

戦略的創造研究推進事業  
—チーム型研究(CREST)—

研究領域

「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」

研究領域中間評価用資料

研究総括：北山 研一

2020年3月



## 目 次

1. 研究領域の概要 .....	1
(1) 戦略目標 .....	1
(2) 研究領域 .....	6
(3) 研究総括 .....	6
(4) 採択研究課題・研究費.....	7
2. 研究総括のねらい.....	9
3. 研究課題の選考について.....	10
(1) 選考方針 .....	10
(2) 選考結果 .....	11
4. 領域アドバイザーについて.....	15
5. 研究領域のマネジメントについて.....	17
6. 研究領域としての戦略目標の達成に向けた状況について.....	32
7. 総合所見 .....	46

## 1. 研究領域の概要

### (1) 戦略目標

「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」

#### 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。

- ① 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
- ② 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

- ③ 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
- ④ 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

- 3. 「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。
  - 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。
  - 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。
  - 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

- ① 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。

- ② 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。

### ③ 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立する。具体的には、時間・空間の二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。

### ④ 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

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ニック結晶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」に係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

科学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科学やシステム科学、光・量子科学の活用を十分に図る必要がある。

### 9. その他

- 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。
- 「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。
- 「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

「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」  
(2015 年度発足)

本研究領域では、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「破壊的イノベーション（従来の価値を破壊し、全く異なる価値基準で技術を生み出すイノベーション）」を創造するとともに、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みます。これにより、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光制御技術による通信・ネットワーク技術の開発、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理学と融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指します。こうした新たな光機能や光物性の解明・制御・利活用を通じて、環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療・セキュリティ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・コスト等の様々な側面からの要請に応える高次な社会・産業インフラの形成につなげます。

本研究領域の推進にあたっては、単一分野の技術の深掘りに留まることなく、周辺の技術分野を俯瞰し、異なる分野を横断的に融合した新たなパラダイムを切り開く研究開発を進めます。

## (3) 研究総括

北山 研一

(就任時 大阪大学工学研究科 教授、  
現在 光産業創成大学院大学 特任教授)

## (4) 採択研究課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 上段：中間評価時 下段：採択時	研究課題	研究費*
2015年度	石川 顕一	東京大学・教授	アト秒反応ダイナミクスコントローラーの創生	321
	大岩 顕	大阪大学・教授	電子フォトンクス融合によるポアンカレインターフェースの創製	331
	永井 健治	大阪大学・教授	超解像「生理機能」イメージング法の開発と細胞状態解析への応用	350
	納富 雅也	日本電信電話株式会社	集積ナノフォトンクスによる超低レイテンシ光演算技術の研究	349
	古澤 明	東京大学・教授	極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究	368
	水本 哲弥	東京工業大学・教授	磁性-金属-半導体異種材料集積による待機電力ゼロ型フォトリックルータの開発	240
2016年度	岩坂 正和	広島大学・教授	魚のバイオリフレクターで創るバイオ・光デバイス融合技術の開発	263
	岩谷 素顕	名城大学・准教授	深紫外領域半導体レーザーの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究	310
	金光 義彦	京都大学・教授	ハロゲン化金属ペロブスカイトを基盤としたフレキシブルフォトンクス技術の開発	243
	上妻 幹旺	東京工業大学・教授	ポケットサイズレーザー冷却システムの開発	114
	矢花 一浩	筑波大学・教授	光・電子融合第一原理計算ソフトウェアの開発と応用	216

2017 年度	石田 康博	理化学研究所・チームリーダー	殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用	260
	成瀬 誠	東京大学・教授	ナノ光学と光カオスを用いた超高速意思決定メカニズムの創成	298
	野田 進	京都大学・教授	変調フォトニック結晶レーザーによる 2 次元ビーム走査技術の開発	250
	福田 大治	産業技術総合研究所・研究グループ長	単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と細胞機能ヴィジュアライザの創成	226
	藤 貴夫	豊田工業大学・教授	超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用	290
			総研究費	4,429

\*研究費：2018 年度上期までの実績額に 2018 年度下期以降の計画額を加算した金額

通常、CREST プロジェクトでは研究開始後 3 年経過時に課題中間評価を実施しているが、本研究領域では 1 年早め 2 年経過後に課題中間評価を実施した。3 年半の研究期間が残っている段階で評価を行うことで、よりダイナミックなチャレンジを可能にするためである。また大きな成果が期待できる課題には加速資金を与え、さらに大きな成果を狙うためである。

なお 2015 年度、2016 年度採択課題と 2017 年度採択で研究費の差があるのはこの段階で 2017 年度中間評価が終了していないためである。また上妻課題は 2017 年度、JST 未来社会創造事業の大規模プロジェクト型に採択となり 2018 年 3 月で終了としたため研究費が少なくなっている。

## 2. 研究総括のねらい



図2-1 社会が抱える様々な問題と最先端 ICT 技術（総務省資料）

すでに本格的 IoT 時代を迎えあらゆるモノがネットワークにつながる事が実現されている。さらにそれを推し進め、例えば生活即ち健康・医療、暮らしの安心・安全、国土のインフラ、社会システム、産業をセンシング、ネットワーク、クラウド、ビッグデータ等を、光を使って観る&繋ぐことで、図2-1に示す問題に取り組むとき、新たなサービスモデルが創造でき、旧来のサービスを根底から覆す破壊的なイノベーションが生まれると考える。

本研究領域が目指すものは、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「破壊的イノベーション」を創造し、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理を解明することと、新たな光機能や光物性の解明・制御・利活用において環境、エネルギー、モノづくり、情報通信、健康・医療、セキュリティ等多彩な分野を支え、高次の社会・産業インフラを形成することにある。

### 3. 研究課題の選考について

#### (1) 選考方針

提案者には、自らが基礎研究と実用化の間に横たわる「死の谷」を越える先駆けとなる心構えと実行力を求めた。本研究領域が終了するまでに世界をリードするシステムの構築の検証が可能になることも期待した。

想定する研究例としては、ナノスケール領域における微細光加工・計測技術開発や新物質創製として、理論的アプローチによる新たな物質・材料の設計、生物固有の生態構造に学ぶ光制御・光センシング技術がある。また非侵襲 in vivo センシング、イメージング手法の高度化では高精度・高セキュリティバイオメトリクス技術、非生体物質の光照射下での相互作用機構解明が挙げられる。さらに高分解能な電子状態の観察手法の構築、具体的には固体からの電子放出等の超高速動的過程の観測・制御、極短パルス幅コヒーレント光制御技術、光応答や光化学反応に関する制御技術があろう。加えて究極の時空間計測に向けた光周波数コム技術、レーザー加速技術の構築、物質中電子のアト秒精度での自在操作を可能にする技術開発を想定している。もちろんこれらの例にとらわれることなく、さまざまな分野からの革新的・挑戦的な研究開発の提案を望んだ。

研究体制としては単一分野の技術の深掘りに留まることなく、周辺の技術分野を俯瞰し、異なる分野を横断的に融合した新たなパラダイムを切り開く研究開発を推進することとした。具体的には提案に当たっては以下のことに留意するようお願いした。

- 必ず提案者が将来的に見据えるシステムの出口イメージを提示していただくこと
- 研究提案者自身の経験や知識に裏打ちされた研究構想が達成されることで、将来の社会や産業に対してどのような貢献、方向性、ビジョンを指し示せるのか、より具体的かつ説得力のある形で述べること
- 研究代表者の研究構想実現に向けて、それを補完する異なる技術分野の研究者・技術者等との将来ビジョンの共有や積極的な対話・ニーズ抽出、そしてチーム全体の共同研究を推進すること
- チーム編成にあたってはこの点も留意されつつ、チームおよび個々のグループが具体的にどのようなアプローチをとるのかについて提示すること

加えて研究推進にあたっては、大学や国研等に留まらず、応用サイド（産業界や医療関係者等）の技術力や知見を活用し得ることが望しいとした。

## (2) 選考結果

3年間にわたる募集期間で210件と非常に多くの応募があり、16件の課題を採択した。採択率は8%以下と非常に狭き門であった。各年度の採択状況は以下の通りである。

初年度である2015年度の公募では、次世代フォトニクスのような様々な分野から99件の応募をいただき、10名の領域アドバイザーとともに公平かつ厳正に書類選考を行い10件の面接課題に絞り込み、最終的に以下の6件を採択した。

- 石川 顕一（東京大学大学院工学系研究科 教授）「アト秒反応ダイナミクスコントローラーの創生」
- 大岩 顕（大阪大学産業科学研究所 教授）「電子フォトニクス融合によるポアンカレインターフェースの創製」
- 永井 健治（大阪大学産業科学研究所 教授）「超解像「生理機能」イメージング法の開発と細胞状態解析への応用」
- 納富 雅也（日本電信電話（株）物性科学基礎研究所 ナノフォトニクスセンタ長）「集積ナノフォトニクスによる超低レイテンシ光演算技術の研究」
- 古澤 明（東京大学大学院工学系研究科 教授）「極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究」
- 水本 哲弥（東京工業大学大学院理工学研究科 教授）「磁性-金属-半導体異種材料集積による待機電力ゼロ型フォトニックルータの開発」

結果として競争率は15倍を超える難関となった。選考に当たって、応募提案の新規性や独創性、領域の研究方針との適合性、チーム編成、成果が近い将来もたらす社会的インパクトを勘案し、さらには研究代表者が基礎研究と実用化の間に横たわる「死の谷」を越える道筋と覚悟を示している提案を選んだ。

採択されなかった提案の中にも、目標が達成されればセキュリティ、健康、医療、食の安全などの身近な問題の解決につながる実用上重要な提案や、未解明の学理への意欲的な挑戦など数多くあったが、コア技術の新規・独創性や優位性が明確ではない、期待される社会へのインパクトが描き切れていない、予備実験のデータが十分でないため説得力を欠く等の理由により不採択とした。

2年目となる2016年度の公募では、54件の応募があった。11名の領域アドバイザーとともに公平かつ厳正に書類選考を行い、11件の面接課題に絞り込み、最終的に以下の5件を採択した。

- 岩坂 正和（広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所 教授）「魚のバイオリフ

レクターで創るバイオ・光デバイス融合技術の開発」

- 岩谷 素顕（名城大学理工学部 准教授）「深紫外領域半導体レーザの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究」
- 金光 義彦（京都大学化学研究所 教授）「ハロゲン化金属ペロブスカイトを基盤としたフレキシブルフォトニクス技術の開発」
- 上妻 幹旺（東京工業大学理学院 教授）「ポケットサイズレーザー冷却システムの開発」
- 矢花 一浩（筑波大学計算科学研究センター 教授）「光・電子融合第一原理計算ソフトウェアの開発と応用」

2年目も競争率は10倍を超える難関となった。選考に当たっての方針に変更はなく、応募提案の新規性や独創性、研究領域の研究方針との適合性、チーム編成、成果が近い将来もたらす社会的インパクトを勘案し、さらには基礎研究と実用化の間に横たわる「死の谷」を越える道筋と覚悟が示されている提案を選んだ。採択課題の中には前年度に続けて応募頂き、採択した課題もある。不採択とした提案の中にも、目標が達成されればセンシング、バイオ・医療などの身近な問題の解決につながる実用上重要な提案や、メタマテリアル、高強度光科学、アト秒科学の学理への意欲的な挑戦などもあった。一方、コア技術の新規性・独創性や既存技術に対する優位性が明確ではない、期待される社会へのインパクトが描き切れていない、チーム編成が偏り拡がりに欠く等の理由により不採択とした。

最終年度となる2017年度の公募では、前年度よりも多い57件の応募を頂いた。11名の領域アドバイザーとともに公平かつ厳正に書類選考し、13件の面接課題に絞り込み、最終的に単一光子分光素子開発、赤外超短パルス光源開発、レーザー光の高速ビームステアリング技術開発、新たなフォトリック結晶材料、超高速意思決定に関する以下の5件を採択した。

- 石田 康博（理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー）「殆どが水よりなる動的フォトリック結晶の開発と応用」
- 成瀬 誠（採択時情報通信研究機構経営企画部 プランニングマネージャー、現在東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）「ナノ光学と光カオスを用いた超高速意思決定メカニズムの創成」
- 野田 進（京都大学大学院工学研究科 教授）「変調フォトリック結晶レーザーによる2次元ビーム走査技術の開発」
- 福田 大治（産業技術総合研究所計量標準総合センター 研究グループ長）「単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と細胞機能ヴィジュアルライザの創成」
- 藤 貴夫（採択時自然科学研究機構分子科学研究所 准教授、現在豊田工業大学 教授）

「超短赤外光パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用」

結果として競争率は3年連続して10倍（2015年度は16倍超）を越える難関となった。選考に当たっては一貫して新規性や独創性、チーム編成、成果が近い将来もたらす社会的インパクトを勘案し、さらには基礎研究と実用化の間に横たわる「死の谷」を越える道筋と覚悟が示されている提案を厳選した。採択されなかった提案の中にも、目標が達成されれば環境問題、バイオ・医療などの身近な問題の解決につながる実用上重要な提案もあった。しかしながら、既存技術に対する優位性が明確ではない、期待される社会へのインパクトが描き切れていないなどの理由により採択には至らなかった。

最終年度採択した5課題を含む16件の研究課題により、他の研究領域との連携を推進すると共に、世界の第一線の研究グループとの交流を通じ、世界をリードする国際的共同研究体制の構築を目指す。



図 2-2 次世代フォトニクスの研究領域

図 2-2 は文部科学省資料による次世代フォトニクスの研究領域に採択課題をマッピングしたものである。広範な領域をカバーすることができたと考えている。

図 2-3 は横軸を応用分野、縦軸を研究分野とした採択課題のポートフォリオである。広範な研究分野で幅広い応用分野に展開する布陣を整えることができたと考えている。

なお、2年目の2016年度採択課題である上妻 幹旺（東京工業大学理学院 教授）「ポケットサイズレーザー冷却システムの開発」課題は JST 未来社会創造事業の大規模プロジェ

クト型の技術テーマ「自己位置推定機器の革新的な高精度化及び小型化につながる量子慣性センサー技術」において「冷却原子・イオンを用いた高性能ジャイロスコープの開発」として2017年度採択となり、本研究領域の研究期間は2018年3月で終了した。



図2-3 採択課題のポートフォリオ

#### 4. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名 (専門分野)	現在の所属	役職	任期
阿山 みよし (視覚科学、 色彩工学、 感性情報工学)	宇都宮大学 大学院工学研究科	科長・教授	2015年5月～2023年3月
荒川 泰彦 (電子工学)	東京大学 生産技術研究所	教授	2015年5月～2016年4月
江馬 一弘 (光物理学・光物性)	上智大学 理工学部	教授	2015年5月～2023年3月
小山 二三夫 (光エレクトロニク ス、半導体レーザー)	東京工業大学 未来産業技術 研究所	所長/教授	2016年6月～2023年3月
高松 哲郎 (光を用いた生体計測 と制御)	京都府立医科大学 医学フォトニクス 講座	特任教授	2015年5月～2023年3月
田中 耕一郎 (光物性、 レーザー分光学、 テラヘルツ光学)	京都大学 大学院理学研究科	教授	2016年6月～2023年3月
萩本 和男 (光通信システムの研 究開発および実用化)	NTT エレクトロニ クス株式会社	フェロー	2015年5月～2023年3月
原 勉 (光工学、 光情報処理)	浜松ホトニクス 株式会社	常務取締役 中央研究所長	2015年5月～2023年3月
原田 慶恵 (生物物理学)	大阪大学 蛋白質研究所	教授	2015年5月～2023年3月
三沢 和彦 (レーザー分光学・ 光物性物理学)	東京農工大学 大学院工学研究院	教授	2015年5月～2023年3月

緑川 克美 (量子エレクトロニクス、レーザー工学、非線形光学)	理化学研究所 光量子工学研究センター	センター長	2015年5月～2023年3月
森 勇介 (機能性結晶工学)	大阪大学 大学院工学研究科	教授	2015年5月～2023年3月

本領域では光物性物理に軸足を置き、幅広い応用展開をスコープにしている。核となる物性物理学分野、デバイス分野に加え、光通信に代表される情報工学分野、応用の広がりを期待したい医療・バイオ分野、さらには色彩工学の専門家にも参画いただき、以下の10名のアドバイザーでスタートした。

光物性物理 2名：江馬 AD、三沢 AD  
 デバイス 3名：荒川 AD、緑川 AD、森 AD  
 情報工学 2名：萩本 AD、原 AD  
 生体バイオ 2名：高松 AD、原田 AD  
 色彩工学 1名：阿山 AD

2016年度となりCREST「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」の研究総括に荒川アドバイザーが就任され本領域のアドバイザーを退任されたことを受け、デバイス分野として小山 AD に就任いただいた。また物性物理は本研究領域のコアであり田中アドバイザーにも就任いただいた。現行の体制は以下の11名である。

光物性物理 3名：江馬 AD、田中 AD、三沢 AD  
 デバイス 3名：小山 AD、緑川 AD、森 AD  
 情報工学 2名：萩本 AD、原 AD  
 生体バイオ 2名：高松 AD、原田 AD  
 色彩情報 1名：阿山 AD

なお、死の谷を超え産業化を目指すにあたっては産業界からのアドバイスも重要であり、NTTエレクトロニクス・萩本アドバイザー、浜松ホトニクス・原アドバイザーに参画いただいている。

## 5. 研究領域のマネジメントについて

### (1) 研究課題の進捗状況の把握と評価

進捗確認は年1回開催する領域会議で実施している。初年度は新規採択課題のみであったため、キックオフミーティングとして研究計画を発表頂き議論と共有を行なったが次年度からは新規課題より研究計画を、既存課題より進捗報告をそれぞれ発表頂き、全員で議論している。また第2回領域会議からは研究計画、進捗報告の口頭発表に加え課題間の連携強化を目的にポスター発表を実施している

領域会議、サイトビジットではアドバイザーとともに研究進捗を確認すると同時に今後の展開の指導、助言を実施している。

初年度採択の石川課題はアト秒レベルの反応制御を産業界から見てより魅力的な材料で検討するよう指導した。大岩課題は長距離量子中継器としての性能予測の定量性を向上するよう助言した。永井課題は細胞情報熱化学の創生という大きな目標があり達成にむけ議論を継続している。納富課題は光-電気変換の特徴を生かしたニューラルネットワークへの挑戦の提案があり支援をすることにした。古澤課題は通信波長帯への展開を助言したことを受け検討を開始した。水本課題は中間評価時にゴールが見えにくくので是正するよう指導したことを受け、最終的な集積化イメージが明確になった。

2年目採択の岩坂課題はチーム構成を見直すよう指導し少しずつ成果が出始めている。岩谷課題は高性能な紫外線レーザーが実現しつつあり産業化のアプローチを進めるよう助言している。金光課題は基礎物性評価も重要だがフレキシブルフォトニクスへの展開も注力するよう指導している。上妻課題は1年半で終了したが採択テーマの継続検討をお願いした。矢花課題はユーザーの拡大が重要であり積極的プロモーションを指導した。

3年目採択の石田課題は新規な材料へ挑戦しているが、さらに有望な応用があると思われ議論を継続している。成瀬課題は新たな学術分野で先行しているが、基礎固めに注力するよう助言した。野田課題はLiDARシステムの実用化に向けた検討について産業界を巻き込んで展開するよう助言した。福田課題、藤課題とも有望な光イメージング技術を有していながらチーム内の連携にも問題があり、リーダーシップを発揮し生体資料での検証を加速するよう指導している。

## ① キックオフミーティング、領域会議

キックオフミーティング 2015年12月14日 T K P市ヶ谷コンファレンスセンター

新規課題：石川課題、大岩課題、永井課題、納富課題、古澤課題、水本課題

第1回領域会議 2016年12月20日 T K P市ヶ谷コンファレンスセンター

新規課題：岩坂課題、岩谷課題、金光課題、上妻課題、矢花課題

既存課題：大岩課題、石川課題、永井課題、納富課題、古澤課題、水本課題

第2回領域会議 2017年12月21日 T K P市ヶ谷コンファレンスセンター

新規課題：野田課題、石田課題、福田課題、藤課題、成瀬課題

既存課題：岩坂課題、岩谷課題、金光課題、上妻課題、矢花課題（2年目採択のみ）

ポスター発表：全16課題より計64件の発表

第3回領域会議 2018年12月12日 アキバプラザ

進捗報告：古澤課題、大岩課題、永井課題、納富課題、石川課題、水本課題、

岩坂課題、岩谷課題、金光課題、矢花課題、

石田課題、成瀬課題、福田課題、藤課題、野田課題

ポスター発表：全15課題より計73件の発表

第4回領域会議 2020年1月21日 A P市ヶ谷

進捗報告：古澤課題、大岩課題、永井課題、納富課題、石川課題、水本課題、

岩坂課題、岩谷課題、金光課題、矢花課題、

石田課題、成瀬課題、福田課題、藤課題、野田課題

ポスター発表：全15課題より計67件の発表

なお、領域としての研究代表者にできるだけ研究参加メンバーに参加するよう指導し、参加者数は112名であった。

ポスター発表は若手を中心に発表するようしており、若手交流の場としても有効に機能している。

## ② サイトビジット

領域会議と平行して適宜サイトビジットを開催し、研究進捗、研究体制、研究費執行状況確認、研究上、運営上の課題ヒアリングを実施している。領域アドバイザーにも同行いただき多角的なアドバイスを行なっている。

(2016年度)

年度前半は2015年度採択課題のサイトを訪問した。

石川課題 #1      2016年5月18日 東京大学本郷キャンパス 高松 AD  
古澤課題 #1      2016年5月18日 東京大学本郷キャンパス 高松 AD  
大岩課題 #1      2016年5月25日 大阪大学吹田キャンパス  
永井課題 #1      2016年5月25日 大阪大学吹田キャンパス  
水本課題 #1      2016年5月30日 東京工業大学大岡山キャンパス 萩本 AD  
採択翌年度の訪問であり、課題達成に向けた議論が中心であった。

年度後半は2016年度新規採択課題を訪問した。

岩坂課題 #1      2017年1月24日 広島大学イノベーションプラザ研究棟  
岩谷課題 #1      2017年2月21日 名城大学天白キャンパス  
金光課題 #1      2017年2月28日 京都大学宇治キャンパス  
第1回目の訪問であり、課題達成に向けた議論が中心であった。

さらに前半で訪問が叶わなかった2015年度採択の納富課題のほか、古澤、大岩、永井の3課題について2回目のサイトビジットを実施した。

納富課題 #1      2017年2月23日 NTT厚木研究開発センター 萩本 AD、原田 AD  
課題達成に向けた議論が中心であった。

古澤課題 #2      2017年2月23日 東京大学本郷キャンパス 萩本 AD、原田 AD  
通信波長帯への展開を助言した。

大岩課題 #2      2017年2月27日 大阪大学吹田キャンパス 原田 AD  
永井課題 #2      2017年2月27日 大阪大学吹田キャンパス 原田 AD

(2017年度)

前年訪問が叶わなかった 2015 年度採択の上妻課題のほか、水本、石川の 2 課題について 2 回目のサイトビジットを実施した。

上妻課題 #1 2017 年 4 月 5 日 東京工業大学大岡山キャンパス 萩本 AD

水本課題 #2 2017 年 4 月 5 日 東京工業大学大岡山キャンパス 萩本 AD

石川課題 #2 2017 年 4 月 6 日 理化学研究所和光キャンパス 萩本 AD、原 AD

石川課題は主たる共同研究者の理化学研究所・鍋川グループのサイトで開催した。

(2018年度)

年度前半はこれまで訪問が叶わなかった 2015 年度採択の矢花課題のほか、金光、岩坂の 2 課題について 2 回目のサイトビジットを実施した。

矢花課題 #1 2018 年 5 月 25 日 筑波大学計算科学研究センター 田中 AD

金光課題 #2 2018 年 6 月 1 日 京都大学宇治キャンパス

岩坂課題 #2 2018 年 6 月 5 日 中部大学 阿山 AD、高松 AD、原 AD、緑川 AD

岩坂課題は新たに参加する中部大学の太田グループのサイトで開催し今後の計画について議論した。

2017 年度新規採択 5 課題については前半に 2 課題、後半に 3 課題訪問した。

福田課題 #1 2018 年 5 月 22 日 産業技術総合研究所つくば中央 高松 AD、原田 AD

野田課題 #1 2018 年 6 月 21 日 京都大学桂キャンパス 小山 AD、三沢 AD、緑川 AD

藤課題 #1 2018 年 10 月 15 日 分子化学研究所明神大キャンパス 高松 AD、原田 AD

石田課題 #1 2018 年 10 月 22 日 理化学研究所 高松 AD、萩本 AD、原田 AD

成瀬課題 #1 2018 年 10 月 26 日 情報通信研究機構 萩本 AD、原田 AD

(2019年度)

初年度採択の 6 課題の訪問を実施した。

古澤課題 #3 2019 年 5 月 24 日 早稲田大学西早稲田キャンパス 原田 AD、緑川 AD

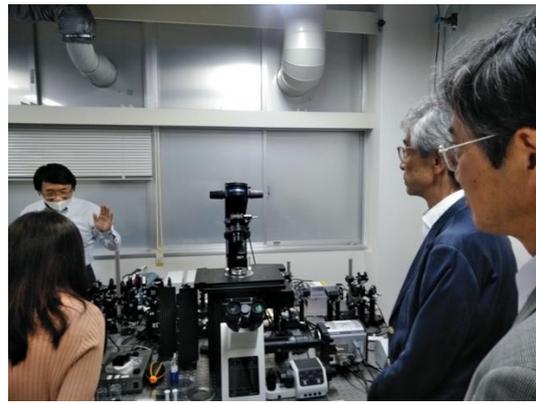
主たる共同研究者である青木グループのサイトで開催した。通信波長帯への展開を開始していることを確認した。

永井課題 #3 2019 年 6 月 3 日 大阪大学吹田キャンパス 高松 AD、原田 AD、森 AD

国際強化支援で開催したワークショップが若手派遣に発展し、課題達成に向け有効に機能していることを確認した。



永井課題サイトビジット開始にあたっての挨拶



永井チーム研究設備の紹介

納富課題 #2 2019年6月5日 NTT厚木研究開発センター 萩本 AD、三沢 AD  
進捗は順調であり、チーム内の連携も有効に機能していることが確認できた。

水本課題 #2 2019年6月10日 産業技術総合研究所つくば西事業所  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、原田 AD  
主たる共同研究者である池田グループのサイトで開催し、集積化試作を実施するスーパー  
クリーンルームも見学した。多種多様な要素デバイスの集積化イメージが明確になった。

大岩課題 #3 2019年6月11日 大阪大学吹田キャンパス  
高松 AD、原 AD、原田 AD、森 AD  
定量的で魅力的なスペックになるよう指導した。

石川課題 #3 2019年6月20日 北海道大学札幌キャンパス 三沢 AD  
#1は研究代表者のサイト（東京大学・本郷）で、#2は主たる共同研究者である鍋川グルー  
プのサイト（理化学研究所）で開催したのに続き#3は主たる共同研究者である関川グルー  
プのサイト（北海道大学）で開催した。3回のサイトに訪問を通じそれぞれの強みを生かし  
連携の良い研究チームであることが確認できた。

### ③ 課題評価と委託研究費の重点配分

CREST では研究開始後 3 年経過時に課題中間評価を実施しているが本研究領域では 1 年早め 2 年経過後に課題中間評価を実施している。3 年半の研究期間が残っている段階で評価を行うことで、よりダイナミックなチャレンジを可能にするためである。また大きな成果が期待できる課題は加速資金を与え、さらなる成果を狙う。

表 1 は研究課題ごとの採択金額と研究開始後の増額案件をまとめたもので、下線を施したものが中間評価を実施してのアクションである。なお、〈総括裁量経費〉は採択予算よりブールしたものであるのに対し、〈その他〉は国際強化支援などの諸制度の活用や、期中予算調整による純増を指す。

2017 年に中間評価を実施した 2015 年採択 5 課題のうち石川課題、永井課題については研究者の確保が課題達成に向け重要であり、2018 年度から最終年度に向け総括裁量経費より人件費を支援することにした。大岩課題については課題達成に向け重要な意味を持つ設備の支援を行なった。納富課題については後半に向け本格的な試作検証の段階に入るので試作費用と評価環境整備の支援を 2018 年と 2019 年にわたり支援した。古澤課題からは独自のアイデアを通信波長帯に展開する提案があり、実現すればインパクトは大きいため 2018 年と 2019 年にわたり支援した。

2018 年度は 2016 年度採択 5 課題のうち、2017 年度末で終了した上妻課題を除いた 4 課題の中間評価を実施した。岩谷課題は非常に高性能なデバイスを完成させつつあり、今後の評価を加速するため評価装置の支援を行なった。金光課題は課題達成においてより良い環境の整備が重要でありグローブボックスを支援した。矢花課題は第一原理計算に立脚した計算プログラムの研究を推進しているが、その普及にあたりプロモーションビデオの作成を支援した。

2017 年度採択 5 課題は中間評価の審査中であるが、成果の期待できるものは積極的に支援することを考えている。

表1 各課題の増額金額および内訳（単位：100万円）

採択年	課題	採択時	現在	増額	総括裁量経費*	その他*
2015年	石川課題	290	321	31	<b>16.00 人件費</b> 2.00 計算機使用料 3.00 ビーム安定化 1.00 多層膜鏡	1.90 Leibnitz WS (国際強化) 3.30 海外研究者招聘 (国際強化) 1.21 派遣Imperial College London (国際強化) 2.20 ビーム安定化 (予算調整)
	大岩課題	290	331	41	<b>12.00 波形発生装置</b> 5.20 TU Delft派遣 0.80 CNRS研究者招聘 7.00 高周波信号発生源、光源、材料費 3.36 デバイス試作、ノイズ対策	0.53 Leibnitz WS (国際強化) 1.23 Delft WS (国際強化) 3.50 TU Delft派遣 (国際強化) 2.50 NRC派遣 (国際強化) 5.26 マイクロ波発生源 (予算調整)
	永井課題	300	350	50	<b>14.49 人件費</b> 4.40 光学装置 1.50 半導体レーザー 2.30 電動ステージ 1.80 ワークステーション 0.51 消耗品 0.27 実験室整備	1.30 Leibnitz WS (国際強化) 1.81 Oxford WS (国際強化) 1.80 海外研究者招聘 (国際強化) 1.00 派遣University College London (国際強化) 2.00 派遣Oxford大学 (国際強化) 4.95 修理費、部品交換費 (大阪北部地震) 1.92 人件費 (予算調整) 2.94 紫外可視分光測定装置 (予算調整) 7.29 LED光源、対物レンズ (予算調整)
	納富課題	290	349	59	<b>27.96 光回路測定</b> <b>12.04 試作費用</b> 8.00 材料費、機械学習サーバ	11.00 高速信号発生源 (予算調整)
	古澤課題	290	368	78	<b>34.62 通信波長帯検討</b> 10.05 冷凍機内配線、スパッタターゲット 3.00 パラメトリック発振器 3.00 レーザ修理 1.00 追加実験、修理支援	1.07 Leibnitz WS (国際強化) 1.70 海外研究者招聘 (国際強化) 4.00 オンシロ、パワーメーターなど (中間評価) 5.70 測定装置、スパッタターゲット (予算調整) 13.70 ノイズ低減、レーザ修理 (予算調整)
	水本課題	240	240	0		
2016年	岩坂課題	260	263	3		1.82 海外研究者招聘 (国際強化) 0.94 人件費、物品費 (ダイバーシティ)
	岩谷課題	260	310	50	<b>12.00 オートブローバ</b> 2.40 海外研究者招聘 0.50 EU共同研究 3.50 ターボ分子ポンプ 1.00 ドライポンプ	0.55 Leibnitz WS (国際強化) 7.00 Berlin WS (国際強化) 5.70 海外研究者招聘 (国際強化) 1.00 派遣Claude-Bernard-Lyon-I (国際強化) 5.50 EU共同研究 (国際強化) 3.00 材料費 (成果展開) 8.00 オンシロ、量子効率評価、分析 (予算調整)
	金光課題	220	243	23	<b>8.70 グローブボックス</b> 2.00 反射型顕微分光評価システム	0.32 Leibnitz WS (国際強化) 1.30 海外研究者招聘WS (国際強化) 10.80 光学研磨装置、測定システム (予算調整)
	上妻課題	260	114	▲146	0.34 材料費 ▲146 2017年度で終了	
	矢花課題	210	216	6	<b>5.00 ビデオ作製と会議開催費</b>	0.90 Leibnitz WS (国際強化)
2017年	石田課題	250	260	10		1.66 海外研究者招聘WS (国際強化) 8.55 コーティング装置、ステージ (予算調整)
	成瀬課題	248	298	50	1.31 海外研究者招聘 0.70 海外研究者赴任 7.50 高速オンシロスコープ 2.50 マルチコアワークステーション 0.81 電源	4.03 海外研究者招聘 (国際強化) 0.80 派遣Université Grenoble Alpes (国際強化) 1.20 光強度変調器 (予算調整) 8.00 近接場顕微鏡ヘッド (予算調整) 8.10 スペアナ、レーザードライバ (予算調整) 12.00 マルチモードレーザー利用検討機器 (予算調整) 2.65 蛍光量子収率測定ユニット (予算調整)
	野田課題	250	250	0		
	福田課題	208	226	18	3.50 広帯域オンシロスコープ	1.80 対物レンズ、消耗品 (予算調整) 9.80 シミュレータ、分光器 (予算調整) 2.50 低抵抗測定装置 (予算調整)
	藤課題	265	290	26	3.72 移転費用	3.00 台湾交通大学共同研究 (国際強化) 0.70 ターボ分子ポンプ (予算調整) 17.50 分光、カメラ、スペアナ (予算調整) 0.80 調心用励起光源 (予算調整)
計		4,131	4,429	298	84.55	213.73

## (2) 国際ワークショップと国際連携

研究推進において国際連携は非常に重要であり、研究者の招聘や派遣、さらには本格的な共同研究に発展することを期待し国際ワークショップを開催している

### ① JST-ライプニッツ協会（ドイツ）共同ワークショップの開催

2017年9月20日～22日、JSTとライプニッツ協会は、協力覚書に基づきドレスデンにあるライプニッツ高分子研究所にてワークショップ「Advanced Material Sciences」を共催した。JST側は本研究領域が中心になり、石川チーム、大岩チーム、永井チーム、古澤チーム、岩谷チーム、金光チーム、矢花チームより研究者を派遣した。ライプニッツ協会傘下の8つの研究所からも50人近くの研究者が集まり、先端光学やフォトニクス分野における最新の研究成果を発表し、材料、デバイス、その応用について議論がされた。ワークショップに参加したJSTの濱口理事長とライプニッツ協会のマティアス・クライナー会長は、両組織間の良好な関係を維持することの重要性を強調頂いた。



ワークショップ「Advanced Material Sciences」参加者集合写真

若手研究者に海外武者修行の機会を提供することを主な目的として、毎年特定のチームを選定し、派遣候補先に出向き国際ワークショップを実施し、受け入れ研究室の教授との面談を行った。その結果、8名の若手研究者の派遣を実現した。以下、大岩チーム、永井チーム、岩谷チームが中心となって実施したワークショップの概要を記す。

### ② デルフト工科大学とのワークショップと国際連携

2017年10月17日、大岩チームが中心となりデルフト工科大学でワークショップ「JST-TU Delft Quantum Technology」を開催し、互いの研究成果を発表、意見交換を行うと同時に今

後の連携を議論した。

ワークショップ開催後、若手派遣をすることとなりデルフト工科大学の Lieven Vandersypen 教授のもとに大岩研究室の助教を 2018 年 9 月より 1 年間滞在させた。

### ③ オックスフォード大学におけるワークショップと国際連携

2018 年 9 月 6 日、永井チームが中心となりオックスフォード大学で「First UK/Japan Super-resolution Bioimaging Meeting」を開催した。超解像イメージングに関する研究発表を行うと同時に今後の連携について意見交換を行なった。意図して若手研究者に発表してもらい、派遣などに繋ぐことで海外研究機関での経験を積む契機にしたいと考えている。

早速、永井研究室の博士研究員を 2019 年 2 月に University College London の Henriques 研究室に派遣し、超解像時間分解能改善や高空間分解能改善の研究を行なった。さらに 2019 年 4 月から藤田グループの博士学生をオックスフォード大学の Martin 研究室に半年間派遣し、非線形蛍光応答を利用した超解像顕微鏡や補償光学の研究を行なった。



ワークショップ参加者の集合写真

### ④ ベルリン工科大学におけるワークショップと国際連携

2019 年 8 月 28 日、29 日に岩谷チームが中心となりベルリン工科大学およびベルリン日独センターで「1st International Workshop on AlGaIn based UV-Laserdiodes」を開催した。日本側からの 15 名の参加のほか、ベルリン工科大学を中心としたベルリン近郊の研究者をはじめ、オーストリア、スウェーデン、米国、韓国からと 28 名が参加、総勢 43 名が参加した。

ここでも意図して若手研究者に発表してもらい、派遣などに繋ぐことで海外研究機関での経験を積む契機にしたい。早速、ワークショップ翌日にマグデブルグ大学を訪問し評価関係について若手研究者を派遣する議論がなされた。これらを受け、三宅研究室の助教をマグデブルグ大学およびポーランド高圧物理学研究所に派遣し結晶評価についての研究を実施した。また 2020 年度に向け具体的な共同研究の議論も開始され国際強化支援での支援を予

定している。



会場であるベルリン日独センター入口



ワークショップ会場



Otto von Guericke University Magdeburgにて材料評価の議論



## ⑤ その他の国際連携

石川課題では2019年度、Imperial College Londonより世界最先端の実時間第一原理計算手法の開発実績を有する Margarita Khokhlova フェローを招聘した。また同じく2019年度に若手研究者をオスロ大学の Simen Kvaal 准教授の研究室に派遣し非断熱分子ダイナミクス理論の研究を実施した。

大岩課題では National Research Council Canada の D. Guy Austing 主任研究員のもとに博士学生を派遣し、光子-スピン変換に関する研究を行なった。

古澤課題は2018年度および2019年度にマインツ大学の Peter van Loock 教授を招聘し量子誤り訂正についての情報交換を実施した。

岩谷課題では2018年度、ライス大学の Alberto Pimpinelli 教授の研究室に博士学生を派遣し結晶成長の研究に従事させた。また2019年度には Université Claude Bernard Lyon 1 の Olivier Pierre-Louis 教授の研究室に派遣し新たな物理モデルの検討を行なった。

成瀬課題では 2018 年度および 2019 年度に Institut Néel - CNRS & Univ. Grenoble Alpes の Serge Huant 副所長を招聘し競合意思決定に関する新たな展開を議論した。その Huant 副所長のもとには 2019 年度、堀グループの若手研究者を派遣した。2019 年度には Institut Néel にて非線形光学、ナノ光学に優れた知見を有する Guillaume Bachelier 研究員を招聘した。また堀グループでは 2018 年度、オタワ大学の Georg Northoff 教授を招聘し意思決定や意識、脳と環境の関わりにおける新たな理論を議論した。

藤課題では 2019 年度より台湾交通大学と有機無機ハイブリッドペレブスカイト半導体に赤外分光イメージング手法を適用する共同研究を開始した。

### (3) 国際シンポジウムの開催（国内開催）

研究成果の発信は非常に重要であると認識している。本研究領域もこれまで 2 回のシンポジウムを開催してきたが、いずれも国際的に著名な研究者の基調講演と招待講演を柱に領域の成果を発表する形をとっている。

第 1 回は 2018 年 7 月 18 日に一橋ホールにて納富チームが中心となり光コンピュータをテーマとして開催し、79 名の参加があった。MIT の Marin Soljačić 教授の基調講演のほか、テキサス大学オースティン校の David Pan 教授、カナダ・クィーンズ大学の Bhavin Shastri 助教、フランス CNRS の Daniel Brunner 博士の招待講演を依頼した。領域の成果発表は納富チームの他、成瀬チームにも発表いただいた。

第 2 回は 2019 年 10 月 7 日にアキバプラザにて金光チーム、石田チームが中心になりウェアラブルフォトクスをテーマに開催し、98 名の出席があった。基調講演は東京大学の染谷教授にお願いした。海外からの招待講演者はライス大学の河野教授、カルフォルニア大学リバーサイド校の Yadong Yin 教授、シンガポール南洋大学の Qihua Xiong 教授、ケンブリッジ大学の Silvia Vignolini 博士の 4 名で、国内からも北海道大学の Jian Ping Gong 教授に招待公演を行って頂いた。領域の成果発表は金光チーム、石田チームの他、岩坂チームにも講演頂いた。



開会の挨拶

#### (4) 人材育成

本研究領域全般に向けて若手の育成を常にお願している。これまで以下の研究代表者、主たる共同研究者、研究参加メンバーが昇任している。内訳は教授昇任 8 名、准教授、講師昇任 4 名、その他 4 名である。

東京大学・佐藤 健（石川課題・参加メンバー）特任講師⇒准教授  
東京大学・岩本 敏（大岩課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授  
大阪大学・藤田 克昌（永井課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授  
京都大学・石原 享（納富課題・⇒主たる共同研究者）准教授⇒名古屋大学・教授  
京都大学・塩見 準（納富課題・参加メンバー⇒主たる共同研究者）学生⇒助教  
九州大学・小野 貫継（納富課題・参加メンバー）助教⇒准教授  
東京大学・吉川 純一（古澤課題・参加メンバー）助教⇒講師  
東京大学・三津谷 有貴（古澤課題・参加メンバー）学生⇒助教  
産総研・鈴木 恵治郎（水本課題・参加メンバー）研究員⇒主任研究員  
産総研・谷澤 健（水本課題・参加メンバー）研究員⇒玉川大学・准教授  
広島大学・水川 友里（岩坂課題・参加メンバー）研究員⇒助教  
山口大学・浅田 裕法（岩坂課題・主たる共同研究者）准教授⇒教授  
九州大学・寒川 義裕（岩谷課題・参加メンバー）准教授⇒教授  
京都大学・若宮 淳志（金光課題・参加メンバー）准教授⇒教授  
NICT・成瀬 誠（成瀬課題・研究代表者）プログラママネージャー⇒東京大学・教授  
分子研・藤 貴夫（藤課題・研究代表者）准教授⇒豊田工大・教授

学生には重要な研究テーマを与え、それを生かした学会投稿の機会を与えるようお願いしている。その結果、研究のアクティビティ活性化に連動して、以下の方々が主要な学会でアワードを受賞することにつながっている。

課題	氏名 (受賞時学年)	賞の名称	授与者	・受賞日
石川課題	織茂 悠希 (M1)	論文発表奨励賞	レーザー学会年次大会	・2016/2
	二ノ田 有輝 (M1)	学術講演会 奨励賞	光学会北海道支部	・2018/1/17
永井課題	篠田 肇 (D2)	レーザー学会 東北北海道 支部長賞	電気学会光量子 デバイス研究会	・2018/3/5
納富課題	今井 悠貴 (M1)	SASIMI Young Researcher Award	IEEE CEDA All Japan	・2018/3/26

	江川 巧 (M1)	DA シンポジウム 2017 優秀発表 学生賞	情報処理学会 システムと LSI の 設計技術研究会	・ 2018/8/29
	松尾 亮佑 (M1)	VLD Excellent Student Author Award for ASP-DAC	電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会	・ 2019/2/28
<u>水本課題</u>	山口 龍介 (M2)	MOC Student Award	22nd Microoptics Conference	・ 2017/11/22
	村井 俊哉 (D1)	Best Student Paper Award	OECC/PSC 2019	・ 2019/7/11
<u>岩谷課題</u>	納富 悠也 (M2)	ナノ構造 エピタキシャル 成長講演会 発表奨励賞	日本結晶成長学会	・ 2017/7/14
	川瀬 雄太 (M1)	ナノ構造 エピタキシャル 成長講演会 発表奨励賞	日本結晶成長学会	・ 2017/7/14
	川瀬 雄太 (M1)	Best Young Scientist Award	International Workshop on UV Materials and Devices	・ 2017/11/16
	袴田 淳哉 (M1)	Best Young Scientist Award	International Workshop on UV Materials and Devices	・ 2017/11/16
	川瀬 雄太 (M2)	講演奨励賞	応用物理学会	・ 2019/3/18
	田中 隼也 (M1)	発表奨励賞	日本結晶成長学会	・ 2019/6/15
	納富 悠也 (D2)	若手ポスター賞	日本結晶成長学会	・ 2019/8/29
<u>金光課題</u>	鎗田 直樹 (M2)	日本物理学会 学生ポスター 優秀賞	日本物理学会	・ 2017/9/23
	半田 岳人 (D1)	応用物理学会 講演奨励賞	応用物理学会	・ 2018/3/17
	山田 琢充 (D3)	レーザー学会 論文発表奨励賞	レーザー学会	・ 2018/5/31
	中原 聡志 (M2)	日本物理学会	日本物理学会 領域 5 学生優秀発表	・ 2018/10/6

<u>成瀬課題</u>	中込 亮 (D3)	ナノオプ ティクス賞	日本光学会 ナノオプティクス 研究グループ	・ 2018/11/20
<u>野田課題</u>	坂田 諒一 (D1)	優秀ポスター賞	応用物理学会 フォトンクス研究会	・ 2018/12/1
	吉田 昌宏 (D2)	LQE 奨励賞	電子情報通信学会 LQE	・ 2019/2/1
	深谷 昌弘 (M1)	Poster Award	応用物理学会	・ 2019/3/10
	森田 遼平 (D1)	IPC Student Paper & Poster Award	IEEE Photonics Society	・ 2019/10/3
	吉田 昌宏 (D3)	Best Student Presentation	IEEE Photonics Society Kansai Chapter	・ 2019/11/9

## 6. 研究領域としての戦略目標の達成に向けた状況について

本研究領域は核となる物性物理学分野、デバイス分野に加え、光応用の代表分野である光通信に代表される情報処理通信分野、安全安心社会を実現する上で重要なバイオ・医療分野、それらを支えるモノづくり技術、さらには新材料への挑戦や基盤技術の深耕といった幅広い分野への展開を狙っている。ここでは図2-3のポートフォリオの応用分野に分け達成状況と所見を述べる。

### (1) 情報処理通信分野

大岩課題、納富課題、古澤課題、成瀬課題が対象である。

#### ① 大岩課題「電子フォトニクス融合によるポアンカレインターフェースの創製」

デルフト工科大学との光量子工学に関するワークショップ（2017年10月）を実現し国際連携に大いに寄与した。

##### [課題概要]

電氣的に精密に操作できる電子スピンと先端フォトニックナノ構造の融合により、ポアンカレ球で表わされる光の偏光からブロッホ球で表される電子スピンへの変換を高効率にかつ自在に行う「ポアンカレインターフェース」を確立し、偏光の究極的な活用により可能となる次世代通信や新機能光デバイスの基盤技術構築を目指す。特に偏光からスピンへの変換効率の改善や、量子もつれ変換技術など長距離量子中継実現に不可欠な基盤技術の実現に注力している。

##### [研究成果]

ポアンカレインターフェースを使った長距離量子情報通信のための要素技術の開発ではゲート制御量子ドットとフォトニック結晶ナノ共振器を融合した新奇素子のプロトタイプを開発しフォトニック結晶ナノ共振器による吸収増大の設計と光学的実証を行なった。

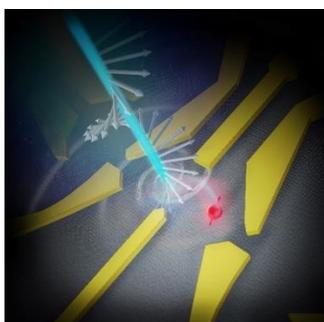


図 6-1 ポアンカレインターフェースの原理実証

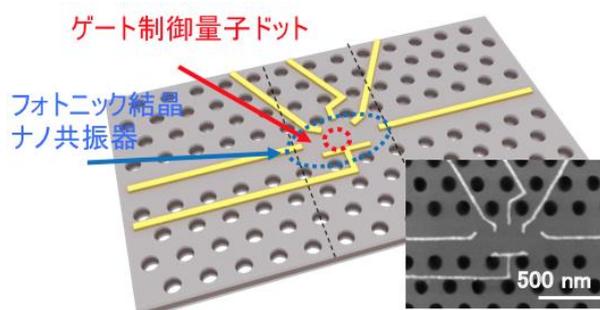


図 6-2 ゲート制御量子ドットとフォトニック結晶ナノ共振器の融合素子のプロトタイプの開発

ポアンカレインターフェース、即ち光子偏光-電子スピン間の角運動量・量子状態変換の実証と変換でのコヒーレンスの検討やポアンカレインターフェースの原理を実証し、変換におけるコヒーレンス保持の検討も行っている。高忠実度ベル測定の実現から完全ベル測定を実施し、4つのベル基底の完全測定に向け、1つのベル基底の高忠実度測定 (>99.5%)の達成を確認した。

今後、ポアンカレインターフェースに基づく量子中継システムの提案を狙っているが、できるだけ定量的な性能予測を実施する。

## ② 納富課題「極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究」

光コンピューティングに関する国際シンポジウム（2018年7月）の開催に尽力した。

### [課題概要]

最先端のナノフォトニクス集積技術に新しい回路設計手法を適用し、CMOS回路の限界を打ち破る光電融合型の超低レイテンシ情報処理システムを提案、実証することを目標とする。

### [研究成果]

ナノフォトニクス技術を用いて素子を低容量化 (< 1 fF) し、光電変換(OE/E0)効率を大幅に向上させた。その結果、光変調器の消費エネルギー42 aJ/bitを達成(世界最小)した。またナノ光受光器とナノ光変調器を集積して、光トランジスタ動作を実現した(Nozaki et al., Nature Photonics 13, 454, 2019)。

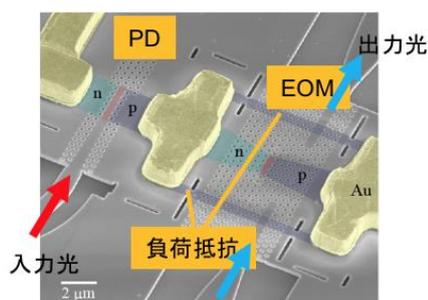


図 6-3 ナノ光受光器(PD)とナノ光変調器(EOM)を集積した光トランジスタ(三端子素子)

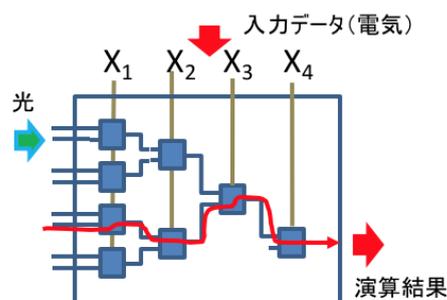


図 6-4 光パスゲートによる演算方式の模式図

光パスゲート方式に基づいた超低遅延化が可能な新しい光演算方式(光加算器、光乗算器など)を考案し、集積化技術を開発した。光パスゲート方式により、ニューラルネットの高性能化が可能であることを見出し、光電融合システム的设计環境を開発した。

今後は大規模光集積技術を用いて、提案した光演算器の動作を実証すると共に光・電子回

路を融合した光電融合計算技術の将来像を描いていく。

### ③ 古澤課題「極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究」

[課題概要]

量子雑音に律速されるいわゆるシャノン限界を超える極限コヒーレント光通信実現を目指し、そのための量子力学的操作と超伝導光子数識別器およびそれらの光集積システム化法を研究する。

[研究成果]

極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作のうち最も重要なもののひとつに 3 次位相ゲートがある。これまでの研究でその簡便な実現法を発明した。現時点で 3 次位相ゲート実現に肉薄している。光子数識別器としての Ir-TES の動作に世界で初めて成功した。

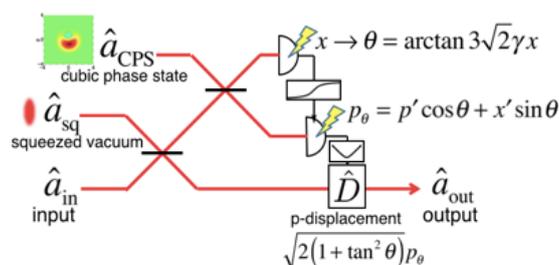


図 6-5 本研究で発明した簡便な 3 次位相ゲート実現法

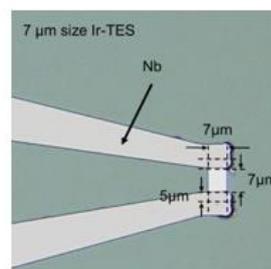


図 6-6 Ir-TES 光子数識別器

今後は 3 次位相ゲートの安定動作を実現する。さらに「量子ノイズイートアンプ」を実現するために通信波長帯での量子テレポーテーションチップの実装を推進する。また副産物として、量子テレポーテーション装置の時間領域多重をベースとする大規模量子計算法の推進にも取り組む。

### ④ 成瀬課題「ナノ光学と光カオスを用いた超高速意思決定メカニズムの創成」

[課題概要]

人工知能で重要な強化学習の根幹にある意思決定問題を、光に固有の性質とその極限性能を生かし「物理的に」解決する。具体的には、光の広帯域性の極限を活用した光カオスによる超高速な意思決定並びに光の微細化の極限を生かしたナノ光学による意思決定を実現する。これにより AI 時代の革新的光機能を創成する。

[研究成果]

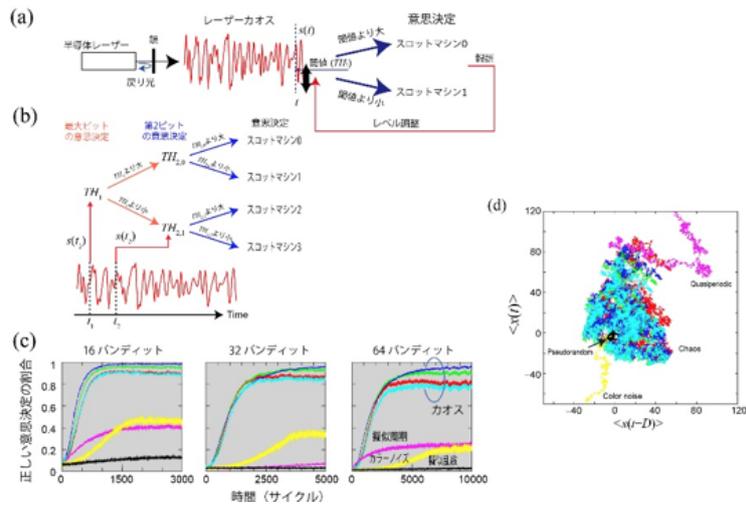


図 6-7 高速光カオス時系列を用いたスケーラブル意思決定

光カオスを用いた意思決定では、超高速時系列を用いたスケーラブルな意思決定原理に成功した。ナノ光学を用いた意思決定では、フォトクロミックナノ結晶上での微細パターン記録及び消去を世界で初めて実現し、超並列意思決定の基礎実証に成功した。

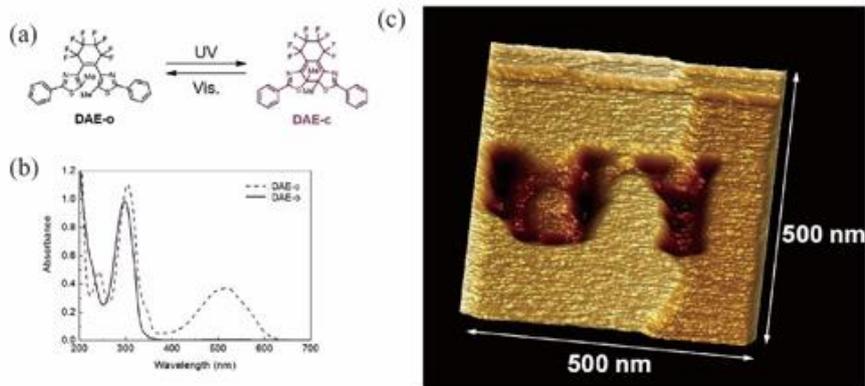


図 6-8 ナノ光学を用いたフォトクロミック結晶表面へのパターン記録と消去

応用では、既に無線通信における動的チャネル選択の基礎実験に成功しており、今後は光のメリットを生かすより高度なシステム応用にも注力する。同時に強化学習を圏論に基づいて体系化した学理への発展を目指す。

## (2) バイオ・医療分野

永井課題、岩坂課題、福田課題、藤課題が対象である。

### ① 永井課題「超解像『生理機能』イメージング法の開発と細胞状態解析への応用」

オックスフォード大学との超解像イメージングに関するワークショップ(2018年9月)を実現し国際連携に大いに寄与した。

#### [課題概要]

細胞生理機能プローブ開発、超解像顕微鏡開発、機械学習による細胞生理情報抽出手法開発を推進し、従来になかった、細胞内生理機能超解像イメージング法を実現する。

#### [研究成果]

超解像蛍光プローブ開発ではシンプルな蛍光顕微鏡で超解像観察を実現する緑色蛍光タンパク質：SPOON／耐酸性緑色蛍光タンパク質：Gamillus、(光スイッチング型) rsGamillus／高感度Mg<sup>2+</sup>センサー：MARIOを開発した。

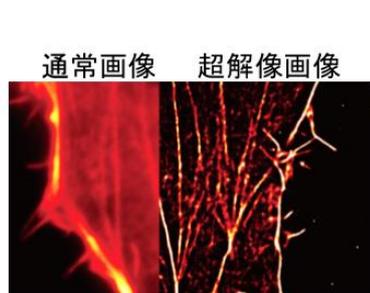


図 6-9 pH4.5 での超解像観察(rsGamillus)

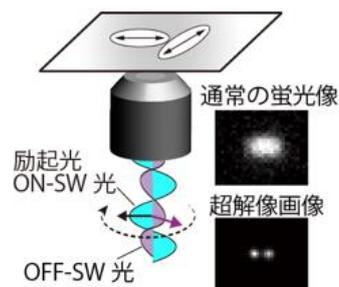


図 6-10 細胞に優しい超解像観察 (SPoD-OnSPAN)

高コントラスト・3次元観察を実現する多点走査型可視光2光子超解像顕微鏡／細胞に優しい超解像顕微鏡：SPoD-OnSPAN／超高速・超解像画像再構成計算法開発した。

今後は細胞中の、温度、生理機能、タンパク質の超解像画像・時間発展の測定を展開し、細胞状態診断法の開発や細胞情報熱化学の創生を推進する。

### ② 岩坂課題「魚のバイオリフレクターで創るバイオ・光デバイス融合技術の開発」

#### [課題概要]

自然界の光を高効率で制御する魚のバイオリフレクターを構成するグアニン結晶板のしくみを解明し、光の集光・回折・干渉を水溶液中の生体関連物質にて制御可能な新規技術を開発し、生体を対象とした有用な光計測法および光コミュニケーション手段を提案する。

#### [研究成果]

魚由来のグアニン結晶板集団の水中浮遊状態での光干渉増幅効果を明らかにし、リフレクター板一枚の内部にて30nm幅のファイバーが正三角形のグレーティング構造を形成していることを明らかにした。また、生物発光を行う魚の発光器のリフレクター板の構造と光特

性の基礎知見を得た。

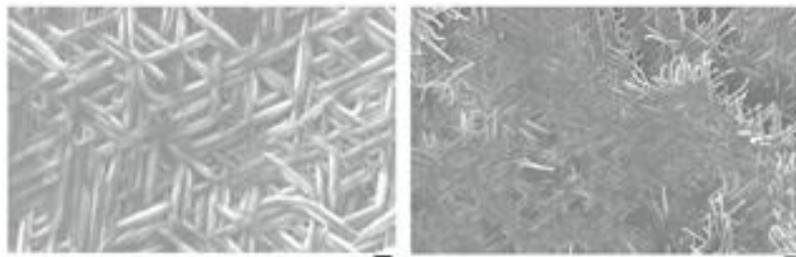


図 6-11 魚のリフレクター板（グアニン製）の内部グレーティング構造

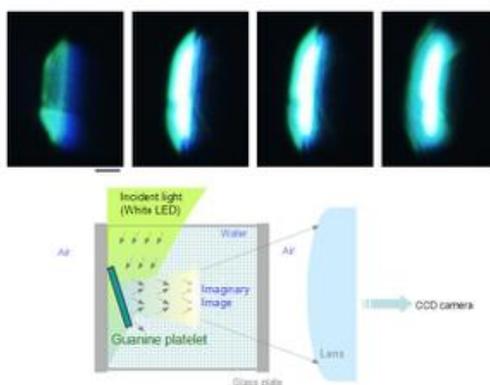


図 6-12 リフレクター板における虚像（光干渉パターン）の形成

今後は魚のバイオリフレクターの内部構造と組成を明らかにし、光反射板と回折格子のハイブリッド機能を有する可能性と虚像形成メカニズム検証を推進する。応用デバイスの開拓では、既存のデバイスでは実現できない機能・使用環境（水中浮遊等）などに着目し研究を進める。

### ③ 福田課題「単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と細胞機能ヴィジュアルライザの創成」

#### [課題概要]

超伝導転移端センサ(TES)とマイクロ波マルチプレクシング(MW-Mux)を用いて、世界最高の感度で単一光子分光リアルタイムイメージング技術を開発する。これと一細胞自家蛍光シグネチャー分析技術(Deep-imaging)を組み合わせ、細胞機能ヴィジュアルライザの創生を目指す。

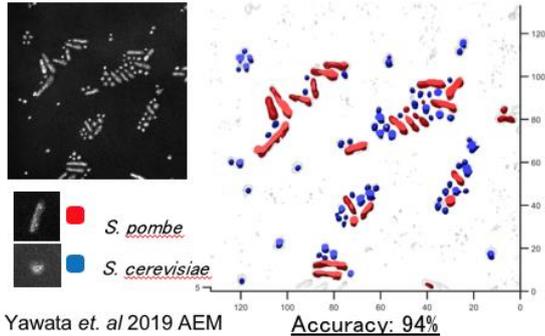
#### [研究成果]

TES 開発では、光ファイバー自己整合型光検出素子や 3x3 集積化素子を開発し、検出効率 84%、応答速度 160 ns、分解能 0.21 eV で単一光子を検出できる世界最高性能を達成した。

Deep-imaging 開発では、種の判別のみならず、細胞の増殖段階やストレス応答の分類を 94 %の精度で識別できるアルゴリズムを初めて実証した。



図 6-13 光ファイバ自己整合型 TES 素子



Yawata et. al 2019 AEM

Accuracy: 94%

図 6-14 Deep-imaging 法による酵母細胞の増殖段階の識別

今後は早期に高時空間分解能共焦点顕微鏡を実現し、微量な蛍光光子の検出で細胞機能を可視化出来る、これまでに例のない超低侵襲細胞診断技術へ展開する。

#### ④ 藤課題「超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用」

##### [課題概要]

独自に開発した超短赤外パルス光源を発展させ、先進的な赤外イメージング装置や多光子顕微鏡を開発し、生体分子や生細胞、生きた動物を対象とした非侵襲のセンシング、イメージング法を確立する。

##### [研究成果]

$2\mu\text{m}$  帯で mJ のパルスを発生するフェムト秒トリウム増幅器を世界ではじめて開発し、それによって、偏光と位相が揃ったコヒーレント赤外白色光を発生させた。

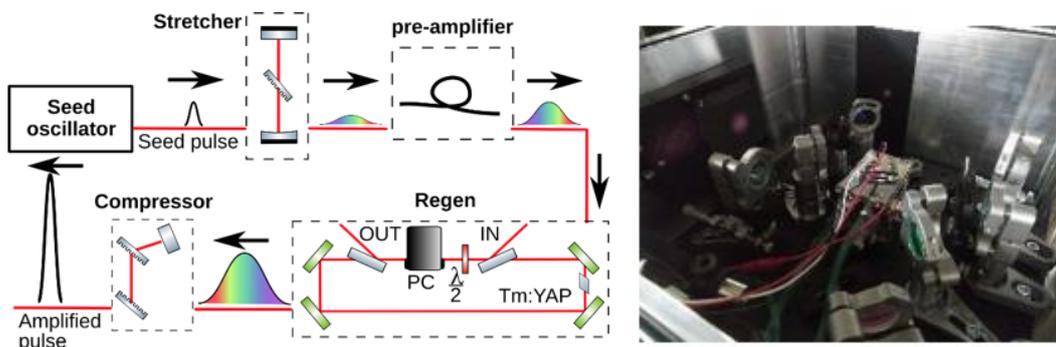


図 6-15 トリウム増幅器の概念図と増幅部分の写真

$2\mu\text{m}$  帯のフェムト秒トリウムファイバーレーザーを光源とした 3 光子顕微鏡によって、世界ではじめてラット海馬の脳細胞について 3 光子蛍光イメージングに成功した。

今後は早期にハイパースペクトラルイメージング装置を完成させ、生体試料への展開を加速する。

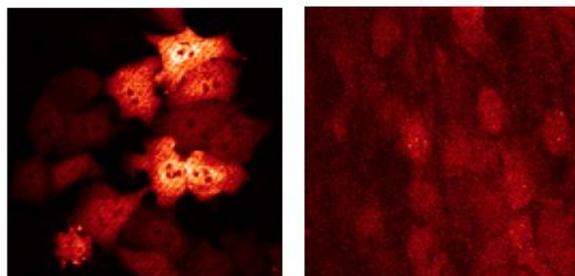


図 6-16 TurboFP635 を導入した HeLa 細胞の観察イメージと  
赤色蛍光タンパク質を発現させたラット海馬スライスイメージ

### (3) モノづくり分野

水本課題、岩谷課題、上妻課題、野田課題が対象である。

#### ① 水本課題「磁性-金属-半導体異種材料集積による待機電力ゼロ型フォトニックルータの開発」

[課題概要]

不揮発光スイッチ、単ビット磁性光メモリ、メタマテリアル光バッファ、スローライト受光器を異種材料集積技術により統合した待機電力ゼロの光ルータを開発し、IoT時代に適合した柔軟かつ低遅延光アクセス網の実現につながるキーデバイスとしての検証を行う。

[研究成果]

不揮発光スイッチ実現に向け電流パルス駆動による自己保持動作を実現した。単ビット磁性光メモリではリング共振器を用いた超小型再生回路を実現し導波路伝搬光の光熱変換による 300°C以上の局所加熱に成功した。メタマテリアル光バッファの検討では微小金属構造による超小型光遅延素子の提案と理論解析を行なった。さらにスローライト受光器実現に向けてフォトニック結晶薄膜を用いた小型受光器の解析と評価を実施した。

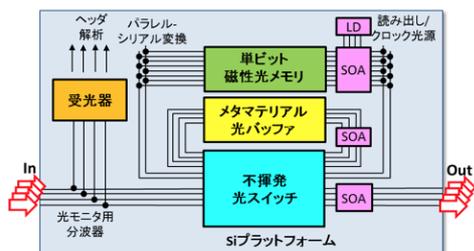


図 6-17 フォトニックルータのブロック

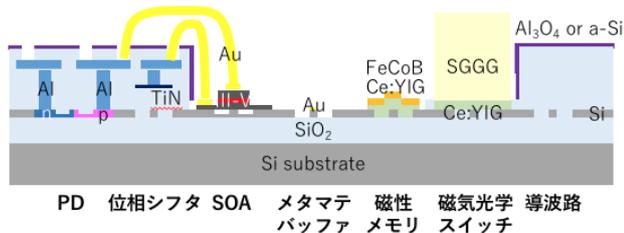


図 6-18 要素デバイス集積化断面構造

今後は各要素デバイスの性能改善を進めるとともに集積化の試作検証を加速し、目標とする低消費電力ルーターへの見通しを確実なものにする。

## ② 岩谷課題「深紫外領域半導体レーザの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究」

ベルリン工科大学との AlGaN UV レーザに関するワークショップ（2019年8月）を実現し国際連携に大いに寄与した。

### 〔課題概要〕

深紫外領域の半導体レーザは医療・環境・殺菌・化学分析・工業分野と幅広い応用が期待されているが、バンドギャップが大きいためレーザ発振が可能な大電流動作の実現が困難と考えられていた。ここでは超高濃度不純物・分極半導体を用いることによって、深紫外領域の半導体レーザの実現を目指す。

### 〔研究成果〕

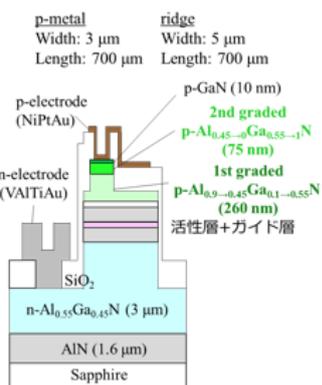


図 6-19 半導体レーザの断面構造

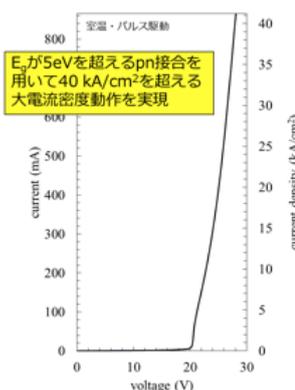


図 6-20 AlGaN 半導体レーザの電気的特性

AlGaN 結晶の高品質化により UV-B 領域のレーザ発振閾値パワー密度の低減に成功した。また分極ドーピングの適用によりバンドギャップエネルギーが 5.0eV の AlGaN を用いて電流密度が 40kA/cm<sup>2</sup> を超える世界最高レベル値を実現した。

今後は室温連続の実現に向けて電流注入技術と欠陥の少ない結晶成長技術を確立し、さらに産業応用への幅広い展開を行う。

## ③ 上妻課題「ポケットサイズレーザー冷却システムの開発」

### 〔課題概要〕

原子、ナノ粒子に対するポケットサイズのレーザー冷却システムの構築を目指す。原子のレーザー冷却システムに搭載する絶対重力計は、海洋資源探索のため無人深海探査艇に搭載されている既存のスプリング型相対重力計に比べ、1桁以上高い精度である。ナノ粒子のレーザー冷却システムは、地震予知、火山活動探査において中心的な役割を果たしている既存の傾斜計に比べ、2桁高い感度を提供する。

### 〔研究成果〕

単一のシリカナノ粒子を、リング型強度分布(ラゲールガウスモード)をもつ波長  $1.5\mu\text{m}$  のレーザー を使って大気中でトラップすることに成功した。

磁気光学トラップを用いることで、ガラス内部に侵入する総気体流入量を実時間で評価するシステムを開発することに成功した。

研究途上で未来社会創造事業がはじまることとなり CREST 研究は途中で終了となったが小型レーザー冷却システム、そして超高性能慣性センサーを必ず実現して頂きたい。

#### ④ 野田課題「変調フォトニック結晶レーザーによる2次元ビーム走査技術の開発」

##### [課題概要]

自動運転、セキュリティセンシング等への関心が世界的に高まり、LiDAR と呼ばれるレーザー光を用いたセンシング技術の開発が急務になっている。フォトニック結晶レーザーに「変調フォトニック結晶」の概念を導入し、LiDAR のキーデバイスとなりうる電氣的に高速・広範囲の2次元ビーム走査を可能とする小型半導体チップを開発し、ビーム走査技術の新たな方向性を生み出す。

##### [研究成果]

安定かつ高出力・高ビーム品質動作を可能とする、楕円格子点をもつ「複合変調(位置+大きさ変調)」フォトニック結晶レーザーのコンセプトを創出した。

$10\times 10$  アレイデバイスを開発し、高出力(ワット級)・高ビーム品質の電氣的制御による広範囲2次元ビーム走査の実現に成功し、複数方向への同時ビーム出射等の、特徴的なビーム走査をも実証した。

これより高ビーム品質・狭発散角特性を活用した複雑なレンズ系フリーToF-LiDAR や、Flash-LiDAR と組み合わせた先進的センシングシステムへの展開が期待される。

今後はさらなる高出力化(数W級)に向けた検討を行うと共に、企業とタッグを組んでLiDARのプロトタイプを実現し社会実装につなげていく。

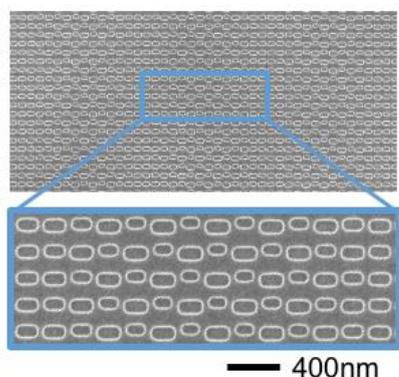


図 6-21 複合変調フォトニック結晶

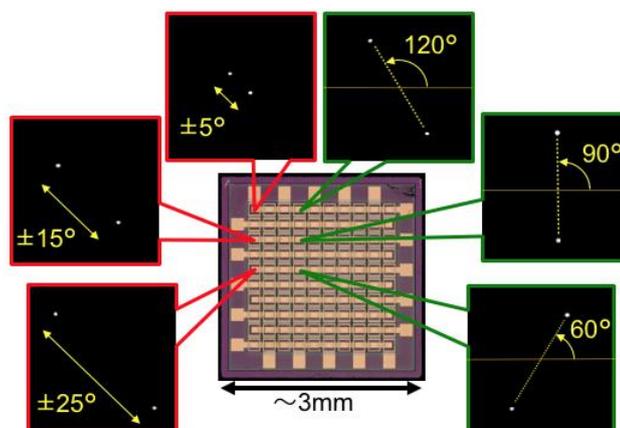


図 6-22  $10\times 10$  アレイデバイス

#### (4) 新材料分野

金光課題、石田課題が挑戦している。

##### ① 金光課題「ハロゲン化金属ペロブスカイトを基盤としたフレキシブルフォトンクス技術の開発」

フレキシブルエレクトロニクスに関する国際シンポジウム（2019年10月）の開催に尽力した。

[課題概要]

高品質な溶液塗布型半導体材料であるハロゲン化金属ペロブスカイトに注目し、それらの単結晶、薄膜、ナノ粒子などの様々な形態試料を作製し、フォトンクスで重要となる基礎光物性・光機能を解明する。実用デバイス材料としての可能性と限界について明確な結論を導くことにより、特色あるフレキシブルフォトンクス技術の開発を目指す。

[研究成果]

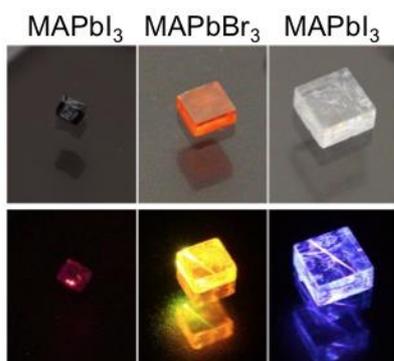


図 6-23 ハロゲン元素置換によるバンドギャップエネルギーおよび発光色の制御 (MA=CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>)

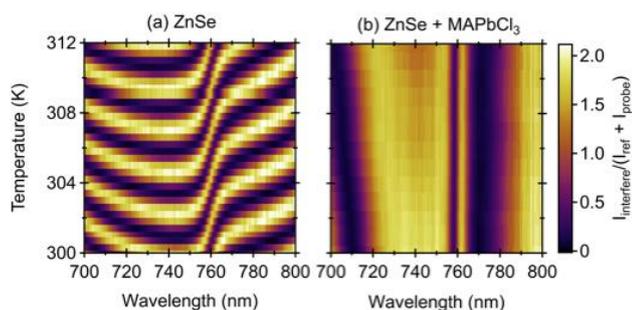


図 6-24 (a) 正の熱光学係数を持つ通常の半導体 (ZnSe) で生じる熱誘起光位相シフトと b) 負の係数を持つ CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbCl<sub>3</sub> を貼り合わせることによる位相シフト補償の実現

これまでの成果は元素置換・ナノ構造化による発光特性制御の実現、単結晶の青色発光過程の解明、有機カチオン運動の電子-格子相互作用への影響の解明、単結晶の光誘起屈折率変化と光変調機能の発見、ナノ粒子の荷電励起挙動の解明、電界効果型トランジスタ構造によるキャリア移動度の決定、負の熱光学係数の発見などである。

基礎的な立場からペロブスカイトの本質的な特性を炙り出し、ペロブスカイトならではのユニークなフレキシブルフォニックデバイスの実現を推進する。また産業界で幅広く利用できる基礎データベースの構築と再現性・操作性の高い作製方法の確立を目指す。

##### ② 石田課題「殆どが水よりなる動的フォニック結晶の開発と応用」

フレキシブルエレクトロニクスに関する国際シンポジウム（2019年10月）の開催に尽力

した。

[課題概要]

光の波長の周期を持つ構造体「フォトニック結晶」は、光の性質を操る究極のツールである。「結晶」の名の通り、通常は固体で作られる。我々は最近、99%の水に1%の無機ナノシートを加えた流体が、高性能のフォトニック結晶となることを見いだした。この発見を起点に、「大面積で配向し、構造が変えられ、生体に馴染むフォトニック結晶」を開発し、高品質・高感度のイメージングやセンシングへの応用を目指す。

[研究成果]

光学測定とシミュレーションを通じ、今回の流体が明確なフォトニックバンドを持つ機構を解明するとともに、望みのフォトニック機能を示すナノシートを設計する指針を得た。組成・構造・横幅・厚み・電荷・屈折率・磁場配向性・表面物性を制御した様々なナノシートを開発し、その水分散液がフォトニック機能をもつことを実証した。フォトニック構造を取るナノシート水分散液の中でアクリルモノマーを重合し、ネットワークを形成することで、構造固定されたヒドロゲルへと変換する方法を確立した。上記ヒドロゲルにフェニルボロン酸を導入することで、グルコース濃度の変化に応じ緑～赤へと構造色を変え、グルコース濃度を肉眼で判別できるセンサーを開発した。

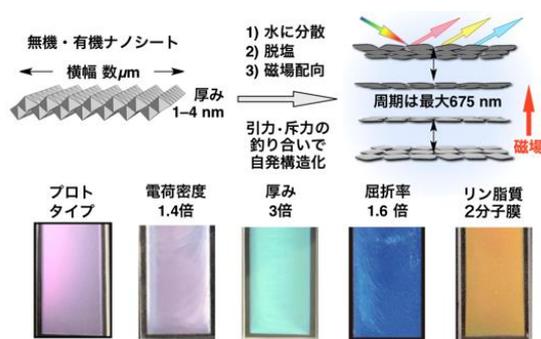


図 6-25 殆どが水よりなるフォトニック結晶

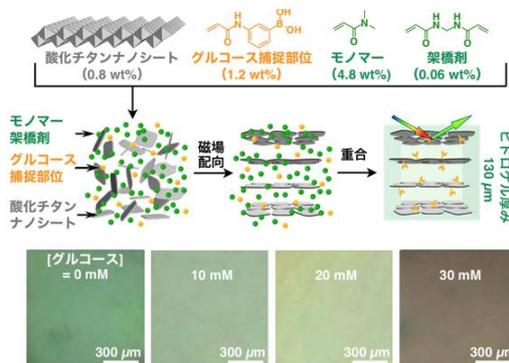


図 6-26 ヒドロゲル化したグルコースセンサー

今後は今まで得られた知見や物質を活用し、唯一無二のフォトニック結晶の基礎と応用展開を推進する。当初の計画に必要以上に縛られることなく、計画の収束と発散のバランスを取りつつ二兎を追ってほしい。新たな展開も予想されるのでその折には人的なリソースの追加等の更なる支援を惜しまない。

(5) 反応制御の基礎分野

対象は石川課題だが、シミュレータである矢花課題もここに置いた。

① 石川課題「アト秒反応ダイナミクスコントローラーの創生」

研究代表者は「アト秒科学に関する国際シンポジウム」を2年連続して主催しており、国際的なネットワーク作りにも精力的に活動している。

[課題概要]

光による物理・化学・生物的過程はアト秒領域の電子の動きから始まる。その影響が原子核に伝わり、化学反応等を引き起こす。本研究では、最先端の実時間第一原理計算、高強度アト秒パルスレーザー、超高速の時間分解分光を開発・駆使して、電子波束の動きから分子構造の変化までを、時々刻々観測し制御することを目指す。

[研究成果]

世界で初めて開発に成功した時間依存結合クラスター法等、様々な手法を駆使している。数十電子を含む原子や実験で使われる分子での正確な実時間第一原理シミュレーションが可能になりつつある。

アト秒レーザーで $H_2^+$ の解離経路を8fsで制御したり、光電子分光+高次高調波分光で1,3-シクロヘキサジエンの開環ダイナミクスを観測したりするなど、アト秒反応ダイナミクスコントローラーの実現に向け、着実に進捗している。

既存の手法によるキラル識別能が通常 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ であるのに対して、2重円偏光を用いたリモネンの高次高調波分光で、10~20%の識別能を実証した。

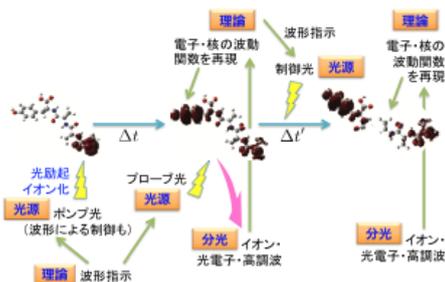


図 6-27 アト秒反応ダイナミクスコントローラーの概念図

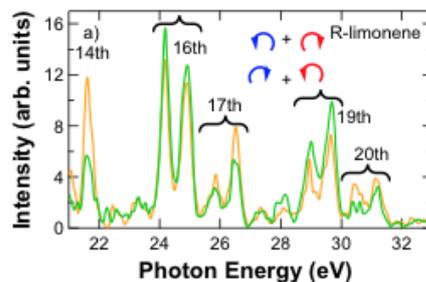


図 6-28 高次高調波分光によるリモネンのキラル識別

今後はアト秒高次高調波パルス2本とフェムト秒紫外パルスを使い、1,3-シクロヘキサジエンの開環反応の制御をモデルに、アト秒反応ダイナミクスコントローラーの実証を目指す。当初の計画にはなかった光渦ビームや分子キラリティ検出などの成果は未だ基礎研究の段階ではあるが、今後創薬へつながる可能性がある。

② 矢花課題「光・電子融合第一原理計算ソフトウェアの開発と応用」

[課題概要]

今日の先端の光科学は、マクスウェル方程式により記述される光電磁場と量子論で記述される電子ダイナミクスが強く結びついた現象を対象としている。光波と電子のダイナミクスを同時に記述する新しい第一原理光科学計算法を確立し、アト秒光科学やレーザー加工、

近接場光励起などの光科学の先端課題に応用する。開発したソフトウェアを公開し、光科学研究者がさまざまな用途で利用可能となるよう整備する。

[研究成果]

開発した計算コードを SALMON (Scalable Ab-initio Light-Matter simulator for Optics and Nanoscience) と命名し、独自のウェブサイト <https://salmon-tddft.jp> で公開し、誰でも無償で利用できるよう整備している。ソフトウェアの新たな機能として、光電磁場と電子に加えイオンの運動も同時に記述することを可能とし、また単原子層から薄膜まで多様な2次元物質の光応答を調べることを可能にした。さらに、ナノ粒子が周期的に配列したメタ表面の記述も可能である。このように、多様な超高速現象やナノ光学現象を記述できるよう SALMON を拡張し、第一原理計算光科学を発展させたい。

今後は SALMON を国際標準の汎用第一原理光科学計算ソフトウェアにするため、内容の充実とさらなる積極的なアウトリーチ活動を推進する。

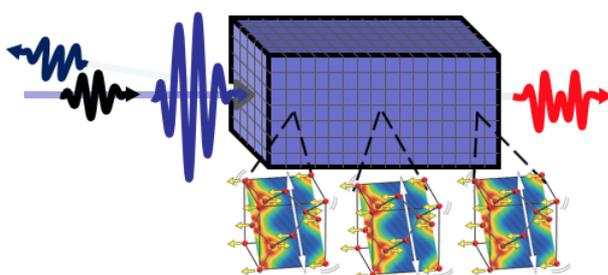


図 6-29 パルス光のポンプ-プローブ  
実験を丸ごとシミュレーション可能な  
光電磁場・電子・イオンの運動を同時  
に第一原理計算

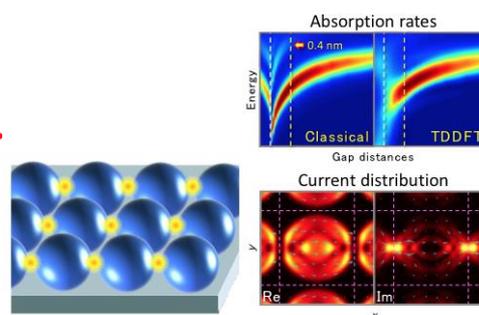


図 6-30 メタ表面の光応答

## 7. 総合所見

多くの先行研究実績のあるチームによる 210 件に及ぶ提案を受けて、光のコミュニティにとって待望久しい募集であったことを肌で感じた。その中から採択（採択率は 8%以下）されたのはわずか 16 件であり、精鋭中の精鋭による研究チームがそろっていると考えている。惜しくも不採択となった提案の中にも、採択課題とは紙一重の素晴らしい提案が幾つかあったことを付しておく。本 CREST のポリシーとして、基礎科学とそこから生まれるテクノロジー、それを使ったシステムの研究が一体となって進むことができるかという視点に重きを置き、それが可能なチーム構成がなされており、研究の将来展望が描けており、さらに研究代表者の覚悟が感じられる提案を採択した。中にはリスクが大きく採否の意見が分かれた提案も幾つか含まれているが、敢えて研究総括の責任において選抜した。

基礎研究推進においては、抜かりなく各チームで推進して頂けているものと確信して専ら研究代表者の裁量に委ねてきた。実際にサイトビジットではしっかりとしたマネジメントが行われていることを確認している。追加の研究費の配算ではメリハリを付けて配算している。特に自然災害や人事異動により緊急に装置等への援助が必要なチームや、クリティカルな追加配算によって大いに研究の加速が期待できるチームには手厚く配算を行ってきた。

一方、戦略目標の達成目標を受け、これまでの概念を打破する挑戦的課題が多い。また応用分野も幅広いが、実現時期という意味でもスペクトルが広い。各チームの評価と今後への期待を纏めておきたい。

情報処理通信分野では納富課題が社会実装に近い形のデバイスを完成しつつあると評価している。また古澤課題は光量子通信を通信波長帯へ展開することでグッと現実味を帯びてきたと評価している。一方、大岩課題は魅力的な性能を実現できる可能性があるかがポイントとなる。また成瀬課題は先進的なアルゴリズムを光の分野に展開する野心的な課題であり、基礎固めをしっかりと行なっていく。

バイオ医療分野では永井課題が産業化の可能性が早いと期待している。福田課題、藤課題も独自の技術を有しており、生体での検証をもっと加速して頂きたい。また岩坂課題も興味深い課題であるが、さらにメカニズムをしっかりと探究して欲しい。

モノづくりでは岩谷課題が魅力的な成果を出しており、積極的に産業界へアプローチして欲しい。野田課題も従来技術では実現できない性能が期待でき産業展開を期待したい。水本課題は挑戦的な集積化検証を目指しており、その成功を期待している。なお上妻課題は未来社会創造事業での活躍を祈念している。

金光課題はペロブスカイトの基礎物性を突き詰めることが、産業界への大きな貢献となろう。石田課題も興味深い材料に取り組んでおり、その材料の特長を生かした応用展開を期待したい。

石川課題も世界に先駆けた基礎研究であり、産業界から魅力的と思われる物質等で優位

性を示して欲しい。矢花課題はサーモンの高性能化に取り組みつつプロモーションにも励んで欲しい。

最後になるが財産として残るものは何と言っても人材である。プロジェクトが終了するまでにチームの中に次世代を担える人材を育ててもらいたいという思いから、有望な若手研究者には海外の研究機関で武者修行ができる機会を設けている。既に8名を短期・中期の海外派遣の機会を得て研鑽を積んでいる。

本研究領域と同時に立ち上がったさきがけ「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」に加え、2019年度からCREST「独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成」、さきがけ「革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出」も研究開始となった。これは光の分野に対する大きな期待の表れと認識している。今後も関連領域をはじめ様々な領域、国際連携を推し進め、世界に冠たる成果を実現していきたい。

以上