白質研究所・ 特任研究員	化学的な手法による原理解明	
	横野照尚	九州工業大学大学院工学 研究院・教授 同上	ナノコンポジット光触媒を用いた反応サ イト分離型 CO ₂ 固定化系の構築	36
	恩田 健	さきがけ専任研究員・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 東京工業大学大学院総合 理工学研究科・ 特任准教授	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	90
	坂本雅典	京都大学化学研究所物質 創製化学研究系・准教授 筑波大学大学院数理物質 科学研究科・助教	新しい人工光合成系を目指したナノ粒子 超構造の構築	39
	作田絵里	長崎大学大学院工学研究 科・准教授 北海道大学大学院理学研 究院・特任助教	アリー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	35
	佐藤俊介	㈱豊田中央研究所森川特 別研究室・研究員 同・副研究員	金属錯体の配位および配位子の機能を利用 した CO ₂ 還元触媒の創製	27
	寺村謙太 郎	京都大学大学院工学研究 科・准教授 同・講師	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	38
	長澤 裕	立命館大学生命科学部応 用化学科・教授 大阪大学大学院基礎工学 研究科・准教授	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	84
	藤井律子	大阪市立大学複合先端研 究機構・准教授 同・特任准教授	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	46

	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 同上	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	39
	松原康郎	神奈川大学工学部物質生命科学科・特別助教 米ブルックヘブン国立研究所化学部門・博士研究員	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	23
	森本 樹	東京工科大学工学部応用化学科・講師 同 大学院理工学研究科・助教	高効率な二酸化炭素還元を目指した新規光触媒の創製	31
	山方 啓	豊田工業大学大学院工学研究科・准教授 同上	励起キャリアの動きとエネルギー制御	69
			総研究費	2,016

※青地記載の氏名は 2015 年度修了の 5 年型研究者(杉浦、船橋、山崎)、2016 年度修了の 5 年型研究者(恩田、長澤、山方)及びライフイベント延長者(藤井)及び研究費

※青地記載の所属・役職は、予備事後評価以降の昇格

※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 月末に研究を中止しているため、本評価より除外する。

2. 研究領域および研究総括の選定について

(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。

- ・「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)
- ・「太陽光と光電変換機能」(さきがけ)
- ・「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ものであった。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するものであった。

「光エネルギーと物質変換」研究領域においては、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が必要であり、さきがけとして選定することが適切であるとされた。

(2) 研究総括の選定について

井上晴夫氏は、光化学、人工光合成、化学反応エネルギー共役、高次元異方性制御化学、光機能化学における先駆的な研究活動を展開しており、特に本研究領域で重要なテーマとなる人工光合成に関しては、金属錯体を利用して水分子から電子を奪う酸化反応や、二酸化炭素を一酸化炭素に還元する反応を世界的にみて高い量子収率で実現していた。さらに、光化学の研究において顕著な業績をあげた者に授与される光化学協会賞を受賞しているなど本研究領域を運営するのに必要な知見・先見性・洞察力を十分に有していると見られた。

また、多くの優れた研究者を育成してきた実績と光化学協会、日本化学会、アジア光化学協会等の学協会要職を歴任してきたことから関連分野の研究者から信頼されており、所属している首都大学東京では大学院都市環境科学研究科長・都市環境学部長(2期)・国際交流センター長を通じて優れた調整能力を発揮するなど、本研究領域の研究者への指導力と、マネジメントを行うに適した経験・能力を有していると見られた。

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、公平な評価を行いうる人物と見られた。

3. 研究総括のねらい

(1) 戦略目標に対する研究領域の位置づけと総括の狙い

本研究領域では、前述の通り、1. (1)の戦略目標の研究開発課題の内、「人工光合成」の実現を主要課題としているが、本研究領域で推進する研究が領域の課題「人工光合成」に長期的にどう貢献できるのかを研究提案採択の主眼とした。

人類が利用し得るエネルギー源として短期的には化石資源などに焦点を絞らざるを得ない状況の一方で、数十年以上の長期的視点からは、太陽光がエネルギー源の本命となることが強く期待されながら、その実現のためには多くの課題が残されている。科学者には、人類・社会からの極めて大きい期待がある。科学者がその解決策を提示できなければ人類は危機に陥ることになってしまう。本研究領域の研究者には人類の危機を救う気概をもってこの課題に挑戦することを期待した。

そこで、本戦略目標を達成するためには、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。より具体的には主に、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、上記の中長期戦略目標の達成に資するものとする。

研究総括としては、これまでに蓄積された科学技術やその組み合わせによる研究提案ではなく、むしろ現状の科学技術を超越して、現時点では実現性が判断しがたいアプローチや提案に見えても、将来のエネルギー問題を解決するブレークスルーとなる可能性を秘めた独創的で挑戦的な研究提案に注目した。社会が期待する極めて優れた若手研究者が、現在人工光合成分野、エネルギー分野での研究実績がなくとも、自身が持つ異分野の卓越した科学方法論を武器に柔軟な発想力、独創性をもって人類のエネルギー問題の解決を目指して挑戦、参入することを期待した。

また、本研究領域では、採択された研究者による研究課題の独創的研究を制約なく自由に推進するために全面的に支援することを最大の目標としたが、研究者には、我が国のみならず国際的な研究者としてのマインドの醸成、領域内・外の異分野研究者との共同研究の推進・情報研究交流の推奨に加え、我が国における将来の科学技術研究開発の中核を担う研究者として育成することも重要な目標とした。

(2) 研究領域で実現をねらったことや研究成果として目指したことなど

本研究領域では、人類にとって理想的なエネルギー源である太陽光による広義の物質変換を介して、光エネルギーを化学エネルギーに変換・貯蔵・有効利用し得る高効率システムの構築を目指した独創的で挑戦的な研究を対象とした。

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対象とした。

(3) 科学技術の進歩への貢献や科学技術イノベーション創出に向けて目指したこと

ダーウィンの「進化論」(「種の起源」:1896年)に基づく「生命の樹」の図はよく知られており、進化論の概念を一目で理解できるように説明している。生物種の進化は大木が太い枝を張るようにそれぞれがある段階で(二次元図としてはy軸上のある点で)独自に変異(いわば枝分かれ)して横方向(x軸方向に)に発展していく。社会の中での科学技術(学と術)の関係・連携・進展についても類似の二次元図で理解できる。学(科学)はy軸上を上り続けるのに対し、術(技術)は「社会の要請」に背中を押されていわば「見切り発車」で、ある時点での学の知識(y軸)の組み合わせと条件の最適化によりx軸方向に展開して行く。より高い位置に枝を張るには、より高い学(y軸上の点)から枝を張る必要がある。

このような視点で、本研究領域では将来の科学技術イノベーションに繋がるかどうかは現時点で判断が困難な研究提案であっても、学術的な独創性を発展させ創造軸(y軸)での研究成果が期待できるかどうかを判断した。人工光合成のお手本と言える、天然の光合成を、①学び、理解し、②代替機能を発現し得る人工系を開発し、③自然を超える系の構築、のそれぞれの段階での学術的なブレークスルーとなる研究成果が得られることを目指した。

4. 研究課題の選考について

人類が利用し得るエネルギー源として短期的には化石資源などに焦点を絞らざるを得ない状況の一方で、数十年以上の長期的視点からは、太陽光がエネルギー源の本命となることが強く期待されながら、その実現のためには多くの課題が残されている。科学者には、人類・社会からの極めて大きい期待がある。科学者とその解決策を提示できなければ人類は危機に陥ることになってしまう。「さきがけ」に応募される研究者には人類の危機を救う気概をもってこの課題に挑戦することを期待した。

本研究領域では、現時点では実現性が判断しがたいアプローチや提案に見えても、将来のエネルギー問題を解決するブレークスルーとなる可能性を秘めた独創的で挑戦的な研究提案に注目した。社会が期待する極めて優れた若手研究者が、現在エネルギー分野での研究実績がなくとも、自身が持つ異分野の卓越した科学方法論を武器に柔軟な発想力、独創性をもって人類のエネルギー問題の解決を目指して挑戦、参入することを期待した。

ブレークスルーは一般には予測しないところから出てくることが多いことは科学の歴史が示している。本研究領域では、植物学、生化学、生物物理、構造生物学、光化学、有機合成化学、触媒化学、界面化学、物理化学、高速計測化学、錯体化学、ナノ材料化学、電気化学など様々な研究分野での方法論を駆使して、将来の社会システムに組み入れられ

るような光エネルギー変換技術を材料、原理、構造等の観点から探求する独創的な研究提案に注目した。

また、見かけの研究実績以上に、独創性、課題を発見しようとする挑戦的研究姿勢など研究者の個性、「ひと」を重視した。研究領域の運営においては、国際連携を重視し、異分野の卓越した研究者間での様々な方法論、異なる発想、アプローチに触発された自由な研究を推進してゆくことを基本的方針とした。

(1) 応募状況

○2009 年度

初年度となる本年度は、極めて多岐にわたる研究領域の 20～50 歳代の幅広い年齢層から計 112 件の応募があり、競争率は約 9 倍となった。

人工光合成、分子認識・自己組織化、高効率太陽光発電材料・素子・電池、光エネルギー変換・捕集、光増感、先端機能デバイス、ナノチューブ・フラーレン、金属ナノ構造、微細加工、触媒反応、光触媒、水素、金属錯体、二酸化炭素排出削減、再生可能エネルギー、環境対応、植物、生体機能利用、バイオマス、代謝解析、微生物、光合成細菌、細胞・組織、発生・分化、糖、タンパク質、核酸、酵素、遺伝子、ゲノムなどをキーワードとする幅広い分野から研究課題が数多く提案された。

応募者の研究機関は、ほとんどが大学だが、14 件が公的・民間の研究機関、4 件が海外の研究機関からの提案であった。なお、日本の研究機関に所属する外国人による英文の提案も 1 件あった。これら多くの研究提案を 11 名の領域アドバイザーの協力を得て厳正な書類選考を実施し、特に優れた研究提案 31 件について面接審査を行った。

○2010 年度

前年度同様の方針で研究提案を募集した。本年度も極めて多岐にわたる研究領域の大学院後期博士課程学生を含む 20～60 歳代の幅広い年齢層から計 115 件の応募があり、競争率は約 9 倍となった。

本年度も人工光合成、分子認識・自己組織化、高効率太陽光発電材料・素子・電池、光エネルギー変換・捕集、光増感、先端機能デバイス、カーボンナノチューブ・フラーレン、金属ナノ構造、微細加工、触媒反応、光触媒、水素、金属錯体、二酸化炭素還元、酸素発生、再生可能エネルギー、環境対応、生体機能利用、植物、バイオマス、代謝解析、微生物、光合成細菌、細胞・組織、発生・分化、糖、タンパク質、核酸、酵素、遺伝子、ゲノムなどをキーワードとする多くの研究課題が提案された。

応募者の研究機関は、ほとんどが大学だが、12 件が公的・民間の研究機関、2 件が海外の研究機関からの提案であった。なお、日本の研究機関に所属する外国人による提案も 4 件(うち 1 件は英文)あった。これら多くの研究提案を 11 名の領域アドバイザーの協力を得て厳正な書類選考を実施し、特に優れた研究提案 33 件について面接審査を行った。

○2011 年度

研究領域発足 3 年目となる本年度も極めて多岐にわたる研究分野において、20～50 歳代の幅広い年齢層から計 123 件の応募があり、競争率は約 10 倍となった。

本年度も人工光合成、分子認識・自己組織化、高効率太陽光発電材料・素子・電池、光エネルギー変換・捕集、光増感、先端機能デバイス、カーボンナノチューブ・フラーレン、金属ナノ構造、微細加工、触媒反応、光触媒、水素、金属錯体、二酸化炭素還元、酸素発生、再生可能エネルギー、環境対応、生体機能利用、植物、バイオマス、代謝解析、微生物、光合成細菌、細胞・組織、発生・分化、糖、タンパク質、核酸、酵素、遺伝子、ゲノムなどをキーワードとする多くの研究課題が提案された。

応募者の研究期間は、ほとんどが大学であったが、23件が公的・民間の研究機関、その中でも3件が海外の研究機関からの提案であった。なお、日本の研究機関に所属する外国人による提案も3件(うち1件は英文)あった。これら多くの研究提案を11名の領域アドバイザーの協力を得て厳正な書類選考を実施し、特に優れた研究提案34件について面接審査を行った。

(2) 採択の方針

応募のあったすべての研究提案について、領域アドバイザーが分担して査読し、研究総括は全ての研究提案を査読審査した。書類選考では、以下を申し合わせた。

- ・採択の基本方針として、様々な学問分野の若手研究者を中心とした個人の独創的な発想に基づいた研究を対象に、長期的な視点で本研究領域の発展につながると期待される基礎的な研究を重視した。
- ・評価方法は研究提案ごとに、指定の項目についてA～Eの判定をし、次に総合評価コメント、さらに総合評価(A：面接対象に値すると思われる研究提案、B：面接対象に値しない研究提案、A+：面接審査に強く推薦する研究提案)を行う。
- ・全研究提案について、必ずコメントを記入。B判定でも提案者をエンカレッジするよう、来年度も応募する気になるような適切なコメントを心がける。
- ・総合評価は、研究提案を総合的に勘案して評価する。特に3年型、5年型は意識せず、また年齢や職位も気にすることなく真にサイエンスの観点で評価する。
- ・領域アドバイザー同士で決して相談しない。

書類選考会ではその結果をもとに、これまでの研究実績というよりは研究者の個性「ひと」を重視した研究提案に最重点を置いた。提案の新規性、独創性はもちろん研究計画の発展性に加え、これまでに蓄積された科学技術やその組み合わせを超えて、将来のエネルギー問題解決のブレークスルーとなる可能性を秘めた挑戦的な研究提案をとくに重視し、できるだけ多面的な評価を心がけ選考した。また、研究提案の利害関係者の関与を避け、他制度による助成等も留意し、公平厳正な審査を行った。

(3) 選考結果

2009年度に採択された研究課題は、最終的に通常型として研究期間5年型が3件、研究期間3年型が9件、さらに新設された大挑戦型として研究期間5年型が1件、計13件となり、海外研究機関での研究も1件、女性研究者2名を採択した。

2010年度に採択された研究課題は、最終的に通常型として研究期間5年型が2件、研究期間3年型が10件、さらに大挑戦型として研究期間5年型が1件、計13件となり、海外研究機関での研究での研究も1件、女性研究者1名を採択した。

2011年度に採択された研究課題は、最終的に通常型として研究期間5年型が2件、研究期間3年型が10件、さらに大挑戦型として研究期間5年型が1件、計13件となり、海外研究機関での研究も1件、女性研究者2件を採択した。図4-1に採択研究者の採択時の年齢構成を示す。

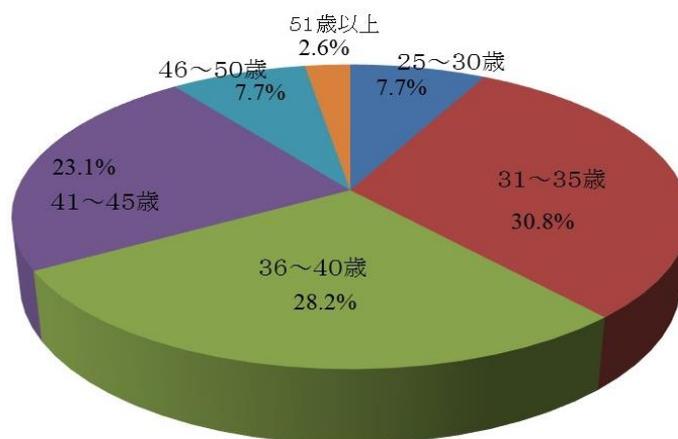


図1 採択研究者の年代構成(採択時)

(4) 採択課題の内容

採択した研究課題は、いずれも本研究領域として推進するに十分値する独創性の高い挑戦的な研究提案であり、化学、生物、物質創製、物性や測定など異なる専門分野の相補的な協力関係が、本研究領域から生まれることを期待して採択者を選んだ。採択した研究者の専門分野を以下に示す。

- ・量子ビーム計測、分子動画観測、解析・評価・計測関係
- ・先端機能デバイス、フラーレン、高効率太陽光発電材料、有機色素、光化学合成
- ・再生可能エネルギー、光触媒、水素・酸素発生、人工光合成、太陽光エネルギー、熱化学
- ・超分子化学、金属錯体触媒、触媒反応
- ・ナノシート、超格子、自己組織化
- ・光合成、タンパク質、微生物、酵素反応、生体機能利用

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名	所属	現職	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(株)	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
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

※：国際アドバイザリーボードとして就任

(1) 人選にあたっての考え方

本研究領域では、発足当初より本研究領域分野において開拓的な研究を進め、極めて高い見識を有する方、ならびに現在国際的に活躍されている国内・外の著名研究者の方に国際アドバイザリーボード(国際アドバイザー)をお願いした。また2010年にノーベル化学賞を受賞された根岸英一博士が、領域の目的である人工光合成研究に強い関心を示されておられることからボードメンバーとして参画を頂ける光栄を得た。

領域アドバイザーの人選は、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。なお、本研究領域発足後に、新たに別の研究領域が設けられ、研究総括に就任された2名の領域アドバイザー(橋本教授、松永教授)は退任された。

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

本研究領域では、研究者の研究機関における立場を踏まえ、研究総括・領域アドバイザー・技術参事らが、研究者の研究活動をきめ細やかに支援する体制をとった。

研究領域の運営方針、研究総括のマネジメントについては、以下の項目について尽力した。

①研究活動の全面的な支援、②研究目標達成に向けての支援、③国際的な研究者としての育成、④研究協力、共同研究の促進、⑤研究成果公表の促進、⑥知的財産権の取得支援、⑦研究環境の向上と研究設備の整備、⑧研究倫理の周知、⑨領域独自の研究費査定と総括

裁量経費、⑩領域独自の表彰制度、⑪領域独自のアウトリーチ活動の実施：(i)サイエンスカフェの実施、(ii)産業界への学術発信、(iii)「フォーラム人工光合成」の開催

①研究活動の全面的な支援

本研究領域では、各研究者の研究機関での立場を踏まえ、研究総括・領域アドバイザー・技術参事らが、研究者の研究活動をきめ細やかに支援する体制をとった。

具体的な支援内容としては、研究総括ならびに領域アドバイザーによる研究推進上の助言を最大の支援としたほか、採択研究者全員へのサイトビジットの際に、研究者の上司への趣旨と研究推進上の理解を得るための説明を遺漏なく行った。また研究総括、領域アドバイザー、研究者、JST 担当が、年 2 回、一同に介して研究進捗の確認及び議論を行う非公開の会議(領域会議)の開催だけでなく、研究者の異動の際の研究室移転業務の支援、研究設備・装置導入の際の技術的・事務的な支援、国内外への出張業務支援等を行い、常に研究者の立場に立った支援を心がけた。

②研究目標達成に向けての支援

採択された研究課題の中には、研究計画の目標と本研究領域が目指す目標“人工光合成”にどう関連するのか外見では必ずしも明確でないものも散見される。しかしながら、研究提案応募時の研究総括による最終判断による採択の意図と研究展開の見通し、期待を受けてそれぞれの研究が見通しと期待以上に実際にどのように展開するかは、本研究領域の最も注目すべき、いわば醍醐味ともいえる。

本研究領域では領域会議の場や研究者へのサイトビジットの機会に加え、個別研究議論の機会を積極的に設け、研究者の研究進捗状況、研究上の課題、今後の展開について、十分な時間を割いて、研究総括・国際アドバイザー・領域アドバイザー・技術参事による研究討論を行い一層の研究推進を図った(個別研究議論の実績は後述)。

③国際的な研究者としての育成

本研究領域では、研究者が国際的な学術集会において自身の研究成果発表を積極的に推奨した。領域が開催する国際集会、成果発表会における研究成果の発表・討論はすべて英語によって行うことを基本とした。また海外からの招聘研究者が出席する研究議論や研究成果報告会、領域会議、国際会議、などの機会において世界の著名研究者との討論を実現しており、研究者にとって大きな刺激となり極めて意義のある体験となったと思われる。

④研究協力、共同研究の促進

本研究領域は、光化学・物理化学・有機化学・無機化学・計測化学・錯体化学・超分子化学、触媒化学・材料科学・生物化学など基礎科学の広い研究分野に関係しており、研究者の専門分野も広がっている。異分野融合の絶好の機会として、年 2 回の領域会議の場を

中心に、同一の専門分野のみならず異分野研究者との情報交流の機会を積極的に増やし、研究協力関係、共同研究に繋げることを積極的に推奨した。自発的な研究協力、共同研究が多数実施された。その中で研究総括の強力な指導、助言に基づくいくつかの共同研究も実現し、共同研究は47件となった。

⑤研究成果公表の促進

本研究領域で推進している研究課題の成果は、領域会議や専門学会・討論会などの学術集会での発表だけでなく、研究論文として国際的に広く認知された英文論文誌への投稿・掲載を推奨した。研究課題の多くの成果が当該分野でインパクトファクターの高い海外英文論文誌に掲載された。

⑥知的財産権の取得支援

研究者にとって研究成果を知的財産につなげることが研究者の成長にも極めて重要であるとの視点から特許出願を奨励し、出願のための先行調査等について支援した。ただし、本研究領域の研究課題は基礎研究が中心であり、特許出願につながった研究はあまり多くはなかった。

⑦研究環境の向上と研究設備の整備

研究総括・領域アドバイザー・技術参事によって、さきがけ採択研究者全員へのサイトビジットを行い、研究室の研究環境・研究設備や装置の整備状況について視察した。地方の国立大学の一部には、ドラフトなどの安全設備の整備が遅れている研究室が散見された。研究実験の安全面からもこの整備は緊急を要すると判断し、研究計画書を見直して、整備に必要な研究費が配分されるよう、尽力した。東日本大震災による被害にも臨機応変に対応した。また研究者の昇任異動に際しては必ずサイトビジットを行い、研究室の立ち上げ環境と実態を把握し、できる限り早急の対応を行うことにより研究活動を遅滞なく進めるための研究支援を行った。

⑧研究倫理の周知

研究費の適正使用を含む研究倫理の自覚は、次代の科学研究を担う高潔な研究者の育成ということからも極めて重要なことである。研究総括は、研究者は公的な資金を使用して研究を行っているので、研究費の適切な使用、研究成果の社会への還元等を心がけ常に社会への説明責任を果たすことについて領域会議の場を通して注意を喚起してきた。

⑨本研究領域独自の研究費査定と研究総括裁量経費

研究者の研究推進を全面支援する視点から、適度の緊張感を持って研究展開を図る環境づくりと領域アドバイザーによる適切な助言、指導が可能となるよう、本研究領域独自の

研究費査定制度を設けた。各年度末に全領域アドバイザーによる研究課題の評価を実施し、最終的に研究総括が次年度計画の研究費配分を評価査定した。このことにより、年度当初に一定程度の研究総括裁量経費を確保することができ、年度途中の研究者の不意の環境変化や研究展開に臨機応変に対応することが可能になった。

⑩本研究領域独自の表彰制度

研究者の独創的研究を全面支援し、一層の研究推進を図るための適切な緊張感と充実感を提供し得る方策として、本研究領域独自の表彰制度を設けた。各期の採択研究者の3年次の研究終了時に、全領域アドバイザーによる研究評価を実施し、各期3名程度に対し“*The Chemical Conversion of Light Energy Prize* 西暦年”(光エネルギーと物質変換賞)と冠する優秀表彰を行った。



図2 本研究領域独自の優秀表彰“*The Chemical Conversion of Light Energy Prize*”

⑪領域独自のアウトリーチ活動の実施

(i)サイエンスカフェ

「持続する社会」には不可欠な要素として健全なサイエンスコミュニケーションが機能する社会であることが挙げられる。そこでは、一般市民が日常社会での活動の中で、科学を理解し、楽しみ、科学技術の成果を享受している。日常の社会からは科学技術の最先端を理解しようとする際の手立てとして、いわば「知の顕微鏡」なるものへの強い要望がある。一方、研究最前線の研究者は、自身の基礎研究が将来、どのように社会実装されるかについて常に「知の望遠鏡」の視点を持つようとしている。健全なサイエンスコミュニケー

ションが機能する社会では「知の顕微鏡」と「知の望遠鏡」の自然な協奏が見られるであろう。

このような視点で本研究領域では、研究者の独創的研究成果、熱意溢れる研究姿勢を市民、小中高生徒に発信する場として少人数の「サイエンスカフェ」を企画・実施した。毎年、3~4名の研究者が講師となってサイエンスカフェを実施しており、経費は、研究者の研究費から支出することを可能とした。また、研究総括・技術参事は、研究者によるサイエンスカフェ実施を支援するために、JST 事業費とは独立に民間財団に科学普及活動としての助成申請を行い連続の採択を受けている(詳細は後述)。

(ii) 産業界への学術発信

本研究領域独自のもう一つのアウトリーチ活動として、化学系企業経営者を始めとする産業界経営者、技術者集団への情報発信を行った。「化学経済」誌に人工光合成研究の背景、現状、展望について研究総括と複数の領域アドバイザーおよび、研究者による記事を連載した。

(iii) 「フォーラム：人工光合成」の開催

本研究領域独自のアウトリーチ活動のなかで、研究者の学術発信として最も力点を置いている活動として「フォーラム：人工光合成」の開催が挙げられる。人工光合成科学技術について、今後のいっそうの研究推進と人材育成、技術移転を図り、国家目標としての「持続する社会」に向けて太陽光エネルギーの化学エネルギーへの変換(人工光合成)を実現するため、関連分野の先端研究者、官・産・学・民の有識者の方々と共に語り合う機会として開催している。

この分野の研究、技術開発の現状と将来についての国際的視野での調査研究、情報交換、協同研究・開発などを概観しながら、「官」は施策として何をなすべきか? 「産」にとつての巨大なビジネスチャンスとは何か? いつ事業参加するのか? それまでに何をすべきか? 「学」が解決すべきブレークスルーは何か? 「民」はどのようにして科学技術を「選択」するのか? それぞれが何をすべきかについて集中した議論を行い、社会還元に通じる研究を進めるとともに、社会が選択し得る科学技術の構築に資するフォーラムを開催している。人工光合成研究の進捗、その実像を社会がウオッチする機会を提供するフォーラムをこれまで7回開催した(詳細は後述)。

(2) 研究テーマの導き方

さきがけ研究のような独創的研究に挑戦する場合、一般的には研究当初の段階では研究展開の方向性には一定の長期的な見通しを持てるものの、具体的な研究展開の各段階では予期せぬ多くの課題や障壁に遭遇することが多いのが常である。研究推進を山登りに例えれば、麓から雲にかすんでいる頂上付近を仰ぐ段階では順調に見えても、一步一步進む実

際の研究実験では必ずしも道のりは平坦ではなく、崖から墜落する危険等を突破して登り進む段階や分岐点の選択など極めて多様である。頂上と思っていた短期的な目標を達成すると新たに次の頂上を仰ぐこともあるなど研究展開は必ずしも単純一様ではない。

さきがけ研究者のような先端研究者は、多くの場合、そのような課題、障壁を独自に突破し、いっそうの研究展開をする能力、資質を有しているため、最大限の独創性を発揮するためには研究総括として、個別の研究指導的な干渉は避け、研究者の自由な研究推進が可能となるよう、上記の領域運営方針で述べた各項目を総合した「研究の全面支援」を行っている。但し、さきがけ研究は3年または5年という短い期間内の研究でもあるので、分岐点での道の選択や方向選択は極めて重要である。研究者によっては短期の研究推進に必ずしも慣れていない場合もある。

多くのさきがけ研究者は学部生、大学院生に、研究補助者として参画すること認め、合成などの役割を担ってもらっている。その場合、学部生や大学院生の年次単位での研究展開に少なからず制約を受けざるを得ない側面もある。例えば、本研究領域では、研究者が検討している物質を合成する中間体を研究補助者である学部生に依存していたため研究進展に遅れが見られたケースがあったが、研究総括のアドバイスにより中間体合成を短期に大量に化学合成企業に委託した結果、急速な研究進展が可能になった例もある。

また別の例では、当初の研究提案課題の項目のみの研究に絞り込もうとする自主規制が見られたが、さらに広い視点で課題を捉え直すアドバイス、指導を行った結果、新展開をすることができ論文を超一流誌に掲載できた場合もあった。本研究領域では、このような視点から、各研究者の研究状況を迅速に把握し課題設定や課題解決に対し適切な対応ができるよう領域会議や個別議論での質疑討論の際に受けたコメント、アドバイスなどについては、必ず次の討論の際までに研究者が鋭意検討した結果を報告し更に討論するよう指導した。

(3) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況

研究領域としての人材の輩出・成長の状況の一端を把握する際の資料として次の4項目について図表を示す。

① 本研究領域の研究者の昇任・異動人事の現状(図3参照)

研究者総勢39名、うち2名が最先端・次世代研究開発プロジェクト研究者として異動し、昇進者は研究者の約83%にのぼる。

研究者名	探択時所属	現在の所属	博士研究員	特定助教	助教	講師	特定准教授	准教授	教授
●H2 1 探択研究者									
足立伸一	高エネ加速器研究機構物質科学研	同左							
阿部 竜	北大触媒化学研究センター	京大院工							
荒谷直樹	京大院理	奈良先端大物質創製							
石北 央	京大生命科学系キャリアパス形成ユニット	東大先端研							
石田 斉	北里大院理	同左							
伊田進太郎	熊本大院工	九大院工							
稲垣昭子	東工大資源研	首都大院理工							
伊原正喜	東大院工	信州大農							
嶋 盛吾	マックスプランク陸生微生物学研	同左					グループリーダー		
出羽毅久	名工大院工	同左							
中島裕美子	京大化研	産総研触媒化学融合研究センター					主任研究員		
正岡重行	九大院理	分子研生命錯体分子科学							
八木政行	新潟大院自然科学	同左							
●H2 2 探択研究者									
伊福健太郎	京大院生命科学	同左							
熊崎茂一	京大院理	同左							
栗栖源嗣	阪大蛋白研	同左							
定金正洋	広大院工	同左							
杉浦美羽	愛媛大無細胞生命科学工学研究センター	愛媛大プロテオサイエンスセンター							
坪井泰之	北大院理	阪市大院理							
永島賢治	首都大院理工	神奈川大理・光合成水素生産研							
野口秀典	物質材料研究機構	同左					グループリーダー		
船橋靖博	名工大院工	阪大院理							
堀田純一	ルーバンカトリック大	山形大院理工							
前田和彦	東大院工	東工大院理							
村橋哲郎	阪大院工	東工大院物質理工							
山崎仁丈	カリフォルニア工科大材料科学	九大稲盛フロンティア研究センター							
●H2 3 探択研究者									
梅名泰史	阪大蛋白研	岡山大異分野基礎科学研							
横野照尚	九工大院工	同左							
恩田 健	東工大院総合理工	さきがけ専任					さきがけ専任研究員		
坂本雅典	筑波大院数理物質	京大化研物質創製化学研究系							
作田絵里	北大院理	長崎大院工							
佐藤俊介	㈱豊田中研	同左			研究員				
寺村謙太郎	京大院工	同左							
長澤 裕	阪大基礎工	立命館大院生命科学							
藤井律子	阪市大複合先端研	同左							
古谷祐詞	分子研生命錯体分子科学	同左							
松原康郎	ブルックヘブン国立研	神奈川大工							
森本 樹	東工大院理工	東京工科大工							
山方 啓	豊田工大院工	同左							

研究者総勢39名。うち2名が最先端・次世代研究開発プロジェクト研究者として異動。昇進は研究者の約83%にのぼる。

図3 本研究領域の研究者の昇任・異動の現状(2017年1月現在)

②国際会議、学術集会などへの招待講演、特別講演数について、研究採択までの過去5年
間と採択後の変化(年平均数の比較)

③論文数について、研究を始めるまでの過去5年間と研究開始後の変化(年平均数の比較)

図4参照

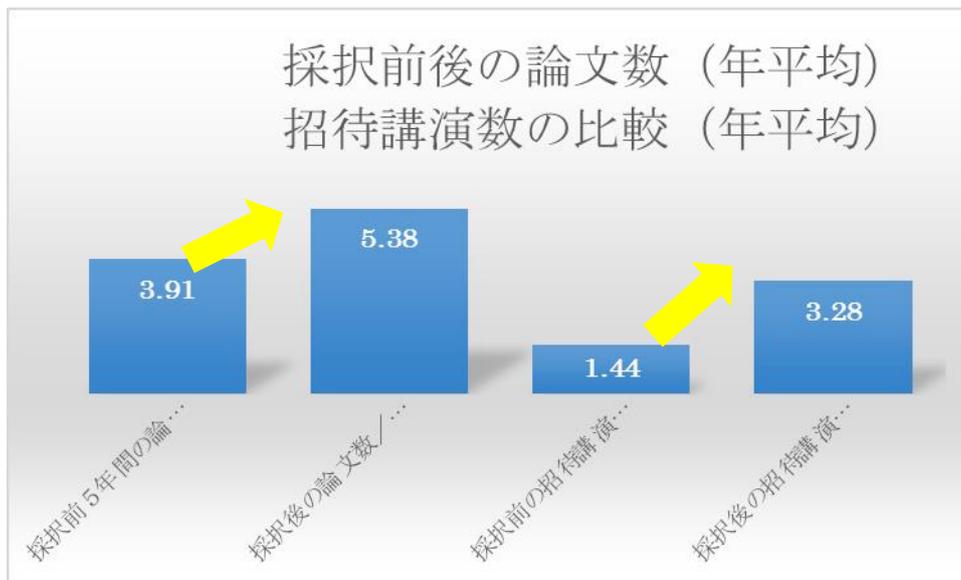


図4 本研究領域において、採択前5年間と採択後の論文数と招待講演数の比較(年平均)

④本研究領域研究者の顕彰・受賞実績

領域関係者の顕彰・受賞関係	
<p>★荒谷直樹 光化学協会奨励賞 日本化学会若い世代の特別講演賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2013 日本化学会進歩賞 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 平成26年野副記念奨励賞 The Asian and Oceanian Photochemistry Association Prize for Young Scientist, 2014</p> <p>★石北 央 武田科学振興財団生命科学研究奨励賞 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2013</p> <p>★正岡重行 日本化学会若い世代の特別講演賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2015 平成28年度日本学術振興会賞</p> <p>★伊福健太郎 日本農芸化学会農芸化学奨励賞</p>	<p>★杉浦美羽 2011年度日本女性科学者の会奨励賞 国際ソロブナミスト日本財団西日本リージョン 松山女性研究者クラブ賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2014</p> <p>★定金正洋 広島大学Distinguished Researcher 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム 平成27年度利用6大成果賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2015</p> <p>★村橋哲郎 英国王立化学会 Dalton Asian Lectureship Award The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2014</p> <p>★森本 樹 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2016 Outstanding Reviewer Status 2015</p> <p>★出羽毅久 名古屋工業大学教員評価優秀賞</p>

<p>★船橋靖博 第21回金属の関与する生体関連反応シンポジウムポスター賞</p> <p>★八木政行 第23回配位化合物の光化学討論会ポスター優秀賞</p> <p>★寺村謙太郎 触媒学会奨励賞 石油学会奨励賞(新日鉄化学賞)</p> <p>★梅名泰史 Science Breakthrough of the Year 2011 日本光合成学会特別賞「光と緑の賞」 日本結晶学会進歩賞</p> <p>★嶋 盛吾 JSPS Alumni Club Award The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2013</p> <p>★佐藤俊介 日本化学会第94春季年会優秀講演賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2016</p> <p>★古谷祐詞 分子科学研究奨励森野基金 分子科学会奨励賞</p>	<p>★伊田進太郎 日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門優秀講演論文表彰 日本化学会進歩賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2016</p> <p>★前田和彦 日本化学会第90春季年会優秀講演賞 The Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology and The Fifth Asia Pacific Congress on Catalysis TOCAT6/APCAT5, Best Oral Presentation Award 第106回触媒討論会若手優秀講演賞 英国王立化学会 PCCP賞 日本化学会進歩賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2014 第13回日本学術振興会賞 第11回凝縮系科学賞 文部科学大臣表彰若手科学賞 平成27年度東工大理学部若手教育賞 平成27年度東工大挑戦的研究賞・学長特別賞 Lee Hsun Young Scientist Lecture Series Award on Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, 2015</p>
<p>★山方 啓 豊田工大平成24年度・25年度前期教育優秀賞 第13回・第14回日本表面科学会中部支部学術講演会講演奨励賞 平成25年度豊田奨学基金研究奨励賞 平成26年度永井科学技術財団学術賞 2016年度電気化学会北海道支部・東海支部合同シンポジウム優秀ポスター発表賞</p> <p>★山崎仁丈 第53回化学関連支部合同九州大会優秀研究発表賞 The Chemical Conversion of Light Energy Prize, 2015 九州大学研究活動表彰2015</p>	<p>★稲垣昭子 東工大挑戦的研究賞</p> <p>★堀田 純一 山形大学研究推進報奨</p> <p>★坪井泰之 Analytical Science Hot Article Award</p>

図5 本研究領域研究者の顕彰・受賞実績

上記のいずれの項目についても顕著な増加、進展がみられる。本研究領域の研究者が研究提案を採択された後、研究を開始してからの研究活動が一層活発化し対外的な評価も高くなったことが窺える。本研究領域の研究者の成長の一端を著している。特に、教授に昇任した研究者は自身の研究グループを主宰する立場となり、学部生、大学院生を自身の研

究活動の中核での薫陶を開始することとなり、第2世代の人材育成に資する状況になっている。

(4) 研究協力の促進と領域内研究者との共同研究の成果

本研究領域では、研究者の独創性を最も重要視しつつ、領域全体の目標である人工光合成の実現に向けて、異分野間の研究協力、共同研究を特に推奨した。特に本研究領域は、光化学、物理化学、有機化学、無機化学、材料科学、半導体科学、計測科学、理論科学、生物科学など、それぞれの専門が極めて多岐にわたる特徴を有しており、異分野の視点、手法、研究展開方法など、研究者にとっては極めて刺激的な研究グループを形成できているといえる。領域会議ごとに互いの研究領域に対する理解が深まり、多くの実質的な協力関係、共同研究が自然発生した。

特に第2回領域会議からは、全体会議とは独立に、半導体、固体科学について、本研究領域の研究者による自発的な研究会を実施しているのは特筆に値する。図6に研究者間の活発な協力関係、共同研究関係を示す(合計47件)。計測科学分野の研究者との協力、共同研究が多いのは自然であり、研究提案採択の際に研究総括として期待したことでもある。共同研究の中のいくつかは、研究進展を見ながら研究総括が強力に推奨して実施してる。共同研究期間がまだ短い、近い将来に共著論文の発表が期待される。

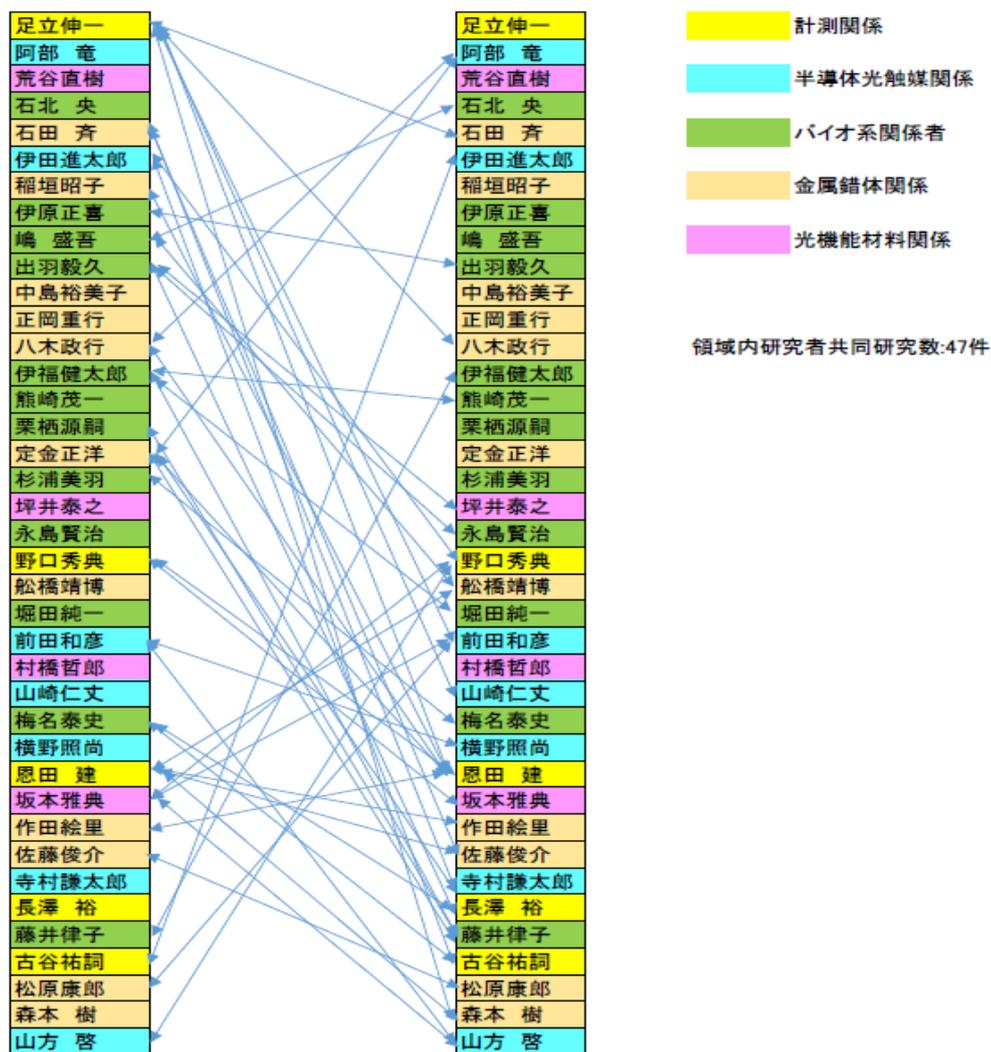


図6 領域内研究者間の共同研究(2014年12月25日現在47件)

(5) 領域会議の開催

領域会議は年2回、合計14回開催した。研究者には研究目的、研究成果、課題、将来展望について予め提出された研究発表の要旨(A4判1枚程度)および説明資料(パワーポイント資料)をもとに発表してもらったが、研究者間はもちろん、研究総括、領域アドバイザー等による適切かつ有意義なコメントをしていただき、毎回質疑応答に重点をおいた時間配分で行った。しかしながら研究者数によって時間的な制約が生じるためポスターセッションを設け、研究者間の濃密な討論を行うため、昼夜にわたって開催した。

また、領域アドバイザーには、各研究者の発表内容について、研究の進捗状況、研究成果の発表状況、今後の展開の可能性、総合評価の項目について3段階の評価とコメントの記載を依頼した。領域会議の開催状況を以下に示した。

領域会議(第1回)

○日時:2010年2月27日(土)~28日(日)

○場所:静岡県浜松市

○口頭発表13件、特別講演:喜多村 昇(領域アドバイザー、北海道大学教授)

領域会議(第2回)

○日時:2010年9月11日(土)~12日(日)

○場所:岩手県北上市

○口頭発表26件、特別講演:瀬戸山 亨(領域アドバイザー、三菱化学㈱フェロー)

領域会議(第3回)

○日時:2011年4月19日(火)~21日(木)

○場所:熊本県熊本市

○口頭発表25件、特別講演:堂免一成(領域アドバイザー、東京大学教授)

領域会議(第4回)

○日時:2011年10月8日(土)~10日(月)

○場所:北海道札幌市

○口頭発表38件、特別講演:沈 建仁(岡山大学教授)

領域会議(第5回)

○日時:2012年5月10日(木)~12日(日)

○場所:愛知県豊橋市

○口頭発表38件、全員によるポスター発表。特別講演:石谷 治(領域アドバイザー、東京工業大学教授)

領域会議(第6回)

○日時:2012年11月16日(金)~18日(日)

○場所:大阪府大阪市

○口頭発表37件、全員によるポスター発表。特別講演:工藤昭彦(領域アドバイザー、東京理科大学教授)・栗栖源嗣(最先端・次世代研究開発支援プログラムへ移行した研究者)

領域会議(第7回)

○日時:2013年5月17日(金)~19日(日)

○場所:静岡県浜松市

○口頭発表37件、全員によるポスター発表。特別講演:伊藤 繁(領域アドバイザー、名古屋大学名誉教授)

領域会議(第8回)

○日時:2013年12月15日(日)~17日(火)

○場所:兵庫県淡路市

○口頭発表37件、全員によるポスター発表。特別講演:橋本秀樹(大阪市立大学教授)

領域会議(第9回)

○日時：2014年5月23日(金)～25日(火)

○場所：山梨県北杜市

○口頭発表 34 件、全員によるポスター発表。特別講演：民秋 均(領域アドバイザー、立命館大学教授)

領域会議(第10回)

○日時：2014年11月22日(土)～23日(日)

○場所：兵庫県南あわじ市

○口頭発表 19 件(現役研究者のみ)発表・討論はすべて英語。特別講演：James T. Muckerman 博士(米ブルックヘブン国立研究所化学部門シニアケミスト)

本研究領域の研究者は、領域会議の翌日以降、兵庫県で開催された「人工光合成国際会議 2014」にて招待講演またはポスター発表を行った。

領域会議(第11回)

○日時：2015年5月16日(土)～17日(日)

○場所：科学技術振興機構東京本部別館2階A会議室

○口頭発表 31 件、特別講演：宮坂 力(桐蔭横浜大学教授)

領域会議(第12回)

○日時：2015年11月21日(土)～22日(日)

○場所：首都大学東京南大沢キャンパス国際交流会館大会議室

○口頭発表 30 件、全員によるポスター発表。特別講演：井上和仁(神奈川大学教授)

領域会議(第13回)

○日時：2016年5月26日(木)

○場所：首都大学東京南大沢キャンパス国際交流会館大会議室

○口頭発表 30 件、全員によるポスター発表。特別講演：三澤弘明(北海道大学教授)

領域会議(第14回)

○日時：2016年10月26日(水)～27日(木)

○場所：筑波学都資金財団筑波研修センター第一研修室

○口頭発表 30 件、特別講演：朴 鐘震(インターナショナルアドバイザー、韓国・高麗大 学校教授)、阿部 竜(一期生、京都大学大学院工学研究科教授)

(6) 研究者との個別研究議論

本研究領域では、領域会議にて研究発表を聴取した結果、さらに進捗を図る必要があると評価された研究者、または研究終了予定者等を主な対象に、説明・討論に一人約2時間を割いて研究者との個別議論の機会を2015年度までに以下のとおり25回実施した。研究者には事前にプレゼン資料を提出してもらい、出席アドバイザーには予め通読してもらった。

○2011年8月2日(火)、8月19日(金)首都大東京PJ研究棟会議室

出席者;研究者 6 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー2 名・技術参事

○2012 年 4 月 9 日(月)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 5 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー1 名・領域アドバイザー3 名・技術参事

○2012 年 5 月 9 日(水)第 5 回領域会議会場

出席者;研究者 1 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー1 名・領域アドバイザー2 名・技術参事

○2012 年 7 月 10 日(火)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 3 名、研究総括・領域アドバイザー3 名・技術参事

○2012 年 7 月 11 日(水)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 4 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー2 名・技術参事

○2012 年 7 月 30 日(月)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 3 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー2 名・技術参事

○2012 年 11 月 15 日(月)第 6 回領域会会場

出席者;研究者 2 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー4 名・技術参事

○2013 年 2 月 21 日(木)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 3 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー3 名・技術参事

○2013 年 3 月 24 日(日)立命館大びわこ・くさつキャンパス

出席者;研究者 14 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー3 名・技術参事。第 1 回研究成果報告会にインターナショナルアドバイザーの T. J. マイヤー教授を招聘したのを機に翌日開催。研究発表・討論はすべて英語。

○2013 年 5 月 16 日(木)17 日(金)第 7 回領域会議会場にて

出席者;研究者 2 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー2 名・領域アドバイザー2 名・技術参事

○2013 年 7 月 2 日(火)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 3 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー1 名・領域アドバイザー3 名・技術参事

○2013 年 7 月 17 日(火)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 5 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー1 名・領域アドバイザー5 名・技術参事

○2013 年 7 月 29 日(月)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 5 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 4 名・技術参事

○2013 年 9 月 10 日(水)愛媛大学理学部総合研究棟会議室(光化学討論会前日)

出席者;研究者 2 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 3 名・技術参事

○2013 年 9 月 12 日(木)愛媛大学理学部会議室(光化学討論会会場)

出席者;研究者 2 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 2 名・技術参事

○2013 年 12 月 14 日(土)大阪府豊中市内

出席者;研究者 2 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 2 名

○2014 年 5 月 22 日(木)第 9 回領域会議会場にて

出席者;研究者 2 名、研究総括・領域アドバイザー 3 名・技術参事

○2014 年 7 月 29 日(火)首都大東京 PJ 研究棟会議室

出席者;研究者 5 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 4 名・技術参事

○2014 年 8 月 26 日(火)九州工業大学会議室(サイトビジット前日)

出席者;研究者 1 名、研究総括・領域アドバイザー 1 名・技術参事

○2014 年 8 月 27 日(水)九州大学稲盛フロンティア研究センター会議室(サイトビジット)

出席者;研究者 2 名、研究総括・領域アドバイザー 2 名・技術参事

○2014 年 10 月 9 日(木)北海道大学理学研究院会議室(光化学討論会前日)

出席者;研究者 4 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 2 名・領域アドバイザー 2 名・技術参事

○2014 年 11 月 21 日(金)第 10 回領域会議会場

出席者;研究者 3 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 1 名・領域アドバイザー 2 名・技術参事

○2014 年 11 月 24 日(月)～26 日(水)「人工光合成国際会議 2014」会場

出席者;研究者 15 名(研究発表 11 名)、国際会議招聘海外研究者 4 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー・領域アドバイザー・技術参事も 8 名。研究発表・討論はすべて英語とした。

○2015 年 8 月 25 日(火)首都大学東京プロジェクト研究棟 3 階会議室

出席者;研究者 3 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 3 名・領域アドバイザー 3 名・領域運営アドバイザー 1 名

○2015 年 9 月 11 日(金)大阪市立大学複合先端研究機構会議室(光化学討論会前日)

出席者;研究者 4 名、研究総括・インターナショナルアドバイザー 3 名・領域アドバイザー 4 名・領域運営アドバイザー 1 名

(7)人工光合成基礎セミナーの開催

人工光合成に関わる本研究領域の生物系・化学系研究者が相互に研究内容に対する理解を深めることを趣旨とし、領域会議での説明内容を補足する目的で領域研究者が領域会議開催日前後に自主的に行われ、これまでに3回開催された。各研究者がそれぞれ自身の研究課題と発表内容を結びつけて聴講することができ、極めて有意義な議論がなされた。

①第1回国際シンポジウム「光エネルギーと物質変換：人工光合成の未来」

(The First International Symposium on Chemical Conversion of Light Energy)

太陽光エネルギーなど自然再生エネルギーの本格的な利用が喫緊の課題となっているが、本研究領域では、太陽光の有効利用の中で最も本質的な課題の一つである「光エネルギー／化学エネルギー変換(人工光合成)」に真正面から取り組んでいる。本国際シンポジウムでは「人工光合成」の研究最前線について世界の最先端研究者を招聘し、さきがけ研究領域の現状と将来展望について議論し、人工光合成領域と本研究領域の重要性を若手研究者に情報発信し、次代の研究者とともに課題の鮮明化と相互の科学的刺激により本研究領域の一層の研究推進に資することを目的に開催した。

日時：2010年3月28日(日)9:45～18:00

会場：近畿大学本部キャンパス(日本化学会第90春季年会会期3日目)

主催：JST・日本化学会

内容：研究総括・領域アドバイザーを含む国内外の最先端研究者による講演(英語)、本研究領域の研究者(13名)によるポスター発表(英語)、JSTの事業紹介/さきがけ事業の公募説明。

講演者：井上晴夫研究総括、Anthony Harriman 教授(英ニューキャッスル大学)、石谷治教授(領域アドバイザー、東京工業大学)、藤田恵津子(領域アドバイザー、米ブルックヘブン国立研究所)、Licheng Sun 教授(スウェーデン王立工科大学)、V. W.-W. Yam 教授(香港大学)、堂免一成教授(領域アドバイザー、東京大学)、橋本和仁教授(領域アドバイザー、東京大学)、瀬川浩教授(東京大学)、三澤弘明教授(北海道大学)

結果：特別・招待講演者ならびに本研究領域の研究者の略歴を含む講演要旨集を配布。参加者は学生、大学・独法研究所・企業研究者など延べ500名を超え活発な討論があり、極めて盛会かつ意義のある会議となった。なお、本国際シンポジウムの開催にあたっては、JST 戦略的創造研究推進事業による、国際的な活動を支援する施策「国際強化支援策」の一環として行った。

【ポスト・ミーティング】

日時：2010年3月29日(月)10:00～15:30

会場：近畿大学本部キャンパス(日本化学会第90春季年会会期4日目)

趣旨：前日開催の国際シンポジウムに引き続き、本研究領域の研究者(12名)が研究の現状、課題、および将来展望について英語で口頭発表(発表10分、質疑応答10分)、国際シンポジウムに海外から招聘した本研究領域分野の最先端研究者ならびに領域アドバイザーからの助言をいただきながら広く議論し、本研究領域で推進している研究の一層の進展を図った。

結果：井上研究総括、国際シンポジウムでの海外招聘研究者、領域アドバイザー、学生、企業研究者など約40名の参加を得て活発な質疑が交わされ、本研究領域の研究者にとって極めて刺激のかつ意義のある会議となった。

(8) JST さきがけ研究領域3 領域合同シンポジウム(1)

「人類の危機に挑む研究開発：光と太陽エネルギー」

さきがけ「光の利用と物質材料・生命機能」「太陽光と光電変換機能」「光エネルギーと物質変換」の3領域合同シンポジウムを3月28日(月)神奈川大学横浜キャンパスで開催される日本化学会第91春季年会会期中に実施予定で計画したが、東日本大震災の影響により日本化学会第91春季年会が急遽中止されたことに伴い、本合同シンポジウムも中止となった。しかし、さきがけ研究者による研究発表は日本化学会講演予稿集(CD-ROM版、冊子体)が3月10日に発行され公知されたことから発表されたものとして取り扱われた。なお、日本化学会講演予稿集とは別にJSTとして本シンポジウムの講演予稿集を印刷・作成し、3領域の領域関係者・研究者・シンポジウム参加事前申込者等に配布した。講演予定者などは以下の通り。

基調講演：藤嶋 昭(東京理科大学学長)、特別メッセージ：根岸英一(2010 ノーベル化学賞受賞者)、特別講演：Kirk S. Schanze 教授(米フロリダ大学)、3領域研究総括による領域紹介および領域研究者による口頭・ポスター発表。

(9) JST さきがけ研究領域4 領域合同国際シンポジウム(2)

「持続する社会を先導する光科学：環境・エネルギー・機能材料」



本国際シンポジウムは、日本化学会第92春季年会の会期を利用し、化学関連さがけ4領域「光の利用と物質材料・生命機能」「太陽光と光電変換機能」「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」合同で下記の内容で開催した。参加者は延べ530名に達し、第1回国際シンポジウム同様、極めて盛会裏に開催できた。

会期：2012年3月26日(月)、27日(火)

会場：慶應義塾大学日吉キャンパス第6校舎

主催：科学技術振興機構・日本化学会

内容：

特別メッセージ1：北澤宏一(JST顧問)

基調講演：藤嶋 昭(東京理科大学学長)

研究領域紹介1：「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」研究領域 松永 是研究総括

特別講演：Chris Bowler 博士(仏高等師範学校)、さがけ研究者3名

研究領域紹介2：「光の利用と物質材料・生命機能」研究領域 増原 宏研究総括

特別講演：Shimon Weiss 教授(米カリフォルニア大ロサンゼルス校)、さがけ研究者3名

研究領域紹介3：「太陽光と光電変換機能」研究領域 早瀬修二研究総括

特別講演：Yi-Bing Cheng 教授(豪モナシュ大)、さがけ研究者3名

特別メッセージ2：根岸英一(2010ノーベル化学賞受賞者・米パデュー大特別教授)

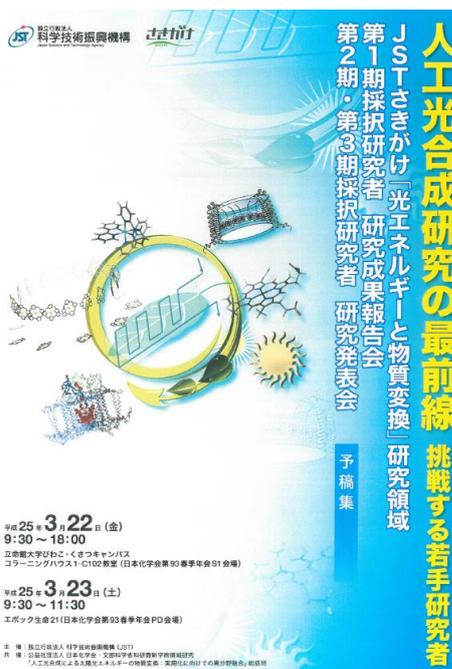
研究領域紹介4：「光エネルギーと物質変換」研究領域 井上晴夫研究総括

特別講演：Devens Gust 教授(米アリゾナ州立大)、さがけ研究者3名

なお、本国際シンポジウムの開催にあたっては、JST 戦略的創造研究推進事業による国際的な活動を支援する施策「国際強化支援策」の一環として行った。

(10) さきがけ採択研究者成果報告会

①第1期採択研究者研究成果報告会・研究発表会「人工光合成研究の最前線：挑戦する若手研究者」



日本化学会第93春季年会会期中に下記により開催した。2009年度採択された第1期研究者のうち3年型研究者には3.5年間の研究成果を、また5年型研究者には中間成果をそれぞれ英語で口頭発表を、また第2期・第3期研究者には、これまでの研究成果をポスターで発表してもらった。また、本研究領域の国際アドバイザーである T. J. マイヤー教授を特別講演者として招待した。参加者は産学官関係者など延べ450名を超えて盛会裏に開催した。

【第1期採択研究者研究成果報告会：口頭発表】

日時：2013年3月22日(金)9：30～18：00

会場：立命館大学びわこ・くさつキャンパス・コラーニングハウス 1-102 教室(日本化学会第93春季年会 S1 会場)

特別講演：「Finding the Way to Solar Fuels」(「ソーラーフュエル」を目指して)T. J. マイヤー教授・国際アドバイザー

参加者：450名(研究領域関係者含む)

【第2期・第3期採択研究者研究発表会：ポスター発表】

日時：2013年3月23日(土)9:30~11:30

会場：立命館大学びわこ・くさつキャンパスエッポク立命21ホール(日本化学会第93春季年会PD会場)

②第2期採択研究者研究成果報告会・研究発表会「人工光合成研究の最前線：挑戦する若手研究者」

日本化学会第94春季年会会期中に下記により開催。2010年度採択された第2期研究者のうち、3年型研究者には3.5年間の研究成果を、また5年型研究者には中間成果をそれぞれ英語で口頭発表を、第1期採択5年型研究者および研究終了者ならびに第3期採択研究者には、これまでの研究成果をポスター発表してもらった。また、水素発生を中心に目覚ましい研究活動を展開し、最近は酸素発生でも多数の注目される成果を挙げ、欧州・中国での研究リーダーの一人である Licheng Sun 教授(王立スウェーデン工科大学 KTH、中国・大連工科大学)を特別講演者として招聘した。

【第2期採択研究者研究成果報告会：口頭発表】

参加者は産学官関係者など延べ300名近くに達し極めて盛会裏に開催した。

日時：2014年3月27日(木)9:30~18:00

会場：名古屋大学東山キャンパス法経本館共用館カンファレンスホール
(日本化学会第94春季年会S7会場)

開会挨拶：(JST理事)外村正一郎・(研究総括)井上晴夫

研究成果発表：2010年度採択第2期研究者12名(発表25分、討論5分)

特別講演：「Artificial Photosynthesis -Water Oxidation is the Key」(人工光合成：水の参加が鍵となる)Licheng Sun 教授(王立スウェーデン工科大学 KTH、中国・大連工科大学)

閉会挨拶：(JST戦略研究推進部調査役)古川雅士

参加者：約300名(研究領域関係者含む)

【第1期・3期採択研究者研究成果発表会：ポスター発表】

日時：2014年3月28日(金)9:30~12:00

会場：名古屋大学東山キャンパス体育館(日本化学会第94春季年会PD会場)

③第3期採択研究者研究成果報告会・研究発表会「人工光合成研究の最前線：挑戦する若手研究者」

日本化学会第95春季年会会期中に下記により開催。2009年度採択された第1期研究者のうち、5年型研究者には5.5年間の研究成果を、また2011年度採択研究者のうち3年型研究者には3.5年間の研究成果を、また5年型研究者には中間成果をそれぞれ英語で口頭発表を、第1期採択3年型研究者および研究終了者ならびに第2期採択研究者には、これまでの研究成果をポスター発表してもらった。また、再生可能エネルギー研究の世界の第一

人者であり、人工葉による水素生産の研究で多数の注目される成果を挙げている Daniel G. Nocera 教授(米ハーバード大)を特別講演者として招聘した。

日時：2015年3月26日(木) 9:30～18:00

会場：日本大学理工学部船橋キャンパス(日本化学会第95春季年会 S2 会場)

開会挨拶：(研究総括)井上晴夫

研究成果発表：2009年度採択5年型研究者(4名)・2011年度採択3年型研究者(9名)5年型研究者(3名)(発表15分、討論5分)

特別講演：「The Artificial Leaf(人工葉)」、Daniel G. Nocera 教授(米ハーバード大)

参加者：約350名(研究領域関係者含む)

【第1期・2期採択研究者研究成果発表会：ポスター発表】

日時：2015年3月27日(金)9:30～12:00

会場：日本大学理工学部船橋キャンパス理工スポーツホール(日本化学会第95春季年会 PD 会場)

④第2期5年型採択研究者研究成果報告会・研究発表会「人工光合成研究の最前線：挑戦する若手研究者」

日本化学会第96春季年会会期中に下記により開催した。今回の研究発表会は、当領域が主催している「フォーラム：人工光合成」と合体した企画の中で行い、2010年度採択された5年型研究者には5.5年間の研究成果を、また2011年度採択された第3期研究者でライフイベントにより研究期間を延長された3年型研究者には3.5年間の研究成果を、それぞれ英語で口頭発表してもらった。また、色素増感太陽電池の発明者であり、近年ペロブスカイト型太陽電池の研究において世界的に特に注目を集めている M. Graetzel 教授(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)を基調講演者として招聘した。

日時：2016年3月24日(木)13:30～17:30

会場：同志社大学京田辺キャンパス(日本化学会第96春季年会 SA 会場)

はじめに：(研究総括)井上晴夫

特別講演：5件

研究成果発表：2010年度採択5年型研究者(4名)・2011年度採択3年型研究者(9名)5年型研究者(3名)(発表15分、討論5分)

基調講演：「Mesoscopic Photosystems for Artificial Photosynthesis」Michael Graetzel 教授(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)

参加者：約250名(研究領域関係者含む)

⑤第3期5年型採択研究者研究成果報告会・第7回「フォーラム：人工光合成研究」

文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」と共同して下記により開催。

今回の研究成果発表も当領域が主催している「フォーラム：人工光合成」と合体した企画の中で、ハイライト発表、及び2011年度採択された5年型研究者(3名)には5.5年間の研究成果を、それぞれ英語で口頭発表。また、本研究領域の国際アドバイザーである Thomas J. Meyer 教授を基調講演者として招聘。

日時：2017年1月28日(土)9:30~17:00

会場：東工大蔵前会館ホール(東京都目黒区大岡山)

開会挨拶：(JST 理事)白木澤佳子

はじめに：一人工光合成研究のこれから(研究総括)井上晴夫

「光エネルギーと物質変換」研究領域の研究ハイライト講演：第1期・第2期採択研究者7名(発表10分、討論5分)

研究成果発表：2011年度採択5年型研究者(3名)(発表15分、討論5分)

基調講演：「Integration of Molecular Assemblies and Semiconductors in Dye Sensitized Photoelectrosynthesis Cells」Prof. Thomas J. Meyer (Univ. of North Carolina at Chapel Hill)

参加者：約180名(研究領域関係者含む)

(11)「フォーラム：人工光合成」企画・開催

①第1回「フォーラム：人工光合成」

我が国のエネルギー政策について抜本的な見直しが迫られている昨今、太陽光エネルギーなど自然再生エネルギーの本格的利用に向けた研究開発が喫緊の課題となっており、なかでも「人工光合成」研究への期待は近年ますます大きくなっている。我が国は「人工光合成」分野の基礎的研究において世界を主導する研究が多数推進されており、この分野の基礎研究のより一層の研究推進と人材育成を早急に進め、持続する社会に向けて「人工光合成」研究を確実に実現する必要があるとの趣旨のもと以下の内容で開催した。

日時：2012年1月27日(金)13:00~18:00

会場：JST 東京本部地階ホール

主催：首都大学東京戦略研究センター/東京大学エネルギー工学連携研究センター/東京工業大学環境エネルギー研究機構/東京理科大学総合研究機構エネルギー・環境光触媒研究部門/立命館大学グローバル・イノベーション研究機構、後援：JST

内容：

開会挨拶：(首都大東京学長)原島文雄

基調講演1：「人工光合成の課題と人工光合成フォーラムへの期待」(首都大東京戦略研究センター教授)井上晴夫

基調講演2：「エネルギー新事情とゲームチェンジングな研究の重要性」(JST 顧問)北澤宏一

基調講演 2: 「太陽エネルギーの化学エネルギーへの変換: 人工光合成を目指して」(東大院工) 堂免一成

パネル討論「再生可能エネルギー研究開発の現状と課題」パネリスト: 相澤益男(内閣府総合科学技術会議議員)、北澤宏一(JST 顧問)、金村聖志(首都大院都市環境)、宮坂 力(桐蔭横浜大院工)、篠崎資志(文部科学省研究開発局環境エネルギー課長)、山崎知巳(経済産業省製造産業局化学課機能性化学品室長)

司会: 井上晴夫

ポスター発表・交流会: 12月17日(月)17:30~19:00

本研究領域研究者 28 名および人工光合成研究者 31 名の計 59 名が人工光合成研究の最前線と取り組みをポスター発表、参加者との討議を通じた研究交流を行った。

参加者: 産学官関係者など約 350 名

③第 3 回「フォーラム: 人工光合成」

第 3 回フォーラムは、前回同様に科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換: 実用化に向けての異分野融合」第 2 回公開シンポジウムと共同で企画して以下の内容で開催した。

日時: 2013 年 10 月 25 日(金)13:00~18:00

会場: 立命館大学朱雀キャンパスホール

主催: 科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換: 実用化に向けての異分野融合」・JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域

共催: 首都大学東京戦略研究センター・東京大学エネルギー工学連携研究センター・東京工業大学環境エネルギー研究機構・東京理科大学総合研究機構エネルギー環境光触媒研究部門・立命館大学グローバル・イノベーション研究機構

協賛: 日本化学連合・日本化学会・光化学協会

内容:

開会挨拶・基調講演 1: 「人工光合成の将来: さきがけ研究からの発信」(首都大東京人工光合成研究センター)井上晴夫

トピックス講演 1: 「二酸化炭素と水から有機物を直接合成する人工光合成の研究開発」(榊原中研)森川健志

トピックス講演 2: 「無機化合物による人工光合成システムへの取り組み」(パナソニック 株先端技術研)四橋聡史

基調講演 2: 「ポスト東日本大震災のエネルギーと環境」(滋賀大学長)佐和隆光

パネル討論「我が国の今後のエネルギー関連基礎研究の進路を考える」パネリスト 相澤益男(JST 顧問)、佐和隆光(滋賀大学長)、辰巳 敬(東工大理事・副学長)、橋本和仁(東大院工・内閣官房産業競争力会議議員・内閣府総合科学技術会議議員)

ポスター発表: 10月26日(土)17:30~19:00

当研究領域研究者 20 名および人工光合成研究者 44 名の計 64 名が人工光合成研究の最前線と取り組みをポスター発表、参加者との討議を通じた研究交流を行った。

参加者：産学官関係者など約 330 名

④第 4 回「フォーラム：人工光合成」

第 4 回フォーラムは、前回同様に科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」第 3 回公開シンポジウムと共同で企画し、本研究領域の研究成果報告会ならびに日本化学会第 94 春季年会の前日に下記の内容で開催した。本フォーラムでは、東海地区のスーパーサイエンス高校 22 校にポスターチラシを配布、理科教員と高校生の参加を勧誘した。

日時：2014 年 3 月 26 日(水)13:00～17:20(フォーラム)、17:30～19:30(ポスター発表)

会場：名古屋大学東山キャンパス理学部南館坂田・平田ホール

主催：JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域・文部科学省科研費補助金新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」

共催：首都大学東京人工光合成研究センター・東京大学人工光合成プロジェクト・東京理科大学総合研究機構光触媒国際研究センター・東京工業大学環境エネルギー研究機構・立命館大学グローバルイノベーション研究機構・名古屋大学理学部

協賛：日本化学連合・日本化学会・光化学協会

内容：

開会挨拶：(JST 理事)外村正一郎

はじめに：人工光合成の現状と課題(首都大東京人工光合成研究センター)井上晴夫

基調講演 1：「21 世紀の化学の責務と人工光合成への期待—科学技術イノベーション政策の視点から」(政策研究大学院大教授・JST 研究開発戦略センター副センター長)有本建男

基調講演 2：「エネルギー戦略の道徳と科学者精神」(東大名誉教授)御園生 誠

トピックス講演 1「水から酸素を創り出す金属錯体の化学」(分子研)正岡重行(本研究領域研究者)

トピックス講演 2：「微生物から学ぶメタンガスの生産と利用(マックスプランク陸生微生物学研)嶋 盛吾(本研究領域研究者)

トピックス講演 3：「人工光合成でクリーンな水素を造る」(京大院工)阿部 竜

まとめと総括(総合科学技術会議前議員・JST 顧問)相澤益男

⑤第 5 回「フォーラム：人工光合成」

第 5 回フォーラムは、前回同様に科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」第 2 回公開シンポジウムと共同で企画して以下の内容で開催した。

共催：首都大学東京人工光合成研究センター・東京大学人工光合成プロジェクト・東京工業大学環境エネルギー研究機構・東京理科大学総合研究機構光触媒国際研究センター・立命館大学グローバルイノベーション研究機構

協賛：日本化学連合・日本化学会・光化学協会

日時：2015年3月27日(金) 13:00~15:10

会場：日本大学理工学部船橋キャンパス(日本化学会第95春季年会S2会場)

内容：

趣旨説明：人工光合成研究の今これから(首都大東京人工光合成研究センター)井上晴夫
実用化を視野に入れた企業等における人工光合成研究の最前線：

人工光合成の実現可能性を広げるには(産総研エネルギー技術研究部門)佐山和弘、パナソニックにおける人工光合成システムの開発」(パナソニック先端研究本部)四橋聡史、水を電子源としたCO₂光還元反応の実現を目指した半導体((株)豊田中研)佐藤俊介、錯体ハイブリッド触媒の開発とその応用(株豊田中研)佐藤俊介(株東芝研究開発センター)小野昭彦
パネル討論：「未来社会に向けて科学技術に何が求められるか」

パネリスト：(JST 顧問・前総合科学技術会議議員)相澤益男、(文部科学省大臣官房審議官)田口 康、(経済産業省大臣官房参事官)福島 洋

司会：井上晴夫

閉会挨拶：(JST 戦略推進部調査役)古川雅士

⑥第6回「フォーラム：人工光合成」

第6回フォーラムは、前回同様に科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」と共同して以下の内容で開催した。

主催：JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域、文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」

共催：首都大学東京人工光合成研究センター・東京大学人工光合成プロジェクト・東京工業大学環境エネルギー研究機構・東京理科大学総合研究機構光触媒国際研究センター・立命館グローバル・イノベーション研究機構

協賛：日本化学連合、日本化学会、光化学協会

日時：2016年3月24日(木) 9:30~17:30

会場：同志社大学京田辺キャンパス(日本化学会第96春季年会SA会場)

内容：

開会挨拶：(JST)

はじめに：人工光合成研究にかけられる期待にどう応えるか？(JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域研究総括)(文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」領域代表)井上晴夫

第1部：人工光合成研究はどこまで進んでいるか？課題は？

生物機能の理解と光捕集機能

生物機能を理解する(岡山大院自然科学)沈 建仁、光捕集機能(立命館大院生命科学)民秋均、水の酸化光触媒機能(首都大東京人工光合成研究センター)井上晴夫、水素発生光触媒機能(東京理科大)工藤昭彦、二酸化炭素還元光触媒機能(東工大院理工)石谷 治

JST さきがけ研究者研究成果報告

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(阪市立大複合先端研)藤井律子、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(愛媛大プロテオサイエンスセンター)杉浦美羽、籠型分子の内部に展開する光-物質変換機能触媒の創出(阪大院理)船橋靖博、太陽光と新規酸素吸収酸化物を用いた燃料生成(九大稲盛フロンティア研)山崎仁丈

基調講演：Mesoscopic Photosystems for Artificial Photosynthesis (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne Institut of Chemical and Engineering Science, Lausanne Switzerland) Prof. Michael Grätzel

第2部：パネル討論「新しい科学を生み出すには何が必要か？」

パネリスト：(JST・前総合科学技術会議議員)相澤益男、(文部科学省研究開発局環境エネルギー課長)長野裕子、(岡山大院自然科学教授)沈 建仁、(京大院工教授)阿部 竜、(三菱化学㈱フェロー・執行役員)瀬戸山 亨

司会：井上晴夫

⑦第7回「フォーラム：人工光合成」

第7回フォーラムは、科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」第4回公開シンポジウムと共同で企画し以下の内容で開催した。

主催：JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域、文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」

共催：首都大学東京人工光合成研究センター・東京大学人工光合成プロジェクト・東京工業大学環境エネルギー研究機構・東京理科大学総合研究機構光触媒国際研究センター・立命館グローバル・イノベーション研究機構

日時：2017年1月28日(土)9:30~20:30

会場：東工大蔵前会館1階ホール(東京都目黒区大岡山2-12-1)

内容：

開会挨拶：(JST 理事)白木澤佳子

はじめに：人工光合成研究のこれから(JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域研究総括)(文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」領域代表)井上晴夫

第1部：「光エネルギーと物質変換」研究領域の研究ハイライト

さきがけ研究者7名による講演：

水の可視光分解を可能にする高活性酸素発生触媒の創製(分子研)正岡重行、カーボン担体を用いた CO₂ 還元能の向上(豊田中研)佐藤俊介、広域可視光に応答して駆動する水の酸化および CO₂ 還元光触媒の開発(東工大理)前田和彦、ビスマス系層状酸ハロゲン化物光触媒を用いた可視光水分(京大院工)阿部 竜、光合成水分解反応初期に利用されるプロトン移動経路(東大院工)石北 央、光化学系Ⅱ電子伝達を阻害する除草剤の結合様式(愛媛大プロテオサイエンスセンター)杉浦美羽、メタン生成代謝に含まれるヘテロジスルフィド還元酵素ヒドロゲナーゼ複合体の構造と機能(マックスプランク陸生生物学研)嶋 盛吾

第2部：さきがけ「光エネルギーと物質変換」第3期5年型研究者研究成果報告

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(JST さきがけ専任研究員・東工大)恩田 健

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(立命館大生命科学)長澤 裕、光励起キャリアーの動きとエネルギー制御(豊田工大院工)山方 啓

基調講演：「Integration of Molecular Assemblies and Semiconductors in Dye Sensitized Photoelectrosynthesis Cells」講演者：Prof. Thomas J. Meyer(Univ. of North Carolina at Chapel Hill)

第3部：パネルディスカッション「カーボンコントロール社会の実現に向けて：社会が求める知の顕微鏡、研究者が持つ知の望遠鏡」

パネリスト：(JST 顧問・前総合科学技術会議議員)相澤益男、(文部科学省研究開発局環境エネルギー課長)藤吉尚之

※話題提供：井上晴夫

ポスター発表：JST さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究領域および文部科学省科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：実用化に向けての異分野融合」研究者による発表。

参加者：産学官関係者など約180名(研究領域関係者含む)

(12)アウトリーチ活動

①サイエンスカフェの開催

本研究領域では、日本学術会議化学委員会「化学の教育・啓発活動」分科会と共同で、東京応化科学技術振興財団の支援を得て2009年度より科学教育普及活動として「化学を中心とするサイエンスカフェ」を開催してきた。

このサイエンスカフェは、本研究領域の若手研究者を講師として、小・中・高・高専生・大学生・一般市民を対象に、科学とくに化学分野の専門家と一般市民の人々が、カフェなどの比較的小規模な場所で音楽等を楽しみながら、研究者自身の研究内容だけでなく、資源・エネルギー、環境などの地球規模の課題について気軽に語り合う場であり、一般市民と科学者、研究者をつなぎ、広く科学の社会的な理解を深めるためのコミュニケーションの場として毎回3~4件開催し好評を博している。

「化学を中心とするサイエンスカフェ」の実施が化学普及のために極めて有効であるとの認識に基づき、2014年度までに13都市(札幌(2回)、名古屋、福岡(2回)、伊那、京都(4回)、相模原、長岡、つくば、米沢、広島、大阪(2回)、松山、岡崎(2回))で実施し、大きな成果を挙げることができた。さきがけの若手研究者にとっても自身の研究内容を参加者に分かりやすく解説する機会となるばかりでなく、演示実験や音楽演奏などもあり、参加者にとっても化学関連研究の最前線の知識・情報に触れることができる場となっている。2015年度までの開催実績を以下に示した。

○2009年度

【札幌市】光と化学と音楽と

2010年3月13日(土)

紀伊國屋書店札幌本店1階インナーガーデン(札幌市)

講師：北大触媒化学研究センター 阿部 竜准教授

参加者：65名

【名古屋市】光合成で協力して働く分子たち：ソリストな分子とオーケストラな分子たち

2010年3月18日(木)

サイエンスカフェ・ガリレオ・ガリレイ(名古屋市)

講師・ギター演奏：名古屋工業大学大学院生命・物質工学科 出羽毅久准教授

参加者：20名

【福岡市】植物にならえ！人工光合成

2010年3月20日(土)16:00~17:30

café Tinker Bell(福岡市)

講師：九州大学大学院理学研究院化学部門 正岡重行助教

参加者：25名

○2010年度

【長野・伊那市】環境問題とバイオエネルギー開発

2010年10月1日(金)

伊那市生涯学習センター(いなっせ)7階(長野県伊那市)

講師：信州大学農学部応用生命科学科 伊原正喜助教

参加者：30名

【京都市】化学と珈琲と音楽と

2011年2月26日(土)

カフェ・ヴェルディ(京都市)

講師：京都大学大学院理学研究科 荒谷直樹助教

参加者：20名

【相模原市】酸化還元反応が鍵を握る！人工光合成

2011年3月12日(土)

北里大学理学部(神奈川県相模原市)

講師：北里大学大学院理学研究科 石田 斉准教授

参加者：25名

○2011年度

【長岡市】おもしろ科学フェスタ「人工光合成：太陽光と水から燃料を作る」

2011年8月6日(土)

国営越後丘陵公園“花と緑の館”(新潟県長岡市)

講師：新潟大学大学院自然科学系 八木政行教授

参加者：30名

【京都市】光合成反応中心タンパク質光化学系Ⅱ(PhotosystemⅡ)の働き

2011年9月19日(月)

カフェ セカンドハウスケーキワークス銀閣寺店(京都市)

講師：京都大学生命科学キャリアパス形成ユニット 石北央特定助教

参加者：24名

【福岡市】太陽からの贈り物と科学の役割「光エネルギーの利用について」

2011年12月3日(土)

童夢カフェ in OPERA(九州大学)

講師：九州大学大学院工学研究院 伊田進太郎准教授

【つくば市】身近な水が再生可能エネルギーになる「人工光合成が拓く未来」

2012年3月17日(土)

つくば市民大学(つくば市)

講師：高エネルギー加速器研究機構物質科学研究所 足立伸一教授

参加者：33名

○2012年度

【米沢市】生き物の色と形

2012年10月7日(日)

山形大学工学部百周年記念会館(米沢市)

講師：山形大学大学院理工学研究科 堀田純一准教授

参加者：50名

【大阪市】研究ときめきカフェ「百聞は一見にしかず：細胞のなかで働くタンパク質の形をみる」

2012年11月9日(金)

大阪大学コミュニケーションデザインセンター アートエリア B1(大阪市)

講師：大阪大学蛋白質研究所 栗栖源嗣教授

参加者：60名

【広島市】水と光とエネルギー

2012年12月2日(日)

賀茂泉酒造(株)泉館(東広島市)

講師：広島大学大学院工学研究院 定金正洋准教授

参加者：31名

【松山市】「環境・エネルギー問題に挑む新テクノロジー：エネルギー問題って？新エネルギー技術を紹介、解説します」

2013年3月16日(土)13:00～15:00

愛媛大学アクティブラーニングスペース1(松山市)

講師：愛媛大学無細胞生命科学工学研究センター 杉浦美羽准教授

参加者：30名

○2013年度

【愛知県額田郡幸田町】出前講義実験

2013年6月28日(金)

幸田町立北部中学校(愛知県額田郡幸田町)

講師：自然科学研究機構分子科学研究所 村橋哲郎教授

参加者：120名

【京都市】光合成～地球を支える植物のちから

2013年12月21日(土)

京都大学百周年時計台記念館(京都市)

講師：京都大学大学院生命科学研究所 伊福健太郎助教

参加者：50名

【東京目黒区】水と二酸化炭素が資源になる！太陽光エネルギー利用に向けた化学の挑戦

2014年3月15日(土)サイエンスカフェ・研究室見学会

東京工業大学蔵前会館ロイヤルブルーホール・理工学研究科化学専攻(東京都)

講師：東京工業大学大学院理工学研究科 前田和彦准教授

参加者：25名

○2014年度

【愛知県岡崎市】出前講義実験：光エネルギーとタンパク質

2014年7月14日(月)

岡崎市立六ツ美北中学校(愛知県岡崎市)

講師：自然科学研究機構分子科学研究所 古谷祐詞准教授

参加者：45名

【札幌市】「カガヤク、カガク ～ホウ素の力で未来を照らす～」

2014年8月3日(日)

紀伊國屋書店札幌本店1階インナーガーデン(札幌市)

講師：北海道大学大学院理学研究院 作田絵里助教

参加者：70名

【大阪・吹田市】化学と音楽「光合成ってなに？光を受け取る色素の秘密」「やっと分かった、酸素を出すタンパク質」

2014年8月23日(土)

カフェレストラン「アリエッタ」(吹田市)

講師：大阪市立大学複合先端研究機構 藤井律子准教授、大阪市立大学複合先端研究機構 梅名泰史特任准教授

参加者：35名

【京都市】CO₂を“ひかり”と“みず”でリサイクル！？

2014年9月28日(日)

京都大学百周年時計台記念館(京都市)

講師：京都大学大学院工学研究科 寺村謙太郎准教授

参加者：60名

○2015年度

【名古屋市】光触媒を使って太陽光と水から水素をつくる：エネルギー問題や環境問題を解決

2015年7月30日(木)・8月24日(月)・11月2日(月)

豊田工業大学化学実験室(名古屋市)

講師：豊田工業大学大学院工学研究科 山方 啓准教授

参加者：43名

【福岡市】サイエンスカフェ&九州大学オープンキャンパス「太陽光熱化学水分解デモ実験」

2015年8月2日(日)

九州大学稲盛フロンティア研究センター(福岡市)

講師：九州大学稲盛フロンティア研究センター 山崎仁丈教授

参加者：80名

【大阪市】：化学と音楽「光合成ってなに？光エネルギーはどうやったらいいの？生物をまねる、まなぶ」

2016年3月19日(土)14:00~16:30

ギャラリーレストラン&カフェ「ティナレンテ」(大阪市)

講師：大阪大学大学院理学研究科 船橋靖博教授

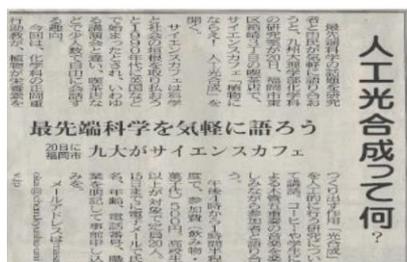
演奏：中川啓子シター奏者・ピアニスト

参加者：32名

○2016年度

【北九州市】：サイエンスカフェ イン 九州工業大学 2016「化学技術が地球温暖化を解決する！化学の大発見の秘密！」

新聞告知(西日本新聞 2010年3月9日朝刊)



2016年7月18日(月)14:00~16:30

九州工業大学戸畑キャンパス百周年中村記念館(北九州市)

講師:「太陽エネルギーを利用して炭酸ガスから燃料製造」九州工業大学工学院 横野照尚先生

参加者:70名

【注】このほか長崎大学と東京工科大学でもサイエンスカフェを開催している。

②月刊「化学経済」への領域紹介記事の連載(化学工業日報社発行)

化学工業界で唯一の専門誌として、化学業界トップをはじめ、金融アナリスト、ジャーナリスト、産官学の専門識者などにより、化学および関連産業の需給動向をはじめ、研究開発、経営、環境などの視点から特集記事が企画され、化学系企業の役員・経営者・管理

職者・研究者や官庁行政官等が主な購読者である月刊「化学経済」に領域紹介として 2011 年 9 月号～12 月号に「新エネルギーへの挑戦：人工光合成を目指して」と題して井上研究総括・領域アドバイザー・本研究領域の研究者の研究内容の記事を連載した。

9 月号：水の酸化、二酸化炭素の還元、高機能分子、錯体研究関係、井上研究総括・石谷領域アドバイザー・本研究領域の研究者 9 名

10 月号：植物の光合成を理解する、まねる、使う、生物関係、伊藤領域アドバイザー・本研究領域の研究者 8 名

11 月号：半導体光触媒、水素生成、計測関係、堂免領域アドバイザー・工藤領域アドバイザー・本研究領域の研究者 6 名

12 月号：企業から見た人工光合成の行方、瀬戸山領域アドバイザー・本研究領域の研究者 13 名

7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況

(1) 研究領域全体としての研究成果

研究者の成果に対しての最も重要な指標は自らの研究成果を学術論文や学会発表として世界に発信し、当該分野の発展にいかにか寄与できたかである。さきがけ研究期間中の第 1 期生、第 2 期生、第 3 期生の学術原著論文総数は 797 報、学会発表総数(国内・国際)は 2076 件、招待講演総数(国内・国際)は 455 件、特許出願の総数は 20 件であった。数多くの成果発信がなされている。

学術論文は国際的に極めて評価の高い *Nature*, *Nature Materials*, *J. Am. Chem. Soc.*, *Biochemistry*, *J. Phys. Chem.*, *Inorg. Chem.*, *Langmuir*, *Tetrahedron Lett.*, *Chem. Commun.*, *Organometallics*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Dalton Transactions*, *J. Biol. Chem.* 等の国際誌を中心に発表されている。なお、さきがけ研究は基礎研究や探索研究が主であり、特許出願を奨励するものの出願は多くはない。

本研究領域の研究者の研究内容が基礎的な研究であるか、応用に比較的近い研究か、あるいは所属する研究室スタッフの規模や共同研究者である大学院生の数などに違いがあり、これらを必ずしも直截、同列に比較・判断することはできないが、総じて学術発信は活発であり、創造性や個性を尊重した本研究領域の方針を反映したものと言える。

研究成果の質を判断する指標の一つとして、国の機関や学術研究団体から授与される表彰がある。

(2) 領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果、研究課題の事例

本研究領域研究者による研究成果の内、特筆すべき研究成果、研究課題の事例を選択して数例以下に示す。

①研究領域の狙い(1)：自然に学び、理解するアプローチ

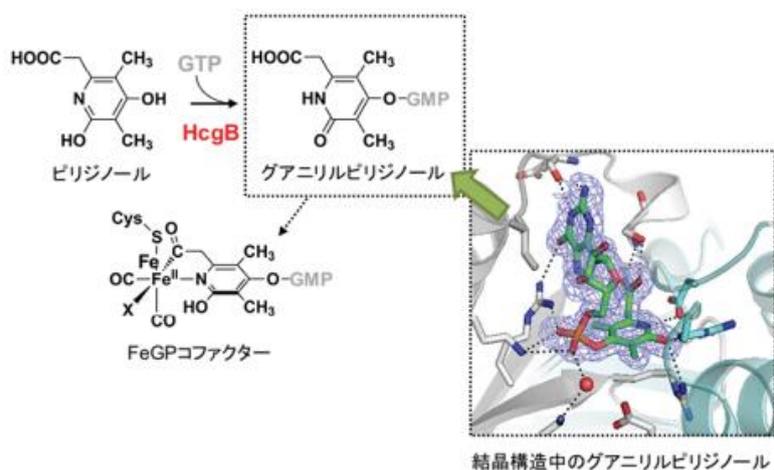
以下の事例は独創的・挑戦的・先駆的かつ国際的に高水準の発展が見込まれる先駆的な成果であると評価される。

・嶋 盛吾(マックスプランク陸生微生物学研究所・バイオケミストリーグループリーダー)
「水素変換酵素の活性中心合成酵素を発見」

論文1： T. Fujishiro, H. Tamura, M. Schick, J. Kahnt, X. Xie, U. Ermler, S. Shima,
“Identification of the HcgB enzyme in [Fe]-hydrogenase-cofactor biosynthesis”,
Angew. Chem. Int. Ed. **2013**, *52*, 12555-12558 (Highlighted on inside back cover).

概要：水素を生成する際に働く酵素、[Fe]ヒドロゲナーゼ酵素は、ヒドロゲナーゼの中でもシンプルな構造で耐久性も高いことから、その活性中心化合物である「FeGP コファクター」が作られる仕組みが分かれば、安価で優れた水素変換触媒の開発につながる事が期待されている。本研究では、FeGP コファクターを作る酵素の1つとして、「HcgB」を発見した、さらにこの酵素で合成された物質の構造も明らかにすることにも成功し、FeGP コファクターの生合成機構の全容解明に向けて大きく前進した。将来的に、FeGP コファクターの生合成機構が網羅的に解明され、FeGP コファクターの模擬化合物ができれば、安価で大量供給可能な人工触媒として、人工光合成や燃料電池の電極などへの活用が期待される。

水素変換酵素の活性中心合成酵素を発見



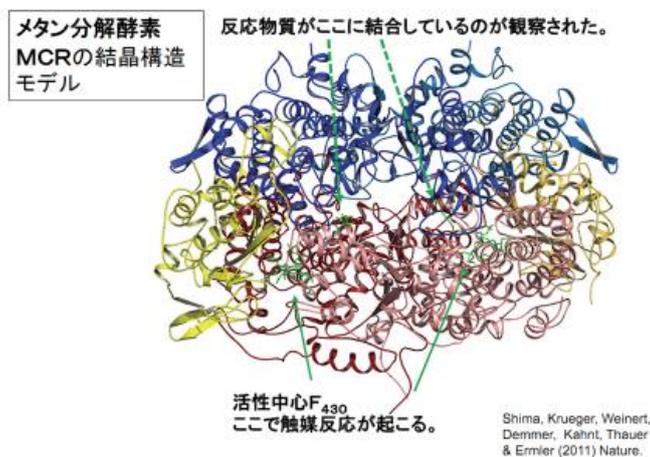
「海底微生物層のメタン分解酵素を結晶化し立体構造を解明」

論文2： S. Shima, M. Krueger, T. Weinert, U. Demmer, J. Kahnt, R. K. Thauer, U. Ermler,
“Structure of a methyl-coenzyme M reductase from Black Sea mats that oxidize methane anaerobically”, *Nature* **2012**, *481*, 98-101.

概要：メタンは強力な温室効果ガスのため、大気中に放出されると地球温暖化への影響が心配される。海底の堆積物から生成されたメタンは、酸素がない条件でも大量に分解され

ていることが明らかになっていた。本さきがけ研究ではメタン分解反応を行っている黒海海底の微生物層を採取し、メタン分解酵素を結晶化することに成功し、X線解析によってその立体構造を世界で初めて明らかにした。この研究で得られた知見は自然界におけるメタンの発生を低減するための重要な情報となる。また、本酵素はメタン生成も促進することから人工光合成によるメタン生成研究への応用が期待される。

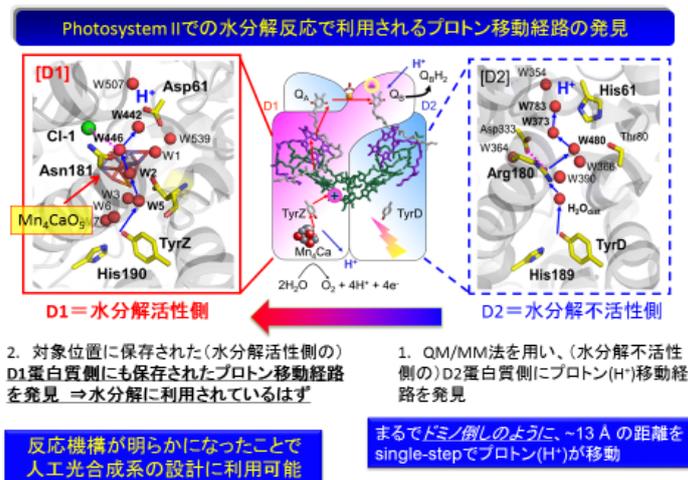
海底微生物層のメタン分解酵素を結晶化し立体構造を解明



・石北 央(東京大学先端科学技術研究センター・教授)

論文 1: 「光合成の光化学系 II (PS II) での水分解反応で利用されるプロトン移動経路を発見」
K. Saito, A. W. Rutherford, H. Ishikita, “Mechanism of Tyrosine D oxidation in Photosystem II”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2013**, *110*, 7690-7695.

概要：高等植物や藻類は太陽光を利用し、蛋白質(光化学系 II、PS II)の内部で水を酸素とプロトンに分解する。本研究では、PS II の結晶構造を基に量子化学計算を行い、水分解に直接関わらないとされる D2 蛋白質サブユニット側の酸化還元活性アミノ酸 TyrD から蛋白質表面に伸びるプロトン移動経路を発見した。さらに蛋白質の分子進化の過程に関する考



Saito, Rutherford, Ishikita*. (2013)*Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* *110*, 7690

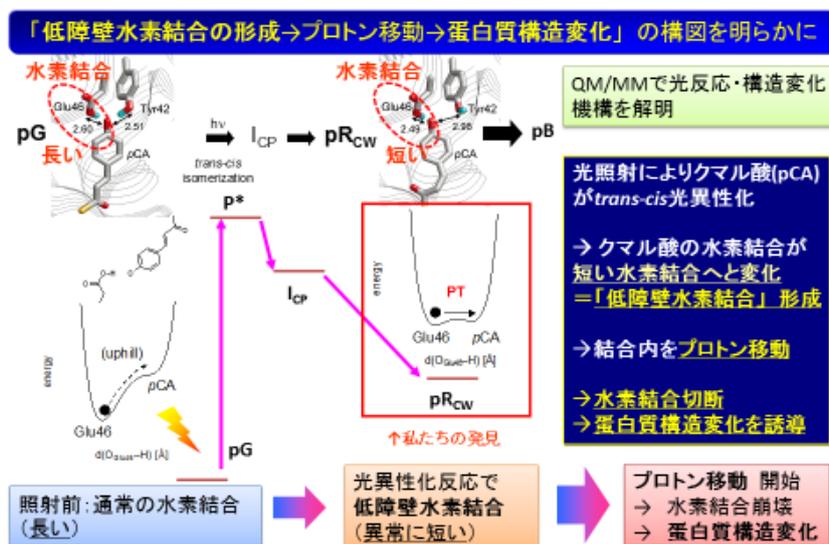
察を加えることにより、D2 蛋白質と相同性のある D1 蛋白質サブユニット側の「TyrZ・近傍の水分解触媒サイト Mn_4CaO_5 」から水分解時に利用される可能性のあるプロトン移動経路を同定した。

「蛋白質結晶構造中に見出される短い水素結合、「低障壁水素結合の形成>プロトン移動>蛋白質構造変化」の構図を解明」

論文 2: K. Saito, H. Ishikita, “Formation of an unusually short hydrogen bond in photoactive yellow protein”, *Biochim. Biophys. Acta (Bioenergetics)* **2013**, 1827, 387-394.

K. Saito, H. Ishikita, “Energetics of short hydrogen bonds in photoactive yellow protein”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2012**, 109, 167-172.

概要: 蛋白質結晶構造中に見出される短い水素結合は、「低障壁水素結合」と判断され「短い水素結合ならば常に強い水素結合」とも誤って解釈される場合が多々あった。本研究では、「水素結合ドナー・アクセプター両者の pK_a が一致しない限り、低障壁水素結合は生成しない」「 pK_a が一致した際、水素結合はそのドナー・アクセプターで取り得る最短のものとなるが、エネルギー的には不安定」「低障壁水素結合生成条件はプロトン移動が最も起こりやすい条件」であることを実在の蛋白質 photoactive yellow protein で初めて実証した。



Saito & Ishikita* (2012) *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 167

Saito & Ishikita* (2013) *Biochim. Biophys. Acta* 1827 (Bioenergetics) 387

②研究領域の狙い(2) : 見えなかったものを見ようとする挑戦

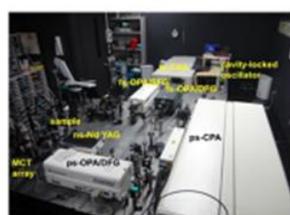
・恩田 健(JST さきがけ専任研究員・東京工業大学理学研究流動機構・研究員)

「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」

論文： N. Fukazawa, T. Tanaka, T. Ishikawa, Y. Okimoto, S. Koshihara, T. Yamamoto, M. Tamura, R. Kato, K. Onda, "Time-Resolved Infrared Vibrational Spectroscopy of the Photoinduced Phase Transition of Pd(dmit)₂ Salts Having Different Orders of Phase Transition", *J. Phys. Chem. C*, **2013**, *117*, 13187-13196.

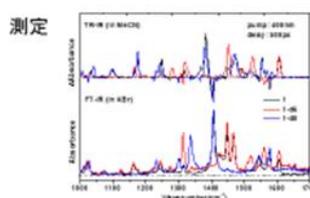
概要：Pd 錯体を含む有機結晶において光電荷移動後の電子状態、分子、結晶構造の変化を時間分解赤外分光で解明した。錯体のヘテロ環状共役配位子の二重結合振動の詳細な帰属およびその時間変化の解析から、電子状態変化(電荷移動)と構造変化が異なる時間スケールで起こることを発見した。またその原因が結晶中の立体的に障害によるものであることを解明した。

新しい時間分解赤外分光装置の開発とその解析手段の確立

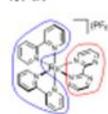


この種の装置として
世界最高性能の実現

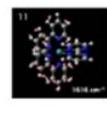
高い感度: $\Delta\text{abs} < 10^{-5}$
 広い測定時間範囲: 100 fs - 100 ms
 広い励起光波長: 266 nm, 300 nm - 10 mm



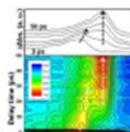
測定



同位体置換
配位子置換



量子化学計算



各ピークの
時間変化

これまで不可能だった金属錯体希薄溶液における指紋領域
の振動スペクトル測定およびその解析を可能にした

・長澤 裕(立命館大学生命科学部・教授)

「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」

論文： Y. Nagasawa, Y. Yoneda, S. Nambu, M. Muramatsu, E. Takeuchi, H. Tsumori, S. Morikawa, T. Katayama, and H. Miyasaka, "Coherent wavepacket motion in an ultrafast electron transfer system monitored by femtosecond degenerate four-wave-mixing and pump-probe spectroscopy." *Chem. Phys.* **2014**, *442*, 68-76.

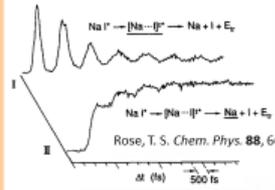
概要：電子供与性溶媒(*N,N*-ジメチルアニリン)と受容性溶質(色素オキサジン 1)間の超高速光誘起電子移動(ET)反応にともなう核波束運動の観測をフェムト秒時間分解分光法により行った。その際、急速に減衰する核波束運動と減衰しないものの2種類が観測され、それぞれ励起状態と基底状態の核波束運動に帰属された。両運動の振動数は5-9cm⁻¹程度の差しかないが、ロックインアンプを使用した精密測定によりその差異を明確に検出することが可能となった。さらに、ET反応(時定数: 60-80fs)よりも若干長く核波束運動が持続していること(位相緩和時間: 160-240fs)が判明した。

超高速電子移動のドライビング・フォースと反応場の研究

大阪大学 大学院基礎工学研究科 未来物質領域 長澤 裕

目的：光合成における光捕集過程・電子移動過程の物性・メカニズムを解明し、人工光合成実現のための基礎を築く。

ボトムアップ型の研究
単純な人工系を構築し原理を解明する。
超光速電子移動系における核波束運動



電子移動への分子振動の寄与。
**Marcus理論を越えた
超高速電子移動の実現。**

トップダウン型の研究
天然の光合成系のメカニズム解明
名工大出羽グループ(LHII)や阪市大梅名グループ(PS2)との共同研究



天然の光捕集アンテナ複合体に人工的な色素を付加し、その光捕集波長の拡張を試みる。
天然のものに匹敵する超高速な光エネルギー移動の実現。

③研究領域の狙い(3)：自然の代替を目指す、あるいは自然を超えようとする挑戦研究

以下の事例は人工光合成分野における科学技術イノベーションの源泉となる先駆的で国際的にも高い水準の成果創出、または萌芽が認められるものと評価される。

・森本 樹(東京工科大学工学部応用化学科・講師)

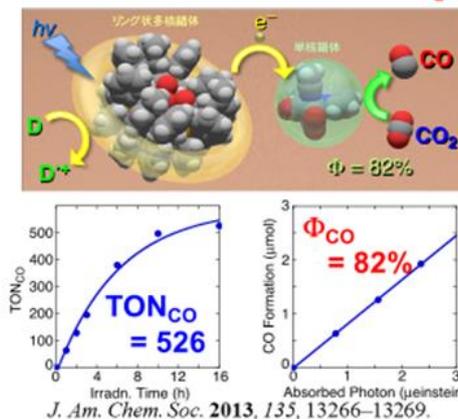
「世界最高の反応量子収率を示すCO₂還元光触媒系を開発」

論文： T. Morimoto, C. Nishiura, M. Tanaka, J. Rohacova, Y. Nakagawa, Y. Funada, K. Koike, Y. Yamamoto, S. Shishido, T. Kojima, T. Saeki, T. Ozeki, O. Ishitani, “Ring-Shaped Re(I) Multinuclear Complexes with Unique Photofunctional Properties”, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 13266-13269.

概要：ビスカルボニルジイミドレニウム錯体を二座ホスフィン配位子で連結して得られる

世界最高の反応量子収率を示すCO₂還元光触媒系

環状の「光アンテナ」を使うことで
これまでで最も高い反応量子収率でCO₂を還元



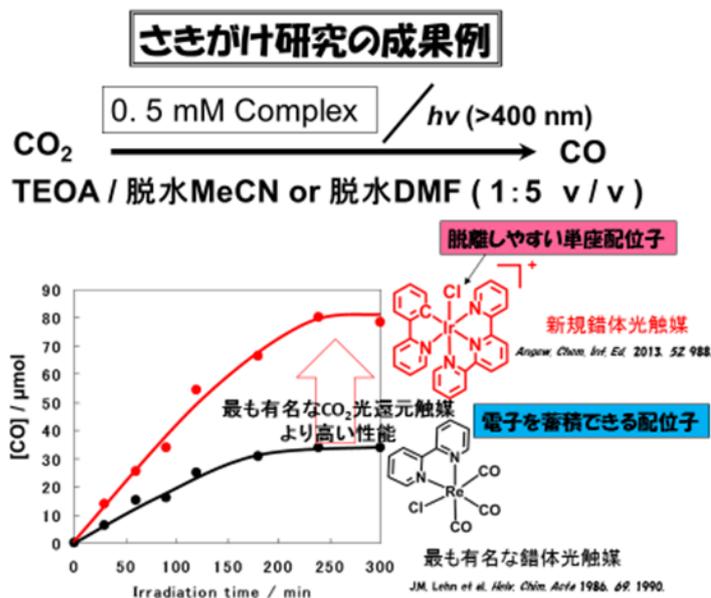
環状レニウム(I)多核錯体は、配位子の種類、核数を制御することで、配位子間 $\pi-\pi$ 相互作用が増強され、通常のレニウム錯体と比較して、量子収率・励起寿命が大幅に向上することを明らかにした。さらに、非常に長い励起寿命を有する環状多核錯体を光増感剤として CO_2 還元光触媒反応を行い、反応量子収率 82%を示す光触媒系の構築に成功した。これは現在報告されている CO_2 還元光触媒の中で、最も高い CO_2 還元量子収率を示す光触媒である。

・佐藤俊介(榊豊田中央研究所森川特別研究室・研究員)

「新規 CO_2 可視光還元触媒の開発」

論文：S. Sato, T. Morikawa, T. Kajino, O. Ishitani, “Highly efficient mononuclear iridium complex photocatalyst for CO_2 reduction under visible light”, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 52, 988-992.

概要：二酸化炭素 (CO_2) 還元光触媒として $[\text{Re}(\text{bpy})(\text{CO})_3\text{Cl}]$ 錯体は非常に有名である。この錯体の特徴は、単独で CO_2 還元光触媒として駆動できることである。これまで Re 錯体と同じような性能を有する錯体は報告されていなかったが、本論文では可視光を用いて Re 錯体と同様に単独で CO_2 還元光触媒として駆動する光触媒 $[\text{Ir}(\text{tpy})(\text{ppy})\text{Cl}]^+$ を開発した。反応機構についても検討しており、反応初期において $[\text{Ir}(\text{tpy})(\text{ppy})\text{H}]^+$ が生成し、触媒活性が発現していることがわかった。



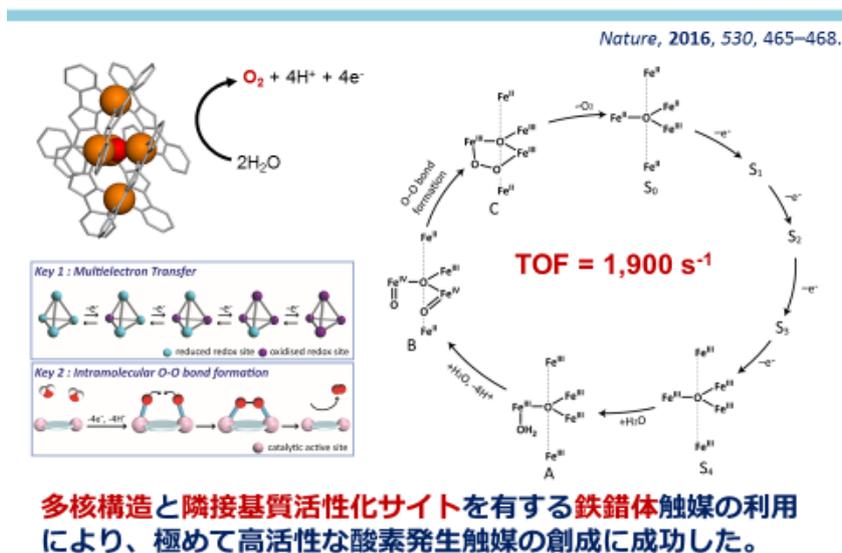
・正岡重行(分子科学研究所生命錯体研究領域・准教授)

「鉄 5 核錯体触媒を用いた酸素発生反応」

論文：M. Okamura, M. Kondo, R. Kuga, Y. Kurashige, T. Yanai, S. Hayami, V. K. K. Praneeth, M. Yoshida, K. Yoneda, S. Kawata, S. Masaoka, “A pentanuclear iron catalyst designed for water oxidation”, *Nature* **2016**, 530, 465-468. [さきがけ終了後]

概要：安価な金属イオンを用いた酸素発生触媒の開発は、人工光合成の実現に向けた重要な課題の一つである。本論文では、多核構造と隣接基質活性化サイトを併せ持つ鉄錯体を利用することで、高活性な酸素発生触媒を創製できることを報告した。サイクリックボルタモグラムの波形から酸素発生反応の触媒回転頻度を算出したところ、毎秒 1,900 回であることが分かった。この値は、既報の鉄錯体触媒に比べて 1,000 倍以上も高い値であった。また、電気化学測定、分光化学測定および量子化学計算の結果から、多電子移動反応と結合生成反応がそれぞれ効率よく進行する反応機構が示唆された。

鉄 5 核錯体触媒を用いた酸素発生反応



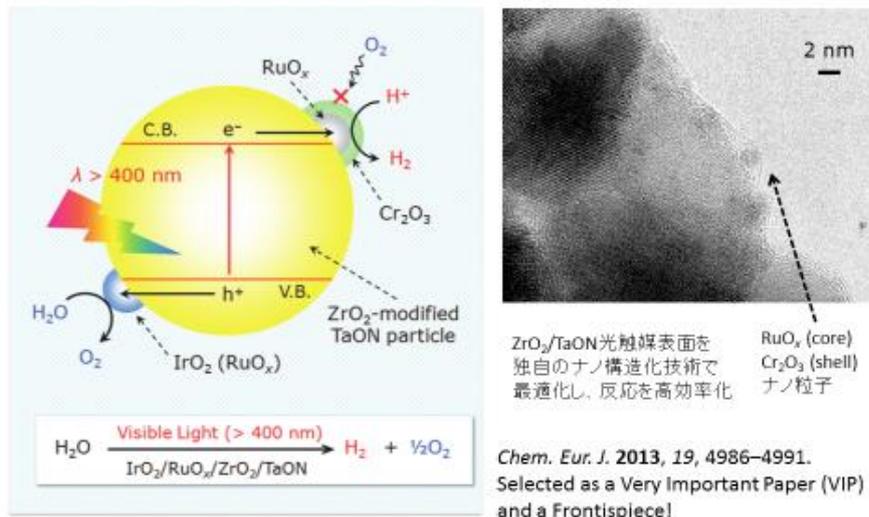
・前田和彦(東京工業大学理学院・准教授)

「ZrO₂/TaON 光触媒を用いて 650nm 以上の広域可視光による水の完全分解に成功」

論文：K. Maeda, K. Domen, “Water Oxidation Using a Particulate BaZrO₃-BaTaO₂N Solid-Solution Photocatalyst That Operates under a Wide Range of Visible Light” *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 9865-9869.

概要：BaTaO₂N は水素生成反応に有効な光触媒として知られていたが、その酸素生成反応についてはほとんど報告が無く、活性はほぼゼロとされてきた。本研究では、BaTaO₂N が適当な助触媒修飾により水の酸化に安定な光触媒となること、及び BaZrO₃ との固溶体形成により活性が向上することを明らかとした。本系は、650nm 以上の広域可視光を利用して水の酸化還元を単一の半導体光触媒で実証したはじめての例である。

ZrO₂/TaON光触媒を用いて、d⁰電子状態の非酸化物系光触媒としてはじめて水の可視光完全分解を実証



④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、将来性が見込まれ、大きな成果に繋がる可能性があるものの事例

・梅名泰史(岡山大学異分野基礎科学研究所・特任准教授)

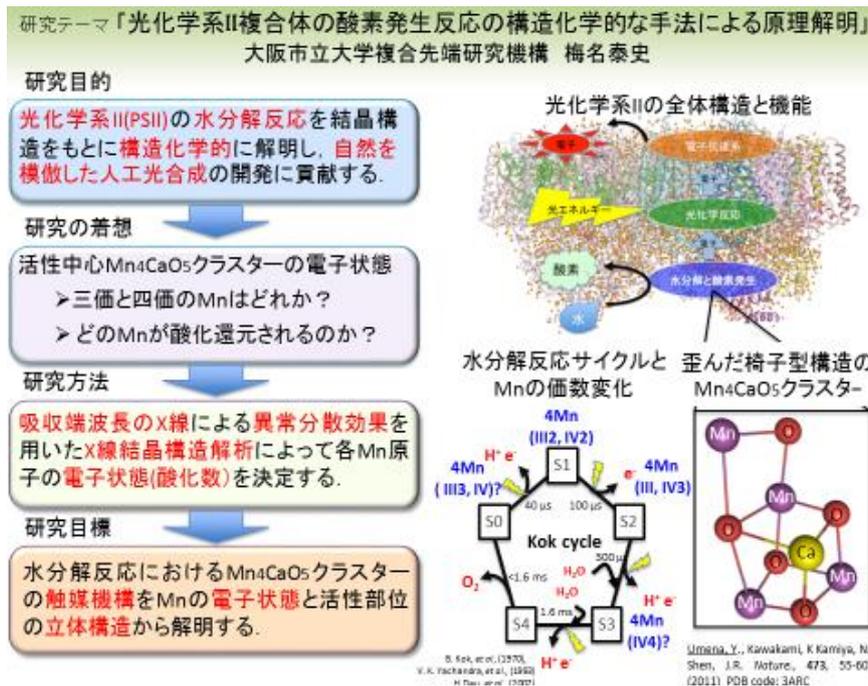
「光化学系Ⅱ複合体の酸素発生反応の構造科学的な手法による原理解明」

論文：F. H. Koua, Y. Umena, K. Kawakami, J. R. Shen “Structure of Sr-substituted photosystem II at 2.1 Å resolution and its implications in the mechanism of water oxidation”, *Proc Natl Acad Sci U S A.* **2013**, *110*, 38890–38894.

概要：好熱性シアノバクテリア由来の光化学系Ⅱ(PSⅡ)の2.1Å分解能の結晶構造解析を行い、PSⅡで起こる水分解反応に関わる構造情報を明らかにした。

現在、上記研究をさらに進めて、天然の光合成系の最も不思議な点、光合成の極意とされるPSⅡ中のMnクラスターがどのようにして水分子を4電子酸化するのか、についてその分子機構を解明しようとしている。

具体的には段階的な4光子の照射により電子伝達を経由してMnクラスターが+1、+2、+3、+4の高酸化状態に変化することは既に分かっているが、4個のMnイオンの中で、どのMnが最初に酸化され、次はどのMnが酸化されるのか、またそれに伴い、配位している水酸化物イオン、水、MnとMnの間の格子酸素原子がどのような変化を受けて、酸素発生につながっていくのかを、+1、+2、+3、+4の高酸化状態のそれぞれについて、無損傷X線構造解析を行うことにより解明しようとしている。極めて挑戦的な研究課題であるが、現在鋭意実験を進めている。これらが解明されれば、光合成の不思議の最も重要な点が明らかになることになり、極めてインパクトの大きい研究成果となる。



8. 総合所見

(1) 研究領域のマネジメントについて(課題選考、領域運営)

本研究領域では、前述の通り、1. (1)の戦略目標の研究開発課題の内、「人工光合成」の実現を主要課題としているが、本研究領域の研究者の研究が領域の課題「人工光合成」に長期的にどう貢献できるのかを研究提案採択の主眼とした。

研究総括としては、これまでに蓄積された科学技術やその組み合わせによる研究提案ではなく、むしろ現状の科学技術を超えて、現時点では実現性が判断しがたいアプローチや提案に見えても、将来のエネルギー問題を解決するブレークスルーとなる可能性を秘めた独創的で挑戦的な研究提案に注目した。社会が期待する極めて優れた若手研究者が、現在人工光合成分野、エネルギー分野での研究実績がなくとも、自身が持つ異分野の卓越した科学方法論を武器に柔軟な発想力、独創性をもって人類のエネルギー問題の解決を目指して挑戦、参入することを期待した。

また、本研究領域では、採択された研究者による研究課題の独創的研究を制約なく自由に推進するために全面的に支援することを最大の目標としたが、研究者には、我が国のみならず国際的な研究者としてのマインドの醸成、領域内・外の異分野研究者との共同研究の推進・情報研究交流の推奨に加え、我が国における将来の科学技術研究開発の中核を担う研究者として育成することも重要な目標とした。

研究領域の運営方針、研究総括のマネージメントについては、以下の項目について尽力した。

①研究活動の全面的な支援、②研究目標達成に向けての支援、③国際的な研究者としての育成、④研究協力、共同研究の促進、⑤研究成果公表の促進、⑥知的財産権の取得支援、⑦研究環境の向上と研究設備の整備、⑧研究倫理の周知、⑨領域独自の研究費査定と総括裁量経費による重点配分、⑩領域独自の表彰制度、⑪領域独自のアウトリーチ活動の実施 (i) : サイエンスカフェの実施、⑫領域独自のアウトリーチ活動の実施 (ii) : 産業界への学術発信、⑬領域独自のアウトリーチ活動の実施 (iii) : 「フォーラム人工光合成」の開催

(2) 研究領域としての成果

本研究領域の研究者による、研究期間中の学術原著論文総数は 797 報、学会発表総数(国内・国際)は 2076 件、招待講演総数(国内・国際)は 455 件、特許出願の総数は 20 件で、数多くの成果発信がなされており、学術論文は国際的に極めて評価の高い国際誌を中心に発表されている。一方で、さきがけ研究は基礎研究や探索研究が主であり、特許出願を奨励するものの出願は多くはないものの、総じて学術発信は活発であり、創造性や個性を尊重した本研究領域の方針を反映したものと言える。

本研究領域研究者による研究成果の内、特筆すべき研究成果、研究課題の事例を選択して数例を以下に示す。

①研究領域の狙い(1) : 自然に学び、理解するアプローチ

以下の事例は独創的・挑戦的・先駆的かつ国際的に高水準の発展が見込まれる先駆的な成果であると評価される。

・嶋 盛吾(マックスプランク陸生微生物学研究所・バイオケミストリーグループリーダー)
水素変換酵素の活性中心合成酵素を発見。

海底微生物層のメタン分解酵素を結晶化し立体構造を解明。

・石北 央(東京大学先端科学技術研究センター・教授)

光合成の光化学系 II 複合体での水分解反応で利用されるプロトン移動経路の発見。

蛋白質結晶構造中に見出される短い水素結合、「低障壁水素結合の形成>プロトン移動>蛋白質構造変化」の構図の解明。

②研究領域の狙い(2) : 見えなかったものを見ようとする挑戦

・恩田 健(JST さきがけ専任研究員・東京工業大学理学研究流動機構・研究員)

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。

・長澤 裕(立命館大学生命科学部・教授)

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。

③研究領域の狙い(3)：自然を超えようとする挑戦研究

以下の事例は人工光合成分野における科学技術イノベーションの源泉となる先駆的で国際的にも高い水準の成果創出、または萌芽が認められるものと評価される。

・森本 樹(東京工科大学工学部応用化学科・講師)

世界最高の反応量子収率を示す CO₂還元光触媒系を開発。

・佐藤俊介(榊原中央研究所森川特別研究室・研究員)

新奇 CO₂可視光還元触媒の開発。

可視光を用いて水と二酸化炭素から酸素とギ酸を 4.6%の高エネルギー変換効率で生成することに成功。

・正岡重行(分子科学研究所生命錯体研究領域・准教授)

新奇な水の酸化触媒として鉄 5 核錯体の開発。

・前田和彦(東京工業大学理学院・准教授)

ZrO₂/TaON 光触媒を用いて 650nm 以上の広域可視光による水の完全分解に成功。

④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、将来性が見込まれ、大きな成果に繋がる可能性があるものの事例

・梅名泰史(岡山大学異分野基礎科学研究所・特任准教授)

光化学系 II 複合体の酸素発生反応の構造科学的な手法による原理解明。

現在、上記研究をさらに進めて、天然の光合成系の最も不思議な点、光合成の極意とされる光化学系 II 複合体(PS II)中の Mn(マンガン)クラスターがどのようにして水分子を 4 電子酸化するのか、についてその分子機構を解明しようとしている。具体的には段階的な 4 光子の照射により電子伝達を経由して Mn クラスターが+1、+2、+3、+4 の高酸化状態に変化することは既に分かっているが、4 個の Mn イオンの中で、どの Mn が最初に酸化され、次はどの Mn が酸化されるのか、またそれに伴い、配位している水酸化物イオン、水、Mn と Mn の間の格子酸素原子がどのような変化を受けて、酸素発生につながっていくのかを、+1、+2、+3、+4 の高酸化状態のそれぞれについて、無損傷 X 線構造解析を行うことにより解明しようとしている。極めて挑戦的な研究課題であるが、現在鋭意実験を進めている。これらが解明されれば、光合成の不思議の最も重要な点が明らかになることになり、極めてインパクトの大きい研究成果となる。

(3) 科学技術イノベーション創出への展望

本研究領域で得られた研究成果については、前述したように、極めて活発な学術発信を行っている。

ダーウィンの「進化論」(「種の起源」:1896年)に基づく「生命の樹」の図はよく知られている。進化論の概念を一目で理解できるように説明している。生物種の進化は大木が太い枝を張るようにそれぞれがある段階で(二次元図としては y 軸上のある点で)独自に変異

(いわば枝分かれ)して横方向(x軸方向に)に発展していく。社会の中での科学技術(学と術)の関係・連携・進展についても類似の二次元図で理解できる。学(科学)はy軸上を上り続けるのに対し、術(技術)は「社会の要請」に背中を押されていわば「見切り発車」で、ある時点での学の知識(y軸)の組み合わせと条件の最適化によりx軸方向に展開して行く。より高い位置に枝を張るには、より高い学(y軸上の点)から枝を張る必要がある。研究総括はこれを「科学技術の樹」と呼び、一貫してさきがけ研究者にはもちろんのことフォーラム人工光合成などを通じて社会への科学普及発信活動を行ってきた。このような視点で、本研究領域では研究者の選定や研究推進については、将来の技術イノベーションに繋がるかどうかは現時点で判断が困難な研究提案であっても、学術的な独創性を発展させ創造軸(y軸)での研究成果が期待できるかどうかの視点を中心に判断した。人工光合成のお手本と言える天然の光合成を、①学び、理解し、②代替機能を発現し得る人工系を開発し、③自然を超える系の構築、のそれぞれの段階での学術的なブレークスルーとなる研究成果が得られることを目指した。

本研究領域の研究成果を俯瞰すると、将来の科学技術イノベーション創出を導くブレークスルー、創造軸における顕著な研究成果が得られていると判断する。今後の科学技術イノベーション創出は大いに期待できる。その展望と社会へのアウトプット、アウトカムについては、今後への期待と展望と合わせて後述する。

(4) 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

近未来の地球のエネルギー事情、環境事情は深刻ともいえる。従来通りの化石資源の使用は膨大な二酸化炭素の排出を伴う。化石資源の枯渇への懸念と同時に、地球大気中の二酸化炭素濃度の急激な増加にも重大な懸念が叫ばれている。

一方、地球に降り注ぐ太陽光エネルギーは、人類の消費エネルギーの1万倍以上もあることから、将来のエネルギー源として太陽光に注目し、その人工的な利用への期待が極めて大きいことは自然とも言える。しかしながら、基礎科学技術を応用展開し、社会実装を視野に入れる際に「エネルギーの獲得」を目指す科学技術の場合には、投入エネルギー量を超える出力エネルギーが得られるかどうか絶対条件となるので、実現のためのハードルは非常に高いものになる。太陽光を利用して直接水素を生成する方法については、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抜本的な向上に資する材料技術の開拓が強く望まれている。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のが現状であり、異分野研究者の英知を結集し、異分野融合によるブレークスルーの誘発を促す必要がある。

上記のような背景と意図により本研究領域が設定された意義は極めて大きい。本研究領域の発足後、引き続き、文部科学省科研費新学術領域「人工光合成」(2012-2017、代表者：井上晴夫)がオールジャパン体制で発足し、さらに文部科学省・経済産業省合同による未来開拓研究プロジェクト「人工光合成」(2012-2020、代表者：瀬戸山亨)が発足した。科研費による基礎的なアプローチとトップダウン方式による社会実装を目指したプロジェクトが

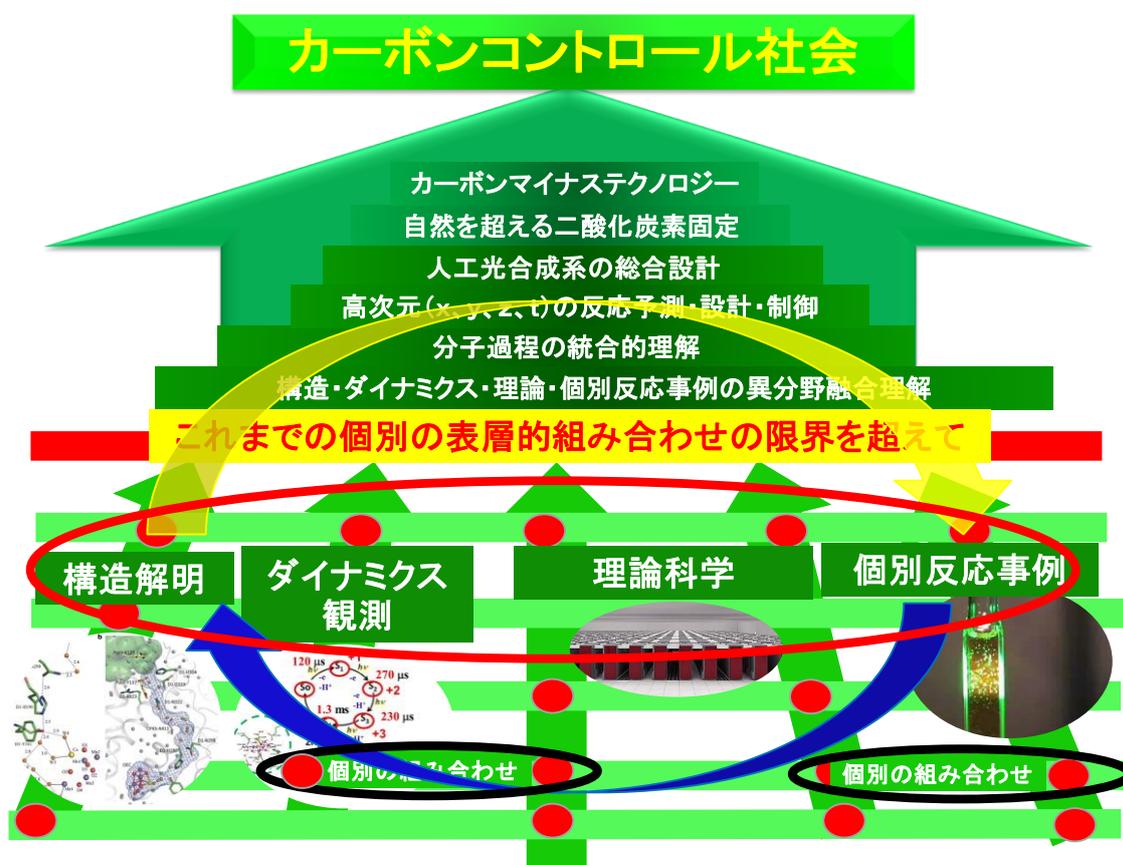
相互作用しながら展開することが期待される状況といえる。世界的にも、米国、スウェーデン、韓国、中国、などを始め主要国における人工光合成プロジェクトが開始されている。将来のエネルギー事情、環境事情を鑑みれば、当然の流れといえよう。資源に乏しいが、人工光合成領域で先陣を切る我が国こそが、本領域について戦略的な科学技術施策を一層推進すべきであろう。

(5) 今後への期待や展望

人工光合成領域における具体的な研究成果については、近年、特に過去 5 年間の間に、太陽光による水素発生に関してエネルギー変換効率の急上昇が報告されており、また二酸化炭素の光還元についても本研究領域の研究者などによる画期的な報告が相次ぐなど急速な展開を示しつつある。人工光合成領域の現状を鑑みるに、8(3)で述べたように「術として、より高い位置に枝を(x軸方向に)張るには、より高い学(y軸上の点)から枝を張る必要がある。このような視点で、本研究領域では将来の技術イノベーションに繋がるかどうかは現時点で判断が困難な研究提案であっても、学術的な独創性を発展させ創造軸(y軸)での研究成果が期待できるかどうかを判断した」ことの成果が得られたと考えている。

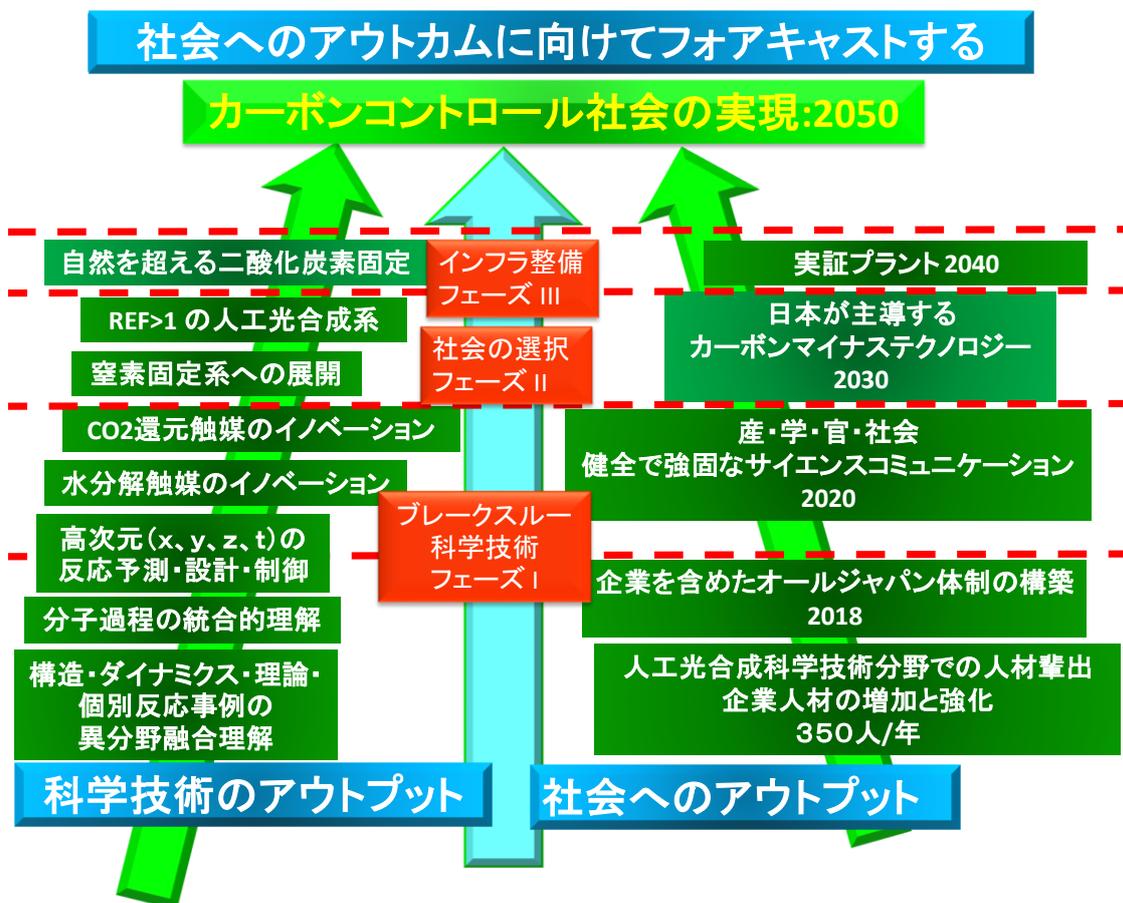
戦略創造プロジェクトとしての「さきがけ」研究は、直截的な課題解決を目指したものではないが、あくまで、創造的純粋基礎研究を研究対象に含める「光エネルギーと物質変換(人工光合成)」領域においては、従来の常識、ルールにとらわれない“Game change”を引き起こす萌芽の発生を期待して、本さきがけ領域が設置された経緯、社会の要請がある。このことを念頭において研究総括として人工光合成領域全体を現時点で人工光合成の社会実装という視点から俯瞰してみよう。何を目指し、どこまで達成できたか、何が残された課題か、新たにどのような課題が出てきたか、どのような展望が開かれたか、今後の道筋は・・・、自ずと現状と展望が見える。山登りに例えれば、頂上目指して夢中で歩を進め一定の時間が経過した時点で、俯瞰し現在地を把握し仰ぎ見て頂上を再確認できる場合もあれば、頂上と考えていた方向に頂上は無く新たな山の存在に気付き愕然としながらも一層の挑戦意欲がかき立てられる・・・。現状の把握と現状に至る道筋の総括を経て展望を拓こう。人工光合成は、自然に学びながらも単にその後を追う人工化ではなく、より総合的視点で、その仕組みは全く別物でも機能として自然を超える系の構築を目指している。そのような戦略は Multiple cross-fertilization と呼ぶことができよう。人工光合成研究は、①光合成の不思議を解くために主に PS I、II を中心とする構造解明と機能解明、エネルギー移動、電子移動などのダイナミクス観測、②電子移動・プロトン移動をはじめとする超複雑系(生体系、実触媒系)の理論解析と化学挙動の予測・検証、③個別反応事例としての半導体・分子触媒などによる膨大な反応探索と反応解析などを統合的に理解し、革新的エネルギー・物質変換系を構築する総合科学技術であり物理・化学・生物全域を俯瞰する視点が求められる。二酸化炭素を排出しないエネルギーと物質生産の科学技術が実現できて初めて、「カーボンコントロール社会」の実現が可能になるはずである。これまでの

膨大な研究蓄積を基礎にし得る今こそ、個別事例の表層的組み合わせの限界を超えて次の研究フェーズに入る段階となった。今後の展望として 2050 年での社会実装を念頭に、約 10 年単位で 3 段階(フェーズ I、II、III)の展開が考えられる(下図参照)。学術的には構造・ダイナミクス・理論・個別反応事例の異分野を融合し、分子過程の統合的理解を進める必要がある(フェーズ I)。高次元(x、y、z、t)の反応予測・設計・制御を実現した上で水分解触媒のイノベーション、CO₂還元触媒のイノベーション、窒素固定系への展開(フェーズ II)を経て再生可能エネルギー因子(REF)を考慮した人工光合成系の総合設計、自然を超える CO₂固定、カーボンマイナステクノロジーへ(フェーズ III)の大枝を張ることが求められる。



人工光合成の学理(創造軸)のスパイラルアップと人工光合成の社会実装

2050 年での社会実装を見据えた総合計画では、戦略的に社会への先導的人材輩出を図ることは必要不可欠である。そのような人材育成は、創造軸の基礎科学技術の展開、最先端研究の中でのみ可能であることも肝に銘じたい。約 50 の活発な研究グループから平均毎年 7 人の人材が社会に巣立つとすれば、毎年 350 人の最先端人材が企業人材に加わることとなる。このような社会へのアウトプットが科学技術のアウトプットと連動し(フェーズ I、II)その先に社会へのアウトカムが位置している(フェーズ III)。



「科学技術のアウトプット」が誘起する「社会へのアウトプット」から「カーボンコントロール社会の実現」への30年予測(フェーズ I、II、III)

本研究領域の研究者が核となり、いっそう人工光合成領域の基礎研究におけるブレークスルー、創造軸における研究展開を期待したい。

(6) 感想、その他

本さきがけ「光エネルギーと物質変換」領域の研究総括としての感想の一部を以下に述べよう。

研究領域発足から研究者の公募、採択、研究実施・推進を俯瞰しての最大の印象は、我が国の若手研究者の素晴らしさ、研究に対する熱意、真摯な研究姿勢である。研究者層の厚みを改めて実感している。国際的にも、我が国の若手先端研究者の実力は、並々ならぬものがあると感じる。これまでの我が国の科学技術振興施策の大筋は正しく機能してきたと判断できるのではないかと。特に、若手研究者に焦点を当てた「さきがけ」は素晴らしい制度であると思う。是非とも、一層の充実を図って頂きたいと思う。

さきがけ研究制度について研究総括としての希望、要望を 1 点に絞って述べよう。限られた国家予算の中で、限られた研究投資・人材育成投資にならざるを得ないことは十分に理解したうえで望みたいことは、さきがけ研究が終了した後の、さきがけ研究者達、さきがけ研究で得られた研究成果、研究領域などへのフォローアップである。素晴らしい研究展開を基礎に一層の展開、次の頂上をめざした新展開の機会を逃さずに適切なフォローアップ研究支援など戦略的な基礎研究施策を是非とも期待したい。大樹の地下には地上に繁茂する幹、枝葉以上の根が深く張っていることを常に念頭に置きたい。

光化学協会でまとめ、2016 年 8 月に講談社ブルーバックスとして発表した「夢の新エネルギー 人工光合成とは何か」においては、本さきがけ研究の成果の多くを記載して上梓することができた。発刊後、時を経ずに増刷を重ねており反響の大きさに改めて感じ入っている。人工光合成の社会実装へのタイムライン、シナリオなどを社会が理解する一助となると確信している。

研究総括として、研究者の全員から極めて多くのことを学ぶことができた。領域会議、個別議論、サイトビジットなどの機会は研究総括にとってまさに至福の時であったことを述べて本研究領域の研究者全員に心より感謝・御礼を申し上げる次第である。国際アドバイザーの先生方、領域アドバイザーの先生方の高い視点からの研究者へのアドバイス、指導がなければ本研究領域の研究進展はなかったと感じている。先生方に深く感謝申し上げます。特に、田巻博技術参事には心より感謝いたします。田巻技術参事の献身的な領域運営における支援、采配が本研究領域の雰囲気と元気の源でした。

本研究領域の発足、事業展開について一貫して強力に支援して頂いた科学技術振興機構、歴代の理事長、担当理事、戦略研究推進部長、調査役、副調査役、主査、事務参事を始め科学技術振興機構の皆様に深く感謝いたします。

以上