



革新的反応技術の創出 1

電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出

JST/CREST プロジェクトの解説

柳 日馨 Ilhyong RYU

化学合成や化学品生産においては熱エネルギーの利用が常に主であったが、新時代の化学合成や化学品生産の基盤となる化学反応においては、電気や光等のエネルギーを積極的に活用できる革新的な反応技術が求められている。CREST「革新的反応」領域ではこのような観点から革新的反応と反応技術の創出に挑戦している。本稿では当プロジェクトのねらいを紹介する。

はじめに

現在の化学合成や化学品生産においては熱エネルギーの利用が主流である。本 CREST 研究領域は、電気や光、マイクロ波、超音波、力学的エネルギー等、古典的な熱エネルギー以外のエネルギーを積極的に利用した革新的反応技術の創出を目的とし、吉田潤一京都大学名誉教授を研究総括として 2018 年 10 月に開始された。電気化学、光化学、触媒化学、合成化学、材料科学、理論・計算化学、計測等を融合・連携することにより、化学反応場における電子やイオンの能動的高度制御法やそれを可能にする材料を探索することから多分野にまたがる研究の推進が肝となる。文部科学省の平成 30 年度戦略目標には持続可能な社会の実現に資するため、社会・経済に大きなインパクトを与える「革新的反応技術」を創出し、電気や光等を用いた革新的反応プロセスの構築を目指すことが掲げられたが、これを具現化する研究領域としての位置付けを有している。1 年単位で 4 チームの採択を 3 年間続け、採択率 7% という高い競争倍率の中（応募総数 172 件）、触媒化学、表面化学、材料科学、反応プロセス、有機

化学の幅広い学術分野で 12 チームによる研究課題を構成することができた。吉田潤一研究総括が第 2 期 4 チームの選考の後、急逝されたことは痛恨の極みであったが、領域内の緊密な協力体制で「変わらずに強い」領域運営が行われてきたことを関係者の方々への謝意とともに申し添えたい。

当領域においては、当初から研究分野の融合・連携を意識した産学にまたがる専門性の高い 12 名の領域アドバイザーによる実効性のある助言により強力な研究サポート体制を構築している。領域アドバイザーは有機化学、無機化学、電気化学、光化学など多様な専門分野における指導的研究者、新しい学理を創出しコミュニティの信頼が高い研究者、そして新たな生産プロセス構築とその革新性を理解しうる産業界の研究者で構成されている。アドバイザー自身も就任中に産学の垣根を越えられた方が複数おられることも視点の多角化への力となった。

CREST「革新的反応」の研究体制

CREST は共同研究を前提としており、5 年半の研究期間に、12 の研究目標に向かってそれぞれのチーム内で所属を越えた共同研究を推進することとなる。国際的に影響力のある論文誌への研究報告は年次を追って着実に増大している。中でもレドックスメカノケミストリーのようにいち早く新分野を創製し、新しい国際誌の発刊に貢献した研究成果もある。

その一方で、本領域内のチーム間での共同研究も積極的に展開されてきている。有機反応化学の活性種の動態を計測化学の最新技術により捉える研究や有機光

りゅう・いるひょん

大阪公立大学 特任教授、台湾国立陽明交通大学講座教授

〔経歴〕1978 年大阪大学工学研究科博士後期課程修了、工学博士。日本学術振興会奨励研究員、大阪大学工学部研究生を経て、88 年同大学工学部助手、91 年オタワ大学化学科客員研究員、95 年大阪大学工学部助教授、2000 年大阪府立大学教授、16 年より同大学特認教授および台湾国立交通大学講座教授を経て、現職。20 年より CREST「革新的反応」研究総括。



反応の機構解明に表面化学分析技術を駆使する研究などはチーム内からチーム間での共同研究へと視野を広げた研究環境が醸成される中で達成されたものといえる。プラズマ化学と有機合成との融合研究、メカノケミストリーの材料創製手法への活用、金属による電子注入法とマイクロリアクター技術によるフラッシュケミストリーの実現、新素材 3D カーボンの電極反応への活用なども特筆される共同研究の成果であり、それぞれのチームの研究目標の達成にも貢献している。

2022 年 3 月の日本化学会春季年会の機会に化学会との合同企画によって公開シンポジウムを開催し、本研究課題の研究成果の普及と国内の研究ネットワークの形成に努めてきた。この春の関西大学での第 4 回公開シンポジウムでは、多数の参加者を得て、本年 3 月に 5 年半の研究期間を満了した第 2 期 4 チームの研究成果が公開され活発な議論が行われた。これら 4 チームの研究報告の熱気を続く特集記事でぜひとも誌面から感じていただきたい。本企画をいただいた「化学と工業」誌の編集委員会には心より感謝申し上げます。

CREST『革新的反応』第 2 期 4 チームの研究内容

本領域は全 3 期 12 課題で構成されていることはすでに述べたが、特集記事に先立って第 2 期の 4 課題の研究を中心にその研究内容の概要を簡単に紹介する。これらの研究では、新しい反応技術や新規触媒設計などの革新的なアプローチにより価値のある物質合成へ至る道筋をそれぞれ独自の研究視点から開拓している。

1. レドックスメカノケミストリーによる固体有機合成

北海道大学の伊藤肇教授が主導する本研究では、固体同士の機械的混合で有機合成を可能とする「レドックスメカノケミストリー」を開発している。有機溶媒をほとんど用いないことから、環境負荷の低減にも大きく寄与する反応技術となった。実際、従来から溶解性の問題で研究が進まないとされてきた新物質の創製が可能となった。

2. 電子移動制御による連続脱水縮合反応

東京農工大学の千葉一裕教授が主導する本研究で

は、電子リレーシステムを用いて廃棄物産出を最少化した脱水縮合反応法を確立している。この反応技術により多段階の脱水縮合反応が実現し、医薬品や中分子ペプチドの高純度・高収率生産が可能となった。電極電子移動や光照射を活用した新規化学物質生産プロセスの革新につながる成果である。

3. 非平衡プラズマを基盤とした電子駆動触媒反応

東京科学大学の野崎智洋教授が主導する本研究では、非平衡プラズマを利用して触媒反応を効率化する反応技術を開発している。プラズマ特有の反応を抽出し新規触媒を用いることで、従来の熱反応と比較して反応温度を大幅に低減することが可能となった。この技術は環境負荷の低減とエネルギー効率の向上に資する。また、有機合成との融合研究も現在共同で追求されている。

4. 不飽和結合への電子注入に基づく高度官能基化法

京都大学の依光英樹教授が主導する本研究では、不飽和結合への電子注入を利用し、多様な官能基を位置選択的かつ一気に導入する革新的な有機合成反応技術を開発している。これまで活用困難とされてきた不安定活性種を微細空間での反応操作技術により制御した。本手法は多重官能基化を可能とすることから、高付加価値物質の高効率生産に貢献することが期待される。

CREST『革新的反応』研究領域の特色ある運営について

本 CREST 研究領域では、その運営に当たって特に「若手育成」、「共同研究」、「国際交流」の 3 つのキーワードを意識している。全体で見れば約 100 名の若手研究者（うち女性 34 名）が参画しており、成果報告会や国際ワークショップでの発表機会を積極的に提供するとともに、国内国外を問わず「若手研究者の可視化」を支援してきた。共同研究では全チームの約 8 割以上が他チームと連携し、異なる分野間で新たな研究成果の創出に挑戦しているが、その最前線では若手研究者が日々研鑽を重ねていることはいうまでもない。パンデミックの時期は Web 会議が中心であったが、2022

年度から対面型の国際シンポジウムが可能となり、若手重視で国際交流を強力に展開してきた。

関西学院大学の白川英二教授が2022年9月に開催した Workshop on Radical and Electron Transfer Reactions (略称 RETR) では、海外から一線級の研究者を迎え研究成果について日本の若手研究者との活発な議論が行われた。その後、これをモデルとして RETR ワークショップは活発に開催され、2023年には大津と大阪で RETR-2 と RETR-3 がそれぞれ行われた。同年の年末には淡路国際会議場で CREST Open Symposium : Forefront Research on Innovative Reactions が開催された。2024年からは国際研究交流の海外展開も活発化した。シンガポールの南洋工科大学、ドイツの Regensburg 大学 (写真上) での RETR ワークショップに続き台湾新竹の陽明交通大学ではさきがけ「反応制御」(研究総括: 関根泰 早稲田大学教授) と合同で日台学術シンポジウムが成功裏に行われた (写真中)。本年には仁川での RETR ワークショップ (写真下) に続き、ボローニャ大学 (さきがけ「調和物質変換」と合同)、台湾師範大学、そして12月のホノルルでの PACIFICHEM の機会には第10回目の RETR ワークショップの開催が予定されている。こうした機会を通じて若手研究者の関与を深め国際的な発表や海外機関との連携を強化し、グローバルな研究展開を目指している。

持続性社会の実現のために科学者の果たす使命と役割は極めて大きい。電気や光等のエネルギーを有効に利用した革新的反応技術の創出にはまぎれもなくトップサイエンスが不可欠であり、若い科学者の独創性と突破力も欠かせない。本研究のビジョンと研究成果が世界的に共有され、ひいては将来の化学産業や社会・経済の発展にインパクトを与えるものとなることを強く期待している。

© 2025 The Chemical Society of Japan



写真 上: RETR in Regensburg, 中: さきがけ「反応制御」との合同シンポジウム (台湾新竹), 下: RETR in Incheon