

CREST・さきがけ複合領域「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」  
研究領域中間評価報告書

## 総合所見

本研究領域は、戦略目標「水生・海洋藻類等による石油代替等のバイオエネルギー創成及びエネルギー生産効率向上のためのゲノム解析技術・機能改変技術等を用いた成長速度制御や代謝経路構築等の基盤技術の創出」に基づき、2010年より開始された。この時期は、遺伝子合成技術、ゲノム解析技術等の高度化により、遺伝子ならびにタンパク質の改変が容易となり、代謝経路の解析が進み、藻類等の生育速度や生産性に関する課題解決に期待が高まっていた。

複合領域として運営するに際し、CREST、さきがけで、それぞれ課題選定基準を設け、領域会議、研究報告会の内容も変えるなど、チーム型研究と個人型研究の特長を活かす工夫が見られる。また、CREST、さきがけによる相乗効果を狙い、研究期間が終了したさきがけ研究者を適宜選択してCRESTの研究チームに参画させている。その結果、さきがけの成果をCRESTに活かし、CREST研究チームに必要な人材が投入できるなど、複合領域の特長を発揮した運営がなされている点は評価できる。

中間評価を迎えた時点では、これまでに発表された研究論文数、出願特許数等の実績から判断し、本研究領域の成果は着実に挙がっていると評価できる。今後の社会実装に向けて、これまでに得られたゲノム情報や関連オーム情報を、生物群ごとに比較できるように情報共有するなど、領域内での連携を一層深めていくことが望まれる。

以上を総括し、本研究領域は総合的に優れていると評価できる。

## 1. さきがけ領域中間評価

### 1-1 研究領域としての研究マネジメントの状況

本研究領域は、藻類・水圏微生物を利用したバイオエネルギー、有用物質生産のための多様な基盤技術の創出を目的としている。この目的に向けて、生物学、化学、農学、工学等の様々な分野から研究者が選ばれている。エネルギー生産プロセスや有用物質の生産性の向上に向けた技術革新は、基礎的な知見の発見や革新的技術の創出に依存するという研究総括の考えに基づき、多様な技術の創出に関する研究課題、基礎的段階でのボトルネックの解決に資する研究課題、リスクの高い挑戦的な研究課題等がバランスよく採択されている。

領域アドバイザーの構成に関しては、専門分野は本研究領域に関連する広い領域にまたがり、産学の割合など適度な多様性が考慮されており、適切であったと評価できる。

領域運営においては、採択時には研究総括と領域アドバイザーによる現地視察を実施し、研究課題中間評価時には領域アドバイザーから指摘されたコメントに対する研究者の対応を確認している。領域会議では、CREST研究代表者を参画させて討論の場を設けるなどの工夫により、研究内容の相互理解と技術交流を推進している。また、研究期間を終了したさ

きがけ研究者を本研究領域の CREST 分担研究者、協力者として新たに参画させるなど、人材登用、交流等を通じて研究領域の活性化を図っている点も評価できる。

研究費については、研究総括裁量経費を研究課題の進捗度により重点的に配分し、研究計画の見直しを図るなど、領域全体の成果達成に向けて的確な配分を行っている。

研究成果については、総論文数 160 報、口頭発表 591 件、学協会等での受賞 9 件と、顕著な成果を挙げている。また、28 名中 20 名と、研究者の 7 割以上が昇任し、人材が確実に育成されている。

学会等における活動状況については、2012 年に生物工学会との共催で開催された国際シンポジウムでは、CREST 研究代表者の講演に加えて、きがけ研究者のセッションにおいても世界的に著名な研究者と活発な議論がなされ、きがけ研究の内容は参加者から高く評価されていた。また、公開シンポジウムとして、平成 22 年度採択研究者の研究成果報告会（2013 年：秋葉原）、および平成 23 年度採択研究者の研究成果報告会（2014 年：新宿）を開催し、きがけ研究者による国際シンポジウム、国際ワークショップも企画、開催されるなど、社会への研究成果の発信もなされている。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていると評価できる。

## 1-2 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

藻類・水圏微生物を利用したバイオエネルギー・有用物質生産は、現在の科学水準で見ると、十分に独創的、挑戦的かつ先駆的な目標である。その実現のための「多様な基盤技術創出」に向けてきがけ研究者が研究を実施したところ、これまでに合計 146 報の国際誌論文が発表され、16 件の特許が申請済みである。論文を 20 報近く出している研究者もあり、個々の研究成果は着実に挙がっている。

学術的な成果では、Nature Comm.、PNAS 等のインパクトある雑誌に論文が多数掲載されており、研究成果の多くが高い学術レベルであると判断できる。特に、油脂等の生産を制御する因子の発見（蓮沼）、水圏におけるクロロフィル類の解毒代謝系の発見（柏山）など注目すべき成果が出ている。我が国でシアノバクテリアや紅藻のゲノムが世界で初めて解読されるなど、国際的に先端的な研究水準を国内研究者が維持していることが、今回の成果が生まれた背景にあると思われる。研究成果にはバイオエネルギーや有用物質生産に直結する内容はまだ多くないが、戦略目標の「基盤技術の創出」に資する基礎科学での研究成果が多く含まれ、今後の発展が大いに期待できる。

波及効果の点からは、例えば、これまで知られていたガラクト脂質の役割に関する常識を覆す知見（栗井）、動的代謝プロファイリング技術の開発（蓮沼）などは、今後の微細藻類研究に大きなインパクトを与えると期待される。また、応用に向けて、細胞の自己溶菌作用の発見（朝山）、紅藻による希土類の回収能力の発見（蓑田）、プラスチック原料物質の蓄積（小山内）、培養タンクを使用しない緑藻の培養法と油脂蓄積条件の発見（軈）など、重要な成果が挙げられており、今後の社会実装への展開が期待される。学会、会議における発表状況（国際学会での招待講演 63 件）、特許出願（16 件）状況に加え、特許の一部が権利化され、企業との共同研究が進んでいる課題もあるなど、産業化に繋がる可能性のあ

る先駆的な研究が遂行されていると評価できる。

以上により、本研究領域としての戦略目標の達成に資する成果は特に高い水準にあると評価できる。

## 2. CREST 領域中間評価

### 2-1 研究領域としての研究マネジメントの状況

CREST では、現状のサイエンスを進展させる役割を期待できる研究チームを採択している。採択研究課題には生育速度が比較的遅いシアノバクテリアを中心に据えた研究課題が 4 課題含まれている。これは、原核生物であるシアノバクテリアが微細藻類の中で遺伝子改変が最も容易であることが理由であり、真核生物のモデル系が未だに確立していない現状を反映している。バイオ燃料等の生産に利用される可能性の高い藻類は複数知られているが、現時点ではどれも生育速度や生産性に問題があり、微細藻類全般に適用できる汎用的な遺伝子改変技術が少ないことから、真核モデル藻での新しい基盤技術の構築が必要である。このように、実験モデル藻類を対象とした研究課題と、より実用的な藻類等を対象とした研究課題が併せて採択されている点が、本研究領域における CREST の特徴である。

領域運営における研究総括、領域アドバイザー、および JST による研究代表者訪問や、年に 1 回以上の研究報告会により、研究の進捗状況、予算の執行状況、体制整備の状況、研究加速に必要な情報などを領域代表者が詳細に把握している。また、CREST とさきがけの間の情報交換、共同研究、人的交流も積極的に行われており、複合領域としての強みを発揮するようマネジメントが工夫されている。課題中間評価時の研究総括、領域アドバイザーからのコメントが、各研究代表者へ適切に伝達されるとともに、研究の進捗が著しい研究チームに予算が重点配分されるなど、研究マネジメントは的確である。また、1-1. で述べたように、さきがけ終了研究者を適宜 CREST 分担研究者、協力者として参画させることでさきがけの成果を CREST に活かし、CREST の研究チームを強化するなど、複合領域の研究を活性化している点も評価できる。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは優れていると評価できる。

### 2-2 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

#### (1) 得られた研究成果の科学技術への貢献

研究チームによって論文数に大きな差はみられるものの、全体としては 221 報の論文発表、国際学会等での発表 180 件（国内発表 385 件）と十分な成果が得られており、情報発信も十分になされていると評価できる。戦略目標の達成に資する、注目すべき成果も得られている。例えば、太田チームは、リン酸欠乏での TAG 蓄積機構を発見すると共に、進化上、藻と植物の間に位置する車軸藻のゲノムを初解読してモデル系の立ち上げに成功した。宮城島チームは、紅藻における遺伝子操作系を確立し、光合成と細胞増殖の概日リズムによる時間分け機構を解明することに成功した。また、花井チームはシアノバクテリアにイソプロパノール生産経路を導入する事で、光合成 CO<sub>2</sub> 固定による直接的なイソプロパノール生産に初めて成功した。これらの成果は国際的にも評価されている。また、全チームが国

際会議で招待講演を行っており、国際的に注目される研究成果を出していることがうかがえる。本 CREST 主催で国際シンポジウムが国内で 1 件、海外で 2 件開催され、国際的な視点で研究成果の公開に努めている。また、顕彰・受賞等については、のべ 4 名の研究者が国内の学会で受賞している。

研究チームの進捗状況に関しては、すでに野外での大量培養に着手する段階に達しているチームがある一方で、油脂生産の目標値を示しながらも細胞内の生理的現象の解明に留まっているチームもあるなど、チームによる研究の進捗の度合いに差が認められる。今後、研究成果がインパクトのある論文として多数報告されることを期待する。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については高い水準が期待できると評価できる。

## (2) 研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

中間評価段階であるが、既に特許が 30 件出願されている。国際的に注目されている成果を挙げている研究チームが複数ある。白岩チームの「海洋ハプト藻類のアルケノン合成経路の解明と基盤技術の開発」では、熱帯鉱床から単離した好熱菌とハプト藻の共培養によって原油成分と最も類似したアルカン分子が生成することを突き止め、グリセロール利用に問題のあったトリアシルグリセロールに替わる炭化水素のバイオ燃料生産の方向性を示した。また、植田チームは「大型藻類バイオリファイナリー」で藻類利用に関して、触媒開発、燃料電池発電、油脂生産等の着実な成果が挙げられている。河野チームは、オイル蓄積量の顕著な増加を引き起こす形質変異が重イオンビーム照射によって可能となることを実証すると共に、電顕 3D 法を駆使し、細胞内の蓄積オイルの立体構造を可視化し、蓄積メカニズムに関する知見も得ている。

特許の実施については、河野チームによる藻類生産監視システムや、明視野画像に基づく教育、研究用ソフト開発等、企業との連携も進んでいる。

本研究領域での研究をさらに進め、今後の社会実装へ向けた実用藻類に展開することにより、顕著な社会貢献ができる可能性が十分にある。新たな発見と技術の確立に期待する。

以上により、研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献については高い水準が期待できると評価できる。

## 3. その他

研究発表状況等から判断し、研究の進捗が滞っていると思われる研究チームについては、研究遂行上の環境、体制、手法等、原因を明らかにして状況を改善できるよう、適切に指導する必要がある。また、CREST の一部の研究課題では、挙げられた成果が当初設定した目標から乖離している場合があるので、目標を改めて明確化する必要がある。

今後、バイオエネルギー生産の実用化を見据えた技術開発を進めていく上で、生産するべき化学物質を選定し、採算性も考慮して産生効率の目標値を設定するとともに、藻の種類を特定し、生産地や規模を想定してその環境での培養に必要な特質を向上させるなど、集中的技術開発を進めることも有効である。その際、重点課題を再抽出し、必要に応じて新たな共同研究者を加えて現在のチームを再編成することも考えられる。

研究総括や領域アドバイザーは、領域会議ならびに成果発表会等を通じて、ブレークスルーにむすびつく可能性の高い研究課題をより重点的に支援し、イノベーションに結びつける成果が挙がるよう、領域運営を続けてほしい。近年、本研究領域外の研究グループから、実用珪藻や緑藻の高頻度形質転換法が報告される例もあることから、本研究領域においては、形質転換が容易な特定のシアノバクテリアの知見を実用藻類に展開しつつ、藻類バイオエネルギーに関わる領域外の研究者との連携によって、さらに成果を挙げることが望まれる。

バイオ燃料ならびに有用物質を生産する微細藻類は、ライフサイクルが短く生産性は高い。しかし、基礎研究から産業化へのシフトには、屋外培養での太陽光利用の効率や立地条件、天然種に対する育種法、遺伝子改変種の安全性の問題など解決すべき課題が多数存在する。化石燃料由来のCO<sub>2</sub>削減を図る上で、カーボンニュートラルな微細藻類の産業化に向けたこれらの課題は、我が国にとって大変重要な課題である。近年、欧米各国に加えて中国を含むアジア新興国が微細藻類研究に大規模な研究投資を行っており、研究者数と論文数が増加し、研究体制の充実が顕著である。このような熾烈な研究開発状況を考慮すると、本研究領域の研究期間の終了と共に成果が散逸して、イノベーションにつながる手前の知見や技術が途絶えてしまうことは我が国にとって大きな損失であり、そのような事態は避けなければならない。さきがけの研究期間終了後にCRESTの研究チームに参画したり、ALCAやNEDOプロジェクトに移行した研究者がいることは心強いが、研究総括、アドバイザー、JSTには、一層積極的に今後の研究展開を支援して頂きたい。

また、今後予想される遺伝子操作を施した微細藻類の大量培養に関して、遺伝子改変種の拡散に対する封じ込めの技術的課題や、分子育種技術の社会受容に関する啓蒙活動、ならびに法的な対応も必要である。領域として社会科学との学際的協力や、企業を含めた社会実装展開を図るべく、産業界からのニーズと学術研究成果との擦り合わせができる産学連携活動にも積極的に取り組んでいくことを期待する。

以上