

戦略的創造研究推進事業
—さきがけ(個人型研究)—

研究領域「光の極限制御・積極利用
と新分野開拓」

研究領域事後評価用資料

研究総括: 植田 憲一

2021 年 9 月

目 次

1.	研究領域の概要	1
(1)	戦略目標	1
(2)	研究領域	5
(3)	研究総括	6
(4)	採択研究課題・研究費.....	7
2.	研究領域および研究総括の設定について.....	10
3.	研究総括のねらい	11
4.	研究課題の選考について	13
5.	領域アドバイザーについて	19
6.	研究領域のマネジメントについて.....	22
7.	研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	36
8.	総合所見	57

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

①目標名

新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓

②概要

光の利用技術はこれまで、物質の観察手段としてだけでなく、材料加工や情報通信、医療等の幅広い分野における横断的技術として活用されてきた。近年では、レーザー技術をはじめとする精密制御・高感度計測技術の飛躍的な進展に伴い、新物質の創製・新機能発現から量子状態の制御に至るまで、知のフロンティア開拓を先導する先端科学技術として現代に欠かせない社会インフラの一翼を担っている。他方で、物質と光の相互作用における多彩な非線形光学現象や素励起物性など光の作用の本質については未解明の点も多く、さらなる分野深化や応用展開に向けては新たな系統的・体系的知見の獲得が不可欠となっている。

そのため、本戦略目標では、新たな光機能や光物性の解明・利活用・制御等を通じて従来の光科学技術を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、将来の社会・産業ニーズに応える新たなフォトニクス分野の進展を加速させるとともに、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理の解明にも併せて取り組むことで、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光通信技術の開発・活用、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指す。

これにより、環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療等の広範な分野を更に横断的かつ有機的に支えていくことで、精度・感度・容量・消費電力等の様々な点で社会的要請に応える高次な社会・産業インフラの形成につなげる。

③達成目標

本戦略目標では、結晶構造や素励起の動的挙動等に関する物性解明からナノデバイスの開発、生体組織深部の非侵襲観察から電子の超高速動態の捕捉に至るまで、多様な目的に応じた最適な光源や光検出システムの開発を通じて広範な社会・産業ニーズに機動的に応える次世代のフォトニクス分野を開拓することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- (i) 様々な光応答物性の精密制御による新たな光機能物質やナノ構造体の創製及び高機能光デバイスの開発
- (ii) 非線形・有機フォトニクスの応用による生体やソフトマテリアル内部の非侵襲 *in vivo* 観察・イメージング手法の高度化
- (iii) 物質中の多彩な素励起と光の相互作用に関する基盤的研究の推進

超高密度・高電磁場科学やアト秒レーザー技術、超高精度の光周波数コム技術など極限フォトニクスの開拓

④研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

「達成目標」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- (i) 未開拓の光機能物質や先端光源等を用いたフォトニクス技術が環境・エネルギー問題など重要な社会的課題の解決・緩和に貢献し、ものづくり産業の革新や新たな基幹産業の構築が可能となった結果、我が国の知的基盤及びグローバル産業競争力が強化された社会。
- (ii) 新たな光通信技術やセンシング技術など光の利用・制御に関するフォトニクス技術の進展により、情報社会・空間の捉え方が変わり、情報通信基盤の高度化・高セキュリティ化が進むとともに、実世界と IT を緊密につなげる CPS(サイバー・フィジカル・システムズ)やモノのインターネット(IoT)が実現している社会。
- (iii) 人や環境に配慮した光源や光検出器等の開発及びその制御技術の確立により、生命科学や医療システム等の高度化が促され、短時間・低コスト・低負担なストレスフリー診断など先端医療・診断を可能とする先端機器開発等が進展している社会。

⑤具体的な研究例

- (i) 様々な光応答物性の精密制御による新たな光機能物質やナノ構造体の創製及び高機能光デバイスの開発

誘電率・透磁率が人工制御されたメタマテリアル等を先行例として、従来の光科学技術では扱われなかった新たな原理に基づく光機能物質の開発やその幅広い利活用に向けた研究開発を行う。具体的には、光の波長よりも小さな構造物を用いた光波の制御や光の回折限界を超えた分解能の実現、ナノスケール領域における微細光加工・計測技術の開発、新物質創製に向けた研究等を行う。今後の課題とされる基礎的な原理の解明や将来的な大量製造技術の確立に向けては、シミュレーションを含む理論的アプローチから新機能の発現過程や新物質の生成過程、従来知られていない物性の解明に向けた研究を行うとともに、特定の屈折率や透明度、誘電率等を持つ物質・材料を自在に設計・作製する手法やそのための装置開発等を行う。

- (ii) 非線形・有機フォトニクスの応用による生体やソフトマテリアル内部の非侵襲 *in vivo* 観察・イメージング手法の高度化

幅広い先端生命科学等への応用展開に向け、分子～個体レベルの生体機能を組織深部に至るまで非侵襲的かつリアルタイムで観察可能な光イメージング技術の開発や、そのために必要な小型かつ安定な実用的なコヒーレント光源の開発、生体関連物質(検出対象)と非生体物質(プローブ)との光照射下での相互作用機構の解明に向けた研究等を進める。これにより、生体分子やソフトマテリアル内部の直接観察・分析が可能

な高品質・高分解能顕微鏡の開発等につなげる。

(iii) 物質中の多彩な素励起と光の相互作用に関する基盤的研究の推進

幅広い基礎研究や産業応用に必要な固体基礎物性の解明・理解深化や、次世代の高機能光デバイスの実現に向け、固体内部や表面における準粒子(集団励起)のダイナミクスや固体からの電子放出等の超高速動的過程を観測・制御可能な手法を開発し、極パルス幅コヒーレント光の制御技術など様々な光応答や光化学反応に関する制御技術を確認する。具体的には、時間・空間の両次元で高分解能な電子状態の観察手法や、プラズモン・フォノン等の振動・伝搬制御技術の高度化研究等を行う。例えばプラズモニクスに関しては、光の回折限界を下回るサブ波長サイズの光機能素子や表面プラズモン回路・干渉計等のナノ光学素子の開発を目指す。

(iv) 超高密度・高電磁場科学やアト秒レーザー技術、超高精度の光周波数コム技術な極限フォトニクスの開拓

超高強度レーザーと物質の相互作用により発生する相対論的高密度プラズマを利用した研究や、アト秒パルス波の発生・制御技術、高強度任意電場の整形技術、究極の時空間計測に向けた光周波数コム技術、レーザー加速技術など、極限環境・条件下における先端光科学技術を開拓する。これにより、先端レーザー科学等に関する知見の集積や基礎的な原理の解明につなげ、原子物理や材料物性の理解深化に寄与するとともに、超高精度・超高安定な光格子時計の高度化・実用化に向けた研究開発や、化学反応等における電子の超高速運動の捕捉、物質中電子のアト秒精度での自在操作等を可能にする技術の開発等につなげる。

以上の各達成目標について、光の状態(位相、パルス、強度、波長等)の高度制御技術を共通項としつつ、計算科学や複雑系の数理科学等の知見に基づく予測的手法など多角的なアプローチからフォトニクス技術の先鋭化及び広範な利活用を図るとともに、これらの技術に基づくシステムの構築・最適化に向けた開発・実証につなげていく。

⑥国内外の研究動向

【国内動向】

我が国では、センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム等の他、「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」等の光科学技術が関連する利用研究が展開されている。具体的には、従来の動作原理を越える画期的な半導体レーザーを実現するフォトリソグラフィに関する要素技術やレーザー加速システムの確立、その応用による超小型X線自由電子レーザーの開発など新しい研究開発が進められている。

【国外動向】

欧州では、第7次研究枠組み計画(FP7)に引き続き、新しいイノベーション指向の研究開発スキームである「Horizon 2020」が立ち上げられ、情報通信ネットワークの革新や産業

競争力の強化を目的とした光科学技術の強化が進められている。また、独国では、フラウンホーファー研究機構を通じて生産技術に関わる光科学技術の研究開発が国策として進められている。さらに、米国では、2014年4月にNSFの光・フォトンクスにおける優先課題委員会より報告書(「Building a Brighter Future with Optics and Photonics」)がまとめられ、今後米国として、イメージングや微弱フォトンクス技術に注力していくことが謳われている。

⑦検討の経緯

「戦略的な基礎研究の在り方に関する検討会 報告書」(平成26年6月27日)に基づき、以下の通り検討を行った。

(サイエンスマップ及び科学研究費助成事業データベースを用いた国内外の研究動向に関する分析資料の作成)

「サイエンスマップ2012&2010」(平成26年7月31日科学技術・学術政策研究所)及び科学研究費助成事業データベースにおける情報を用いて、国内外の研究動向に関する分析資料を作成した。

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センター」や「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「光の超精密制御による新たなフォトンクス分野の開拓」を特定した。

(ワークショップの開催及び戦略目標の作成)

注目すべき研究動向「光の超精密制御による新たなフォトンクス分野の開拓」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

⑧閣議決定文書等における関係記載

技術イノベーション総合戦略2014(平成26年6月24日閣議決定)

第2章第1節I.3.(4)①

モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する超低消費電力パワーデバイス(SiC、GaN等)、超低消費電力半導体デバイス(三次元半導体、不揮発性素子等)、光デバイス等の研究開発及びシステム化を推進し、電力の有効利用技術の高度化を図るとともに、当該技術の運輸・産業・民生部門機器への適用を拡大することで、エネルギー消費量の大幅削減に寄与する。(中略) これにより、エネルギーの効率的な利用と国際展開をねらう先端技術を有

する社会を実現する。

第2章第2節 1. 基本的認識

分野横断技術を下支えする数理学やシステム科学、光・量子科学の活用を十分に図る必要がある。

⑨その他

- (i) 平成20年度戦略目標「最先端レーザー等の新しい光を用いた物質材料科学、生命科学など先端科学のイノベーションへの展開」では、これまで各分野で個別に行われてきた光利用開発を融合し、「物質と光の関わり」に関する光科学技術の基礎研究や、波及効果の大きな技術シーズの創出を目指してきた。ここで創出された優れた研究シーズを、本戦略目標の下で行われる研究により集中的に伸ばしていくことで、最先端光科学技術の実用化を加速していくことが重要である。
- (ii) 「光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発」事業では、光・量子科学技術分野のシーズと各重点分野や産業界のニーズとを融合した、最先端の光源、ビーム源、ビーム制御法、計測法等の研究開発等を目的としている。ここで開発された新規光源や要素技術が本戦略目標の下で行われる研究開発の基礎となる。
- (iii) 「先端計測分析技術・機器開発プログラム」では、革新的な先端計測分析技術の要素技術や機器及びその周辺システム等の開発が進められており、検出器や新規光源の開発が行われている。本戦略目標の下で行われる研究と連携することで、先端装置の実用化、特に光センシングにおいて迅速な成果創出が期待できる。

(2) 研究領域

「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」(2015年度発足)

本研究領域では、本質的な限界を持たないといわれる光を使って限界に挑戦し、それを超えようとする研究を推進します。具体的には、①環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療等において将来の様々な社会的要請に応える新たな光利用を創成しようとする研究、②光の存在・介在によって出現する現象を利用して、従来の物理学・化学・生物学・工学等の分野に大きな革新をもたらす、これらの壁を打破しようとする研究、③高エネルギー密度科学や高強度光物理、極限物性研究などを通じて、より普遍的な原理及び現象を光科学技術の視点から確立しようとする研究、④上記の①～③を実現するための光源、受光、計測、イメージング機能を極限まで追究し、新しい応用に提供する研究等を対象とします。

本研究領域の推進にあたっては、横断的な光科学技術の軸を通して異分野との交流を積極的に行い、多様で複雑な対象を扱う分野の先端研究において、新たな視点や発想を生み出すことを目指します。

(3) 研究総括

植田 憲一

(電気通信大学 名誉教授)

(4) 採択研究課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費
2015年度 (1期生)	磯村 彰宏	京都大学 特定助教	遺伝子発現の光制御と光計測による生体分子の動的機能の解明	39
		京都大学 博士研究員		
	井上 圭一	東京大学 准教授	新規光受容タンパク質が先導する新しいオプトジェネティクス	35
		名古屋工業大学 助教		
	小笠原 慎治	さががけ専任研究者	光で細胞内現象を完全再現する超精密タンパク質発現操作技術の開発と応用	35
		北海道大学 助教		
	岡本 亮	京都大学 准教授	量子近接場光学顕微鏡の実現とその展開	36
		京都大学 助教		
	小川 美香子	北海道大学 教授	光と生体の新たな相互作用を利用したがん治療法の開発	39
		同上		
	沖野 友哉	理化学研究所 研究員	超高速電荷マイグレーションによる反応制御	42
		同上		
	久保 結丸	沖縄科学技術大学院大学 スタッフサイエンティスト・グループリーダー	固体中の電子スピンを用いた光-マイクロ波のコヒーレント相互変換	43
仏サクレ研究所 研究員				
小澤 祐市	東北大学 准教授	非回折と自己湾曲性を駆使した3次元高速光イメージング	40	
	東北大学 助教			
坂本 高秀	情報通信研究機構 主任研究員	光時間周波数離散直交変換による超高速連続光計測とその仮想化	38	
	同上			
田中 嘉人	東京大学 助教	局在プラズモン制御による	39	

		同上	光駆動ナノモーター創出	
	時田 茂樹	大阪大学 講師	超高強度サブテラヘルツ表面波フォトンクス	35
		同上		
	松本 伸之	東北大学 助教	大質量機械振動子を用いた巨視的量子力学分野の開拓	35
		同上		
	余語 覚文	大阪大学 准教授	新規量子源としての相対論的磁気リコネクション	38
同上				
2016年度 (2期生)	秋田 総理	岡山大学 准教授	フェムト秒パルス光を用いた光化学系 II の酸素発生機構の解明	36
		岡山大学 助教		
	岩崎 孝之	東京工業大学 准教授	IV 族元素を用いた固体量子光源エンジニアリング	38
		東京工業大学 助教		
	植竹 智	岡山大学 准教授	原子コヒーレンスによる微弱 QED 過程の極限制御	39
		同上		
	上村 直 [2018年12月研究中止]	九州工業大学 助教	生体組織や細胞の力を可視化する新奇ナノプローブの創製と革新的バイオイメージングへの応用	36
		九州工業大学 助教		
	貴田 祐一郎	さきがけ専任研究者	モノサイクル X 線自由電子レーザー実現に向けた高出力シード光源開発研究	36
		理化学研究所 研究員		
	齊藤 尚平	京都大学 准教授	局所応力イメージング技術の限界を突破する「光分子力学」の開拓	41
		同上		
	種村 拓夫	東京大学 准教授	有機電気光学材料による光メタ表面の機能化と高速変調素子への展開	37
		同上		
田原 樹	情報通信研究機構 研究員	多数自然光源の瞬間同時ホログラフィックマルチカラーセンシング	37	
	関西大学 助教			
西内 満美子	量子科学技術研究開発機構 上席研究員	極相対論的光電磁場における重元素低主量子数電子の電離機構の解明	35	
	同上			

	松永 隆佑	東京大学 准教授	高強度テラヘルツ電場による量子多体系の非平衡物理の探索	40
		東京大学 助教		
	向山 敬	大阪大学 教授	極低温イオン・原子混合系で探求する極低温化学反応過程	38
		電気通信大学 准教授		
2017年度 (3期生)	浅沼 大祐	東京大学 講師	次世代バイオイメージングのための分子技術の開発	36
		東京大学 助教		
	石井 あゆみ	帝京科学大学 准教授	有機 - 無機ハイブリッド界面を利用した一光子センシング技術の創出	41
		青山学院大学 助教		
	大山 廣太郎	量子科学技術研究開発機構 主任研究員	光熱変換の積極利用による細胞機能のアクティブ制御	37
		東京慈恵会医科大学 特別研究員		
	倉持 光	自然科学研究機構分子科学研究所 准教授	極限的電子分光法の開発による反応研究の革新	49
		理化学研究所 研究員		
	小林 淳	北海道大学 准教授	光共振器増幅された光格子中での冷却分子の精密分光	50
		京都大学 特定准教授		
	相良 剛光	東京工業大学 准教授	ロタキサン型メカノプローブの創製とメカノバイオロジーへの応用	53
		北海道大学 助教		
	佐藤 真理 [2020. 3. 31 研究中止]	北海道大学 准教授	光受容体Opsin3を介した光による脂肪組織の代謝制御機構の解明	30
		同上		
	三宮 工	東京工業大学 准教授	加速電子線を用いた光ホログラフ	40
		東京工業大学 講師		
中川 桂一	東京大学 講師	光音響高速サイトメトリーの創成	38	
	東京大学 助教			
福原 学	東京工業大学 准教授	光学出力を増幅できるアロステリック計	46	
	同上			
堀崎 遼一	東京大学 准教授	データ駆動型光計測・光制御	36	
	大阪大学 助教			

	南川 丈夫	徳島大学 准教授	極限的分子感度・空間分解能・時間分解能を有する分子イメージング法の創出	36
		徳島大学 特任講師		
			総研究費	1,399

*各研究課題とも3年間の見込み総額。

※2 期生の上村研究者は2018年12月から研究を中断し、2020年1月に中止・終了した。

※3 期生の上村研究者は2020年3月31日に研究を終了した。

2017年度採択の相良研究者、倉持研究者、小林研究者の研究費が5000万円前後と高額になっているのは、通常の増額に加え、最終年度の異動に伴うスタートアップ経費によるものである。

2. 研究領域および研究総括の設定について

(1) 研究領域の設定

光科学技術は、新物質の創製・新機能発現から量子状態制御に至る様々な適用分野においてフロンティア開拓を先導する現代に欠かせない先端科学技術であり、これまでレーザー技術の精密制御や高感度計測技術の飛躍的な進展がなされてきた。その技術を環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療等の広範な分野で更に横断的かつ有機的に支えていくことで、精度・感度・容量・消費電力等の様々な点で社会的要請に応える高次な社会・産業インフラの形成につなげることが期待される。以上の背景の下、戦略目標は、新たな光機能や光物性の解明・利活用・制御等を通じて従来の光科学技術を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、将来の社会・産業ニーズに応える新たなフォトニクス分野の進展を加速させるとともに、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理の解明にも併せて取り組むことで、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光通信技術の開発・活用、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指すものである。

研究領域としては、「CREST」の「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術」と「さきがけ」の「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」が設定されている。「CREST」領域では基礎的な原理解明を行いつつ同時に将来の社会・産業ニーズに応える破壊的イノベーションの創出を目指しており、フォトニクス分野における単なる技術の深掘りではなく、研究チーム形式で周辺の技術分野を俯瞰し、異なる分野を横断的に統合した新たな研究分野を切り開くように設定されている。一方、「さきがけ」領域では、これまで限界と考えられていた科学や技術上の課題に対して、光を活用することによってこれらの限界を超えることを目指す研究を基軸とし、多様な独創的・挑戦的な個人型

研究を「さきがけ」により推進するものとして設定されている。これにより、新たな科学技術イノベーションの源泉となる先駆的な研究成果を期待することができる。また、異分野融合・シナジー効果によって次代を担う強いつながりを持った研究者ネットワークが形成されることが見込まれる。

以上のとおり、「CREST」では、戦略目標の対象分野に関して各研究課題が出口となる応用分野を見据えてそれに向けた分野横断的・統合的な研究を推進し、具体的な課題解決に資する成果創出が期待できる。一方、「さきがけ」領域では、戦略目標の対象分野に関して、個人の独創的着想に基づき、光による科学技術上の限界の突破を目指した革新的な成果の創出と次世代を担う研究者ネットワークの形成が期待できる。このように、「CREST」と「さきがけ」の2領域では、「新たな光機能や光物性の発現・利活用」という共通概念の下で相補しつつ、広範な社会・産業ニーズに機動的に応える次世代のフォトニクス分野の開拓に取り組む構成となっている。

(2) 研究領域総括の設定

植田憲一氏は、これまでに主として大学の立場から、特にレーザー科学の分野において精力的な研究活動を行い、固体レーザーの革命といわれるセラミックレーザーの開発、高出力ディスク型ファイバーレーザーの開発等の卓越した業績を上げてきた。これらの業績を通じ、光・量子エレクトロニクス業績賞、文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）、紫綬褒章の受賞、並びに米国光学会（Optical Society of America：OSA）や応用物理学会からフェロー表彰を受けていることから、本研究領域を推進するために必要な先見性、洞察力を有していると認められる。

また、IUPAP（国際純粋・応用物理学連合）や OSA 等において国際会議等の運営にあたってきた他、国内においても応用物理学会理事、日本物理学会理事、レーザー学会副会長を歴任しており、国内出版学術誌の地位向上に努めるなどしてきている。以上のことから、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行いうると認められる。

さらに、電気通信大学レーザー新世代研究センター長、文部科学省独立行政法人評価委員会科学技術・学術分科会 日本学術振興会部会長を歴任してきていることから、研究課題の効果的・効率的な推進を目指し、適切なマネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。

以上より、同氏はさきがけ「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」研究領域の研究総括として適任であると判断される。

3. 研究総括のねらい

近年の光科学技術、中でも光源性能の顕著な進歩は、広範な分野へ新しい視点を提供し新分野開拓へと波及する大きな駆動力となっています。光はおよそ本質的な限界を持たないと

いわれていますが、本研究領域では、光のあらゆる性質において、その本質的特性を徹底的に解明し限界を追究するとともに、積極的に利用、活用することにより、様々な分野における重要な課題に取り組む他、分野の壁を超える研究を推進します。

【対象となる研究の例】

具体的には、下記に示す研究が対象例ですが、これらに限るものではありません。

(1) 光が介在するバイオ、生物、医学応用全般を対象とし、イメージングを超えるアクティブ機能発現などを含む研究

地球上の生物は光のなかで生まれ育ったため、光は生物、細胞に対して無侵襲な性質を持ちながら、同時に必要な刺激を与えうる絶妙なエネルギーを持っています。それ故、バイオ、生物、医学への光科学技術の応用は今後ますます重要となるはずで、近年の超解像光学顕微鏡や蛍光タンパクなどの画期的技術の導入により、生きている細胞内の活動を直接観測するなど、社会的影響の大きな研究が期待されます。同時に、より基礎的な生理現象の機構解明にも光科学技術の応用が期待されます。

(2) ナノフォトニクス技術を用いて新機能発現させたデバイスとその具体的な応用研究

ナノフォトニクスの分野は高度な技術開発が進み、さまざまな新規の物性が明らかとなつていきます。一方、実際に社会的応用に結びつけるには、多くの問題が残っていることも事実です。新規な特性を発現させることと同様、ナノフォトニクスの実用化に向けた研究推進も期待されます。

(3) 超高精度光を用いた冷却原子による極限物性研究や光格子時計による時空間計測、制御の科学と技術

レーザー冷却技術を使った冷却原子の物理は物性基礎の原理的検証で重要なだけでなく、光格子時計による超精密時計を創出しました。今では、時間は宇宙のどこでも同じに流れているわけではないことが計測可能となり、新しい世界が生み出されつつあります。光を利用した超精密周波数制御技術、時空間計測技術は、重力波天文学に見るようにマイクロとマクロをつないで物理学の根本原理を調べることを可能にすることからも、新たな着想でもって研究が進められることが期待されます。

(4) 高エネルギー密度、高強度電場が生み出す新しい物質との相互作用、高エネルギー物理とそれを可能とする新しい光科学技術

光をどこまでも強く集光していけば、真空が破れて物質生成が起こることは理論的に予想されています。そこに至る道には真空の非線形、相対論光学による粒子加速とガンマ線変換、プラズマフォトニクスデバイスによるパルス圧縮、光の単位相極限におけるプラズマ相

相互作用などの研究が含まれます。中にはすぐに実現は困難な課題も含まれますが、それらに挑戦することで、他分野にも影響を与える先端技術の開発が可能となります。高温、高密度を利用した新物質生成でも、新規な物性を持った物質を生成し、常温に比べてはるかに多様で過渡的な状態の研究は、物性物理上の新しい知見を与える重要な場を提供する可能性があります。

【異分野との交流・連携】

20 世紀は電子の時代で、特にエレクトロニクスの分野の大きな技術的進歩、そしてそれをもとにした新たな社会・産業の創造があったことは衆目の一致するところですが、この事例に見るように、先端研究からの画期的成果は、積極的に異分野への応用等の波及効果をもたらす起爆剤となる必要があります。フォトニクスはそのような期待を持って命名されました。実際、光通信分野では光と電子は融合し、フォトニクスにふさわしい技術が生まれましたが、その他の分野への展開という観点では、まだまだ不十分です。それらの問題を解明しつつ、技術を異分野へ波及させることが、フォトニクス技術自体のパラダイムシフトを生み出すでしょう。

このことを踏まえて本研究領域では、異分野との交流・連携によって大きく発展し得る研究提案を重視し、運営ではその活性化を図る予定です。多様で複雑な対象を扱う分野の先端研究も、異分野との交流・連携を積極的に行うことで、新たな視点や発想を生み出すことができるからです。また、対象が複雑であればあるほど、そこで用いられる手法は確実なものであるべきですが、異分野で開拓された優れた手法や技術を別の分野に応用することで画期的な成果を生み出すことも期待されます。本研究領域では、光をキーワードにした異分野の研究者が参画することを見込んでいます。上記した「強いこだわり」に加えて、異分野との交流・連携を通じて新たな技術や新たな視点を積極的に採り入れることで、自身の研究のスタンス確立や「思わぬ気づき」を促したいと思います。

限界を追究するということは、明確な目標を持つことでもあります。研究者はすべて、自分なりの限界への挑戦をしているともいえます。巨大な目標を持った場合も、それを永遠の目的としないために、限界に肉薄する道筋を模索します。他人の目ではなく、自分自身の目で研究を俯瞰し、目標と限界までの距離を計りながら努力していただきたい。研究総括としては、個々の研究課題の方向付けに適宜助言・指導を与えつつ、異分野との交流・連携を促しながら、同時に次代に大いに活躍する研究者人材の育成にも努めていきます。

4. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針

およそ研究というものは、それまでの科学や技術で判明している限界に挑戦し、限界追究

を通じて、科学や技術の本質を理解し、発展させるところに真髄があります。理論的境界に挑戦するものが純粋科学であるとする、高度に発展した技術を駆使し、その解明された限界を満足させながら、必要な性能を発揮させ、社会的に有用・有益な技術やデバイスに結実させるのも、限界追究研究だといえます。このような絶え間ない限界への挑戦を繰り返し、新たな地平を生み出すことを、本研究領域では狙いたいものです。

上記 3. (1)～(4)で示した研究例は、いずれも可能性が見えてきたという段階ですが、本気で挑戦することによって、これまでに見えなかったものが見えるようになることが期待されます。その意味で、このような限界に挑戦する研究に立ち向かうことに大きな価値があります。光を利用した研究では皆さんが最先端に位置しているでしょうから、上記に含まれない分野であっても研究総括の想像の域を超えた新しい重要な提案があれば、積極的に受け入れます。いずれにしても提案にあたっては、提案者自身の構想実現に向けた「強いこだわり」を示してもらいたいと思います。同時に、長い目で見て重要な研究につながるという自覚に裏打ちされた研究提案を期待します。

具体的な提案にあたっては以下のことに留意するようお願いした。














- ① 光科学技術の軸を通して異分野との交流を積極的に行い、多様で複雑な対象を扱う分野の先端研究において、新たな視点や発想の創出を目指す。
- ② 限界の追究とは、明確な目標を持つことでもある。研究者には、自身の目で研究を俯瞰し、目標と限界までの距離を計りながら努力してもらう。
- ③ 採択にあたっては、提案者自身の構想実現に向けた「強いこだわり」と、異分野との交流・連携によって大きく発展し得る研究提案を重視。

(2) 1 期生 (2015 年度) 選考結果・総評

さきがけ「光の極限制御・積極利用と新分野開拓（略称：光極限）」は光に関わる様々な問題解決を社会一般に認識していただくという記念すべき国際光年にスタートしました。光科学は様々な学術領域の中で最も長い歴史をもつと同時に、現代科学や工学のあらゆる分野に関係し、それらを支える基幹的技術です。さきがけ「光極限」はそのような光の特性を最大限に活かし、関連分野の研究を質的に高める研究をサポートすることを目的としています。研究者の関心は高く、応募総数 276 件という多くの研究提案が寄せられました。その研究分野も物理、化学、バイオ、医学など光が関与するあらゆる分野にまたがっています。およそ研究というものは限界に挑戦し、それを打ち破ることを目的とします。特にさきがけ「光極限」領域では、光科学が関与する重要なメカニズムが顕在化する条件を集中的に研究し、それによって得られた新しい知識を一般化、普遍化することで、より広い分野に革新をもたらすことを期待しています。そのため、研究計画が自分自身の言葉で表現され、課題が明確に意識されていることを重要な評価基準として選考しました。10 名の領域アドバイザーに加え、3 名の外部評価委員の協力を得て書類審査しました。ここで 28 名に絞り込んだ

研究提案者を対象に面接選考会を開き、最終的に 13 名が採択されました。幸いなことに、純粋物理分野からデバイス応用、光通信関係超高速計測、アト秒光化学から量子トランسدューサー、新しい光を使った革新的イメージング技術、生体細胞内遺伝子発現制御から光応用ガン治療、生体細胞の持つ基本的な機構に切り込もうという研究から実験室天文学とその応用まで、実に多種多様、かつ魅力的な提案を採択できました。結果として、各研究者は各自が重要な学術研究分野を代表しています。分野を代表して他のメンバーとの情報交換や相互刺激をすることを期待しています。「一人称で研究を語ることのできる研究者の育成」といった人材育成の観点からも良い環境ができたと考えています。なお、次の図は採択された各研究課題を、光の扱い方と応用先とで配置したマップである。

さきがけ「光極限」領域 H27採択者

	情報処理・通信	バイオ・医療	ものづくり (化学・物理)	フロンティア
操作	スピンによる コヒーレント 変換 (久保) 	がん細胞破壊 (小川)  たんぱく質発現操 作 (小笠原)  オプトジェネティ クス (井上)  遺伝子発現の光 制御 (磯村) 	局在プラズモン制御による ナノモーター (田中) 	
計測	計測用高速信号 処理 (坂本) 	3次元高速 イメージン グ (小澤) 	アト秒化学反応 制御 (沖野) 	量子的振動子 (松本) 
光源・ 量子源 など			サブテラヘルツ 波発生 (時田)  量子近接場顕 微鏡 (岡本) 	相対論的磁気リコ ネクションによる 量子源 (余語) 

(3) 2 期生 (2016 年度) 選考結果・総評

2016 年度も研究者の関心は高く、応募総数 161 件という多くの研究提案が寄せられました。昨年に続いて物理、化学、バイオ、医学など光が関与するあらゆる分野から応募がありました。1 期生の採択と同様の評価基準の下、10 名の領域アドバイザーに加え、3 名の外部評価委員の協力を得て書類審査しました。ここで 30 名に絞り込んだ研究提案者を対象に面接選考会を開き、最終的に 11 名が採択されました (次図、ご参照)。

昨年にも増してよく練られた研究提案が多く、採択には大変苦勞しました。結果として別表の通り、フェムト秒 X 線による光合成酸素発生機構の解明、モノサイクル化への挑戦、相対論光学条件下における重原子イオン化の解明や高出力テラヘルツ光による量子多体系の非平衡物理など最新の光源技術を駆使した研究がある一方、極低温原子・イオン系による反応過程の探求から量子反応過程を追求する基礎的な研究や量子コヒーレンスを利用した微弱 QED 過程の制御からニュートリノ研究に展開するものなど極めて挑戦的な課題が選択されました。また、生体組織や細胞に発生する力を可視化するためのナノプローブの開発や光分子力学の開拓、さらには時間発展生命現象の観測に有用な自然光 3 次元ホログラフィックカメラの研究も採択しました。バイオ科学に新しい側面を開拓することを期待しています。IV 属原子の新奇固体量子光源や光メタ表面に電気光学ポリマーを導入した超高速波面制御が可能な素子の開発は光の本質的制御に関わる研究です。

本研究領域の研究者は各自が重要な学術研究分野を代表しています。分野を代表して他のメンバーとの情報交換や相互刺激することによってそれぞれの研究をより深めると共に、新しい科学や技術、利用分野の創出を期待しています。昨年に続いて、「一人称で研究を語ることのできる研究者の育成」といった人材育成の観点からも良い環境ができたと考えています。

さががけ「光極限」領域 H29採択者

	情報処理・通信	バイオ・医療	ものづくり (化学・物理)	フロンティア
操作	スピンによるコヒーレント変換 (久保)	がん細胞破壊場 (小川) たんぱく質実現操作 (小笠原) オプトジェネティクス (井上) 遺伝子発現の 制御(井上)	局在プラズモン制御によるナノ モーター(田中) アト秒化学反応制御 (沖野)	
計測	計測用高速信号 処理(坂本)	新奇ナノプローブ 上村直(九大) 量子近接場顕微鏡 3次元イメージング 局所応答イメージング 齊藤尚平(京大) 人工光合成にむけたPSII機 構解明(秋田)	ホログラフィックマルチカ ラゼーパング(田原)	極低温化学反応 (向山) 重元素低主量子数電 子の電離機構(西内) 微弱QED過程 励起子(植竹) 励起子(松本)
光源・ 量子源	光メタ表面の機能化 (種村) 固体量子光源 (岩崎)		サブテラヘルツ波 発生(時田) 深紫外モノサイクルパ ルス光源(貞田)	磁気リ ンビ る量子 高強度THz電 での量子多体系 (松永)

(4) 3期生（2017年度）選考結果・総評

2017年度も研究者の関心は高く、応募総数 111 件という多くの研究提案が寄せられました。一昨年、昨年に続いて物理、化学、バイオ、医学など光が関与するあらゆる分野から応募がありました。今年も一昨年、昨年同様の評価基準の下、10名の領域アドバイザーに加え、3名の外部評価委員の協力を得て書類審査しました。ここで31名に絞り込んだ研究提案者を対象に面接選考会を開き、最終的に別表の通り12名が採択されました（次図、ご参照）。

採択された課題には、光共振器増幅された光格子中の冷却原子の超精密分光、ポテンシャル曲面上をめぐるながら進行する光化学反応のモノサイクルパルス制御、極限的超高速光イメージングによる光音響サイトメトリー、さらには光位相を転写した加速電子線を用いた光ホログラフィーの提案など、最新の光技術の応用があります。また、リモートプラズモニック光増強や有機・無機ハイブリッド界面における高感度光子検出、光受容体に基づいた脂肪細胞の代謝機能解明などは、未解明な現象の解明に挑戦する課題です。イメージング技術では、複雑な生体内反応を識別するためのさまざま独創的手法、超分子アロステリック計測や、退色フリーな蛍光技術、ロタキサン型メカノプローブや光熱変換型アクティブ制御技術など、細胞機能の時空間制御をめざす研究が選ばれました。光技術に機械学習を応用した研究には、従来型の光技術の限界を打ち破り、散乱が支配するような対象にも、先端光技術が適用できる可能性が期待されます。

さががけ「光極限」領域 H29採択者

	情報処理・通信	バイオ・医療	ものづくり (化学・物理)	フロンティア
操作		がん細胞破壊 (小川) 光熱変換細胞機能 制御 (大山)	原子核磁気共鳴によるナ モーター (田中)	
計測	スピンによるコ ヒーレント変換 (久保) 計測用高速信号 処理 (坂本) データ駆動型光計 測・処理 (梶崎)	パイメーザ分子 技術 (浅沼) 光音響計測 (中川) 光トモグラフィ (南川)	アト秒化学反応制御 (沖野) 極低温化学反応 (向山) 電子分光・化学反応 計測 (倉持)	冷却分子の精密 分光 (小林)
光源・量子源	光メカ表面の機能化 (種村)	効アローブ (相良)	サブテラヘル 有機フォトカ タ (石井)	相対論的磁気リコネク ションによる量子源 (余 諤) 深紫外モジュール量子多体系の非平衡 物理 (松永)

3年間の採択者と研究分野、所属をまとめると以下の図や表（研究課題をキーワードと研究分野で分類）のようになりました。光について対象としていた研究分野から網羅的に集まっており、研究機関についても偏りは見られませんでした。

さきがけ「光極限」領域

	情報処理・通信	バイオ・医療	ものづくり(化学・物理)	フロンティア
操作・制御		生物フォトリクス分野 糖・脂質代謝制御 佐藤(北大) 遺伝子発現の光制御 磯村(京大) がん細胞破壊 小川(北大) たんぱく質発現操作 小笠原(信州大) オプトジェネティクス 井上(東大) 光熱変換細胞機能制御 大山(GST) 人工光合成PSII機構解明 秋田(岡山大) ナノフォトニック技術 浅沼(東大) 単一分子イメージング 南川(徳島大)		超精密計測フォトリクス分野 極低温化学反応 向山敬(電通大) 冷却分子の精密分光 小林(京大) 微弱QED過程の極限制御 植竹(岡山大) 量子的振動子 松本(東北大)
計測	有機化学フォトリクス分野 局所応力イメージング 齊藤(京大) 光アトモスフィア 相良(北大) フォトニック計測 福原(東工大)		非秒化学反応制御 沖野(理研) 電子分光・化学反応計測 倉持(理研)	
	高速信号処理 坂本(首都大)		オプティクス分野 超音響イメージング 中川(東大) データ駆動型光計測・処理 堀崎(阪大) 和クラフト多色セラミクス 田原(NICT) 3次元高速イメージング 小澤(東北大) 電子線光グラフィック 三宮(東工大)	
光源・量子源	量子近接顕微鏡 岡本(京大)		量子フォトリクス分野 量子多体系非平衡物理(THz) 松永(東大)	
	ナノフォトリクス分野 光メタ表面の機能化 種村(東大)		短パルス・パワーフォトリクス分野 局所プラズマ制御 田中(東大) 有機フォトニックデバイス 石井(横浜国大)	

	1期生	2期生	3期生
生物フォトリクス 医療、バイオ、細胞、遺伝子	遺伝子発現の光制御 磯村(京大) がん光治療法 小川(北大) たんぱく質発現操作 小笠原(北大) オプトジェネティクス 井上(東大)	光合成の機構解明 秋田(岡山大)	糖・脂質代謝制御 佐藤(北大) ナノフォトニック技術 浅沼(東大) 光熱変換細胞機能制御 大山(慈恵医大)
有機化学フォトリクス 分子、超分子、光化学	アトモスフィア制御 沖野(理研)	局所応力イメージング 齊藤(京大)	フォトニック計測 福原(東工大) 光アトモスフィア 相良(北大) 電子分光・化学反応計測 倉持(理研)
オプティクス ホログラム、イメージング、 光信号処理、データ処理	3次元高速イメージング 小澤(東北大) 高速信号処理 坂本(NICT)	和クラフト多色セラミクス 田原(関西大)	データ駆動型光計測・処理 堀崎(阪大) 超音響イメージング 中川(東大)
量子フォトリクス 光子-量子変換、量子近接場、 量子多体系、量子的振動	量子近接顕微鏡 岡本(京大) 光子-量子μ波トポロジ変換 久保(OIST)	固体量子光源 岩崎(東工大)	電子線光グラフィック 三宮(東工大)
ナノフォトリクス プラズモン、メタマテリアル、 有機-無機半導体デバイス	プラズマ制御型フォトニックデバイス 田中(東大)	光メタ表面の機能化 種村(東大)	有機フォトニックデバイス 石井(横浜国大) 単一分子イメージング 南川(徳島大)
超精密計測フォトリクス 重力波センサー、レーザー冷却、 光格子、	量子的機械振動子 松本(東北大)	極低温化学反応 向山敬(電通大) 微弱QED過程の極限制御 植竹(岡山大)	光格子中での冷却分子分光 小林(京大)
超短パルス・パワーフォトリクス 高強度テラヘルツ、 相対論的光電場・磁気	サブテラヘルツ波発生 時田(阪大) 相対論的光電場の電磁機構 西内(OIST)	量子多体系非平衡物理(THz) 松永(東大) 新紫外モトサイクルパルス光源 貴田(理研)	サブテラヘルツ波発生 時田(阪大) 相対論的光電場の電磁機構 西内(OIST)

5. 領域アドバイザーについて

本研究領域では、本質的な限界を持たないと言われる光を使って限界に挑戦し、それを越えようとする研究を推進するため、また異分野間での研究者ネットワークの形成を推進す

るため、日本の光科学関係を代表する大学や企業の研究者 10 名に領域アドバイザーを委嘱した。

領域アドバイザー名 (専門分野)	終了時の所属	役職	任期
井上 宏明 (光工学、光量子科学、光物性、半導体)	元 日本オクラ (株)	執行役員 CTO	2015 年 10 月～2021 年 3 月
神成 文彦 (電子デバイス、応用光学、光工学、光量子科学)	慶應義塾大学 理工学部	教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月
竹内 繁樹 (半導体、光物性、原子物理、光工学、光量子科学)	京都大学 大学院工学研究科	教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月
武田 光夫 (光学、応用光学、量子光工学、物理計測、光工学、光量子科学)	電気通信大学	名誉教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月
塚田 秀夫 (放射線科学、病態医学、神経解剖学・神経病理学、脳神経外科学)	浜松ホトニクス (株) 中央研究所	主幹	2015 年 10 月～2021 年 3 月
寺川 進 (生理学一般、生体物性学、神経科学一般)	浜松医科大学	名誉教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月
年吉 洋 (応用物理学一般、マイクロ・ナノデバイス、電子デバイス)	東京大学 生産技術研究所	教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月
波多野 睦子 (電子・電気材料工学、結晶工学、金属物性・材料)	東京工業大学工学院	教授	2015 年 10 月～2021 年 3 月

松尾 由賀利 (物理学一般、素粒子・原子核・宇宙線、物理化学、応用物理学一般)	法政大学理工学部	教授	2015年10月～2021年3月
三澤 弘明 (知能機械学、機能材料・デバイス、物理化学、ナノ材料化学)	北海道大学 電子科学研究所	教授	2015年10月～2021年3月

また、書類選考においては以下の外部評価者にも加わっていただいた。

井元 信之 (原子・分子・量子エレクトロニクス、理工学、物理学一般)	大阪大学大学院 基礎工学研究科	教授	2015年、2016年、2017年
浦野 泰照 (生物系、物理系薬学、化学系薬学、生物分子科学、生体関連化学)	東京大学大学院薬学系研究科・医学系研究科	教授	2015年、2016年、2017年
田中 耕一郎 (固体物性、生物物理、化学物理、光工学・光量子科学)	京都大学 大学院理学研究科	教授	2015年、2016年、2017年

6. 研究領域のマネジメントについて

(1) 研究課題における進捗状況の把握と評価、それに基づく研究課題の指導

研究課題の指導については、採択時のキックオフミーティングから開始し、研究進捗の確認は年2回開催する領域会議、サイトビジット、各種イベントを通して実施した。

① 領域会議

領域会議は合計で10回開催した。領域会議では、さきがけ研究者が研究報告を行い、研究総括、領域アドバイザー、そしてさきがけ研究者の参加者全員が議論して課題の共有化をはかることで、研究進捗のフォローアップにとどまることなく、共同研究発足の可能性を含めて光科学分野における新しい研究の芽の創出に努めた。また、定例の研究報告会の他に特定のテーマを決めたナイトセッション、ポスターセッション、研究所の見学なども実施した。さらに、領域会議後に開催地近傍の大学と非公開での共同セミナー、共同公開シンポジウム、公開セミナーなどを開催し、各研究者が個人の専門分野だけでなく、関連分野への視野を広げる機会を設けた。なお、領域会議後の共同シンポジウム、公開セミナー、公開シンポジウムについては、以下に光極限からの講演者リスト、ポスターを添付した。また、終了課題の研究者にも領域会議には積極的に参加してもらい、共同研究の促進、現役のさきがけ研究者との活発な議論を促した。

回	日付	場所	参加者、報告会以外のイベント
第1回	2016/4/16-17	東京都府中市 クロス・ウエーブ府中	1期生 ナイトセッション：研究倫理を自律的に考える（講師：植田総括）
第2回	2016/10/30-31	沖縄県国頭郡 ホテルムーンビーチ、沖縄科学技術大学院大学 (OIST)	1、2期生 ナイトセッション：光科学の将来方向（10/30、参加者全員）、 OIST とのクローズドセミナー：量子・ナノ・バイオフィotonics（10/31、参加者全員）
第3回	2017/4/22-23	千葉県幕張市 クロス・ウエーブ幕張	1、2期生 ナイトセッション：科学と技術の再結合（4/22、参加者全員）
第4回	2017/10/29-30	大阪府大阪市 ホテルマイステイズ新大阪、大阪大学レーザー科学	1、2、3期生 公開セミナー：バイオ・ナノ・パワーフォトニクス、材料科学、

		研究所	レーザー科学研究所の見学 (10/30)
第5回	2018/4/20-22	千葉県柏市 柏の葉カンファレンスセンター	1、2、3期生 矢花先生の特別講義 (4/21) ポスターセッション (4/20、21)
第6回	2018/10/27-29	静岡県浜松市 ホテルコンコルド浜松、浜松ホトニクス中央研究所	1、2、3期生 山西先生の特別講義、 ナイトセッション：コンバージェンス研究の提案と議論 (10/28、参加者全員)、 浜松ホトニクス中央研究所の見学 (10/29)
第7回	2019/4/20-22	千葉県柏市 柏の葉カンファレンスセンター	1、2、3期生 秋山先生の特別講義 (4/21) ポスターセッション (4/20、21)、 東京大学物性研究所の見学 (4/22)
第8回	2019/10/26-28	北海道札幌市 北海道大学フロンティア応用科学研究棟	1、2、3期生 根本先生の特別講義 (10/26)、 ナイトセッション：若い時代の研究経験 (10/27、講師；植田総括)、 公開セミナー (10/28)
第9回	2020/7/26-27	Zoomでのオンライン	1、2、3期生 ナイトセッション：新型コロナと科学リテラシー (7/26、講師：植田総括)、 年吉ADの特別講義 (7/27)
第10回	2020/10/18-19	Zoomでのオンライン	1、2、3期生 ナイトセッション：研究人生を振り返るため一次情報整理術 (10/18、講師：植田総括)、 個別討論 (10/18、19、zoomのブレイクアウトセッション)

JST PRESTO Open Seminar 「Frontier in Photonics」 (2017/10/30) の講師

場所：大阪大学レーザー科学研究所

発表者	所属	タイトル
磯村 彰宏	京都大学	Interrogating gene expression dynamics by single-cell

		imaging and optogenetics.
小笠原 慎治	北海道大学	Precise control of protein expression by light to manipulate living presses.
田中 嘉人	東京大学	Light-driven nanomotor by designed plasmons.
齊藤 尚平	京都大学	Flexible molecules and dynamic soft materials.
余語 覚文	大阪大学	Ion Acceleration and Magnetic Reconnection Experiments on LFEX Laser.
西内 満美子	Q S T	Ion acceleration and heavy ion ionization with high-intensity and high-contrast ultrashort laser pulse.
松永 隆佑	東京大学	Nonequilibrium physics in superconductivity studied by intense terahertz pulse.
向山 敬	大阪大学	Investigation of ultracold collisions in a laser-cooled atom-ion hybrid system.

「光極限」公開セミナー（2019/10/28）の講師 場所：北海道大学

発表者	所属	タイトル
田中 嘉人	東京大学	局在プラズモン制御による光駆動なのもータ創出
小林 淳	京都大学	レーザー冷却技術を用いた基礎物理定数の不変性検証実験
沖野 友哉	理化学研究所	超短パルスレーザーでの物質内の電子の動きを観る
小澤 祐市	東北大学	光波の伝搬を制御して3次元を可視化する光イメージング
相良 剛光	北海道大学	ロタキキサンをモチーフとした超分子メカノファア
佐藤 真理	北海道大学	Mehr Licht! (もっと光を!)



第1回領域会議でのナイトセッションの様子



第 8 回領域会議の様子



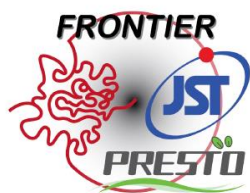
第 8 回領域会議での集合写真

上記領域会議に加え研究者間での議論を深めるために特定のテーマについての自主的な勉強会の開催を促進した。

回	日付	場所	内容
第 1 回	2019/8/29	東京工業大学 大岡山キャンパス	福原（3 期生）、齊籐（2 期生）、石井（3 期生）を講師として、有機物系フォトニクスについて議論した。終了後に福原、三宮の実験室を見学した。
第 2 回	2019/12/10	大阪大学	堀崎（3 期生）、岡本（1 期生）を講師と

		吹田キャンパス	して、機械学習と量子光学について議論した。終了後に堀崎、時田（1期生）の実験室を見学した。
第3回	2020/10/19 (領域会議の終了後)	Zoomでのオンライン	領域会議後に、小澤（1期生）を講師として、イメージングについて議論した。
第4回	2021/03/xx (調整中)	Zoomでのオンライン	井上（1期生）を講師として、生物フォトリクス勉強会を予定。

OIST-JST Presto Joint Symposium on Frontiers in Optics and Photonics



Date: 31 October, 2016 (Mon.)
Place: Room C210, Cent. Build., OIST

Organized by Frontier-PJ, JST PRESTO, and OIST (Quantum Dynamics Unit, Quantum Systems Unit, Light-Matter Interactions Unit, and Optical Neuroimaging Unit)

JST PRESTO Open Seminar Frontier in Photonics

Date & Time: 2017.10.30 (Mon.) 9:30-16:00
Place: Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.

Organizer:
 Japan Science and Technology Agency (JST) and
 Institute of Laser Engineering, Osaka University

Welcome
 09:30-10:00 Welcome address, Ryosuke Kodama, Director of ILE, Osaka U.

Biophotonics
 10:00-10:25 Interrogating gene expression dynamics by single-cell imaging and optogenetics, Akihiro Isomura, JST (Kyoto U.)
 10:25-10:50 Precise control of protein expression by light to manipulate living presses, Shinzi Ogasawara, JST (Hokkaido U.)

Nano/micro-photonics
 11:00-11:25 Light-driven nanomotor by designed plasmons, Yoshito Tanaka, Tokyo U.
 11:25-11:50 Flexible molecules and dynamic soft materials, Shohei Saito, Kyoto U.

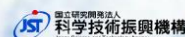
12:00-13:20 Lunch

Message
 13:30-14:00 Beyond the limit, Ken-ichi Ueda, Supervisor, PRESTO

Power photonics
 14:00-14:25 Ion Acceleration and Magnetic Reconnection Experiments on LFEX Laser, Akifumi Yogo, Osaka U.
 14:25-14:50 Ion acceleration and heavy ion ionization with high-intensity and high-contrast ultrashort laser pulse, Mamiko Nishiuchi, JST

Material Science
 15:00-15:25 Nonequilibrium physics in superconductivity studied by intense terahertz pulse, Ryosuke Matsunaga, Tokyo U.
 15:25-15:50 Investigation of ultracold collisions in a laser-cooled atom-ion hybrid system, Takashi Mukaiyama, Osaka U.

15:50-16:00 Concluding Remarks Ken-ichi Ueda



光が切り拓く科学技術

科学技術振興機構（JST）の研究開発プログラムの一つである、さきがけ「光極限」では本質的な限界を持たないといわれる光を使って限界に挑戦し、それを越えようとする研究を推進しています。本セミナーでは、さきがけ「光極限」の研究者により、光による極限的な操作・計測の研究内容をわかりやすく説明してもらいます。光に興味のある方、光を用いた物理・化学・医学に関与する方々の積極的な参加をお待ちしています。

日時：令和元年 10月28日（月）10:30-14:40

会場：北海道大学フロンティア応用科学研究棟 2F レクチャーホール

<https://www.hokudai.ac.jp/bureau/property/fcc/>

主催：国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）、参加費：無料、事前申込：不要

プログラム	
10:30-10:45	さきがけ「光極限」研究総括 開会挨拶 植田達一（電気通信大学）
<デバイス・極限計測>	
10:45-11:10	局在プラスモン制御による光駆動ナノモーター創出 田中嘉人（東京大学）
11:10-11:35	レーザー冷却技術を用いた基礎物理定数の不変性検証実験 小林淳（京都大学）
11:35-12:00	超短パルスレーザーで物質内の電子の動きを観る 沖野友哉（理化学研究所）
昼 食	
<イメージング・機能性材料・バイオ>	
13:10-13:35	光波の伝搬を制御して3次元を可視化する光イメージング 小澤祐市（東北大学）
13:35-14:00	ロタキサンをモチーフとした超分子メカノフォア 相良剛光（北海道大学）
14:00-14:25	Mehr Licht!（もっと光を!） 佐藤真理（北海道大学）
14:25-14:40	さきがけ「光極限」アドバイザー 閉会挨拶 三澤弘明（北海道大学）

Photo by M. Ogawa

② サイトビジット

領域会議に加え、さきがけ研究者の初年度および異動時には適宜サイトビジットを開催し、研究環境の確認、さきがけ研究がスムーズに進むための上司やメンターへの協力依頼、研究の進捗把握や研究計画へのヒアリングや相談などを実施してきた。

1 期生

研究総括の研究実施場所訪問：研究開始後、1月～3月にかけて全サイト13カ所を訪問。期間中の異動者については、異動後に2カ所を再訪問

2 期生

研究総括の研究実施場所訪問：研究開始後の10月～12月にかけて全サイト11カ所を訪問。期間中の異動者については、異動後に3カ所を再訪問。

3 期生

研究総括の研究実施場所訪問：研究開始後の11月～2月にかけて11カ所を訪問。なお、ライフイベントで中断予定の研究者は異動予定でもあったことから、JSTにて面談し、異動後にサイトビジットを実施した。期間中の異動者については、異動後に2カ所を再訪問。

③ 国際会議活動

1期生を対象に2016年夏までに国際会議招待講演に3名を推薦、招待した。また2017年夏までには8名を推薦、招待することで国際会議登壇の経験を踏ませた。

(2) 個人型のネットワーク型研究所として、研究課題間や他の研究領域、国内外の他の研究機関、異分野との連携・協力の推進

① CSJ 化学フェスタ

CSJ(Chemical Society of Japan)化学フェスタは、最先端の化学と化学技術に関する産学官の交流、及び産業への発展とイノベーション強化、化学の成果を社会に発信することを目的とした日本化学会の事業である。2018年は、さきがけ光極限の研究者が中心となってメカノバイオロジーに関する特別シンポジウムを開催し、聴講者は約60名であった。メカノバイオロジーとは、細胞や組織の物理的な力やその変化が、発達、細胞分化、生理学、および疾患にどのように寄与するかに焦点を当てた、生物学と工学の境界における新しい科学分野である。本企画では、光極限の研究者が、メカノバイオロジー、分子応力プローブ、光による生体操作という三つの観点で総合的に講演・討論した。

光極限からの講演者、開催場所：タワーホール船橋

日付	発表者	所属	タイトル
2018/10/23	齊籐 尚平	京都大学	局所的な力を測る光分子力学
〃	相良 剛光	北海道大学	ロタキサン型メカノプローブの創製
〃	福原 学	東京工業大学	光学出力を増幅するアロステリック計測
〃	中川 桂一	東京大学	細胞と音波の超高速インタラクション可視化への挑戦
〃	大山 廣太郎	QST	光熱変換による細胞機能のアクティブ制御
〃	小川 美香子	北海道大学	光を用いた新しいがん治療

② 生体医工学会

さきがけ「光極限」では、光技術を軸に異分野間での交流を積極的に進めており、新たな視

点や発想を目指している。2019 年度は研究者の一人が幹事を務めている生体医工学会との共催シンポジウムを開催し、聴講者は約 100 名であった。光極限領域からは、講演者のみならず、総括やアドバイザーも参加し、バイオ・医療分野における次世代の光技術について深く議論した。

光極限からの講演者、開催場所：沖縄コンベンションセンター

日付	発表者	所属	タイトル
2019/6/6	相良 剛光	北海道大学	微小な力を可視化するためのロタキサン型超分子メカノルミノフォア
〃	堀崎 遼一	大阪大学	コンピューショナルイメージング
〃	南川 丈夫	徳島大学	ラマン散乱分光法を用いた無染色分子組織診断
〃	大山 廣太郎	Q S T	光熱刺激に対する細胞応答の顕微解析
〃	佐藤 真理	北海道大学	Light Sensitivity of Brown Adipose Tissue
〃	小川 美香子	北海道大学	薬の物性変化を利用した新しい光治療

CSJ Chemistry Festa JST特別企画
メカノバイオロジーと光科学、分子技術
 ~未来を拓くトライアングル~

日時 10月23日(火) 9:30-17:30
会場 タワーホール船堀 2F 船堀 (L会場)
 東京都江戸川区船堀4-1-1(都営船堀駅 船堀駅下車、徒歩1分)

参加無料

メカノバイオロジーとは、細胞や組織の物理的力や物理的性質の変化が、発達、細胞分化、生理学、および疾患にどのように寄与するかに焦点を当てた、生物学と工学のインターフェースにおける新しい科学分野です。本企画では、メカノバイオロジー、分子力学フロー、光による生体操作という三つの観点から総合的に議論し、将来的な研究開発の方向性を探ります。

プログラム

09:30-09:40 開会挨拶 植田 憲一 (電気通信大学)

●講演 (メカノバイオロジー)

09:40-10:20 多細胞系のメカノバイオロジー 香賀 永 (北海道大学)
 10:20-11:00 幹細胞操作のメカノバイオロジー 本戸秋彦 (九州大学)
 11:00-11:40 パターン形成・形態形成のメカノバイオロジー 平島 剛志 (京都大学)

(光で力を測る分子)

13:00-13:30 局所的力を測る光分子力学 賢達 尚平 (京都大学)
 13:30-14:00 ロタキサン型メカノフローの創製 相良 剛光 (北海道大学)
 14:00-14:30 光出力を増幅するアロステリック計測 植藤 孝 (東京工業大学)

(生体を操作する光)

14:45-15:15 細胞と音波の超高速化が細胞可視化への挑戦 中川 桂一 (東京大学)
 15:15-15:45 光刺激による細胞機械的アクティベーション 大山 廣太郎 (QST)
 15:45-16:15 光を用いた新しいがん治療 小川 美香子 (北海道大学)

●パネル討論

16:30-17:20 登壇者、メカノバイオロジーの今

17:20-17:30 閉会挨拶 中村 幹 (科学技術振興機構)

主催 国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)

参加登録 http://event.csj.jp/festa/festa_regist.php
 (本シンポジウムや他の公開企画のみに参加の方は、無料登録を選んでください)

Created by kjpgaster - freepik.com

第58回 日本生体医工学会大会 シンポジウム

バイオ・医療分野における光科学技術の新展開

さきがけ「光極限」では、横断的な光技術を軸に異分野との交流を行い、新たな視点や発想を生み出すことを目指しています。このたび、第58回日本生体医工学会大会において、バイオ・医療分野における次世代の光科学技術を議論する場として、シンポジウム「光計測・診断の新展開」および「光刺激・治療の新展開」を企画しました。

日時：6/6(木) 17:00-19:00, 6/7(金) 9:00-11:00
 場所：沖縄コンベンションセンター 会議棟 A2
 大会詳細：<http://jsmbe2019.com>

第1部 光計測・診断の新展開

振動分光顕微イメージング
 井手口 拓郎 (東京大学/さきがけ量子生体)

微小な力を可視化するための
 ロタキサン型超分子メカノルミノフォア
 相良 剛光 (北海道大学/さきがけ光極限)

コンピューショナルイメージング
 堀崎 遼一 (大阪大学/さきがけ光極限)

DNA ナノデバイスと高解像イメージングを活用した心臓の拍動・病理メカニズムの解析
 岩崎 光宏 (理研/AMEDメカノバイオ)

ラマン散乱分光法を用いた無染色分子組織診断
 南川 丈夫 (徳島大学/さきがけ光極限)

第2部 光刺激・治療の新展開

光熱刺激に対する細胞応答の顕微解析
 大山 廣太郎 (QST/さきがけ光極限)

スマート材料による
 細胞メカノバイオロジーの光操作技術の開発
 宇野 甲一郎 (NIMS/AMEDメカノバイオ)

Light Sensitivity of Brown Adipose Tissue
 佐藤 真理 (北海道大学/さきがけ光極限)

Networked Biophotonics
 太田 誠生 (東京大学/さきがけ1細胞解析)

薬の物性変化を利用した新しい光治療
 小川 美香子 (北海道大学/さきがけ光極限)

問い合わせ先：第58回日本生体医工学会大会 運営事務局 info@jsmbe2019.com

(3) 研究費配分上の工夫

研究費の配分については、領域としての総括裁量経費を設けず、研究課題の当初予算に配分したため、全課題とも同等レベルの研究費で開始した。研究期間中での研究加速・発展に伴う増額の申請があった時には、進捗状況により領域内での優先順位をつけた。以下の表は研究課題ごとの増額案件をまとめたものである。異動に伴うスタートアップ支援を除いた大きな増額支援（400万円以上）としては、井上圭一（1期生）、田中嘉人（1期生）、齊藤尚平（2期生）、相良剛光（3期生）、三宮工（3期生）福原学（3期生）への実施が挙げられる。上記6名の研究者は研究成果が出ており、今後のさらなる発展が期待されることから、装置の導入に向けた物品費の支援をした。また、さきがけ研究は個々の研究課題の加速や発展だけで無く、異なる分野との融合による新たな展開が期待されることから、領域内外のさきがけ研究者との共同研究によるフュージビリティ・スタディ（F.S.）も全面的に支援した。その結果、領域内の共同研究者によるF.S.が12件、領域外のさきがけ研究者とのF.S.が2件になった。なお、領域としては総括裁量経費を設けていなかったが、2020年度においては早期卒業した3期生が発生したことから、残予算を総括裁量経費として組み込み、最終年度における3期生の成果展開や研究加速に用いた。

採択	名前	年	金額(千円)	内容
1期生 2015年 採択	井上 圭一	2017年	300	共同研究によるF.S.
		2018年	4,720	研究加速・発展のための物品費
	小笠原 慎治	2017年	700	共同研究によるF.S.
	岡本 亮	2017年	1,000	共同研究によるF.S.
		2018年	1,000	共同研究によるF.S.
	沖野 友哉	2017年	3,000	研究加速・発展のための物品費
	久保 結丸	2018年	3,000	研究加速・発展のための物品費
	小澤 祐市	2017年	1,000	共同研究によるF.S.
	坂本 高秀	2018年	700	成果展開（展示会への出展）
	田中 嘉人	2017年	4,000	研究加速・発展のための物品費
時田 茂樹	2017年	700	共同研究によるF.S.	
2期生 2016年 採択	岩崎 孝之	2019年	1,000	研究加速・発展のための物品費
	植竹 智	2018年	500	共同研究によるF.S.
	齊藤 尚平	2018年	4,350	研究加速・発展のための物品費
		2019年	1,000	共同研究によるF.S.
	田原 樹	2017年	500	共同研究によるF.S.
		2017年	2,000	研究加速・発展のための物品費
2018年		1,000	共同研究によるF.S.	

	松永 隆佑	2019年	2,530	研究加速・発展のための物品費
3期生 2017年 採択	石井 あゆみ	2019年	1,000	共同研究によるF.S.
		2021年	1,500	異動および成果展開*
	大山 廣太郎	2020年	1,000	研究加速・発展のための人件費*
	倉持 光	2020年	1,000	成果展開*
		2020年	9,500	異動に伴うスタートアップ
	小林 淳	2019年	3,000	研究加速・発展のための物品費
		2020年	700	成果展開*
		2000年	7,800	異動に伴うスタートアップ
	相良 剛光	2018年	4,500	研究加速・発展のための物品費
		2019年	1,000	共同研究によるF.S.
		2020年	9,911	異動に伴うスタートアップ
		2020年	1,000	研究加速・発展のための物品費
	三宮 工	2018年	4,000	研究加速・発展のための物品費
		2020年	1,000	研究加速・発展のための物品費*
	中川 桂一	2018年	1,000	共同研究によるF.S.
福原 学	2018年	1,000	共同研究によるF.S.	
	2018年	2,200	研究加速・発展のための物品費	
	2019年	3,305	研究加速・発展のための物品費	
	2020年	2,000	研究加速・発展のための物品費*	
	2020年	1,931	研究加速・発展のための物品費	

F.S. はフイージビリティ・スタディの略、金額の単位は千円
2020、2021年度の*付は総括裁量経費による増額。

(4) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況について

採択した36名の研究者のうち、半数以上の21名がさきがけ終了直後も含めて昇任した。特に若い研究者が准教授に就任したのが特徴的であった。下記に一覧を示す。

准教授→教授	1名	向山 敬
助教→准教授	9名	井上 圭一 岡本 亮 小澤 祐市 秋田 総理 岩崎 孝之

		松永 隆佑
		相良 剛光
		堀崎 遼一
		石井 あゆみ
講師→准教授	2名	三宮 工
		南川 丈夫
研究員→准教授	1名	倉持 光
主任研究員→准教授	1名	坂本 高秀 (終了直後)
特定准教授→准教授	1名	小林 淳
助教→研究員	1名	田原 樹
助教→講師	2名	中川 桂一
		浅沼 大祐
特別研究員→主任研究員	1名	大山 廣太郎
リサーチエンジニア→グループリーダー	1名	久保 結丸
博士研究員→特定助教	1名	磯村 彰宏

(5) 研究成果によってもたらされた国内外の顕彰・受賞等について

本研究領域の研究成果によって、科学技術分野の文部科学大臣表彰若手技術者賞を 8 名の研究者が受賞した。他、以下の表の通り、多くの受賞となった。

(2020 年 11 月 24 日現在)

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞年月
岡本 亮	科学技術分野の 文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2017 年 4 月
沖野 友哉			2018 年 4 月
田中 義人			2018 年 4 月
松永 隆佑			2018 年 4 月
岩崎 孝之			2019 年 4 月
相良 剛光			2019 年 4 月
倉持 光			2020 年 4 月
堀崎 遼一			2020 年 4 月
井上 圭一	平成 27 年度進歩賞	日本化学会	2016 年 3 月
	Young researcher oral presentation awards	IUPAC	2016 年 4 月

	第4回日本光生物学協会奨励賞	日本光生物学協会	2018年2月
岡本 亮	丸文研究奨励賞	丸文財団	2019年3月
小川 美香子 (中島 孝平)	優秀発表賞	日本分子イメージング学会	2017年5月
	Student Travel Stipend Award	World Molecular Imaging Congress	2017年9月
	Scholar-in-Training Award	11th AACR-JCA Joint Conference	2019年2月
	Student Travel Stipend Award	World Molecular Imaging Congress	2018年9月
	日本分子イメージング学会優秀発表賞	第14回日本分子イメージング学会	2019年5月
	星野賞優秀発表賞	第32回バイオメディカル分析科学シンポジウム	2019年8月
小川 美香子 (寺田 一貴)	日本分子イメージング学会優秀発表賞	第14回日本分子イメージング学会	2019年5月
小澤 祐市	研究奨励賞	(一財) みやぎ産業科学振興基金	2019年
	コニカミノルタ画像科学奨励賞(優秀賞)	(公社) コニカミノルタ科学技術振興財団	2020年
	第37回「とやま賞」理工部門	(公財) 富山県ひとづくり財団	2020年
余語 覚文	大阪大学賞 若手教員部門	大阪大学	2017年11月
岩崎 孝之	平成29年度 東工大挑戦的研究賞(学長特別賞)	東工大	2017年7月
	令和元年度手島精一記念研究賞(研究論文賞)	東工大	2020年2月
齊藤 尚平	井上リサーチアワード	井上科学振興財団	2017年2月
	田中ゴム科学技術賞	江野科学振興財団	2017年2月
	論文賞2018(デバイス、応用分野)	日本液晶学会	2018年9月

	The Asian and Oceanian Photochemistry Association (APA) Prize for Young Scientist	The Asian and Oceanian Photochemistry Association (APA)	2018年12月
田原 樹	3次元画像コンファレンス 2016年度優秀論文賞	3次元画像コンファレンス	2017年2月
	Biomedical Imaging and Sensing Conference 2017 Best Paper Award	Biomedical Imaging and Sensing Conference	2017年4月
	Highlight of 2017	Journal of Optics, IOP Publishing	2018年9月
	2018 Reviewer Awards	Journal of Optics, IOP Publishing	2019年3月
	・3次元画像コンファレンス 2019 優秀論文賞	3次元画像コンファレンス	2019年10月
	Outstanding Reviewer Awards 2019	Journal of Optics, IOP Publishing	2020年4月
	2019年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞 (技術部門)	日本光学会	2020年8月
西内 満美子	第13回 日本加速器学会奨励賞	日本加速器学会	2017年4月
石井 あゆみ	マツダ研究助成奨励賞	公益財団法人 マツダ財団	2020年9月
	電気化学会女性躍進賞	電気化学会	2021年3月
倉持 光	第98春季年会 優秀講演賞 (学術)	日本化学会	2018年4月
	PCCP (Physical Chemistry Chemical Physics) prize	Royal Society of Chemistry	2019年3月
	2020年度分子科学奨励森野基金研究助成	公益信託 分子科学奨励森野基金	2020年8月
	第13回 (2020年度) 分子科学会奨励賞	分子科学会	2020年9月
相良 剛光	田中ゴム科学技術賞	江野科学振興財団	2018年2月

	高分子学会 広報委員会パブリシティ賞	高分子学会	2019年11月
	東京工業大学 挑戦的研究賞 末松特別賞	東京工業大学	2020年8月
三宮 工	Poster Award	The 9th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP9)	2019年5月
中川 桂一	コニカミノルタ画像科学奨励賞	(公社) コニカミノルタ科学技術振興財団	2019年2月
	里見賞	公益財団法人 里見奨学会	2020年8月
福原 学	SHGSC Japan Award of Excellence 2018	ホストーゲスト・超分子化学研究会	2018年6月
	日立化成賞	高分子学会	2020年7月
堀崎 遼一	ゴットフリード・ワグネル賞 2019	在日ドイツ商工会議所	2019年6月
南川 丈夫	徳島県科学技術大賞 (若手研究者部門)	徳島県	2018年10月
	光学論文賞	日本光学会	2018年10月
	徳島大学若手研究者学長表彰	徳島大学	2018年11月
	日本機械学会奨励賞	日本機械学会	2019年4月
	康楽賞	公益財団法人康楽会	2020年2月

7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

(1) 研究総括のねらいに対する研究成果の達成状況

研究総括のねらいとしては、第3章で記載したように以下の4分野を対象例として示したが、これらに限るものではないとした。また、さきがけ研究は異なる分野との融合による新たな展開が期待されることから、異分野との交流・連携を重視した。以下にこれらの達成状況を記載する。

①光が介在するバイオ、生物、医学応用全般を対象とし、イメージングを超えるアクティブ機能発現などを含む研究

医学応用としては、小川研究者による新規のがん治療法である光免疫療法の治療メカニズムの解明が進み、厚生労働省による新薬の承認へとつながった。生物分野では井上研究者により光でイオンを輸送するタンパク質（ロドプシン）のアミノ酸が改変され、生体組織での散乱が少ない長波長の光で操作可能な人工ロドプシンタンパク質が作製された。また、秋田研究者が光合成生物の進化と多様性を解明するため、海洋珪藻から精製した光科学系II-FCP複合体の立体構造をクライオ電子顕微鏡で明らかにした。イメージングにおいては、小澤研究者によりエリアビームが持つ自己湾曲性を応用したレーザー走査型顕微鏡装置において1回の2次元走査のみから3次元画像の構築が実現された。また、堀崎研究者からはフローサイトメトリーにゴーストイメージング法を導入し、機械学習と組み合わせることで生体粒子の超高速分類および分取が可能となり、産官学連携のベンチャーが設立された。ホログラムでは田原研究者より、自然な光での瞬間カラーホログラムの記録システムが開発されたなど、この分野において予想を超える多くの進展があった。

②ナノフォトニクス技術を活用して新機能発現させたデバイスとその具体的応用研究

光を用いた新機能デバイスとしては、田中研究者より局在プラズモン共鳴による光運動量変化を用い、光で駆動するナノスケールのマシンが実現された。岩崎研究者からは量子情報の中継するために、優れた光学特性とメモリ特性（スピン特性）を両立する量子光源としてSnV（Sn：スズ、V：空孔）センターの発見があった。石井研究者からは有機キラル分子を導入した結晶薄膜により、フィルターなしで円偏光を高感度に検出する素子が開発された。種村研究者からはサブ波長プラズモニック回折格子内に電気光学ポリマーを埋め込んだ垂直入射型光変調器の提案・実証があり、ナノフォトニクスの分野においても新機能の光デバイスが数多く報告され、将来的な展開が期待される。

③超高精度光を用いた冷却原子による極限物性研究や光格子時計による時空間計測、制御の科学と技術

極限物性計測としては、松本研究者により従来の限界より3桁軽い100 mgの物体が生成する微小重力を1秒で測定可能な小型低雑音重力センサーが実現され、重力の量子的な性質を実験的に解明する新たな研究分野が期待される。また、小林研究者はレーザー冷却された極低温分子を用いて、電子・陽子質量比の恒常性検証を行い、従来の検証実験に比べて、精度を5倍以上更新することに成功した。これらの結果は基礎物理であるため、ともすれば大規模なプロジェクトになりがちであるが、個人の努力と工夫でこの分野においても着実な進展が見られた。

④ 高エネルギー密度、高強度電場が生み出す新しい物質との相互作用、高エネルギー物理とそれを可能とする新しい光科学技術。

高エネルギー密度、高強度電場の分野としては、西内研究者により世界最高級強度のレーザー光を物質に照射した時の電子の特異な振る舞いが解明され、さらにイオン線形加速器の1千万倍に相当する強烈な加速電場発生が実証された。また、余語研究者はプラズマの温度が時間と共に成長する「時間幅効果」の原理を発見し、イオンの一種である陽子の加速に利用した。この結果、レーザーによる粒子加速を大幅に効率化することができ、従来に比べて100分の1のレーザー強度で同等の加速効率が実現された。これらの結果は、将来的に粒子線がん治療や非破壊検査などへの応用が期待される。この分野は大規模なプロジェクトで進められているが、個人研究の成果だけでなくプロジェクトの成果にも大きく貢献した。

⑤ 上記以外の分野

有機化学の分野では、齊藤研究者がわずかな力でもコンフォメーション変化を伴って蛍光色を変えることができる「羽ばたく柔軟なメカノフォア」を開発し、液体のわずかな粘度の違いを局所的に評価することに成功した。また、相良研究者が共有結合を切らずとも伸縮により蛍光のon/offを瞬時に何度でも繰り返す超分子メカノフォアの開発に成功し、青色、緑色、橙色の蛍光団を用いて白色蛍光を出すゴムを開発した。光物性では、松永研究者がディラック半金属の一種であるヒ化カドミウム薄膜によりテラヘルツ周波数帯の高調波を室温で非常に高効率に発生できることを発見した。さらに高調波発生メカニズムが質量ゼロのディラック電子がテラヘルツ電場で加速されることによることを明らかにした。

⑥ 異分野との交流・連携

予算の増額では領域内のさきがけ研究者同士による共同研究の実施（フィージビリティ・スタディ）が12件、領域外のさきがけ研究者との共同研究の実施が2件あり、ほとんどが分野の異なる研究者同士の共同研究であった。特に田原研究者、倉持研究者、中川研究者、福原研究者らは、複数の全く異なる分野の研究者と共同研究を進め、共著論文にまで至っており、理想的な異分野交流・連携がなされたと考えられる。

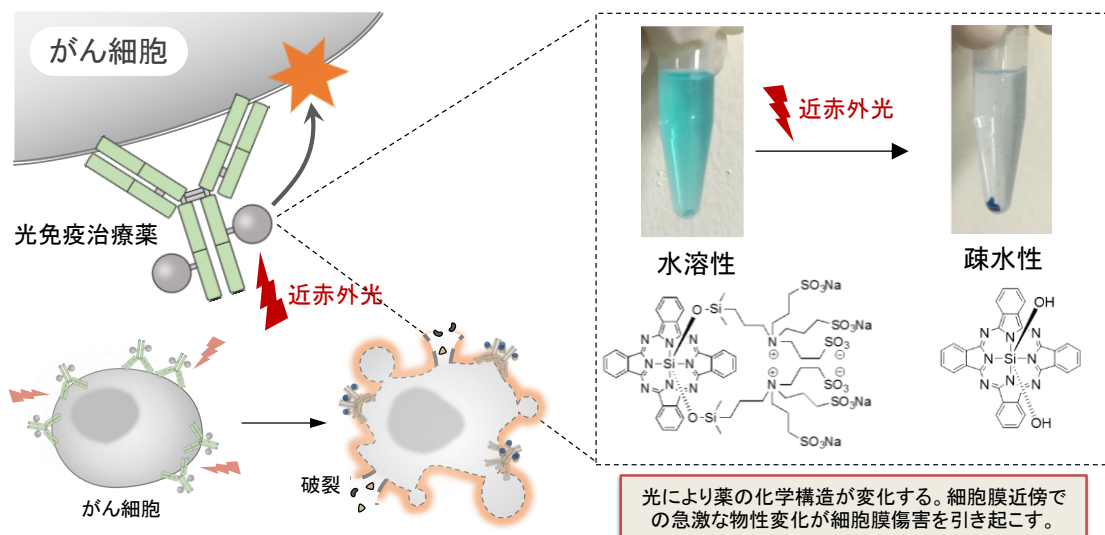
(2) 研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

さきがけ「光極限」研究領域での論文件数は240、学会等での口頭発表件数は697、特許出願件数は22であり、研究領域として数多くの成果を発信することが出来たと考えられる。学術論文としては、Science、Nature、Nature Communications、Advanced Materials、Science Advances、Angew. Chem., Int. Ed., (Angewandte Chemie International Edition)、J. Am. Chem. Soc., (Journal of the American Chemical Society)、Nano Letters、ACS(American Chemical Society) Nano、Physical Review Letters、Physical Reviews 等の国際誌に掲載されている。

以下、さきがけ「光極限」の特徴的な研究成果でプレスリリースのあった案件について、第4章の公募後の分野ごとに紹介する。

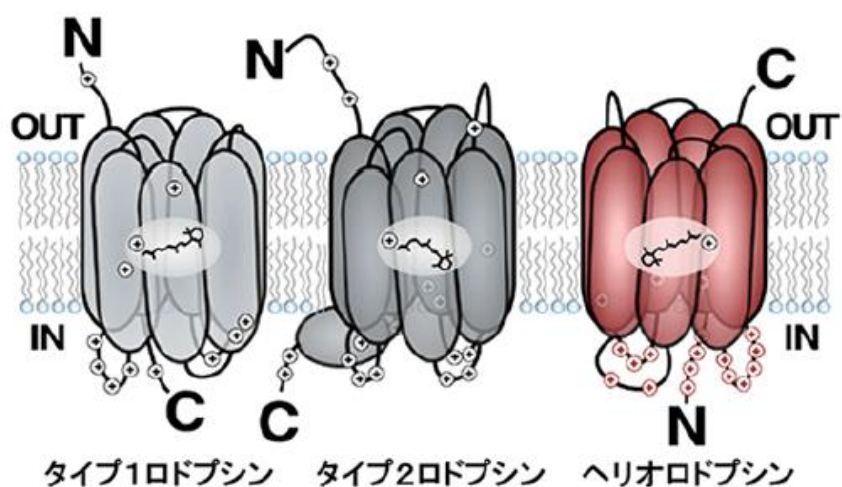
① 生物フォトニクス

小川研究者は、新しいがん治療として注目を浴びている PIT (Photo-Immuno Therapy) について、光による細胞障害メカニズムの解明から始まり、PIT が引き起こしているのは細胞膜障害が起因となる細胞死である、との結論を得た。さらに光照射により、抗体の構造変化が起こり、がん細胞に結合した薬剤だけを光で有毒化していることも確かめた。このような結果をベースに新たな光反応性薬剤の開発に着手し、広範囲な分子を標的とできるペプチドを用いるアイデアに到達した。この一連の研究成果は、論文：ACS Cent Sci. 2018 Nov 28;4(11):1559-1569. [被引用数 37] や、日経新聞などでも報道されている。



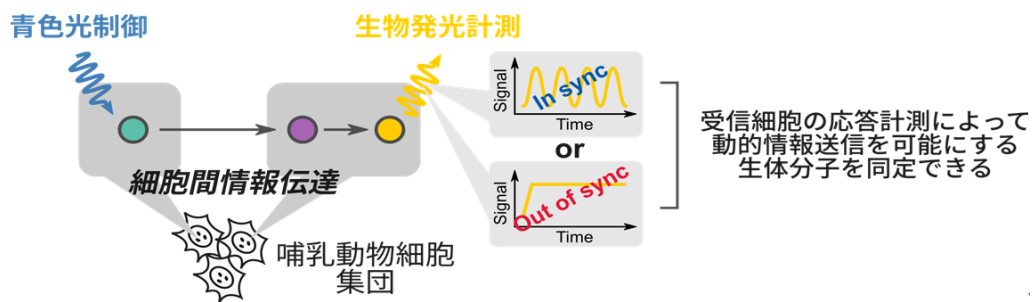
光免疫治療による細胞傷害メカニズム

井上研究者は、微生物型ロドプシンライブラリーに含まれる分子に対して、アミノ酸変異などを行って高機能分子の創出を目指す方法と、自然界に存在するが過去に研究例のない分子に新たに機能解析を行うことで、より高い機能もしくは新機能を有する分子を明らかにする方法を進めている。これら 2 つの方法は異なった方向性を持つと共に相補性を持っており、新しいオプトジェネティクスを展開しつつあり、学術誌：Nature, 558, issue 7711, pp 595-599. (2018) [被引用数 72] にて公開されている。



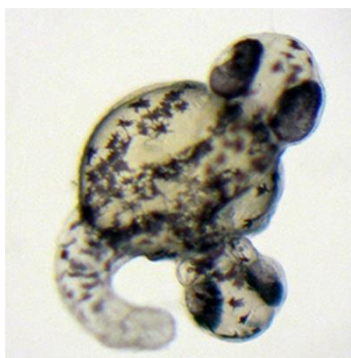
微生物由来のタイプ1ロドプシン（左）、動物が持つタイプ2ロドプシン（中）と
今回、新発見のヘリオロドプシン（右）

磯村研究者は、脊椎動物の体節形成における遺伝子発現リズムの同期仮説を裏付けるため、遺伝子発現リズムの動的応答性の定量解析に取り組んだ。光制御による遺伝子発現リズムの引き込み同調を発見し、その過程における同期度、位相応答性を観察し、エントロピーに基づく定量評価につなげた。さらに光摂動の前後における位相シフト量を可視化した位相シフト曲線を得た。単なる周期の比較ではなく、これらの物理量を扱うことで、生体が持つ時計機能を記述できる確率的位相振動子モデルに発展させ、引き込み同調過程を見事に記述することに成功した。これらの成果は *Genes Dev.* 31, 524-535 (2017) [被引用数 26] にて公開されている。



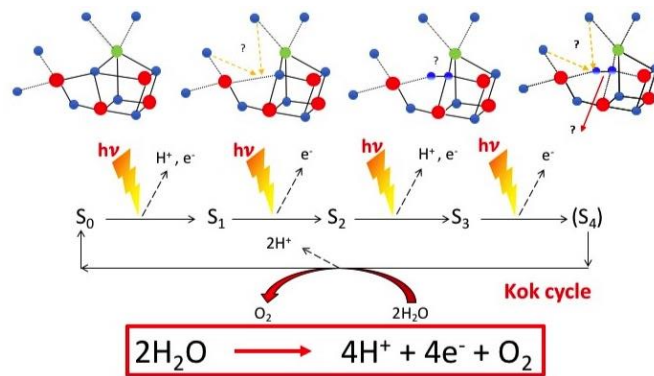
遺伝子発現の動的情報の送信を実現する生体分子同定の模式図

小笠原研究者は、光でタンパク質の発現数を精密に操作する技術の開発に取り組み、ゼブラフィッシュの胚発生の光操作に成功した。さらに光を照射しない場合にもタンパク質のリーク発現が精密制御の課題であることを明らかにし、リーク発現を限りなく抑える手法の開発に着手し、新型光応答性 CAP の開発にも成功した。これらの成果は、論文： *ACS Chemical Biology* 2017, 12, 351-356. [被引用数 16] にて公開されている。



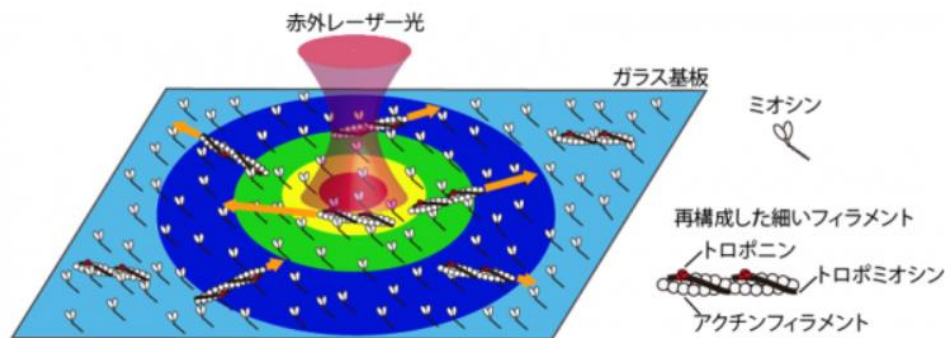
タンパク質の発現期間を光操作し誕生した完全な頭部を持つ二次軸

秋田研究者は、あらゆる植物に普遍的に存在し、基礎的な生理現象である光化学系 II (PSII) の酸素発生メカニズムを、X 線自由電子レーザー (XFEL) と可視光レーザーを用いて解明することを試みている。当初、数 μg でタンパク質の構造解析が可能とされた X 線自由電子レーザーでの解析であるが、PSII 超分子複合体のダイナミックな構造変化を 2\AA の SFX (Serial Femtosecond Crystallography) で解明するにはその約 10 万倍の微結晶が必要であった。そこで、世の中の単結晶育成とは全く逆方向の良質な微結晶の大量作成法を提案し、様々な工夫と努力で構造解析を確立した。それらの内容は、国際的学術誌： *Nature*, 543:131-135 (2017) [被引用数 363] に公開され、注目されている。



光科学系Ⅱによる水分解反応のメカニズム

大山研究者は「光で温度を操る&視る」兼備システムを構築し、細胞の温度感受性や発熱に関する研究を行った。実際に光熱変換技術と精製タンパク質で筋収縮を再現する「in vitro 滑り運動系」を構築し、筋収縮に伴う温度特性をタンパク質レベルで評価できる顕微解析法を開発した。その結果、ほ乳類の心臓にはカルシウムイオン濃度の上昇に応じて効率よく筋収縮させる仕組みが備わっていることを明らかにした。細胞発熱イメージングでは、厚さ 50 nm の蛍光温度ナノシートを開発し、細胞内温度分布を含めて 2 次元マッピングした。顕微解析法については、論文 *J Gen Physiol* (2019) 151(6):860-869 [被引用数 3] にて公開されている。

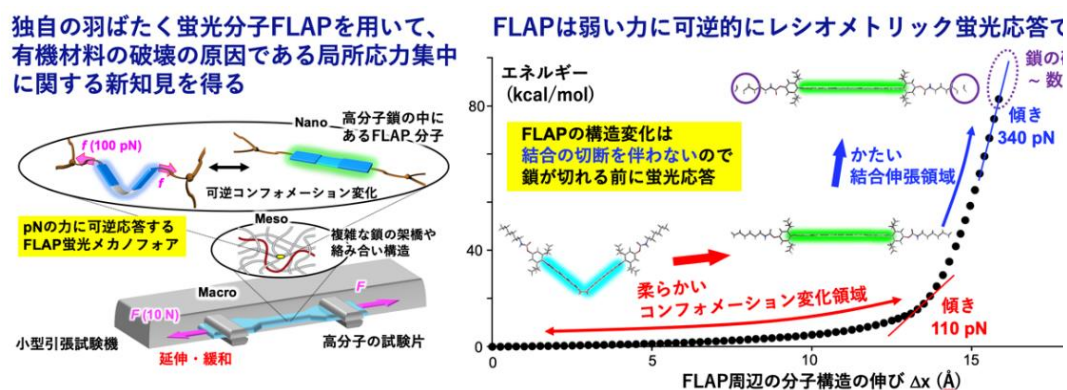


顕微解析法の模式図

② 有機化学フォトニクス

齊藤研究者は、独自に開発した羽ばたく分子 FLAP を基盤とし、そのメカニズムを解明し、必要な制御性を加味して、「基底状態における外部からの力」に応答する蛍光分子ライブラリーを構築した。さらに対象物内部における FLAP の局在を制御することに成功した。これにより、高分子材料における分子鎖レベルの局所応力が化学構造のどこに集中しているのかを定量的に追跡できる手法を生み出した。共有結合の切断を伴わずに V 字型から平面型

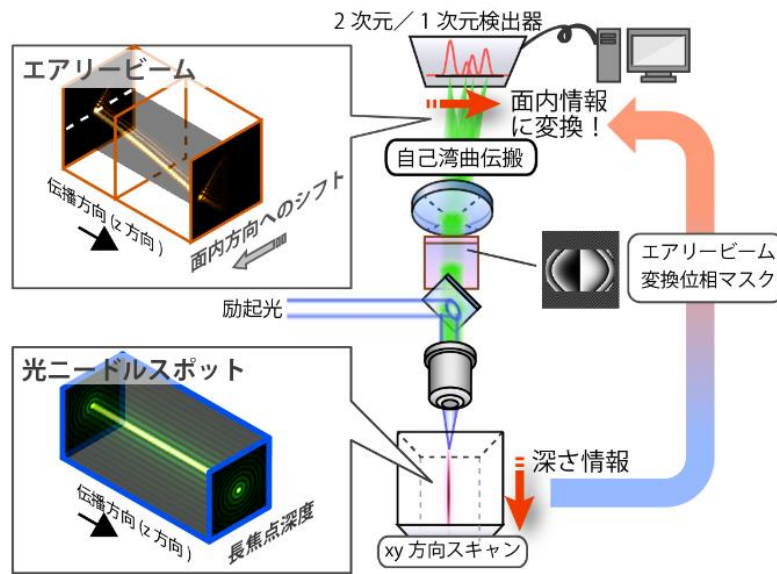
へのコンフォメーション変化だけで発光特性を変えることができるため、より微弱な力を可逆的に追跡できる。この技術により、従来ナノレベルにおける力の計測に使われてきた光ピンセットや AFM のような制限がなく、複雑系におけるナノレベルの応力情報をリアルタイムに定量する 革新的な光解析技術の創出が可能となった。この一連の研究成果は、論文：J. Am. Chem. Soc. 140, 6245-6248 (2018) [被引用数 17] に公開されている。



FLAP の概略図 (左)、伸びとの関係図 (右)

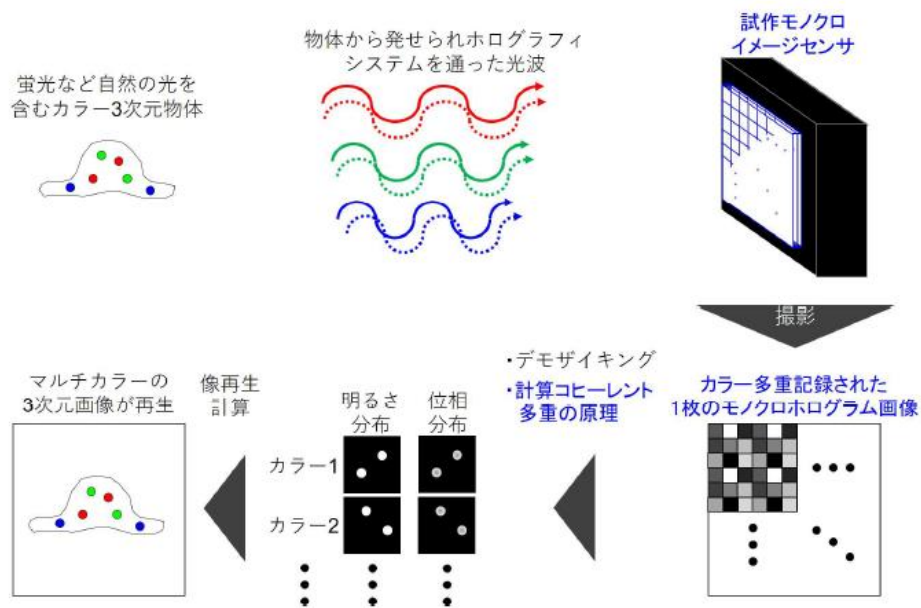
③ オプテックス

小澤研究者は、非回折性を持つベッセルビームによる直線状ニードルスポットと、自己湾曲性を持つエアリービーム変換による深さ方向の情報抽出を組み合わせた新しい 3 次元イメージング技術を構築している。古典光学の世界で新しい挑戦を行うのは、決して容易なことではない。アイデアは面白いが、実現は困難だろうと予想していたのだが、小澤研究者は困難を一つ一つ解析しながらその解決法を探り当て、実際に生体試料の観察が可能レベルにまで高め、見事なイメージングを実証した。これらの研究成果は、論文：Scientific Reports 9, 11687 (2019)に公開されている。



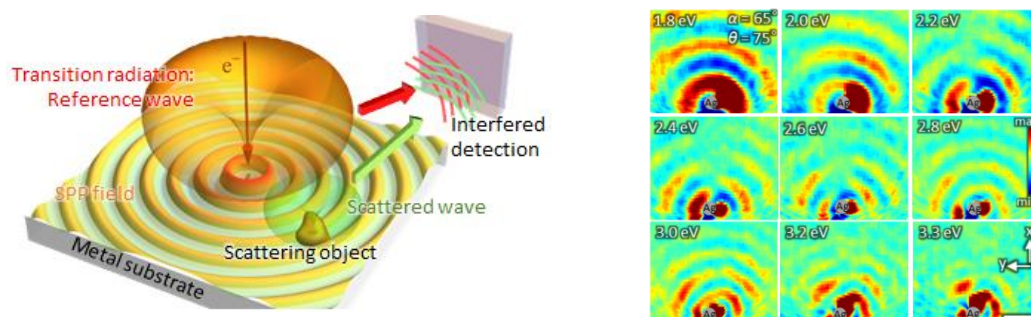
新しい3次元イメージング手法の概念図

田原研究者は、自然光により観察される瞬間のマルチカラー3次元画像情報を、高い光利用効率で高速記録・可視化する自然光マルチカラーホログラフィック撮像システムを開発した。自然光、マルチカラー、ホログラフィック、瞬間、高速記録、可視化など、どれをとっても困難な課題で、それらを一緒に解決するという挑戦に、「出来るなら素晴らしいが出来るかな?」、という感覚でさきがけ2期生に採用した。しかし、それは決して大風呂敷ではなく、古くからあるアイデアの真髄を読み解き、現代技術を利用すれば、過去に困難であったことも、現代では可能になることを、理論的、実験的な研究で証明してみせた。この研究成果は、3期生の石井研究者との共同研究の形で、論文: Applied Physics Letters, Vol. 117, 031102 (2020) [被引用数4] として公開されているほか、日刊工業新聞など4社の新聞紙上でも報道されている。(web掲載78件)



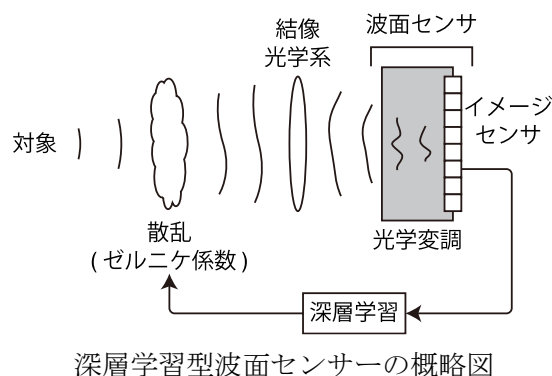
自然光マルチカラーホログラフィック撮像システムの測定手順

三宮研究者は、電子線励起で発生するカソードルミネッセンス光を測定して電子線の分解能で光の位相を測定することを提案した。実際にコヒーレントに励起された表面プラズモンモードの自己参照を利用して、モード間干渉を測定した。測定するエネルギーや観測方向に応じて反転する非対称な電場分布を計測し、位相を反映したナノスケールの電場分布測定を実現した。さらに電子ビームに特有の遷移放射を参照光にすることにも成功し、位相マッピングを行った。その結果、シリコン球に誘起された1次から3次の双極子の位相マッピングが実現されるなど、これまでにない新しい円偏光の相対位相抽出を可能とした。この研究成果の一部は、論文: Nano Letters, 20, 592-598 (2020) [被引用数 6] や News Release in AAAS に公開されている。



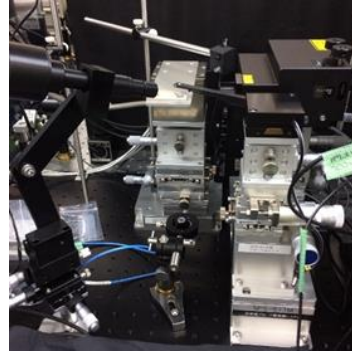
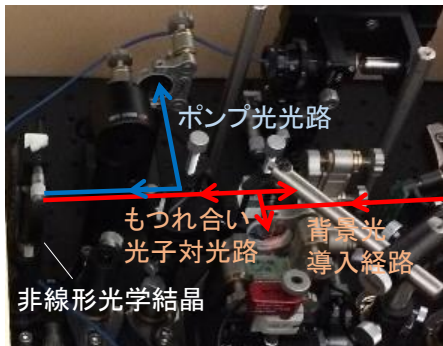
遷移放射を参照とした電子線による電磁場位相マッピング。原理の模式図（左）、異なるエネルギーでマッピングされた表面プラズモンポラリトンの干渉パターン（右）

堀崎研究者は、散乱光計測に機械学習を取り入れ、散乱やボケなどの本来忌避される光学プロセスを光学変調としてあえて利用することで、波面計測の高精度化が可能なことを見いだした。さらに、それを積極的に利用してゴーストサイトメトリーと呼ばれるマイクロ流路中を流れる微粒子生体試料の高速分類、高速取得にも成功した。また、スペckルイメージングでは三次元スペckル相関イメージングのシングルショット化を実現した。散乱板によるランダム構造化照明を用いた三次元ホログラフィック顕微鏡を考案し、参照光を用いることなく水中に浮遊する群体性ボルボックスの三次元動画撮影を可能とした。機械学習を用いて散乱光制御にも取り組み、その応用として多視点光制御への可能性を示した。ゴーストサイトメトリーの成果は、論文 Science 360, 1246-1251 (2018). [被引用数 70] として公開されている。



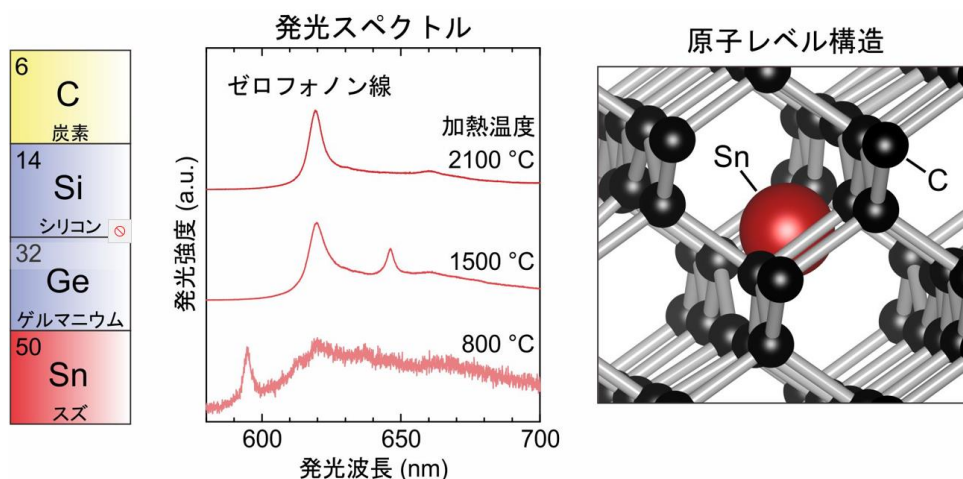
④ 量子フォトンクス

岡本研究者は、走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM) に量子計測技術を取り入れた。この量子 SNOM の最大の特徴は、量子計測技術による高い信号検出感度、すなわち高い信号雑音比を実現できることである。計測限界を決定するものは、一般に信じられている検出感度ではなく、信号雑音比である。特に、生体観測など重要な応用分野では、大きな背景光雑音の中に存在する少数の信号光子を検出する技術が求められる。本研究はそのような要求に答えるべく提案者が得意とする量子計測技術を SNOM に導入したものである。その結果、1 兆個以上の背景光子に埋もれた 2000 個の光子の検出に成功した。この結果は、量子 SNOM の原理実証に成功したと共に研究目的の正当性を証明した。実際、試験的試料では光トポグラフィ計測に成功しており、量子 SNOM における開発の基本をクリアーしており、論文 : New Journal of Physics, 22, 103016 (2020) [被引用数 0] に報告されている。



マイケルソン型の量子干渉計の実験装置（左）、SNOM系装置写真（右）

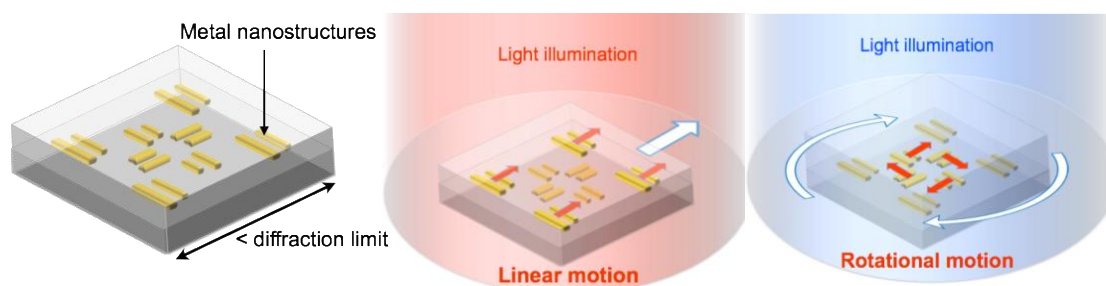
岩崎研究者は、次世代の情報ネットワーク技術として光の量子性を利用した量子ネットワークの構築を推進している。量子通信技術の確立には、安定した単一光子源が不可欠だが、窒素-空孔（NV）センターは量子光源に利用可能なゼロフォノン線（ZPL）の割合が低く、量子光源となりうるシリコン-空孔（SiV）センターは基底状態分裂幅が狭いためスピニコヒーレンス時間が2-5 Kでも $1\mu\text{s}$ 以下に制限されている。これらを解決するために、Siより重いIV族元素のゲルマニウム（Ge）およびスズ（Sn）に着目し、それらの大きなスピノ軌道相互作用の結果、カラーセンターが大きな基底状態分裂を持つようになると考え、これらのカラーセンター形成に取り組んだ。スズをダイヤモンドに導入し、量子光源として機能させた例は、これまでになく大きな挑戦であったが、見事に成功させた。この研究成果は、論文：Phys. Rev. Lett. 119, 253601 (2017) [被引用数 143] に公開されている。



ダイヤモンド中のSnVセンターの図、IV族元素の周期表（左）、高温高圧熱処理後のSnVセンターからの発光スペクトル（中央）、SnVセンターの原子レベル構造（右）

⑤ ナノフォトニクス

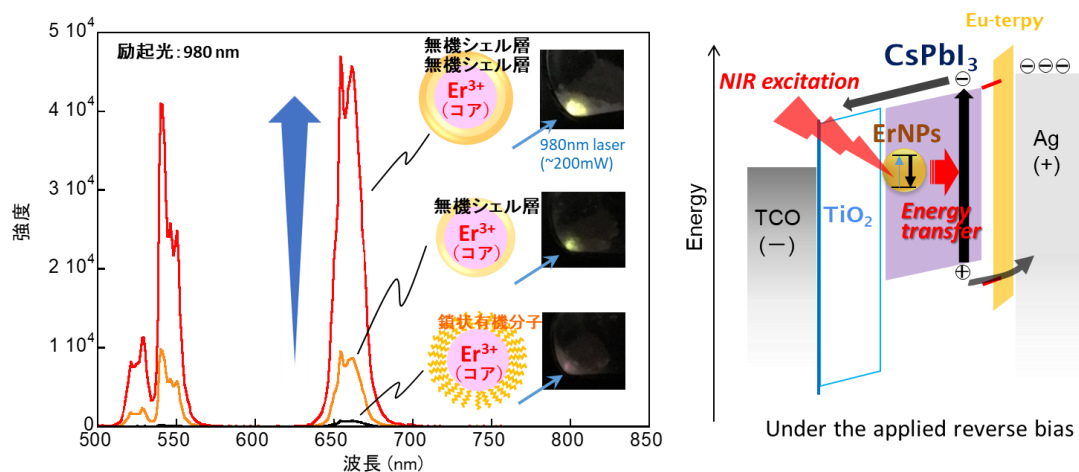
田中研究者は、光トラップ力などではなく、プラズモニックナノ構造が発する指向性光散乱を用い、金ナノ構造のサイズ・配置などのデザイン的要素を導入することで、ナノモーターの機能、応用性を高めることを実現した。自身でナノファブリケーション加工技術を習得し、多様な構造を作り出したことも当初の予想を上回る効果につながった。その結果、ブラウン運動に打ち勝つ駆動力を並進運動、回転運動で発生させることができた。プラズモニックナノモーターカーのデモンストレーションは役立つイメージを適格に伝えたほか、三角ナノプリズムでは入射偏光制御により 360 度外部制御可能なナノモーターも実現した。その上、これらのナノ構造体による光散乱パターンやプラズモンモードの詳細な解析がなされており、いずれも理論解析のもとで開発されたことが見て取れる。この研究成果は、論文：Science Advances, Vol. 6, no. 45, eabc3726 (2020) [被引用数 0] に公開されている。



プラズモニックナノモーターの概略図

石井研究者は長年培ってきたペロブスカイト材料などの知識を活用し、有機・無機ハイブリッド界面における光信号増幅という新しい機構を提案し、実際に 1V 以下の低電圧駆動で 2900 倍もの電流信号の取り出しが可能な高感度光検出器の開発に成功した。また、コアシェル構造の Er 添加アップコンバージョンナノ粒子を組み合わせ、近赤外光を可視光に変換して高感度に検出することも可能にした。さらには、有機キラル分子を含むハイブリッド界面の開発にも成功し、世界初の円偏光センサーも実現した。以上の成果の中で、近赤外光の変換については、論文：Advanced Science, vol.7, 1903142(2020) [被引用数 6、Frontispiece に採択] に掲載された。

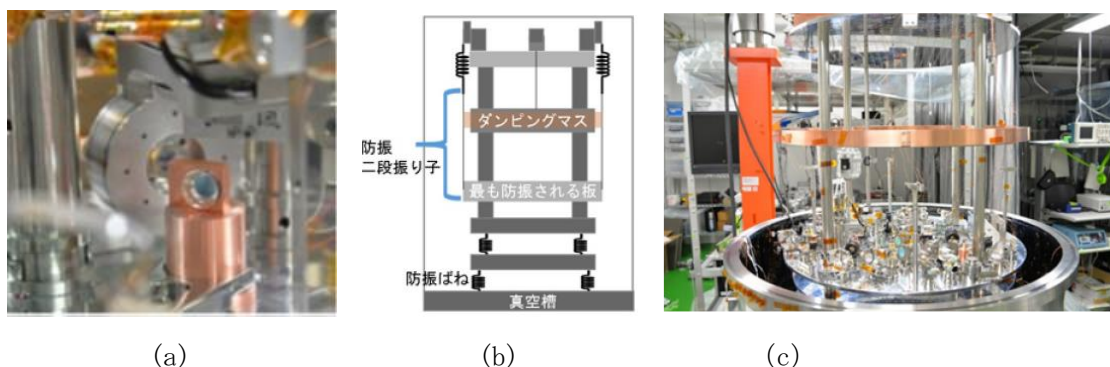
延長期間では無機ナノ粒子の光吸収特性を改善させるため、有機色素をシェル層に組み込んだ新しいアップコンバージョンナノ粒子を開発し、近赤外光の受光感度をさらに向上させることに成功した。また、これまでの微弱な光の検出や円偏光センサー、アップコンバージョン過程、有機・無機ハイブリッド界面の高精度な制御などについて、総論的な論文にまとめ、Electrochemistry, (accepted) [invited paper] にオンライン掲載された。



コアシェル型 Er ナノ粒子 (ErNPs) のアップコンバージョン発光 (左)、ErNPs を組み込んだ近赤外光検出素子のエネルギーダイアグラム (右)

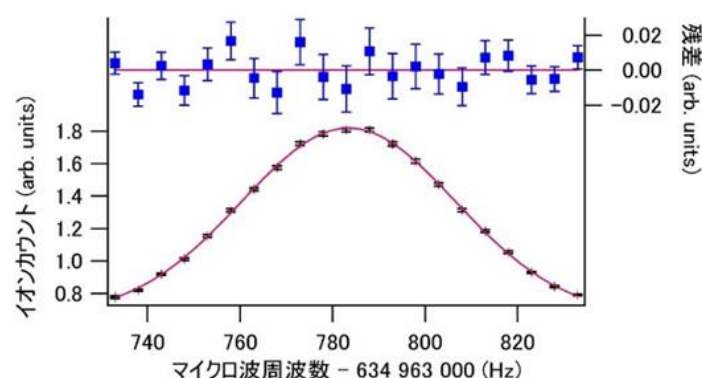
⑥ 超精密計測フォトニクス

松本研究者は、重いが熱的に振動しない量子的な振動子を実現した。重力測定が可能でかつ量子状態を実現することで、重力と量子の実験的統合を目標にしており、まさに極限研究として採用された。当然、その実現がさきかけ研究期間で終了するなどとは露程も期待しておらず、軸をぶらすことなく将来の研究への足がかり、あるいは糸口を掴むことができれば大成功と考えてきた。しかし、実際に研究を推進する中で、超高Q値を持った振動子を組み上げ、アクティブフィードバック制御で量子的な振動をリアルタイムでモニターするなど、着実に目標に向かって研究を推進し、論文：Phys. Rev. Lett. 122, 071101 (2019) [被引用数 23] にまとめて公表するに至った。なお、この論文は、”Featured in Physics” に選ばれている。



開発した重力センサー (a)、多段防振装置の略図 (b)、真空装置内に設置される多段防振装置 (c)

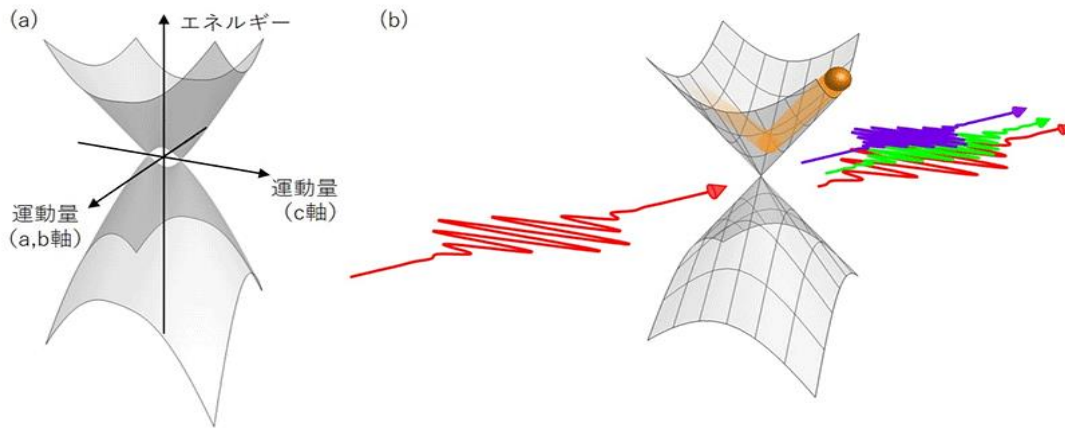
小林研究者は、電子・陽子質量比の恒常性検証および極低温分子の光化学反応を解明するため、光共振器増幅により大きくて深い光格子トラップを造る技術を開発し、原子や分子の冷却を進めてきた。従来方法に比べて、3次元光格子でトラップされた原子数は 10^3 個から 3×10^7 個に、原子密度は 1×10^{11} 個/cm³ にと飛躍的に高まり、温度は 550 nK と BEC まで後一步というところまで迫っている。これまで誰も試みなかった多数の原子をトラップしてから冷却圧縮をするという方式は、小林研究者の研究によって可能であるだけでなく、きわめて有望な方法だということが実証された。電子・陽子質量比の恒常性検証については、論文：Nature Communications 10 3771 (2019) [被引用数 15] に公開されている。



極低温分子の精密分光による電子・陽子質量比恒常性検証実験

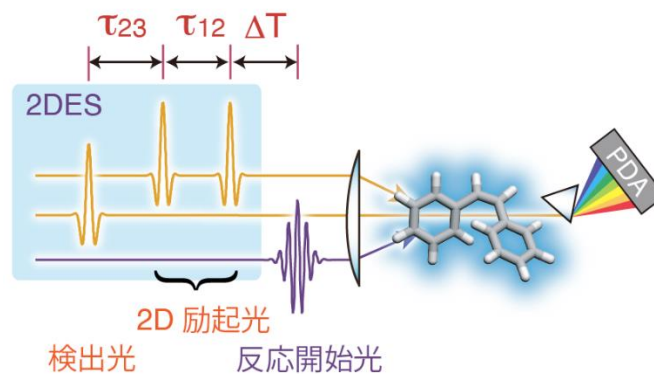
⑦ 短パルス・パワーフォトニクス

松永研究者は、凝縮系物理における素励起の典型的なエネルギースケールに相当するテラヘルツ波を用いて凝縮系の性質を観測し、さらに素励起を強く引き起こして非平衡状態へと駆動する手法に注目したことに特色がある。マクロスケールで発現する量子凝縮の典型といえる超伝導や、トポロジカルな電子的性質を示すディラック半金属・ワイル半金属における非平衡ダイナミクス の解明と光電場による制御を通して、物性物理学と最先端光学技術が融合した研究分野を開拓することを目指している。そのため、強力な超短パルステラヘルツ波の発生と、凝縮系の素過程を詳細に観測できる計測技術の両方を自らの手で開発した。この研究成果の一部は、論文：Phys. Rev. Lett. 124, 117402 (2020) [被引用数 16] に公開されている。



ディラック半金属ヒ化カドミウムにおけるテラヘルツ周波数変換の概略図。ヒ化カドミウムにおけるエネルギーと運動量の関係 (a)、周波数変換の模式図 (b)

倉持研究者は極短パルスを用いた2次元電子分光を反応中間状態に対して行う“過渡2次元電子分光法”を開発した。反応性電子励起状態における過渡的な不均一性と、それに付随した分子構造の情報をフェムト秒の時間スケールで追跡し、化学反応の本質に迫ろうとする研究である。これは遅延時間を精密制御したフェムト秒パルス対によって2次元電子分光を行うもので、励起状態における波束の広がりとその変遷、さらにそれに付随した分子構造の変化をフェムト秒の時間分解能で追跡するという、極めて高度な計測システムの開発でもある。結果として、過渡的な構造不均一性とその平衡化の過程を直接観測することに成功した。この研究成果は、論文：*Angewandte Chemie International Edition* 59, 15865-15869 (2020). [被引用数0、Hot Paperとして選出] に公開されている。



過渡2次元電子分光の実験スキーム

⑧ 共同研究の例

●岡本亮一田原樹

“Color single-pixel digital holography with a phase-encoded reference wave”,
Applied Optics, 58, G149-G154 (2019)

概要：

通常、ホログラフィーによるイメージングは、2次元的に画素が配置されたイメージセンサーを用いるが、微弱光領域や波長によっては、高効率なイメージセンサーが存在しない場合がある。本研究では、初めて、1画素のみの検出器により、カラー画像のデジタルホログラフィーを実現した。この技術は、高感度なイメージセンサーの実現が難しい紫外・赤外域を含む多波長位相イメージングや、量子光を用いた多波長量子計測イメージングの基盤となるものである。

●齊籐尚平一倉持光

“Flapping Peryleneimide as a Fluorogenic Dye with High Photostability and Strong Visible-Light Absorption”,
Angew. Chem. Int. Ed. 59, 16430-16435 (2020).

概要：

本研究では、これまで齊藤研究者が研究対象としてきた「羽ばたく分子」の骨格を改良することにより、従来よりも光照射に対して安定で、可視光による励起効率がよく、極めて低い粘度にも応答して蛍光寿命を変化させる新機能分子を開発した。今後、蛍光寿命顕微鏡 (FLIM) との組み合わせによりバイオテクノロジーへと展開する予定である。

●相良剛光一福原学

“Cyclophane-Based Fluorescence Tuning Induced by Hydrostatic Pressure Changes”,
ChemPhotoChem 2018, 2, 959-963.

概要：

ピレン誘導体を蛍光団として持つシクロファン溶液中の吸収・発光特性が、静水圧の印可によりどのように変化するかを明らかにした論文。同じ蛍光団を持ち環状構造を持たない参照化合物では静水圧の上昇と共に蛍光強度の上昇が認められたが、環状構造を持つシクロファンでは、逆に蛍光強度の減少が観察された。高静水圧下では、蛍光団と環状構造に導入されたナフタレン部位が π スタックした構造をより多く形成するため、シクロファンでは蛍光強度が減少したと考えられる。

(3) 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

① JST 新技術説明会

JST 新技術説明会では 100 名前後の企業関係者が聴講し、今後の技術展開や製品化に向けた個別打ち合わせや相談が期待される。光極限領域からは、坂本、田原の 2 名の研究者が 2021 年 2 月 5 日に発表予定である。(※2020 年 12 月記載)

発表者	所属	講演題目
坂本 高秀 (1 期生)	東京都立大 (現所属)	光時間周波数信号処理による超高速光計測
田原 樹 (2 期生)	情報通信研究機構	自然な光のカラー多重ホログラフィックイメージング法

② JST フェア

JST フェアは科学技術による未来の産業創造展であり、将来の社会・経済に貢献する革新的な基礎研究事例を展示している。光極限からは田原、上村、中川の 3 名の研究者が出展した。各自の来訪者数は 50~100 名であり、来訪者の約半数と名刺交換や個別相談を実施した。3 名は大学の研究者であるが、企業の方との議論を通じて今後の研究開発における課題とニーズの確認を確認することができた。また、企業の方は最新の光技術動向を知る良い機会となった。

日付	発表者	所属	出展題目
2017/8/31-9/1	田原 樹	関西大学 (2017 年所属)	3 次元画像のレンズレス瞬時記録とマルチカラー化
	上村 直	九州工業大学 (2017 年所属)	生体組織や細胞の力を診断する新規ナノプローブの開発
2018/8/30-31	中川 桂一	東京大学	世界最速カメラの開発と未踏領域の開拓

③ ナノテク展

Nano tech 展 (国際ナノテクノロジー総合展・技術会議) は、ナノテク分野における国内有数の大規模な展示会であり、田原、坂本の 2 名の研究者が JST ブースにて、さきがけ研究の内容をパネル展示した。JST フェアと同様に多数の来訪者から個別相談や質問を受け、出展者・来訪者とも相互に同様の効果を上げることができた。

日付	発表者	所属	出展題目
2018/2/15-17	田原 樹	関西大学 (2017年所属)	レンズレスで自然光の高速記録を実現するマルチカラーホログラムセンシング技術
2019/1/30-2/1	坂本 高秀	情報通信研究機構 (2019年所属)	超高速光オシロスコープ

④ サイエンスアゴラ

サイエンスアゴラとは、あらゆる人に開かれた科学と社会をつなぐ広場の総称であり、異なる分野・セクター・年代・国籍を超えた関係者をつなぎ、さまざまな人達が各地で主体的に推進する活動の広場です。このような広場に集まる一般の人々、特に将来を担う高校生のサイエンスリテラシー向上を目的とした講演会を開催しました。2017年は「越境する光科学」として、物理、生物、化学の分野で光を用いた新しい取り組みにチャレンジされておられる3名の講師に最先端の研究をわかりやすく講演いただきました。3名の講師の中には光極限1期生の小川研究者がおり、さきがけの研究テーマである「人に優しく、がんに厳しい」光免疫治療についての講演があった。

日付	発表者	所属	講演題目
2017/11/26	小川 美香子	北海道大学	光ガン治療に取り組む

⑤ All about photonics での光極限の公開シンポジウム (WEB)

All about photonics は、光デバイス・レーザー関連製品が一堂に会する Inter0pto、深紫外(UV)市場・LED応用の最先端技術・製品を中心テーマに据えた LED Japan、最先端の画像処理・イメージング技術が集結する Imaging Japan の3つの展示会から構成されている。さきがけ光極限領域の成果を幅広い Photonics 分野の方々に向けて発信するため、展示会に関連のセミナーとして、光極限のWEB公開シンポジウムを2020年12月10日に開催した。また、前日には展示会場内で植田総括により、「光極限」および公開シンポジウムの宣伝を兼ねたセミナーも開催した。講演者は展示会に関連のあるテーマで、多くの研究者に講演してもらうため、これまでの光極限セミナーやシンポジウムで講演の無かった方々を中心に構成した。参加者数は127名であり、光極限およびJST以外からの参加も多くあった。大学や公的研究機関と企業から参加者数は半々であり、中には中小企業からの参加者もいて、基礎研究での成果を一般に知ってもらうには良い機会であった。

発表者	所属	講演題目
倉持 光	分子科学研究所	極限分光計測で観る光反応
石井 あゆみ	桐蔭横浜大学 (2019年所属)	見えない光を捉える有機無機ハイブリットデバイス
中川 桂一	東京大学	高速度イメージングのバイオ・医療分野への応用
南川 丈夫	徳島大学	ラマン散乱分光法で実現する生体機能診断
田原 樹	情報通信研究機構	自然な光の瞬間マルチカラー多重ホログラムセンシング
堀崎 遼一	東京大学	コンピュータショナルイメージング

光 | 極 | 限

公開シンポジウム

令和2年 12/10(木) 10:30-16:10

さきがけ「光極限」(光の極限制御・積極利用と新分野開拓)は科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業における研究領域の一つであり、本質的な限界を持たないといわれる光を使って限界に挑戦し、それを越えようとする研究を推進しています。本公開シンポジウムでは、さきがけ「光極限」の研究者により、極限的な分光計測・デバイスからバイオ・診断応用、さらに計算機を用いた光の画像処理技術についてわかりやすく説明してもらいます。光技術や光応用製品に興味のある方々の聴講をお待ちしています。

プログラム	10:30-10:40	10:40-11:20	11:20-12:00	13:00-13:40	13:40-14:20	14:40-15:20	15:20-16:00	16:00-16:10
	さきがけ「光極限」研究総括 開会挨拶 植田 憲一 (電気通信大学)	極限分光計測で観る光反応 倉持 光 (分子科学研究所)	見えない光を捉える有機無機ハイブリットデバイス 石井 あゆみ (桐蔭横浜大学)	高速度イメージングのバイオ・医療分野への応用 中川 桂一 (東京大学)	ラマン散乱分光法で実現する生体機能診断 南川 丈夫 (徳島大学)	自然な光の瞬間マルチカラー多重ホログラムセンシング 田原 樹 (情報通信研究機構)	コンピュータショナルイメージング 堀崎 遼一 (大阪大学)	クロージング
極限分光とデバイス								
バイオ・診断応用								
画像処理技術								

開催形式: Zoom Webinar (参加費無料)、事前申込: 要 参加登録

主催: 国立研究開発法人 科学技術振興機構 お問い合わせ先 E-mail: presto-frontier@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/kisoken/sympo/frontier20201210.pdf>

(4) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況

代表者で1千万円以上の例を以下に示す。

●小川 美香子（代表者）

戦略的創造研究推進事業／CREST「革新光」 279,600 千円 [2019年度～2024年度]

「光を用いたヒト生体深部での分子制御」

●植竹 智（代表者）

科学研究費助成事業 基盤研究(S) 200,590 千円 [2019年度～2023年度]

「純レプトン原子のレーザー分光による電弱統一理論精密検証と新物理探索」

●井上 圭一（代表者）

科学研究費助成事業 学術変革領域研究 (B) 121,900 千円 [2020年度～2022年度]

「生体分子工学と低物理エネルギーロジスティックスの融合による次世代非侵襲深部生体操作」

●磯村 彰宏（代表者）

戦略的創造研究推進事業／さきがけ「多細胞」40,000 千円 [2020年度～2023年度]

「動的シグナル勾配と生物時計による組織構築原理の解明」

●松永 隆佑（代表者）

戦略的創造研究推進事業／さきがけ「トポロジー」40,000 千円 [2020年度～2023年度]

「トポロジカル半金属を用いたテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス素子開拓」

●岩崎 孝之（代表者）

東レ科学技術研究助成 15,000 千円 [2020年度～2022年度]

「Sn と Ge を用いたダイヤモンド量子光源の開拓」

●沖野 友哉（代表者）

科学研究費助成事業 基盤研究 (B) 13,700 千円 [2020年度～2022年度]

「波長可変円偏光数サイクルパルスを用いた分子内超高速電荷・水素移動過程の解明」

●小澤 祐市（代表者）

科学研究費助成事業 基盤研究 (B) 12,600 千円 [2019年度～2021年度]

「空間座標変換に基づく高速3次元レーザー顕微鏡法の確立」

●石井 あゆみ (代表者)

JST 知財活用支援事業スーパーハイウェイ 3,000 千円 [2021 年 10 月～2022 年 9 月]

「有機-無機ハイブリッド型高感度光センサーにおける光応答速度の改善に向けた検討」

8. 総合所見

今世紀のノーベル賞受賞者の多くが光化学を基礎にして業績を上げたことを見るように、電子の時代だった20世紀に続いて、21世紀は光科学の時代になっていることは衆目の一致するところである。実際、この間、ナノテク、バイオ、生物へと科学技術の先端研究が広がる中で、それらを支え続けた光科学分野の基盤的役割はあらゆる分野の黒子的存在としてもその重要性を増し続けた。

本領域が募集を開始した2015年当時、光科学分野、中でもレーザー研究の世界では10の18乗という数字が最先端研究を象徴していた。超高出力レーザーのピークパワーは 10^{18} Wを超えるペタワット (PW) の時代に、超短パルスレーザーではパルス幅がフェムト秒 (10^{-18} s) を切るようになった。 10^{-18} の精度を持った光格子時計や光コム技術が開発され、物理定数が本当の意味で一定かどうか議論されるまでになった。まさに光を使った極限的な研究が可能になっていたのである。

そのような時代の空気を反映して、さきがけ「光極限」は始まった。ただし、これらの極限技術の多くは巨大科学として展開するべきもので、若手研究者の個人研究を支援するさきがけ研究では困難な課題である。しかし、極限を目指す研究も、結局は普遍的な真理を求めるといふ精神は共通で、普遍に通じてこそ極限には意味がある。さきがけ「光極限」では、普遍的な真理に到達する入り口は、どこにでもあって、研究上の本質的な課題を根本的に解決するものならば、何でも受け入れるという精神を公表して研究提案を募集した。そのためには、科学も技術も区別はしない、研究手法は研究対象が選ぶものであって、研究者が自分の技術にこだわっているようでは本物の研究はできないという採択方針も公表した。

結果、第1期は276名、第2期は163名、第3期でも111名という多数の応募があり、その中から総計で36名の優れた若手研究者が出した研究提案を採択した。結果、光はすべての学術研究の下支えという現実を文字通り反映して、多種多様な分野をそれぞれ代表する研究者が集まったグループとなった。同じ領域で競争し合うのとは異なり、各研究者は自分の研究を表現する以上に、自身が所属する学問分野の重要性を説得できなければ、十分な価値を認められない環境であった。そのような環境は普段は経験できない切磋琢磨の場を提供することに成功した。領域会議の発表も、進捗状況報告ではなく、各自、分野の権威者として俯瞰した視点から学術的な背景、現状、先端研究の状況を報告し、その中で、自身の研究の位置を語るようにした。進捗状況報告に比べて、発表の準備にずいぶん時間がかかることになったが、やがてそれにも慣れて雰囲気ができると、本当の学問的討論を楽しむようになった。

本領域の特徴は、領域会議などの質疑応答でも、領域アドバイザーもあまり口を挟む必要がないほど、さきがけメンバー同士の質疑応答が活発だったことだ。分野外からの急所を突いた質問は研究者にとってもっとも厳しいと言うことを若手研究者は実感した。自分たちの分野では常識とされていることも、他分野から見れば、ある種の暗黙の合意の上で成立しているもので、その基礎となるところを突かれると、改めて検討し直さないことに気づかされ

る。学術研究は分野毎に分離されているべきものではなく、自然という対象に立ち向かう切り口のの違いに過ぎないと分かったところから、異なった視点を持った研究者と研究ネットワークが始まった。領域内共同研究が自然発生的に大量に発生したのも、本領域の特徴を反映している。

領域運営については、何も問題を感じるころはなかった。優れた人材を選べば、余計な口出しは不要であった。研究に自分の人生をかけているさきがけメンバー以上に、自分の研究を考えている人はいない。ましてさきがけメンバーの多くは若く、彼らは安定な研究職を獲得できるかどうかを、このさきがけ研究の成果にかけている人も多かったので、我々は彼らがやりやすいようにサポートしてあげればよかった。このさきがけ領域のメンバーはすでに一人前の自立した研究者で、中には世界リーダー研究者もたくさんいた。むしろ、アドバイザーを含めて我々は、毎回の会合を勉強の場として楽しんでいただほどである。研究とはどのような質を獲得したかで評価される特殊な仕事である。そのためには、その研究を通じて、研究者がどれだけ成長したかが重要なポイントとなる。

さきがけ研究は若手研究者にとって初めてのプロジェクト研究かもしれない。自分自身で研究対象を定め、比較的多額の研究予算を使って実施する研究では、臨機応変に研究の道筋を選択することも求められる。それは当初の計画を否定し、よりよい計画に変更することも必要な本物の研究である。予定終了というような研究は意味がない。研究の発展とともに研究課題が要求することが明確になり、新たな問題を解決する必要があるのが、本当のプロジェクト研究である。その意味で、さきがけ研究の期間内に、新たな研究課題、方向性をどれだけ見いだすか、ということも重要であった。単純な仕事とは異なり、困難に立ち向かう際に、戦線を拡大して解決するのがプロジェクト研究である。なぜなら重要な課題を見いだせば、研究者の能力はいくらでも高まり、新しい能力は相互に関係し合っ身についていくものだから。さきがけが人材育成の場と定義しているのだから、そのために最適な場を提供することにした。

以上の考えは、研究総括たる植田自身の経験に由来している。若い頃からレーザー核融合や重力波天文学のような巨大プロジェクト研究に従事して成長してきた。癌研究や核融合研究のような国家的プロジェクト研究は、誰が考えても重要な課題を掲げて始まったが、どうすれば解決できるかは分からない難題をテーマとした。そのため、世間の受け取り方とは逆に、プロジェクト研究はその都度、課題を発見し、新たな道筋を見いだす努力を研究者に訓練した。プロジェクト研究は人材育成の場でもあったという経験を得た。研究でもっとも困難なのは、価値ある研究対象を見いだすことで、失敗する研究の多くは達成しても大したことのない課題に取り組んでいた結果である。その点、プロジェクト研究は達成目標の価値については客観的評価がなされているので、その達成のためにあらゆる努力をするだけに集中することが許される。同じように、さきがけ研究では周りを気にすることなく、研究に集中しながら、自己成長すればよい。それでこそ、さきがけは道場となり得ると考えた。

以上のような考えから、さきがけ「光極限」では、本来的には達成が困難な課題も積極的

に採用した。さきがけの成果たる人材育成の結果は、3年半の期間内に目標を達成することではなく、そこで培った基礎を基に、10年、15年後にどのような研究者に成長するかで測定されるべきものだからである。中には、「よく採用したな」と研究者仲間から言われた提案も毎年あった。しかし、さきがけ研究者はみんな人生をかけてこのさきがけには応募しており、本気でこれからの研究人生をかける決意にあふれていた。実際、とても糸口すら見つからないだろうと想像した研究テーマも、着実にその方向に歩み出し、それどころか、その過程で発見した従来の研究者が陥っていた隘路を評価し、より基礎的な問題の解決法に光を与えるなど、驚くほどの進歩を見せた。研究総括として、研究者を信じ切っただけの重要性を学んだ経験をたくさんした。

そのような結果から、本さきがけ領域が学術研究の広い分野に大きな成果を生み出したことは間違いない。同時に、広い範囲を代表する研究者が一堂に会し、他分野の才能ある研究者を目の当たりにすることで刺激を受け、お互いの長所を生かした研究ネットワークを自発的に形成した。このような分野横断的研究ネットワークが形成された結果、社会的に波及効果の多い研究を生み出したことも顕著な成果といえるだろう。

さきがけ「光極限」メンバーからはさきがけ期間が終了することを惜しむ声が多数あり、今後とも、この領域メンバーの研究ネットワークを維持していく活動を続ける予定である。先日、第3期生の講演を中心に最終の公開シンポジウムを開催したが、一般向けに用意した講演はどれもすばらしく、領域メンバーで一座を組んで、全国に講演巡業をできるほどだと言ったところ、私も一座に参加させてほしいとさきがけOBからの声が相次いだ。世の中でもっとも刺激的な勉強会は、今後とも続くと確信している。

以上