

令和元年6月13日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26107001

研究課題名(和文)高次複合光応答分子システムの開拓と学理の構築

研究課題名(英文)Application of Cooperative Excitation into Innovative Molecular Systems with High-Order Photofunctions

研究代表者

宮坂 博(Miyasaka, Hiroshi)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：40182000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 55,600,000円

研究成果の概要(和文)：光化学は、人類喫緊の課題である光エネルギー変換、物質合成、また多くの光機能物質にも深く関わるが、光の有効利用には共通の制限が存在する。この制限の超克を目的に開始した新学術領域「高次複合光応答」の効率的な研究の進捗のため、総括班は主に、各課題の遂行に対するアドバイス、共同研究の提案、班員間の情報共有、シンポジウム、領域会議の運営、広報などの活動を行った。その結果、発表論文数965報、共同研究実施数100以上、共同研究論文98報、大学院生を含む若手研究者の討論会等における講演賞などの受賞216件(内国際学会40件)などに代表されるように、研究結果、共同研究、若手育成などの優れた成果がなされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光エネルギー利用に対する共通の基礎的制限の超克は、今後の持続的社會構築のためにも重要な課題であり、革新的な研究の発展が望まれている。この総括班では、光利用に対する制限の超克を目指して開始された科研費新学術領域「高次複合光応答」の研究の加速と発展、また共同研究による研究展開、また若手後継人材の育成を目的に活動を行った。その結果、数多くの研究成果や共同研究論文、また多数の若手の受賞があり、研究プロジェクトの効率的推進、若手人材の成長に貢献でき、現在までの研究結果を基に、後継人材も含めた光エネルギー利用の研究領域の今後の更なる発展の体制が構築できた。

研究成果の概要(英文)：Photochemistry takes important roles in the light energy conversion, material synthesis and many photofunctional materials. However, there are three common limitations, such as Kasha's rule, annihilation of excitons and the restriction in optical transition, for the effective utilization of the light energy. This program aimed to accelerate the research development of the Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Area "Photosynetics", which started with the purpose to overcome above limitations, via advice on the research of each member of the project, proposal of joint research among members, information sharing among members, management of symposia, and public relations. As a result of these activities, the excellent research results (965 papers), effective joint researches (>100 and 96 papers), the presentation award young researchers (216) were obtained.

研究分野：光化学

キーワード：光化学 光機能材料 多光子過程 多重励起 光エネルギー利用

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

電子励起状態分子はエネルギーや物質変換、光機能発現等において重要な役割を果たしている。これら励起分子の諸過程を対象とする光化学関連研究分野において、日本の研究者は基礎過程の機構解明から機能材料の開発などの広範囲の領域において、国際的にも先導的役割を果たし多大な貢献を行ってきた。しかし光機能発現やエネルギー・物質変換に応用が想定される比較的大きな多原子分子では、高位電子状態が生成しても迅速に最低励起状態に緩和し (Kasha 則) 集合体系において多くの励起分子が生成しても分子間の迅速な消滅過程 (励起子 annihilation) により最終的にはごく少数の励起分子しか残らないなど、光量子や光強度等の光エネルギー利用には、本質的に大きな制限が存在する。更に、通常の光吸収で到達できる電子状態は主に一光子許容なものに限られており、分子が本来有する多様な電子励起状態を有効に利用することも困難であった。

これらの光利用に対する制限は、我が国が電子励起状態分子に関する研究領域において国際的な優位性を保持しつつ、新規光機能物質系の開発を継続するためにも、また、喫緊の課題とされる光物質変換・光エネルギー利用の革新的発展のためにも超克すべき重要な基礎的課題であるが、これらの解決は非常に困難なものと考えられてきた。しかし最近、本提案領域の代表者や参画者の研究を含め、多光子吸収や多重励起を利用した高位・禁制電子状態における選択的・特異的光反応、高位電子励起状態からの複数励起子の生成、局所場等の利用による摂動を超えた新奇電子状態生成、複数光子によって誘起される多重スイッチや集合体系における多数励起分子の協同的・階層的な光力学応答等、これら三種の制限を超える新現象が報告され始めている。これらの背景を基に、上記3種の制限の超克を目的として開始した新学術領域「高次複合光応答」(2014-2018)の総括班として、本研究課題は遂行された。

### 2. 研究の目的

本新学術領域では、分子系の電子励起状態利用に関わる上記の制限を超克する手法として、多重・多光子励起、電子状態変調、集合体設計等の方法を用い、従来の“1光子吸収と1分子応答”を超える複合励起と応答の学理構築と応用を行い、新規複合励起応答分子系の構築を目指すものであり、短期的な光化学分野における国際的優位性の継続のみならず、中長期的にも今後の解決すべき分子系の光利用関連諸課題の共通基盤の学理の構築を目標とした。

上記目的を目指した効率的な研究の進捗を可能とするため、総括班は主に以下の活動を行うこととした。

- (1) 各課題の遂行に対するアドバイス
- (2) 班内・班間共同研究の提案
- (3) 班員間の情報共有を行うためのプラットフォーム作成
- (4) シンポジウム、領域会議の運営
- (5) 広報活動

### 3. 研究の方法

総括班は、計画研究代表者と各計画班代表者13名のメンバーからなる実施グループと6名の評価グループから構成した。実施グループは、個別の研究並びに共同研究の円滑かつ効率的な推進、ならびに人材育成、広報にあたる。このために、進捗状況を判断しつつ推進計画に基づき、領域全体の運営、計画研究班内・班間の共同研究の推進を行う。評価グループは、光物理化学、光化学、光物性科学、光物理分野にて世界的に高い評価を受けている一流の研究者に依頼した。また世界的な視野に立脚した国際水準を保つために、関連分野の一線で活躍する海外研究者を3名外部海外評価委員として加えた。

実施グループは、計画研究の推進に加えてH27(2015)年度以降に参画する公募研究グループについても同様に班内・班間の共同研究の円滑な実施を支援する。研究計画・成果に関する情報共有のために各年度には、領域全体会議、領域運営会議、班会議、公開シンポジウムを複数回企画する。成果の公開については、論文発表や国内外での積極的な成果発信に加えて、領域webでの広報、ニュースレター発刊、最新の研究内容説明を行う。さらに本研究領域で推進する研究方向の概念を広めるため、公開シンポジウム、研究会、チュートリアルセミナーの開催を通じ、領域外の研究者への情報発信にも鋭意努力する。また、研究期間内に複数回の国際ワークショップを開催し、当該分野の世界トップクラス研究者を招待し、情報交換と成果の国際的発信に注力する。さらに、領域内若手研究者の一層の成長と自らのネットワーク形成を目的とし、若手主催のセミナー開催も積極的に支援する。領域外の若手研究者、学生との積極的な交流、領域内の若手との共同研究について助言を行い、本領域が広く当該分野の人材育成に寄与できるように配慮する。これらの策定と実施状況について、評価グループに評価を依頼し領域の効率的運営にフィードバックを行うことを計画した。

### 4. 研究成果

#### 平成26年度(2014)

総括班に領域代表者を含む計画研究代表者による13名からなる実施グループと、国内3名(増原 宏:台湾国立交通大学講座教授、入江正浩:立教大学教授、伊藤 正:大阪大学特任教授)と国外3名(P,V,Kamat:Notre Dame 大教授、A. M. Brouwer:Amsterdam 大教授、J. Hofkens:

Leuven 大教授)の学識経験者からなる評価グループを設置した(戸部義人:台湾国立大教授にも H29 から評価委員に就任いただいた)。

実施グループには、(1)共同研究の調査提案、(2)若手育成、(3)シンポジウム、領域会議の企画運営、(4)広報活動の4部門を置き、領域代表、事務局、また研究項目 A01-A03 の班長と共に領域運営の組織を構築した。また実際の事務業務の中で、ホームページの開設と保守、シンポジウムや領域会議における出席者の掌握、原稿の収集と予稿集の製本印刷、論文、学会発表、紹介記事など研究成果や受賞データの収集などは、事務局を通して外部業者に委託し、効率的な運営システムを構築できた。また、和文、英文のホームページの開設、ニュースレターの発行(2回)を行った。

第1回公開シンポジウム・領域説明会を開催し(2014年9月26日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者116名)一般の研究者を含めて領域の趣旨の説明を行った。また合わせて班会議、領域運営会議を非公開で開催した。

第2回公開シンポジウム・第1回若手セミナーを開催し(2015年1月23-24日、千里ライフサイエンスセンター、参加者106名)領域外部の参加者に対してもポスター発表を募り12件の発表があった。また、若手育成の観点から第2回シンポジウムでは、領域外の若手を含め15件の口頭発表を得た。また併せて領域運営会議、合同班会議を開催し、領域の運営、共同研究の可能性を討議した。実施計画が確定した共同研究に対しては、提出された計画書に対して領域総括、事務局、研究項目 A01-A03 の班長により審査と助言を行い、相互訪問の旅費や新に必要となる軽微な消耗品に相当する追加配分を行った。

国内評価委員3名には、2回のシンポジウム、領域運営会議、合同班会議に参加いただき、各研究項目、共同研究、総括班運営に関し助言をいただいた。当初、国際評価委員には26年度に来日していただき助言を得る予定であったが、日程調整が困難となったため、国際学会での会見の機会やメール等を用いて助言を得た。この旅費相当分は27年度に繰り越し、国内評価委員の一人(増原委員)に27年度に米国に出張いただき、国際評価委員のみならず広く著名な研究者から今後の領域運営に有効な助言を得た。

初年度のため計画班のみの参加ではあったが10件以上の共同研究が実施され、その一部には分担金を配分し実効的な共同研究が開始された。またアウトリーチ活動として大学祭や研究室開放、高校への出前講義などで、青少年や一般のかたへの本新学術領域の説明を行った。

#### 平成27年度(2015)

27年度から参加した19公募班も含めた共同研究体制を構築するために、27年度の第1回シンポジウム(第1回領域全体会議、第2回若手セミナー、2015年6月5-6日、東京工業大学蔵前会館、参加者90名)は非公開の研究発表会として実施し、未公表データを含めて相互に発表し共同研究をめざした討議を行った。

若手研究者、大学院生を中心とする合宿型若手セミナー第1回「高次複合光応答」若手の会(2015年7月31日-8月1日、ホテルコスモスクエア国際交流センター、参加者約100名)を開催し、領域内外から講師5名を招き、若手に対してチュートリアル講義を行うと共に、若手のポスター発表を行いその育成を図った。

第3回公開シンポジウムおよび第3回若手セミナーを開催した(2016年1月22-23日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者136名)。この若手シンポジウムでは主に領域内の連携研究者に対しても発表を募り、領域内の若手を中心に10件の口頭発表を得た。さらにこの公開シンポジウムにおいて第1回チュートリアルセミナー、「量子化学計算による吸収スペクトルなどの光学特性の計算と分子設計について」を実施し、若手の育成の加速を行った。またこれらのシンポジウムと併せて、領域運営会議、合同班会議を2回開催し領域運営や研究課題について討議した。

実施計画が確定した共同研究に対しては提出された計画書を審議し、相互訪問の旅費やなどに相当する追加配分を継続した。ホームページの更新(週1回程度)、ニュースレターの発行(3回)を行い領域の趣旨の周知、研究成果を発信した。また26年度と同様のアウトリーチ活動を継続した。

国内評価委員には、2回の公開シンポジウム、領域会議、合同班会議に参加いただき、各研究項目、共同研究、総括班運営に関し助言をいただいた。国際評価委員には、海外国際学会などで会見し直接助言をいただいた。

共同研究については、新たな公募班を加え、40件以上が実施され、その一部には分担金を配分し実効的な共同研究を開始あるいは継続できた。

また「国際活動支援班」への公募申請と採択により、国際共同研究体制を構築した。

#### 平成28年度(2016)

3年目の中間評価に対し、資料収集、報告書作成、ヒアリングを行い、A評価を得た。

第1回国際シンポジウムを開催し(平成28年6月2-4日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者150名)海外評価委員3名を含め海外研究者の招待講演、計画班を中心とした研究成果の口頭発表、また海外参加者を含めポスター発表を行った。4日の午後からは国際若手セミナーとして若手研究者の成果発表を行った。これらの発表に対して、海外評価委員からも今後の展開に対する助言を得た。

若手研究者と大学院生を中心とする合宿型若手セミナー（2016年8月26-27日、信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設、参加者19名）も継続して実施し若手の育成を行った。

2016年11月18日-19日には、新学術領域「分子アーキテクトニクス」および「精密制御反応場」と合同シンポジウムを開催し（参加者101名）領域間の情報交換、共同研究の可能性を検討した。

28年度の第2回公開シンポジウム・若手セミナーを開催した（2017年1月20日-21日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者125名）。また初日午前中にはチュートリアルセミナー「レーザーと光学顕微鏡による局所光応答誘起とナノ観察手法」を開催した。これらのシンポジウムにあわせて、領域運営会議、合同班会議を開催し領域運営や研究課題について討議した。

総括班経費からは、共同研究に対し提出された計画書を審議し追加配分を継続した。和文、英文のホームページの更新、ニュースレターの発行を行い領域の趣旨の周知、研究成果を発信した。これらのシンポジウムにあわせて、領域運営会議、合同班会議を開催し領域運営や研究課題について討議した。

国内評価委員には、シンポジウム、領域会議、合同班会議に参加いただき、各研究項目、共同研究、総括班運営に関し助言をいただいた。またアウトリーチ活動として、各大学でのオープンキャンパスや高校等への出前授業の機会における、青少年を含め一般の方々へ領域の意義や成果のわかりやすい説明を継続した。

27年度に採択された国際活動支援事業では、特にフランスと28年4月（在日フランス大使館）29年3月（フランス カシャン、パリ - サクレ高等師範学校）に光化学に関する上述の日仏ワ - クショップを開催するとともに、CNRS 国際共同研究所プログラムが採択され、共同研究が加速できた。

#### 平成 29 年度 (2017)

2 期目の公募班 21 グル - プが加入したため、非公開の領域会議を開催し（2017年5月19-20日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者154名）未発表データも示しながら共同研究を含めた今後の研究計画の討議を行った。またあわせて領域運営会議、合同班会議を行い、評価委員から助言を得た。若手研究者と大学院生を中心とする合宿型若手セミナー（2017年9月11-12日、晴海グランドホテル、参加者65名）も継続して実施し若手の育成を行った。

分子利用、光計測に関係する他の新学術領域「分子アーキテクトニクス」、「精密制御反応場」、「光圧ナノ物質操作」の3領域と合同シンポジウムを開催し（2017年12月15、16日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者170名）領域間の情報交換、共同研究などを討議した。

29年度の公開シンポジウム・若手セミナーを開催し（2018年1月26-27日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者142名）あわせて領域運営会議、班会議を行った。また初日午前中にはチュートリアルセミナー「分子発光材料の設計指針と現状」を開催した。

前年に引き続き、総括班経費からは共同研究に対する追加配分を継続した。また和文、英文のホームページの更新、ニュースレターの発行を行った。

総括班経費からは共同研究に対する援助を継続した。また、前年度までと同様に、アウトリーチ活動を継続した。

2018年3月にフランス リール大学にて、日仏ワ - クショップを開催し若手を中心の研究発表を行い、共同研究の加速、若手成長を図った。

#### 平成 30 年度 (2018)

30年度の第1回公開シンポジウムは、第2回国際シンポジウム、第3回日仏ワ - クショップと兼ねて開催し（2018年5月21-23日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者160名）国内、国際共同研究を含めた今後の研究計画の討議を行い評価委員から助言を得た。また合わせて領域運営会議、班会議、国際若手セミナーを開催した。最終日には、京都のフランス領事館においてフランス CNRS のプログラム LIA（国際共同研究所）と本学新学術領域に参加するコアメンバーの機関（阪大、京大、奈良先端大、青山学院大）との間で調印式を行い、国際研究拠点の構築が完成できた。

第2回公開シンポジウム・若手セミナーを開催し（2019年1月25-26日、大阪大学豊中キャンパス基礎工学部国際棟、参加者135名）各研究課題へのフィードバック、領域の成果を関連領域研究者にも広く周知した。また、国内評価委員3名も参加し、領域運営会議、班会議も併せて行い、最終年度としての成果とりまとめの方針についても討議を行い、その方針を確定した。

総括班経費からは共同研究の援助を継続した。また若手の育成の加速を行った。和文、英文のホームページの更新、ニュースレターの発行を行い領域の趣旨の周知、研究成果を発信するとともに、前年度までと同様にアウトリーチ活動を継続した。

以上 2019 年 3 月までの活動として、公開シンポジウム・領域会議(国内)を計 8 回(2014.9、2015.1、6、2016.1、2017.1、5、2018.1、2019.1)、若手の会を 3 回(2015.7、2016.8、2017.9)、国際会議を計 2 回(2016.6、2018.5)行った。物性科学領域横断研究会に 2014 年から 5 年連続で参画した。3 領域および 4 領域合同シンポジウムを 2 回(2016.11、2017.12)行った。フランス CNRS と LIA(Laboratoire International Associé)を締結し、国際シンポジウムを 2 回(2017.3、2018.3)行った。

領域 HP (<http://photosynergetics.jp/>) を開設し平均 1 回/週 程度の頻度で情報更新すると共に News Letter も閲覧可能とし、専門研究者・一般の方々にも広く情報を公開した。

これらの活動により、領域内で実数として 965 件の論文が発表された(2019 年 3 月 31 日まで)。これらの研究成果の一部は、朝日新聞(2016.8.27、2016.7.28)、日本経済新聞(2019.2.13、2019.2.4、2014.8.25)、日経産業新聞(2019.2.19、2017.11.16、2016.10.19、2014.9.25)、日刊工業新聞(2018.3.20、2017.7.7、2017.7.13)、京都新聞(2017.9.9、2016.8.27、2016.6.9)、科学新聞(2016.12.9)など新聞報道、また計 87 件 Website 報道された。

また領域内では 120 件以上の共同研究が行われ(2017 - 2018 年度)、総論文数 965 件の中で 98 本が共同研究論文として出版された。また国際共著論文は 182 件が出版されるとともに、フランスとの CNRS プログラムにより「日仏光化学研究所」の開始など中長期的な共同研究への礎が構築された。若手研究者については学協会の受賞が 30 件、大学院生を含めた学協会での講演賞・ポスター賞の受賞は 216 件(うち国際学会 40 件)と若手育成にも貢献できた。

またアウトリーチ活動としては、大阪大学・早稲田大学・筑波大学・愛媛大学・大阪市立大学・立教大学でのオープンキャンパス等での紹介計 100 件、高校生対象の出前授業・体験教室 74 件などのアウトリーチ活動を行った。

## 5 . 主な発表論文等

〔その他〕

ホームページ等: <http://photosynergetics.jp/>

## 6 . 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 玉井 尚登

ローマ字氏名: (TAMAI, Naoto)

所属研究機関名: 関西学院大学

部局名: 理工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 60163664

研究分担者氏名: 河合 壯

ローマ字氏名: (KAWAI, Tsuyoshi)

所属研究機関名: 奈良先端科学技術大学院大学

部局名: 先端科学技術研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40221197

研究分担者氏名: 阿部 二郎

ローマ字氏名: (ABE, Jiro)

所属研究機関名: 青山学院大学

部局名: 理工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 70211703

研究分担者氏名: 松田 建児

ローマ字氏名: (MATSUDA, Kenji)

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 工学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 80262145

研究分担者氏名: 朝日 剛

ローマ字氏名：(ASAHI, Tsuyoshi)  
所属研究機関名：愛媛大学  
部局名：理工学研究科  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：20243165

研究分担者氏名：横山 泰  
ローマ字氏名：(YOKOYAMA, Yasushi)  
所属研究機関名：横浜国立大学  
部局名：工学研究院  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：60134897

研究分担者氏名：小畠 誠也  
ローマ字氏名：(KOBATAKE, Seiya)  
所属研究機関名：大阪市立大学  
部局名：工学研究科  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：00325507

研究分担者氏名：井村 考平  
ローマ字氏名：(IMURA, Kohei)  
所属研究機関名：早稲田大学  
部局名：理工学術院  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：80342632

研究分担者氏名：重田 育照  
ローマ字氏名：(SHIGETA, Yasuteru)  
所属研究機関名：筑波大学  
部局名：数理物質系  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：80376483

研究分担者氏名：前田 大光  
ローマ字氏名：(MAEDA, Hiromitsu)  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：生命科学部  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：80388115

研究分担者氏名：内田 欣吾  
ローマ字氏名：(UCHIDA, Kingo)  
所属研究機関名：龍谷大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：70213436

研究分担者氏名：Vacha, Martin  
ローマ字氏名：(VACHA, Martin)  
所属研究機関名：東京工業大学  
部局名：・理工学研究科・  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：50361746

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。