

研究領域「電子やイオン等の能動的制御と反応」事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

本研究領域では、電気や光などを用いて電子やイオンの能動的な制御を狙い、革新的な化学反応技術を創出することを目的とします。これによって、従来にはない物質生産プロセスを実現させ、既存技術における反応制御の難しさ、収率や選択性の低さ、高い反応温度、平衡制約などから脱却できる新たな化学反応の体系を確立することを狙います。

具体的には、電気化学や光化学、非在来型プロセスなどを単独あるいは組み合わせることにより、電子やイオンを能動的に制御し、これによって化学反応の選択性向上、平衡制約からの脱却といった次世代反応場の開拓を狙います。高効率な物質合成に資する化学反応プロセスのみならず、反応プロセスを構築するための新規材料開発、例えば従来にはない中温域で作動する新規イオン伝導材料の開発やこれら反応・材料の新規評価方法の確立、そのために必要となる理論化学の援用によるモデル化と実験系へのフィードバックなども研究対象に含めます。

化学(電気や光など)、反応プロセス(フローリアクターなど)、材料(電極材料、固体イオニクス材料、触媒など)、計測、理論の融合からなる次世代反応プロセスの創出により、持続可能な社会の実現を目指します。

2. 事後評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

「戦略的創造研究推進事業(先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」における「第4章 事業の評価」の規定内容に沿って実施した。

2-2. 評価対象個人研究者及び研究課題

2019年度採択研究課題

- (1) 飯村 壮史(物質・材料研究機構機能性材料研究拠点 主任研究員)
準格子間拡散を利用した中温域高速ヒドリドイオン伝導体の創製と拡散機構の解明
- (2) 大宮 寛久(京都大学化学研究所 教授)
電子制御型有機触媒の創製
- (3) 桑原 泰隆(大阪大学大学院工学研究科 准教授)
酸素欠損型モリブデン酸化物のプラズモン光反応場を利用した革新的CO₂変換反応の開発
- (4) 杉本 泰(神戸大学大学院工学研究科 准教授)
Mie共鳴による磁場増強を利用した光化学反応プラットフォームの構築
- (5) 須田 理行(京都大学大学院工学研究科 准教授)
スピン角運動量の能動的制御による革新的電気化学反応の創出
- (6) 椿 俊太郎(九州大学大学院農学研究院 准教授)
電磁波駆動触媒反応によるリグノセルロースの熱化学変換
- (7) 古川 森也(北海道大学触媒科学研究所 准教授)
インターメタリック反応場でのプロトニクスを利用した高効率触媒系の開発
- (8) 細見 拓郎(東京大学大学院工学系研究科 助教)
固体表面イオン配列の能動的制御を利用した高選択的触媒化学反応の開発
- (9) 山添 誠司(東京都立大学大学院理学研究科 教授)
振動エネルギーで駆動する新しい触媒反応系の開拓

(10) 山本 瑛祐 (名古屋大学未来材料システム研究所 助教)
イオン伝導性原子膜の能動的制御と中低温イオニクス材料の創製

2-3. 事後評価の実施時期

2023年1月8日(日) 課題事後評価会開催

2-4. 評価者

研究総括

関根 泰 早稲田大学理工学術院 教授

領域アドバイザー

雨澤 浩史	東北大学多元物質科学研究所 教授
五十嵐 達也	富士フイルムホールディングス(株)CTO室 統括マネージャー
佐藤 康司	ENEOS(株)先進技術研究所 所長
佐藤 縁	産業技術総合研究所省エネルギー研究部門 総括研究主幹
里川 重夫	成蹊大学理工学部 教授
杉本 渉	信州大学先鋭材料研究所/繊維学部 卓越教授
堂坂 健児	本田技研工業(株)日本本部地域事業企画部 課長
中井 浩巳	早稲田大学理工学術院 教授
中林 亮	産業技術総合研究所社会実装本部 審議役
濱川 聡	産業技術総合研究所 執行役員/材料・化学領域 領域長
山下 弘巳	大阪大学大学院工学研究科 教授
吉田 朋子	大阪公立大学人工光合成研究センター 教授・副センター長
柳 日馨	大阪公立大学研究推進機構 特任教授
和田 雄二	東京工業大学国際先駆研究機構 特任教授

外部評価者

該当なし

3. 総括総評

今年度は、10名の研究者(2期生)が評価対象となった。2019年秋に採択され、採択後わずか半年でコロナ禍に突入するという不運な世代であったが、オンラインでの議論などを活発に行い、領域内での多数の共同研究も行われ、終わってみれば全員がそれぞれ素晴らしい成果を残した。

飯村氏は途中で機関の異動があったにもかかわらず、高い志を持って当初の目標を追求し、派手な成果は無いものの着実に素晴らしい成果を残した。大宮氏は、やはり途中で京大教授への異動があったが、持ち前のバイタリティを活かし、電子移動による新しい有機化学の世界を確立し、多数の国際的に著名な論文などの業績を残した。桑原氏は、当初の狙いとは少しずれた形での反応制御の実現となったが、プラズモンに拠る局所熱の効果という新たな概念を示し、あとに続く大型プロジェクト採択につなげた。杉本氏は、Mie 共鳴という概念を導入した新たな反応制御の世界を開拓し、他の多くの領域内共同研究を含め多くの素晴らしい成果を残した。須田氏は、スピン偏極を活かした反応制御という、前人未到の世界にチャレンジし、世界で初めてのスピンの拠る反応制御を実現させた。椿氏は、2回の異動があったにも関わらず、領域内を含めた多分野の研究者と共同研究を積極的に進め、マイクロ波利用の化学の世界を確立しつつある。古川氏は、自身が得意とするファインな金属間化合物合成に、電場に拠る表面プロトニクスを組み合わせた新たな反応系を体系的に確立し、大きな足跡を残した。細見氏は、酸化物上への有機修飾による反応制御という難しいコンセプトを実現し、反応制御の新たな可能性を示した。山添氏は、途中で隣接する研究室が大きな火事を起こし、多量のすすが流れ込み消火で水をかぶり、装置が全損となるというひどい被害を受けたが、めげずに再起し、最終的には当初のコンセプトをしっかりと実現する素晴らしい成果を挙げた。山本氏は、セリア酸化物ナノシート上での表面イオン伝導という大きな目標実現に向けて、着実なシート合成を重ね、新たな酸化物ナノシート合成手法の開拓につなげた。

このように、10名はいずれも独創性に溢れた素晴らしい研究を重ね、予算執行などにおいても計画に基づいたしっかりした研究を行った。SciFoS 活動や領域内共同研究などにより、裾野を広げた形での展開があったことも素晴らしい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 準格子間拡散を利用した中温域高速ヒドリドイオン伝導体の創製と拡散機構の解明

2. 個人研究者名

飯村 壮史（物質・材料研究機構機能性材料研究拠点 主任研究員）

3. 事後評価結果

ヒドリドイオンを室温あるいは中温で高速に駆動可能な材料を見出し、それを用いた反応へと展開してきた。研究実施期間途中で異動があったものの、それを苦にせずしっかりと研究を進め、研究費の執行に於いてもしっかりと計画を持って行っており全く問題ない。

研究としては、中温域で反応活性と選択性が両方とも得られるということが非常に重要であり、実際に中低温領域でH伝導に最もふさわしい材料を絞り込み、薄膜材料の開発を進め、さらに実際に水素ポンピングも確認できており、基礎事項の確認として大変重要な仕事ができたと判断できる。

当初の目的であった高イオン導電率を有する材料の開発という点で、完全とは言えないまでも、かなり高いレベルの値が得られており、目標は十分に達成できたと判断する。理論計算等を併用し、イオン伝導のメカニズムを明らかにした点も良い。一方で、個々の材料の開発に留まってしまったという印象もあり、高イオン伝導性、化学的安定性、反応活性をどのようにバランスさせるのか、材料設計の方針のようなものが提示できるとよかったと感じた。今後、ヒドリド伝導セルによるアノード反応でしか合成できないような反応系など、この研究の特徴を明確化した出口につなげられると素晴らしいものになるであろう。また、高イオン伝導性ヒドリドイオン伝導体としても高い価値があり、電気化学系の分野の国際的な競争力にもつながると思われる。

本研究の基本的なコンセプトは、今後の固体電解質設計概念として大きな波及効果があると判断する。ヒドリドイオンを活かした物質・反応場の構築は、多様な応用が期待できるため、今後の展開を楽しみにしている。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 電子制御型有機触媒の創製

2. 個人研究者名

大宮 寛久（京都大学化学研究所 教授）

3. 事後評価結果

電子移動を制御した新たな有機合成に取り組み、素晴らしい成果を挙げた。途中で異動があったものの、それを全くものともせず、しっかりと計画的に研究を遂行した。研究費執行状況に於いても計画通りに進んでおり全く問題ない。

研究としては、分子触媒の分野においてトップレベルの成果であると言える。含Nや含Sの複素環カルベンによる新規な有機ラジカル反応の点では、新しい世界を開拓できたと考える。また、有機触媒の固相担持も含め、反応プロセスについても新たな方向性を提示した。

今回開発したラジカル触媒系分子触媒系の反応は、従来法では合成困難であった傘高いアルキル基をヘテロ原子上に導入できるなど、有機合成の分野においてインパクトが大きく、また、利用価値が高い。各種医薬品や機能性材料の合成に活用できる有用な手法である。本研究は、有機合成や薬学の分野に大きなインパクトを残しただけでなく、ラジカル合成自体の有用性の再認識の点で合成法のトレンドを変えるきっかけになったのではないかと考える。

電解反応へ応用とのことであるが、ラジカル同士のカップリングを狙うなら、ラジカル種同士を近接して吸着させる場の構築など、反応系を想定した電極設計が重要と思える。固相担持の延長線上で、吸着種の制御との組合せが検討できればより一層面白い。

なお、本研究において特筆すべき点として、世界的な一流誌に数多くの論文が掲載されたのみならず、それらのプレスリリースや、国内外での多くの招待講演などによってその成果を世界に広げた点が挙げられる。さらに関連研究から科研費基盤 A や他の民間との共同研究につながっている点も素晴らしい。併せて、さきがけ研究に関わった大学院生が博士課程に進学するなど、教育という点でも大きな効果を持っている。これらの点を併せて高く評価したい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 酸素欠損型モリブデン酸化物のプラズモン光反応場を利用した革新的 CO₂ 変換反応の開発

2. 個人研究者名

桑原 泰隆 (大阪大学大学院工学研究科 准教授)

3. 事後評価結果

酸素欠損を持つモリブデン酸化物を触媒とし、外部からの光によるプラズモンを活かした革新的な二酸化炭素転換プロセス開発に取り組んだ。研究は計画通りに進められ、予算執行に於いても全く問題ない。

研究としては、プラズモン共鳴による反応加速効果の検証が出来たこと、さらに実際に CO₂ 還元により CO 生成やメタノール合成ができたことは大きな成果である。「表面プラズモン共鳴」と「特異な基質活性化サイト」が同一固体表面で発現する設計により、光を利用して低温 (200°C以下) でも効率的に CO₂ を変換できる触媒技術の開発に果敢に挑戦し、コンセプト実証 (POC) を成し遂げたことは大いに評価できる。また、プラズモン効果 (メカニズム) についても非常に理路整然とした実験と考察ができています。加速効果の支配的な要因が局所加熱であることを物理化学的証拠を集めてしっかりと見定めた。加熱効果以外の電子効果の利用もできればなお発展できると思われる。今後、局所加熱効果をうまく活かした「プラズモンによる局所加熱」ならではの反応の面白さを出すことも一つの方向性と思われる。

当初のアイデアの POC を早々に達成し、それをメタノール合成だけでなく、様々な反応に展開したことも高く評価できる。領域内での共同研究が多数行われた点も高く評価できる。これらによって得られた成果は素晴らしい。

今後は 2 つの活性点を別な波長の光で共鳴・加熱する反応など、CO₂ 還元以外で本系の特徴を出せる反応を見出せると面白い。こういった新たな展開を大いに期待している。

最後に特筆すべき点として、多くの国際的な論文誌に論文が掲載されたのみならず、それをプレスリリースによって広く知らせ、多くの受賞を受けるなどしてきた。さらに本成果を発展させる形で NEDO の大型プロジェクトに採択となって展開をはかっている。これらは素晴らしい点であると高く評価できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： Mie 共鳴による磁場増強を利用した光化学反応プラットフォームの構築

2. 個人研究者名

杉本 泰（神戸大学大学院工学研究科 准教授）

3. 事後評価結果

Mie 共鳴という概念を用いた光化学反応について、基礎から応用までのしっかりした研究を計画的に展開した。予算執行に於いても計画的にしっかりなされており全く問題ない。

研究としては、Mie 共鳴による磁気双極子遷移増強確認、ナノディスクアレイによる反応場構築、実際に 3 重項酸素による反応確認まで、当初挙げた研究項目に対して、全て POC を完遂し、インパクトのある報文出版につなげた。Mie 共鳴を利用する新しいコンセプトを提示でき、科学技術の発展に大きく寄与した。磁場増強を利用する反応プラットフォーム構築という点では十分であるが、実際にどういう反応に使えるのか、ガスや液での原料供給や、反応時にアクティブポイントに反応分子をトラップさせるような機構など、仮想反応系が示せると、そこから実用につなげる研究に波及するであろう。ナノディスクアレイで一定のスケールアップは実現できたので、今後社会・経済への波及も期待できる。ただし、反応領域を拡大させ活性点を増やしフロー化などで用いることが今後の課題かと思われる。今後の展開を大いに期待している。

他のさきがけ研究者との研究分野（研究内容）の重なりが当初は小さかったが、最初の成果が出た後に様々な共同研究へと発展させた点は大いに評価できる。基礎研究の重要性と発展性を再認識させてくれた。Mie 共鳴による光磁場の増強やそれによるスピン反転励起の実現（増強）などは POC を終えているが、今後社会そして経済への波及効果をもたらすために、本さきがけでの経験とネットワークを活かして、共同研究などによる様々な応用研究を行ってほしい。

最後に特筆すべき点として、本研究期間中にその成果が認められ卓越准教授へと昇進するとともに、Q1 クラスの国際誌にて成果を多数公表しており、国際会議での口頭発表もあり、グローバルに高い研究力のプレゼンスを示したことは高く評価できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： スピン角運動量の能動的制御による革新的電気化学反応の創出

2. 個人研究者名

須田 理行（京都大学大学院工学研究科 准教授）

3. 事後評価結果

途中で異動があったものの、研究を計画通りにしっかり進め、素晴らしい成果を残した。予算執行に於いてもしっかりと計画的に進められており全く問題ない。

本研究において、多重 CISS 効果によるスピン偏極によって高いスピン偏極率を実現した。さらに、電極触媒反応へ展開し、OER を用いた反応選択性の確認、エナンチオ選択的な電気化学反応の創生まで、当初の期待以上の成果が得られた。多重 CISS 効果の POC の達成と電気化学反応（水分解）で効率化達成の双方ができていることを確認した。特に、多重 CISS 効果の POC の達成は大きな学問的進歩である。

これらによって、電気化学反応へスピン偏極電流を応用するという新しい方向性を示した。今後の反応高効率化に期待でき、社会・経済への波及効果も期待できる。

一連の研究に於いて、高スピン偏極の材料を室温でしかも比較的簡単に作り出せ、スピン偏極を保持できる材料を見いだせたのは大きな成果である。水電解以外にも多様な用途展開が期待される新しい手法であり、今後の展開が大いに期待される。この調子でどんどんと新しい学問領域を作っていくことを期待している。

特筆すべき点として、プレスリリースも行い、本件を特許出願できたのは大きな成果である。論文数こそ少ないが、成果のインパクトは十分高い。Q1 クラスの国際誌にて成果を公表しており、国際会議での招待講演もあり、グローバルにプレゼンスを示していることは高く評価できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 電磁波駆動触媒反応によるリグノセルロースの熱化学変換

2. 個人研究者名

椿 俊太郎（九州大学大学院農学研究院 准教授）

3. 事後評価結果

マイクロ波を用いた低温触媒反応の学理解明と、そのリグノセルロース転換への応用を研究し、2度の異動にもめげずしっかりと研究を進め素晴らしい成果を残した。また、予算執行に於いてもしっかりと計画的に進められており全く問題ない。

本研究において、マイクロ波の周波数を変化させて、反応加速を実証、局所高温場ができていることを物理化学的証拠により示した。周波数を広範に変えて実験・実証できる系を構築したのは素晴らしく、学理・理論の構築がそれに追いついてきている。限られた時間の中で、装置開発と作製、実証実験、これをもとにした共同研究の実施、国際連携の開始、企業との研究開始と、非常によく展開できていると思う。カーボンニュートラルの実現に必要な技術になると思うので、さらに学理が伴った形で展開されていくと一層大切な強い技術になっていくと思われる。

今後はマイクロ波に拠る熱以外の効果もぜひ明らかにして欲しい。目標に示したことは、多くが達成できていると思う。地に足の付いた丁寧な研究をされてきている点は好印象であった。装置作製が占めるウェイトが多い研究で、かつ、途中で異動があったので、致し方ないところもあると思うが、早い時期での特許出願・論文発表が望まれる。

領域内共同研究も積極的に行ってきた点は素晴らしい。多様な分野の研究者と交わることでさらに深みと広がりが増していくと思われる。マイクロ波応用の熱的効果とそれ以外の電磁波としての効果は、大きな可能性を秘めており、多くの方と連携しながら現在の調子でどんどん進めていただけると良い。それによって今後のカーボンニュートラル実現に向けて多様な用途展開が期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： インターメタリック反応場でのプロトニクスを利用した高効率触媒系の開発

2. 個人研究者名

古川 森也（北海道大学触媒科学研究所 准教授）

3. 事後評価結果

高度に制御された合金触媒を低温の電場中で用いることで新たな反応プロセスを開拓してきた。その研究は計画的にしっかりと進められ、素晴らしい成果を挙げている。また、予算執行に於いても計画的にしっかりと行われており全く問題ない。

本研究においては、合金触媒に電場印加することにより表面プロトニクスに基づく反応促進を狙い、非常に多くの、しかも質の高い研究成果を創出した。当初のメタノール合成で行き詰ったところを適切な段階で見切りをつけ、異なる CO₂ 変換の探索に舵を切ったことにより、結果的に有望なドライリフォーミングの系の発見につながったことは高く評価できる。また、強みである合金材料の多様なライブラリーを活かして、本領域内での共同研究の推進を実施したことも非常に良い活動であった。

本研究で得られた触媒設計指針（合金化による反応場設計と表面プロトン濃度制御）は、今後の電場触媒反応系の発展に大きく貢献するものと思われる。また、本反応系を活用したプロパン脱水素によるプロピレン製造やベンゼンのドライリフォーミング技術は、CO₂ を利用したプラスチックの分解（ドライリフォーミング）やバイオマス由来資源の低温ガス化等への展開が期待できる。多様な反応への展開が期待できる技術であり、また合金触媒自体の独創性とあいまって、今後この分野が大きく広がっていくことが期待される。引き続き世界をリードする研究成果に期待したい。

また、特筆すべき点として、多くの国際的なジャーナルに論文を発表するとともに、プレスリリースを行い、多くの賞を受け、さらに領域内の他の研究者とも精力的に共同研究を行ったことは高く評価できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 固体表面イオン配列の能動的制御を利用した高選択的触媒化学反応の開発

2. 個人研究者名

細見 拓郎（東京大学大学院工学系研究科 助教）

3. 事後評価結果

固体表面を制御した上で選択的な酸化反応の可能性を検討し、しっかりとした計画をたてて素晴らしい成果を挙げた。予算執行に於いてもしっかりした計画に基づいて進めており全く問題ない。

本研究において、もともと掘っていた興味深い実験事実である直鎖ケトンの固体表面での振る舞いについて、メカニズム解明に時間がかかったが粘り強く実験検証を重ねた。脂肪族鎖と固体イオン結晶間相互作用による分子認識検出に成功した事例はなかなか見られない。研究期間中、実験データ等を重ねて分子鑄型の方向に提案を移行させていったのも、判断としては適切だったかもしれない。苦戦しながらもキーパラメータの抽出に注力し、最後には性能向上を見通す技術が得られた。このように当初発見した現象のメカニズム解明が出来て一つの目標は達成できたと思う。また、有機物と無機物の相互作用の新しい概念を見出しつつあることも成果といえる。

アルキル鎖とイオン結晶の相互作用を見出した点が画期的で、新たな分子鑄型を用いる触媒創生の可能性を見出した点が秀逸であった。分子鎖長によって、無機物上で配向構造（傾き角や折れ曲がり角など）が変化・制御できることがわかったはずなので、この原理を是非、新たな無機鑄型を利用する触媒設計に利用し新しい世界を開拓してほしい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 振動エネルギーで駆動する新しい触媒反応系の開拓

2. 個人研究者名

山添 誠司（東京都立大学大学院理学研究科 教授）

3. 事後評価結果

振動エネルギーで駆動できる触媒を提案し、基礎から応用までを見据えたしっかりとした研究を行い、立派な成果を残した。予算執行に於いてもきっちりと進められており全く問題ない。

本研究において、振動触媒の反応装置を作り、振動触媒のコンセプトを確立し、それを応用して水分解やギ酸分解でこれを検証できたことは素晴らしい成果であった。また、メカニズム解明についても、活性サイトの解明、振動周波数依存性、発生する電位との関係などを多くの物理化学的証拠により明らかにした。

この中で、振動触媒現象を掴み、これを実証するために装置の開発（小型化）を進め、代表的な反応である水素酸化反応を基に原理検証、ギ酸酸化反応、水分解反応と、順をおって実験を進めていた。他の研究室の火災に巻き込まれなければ、数ヶ月のロスがなく、もっと進められたかもしれない。

振動があるところで自律的に触媒反応が出来ることが検証されたことは実際の反応系への応用が数多く考えられ、社会実装に繋がる可能性が高い。SciFoSの結果も踏まえ、具体的な適用系に繋がると良い。今後、この分野を触媒化学の中での一分野にまで仕上げる心意気でぜひ今後も研究を継続してほしい。さきがけのみならず、多様な研究を同時に展開しており、それぞれに素晴らしい成果を挙げていることは立派であり、今後も大いなる活躍を期待している。

特筆すべき点として、途中で火災に巻き込まれ研究室が全損、という不運が有りながらも、めげずにしっかりとコンセプトに根ざした研究を展開し、素晴らしい成果を残した点、またこの期間にいくつかの賞を受けたことなどは、非常に高く評価できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： イオン伝導性原子膜の能動的制御と中低温イオニクス材料の創製

2. 個人研究者名

山本 瑛祐（名古屋大学未来材料システム研究所 助教）

3. 事後評価結果

セリアナノシートを題材に、中低温でのプロトンあるいは酸化物イオンの伝導と利用を狙った研究を展開した。予算執行に於いても計画的に行われ、全く問題ない。

本研究において、固体界面活性剤を用いて CeO_2 -ナノシートを合成し、その中で新たなナノシート合成方法を見いだせた点は大きな成果である。新規ナノ物質の合成という達成は大きな成果である。これだけの大きさでの酸化物イオニクス材料で原子レベルの薄膜化を実現できている例はなく、新規性の高い研究である。イオン伝導性の制御ができるナノシートを自在に用意できるとなると、この基板を用いた新しい反応制御が自在に行えるようになるかもしれない。

「固体界面活性剤を反応場の鋳型とする手法」はこれだけでも、十分に波及効果の期待できる新規ナノ物質合成法であるが、特筆すべき点として、多様な材料系についても粘り強く挑戦し、アモルファスシリカナノシートの合成に成功しプレスリリースにつなげたのは大きな成果である。材料開発の可能性をさらに明確にしてほしい。その過程で、本手法が活用できる利点と欠点を明確にしなが、本技術の汎用化、学理形成を目指してほしい。

酸化物ナノシートのイオニクス材料への応用展開を大いに期待している。