

戦略的創造研究推進事業  
－CREST(チーム型研究)－

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」

研究領域事後評価用資料

研究総括：北山 研一

2023年2月



## 目 次

1. 研究領域の概要 .....	1
(1) 戦略目標 .....	1
(2) 研究領域 .....	1
(3) 研究総括 .....	1
(4) 採択研究課題・研究費.....	2
2. 研究総括のねらい.....	4
3. 研究課題の選考について.....	5
(1) 選考方針 .....	5
(2) 選考結果 .....	6
4. 領域アドバイザーについて.....	10
5. 研究領域のマネジメントについて.....	12
(1) 研究課題の進捗状況の把握と評価 .....	12
(2) 国際ワークショップと国際連携 .....	25
(3) 国際シンポジウムの開催（国内開催） .....	29
(4) 人材育成 .....	30
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	33
(1) 情報処理通信分野 .....	33
(2) バイオ・医療分野 .....	39
(3) モノづくり分野 .....	42
(4) 新材料分野 .....	46
(5) 反応制御の基礎分野 .....	48
7. 総合所見 .....	51

## 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」

### (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)

### (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 大阪大学 名誉教授、情報通信研究機構 R&D アドバイザー、浜松ホトニクス 中央研究所リサーチフェロー)

上記詳細は、以下 URL をご参照ください。

JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」

<https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/index.html>

平成 27 年度新規研究領域の事前評価

[https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/hyouka\\_h27.pdf](https://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/hyouka_h27.pdf)

## (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 採択時 <sup>2</sup>	研究課題	研究費 <sup>1</sup>
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	329
	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	342
	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	380
	納富 雅也	日本電信電話株式会社・上席特別研究員	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	385
	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	374
	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ニックルーターの開発	246
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 (名城大学・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	384
	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	258
	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	227
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	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 (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	365
	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	312
	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ルライザの創成	271
	藤 貴夫	自然科学研究機構 分子科学研究所 准教授 (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	383
			総研究費	4893

<sup>1</sup>各研究課題とも研究期間の総額，進行中の課題は予定を含む(2022 年 12 月 31 日現在)

<sup>2</sup>変更/移動のあった場合、下段に括弧つきで記載

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もある。

なお上妻課題は 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&データから新たな価値を創造することにより、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にした。具体的には提案に当たって以下のことに留意するようお願いした。

- 必ず提案者には将来的に見据えるシステムの出口イメージを提示すること
- 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れらの点も留意しつつ、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ましいとした。



## (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件の応募があり、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 上席特別研究員）「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ーの開発」

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（採択時：名城大学理工学部 准教授、現在：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」
- 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ンクス技術の開発」
- 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した研究者を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)を上回る難関となった。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ともに、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した。



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

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)	着任時の所属 <sup>1</sup>	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 (宇都宮大学)	科長・教授  (名誉教授)	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 (ナノ量子情報エレクト ロニクス研究機構)	教授  (特任教授)	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 (科学技術創成研究院)	所長/教授  (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 医学フォトンクス講座	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 (情報通信研究機構)	相談役  (主席研究員)	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 (顧問)	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 (副学長)	2015年5月～ 2023年3月
緑川 克美	理化学研究所	センター長	2015年5月～

(量子エレクトロニクス、 レーザー工学、非線形光学)	光量子工学研究センター		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

<sup>1</sup>変更/移動のあった場合、下段に括弧つき記載

本研究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も参画し、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したことを受け、デバイス分野として小山アドバイザーが就任した。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してもらった。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（現在は情報通信研究機構へ異動）、浜松ホトニクス・原アドバイザーに参画してもらった。

## 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し議論と共有を行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し、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、出来るだけ多くの若手が発表と他の課題の研究者との議論の機会を持てるよう工夫した。

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。

#### 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 TKP 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 TKP 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 TKP 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 AP 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が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にしており、若手交流の場としても有効に機能している。

第5回以降の領域会議はCOVID-19の感染拡大の影響を受け、オンラインでの開催となった。ポスター発表ができないので各チームに2件程度のショートプレゼンテーションをお願いし、若手研究者に発表の場を与えた。

第5回領域会議 2020年12月22日 Zoomによるオンライン開催

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

若手ショートプレゼンテーション：35件、研究チームからの参加者：115名であった。

第6回領域会議 2021年12月7日 Zoomによるオンライン開催

進捗報告：大岩課題、永井課題、納富課題、

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

2015年採択課題は研究期間終了となるが、大岩課題、永井課題、納富課題は1年延長支援となり第6回領域会議にも参加した。

若手ショートプレゼンテーション：32件、研究チームからの参加者：120名であった。

なお第7回領域会議は2023年2月に対面とオンラインのハイブリッド開催を計画している。

## ② サイトビジット

サイトビジットを重視してきた。研究の現場を訪れ実験室を観て研究者の生の声を聞くことは、まさに「百聞は一見に如かず」で研究グループの日頃の活動の様子が手に取るように把握できる。領域会議と並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。領域アドバイザーも同行し多角的なアドバイスを行っている。



(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

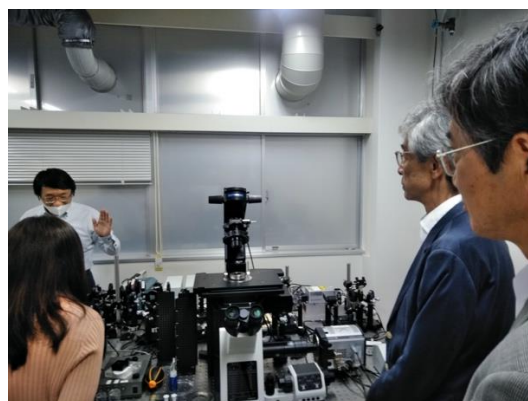
主たる共同研究者である青木グループのサイトで開催した。通信波長帯への展開を開始していることを確認した。

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。

（2020年度）

領域会議同様、COVID-19の感染拡大の影響を受け、オンラインでの開催となった。進捗確  
認に加え、動画等を準備しラボツアーもバーチャルに実施した。前半は2016年度採択課題  
と研究代表者が異動となった成瀬課題、藤課題を訪問した。

矢花課題 #2      2020年7月7日 オンライン開催  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、三沢 AD、緑川 AD

スーパーコンピュータの活用については「京」から「富岳」へ順調に移行していることが確  
認できた。

岩谷課題 #2      2020年7月20日 オンライン開催  
高松 AD、萩本 AD、緑川 AD

AlGaIn 結晶の高品位化で励起パワーの削減が進んでいることが確認できた。

岩坂課題 #3      2020年7月21日 オンライン開催  
高松 AD、萩本 AD、原 AD、緑川 AD

魚由来のグアニン板の光機能への展開が言及されたが、この手法で初めて実現できる機能  
を追求するよう指導した。

成瀬課題 #2      2020年7月27日 オンライン開催

小山 AD、三沢 AD、緑川 AD、森 AD  
課題設定に対し順調に進捗していることが確認できた。

金光課題 #3      2020 年 7 月 31 日 オンライン開催  
阿山 AD、小山 AD、萩本 AD、原 AD、三沢 AD、緑川 AD  
基礎物性の解明が進捗していることは確認できた。

藤課題 #2          2020 年 9 月 11 日 オンライン開催  
高松 AD、原田 AD、三沢 AD、緑川 AD、森 AD  
赤外光源の開発は順調である。生体観測への展開を加速するよう、指導した。

2020 年度後半のサイトビジットは課題事後評価を控えている 2015 年度採択課題について開催した。

永井課題 #4      2020 年 11 月 16 日 オンライン開催  
高松 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD  
レベルの高い超解像観察技術を実現したことに加え深層学習の導入も順調に展開されていることが確認できた。

大岩課題 #4      2020 年 11 月 18 日 オンライン開催  
阿山 AD、萩本 AD、原田 AD、森 AD  
中間評価で量子中継システムに注力するように指導したことを着実に実行していることに加え Ge 量子ドットによる効率向上という興味深い提案があった。

水本課題 #3      2020 年 11 月 19 日 オンライン開催  
高松 AD、小山 AD、萩本 AD、森 AD  
要素技術は進捗しているが、COVID-19 禍の影響もあり集積化の進捗が思わしくない。



水本チーム・バーチャルラボツアー（2020 年 11 月 19 日 オンライン開催）

石川課題 #4 2020年11月24日 オンライン開催

高松 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

研究代表者の理論を主たる共同研究者の光源により実証することが COVID-19 禍の影響もあり遅れている。

古澤課題 #4 2020年11月25日 オンライン開催

阿山 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

通信波長帯への展開が順調に進んでいることを確認した。

納富課題 #3 2020年11月26日 オンライン開催

阿山 AD、小山 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

非常に効率の良い光・電気、電気・光の信号変換素子を実現した。光演算回路への展開が期待される。

(2021年度)

前年同様 COVID-19 の感染拡大の影響を受け、オンラインでの開催となった。前半は 2017 年度採択課題のサイトビジットを実施した。

藤課題 #3 2020年7月12日 オンライン開催

高松 AD、田中 AD、萩本 AD、原田 AD、三沢 AD、緑川 AD

生体観測において開発した光源の優位性を示すよう指導した。

成瀬課題 #3 2020年7月12日 オンライン開催

阿山 AD、森 AD

超高速、超高集積意思決定理論を光アクセラレータや Beyond 5G への応用展開するビジョンを確認した。

野田課題 #2 2020年7月20日 オンライン開催

小山 AD、高松 AD、萩本 AD、原田 AD、森 AD

LiDAR 展開に向け高品位光源や 2 次元走査が順調に進捗していることを確認した。

石田課題 #2 2020年7月21日 オンライン開催

阿山 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

興味深い材料であり物性研究の進捗が順調に進んでいる。

福田課題 #2 2020年8月5日 オンライン開催

阿山 AD、小山 AD、高松 AD、萩本 AD、原 AD、原田 AD、三沢 AD、緑川 AD、森 AD

低励起強度、低侵襲性イメージングが順調に進んでいる。

2015年度採択課題は2020年度で研究期間終了であったが、COVID-19感染拡大による研究遅延に配慮し希望する研究チームに半年延長を認める対応をした。具体的には

石川課題：理論、光源、測定制御の融合実証

永井課題：生理機能超解像イメージング実証

水本課題：要素技術の集積化実証

の3課題を半年延長した。

またCRESTには1年延長支援制度がある。延長することで大きな成果が期待されるものが対象となる。具体的には

大岩課題：Ge量子ドットとブルズアイ共振器の開発

永井課題：超解像超広視野イメージング法の確立（半年延長と重複）

納富課題：光ニューラルネット演算及び干渉ゲート回路に関する動作実証

の3課題を1年延長支援とした。

2021年度後半は上記延長5課題と課題事後評価となる2016年度採択4課題のサイトビジットを実施した。

水本課題 #4 2021年9月27日 オンライン開催

阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

COVID-19感染拡大の影響は大きく異種材料集積Si光回路の動作確認には至らなかったが、個々のデバイスの動作確認、異種材料接合技術は完成した。

石川課題 #5 2021年9月29日 オンライン開催

田中 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

光源の故障という不測の事態が発生し理論、光源、測定制御の融合実証には至らなかったが、これまで水素やヘリウムといって2電子系が限界だったものが実際に実験で使われる原子・分子での計算を実現できた意義は大きい。

岩坂課題 #3 2021年10月12日 オンライン開催

阿山 AD、高松 AD、原田 AD、森 AD

魚類グアニン微小板の構造や光散乱特性解明、主たる共同研究者による盗タンパク質現象

など興味深い発見がなされているが、デバイス展開の加速を指示した。

永井課題 #5      2021年10月12日 オンライン開催  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、原田 AD、森 AD

COVID-19による延長、1年延長支援とも順調に推移していることを確認した。

岩谷課題 #3      2021年10月18日 オンライン開催  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

CRESTの成果を、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)に展開し、高出力化検討も開始していることを確認した。

矢花課題 #3      2021年10月21日 オンライン開催  
阿山 AD、萩本 AD、原 AD、原田 AD、森 AD

光・電子融合第一原理計算プログラム SALMONの普及が進んでいることが確認できた。

大岩課題 #5      2021年10月26日 オンライン開催  
阿山 AD、小山 AD、高松 AD、萩本 AD、原 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

Ge量子ドットの進展がよくないので改善するよう指示した。

金光課題 #4      2021年10月27日 オンライン開催  
阿山 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

非鉛ペロブスカイト太陽電池材料開発の進展が確認できた。

納富課題 #4      2021年10月28日 オンライン開催  
小山 AD、萩本 AD、原田 AD、緑川 AD、森 AD

光ニューラルネット演算動作実証が進展していることが確認できた。

(2022年度)

COVID-19に対し細心の感染対策を施しつつ対面開催で実施した。2016年度採択のうち1年延長支援となった岩谷課題、矢花課題と2017年度採択の5課題が対象である。

野田課題 #3      2022年8月4日 京都大学桂キャンパス 阿山 AD、高松 AD  
レンズフリーのフォトニック結晶レーザーで高い測距分解能を実現し、LiDARに搭載したデモンストレーションで社会実装に向けた検討が進んでいることを確認した。これまでのサイトビジットの中でも最も周到に準備され印象深いものの1つであった。



LiDAR を搭載した追従ロボットのデモンストレーション

石田課題 #3      2022年8月4日 理化学研究所和光地区 阿山 AD、萩本 AD  
応用として非侵襲グルコースセンサーの提案があったが、代替技術も多いので優位性の検討を指示した。

矢花課題 #4      2022年8月19日 関西光科学研究所木津地区  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD  
1年延長支援課題である。今後、光・電子融合第一原理計算プログラム SALMON の管理を主たる共同研究者のサイトへ移管することから、関西光科学研究所で開催した。  
延長期間の目標はトポロジカル絶縁体への対応であるが、順調に進展していることが確認できた。

岩谷課題 #4      2022年8月22日 名城大学天白キャンパス  
阿山 AD、高松 AD、萩本 AD、原 AD、緑川 AD  
1年延長支援課題である。P型層で検討した分極ドーピングをN型層に展開することが延長のテーマだが、想定プロセスを設計まで完了し、結晶欠陥問題が出ないか、確認中である。

藤課題 #4      2022年8月31日 豊田工業大学 阿山 AD、原 AD  
開発した光源により動的生体観測が開始されたことを確認した。

成瀬課題 #4      2022年9月2日 東京大学本郷キャンパス 阿山 AD、萩本 AD  
超高速意思決定メカニズムを光通信ネットワークにおける自律的な波長割り当てに展開す



るなど具体的な応用展開の検討を開始していることが確認できた。

福田課題 #3      2022年9月5日 産業技術総合研究所つくば中央 阿山 AD、緑川 AD  
チーム内の連携もよく、非侵襲のバイオイメーjingを実現したことを確認した。

### 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 年早めて 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。残りの期間に大きな成果が期待できる課題は加速資金を配算した（表 2-1～表 2-3 参照）。

2015 年度採択課題のうち中間評価で納富課題、古澤課題に最高評価を与えた。その結果、表 2-1 に示す増額支援を実行した。納富課題は光電変換 (OE/E0) 効率を大幅に向上させたことを評価し、その集積化検討を支援した。集積化は順調に進み、現在 NTT の推進している IWON 構想の全光ネットワーク実現のキーデバイスとなっている「光トランジスタ」の創出につなげられたため、事後評価も高評価を与えた。加えて光ニューラルネット演算及び干渉ゲート回路に関する動作実証も目的に 1 年延長支援も行なった。

古澤課題はシャノン限界を超える極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作が順調に進んでいることを評価した。ただし波長は 860nm である。光通信で一般的に用いられている  $1.55\mu\text{m}$  に展開できれば産業展開に有効であり、その検討の支援を行なった。当然追加支援の候補であったが、2020 年度内閣府ムーンショット「量子コンピュータ」の課題に採択されたため断念された。

石川課題、大岩課題、永井課題も課題達成に順調に進捗しており増額支援を行った。

表 2-1 2015 年度採択課題の増額金額および内訳（単位：100 万円）

課題	採択時	現在	増額	総括裁量経費	その他
石川課題	290	329	39	<b>16.0</b> <b>人件費</b> 2.0 計算機使用量 3.1 装置 1.6 国際共同研究	6.4 国際強化支援 3.1 装置 6.9 コロナ延長
大岩課題	290	342	52	<b>23.3</b> <b>装置</b> 0.8 国際共同研究	7.8 国際強化支援 10.4 装置 10.0 1年延長支援
永井課題	300	380	80	<b>18.9</b> <b>人件費</b> 15.2 装置 4.9 大阪北部地震 1.0 国際共同研究	7.9 国際強化支援 1.9 人件費 10.2 装置 20.0 コロナ延長、1年延長
納富課題	290	385	95	<b>48.0</b> <b>集積化検討</b> 21.4 ニューラルネットワーク応用 4.1 装置	11.0 装置 10.0 1年延長支援
古澤課題	290	374	84	18.6 装置 <b>25.0</b> <b>通信波長展開</b> 0.6 国際共同研究	3.4 国際強化支援 32.8 装置 3.9 通信波長展開
水本課題	240	246	6		6.1 コロナ延長

2016 年度採択課題では岩谷課題と矢花課題を最も高く評価した。岩谷課題では、AlGaIn 結晶の高品質化により UV-B 領域のレーザー発振閾値パワー密度の低減に成功、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  $5.0\text{eV}$  の AlGaIn を用いて電流密度が  $40\text{kA/cm}^2$  を超える世界最高レベル値を実現したからである。その結果、表 2-2 に示す増額

支援を実行した。具体的には今後、詳細な評価を実行するための評価装置の導入を支援した。

金光課題、矢花課題も課題達成に向け順調に進展しており増額支援を行なった。特に矢花課題は光・電子融合第一原理計算プログラム SALMON の開発が順調に推移し、同種のソフトウェアで既に世界標準となっている OCTPUS に近い将来比肩できる見通しである。プロモーション動画を作成し公開するよう指導した。現在以下のリンクで公開されている。迷いつつも採択した目論見は正解であったと自負している。

[https://www.youtube.com/channel/UCpgVq7\\_0k5mmq\\_5kbKU29Lg](https://www.youtube.com/channel/UCpgVq7_0k5mmq_5kbKU29Lg)

表 2-2 2016 年度採択課題の増額金額および内訳（単位：100 万円）

課題	採択時	現在	増額	総括裁量経費	その他
岩坂課題	260	263	3	0.7 国際ワークショップ	1.8 国際強化支援 0.6 人件費、物品費
岩谷課題	260	384	124	<b>34.6</b> 装置 2.9 国際共同研究 5.0 1年延長支援	34.3 国際強化支援 3.0 成果展開 29.0 装置 10.0 コロナ研究 5.0 1年延長支援
金光課題	220	258	38	<b>11.7</b> 装置	1.6 国際強化支援 25.0 装置
上妻課題	260	114	▲146		▲146 早期終了返金
矢花課題	210	227	17	<b>5.0</b> <u>プロモーションビデオ作成</u> 1.0 国際共同研究 5.0 1年延長支援	0.9 国際強化支援 5.0 1年延長支援

2017 年度採択課題では野田課題を最も高く評価した。安定かつ高出力・高ビーム品質を有するフォトニック結晶レーザーは LiDAR への展開が期待される。計画を前倒しして進められている社会実装を更に加速できるように特に手厚く増額支援を実施した。

表 2-3 2017 年度採択課題の増額金額および内訳（単位：100 万円）

課題	採択時	現在	増額	総括裁量経費	その他
石田課題	250	260	10		1.8 国際強化支援 8.6 装置
成瀬課題	240	365	125	39.2 装置 9.2 国際共同研究 4.0 人件費	11.3 国際強化支援 61.2 装置
野田課題	250	312	62	<b>49.5</b> 装置	12.0 装置
福田課題	200	271	71	18.5 装置	3.0 国際強化支援 36.9 装置 10.0 コロナ研究 2.4 ダイバーシティ
藤課題	250	383	133	11.6 装置	6.9 国際強化支援 114.7 装置

なお成瀬課題、藤課題の増額は研究代表者の異動に伴う支援が主である。

## (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、採択課題の中から厳選して原則毎年現地で国際ワークショップを開催してきた。

### 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（当時）とライプニッツ協会のマティアス・クライナー会長には、両組織間の良好な関係を維持することの重要性を強調した。



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（オランダ）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（英国）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（ドイツ）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（ドイツ）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た(2020 年時点)。



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 仏グルノーブルにおける Institut Neel 等とのワークショップ (予定)

2020 年度、2021 年度は COVID-19 の感染拡大で国際ワークショップを開催できないでいた。2022 年度は成瀬課題が中心となり、Institut Neel, University Grenoble Alpes, CNRS との「ナノ工学と光カオスを用いた光強化学習」のワークショップを 2 月に開催する。

#### ⑥ その他の国際連携

各課題でも国際連携を積極的に実施しており、その内容を以下にまとめた。

表 2-4 各課題に国際連携活動

課題	年度	連携相手	形式	内容
石川課題	2019	英国・Imperial College London Margarita Khokhlフェロー	招聘	実時間第一原理計算法の開発
石川課題	2019	カナダ・オスロ大学 Simen Kvaal准教授	派遣	非断熱分子ダイナミクス理論の研究
大岩課題	2019	カナダ・National Research Council D. Guy Austing主任研究員	派遣	光子-スピン変換に関する研究
古澤課題	2018 2019	ドイツ・マインツ大学 Peter van Loock教授	招聘	量子誤り訂正についての情報交換
岩坂課題	2017	ベルギー・Katholieke Universiteit Mallefet教授	招聘	魚類の発光器とグアニン結晶に関する情報交換と発光サメのサンプリングを実施
岩谷課題	2018	米国・ライス大学 Alberto Pimpinelli教授	派遣	結晶成長の研究
岩谷課題	2019	フランス・Université Claude Bernard Lyon Olivier Pierre-Louis教授	派遣	デバイス物理モデルの検討
岩谷課題	2020	ドイツ・University Magdeburg ポーランド科学アカデミー高圧物理学研究所 デンマーク工科大	共同研究	UV-Bレーザダイオードの高性能化に向けた研究ネットワークを構築
成瀬課題	2018	カナダ・オタワ大学 Georg Northoff教授	招聘	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
成瀬課題	2019	フランス・Institut Néel Serge Huant副所長	派遣	競合意思決定に関する新たな展開を議論
成瀬課題	2019	フランス・Institut Néel Guillaume Bachelier研究員	招聘	非線形光学、ナノ光学についての情報交換
福田課題	2021	ドイツ・理工学研究所 Joern Beyer博士、Sebastian Raupach博士	共同研究	超伝導光子数識別器を融合した新技術の開発およびその量子計測への応用、並びに高精度計量標準技術の開発について
藤課題	2019 2020	台湾交通大学 Luo教授	共同研究	有機無機ハイブリッドペレブスカイト半導体へ赤外分光イメージング手法を適用する共同研究

### (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。

#### ① Novel frontiers of optics for computing

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。米国・MIT の Marin Soljačić 教授の基調講演のほか、同・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、成瀬チームも発表した。

#### ② New Developments toward Wearable Photonics: From Materials to Devices

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ニ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米国・ライス大学の河野教授、同・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、英国・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 教授に招待講演を依頼した。領域の成果発表は金光チーム、石田チームの他、岩坂チームも講演した。



開会の挨拶



会場の様子

なお 2020 年度以降は COVID-19 感染拡大の影響で開催できていないのが残念である。



#### (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  
名城大学・岩谷素 顕（岩谷課題・研究代表者）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繋がっている。

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	・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	IEEE CEDA All Japan	・2018/3/26

		Award		
	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
	村井 俊哉			
<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	・ 2018/10/6
		領域 5 学生優秀発表		
<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	・ 2018/12/1
			フォトンクス研究会	
	吉田 昌宏 (D2)	LQE 奨励賞	電子情報通信学会	・ 2019/2/1
			LQE	
	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「電子フォトリクス融合によるポアンカレインターフェースの創製」

[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リ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た。

[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リ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リ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。

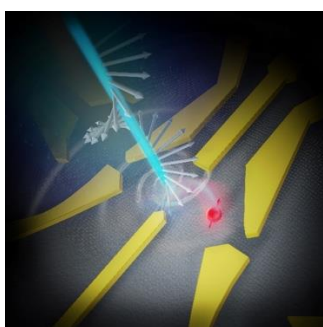


図 6-1 ポアンカレインターフェースの原理実証

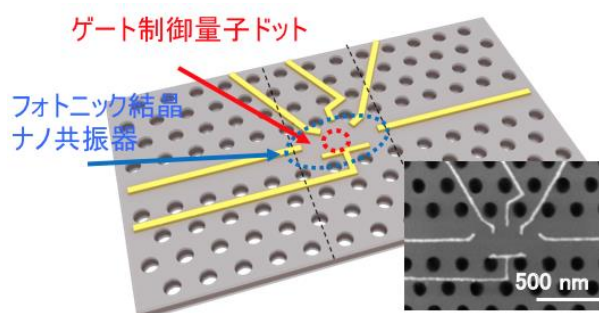


図 6-2 ゲート制御量子ドットとフォトリック結晶ナノ共振器の融合素子のプロトタイプの開発

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。

研究後半では量子中継機への展開に集中するよう指導した。まず単一光子から単一電子スピンへ情報の変換に成功した。

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20190716/index.html>

しかし実際に問題となるのは変換効率である。研究期間終盤でGe正孔量子ドットを有するブルズアイ共振器をポアンカレインターフェースとする量子中継システムにて量子中継を可能とする条件を下図のようにクリアできるとの提案があり、1年延長支援を実施させた。要素技術は進展したものの延長期間中に実証には至らなかったが、目標性能達成に向け研究は継続している。

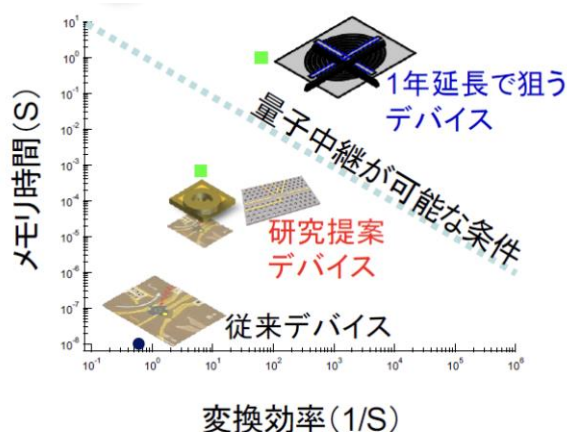


図 6-3 変換効率の比較

## 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」

### [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 (<1fF) 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)。「光トランジスタ」は現在NTTの推進しているIWON構想の全光ネットワーク実現のキーデバイスとなっている。

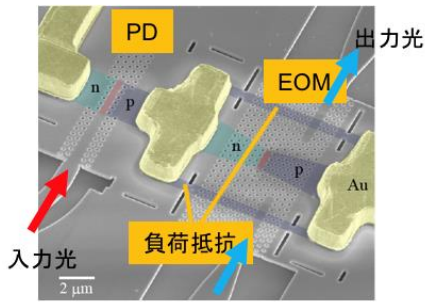


図 6-4 ナノ光受光器 (PD) とナノ光変調器 (EOM) を集積した光トランジスタ (三端子素子)

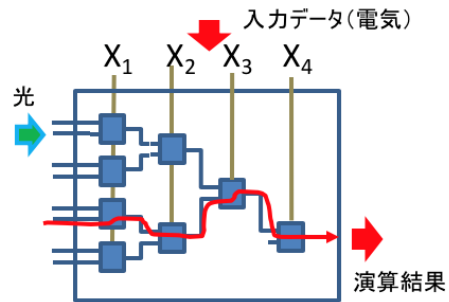


図 6-5 光パスゲートによる演算方式の模式図

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、光電融合システムの設計環境を開発した。

研究後半は大規模光集積技術を推進すべく増額支援を実施した。その結果 DA/AD 変換器の開発、光並列加算器の動作実証に結びついた。また最終年度にはニューラルネットへの展開が提案され、増額支援を実施した。その結果、様々なニューラルネットの動作実証に成功した。このアプローチを継続すべく 1 年延長支援を行い、図 6-6 に示すニューラルネットワーク回路にて低遅延、低消費電力動作を実証した。ムーアの法則の終焉がもたらすデジタルコンピューティングに対する負のインパクトとボトルネックが顕在化する中で、納富チームが創始した光演算に基づくフォトニックアクセラレータ (PAXEL) の概念はコンピュータの性能の持続的発展に重要な役割を果たすことが期待される。

計 26 件 (含外国 7) の特許出願数は圧倒的であり、知的財産権に対する意識の高さも称賛したい。

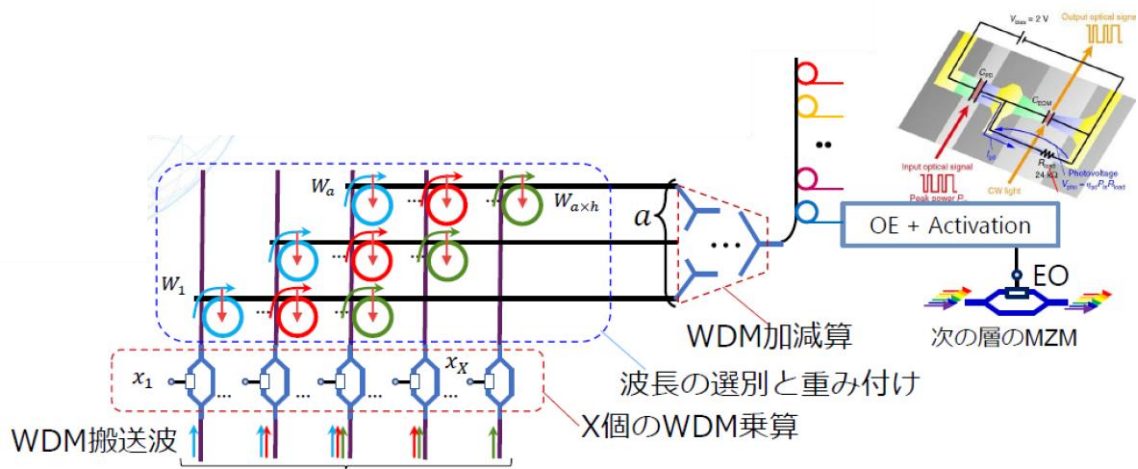


図 6-6 全光型波長分割方式積和を用いたニューラルネットワーク回路

改めて本研究課題での OEO 素子の光電変換効率は素晴らしいものがあり、現在 CREST「情報担体を活用した集積デバイス・システム」領域にて新たな展開に注力している。

[https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research\\_area/ongoing/bunya2020-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunya2020-3.html)

### 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]

量子雑音を克服できれば光通信はシャノン限界を実現できることが知られている。その手段として「量子ノイズイート光アンプ」にチャレンジした。その要素技術の1つである量子力学的操作に基づく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 の動作実証にも世界で初めて成功した。

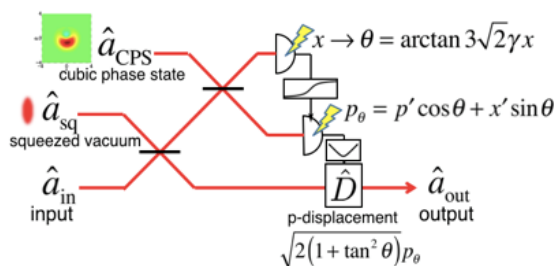


図 6-7 本研究で発明した簡便な 3 次位相ゲート実現法

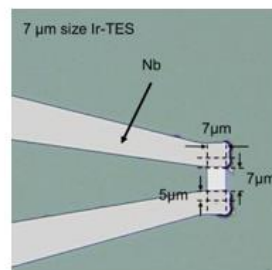


図 6-8 Ir-TES 光子数識別器

研究後半は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した。加え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み光量子コンピュータチップ実現にむけた高性能量子光源の開発に成功した。

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200330/index.html>

これらの成果をもとに内閣府ムーンショット目標 6「2050 年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」に研究開発プロジェクト「誤り耐性型大規模汎用量子コンピュータの研究開発」として採択され研究推進を継続している。

<https://optical-quantum-computers.jp>

④ 成瀬課題「ナノ光学と光カオスを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]

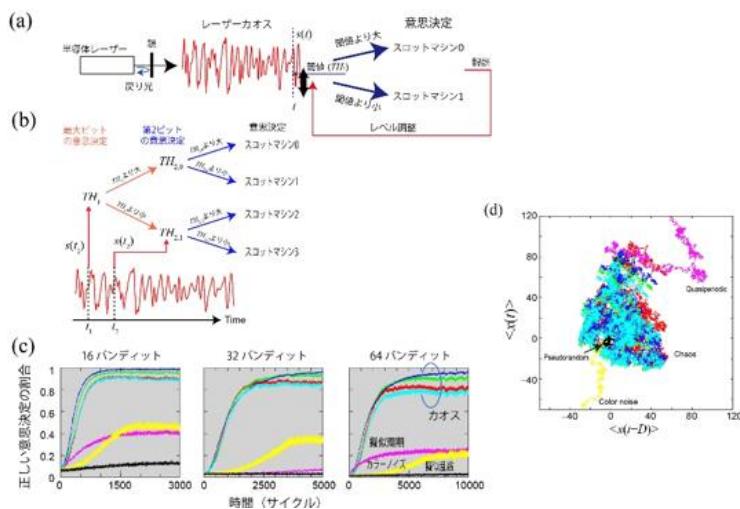


図 6-9 高速光カオス時系列を用いたスケーラブル意思決定

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。

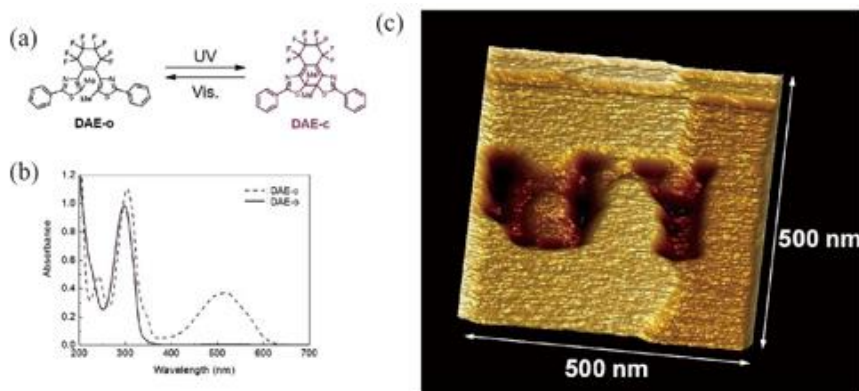


図 6-10 ナノ光学を用いたフォトクロミック結晶表面へのパターン記録と消去

またレーザー光のカオスの遍歴の自発性を用いて、多腕バンディット問題が解けたこと



実証した (Science Advances, Vol. 8, eabn8325, pp.1-13)。光通信ネットワークにおいて重要な役割を担う自律的な波長の割り当ての最適化などの応用展開も期待できる。

本研究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るが故、基礎固めをしっかりと行っていくべき、と考えている。研究代表者をリーダーとした学術変革領域研究「光の極限性能を用いたフォトニックコンピューティングの創成」が開始されたことを歓迎したい。<https://www.photoniccomputing.jp/message/>

今後は、わかりにくい研究内容を専門外の人達に平易に伝えて理解を得るために一層の努力を続け、フォトニックコンピューティングのエヴァンジェリストを自ら任じていただきたい。

## (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」

#### [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]

従来の超解像顕微鏡が対象にしてきた細胞の構造ではなく、生理機能、主として細胞内熱産生メカニズムを高い時空間分解能で捉えるためのイメージング技術を開発し、「ジュール熱仮説」の検証にチャレンジした。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。

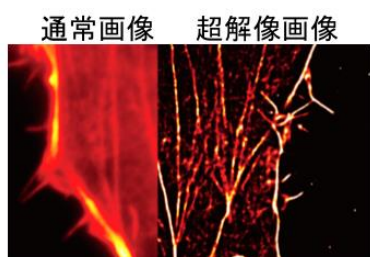


図 6-11 pH4.5 での超解像観察(rsGamillus)

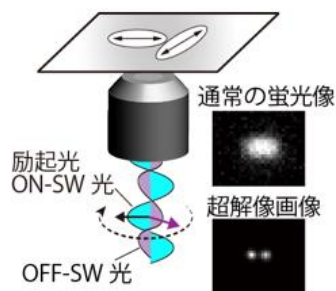


図 6-12 細胞に優しい超解像観察 (SPoD-OnSPAN)

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、細胞に優しい非侵襲超解像イメージング法：SPoD-OnSPANを開発した。後半は機械学習を導入し図6-13に示すように観測画像から深層学習により超高速・超解像画像再構成する計算法：SPoD-Netの開発に成功した。

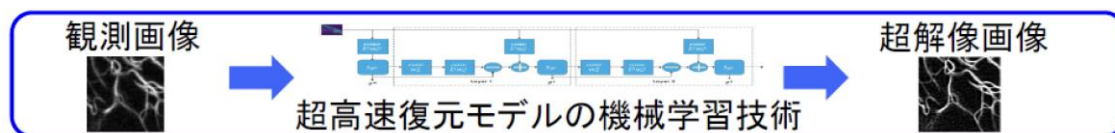


図 6-13 超解像細胞時間発展情報抽出手法

数十万細胞をサブ細胞レベルの分解能でワンショット撮像可能なトランススケールスコープへの展開提案があり1年延長支援を実施した。その結果、数十万細胞の酸化ストレス状態のビッグデータ取得に成功した。これらの成果は文部科学省新学術領域「シンギュラリティ生物学」(2018~2023年)に引き継がれ更なる発展が期待される。

## 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・干渉を水溶媒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。

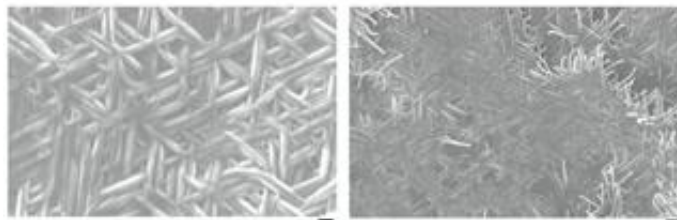


図 6-14 魚のリフレクター板（グアニン製）の内部グレーティング構造

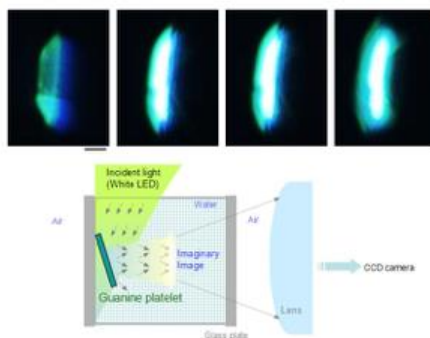


図 6-15 リフレクター板における虚像（光干渉パターン）の形成

主たる共同研究者による盗タンパク質現象の発見など注目すべき成果はあるが、魚由来のグアニン結晶板を利用することで、これまで実現できていない新たなフォトニックデバイスへの応用まで至らなかったのは残念であった。

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20201203/index.html>

## 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成を目指す。

[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 3×3 集積化素子を開発し、検出効率 84%、応答速度 160ns、分解能 0.21eV 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 6-16 光ファイバー自己整合型 TES 素子

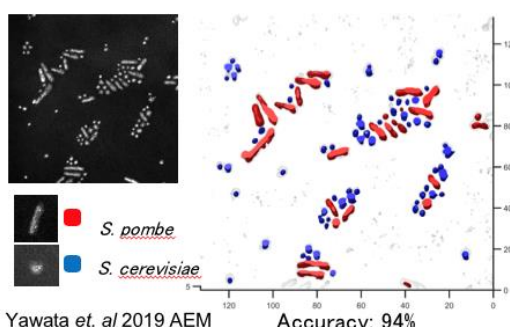


図 6-17 Deep-imaging 法による酵母細胞の増殖段階の識別

また TES を SQUID アレイで読み出すことに成功し、ほぼ自然光レベルでの超低侵襲細胞診断技術へ展開を実現しつつあり、今後インパクトの高い学術的な成果が大いに期待できる。今後バイオ分野以外に幅広く産業界へ TES を展開するためには知的財産権獲得が必須であり、1 年延長支援で特許出願活動を支援することとした。

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 μm 帯で mJ のパルスが発生するフェムト秒ツ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赤外ハイパースペクトラルイメージング装置を開発した。

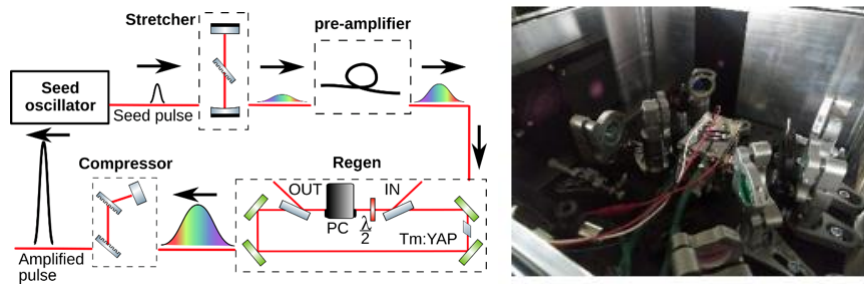


図 6-18 ツリウム増幅器の概念図と増幅部分の写真

2  $\mu\text{m}$  帯のフェムト秒ツ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。

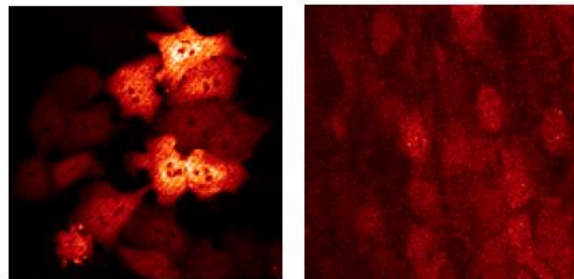


図 6-19 TurboFP635 を導入した HeLa 細胞の観察イメージと  
赤色蛍光タンパク質を発現させたラット海馬スライスのイメージ

研究後半では本研究課題で開発した光源により生体試料の動的観測が開始されたが、このシステムでなければ観測できないものが、現時点では見出せていない。

### (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ーの開発」

##### [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ーを開発し、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。

一方、研究開始当初はどのようなシステムを狙っているのか、中間評価でも指摘したが見通しが良くなかったが、後半は具体的イメージが明確になり図 6-22 に示すチップの集積化に注力した。しかし COVID-19 の影響で試作が思うように進まず、研究期間も半年延長したが集積化ルーターの実証には至らなかった。待機電力ゼロ型であるため、シミュレーションであるが消費電力という意味では図 6-23 に示すように優位な技術であると考えている。

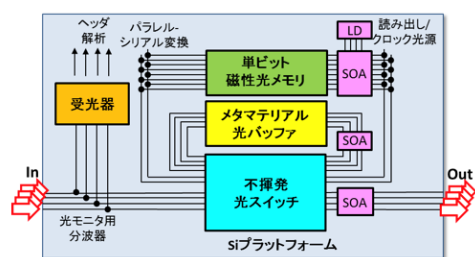


図 6-20 フォトニックルーターのブロック

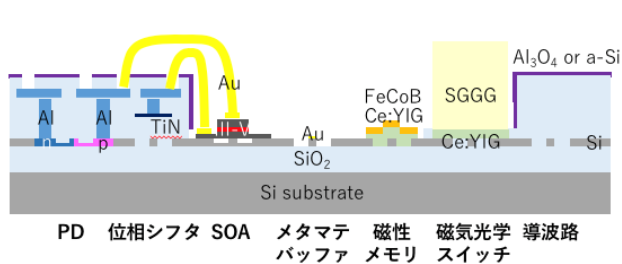


図 6-21 要素デバイス集積化断面構造

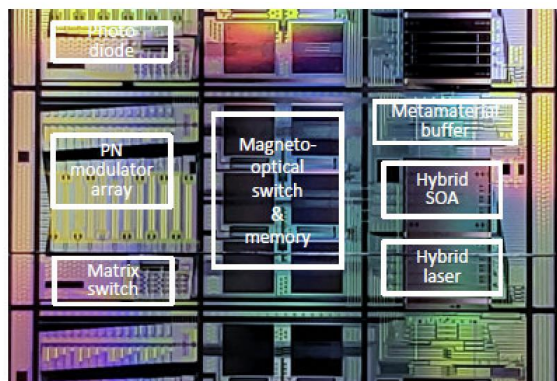


図 6-22 集積チップ写真

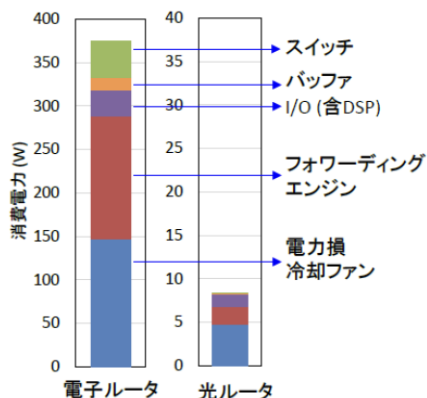


図 6-23 消費電力の比較

## ② 岩谷課題「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」

課題中間評価(2018年度実施)および事後評価(2022年度実施)では、いずれもA+(非常に優れている)を付与した。ベルリン工科大学とのAlGaN UVレーザー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ーは医療・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ー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ーの実現を目指す。

[研究成果]

課題実現に向け図 6-24 に示す 3 つのブレイクスルー技術を定義しシステムティックに取り組んでいる。その結果、世界初の中波長紫外線 (UV-B) 領域の半導体レーザーを実現した。

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200219/index.html>

現在高出力化に向けては NEDO の先導研究で展開している。また P 型層に適用している分極ドーピングを N 型層にも展開し完全な不純物フリーのデバイス検討の提案があり 1 年延長を支援した。デバイス動作は実現できたが、注入効率改善にはさらなる最適化が必要である。

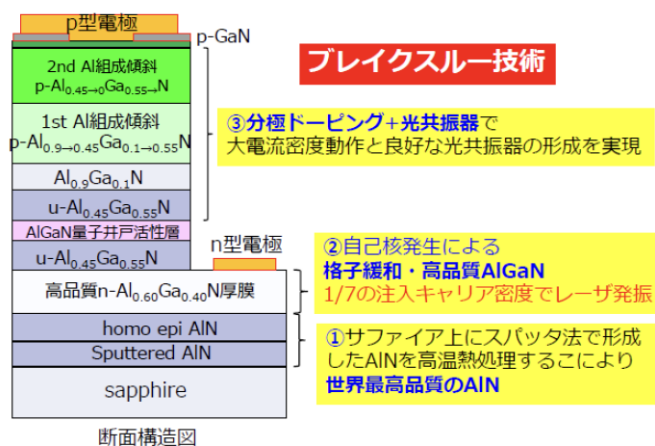


図 6-24 半導体レーザーの断面構造とブレイクスルー技術

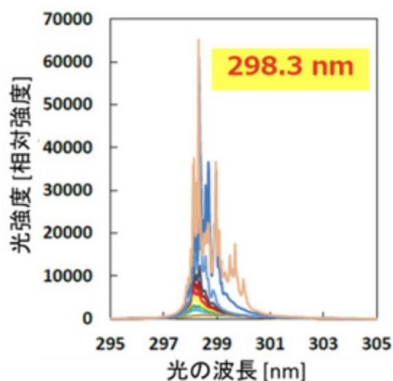


図 6-25 UV-B レーザーの発振発光スペクトル

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もらいたい。

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」

課題中間評価(2019年度実施)および事後評価(2022年度実施)では、いずれもA+(非常に優れている)を付与した。

[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。本複合変調の学理を体系化し、理論に裏打ちされた確固たるデバイス設計法に基づきビーム走査、ビーム多点化に成功した。

$10\times 10$  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。特許出願は国際12件、国内22件と突出しており、特筆すべき成果である。

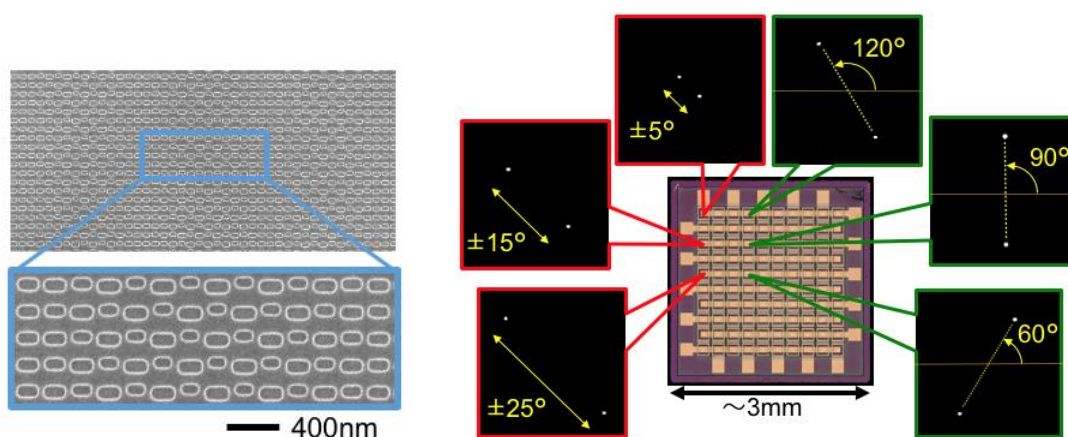




図 6-26 複合変調フォトニック結晶

図 6-27 10×10 アレイデバイス

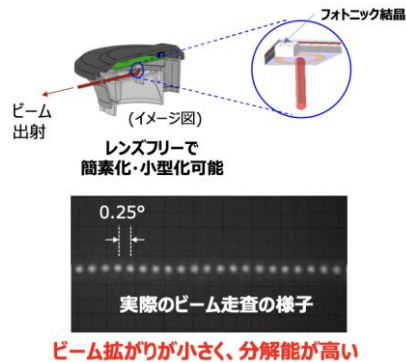


図 6-28 LiDAR の光源部

図 6-28 に示すようにフォトニック結晶レーザーを LiDAR に搭載し高分解能な測距に成功している。<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200630/index.html>

また電氣的な 2 次元ビーム操作にも成功した。

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200717/index.html>

これらの成果は産業界からも注目されており今後社会実装が加速することが期待される。

#### (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ニクス技術の開発」

###### [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、フォトニ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ニクス技術の開発を目指す。

###### [研究成果]

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。

基礎学理の立場から深い物性解析がなされており、これらの成果は産業化検討に有効なデータである。また Pb フリーデバイスの性能向上にも取り組んだことも評価できる。一方、塗布型半導体の加工性と優れた光電特性を活かしたフレキシブルフォトニクス技術では、残念ながら期待された進展は十分には得られなかった。

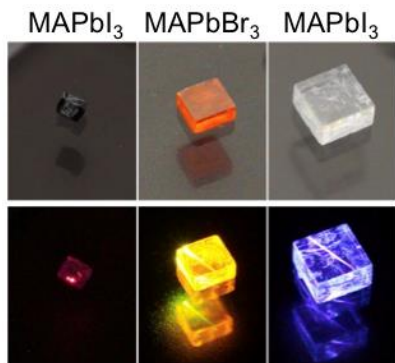


図 6-29 ハロゲン元素置換によるバンドギャップエネルギーおよび発光色の制御 (MA=CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>)

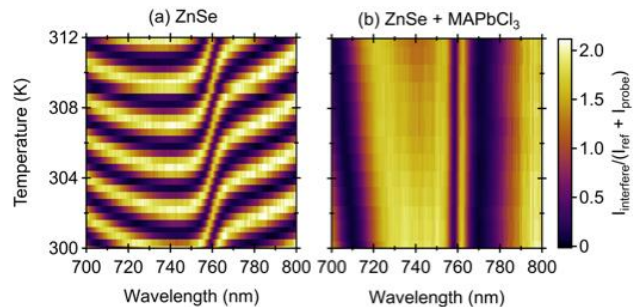


図 6-30 (a) 正の熱光学係数を持つ通常の半導体 (ZnSe) で生じる熱誘起光位相シフトと b) 負の係数を持つ CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbCl<sub>3</sub> を貼り合わせることによる位相シフト補償の実現

## ② 石田課題「殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用」

### [課題概要]

光の波長程度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材料である。「結晶」の名の通り、通常は固体で作られる。石田らは最近、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、所望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。

応用展開としてグルコースの非侵襲センサーの検討を開始したが、他の測定機器に対する優位性を明確には定義できず実用化の見通しを得るには至らなかった。引き続きCREST「原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能」へ採択されているので検討継続を期待している。

[https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/project/1111107/1111107\\_2022.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/project/1111107/1111107_2022.html)

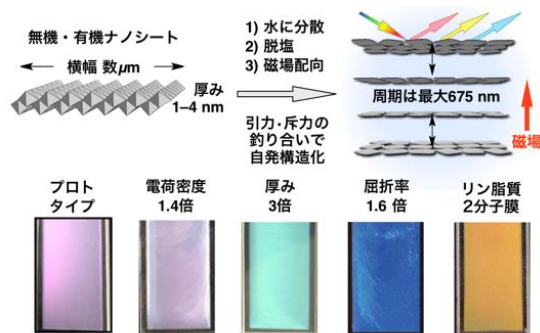


図 6-31 殆どが水よりなるフォトニック結晶

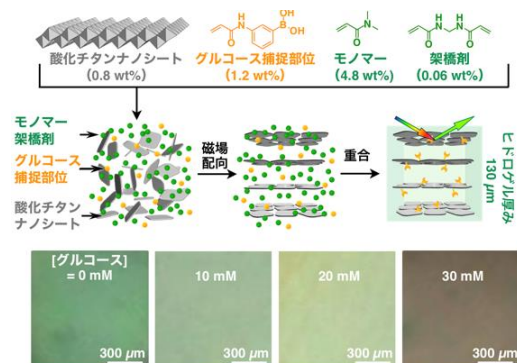


図 6-32 ヒドロゲル化したグルコースセンサー

### (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」

##### [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、様々な計算物理の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た。

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。

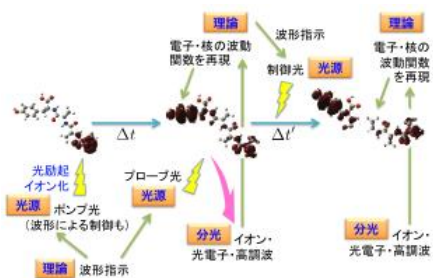


図 6-33 アト秒反応ダイナミクスコントローラーの概念図

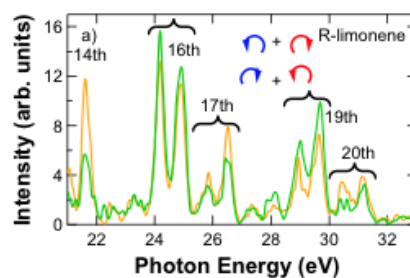


図 6-34 高次高調波分光によるリモネンのキラル識別

開始当初は水素やヘリウムといった 2 電子系が限界だったものが、実際に実験で使われる原子・分子での計算を実現できた意義は大きく、今後のフォトンクス分野の発展に大きく資すると考えている。次のステップとして、基礎研究で終わることなく、医療や創薬の分野への応用等を目指し、学理から社会実装へのギアチェンジを期待したい。

## 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〕

事後評価では最高の評価 A+ とした。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。同種のソフトウェアで既に世界標準となっている OCTPUS に近い将来比肩できる見通しを得たことは高く評価できる。プロモーション活動も実施しており、以下のリンクで動画が掲載されている。

[https://www.youtube.com/channel/UCpgVq7\\_0k5mmq\\_5kbKU29Lg](https://www.youtube.com/channel/UCpgVq7_0k5mmq_5kbKU29Lg)

図 6-37 にダウンロード数を示すが積算で 8000 回に達しており順調に普及していると言っている。

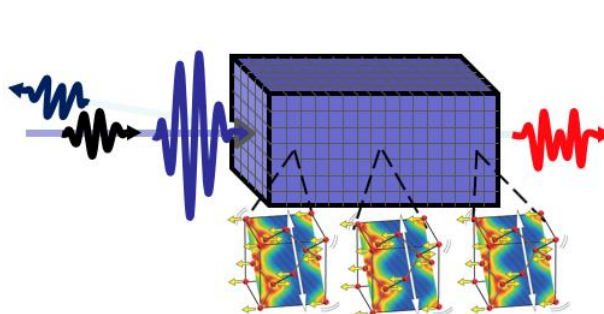


図 6-35 パルス光のポンプ-プローブ  
実験を丸ごとシミュレーション可能な  
光電磁場・電子・イオンの運動を同時  
に第一原理計算

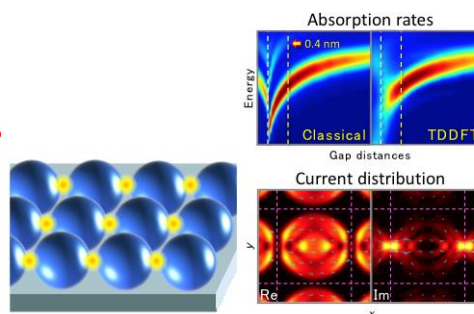


図 6-36 メタ表面の光応答

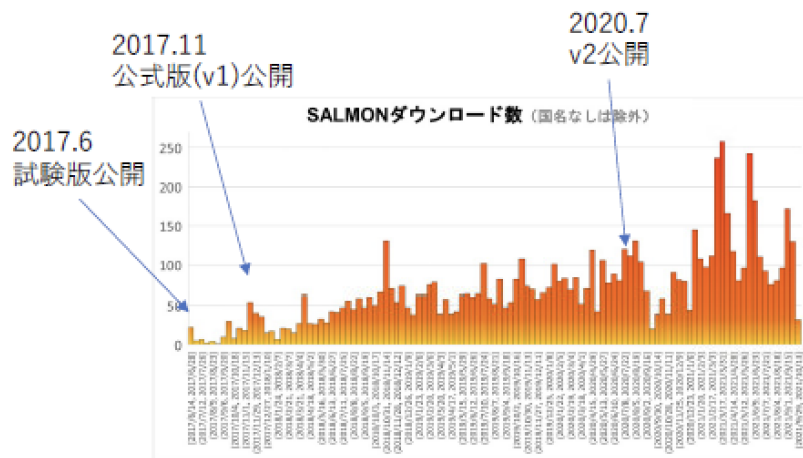


図 6-37 SALMON ダウンロード数/週

## 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 5 年振りとなる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課題毎にフェーズが異なっている。事後評価で最高の A+を受けた課題を再掲しておく。

採択年度	課題	課題名
2015年度	納富課題	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
2016年度	岩谷課題	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
	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
2017年度	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
	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

以下、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、大岩課題は継続して魅力的な性能の実証を目指して欲しい。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ってほしい。

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もらいたい。また岩坂課題も興味深い課題であるが、この材料でなければ不可能な応用を目指して欲しい。

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いる。野田課題も従来技術では実現できない性能を実現し産業展開を期待できる。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る。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だ結果、普及に進展がある。

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た。既に8名が短期・中期の海外派遣の機会を得て研鑽を積んでいる。

最後に、研究チームには大きな重要な成果を実現してもらい感謝すると同時に、今後の本分野の進展に資することを願っている。加えて、領域アドバイザーの方々にはご多忙の中、貴重なご助言をいただいたことに感謝したい。また事務局を務めていただいた前野様（前任）、勝又様には円滑な運営に尽力いただいたことに感謝したい。

以上