

ERATO 安達分子エキシトン工学プロジェクト事後評価（予備評価）報告書

【研究総括】安達 千波矢（九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター
／教授・センター長）

【評価委員】（敬称略、五十音順）

近藤 高志（委員長；東京大学 先端科学技術研究センター／教授）

仲田 仁（山形大学 有機エレクトロニクスイノベーションセンター
／センター長代理・産学連携教授）

水戸 郁夫（日機装技研株式会社／顧問）

山口 茂弘（名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所／教授）

山田 容子（奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科／教授）

評価の概要

ERATO 安達分子エキシトン工学プロジェクト（2013年12月発足）は、電子と正孔の束縛状態である励起子（エキシトン）の有機半導体中のふるまいを制御して効率的な発光に結びつける分子エキシトン工学の学理の確立と、それによる革新的有機光デバイスの創成を目標としたプロジェクトである。安達研究総括は2010年3月から2014年3月までに実施したFIRSTプロジェクト（最先端研究開発プログラム「スーパー有機ELデバイスとその革新的材料への挑戦」）の中で2012年に熱活性化遅延蛍光（TADF）を利用した高効率発光に成功した。しかし、有機光エレクトロニクスがより一層社会で活用されるようになるには、未だ実現されていない電流励起有機半導体レーザー等の新たなデバイスの創成が重要である。本プロジェクトは、この観点から出口デバイスを念頭に置いた“Zero to One”型の大変挑戦的な戦略的基礎研究プロジェクトである。

安達研究総括のリーダーシップのもとプロジェクトの構想の実現へ向け、化学、物理学、電子工学に関するトップクラスの専門家が国内外から集まり、全員一丸となって新規な科学技術イノベーションのための多くのシーズ技術を産み出したことは評価に値する。最大の成果は、これまで成功例のなかった電流励起有機半導体レーザーの実現である。この成果は、材料、構造、プロセス等への総合的取り組みの結果として生み出されたものであり、有機光材料の応用可能性を一段引き上げた歴史的な成果である。加えて、極端な高密度電流励起下での励起子生成・失活過程と材料耐性というこれまでにない研究対象に初めて光を当てることになるという意味で、学術的な意義も極めて大きい。同じく重要な成果として、室温長寿命有機蓄光の実現が挙げられる。分子間電荷移動により電子・正孔再結合寿命を格段に引き延ばす蓄光技術の発見はTADFの考え方を大きく発展させる可能性があり、学理として重大な意味を持つ。また、従来の無機蓄光材料を大きく越える応用領域の広がりが見られ、実用上の意味も大きい。これら二つの成果に加え、一重項励起子開裂（Singlet Fission: SF）の赤外発光への活用やペロブスカイト材料の発光デバイスでの利用においても、応用デバイスを念頭に置きつつ、その根本でTADFから始まるエキシトンの学理をさらに発展強化させて課題を突破している点も重要なポイントである。

海外招聘研究者を含めた若手研究者が生き活きと活躍する研究体制の整備、国際共同研究体制の構築、世界的な国際研究拠点へ向けた学会活動など、本プロジェクトはグローバルな

戦略的研究プロジェクトとして良いあり方を示したと認められる。アドバイザーによる的確な助言や研究者に負担をかけない迅速な知財出願システムの構築なども含めて、良い先例となる研究体制を構築した。

一方、成果が見えてきた分、今後これを磨き上げるためのさらなる研究や周辺サポートの課題も明確になりつつある。例えば、実用的な有機半導体レーザーの実現に向けては、劣化メカニズムの解明に基づく長寿命化やデバイス構造の最適化によるデバイス特性の向上などの基礎的課題に地道に取り組むことが今後必要となろう。

本プロジェクトの一連の成果は、現在までに論文 85 報、書籍・総説 4 編、学会発表 245 件を通じて積極的に外部に発表されつつある。また、プレス発表、アウトリーチ活動を通じて適切に専門分野以外の一般に対してもその成果がアピールされている。研究成果の実用化を目指した特許出願は既に 35 件あり、その多くは外国出願を行っている。その中で、TADF 材料の高度化に関する 6 件の特許が既に Kyulux 社にライセンスされている。

以上を総合し、本プロジェクトは、有機半導体中のエキシトンを制御して効果的な発光に結びつける分子エキシトン工学の学理の確立と、電流励起有機半導体レーザーや室温長寿命有機蓄光材料等の革新的有機光デバイスの創成を行っており、戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」の達成に資する十分な成果が得られていると評価する。

1. 研究プロジェクトの設定および運営

1-1. プロジェクトの全体構想

近年、有機 EL ディスプレイの実用化が本格期を迎えるなど、有機光エレクトロニクスの応用が広がりつつある。安達研究総括は第 1 世代の蛍光分子、第 2 世代の室温りん光分子、第 3 世代 TADF 分子の創出を世界に先駆けて進め、多くの成果を上げてきた。特に、有機 EL デバイスに関して、様々な有機化合物の多様な特性を積極的に活用して正孔輸送層、発光層、電子輸送層からなる有機ダブルヘテロ構造を提唱した成果や、FIRST プロジェクトにおいて第 3 世代の TADF 分子での三重項励起子から一重項励起状態への変換を利用して 100% の量子効率で発光させた成果は、有機光エレクトロニクスの新たな研究領域を産み出しただけでなく、産業への展開を産み出している。しかし、有機光エレクトロニクス材料・デバイスの社会への導入はいまだ限定的で、その適用を飛躍的に拡大していくためには、無機材料・デバイスを凌駕する性能、遜色のない信頼性の実現が必須である。

このような状況の中、安達研究総括は有機光エレクトロニクスの更なる展開に挑戦すべく、本 ERATO プロジェクトにおいて、FIRST プロジェクトの成果である TADF の学理を一層深化させ、FIRST よりもさらに先へ進む目標として世界で未だ誰も実現していない“有機半導体レーザーの実現”を中心とする複数の大胆で挑戦的な出口デバイスを目指して掲げた。そしてそのデバイスを実現すべく、材料（有機光化学）、デバイス（電子工学）、プロセス（ナノ微細加工技術）の研究者が融合して研究を推進する構想を提案した。これは、ERATO らしい科学技術の源流を作りつつ社会・経済の変革にも繋がる成果を産み出そうとする研究構想であり、十分に先進的、かつ創造的なものであると認められる。

この構想の中で、ブレークスルーを産み出す中核となる基盤は TADF を中心とする有機材料中のエキシトンの学理の発展であると想定されている。例えば、レーザーでは、従来の有機エレクトロニクスでは考えられなかった高密度電流励起下の励起子の基礎過程に焦点

を当て、新規デバイスを実現するための新材料創製、分子励起状態の放射・熱失活制御、電子、励起子、光子の統合シミュレーションなどに取り組むことをプロジェクトの柱としている。

本プロジェクトの基本構想の特徴は、“有機半導体レーザーの実現”等の明確な目標を掲げ、様々な専門分野のプロジェクトメンバー全員が一丸となって、基礎から応用までをカバーした多面的な研究に取り組むところにある。FIRSTの設備、人材、知財を引き継ぎつつ、特色あるプロジェクト型研究の遂行を通じて社会・経済への波及効果も十分に見込めるインパクトのある成果を目指す研究構想である。

1-2. プロジェクトの目標・計画

前記の挑戦的な構想に基づいて成果をあげるべく、本プロジェクトは①電流励起有機半導体レーザーの実現、②室温長寿命有機蓄光デバイスの実現、③量子効率 100%を超える OLED の構築に具体的に取り組んでいる。いずれも難易度が極めて高いが、大変に明快かつ魅力的で研究者の意欲を掻きたてる目標である。いずれも具体的な応用デバイスを視野に入れた研究目標の設定となっている。一方、この目標を達成するには、分子エキシトン工学をはじめとする基本原理の理解との深化、それに基づいた材料設計や薄膜構造制御といった基礎学理上のブレークスルーが必要であった。このため、本プロジェクトにおいてはこの基礎学理と応用の両立が鍵であり、これに対する緻密な計画が練られている。

例えば、電流励起有機半導体レーザーの研究では考えられ得るかぎりの多角的なアプローチが取られている。具体的には、良好な光学特性を有する有機材料や電流注入可能な材料の設計・探索および合成、薄膜多層構造やレーザー共振器構造の設計および作製、レーザー発振に必要な高密度励起時の励起子生成・失活過程の分析、利得媒質内での励起子と光子を統合したシミュレーションなどである。これらの一連の最先端の研究、技術開発を統合・集約して実際に動作するデバイスの実現を目指している。

本プロジェクトの目標は極めて挑戦的であるが、いずれも研究グループの持つ知見を基盤とした学理の上に成り立った合理的なもので、これを実現するための研究計画は大変緻密であったと評価できる。有機材料分野、半導体レーザー分野などでの豊富な経験を有する学識者をアドバイザーとして迎えたことも総合力としてプラスに作用したと評価できる。

なお、今後の研究の進展に伴い、新たな課題に対して計画上の対処が必要となることも想定されるので、タイムリーな計画変更や新計画の導入も進めてほしい。

1-3. プロジェクトの運営

上記の目標と計画を実行するために、「分子設計・合成グループ」、「バイオデバイスグループ」、「物性・解析グループ」、「応用デバイスグループ」の4つのグループが設けられている。前記の目標達成のためには相互の連携が重要であり、3つの目標ごとに、それぞれの分子設計・物性解析・デバイス作製の側面から互いに協力して研究が進められた。新規な光デバイスを実現するためには、必要な光学特性と電子物性を明確にしてそれに適した有機半導体材料の設計と合成を進め、それらの材料の特性を考慮して素子構造を決定して最適設計を行ない、適切なプロセスでデバイスを作製する必要があるが、これらの一連の研究、技術開発を効果的に連携しながら進めるために、実験物理・デバイス研究者、プロセス工学研究者、有機合成研究者、計算化学研究者が互いに協力し合える体制を構築した。また、共同研究機関にも理論物理、計算化学などの専門家が必要に応じて配置される体制を構築している。こ

れら専門の異なる研究者を集めて研究を遂行することは通常の研究室体制では難しいことである。この取り組みを成功に導いた安達研究総括の手腕を高く評価したい。

さらに、トップクラスの研究者を集積するだけでなく、将来の福岡における国際的な研究開発拠点の形成を意識し、研究者の半数以上を外国人としているのも本プロジェクトの特徴である。研究全体会議は全て英語で行い、普段のミーティングやオペレーションについても英語によるコミュニケーションを基本としている。国際会議やシンポジウム（福岡および海外連携先で開催）を積極的に行い、また異分野も含めた国内外からの招聘研究者セミナーの積極的な開催、海外の先端研究者との交流を活発に行うことで、新しい研究の切り口や異分野の視点を研究者が常に持てるように配慮されている。有機半導体レーザーに関する国際学会の設立や九州大学を有機エレクトロニクスの国際的な拠点とするための準備も進められており、長期的展望と幅広い視野を持って展開されている。また、明確な目標に向けてチームや若手研究者に自由度を与えて活動している点も評価すべきであろう。若手の人材育成という面でも十分な成果をあげているのはその結果と考えられる。

知的財産に関しては、ERATO のヘッドクォーター機能の一つとして効率よく特許を出願するためのスペシャリストが配置されている。研究者は研究に専念しつつ、必要な場合には迅速に特許出願する体制が整備されている。

2. 研究の達成状況および得られた研究成果

2-1. 有機半導体レーザーの実現

従来の有機半導体レーザー研究においては、パルス光励起によるレーザー発振は報告されているが、光励起による連続（CW）発振や電流注入による電気励起有機半導体レーザーは実現されていない。

最重要テーマである電流励起有機半導体レーザーについては、本プロジェクトにおいて現在までに以下の成果が実現されている。(1) BSBCz:CBP を活性層に用いた混合次数 DFB 共振器形素子で、光励起による疑似 CW 発振を達成した。(2) BSBCz を活性層に用いた混合次数 DFB 共振器形素子で、電流励起によるレーザー発振を確認した。これらはいずれも、BSBCz が高電流密度下で励起三重項及びポラロン損失を示さず、またジュール熱に伴う励起子消光を示さない優れた材料であることを活かして実現された成果である。これは有機光デバイスの分野におけるマイルストーンとなる重要な成果である。特に電流励起有機半導体レーザーの実現はきわめてインパクトが大きい。

実用化へ向けては長寿命化という高い障壁を越える必要があるものの、数 kA/cm^2 に及ぶ高密度電流注入という極端条件下でも有機材料が機能することが示されたのは歴史的な意味がある。これらの成果のうち現時点で未公表のものは、今後、確実に論文発表を行ってほしい。

今後の課題としては以下の4つが挙げられる。

第一の課題は、劣化メカニズムの解明とその知見に基づいた長寿命化である。無機半導体レーザーにおける長寿命化の過程で得られた様々な知見も活用すべきであろう。電極の剥離や無機物の絶縁破壊、温度上昇による劣化などの本質的でない原因をまず排除したうえで、有機材料の高密度電流耐性という新たな課題に挑戦してほしい。

第二の課題は、デバイス構造の最適化である。電流注入で形成されるエキシトン分布と共振器内の光電界分布の空間的オーバーラップがまだ小さく、発振閾値はまだ下げられるはず

である。ここでも無機半導体レーザーで利用されている様々なデバイス構造の知見を活用していただきたい。積層方向の光閉じ込めや横モード制御も含めて、総合的なデバイス構造の最適化に取り組んでほしい。

第三の課題は、デバイス作製プロセスの改善である。ここは実践的な技術を有する外部の専門家に委託するのも一案かもしれない。

第四の課題は、BSBCz 以外の材料探索である。新規材料の開発が電流励起有機半導体レーザーの実用化と普及に決定的な役割を果たすに違いない。計算化学を用いた化合物探索を進め、次世代材料の設計指針を示してほしい。

2-2. 室温長寿命有機蓄光の実現

電子ドナーである TMB 分子と電子アクセプターである PPT 分子の混合膜で長寿命発光（室温で発光継続時間 1 時間）を実現した。ドナー分子とアクセプター分子の間での電荷の分子間移動によって電荷分離状態が形成され、その結果として発光性再結合の時定数が著しく長くなることがこの長寿命発光のメカニズムである。この分子間電荷移動による電荷分離を用いる長寿命発光は、室温で動作する蓄光材料に直結する新規な過程である。これに蛍光分子を添加して電荷トラップによる高性能化を実現したのも重要な成果である。室温で時間オーダーに及ぶ長寿命発光は、無機蓄光材料に肩を並べる性能が実現できる可能性を示唆するものである。この材料は従来の蛍光、りん光、遅延蛍光材料からさらに大きく長時間側に踏み出す新規な有機発光材料系とみなすことができる。

この発光材料は 2 つの有機材料（電子ドナー材料と電子アクセプター材料）を偏りのある比率（1 対 100）で混ぜるだけで作製でき、従来の無機蓄光材料と比較してはるかに簡便かつ安価なプロセスで製造できることは重要である。無機蓄光材料で不可欠なレアメタルを一切含まないことも本技術の強みである。また、添加された蛍光材料における TADF assisted fluorescence (TAF) によって添加材料に応じた発色も実現された。色調を変化させることができるのは有機材料の得意とするところであり、応用の可能性を広げる成果である。TADF が関係する過程が関与した現象を発見した点も、学理の面から非常に重要な成果であると評価できる。

室温長時間蓄光への応用に向けては、単なる化合物の組み合わせだけでなく、先端計測技術に基づいたキーパラメーターの解明と新規材料開発を期待したい。ただし、性能比較を行う上で、現状の用いられている発光継続時間は性能指数として不十分であろう。サイエンスとしてしっかり見直してほしい。

有機蓄光材料は添加する蛍光材料によって白を含めた様々な色を作れるだけでなく、大面積化や柔軟性、透明性が付与できることなどの特徴があり、今後、塗料や繊維への新たな応用を含め、様々な応用展開が期待される。例えば、大面積非常灯や光源を必要としないバイオセンサーへの応用も期待されるし、ディスプレイや人工光合成など、さらにアプリケーションの幅が広がる可能性がある。バイオデバイスグループとはプロジェクト内でうまく連携してほしい。

溶液中と薄膜・固体中でのメカニズムの違いは学理的にも重要であり、固体薄膜の構造との相関などについても理解を深めていく必要がある。また、金属有機構造体 (MOF) を利用した非輻射失活の低減の研究成果も非常に興味深く、注入したガスの種類でりん光の寿命をコントロールできる点は今後のさらなる発展が期待できる。

2-3. Singlet Fission による高効率 OLED の実現

近年の OLED 素子において内部量子効率ほぼ 100%に到達している。本プロジェクトでは、一重項励起子開裂（Singlet Fission: SF）過程を適用することで励起子生成効率が 100%を超える OLED 素子を目指した研究を展開している。この SF を示す有機半導体分子（ruburen:ErQ₃）を OLED の発光層中のホスト材料として用いることで、SF 過程と TADF 過程を融合し、励起子生成効率 112.5%に相当する近赤外発光を世界で初めて実現した。

SF 自体は既に太陽電池分野では研究が進められている状況にあるが、これを発光デバイスに適用して 200%の内部量子効率を達成目標としている点に本プロジェクトの独自性がある。そのためには、電荷再結合により生成される全励起子を一重項励起状態として利用することが必要である。

100%を超える量子効率というのは基礎学理としては面白い研究課題であるが、エネルギー利用効率が向上するわけではないので、それが社会・経済的な価値に直結するわけではない。むしろ、この技術の実用的なターゲットは赤外 OLED の実現になるのではなかろうか。無機赤外 LED や従来の OLED と比較したベンチマークが必要となろう。

SF を効率的に引き起こせる材料の探索は難しい課題である。太陽電池分野で検討されているのはアセン系骨格を基にした材料であり、世界的にもほとんどこの方向性の検討に終始していることから難しさは理解できる。より抜本的に異なる化合物群の材料探索が必要となるように思われる。本プロジェクトでは、過渡吸収測定によって溶液中での SF 特性を調べると同時に、テトラセン系化合物を用いて分子間 SF と分子内 SF のメカニズムの違いや、適切な薄膜構造についても詳細に検討している。また、電荷移動 (CT) 型励起状態の効果についても検討を始めており、凝集体やアモルファス性薄膜に分散された場合も含めた多彩なアプローチが将来的に適切な材料設計につながることを期待したい。

2-4. ペロブスカイト材料の活用

ハロゲン化金属ペロブスカイト型材料については、最近、太陽電池分野で実用化に向けた研究が加速度的に進展している。本プロジェクトにおいても太陽電池の耐久性向上についての成果をあげているが、本プロジェクト全体の位置づけからすると、このペロブスカイト材料を今後、発光素子に用いることに研究をフォーカスしていくものと理解した。有機材料と比較して高い電子・正孔移動度、有機材料と同様の低温プロセスが適用可能であることなどを有効に活用した新しいアイデアであり、有望な展開と期待できる。ペロブスカイト材料は溶液プロセスや低温真空蒸着法などの簡単なプロセスで薄膜化できるために有機材料と相性がよいことは好都合である。ペロブスカイト材料に新たに果敢に取り組んで一定の成果をあげた点を評価したい。

現在までにいくつかの成果が報告されているが、以下の成果が重要と考える。

第一は、ワイドギャップペロブスカイト半導体 CH₃NH₃PbCl₃ を電子・正孔輸送層に用いた OLED を開発し、有機材料よりも高い移動度をいかして素子の厚膜化（数 μ m）に成功し、干渉による発光色の角度依存性を抑制したことである。厚膜化はさらに、電極表面の傷や異物等に起因する漏れ電流の発生を低減することにつながり、OLED の安定駆動とデバイスの歩留まり向上にも大きく寄与することから、産業への展開も期待できる。

第二は、層状ペロブスカイト半導体 PEASnI₄ をチャネルに用いた FET で世界最高の電子・正孔移動度を実現したことである。26 cm²/Vs というペロブスカイト型半導体としては世界トップクラスの正孔移動度が得られた。有機半導体を大きく上回るキャリア移動度を活

かして、様々な有機発光デバイスへの利用を今後さらに検討してほしい。

3. 研究成果の科学技術、社会・経済への貢献

3-1. 科学技術への貢献

電流励起有機半導体レーザーの発振は、世界初の成果であり極めてインパクトが大きい。有機材料が高密度電流注入で機能することを実証した功績は大きく、この点だけでも本プロジェクトの成果として十分な内容である。これまで無理であろうと思われてきた技術の可能性を示唆するものであるため、今後の有機光エレクトロニクス分野の新たな潮流を作り出すものである。技術史的にも、電圧印加で動作する液晶、低電流密度の電流励起で動作する OLED に続いて、有機材料の能力を一段引き上げたエポックメイキングな成果として高く評価する。このことから、科学技術の新しい潮流を産み出す新技術シーズを創出したという点で ERATO らしい成果と認定できる。今後も引き続きこの領域を先導し、この成果を実用化可能な技術へ発展させて行くことが期待される。そのためには、今まで進めてきた異分野融合研究体制の範囲を一層拡大し、材料、デバイス、プロセス、信頼性等において、無機材料デバイス分野の先駆者達が苦労してきた泥臭い内容まで含めたブレークスルーを産み出す研究を続けていく必要がある。具体的な課題は、2-1 に記載したとおりである。

室温長寿有機蓄光体も、TADF メカニズムと分子間の電荷移動のメカニズムを組み合わせた新たな技術シーズを生み出した成果であり、りん光材料を用いることの限界を打破しており、その意義は極めて大きい。TADF の適用領域を拡大すると共に、有機蓄光材料・デバイスとして今後大きな研究領域に発展していくことが期待される。今後は、無機蓄光を含めた他の様々な技術とのベンチマークを行いつつ、より強力なテクノロジーに発展させさせてほしい。

ペロブスカイト材料については、太陽電池分野では既に実用化に向けた研究が進みつつあるが、この材料を有機エレクトロニクスや発光の観点から有機材料と組み合わせて活用しようとする取り組みには新規性がある。厚膜 OLED という実用レベルの成果を含めて複数の研究成果が出ているが、今後は研究チームの強みからターゲットを絞り込み、次につながるアウトプットをまとめることを期待する。

Singlet Fission も、太陽光発電関係では既に登場している技術ではあるが、発光の観点からエキシトン分裂現象の効果を実証した成果は意義がある。赤外発光への展開に期待したい。

また、プロジェクト全体を下支えする学術として、材料開発における計算化学の適用、新規 TADF 材料を含む材料開発、エキシトンメカニズムのさらなる解明などが協力研究機関と連携しながら進められており、安達研究総括を中心として新しい科学技術を創出のために組織された国際的研究体制は有効に機能したと考えられる。今後もこの体制を維持強化し、応用上のターゲットを明確化して新たな融合研究課題を設定して取り組んでいくことも期待したい。基礎的研究の視点からは、分子配向制御や界面構造、膜のモルフォロジー制御など、地味だが重要な基礎研究がいずれテーマを超えて大きな成果に繋がる可能性があるため重要と考える。

3-2 社会・経済への貢献

安達研究総括が ERATO 以前から明確な実用化ターゲットを睨みつつ TADF 等の基礎研究を積み上げてきたことに敬服する。ERATO プロジェクトにおいてもデバイスターゲット

を明確にして社会・経済に貢献できる新たな弾を産み出しつつある。産業展開に近いものの例は、室温長寿命有機蓄光、一重項励起子開裂を用いた赤外 OLED、ペロブスカイトキャリア輸送層を用いた厚膜 OLED 等である。電流注入型有機半導体レーザーについては現時点ではまだ解決すべき技術要素が多く産業界が興味を持つ段階にはないかもしれないが、じっくりと技術を育て上げながら適切なキラアプリケーションを見出す努力を継続してほしい。

室温長寿命有機蓄光については、現段階では新たな蓄光メカニズムが実証されただけであるが、その社会・経済的な波及範囲は広い。有機材料ならではの加工性やコストから、無機蓄光材料で制約となっていた領域へアプリケーションを広げることが期待される内容である。性能も含めると、現時点では無機蓄光材料と用途毎にベンチマークを行った上で、さらなる研究開発により強みのある用途が具体的に示せるようにする必要であろう。

一重項励起子開裂を用いた OLED については、生体等への応用を念頭に近赤外 OLED を目指すのは正しい方向性であると思われる。しかし、既存の OLED 技術と比較したベンチマークが現時点では不足している印象なので、今後これを含めて研究を進める必要がある。

ペロブスカイト材料の活用に関して報告された成果のいくつかは、今後、産業界が興味を持つ可能性のある内容であり、早期に交流を進めることを勧めたい。ペロブスカイト材料自身の発光機能を活かしたレーザーをはじめとする発光デバイスへの展開も、中長期的な視野を持って進めてほしい。

なお、これらの成果の社会・経済への還元を進める上で、積極的に特許出願してきていること、ベンチャー企業の立ち上げを視野に入れることなどは高く評価される。

有機エレクトロニクスは無機に比べて歴史が浅いが、有機導電性材料の発見、導電性高分子の発見などが社会・経済に与えたインパクトは決して小さくない。本プロジェクトは、TADF を中心とした新規有機材料が有機光エレクトロニクスの分野に革新を引き起こし、ひいては社会・経済に貢献できる可能性があることを示したプロジェクトとなった。本プロジェクトの成果に触発された国内外の産官学の研究者が集結すれば、さらに大きな成果が生まれる可能性がある。安達研究総括は実際にその結集の流れの構築をはじめており、今後の発展に期待する。

4. その他特記すべき事項

4-1. 若手研究者支援

若いメンバーが生き生きと楽しそうに研究していることは高く評価できる。これは日本の科学技術の将来を考えると非常に大事なことである。若い研究者の意欲を掻きたてる有意義かつ挑戦的な研究課題を設定し、自発的に研究を行える環境を整えたことは、安達研究総括の指導力はもちろんのこと、各グループリーダー、プロジェクトヘッドクォーター各位の努力の賜物である。関係した若手研究者は、中国の浙江大学や韓国の梨花女子大学、Samsung 電子、ポーランド Lodz 大学、スリランカ Sabaragamura 大学などへ転出しており、海外では幅広いキャリア展開が見られる。これに対して国内では、九州大学稲盛フロンティア研究センターや九州先端科学技術研究所などへの転出があるが、アカデミックポジションの獲得や国内企業での活躍が比較的目立たない。これは本プロジェクト固有の問題というよりは現在のわが国の抱える問題と捉えるべきであるが、今後の課題であろう。

4-2 グローバルな研究連携体制

研究人材の受け入れに関して、国内では九州大学内部はもとより北陸先端科学技術大学院大学、早稲田大学、京都大学、山形大学、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所、九州先端科学技術研究所、福岡雙葉学園、沖縄科学技術大学院大学、サムスン日本研究所などから研究者受け入れている。また、海外からもエクス・マルセイユ大学、梨花女子大学などから研究者を受け入れている。このような人材を活用する上で、英語を公用語として日常の研究活動を進めるスタイルは、国際化時代のプロジェクトとして手本になるものである。

また、海外との共同研究も積極的に行い、海外研究機関と交流を活発に行うとともに、国際シンポジウム（福岡、スリランカ、中国で開催、来年度はフランスを予定）を開催し、この研究領域の国際協力を一層緊密なものとした。フランス国立科学研究センター（CNRS）の Dr. Anthony Daleo とは TADF 材料に関連して連携成果が生まれつつあり、ERATO の枠を越える体制を構築したことの顕著な成果であると言える。

5. 総合評価

材料、物性からデバイスまで、有機発光デバイスの新展開をもたらす重要な成果が得られており、高く評価できる。特に、電流励起有機半導体レーザーの発振の成功は、有機材料を光エレクトロニクスの世界で新たなステージへ押し上げる歴史的な成果である。この1点だけでも十分な成果と評価してよい。また室温長寿命有機蓄光の実現も“Zero to One 型”の成果と位置づけられる。

安達分子エキシトン工学プロジェクトは、研究総括の強力かつバランスの取れたリーダーシップのもと、国内外からその分野のエキスパートを招聘し、化学、物理、電子工学の専門家が連携する研究体制を構築した。その結果として、前記のインパクトの高い研究成果だけでなく、各種励起子の基礎課程のさらなる解明、新材料の創出等においても光科学における基盤的な研究成果の蓄積もなされた。また研究組織の運営の観点でも、若手研究者が生き活躍できるプロジェクトとして模範となる取り組み方法が示された。

以上を総合し、本プロジェクトは、有機半導体中のエキシトンを制御して効果的な発光に結びつける分子エキシトン工学の学理の確立と、電流励起有機半導体レーザーや室温長寿命蓄光技術等の革新的有機光デバイスの創成を行っており、戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」の達成に資する十分な成果が得られていると評価する。

なお、一部の重要な成果が現時点で未公表であるが、今後、着実に論文発表に結び付けてほしい。

以上