

研究領域
「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」
(略称 量子生体)

研究領域事後評価

国際マスイメージングセンター センター長
研究総括：瀬藤 光利

2023年2月21日

さきがけ

量子技術を適用した 生命科学基盤の創出



量子生命科学とは

量子生命科学とは、量子論・量子力学を基盤とした視点から生命全般の根本原理を明らかにすると同時に、医療・情報・工業・エネルギー・農産業・環境・等の様々な分野において革新的応用を目指す新たな学術領域です。

さきがけ 量子技術を適用した 生命科学基盤の創出



本研究領域では

量子科学・量子技術を生体や生体分子の計測に応用することで、量子と生体の研究の交流と融合を促進し、生命科学を革新的に発展させることを目的とし、量子生命科学基盤の創出を目指した。

1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域としての研究マネージメント状況
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域としての研究マネージメント状況
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

量子計測技術の生体応用

量子センサ技術

ダイヤモンドNV中心
量子ドット

量子光学技術

Quantum metrology
量子エンタングルメント・
量子スクイーミングの利用

生体分子機械の動作原理

光合成の電子移動

(FMO複合体、PS II複合体)
Science 2007; Nature 2007, 2010など
室温で電子コヒーレンスが>200fs以上持続

ヨーロッパコマドリの磁気コンパス

(クリプトクロームのスピ選択的化学反応)
Nature 2008 モデル分子での原理検証

電子伝達系の量子ウォーク仮説

(ミトコンドリア呼吸鎖、光合成アンテナ)

嗅覚受容体 (分子振動仮説)

酵素反応 (トンネル効果仮説)

量子技術の発展

しかし・・・

欧米に比べ、
量子技術を生命科学に
応用することに対する
遅れ

量子技術に対する生命科学研
究者の苦手意識や抵抗感
一方、生命科学応用に対する
量子技術者の意識レベルも

課題

（戦略目標）

「量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明」

（概要）

- これまでの光・量子に係る基礎研究から、世界をリードする技術シーズが生まれてきている。
- これらの量子技術は、生命科学への応用も期待されており、海外では強く推進され始めているものの、我が国においては、量子技術分野と生命科学分野の交流の遅れにより、その生物応用が十分に進んでいない。
- 本戦略目標において、量子技術と生命科学との融合を促進することにより、日本の優位性を保持しつつ、細胞内の生体分子が有する機能を量子レベルから統合的に理解する生命科学フロンティアを開拓する。これにより、新規治療・診断法等への応用が図られるとともに、量子技術の特性を利用した新規計測装置・機器による産業へと展開していくことが期待される。

達成目標Ⅰ

「量子センサー技術を用いて生命科学などの新たな潮流を生み出す」

達成目標Ⅱ

「光量子検出技術などでこれまで可視化されなかった状態を捉える」

達成目標Ⅲ

「量子ビーム・計測技術の高度化で分子間相互作用や機能を解明する」

戦略目標の達成に向けた研究総括のねらい

- 量子科学・量子技術を生体や生体分子の計測に応用
- 量子と生体の研究の交流と融合を促進
- 量子・生命のハイブリッド人材を育成
- ハイリスクなテーマにも積極的に挑戦

“達成目標”
への狙い



“さきがけ研究マネジメント”
としての狙い



1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
- 3. 研究課題の選考**
- 4. 領域アドバイザー**
5. 研究領域としての研究マネージメント状況
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

3. 研究課題の選考(公募)



科学技術イノベーションの源泉を 生み出すネットワーク型研究 (個人型研究)

- 国が定める戦略目標の達成に向けて**独創的・挑戦的**かつ**国際的に高水準の発展**が見込まれる先駆的な目的基礎研究を推進します。
- **科学技術イノベーションの源泉**となる成果を世界に先駆けて創出することを目的とします。

研究期間	3.5年以内
研究費 (直接経費)	総額3~4000万円



研究分野 (**I 生命科学**、 **II 物理・工学**、 **III 計算・シミュレーション**など) ごと
の公募テーマとして 以下の I ~ III を設定

I 生命現象を量子技術の応用により解明する課題

**II. 生命科学に応用可能な計測技術を量子技術の
利用により開発する課題**

III. 生命現象を 量子科学的に理解する課題

公募

応募総数 267件 採択総数 36件 (平均採択率13.5%)

1年次 | 2年次 | 3年次 | 4年次 | 5年次 | 6年次 |

2017年度 研究期間 2017年10月～2021年3月又は9月 事後評価

第1期公募 ⇒ 132件の応募、12件採択

2018年度 研究期間 2018年10月～2022年3月 事後評価

第2期公募 ⇒ 71件の応募、13件採択

2019年度 研究期間 2019年10月～2023年3月 事後評価

第3期公募 ⇒ 64件の応募、11件採択

領域評価 ●

さきがけ 研究領域
量子技術を適用した
生命科学基盤の創出

第1～3期公募と
事業スケジュール

	2017年度	2018年度	2019年度	合計
応募数	132	71	64	267
採択数	12	13	11	36
採択率	9.1%	18.3%	17.2%	13.5%

女性応募数・採択数 2017年度 20名 (15%) ⇒ 1名採択 2018年度 10名 (14%) ⇒ 1名採択 2019年度 2名 (3%) ⇒ 採択なし

外国籍応募数・採択数 2017年度 6名 (4.5%) ⇒ 1名採択 2018年度 4名 (5.6%) ⇒ 2名採択 2019年度 4名 (6%) ⇒ 1名採択

選考で重視した点 →

生命現象を解明する課題では

- ✓ 生命現象の原理や物理化学的な作用の解明に必要な量子技術を独自の工夫やブラッシュアップで最適化して導入

量子技術として計測技術やプローブを開発する課題では

- ✓ 対象とする生命現象・分子メカニズムを踏まえ、どのような技術的優位性があるか

どのような量子(原子、電子、光子、スピンなどの性質)の視点に基づく提案か

斬新で挑戦的なアイデアを広く募ります。

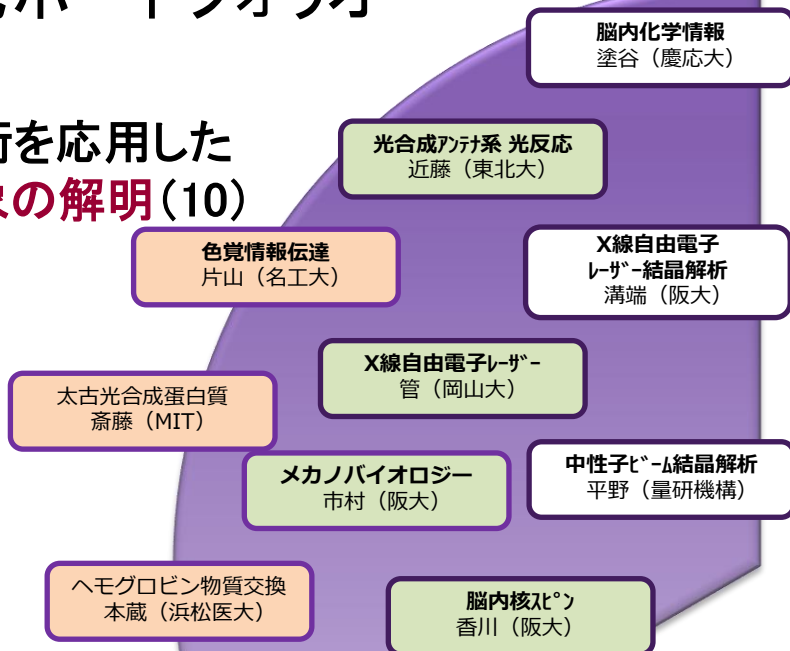
さきがけ3年半での論文数や学会発表数で評価しません。

領域終了後に飛躍的な成果を挙げるような研究者を積極的に採択します。

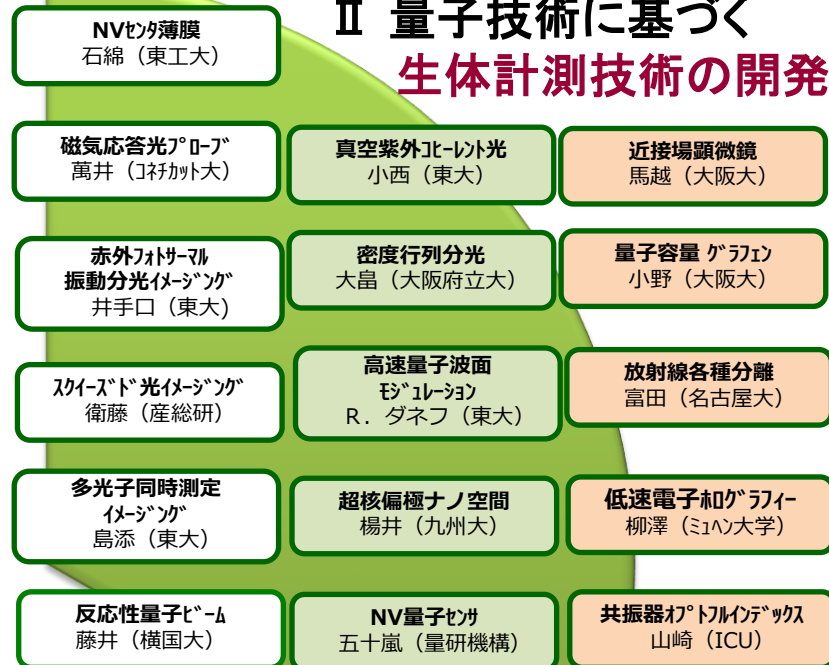
1、2、3期採択 36課題 領域ポートフォリオ

研究課題の選考(公募)

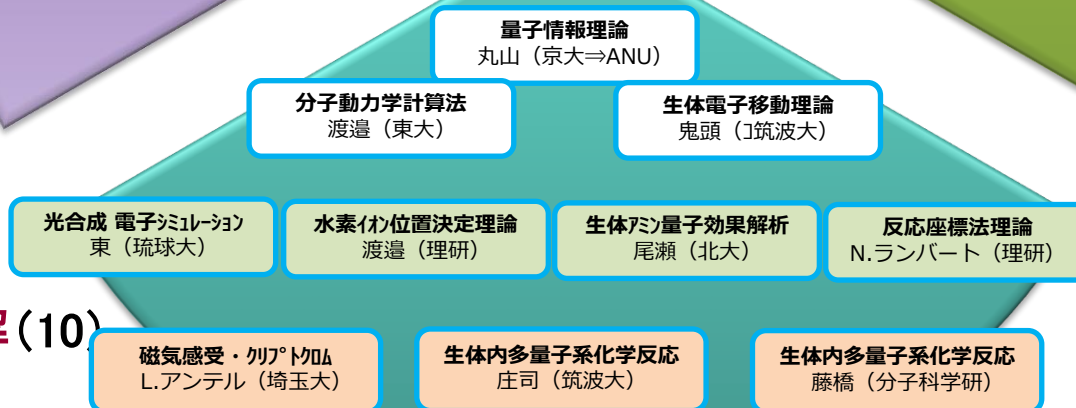
I 量子技術を応用した 生命現象の解明(10)



II 量子技術に基づく 生体計測技術の開発(16)



III 生命現象を 量子科学的に理解(10)



第1期採択12課題 第2期採択13課題 第3期採択11課題 がカバーする分野

量子技術 対象	量子センサ 光量子	量子 ビーム	量子 プローブ	量子理論
生体・細胞 イメージング	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ケミカル イメージング		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
脳・認知		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
光合成 酸化・還元 窒素固定	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
生体量子効果 水分子摂動	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

4. 領域アドバイザー

～アドバイザー選考における考慮～

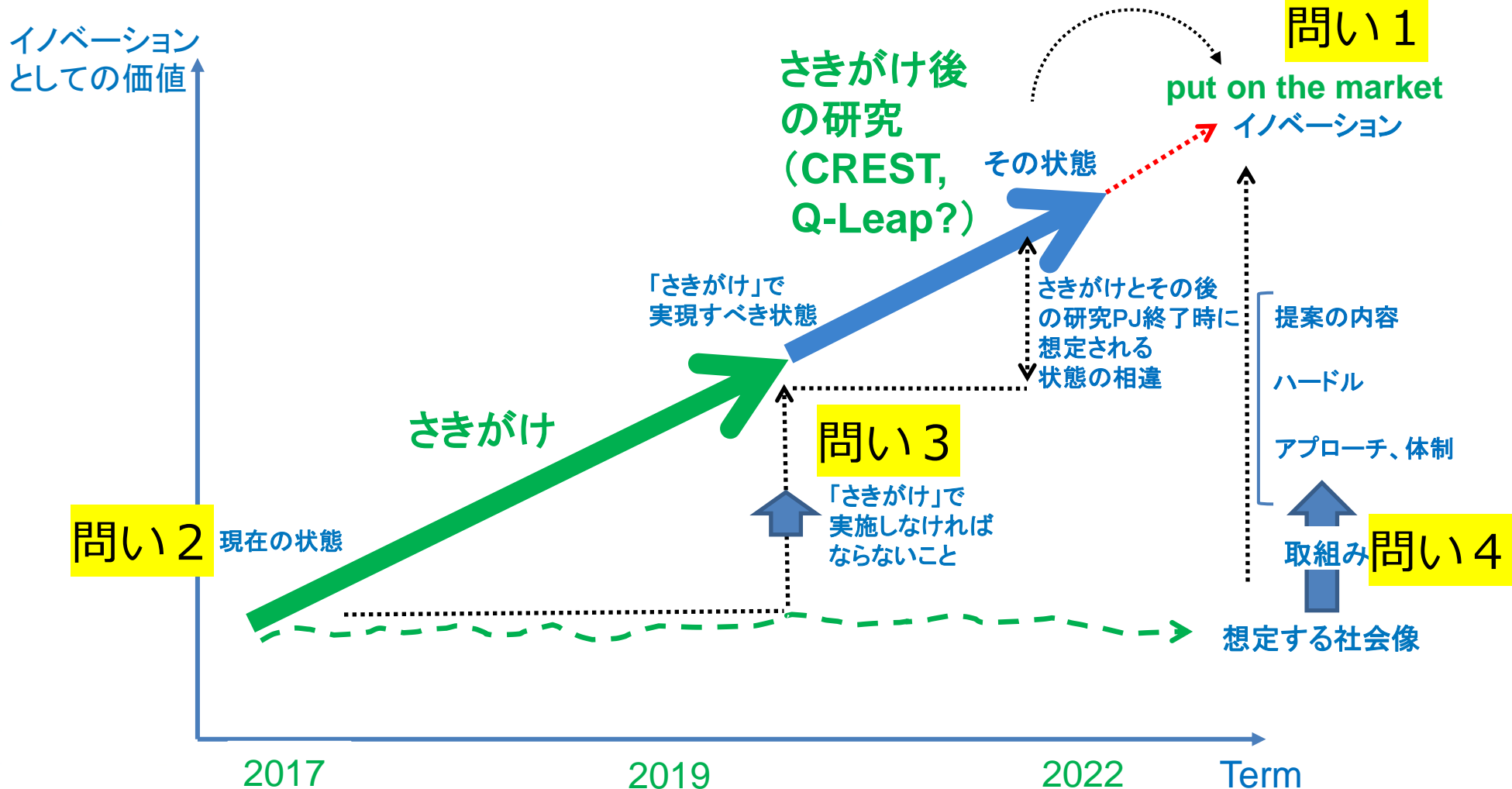
応用物理や生命科学などの分野で高い専門性
科学技術分野における異分野融合について深い理解

氏名	所属 役職	専門領域
石川 顕一	東京大学 大学院工学系研究科 教授	光工学・光量子科学、原子力学、 医学物理学・放射線技術学
井上 卓	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 室長	物理計測、光学 / 応用光学、量子光工学
岡田 康志	理化学研究所 生命システム研究センター チームリーダー	生物物理学、細胞生物学、一分子生物学
小澤 岳昌	東京大学 大学院理学系研究科 教授	分析化学、生体関連化学、タンパク質化学、 イメージング
菊地 和也	大阪大学 大学院工学研究科 教授	ケミカルバイオロジー、生物分子科学
笹木 敬司	北海道大学 電子科学研究所 教授	単一光子制御デバイス、ナノ構造光共振器、 量子もつれ合い光子
城石 芳博	株式会社日立製作所 研究開発グループ 技術顧問	超高密度磁気記録、ハードディスクドライブ
竹内 繁樹	京都大学 大学院工学研究科 教授	光量子情報、ナノフォトニクス、光量子計測
田中 成典	神戸大学 大学院システム情報学研究科 教授	光工学・光量子科学、原子力学、 医学物理学・放射線技術学
原田 慶恵	大阪大学 蛋白質研究所 教授	生物物理学、量子センシング、 ナノバイオサイエンス
平野 俊夫	量子科学技術研究開発機構 理事長	免疫学、細胞生物学、腫瘍病理学
三木 邦夫	京都大学 名誉教授	構造生物学、タンパク質結晶学、生体物性学
水落 憲和	京都大学 化学研究所 教授	量子センシング、量子情報科学、 量子スピントロニクス
宮脇 敦史	理化学研究所 脳科学総合研究センター チームリーダー ／光量子工学研究センター	生物物理学、バイオイメージング、神経科学

1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
- 5. 研究領域としての研究マネージメント状況**
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

研究マネージメントのための制度設計

～研究課題の進捗確認と指導・助言を効果的に行うために～



さきがけ研究者への問い

～ 領域会議の発表などで回答が求められる ～

- 問い1 さきがけ3年半以降の将来を見据えて、
どのようなサイエンス、イノベーションを創出したいのか？
- 問い2 その実現のため、現在はどのような状況で、
さきがけ研究は何を目指すのか？
- 問い3 さきがけ3年半で、どこまで実現するのか？
その間で超えるべき課題や問題は何か？
- 問い4 その課題や問題を解決するため さきがけ研究では
どのような量子性を扱うのか、
そのための独創性、研究計画 は何か？

ビジョン ～実現を目指す、将来のありたい姿～

量子生命科学の実現

量子生命科学とは、量子論・量子力学を基盤とした視点から生命全般の根本原理を明らかにすると同時に、医療・情報・工業・エネルギー・農産業・環境・等の様々な分野において革新的応用を目指す新たな学術領域です。

24

② 研究マネジメント ～領域運営方針を共有した協力体制の構築～

将来のありたい姿（ビジョン）、将来に果たすべき使命・存在意義（ミッション）、さきがけ研究期間3.5年の基本方針を共有化し、本研究領域に集う研究者の目標意識を束ねた。

ミッション ～将来に果たすべき使命、存在意義～

最先端の量子科学の知見と量子技術を総合的に利活用し、従来不可能であった極微の空間・時間・エネルギースケールあるいは超高感度での生体内部の観測、そして生体分子の計測・制御による生命機能のモデリングなどの技術革新を実現・応用します。

25

基本方針 ～さきがけ3.5年の目標～

1. 量子性を利用した技術（量子技術）で生命活動を計測する。

シースとなる量子技術を生命研究のために最適化し、生命活動・分子挙動の計測に応用するための技術基盤を確立します。

2. 生命現象の中に量子的な現象や生命機能を見いだす技術に挑戦する。

量子トンネル効果や量子コヒーレンスなど、生命現象において仮説に留まっている量子現象について、実験的もしくは理論的に解明します。

3. 異分野融合を促進して生命科学フロンティアを開拓する。

量子技術と生命科学の研究交流と異分野融合を促進し、量子生体を生命科学の新たな学問体系・科学技術として発信します。

4. 飛躍的な成果が期待できる個人型研究は、将来の異分野連携事業につなぐ。

さきがけ3.5年の論文数や学会発表数で評価せず、ハイリスクなテーマに積極的に挑戦します。その後飛躍的な成果が期待できるテーマは、異分野連携事業へつなぐ仕組みを検討します。

26

③ 研究マネジメント ～研究進捗を自ら考えるしくみ～

本研究課題は、①挑戦性の高い内容 ②自らの専門性とは異なる分野の要素が関わる取組み



自らモニタリングしつつ到達目標を更新することを認めた。

その取組みを支えるため



期間3.5年間における共通のマイルストーンを設定。

研究者が自らの研究課題において「何の量子性を扱っているのか？」を常に確認しつつ、マイルストーンに対する研究課題の進捗をモニタリング。

場合によっては適宜計画の修正、見直しの提言を行う方法で研究課題を支えた。

何を目標とすれば「量子生命科学の実現」に向けて有効なのかを立案して実施する、また、到達度に応じて実現する効用自身を再設計できる研究マネジメントが大切と考えた。
そのために・・・

さきがけ研究3.5年のマイルストーン

1.5年目

- ・ 予備実験などの結果を分析の上、わかってきた問題点とその対応策を明確にすること。
- ・ 上記結果に基づき、提案する技術（測定や計算手法）の目標値・基本仕様が固まっていること。

2.5年目

- ・ 提案技術において、標準品などを定めて再現性が確保できていること。
- ・ 生命活動・分子挙動を計測するための準備が整っていること。

3年4ヶ月目（事後評価開始時）

- ・ 提案技術が適している生命活動・分子挙動の計測を一つ以上見つけること、又はきっかけを見つめること。
- ・ 生命現象の量子現象にアプローチできる手法もしくは理論の技術基盤が構築できること、又はきっかけを見つめること。

④ 研究課題の進捗状況の把握と評価 ～領域会議とサイトビジット～

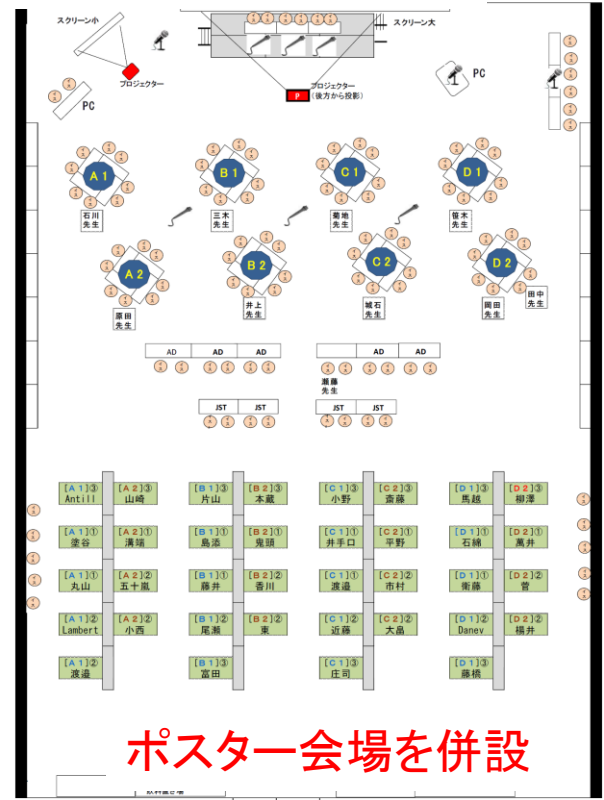


領域会議(進捗報告会) 年2回 合計11回 開催実施
(2020～2022年度はコロナ禍でオンラインまたはハイブリッド開催)

研究総括や領域アドバイザーから気軽にアドバイスを受けることができる“場”を大切に

領域会議
会場・着席スタイル
～研究者間の議論を促進～

ラウンドテーブル形式



ポスター会場を併設

領域会議ごとに、その開催目的を設定 ～研究総括の要望・視点～

**量子と生体の研究交流(異分野融合)
促進のために**

「研究課題に関連する分野の全体状況およびその分析」として、さきがけ研究に関連する研究分野の全体状況(背景、状況、国内外の競合関係など)を分かりやすく紹介

どのような量子性を扱うのかを問う

特に今回の領域会議では、各研究課題について、何の量子性を扱っているのか、実験系ならばできれば具体的に明示してください。(例えば、電子の量子性、電子スピンの量子性、核スピンの量子性、光子の量子性、イオンの量子性、等々)

サイトビジット
2017年～2019年に計35回(全員)訪問(オンライン訪問も含む)

課題評価時
領域アドバイザー全員からのコメントとりまとめて、さきがけ研究者にフィードバック

5-2. 研究領域のマネジメントについて

連携・協力の推進について

「テーマセッション 量子生体とは何か」を開催

次ページで
紹介

- ✓ 「量子生体」概念・構想をポンチ絵で発表
- ✓ 「量子生体」の方向性を共有、共通の目標を確認

さきがけ「生命機能メカニズム解明のための光操作技術」（七田芳則 総括 立命館大 客員教授／京大名誉教授）と

「量子生体」×「光操作」スコーピング会議を開催

次ページで
紹介

生物物理学会 さきがけ「量子生体」公開シンポジウム（2019年9月）

「量子科学で捉える生命現象」（宮崎市）を開催

研究費配分上の工夫について

- 研究加速, 連携促進, スタートアップ, 災害からの研究施設復旧などに積極的に予算見直し
全 51 件の予算 増額 や次年度からの予算前倒し措置

人材の輩出・成長状況について

- 本研究領域の研究期間の間に13件の新たなポスト獲得、7件の昇進、受賞16件(国内)7件(国外)

マネジメントに関する特記事項

- 新型コロナウイルス感染に伴う緊急事態宣言⇒2020年度最終年度の1期生9名は6ヶ月の研究期間延長

テーマセッション 「量子生体」とは何か を開催



「量子生体」とは何か？

その概念・構想をポンチ絵(1枚のエッセンス)で示す

- 1期~3期全員(36名)が各自の「量子生体」概念についてショートプレゼン
- 4つのグループにわかれてディスカッション
⇒グループごとに意見集約
⇒最終日にグループ発表
- 量子生体に関する視点・方向性を共有し、
領域共通の目標を確認した。



はじめに

さきがけ「量子技術を活用した生命科学基盤の創出」領域
研究総括 潮藤 光利

さきがけ「量子技術を活用した生命科学基盤の創出」(量子生体)の領域会議では、それぞれの研究課題において「何の量子性を扱っているのか?」を問いつつ、異分野の研究者が理解できること(分かりやすく)を念頭に、領域内の相互理解と協力体制を高めています。

今回の領域会議では、皆さんにとって「量子生体」とは何か、その概念・構想をポンチ絵(1枚のエッセンス)で示していただくテーマセッションを新たに設けました。皆さんと一緒にその情報を共有しつつ、グループディスカッションを通じて、新たな視点と構想の立案に期待したいと思います。

この領域が発足して、はや3年が経過しようとしています。次期プロジェクト(さきがけ研究3年半後のCREST)創設に向けて提言する場面を想定しつつ、ぜひ積極的なディスカッションをお願いします。

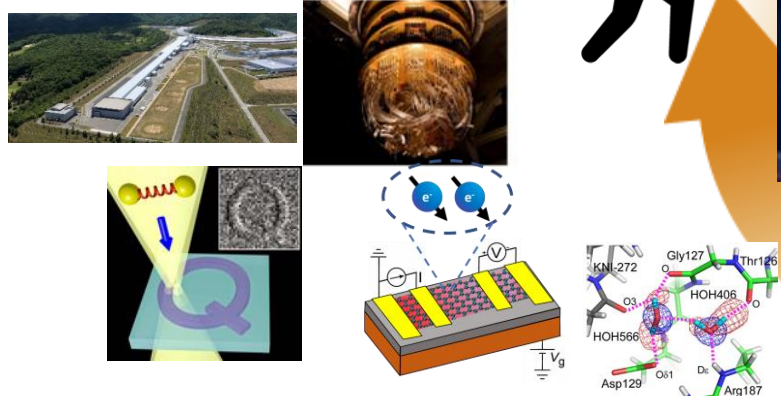


テーマセッション 「量子生体」とは何か ～ラップアップの紹介～

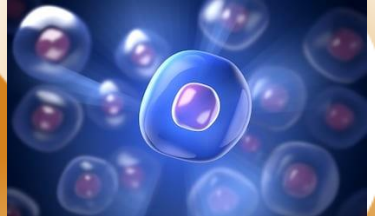
「量子生体」 = 生体・生命現象の解明に向けた“量子”的アプローチ

テクノロジーとしての“量子”

量子技術で見る



量子センシング、量子ビーム
量子エレクトロニクス、量子マテリアル
量子シミュレーション等の量子技術を駆使した生体現象の極限的局所高感度計測



生命現象

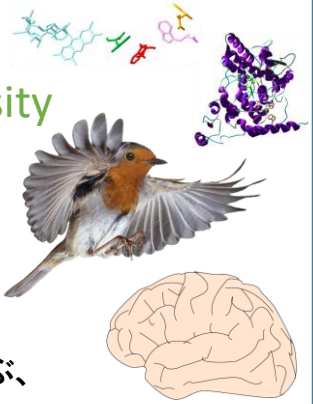
学問としての“量子”



量子論的に考える

quantum necessity

量子・認知・情報



量子物理学、量子化学と並ぶ、“量子生物学”の学理構築

- ・ 生体中における量子現象の発見
- ・ 量子論を基礎とした生物学

“Quantum-Minded Biologist”(QMIB)

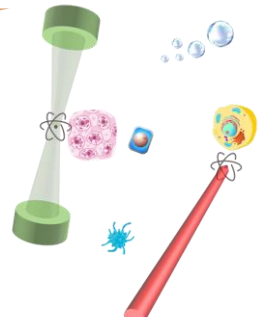
「複雑多様な生体中で何が起きているのか」

「生体の仕組みをどう理解すればよいか」

計測・理解から制御へ

量子技術を活用した生体現象の制御(生体量子制御)

生物学的、化学的手法とは異なる、新たな医療技術・治療法の創出





「量子生体」X「光操作」スコーピング会議

- 専門性の殻を破るための気づきに出合える機会、つまり異分野融合の場を提供
- 量子生体領域研究者25名(1期、2期全員)、光操作領域研究者10名(1期、2期)が参加
- ライトニングトーク(1min毎で研究紹介)⇒ポスターセッション⇒8グループグループディスカッション⇒ラップアップ(グループ発表)



1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域としての研究マネージメント状況
- 6. 研究領域としての戦略目標の達成状況**
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

成果のまとめ ～論文・特許申請・口頭発表～

(2022年10月31日現在)

	論文			特許		口頭発表		
	合計	国内	国際	国内	国際	合計	国内	国際
2017年度 採択研究課題	85	3	82	5	4	146 (72)	91 (45)	55 (27)
2018年度 採択研究課題	102	4	98	7	2	168 (106)	119 (71)	49 (35)
2019年度 採択研究課題	66	3	63	0	0	137 (61)	105 (44)	32 (17)
研究領域合計	253	10	243	12	6	451 (239)	315 (160)	136 (79)

(招待講演数は括弧で口頭発表数の内数として記載)

プレスリリース

～2022年10月31日 12件 (1期生6件、2期生6件)

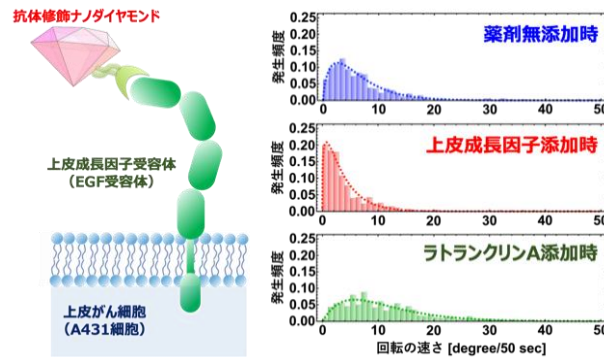
～2023年 2月21日 14件 (1期生6件、2期生7件、3期生1件)

6. 戦略目標の達成状況について(1)

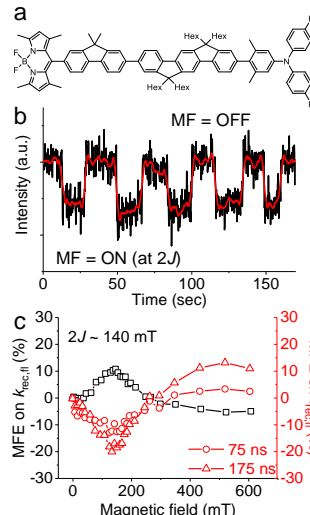
達成目標 I

「量子センサー技術を用いて生命科学などの新たな潮流を生み出す」観点

- 五十嵐 龍治 研究者「量子センサー」(募集領域 2)
 - ⇒ワイドバンドギャップ半導体中のある種の格子欠陥が持つ量子センサーとしての性質に着目
 - ⇒pH や微小環境粘性を計測、細胞内タンパク質の3次元回転運動も計測できる新展開
- 萬井 知康 研究者「磁場応答光プローブ」(募集領域 2)
 - ⇒インテンシティボローイングと呼ばれる量子効果に着目して磁場応答光プローブを開発
 - ⇒長距離ラジカル対の電荷再結合においてCT (電荷移動charge transfer) 発光が起きる分子群を開発
- 石綿 整 研究者「NV センタデルタドープ薄膜」(募集領域 2)
 - ⇒スピン依存発光を持つ原子サイズのセンサーである NV (Nitrogen-Vacancy) センターに着目
 - ⇒薄い脂質二重層の微小領域を出入りするリン脂質の動きをラベルフリーで計測



【量子センサー】



【磁場応答光プローブ】

- (a) 第二世代のD-B-A分子R=OMe, Me, H
- (b) 遅延蛍光における磁場効果
- (c) 遅延蛍光の減衰速度と強度のMARYスペクトラム。トルエンとアニソール混合溶液



【ナノスケール量子計測を用いた脂質二重層相転移計測のイメージ図】

6. 戦略目標の達成状況について(2)

達成目標 II

「光量子検出技術などでこれまで可視化されなかった状態を捉える」観点

- 井手口 拓郎 研究者の「ラベルフリーイメージング」(募集領域 2)
 - ⇒分子振動に伴う温度上昇による屈折率変化(フォトサーマル効果)を可視光で計測する原理に着目
 - ⇒可視光で高解像形態画像を計測する定量位相顕微鏡技術と、赤外光で分子振動を計測する分子振動分光技術を融合した新しいラベルフリー顕微鏡を開発して、生体分子の分布観察に成功
- 市村 垂生 研究者の「音響フォノン計測」(募集領域1)
 - ⇒ブリルアン散乱と他の物理量(ラマン散乱、蛍光、屈折率)のマルチモーダルイメージング装置を開発
 - ⇒分裂期の細胞に特徴的な細胞内弾性分布(核内 DNA の凝集に起因)や弾性状態の観察に成功
- 近藤 徹研究者の「生体量子コヒーレンス顕微分光」(募集領域 1)
 - ⇒フェムト秒時間分解が可能な 2 パルス pump dump 顕微鏡を開発
 - ⇒光合成アンテナタンパク質(アロフィコシアニン) 1 分子内の励起エネルギー移動の解析に成功
- 富田 英生 研究者の「光量子による放射性核種分離・分析法」(募集領域 2)
 - ⇒量子カスケードレーザー光源の安定性を高め、天然同位体比以下の ^{14}C 分析感度の分光システム開発
 - ⇒福島原子力発電所の廃炉作業における処理水中トリチウム分析を実施する計画
- Lewis M. Antill 研究者の「クリプトクロム時空間計測」(募集領域 3)
 - ⇒単一光子アバランシエダイオード(SPADs)を利用した磁場効果計測に着目
 - ⇒鳥類のコンパスなど動物の磁気受容のメカニズムを知る候補分子(クリプトクロム)の光化学反応に対する磁気感受計測に期待

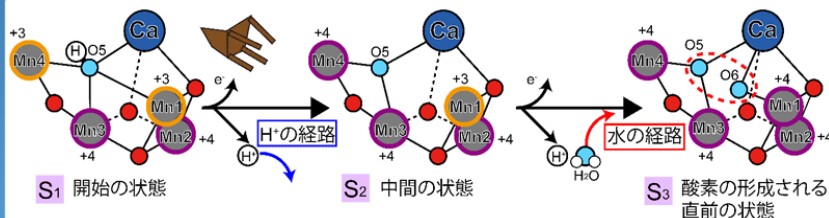
6. 戦略目標の達成状況について(3)

科学的・技術的に
大きなインパクト

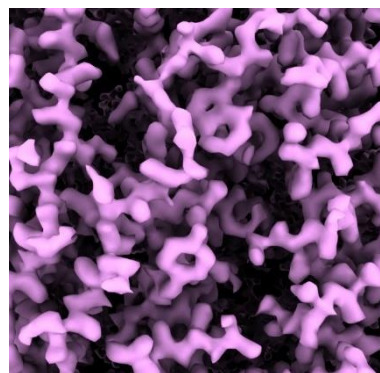
達成目標 III

「量子ビーム・計測技術の高度化で分子間相互作用や機能を解明する」

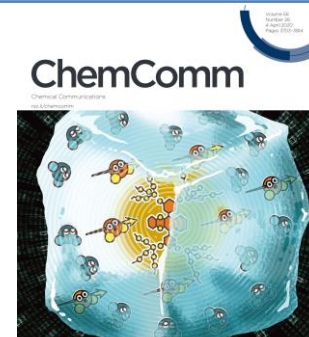
- 菅 倫寛 研究者の「量子ビームでの構造解析」(募集領域 1)
⇒X線自由電子レーザーで、光化学系 II (PSII) の3つの中間体状態の構造を 2.15 Å 分解能で解析
⇒PSIIが光合成で基質(水分子)を取り込む仕組みと経路を解明
- Radostin Danev 研究者の「高速量子波面モジュレーション」(募集領域 2)
⇒電子顕微鏡の対物レンズに静電ポテンシャルを適用すること新しいアプローチ
⇒世界初の高解像度3Dクライオ電子顕微鏡として高分解能の記録を達成
- 楊井 伸浩 研究者「超核偏極ナノ空間の創出」(募集領域 2)
⇒空気中で安定な偏極源、水溶性の偏極源、生体親和性のある偏極源を世界で初めて開発
⇒エリスリトール、フルオロウラシル、水(氷)を室温程度で高核偏極化に成功



酸素分子を形成する反応における触媒部分の立体構造の変化



A new resolution record of 1.77 Å was achieved with nano-FADE.



DAT-4COOH/MEEAを分散した氷に triplet-DNPを行うことでNMR感度を向上

研究代表者: 柳澤 啓史(東京大学) 3期生
「原子分解能・低速電子ホログラフィーの開発」

研究代表者: 鬼頭 宏任(近畿大学) 1期生
「量子シミュレーション技術による未知の生体電子移動/機能発現の探索」

電子
和グラフィー
技術

電子移動動
理論

連携提案などからの
共同研究も進行中

今後に
期待

研究成果とインパクト

光で動かす「電子の路線切替えスイッチ」を1分子で開発
～1分子への超高速スイッチ集積化に道を開く～

- 光により動作する電子の線路の切替えスイッチ(分岐器)を大きさが1ナノメートル(10億分の1メートル)程度のフラレン1分子で作製。
- フラレン1分子に電子を通させ、同時に光照射することで、光照射による固体からの電子の取り出し精度を、従来の10ナノメートル程度から1ナノメートル以下のスケールで達成。
- 電子が1分子を通過するメカニズムも理論的に解明し、原子分解能を持った電解電子顕微鏡の開発につながる。

論文名: “Light-induced subnanometric modulation of a single-molecule electron source”

掲載紙: Physical Review Letter

Editor's Suggestionに選出され、2022年3月掲載

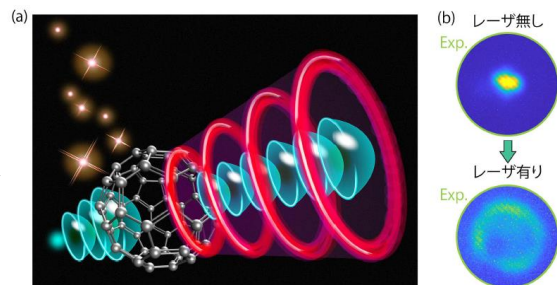


図1: (a) フラレン1分子を用いた電子の分岐器の概念図
(b) 電界電子顕微鏡により観測された電子放出パターン

島添(1期)「量子センサー」 & 富田(3期)「量子計測」
⇒「量子もつれ光子対による原子核-多分子間相互作用プローブを活用した診断治療学の創生」
(科研費 学術変革Bで実施中)

近藤(2期)「光合成」 & 大島(2期)「量子計測」
& 東(2期)「電子シミュレーション」 & 藤橋(3期)「量子理論」
⇒光合成反応の量子計測

齋藤(3期)「古生物」 & 近藤(2期)「光合成」
& 東(2期)「電子シミュレーション」
⇒古生物(岩石中)光合成タンパク質の機能解析

市村(2期生)「音響フォノン」 & 丸山(さきがけ光操作領域)
⇒ガン細胞の弾性変化をブリルアン散乱イメージングで捉える

量子センサーで生体分子1個の3次元回転運動の計測に成功

研究代表者：五十嵐 龍治(量子科学技術研究開発機構 量子生命科学領域 グループリーダー)
 戦略的創造研究推進事業 さきがけ「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」研究領域
 課題名 「コンポジット量子センサーの創成 -1細胞から1個体まで-」

研究成果の概要

- 1) ナノサイズの特異なダイヤモンドセンサーを量子センサーとして用いて、生きた細胞で生体分子の運動を3次元で計測する新たな技術を開発した。
- 2) 位置変化を伴わない回転運動は高性能な顕微鏡でも観察が難しかったが、たんぱく質の回転運動や薬剤反応による回転運動の変化など、細胞内の微小空間で1つの生体分子が示すナノスケールの運動情報を取得することに成功した。

研究成果のインパクト

- 1) 地上最小のモーターといわれるATPアーゼにナノダイヤモンドを連結し、1分子の回転運動を3次元で観察することに世界で初めて成功した。
- 2) がん細胞表面の分子が抗がん剤と結合して回転運動に変化が生じる現象を生きた細胞で計測することに成功した。

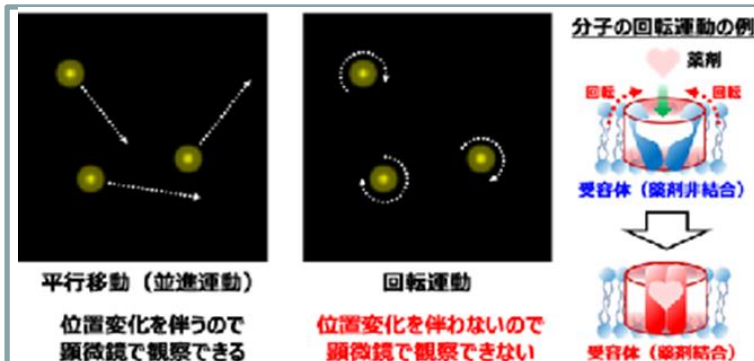
今後の展開等

- ・従来捉えられなかった生体分子のわずかな動きを観察できるため、生命科学における新たな計測ツールや、薬剤標的たんぱく質の運動を指標とした医薬品のスクリーニング技術としての利用が期待できる。
- ・生命現象の中に量子的な現象を解析するための1分子計測技術として、研究チーム化し、より定量的な計測技術に繋げることが望ましい。

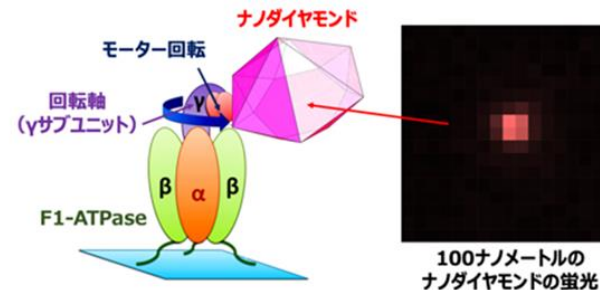
論文名：“Tracking the 3D Rotational Dynamics in Nanoscopic Biological Systems”

掲載紙：Journal of the American Chemical Society (2020年4月15日)，

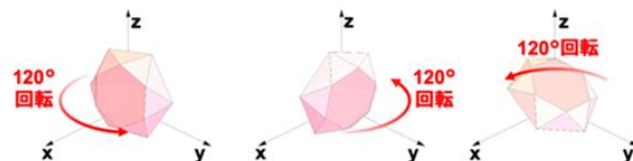
掲載月の評価が特に高い研究内容としてSpotlightsで紹介、Supplementary Journal Coverに採択



ナノダイヤモンド量子センサーを用いた超マイクロ回転の3次元観察法



観察されたF1-ATPase回転軸上のナノダイヤモンドの運動



タンパク質1分子の回転運動を3次元でとらえることに初めて成功

ナノダイヤモンド量子センサーによるATPaseのモーター回転運動の1分子3次元観察

※QSTプレスリリースより引用

光で分子を振動させて、細胞形態と分子分布を見る顕微鏡を開発

研究代表者：井手口 拓郎（東京大学大学院理学系研究科 准教授）

戦略的創造研究推進事業 さきがけ「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」研究領域

課題名 「超高感度ラベルフリーイメージング法の開発」

研究成果の概要

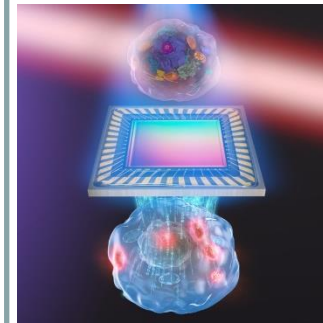
- 1) 量子技術として赤外光が細胞内の分子に固有振動を生じさせることに着目し、分子振動に伴う温度上昇による屈折率変化(フォトサーマル効果)を可視光で計測する原理により、生体分子の分布観察を行う技術を開発した。
- 2) 可視光で高解像形態画像を計測する定量位相顕微鏡技術と、赤外光で分子振動を計測する分子振動分光技術を融合した新しいラベルフリー顕微鏡(赤外フォトサーマル定量位相顕微鏡)の開発に成功した。

研究成果のインパクト

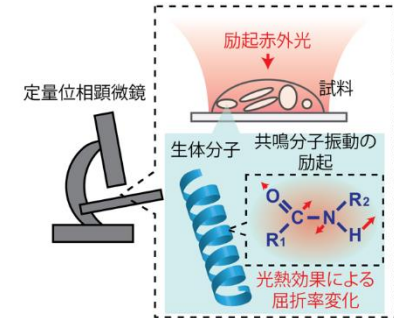
- 1) 開発した技術は、局所的な赤外吸収の現象を可視光で検出するため、従来より高い空間解像度(本研究では440 nm以下)を達成できた。
- 2) 将来はさらに広い波数帯域の赤外光を照射することによって、他のさまざまな官能基に由来する分子振動測定やタンパク質2次構造解析などが可能。

今後の展開等

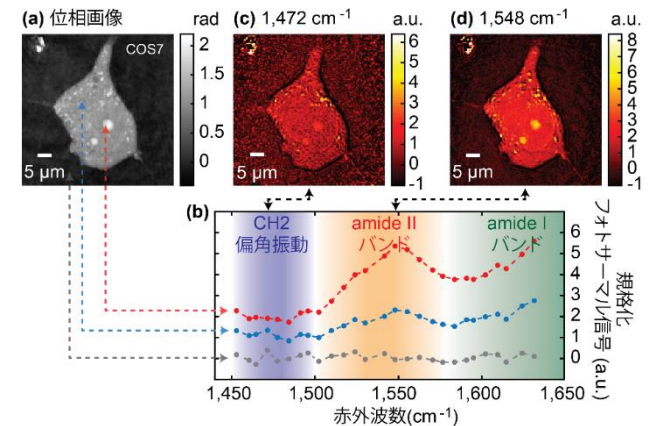
- ・生きたままの状態を細胞を観察することが求められるさまざまな生命科学、医療における新たな細胞計測ツールとしての利用が期待される。
- ・分子振動を計測できる生体分子の種類、生体分子分布の解像度向上など、生命科学で有用性を検証するため、異分野連携による研究チーム化が望ましい。



開発した顕微鏡の
概念図



開発した顕微鏡の
システムの概略図



開発した顕微鏡で得られた定量位相画像、(a)アフリカミドリザルの腎臓細胞(COS7)、(b) (a)の画像に対応する赤外フォトサーマル定量位相スペクトル、(c)(d)フォトサーマル定量位相画像

研究代表者：菅 倫寛（岡山大学異分野基礎科学研究所 准教授）

戦略的創造研究推進事業 さきがけ「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」研究領域

課題名 「量子ビームが拓く光合成膜タンパク質のマルチモーダル構造解析」

研究成果の概要

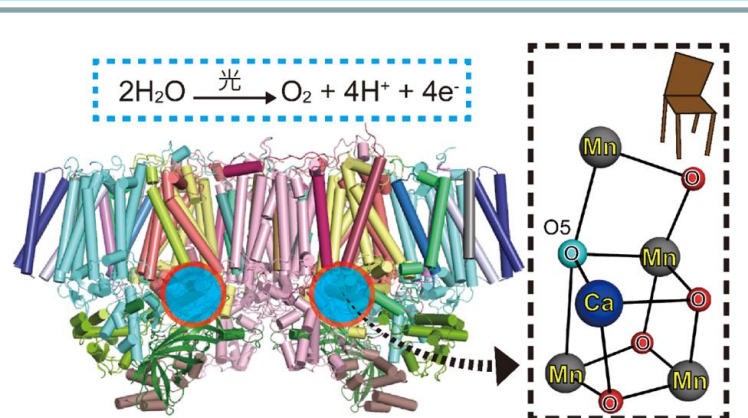
- 1) 量子の光であるX線自由電子レーザーを用い、光化学系IIの“ゆがんだイス”型の触媒が酸素分子を形成する直前状態の立体構造を正確に決定した。
- 2) 酸素分子の形成に必要と考えられる2つの酸素原子を触媒中に発見し、これら2つの酸素原子の化学的な性質を明らかにするとともに、酸素分子形成反応に必要な水分子を取り込む経路、生じた水素イオンを排出する、経路を見いだした。

研究成果のインパクト

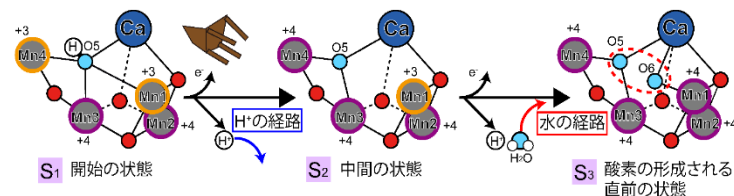
- 1) 従来の解析を上回る2.15 Åの高い解像度で解析に成功したことにより、触媒反応のカギとなる周期的な3つの中間状態を正確に捉えるに至った。
- 2) これまで謎であった、酸素分子が形成されるしくみが明らかとなり、太陽の光エネルギーを利用して水分解反応を実現する分子構造基盤が得られた。

今後の展開等

- ・この反応を模倣する「人工光合成」が実現すれば、太陽の光エネルギーを利用して水を分解して電子と水素イオンを取り出す、人工光合成触媒の設計への展開が期待できる。
- ・触媒部分のスピン状態・周囲プロトン化状態などさらなる量子科学的な情報を獲得し、光化学系IIを人工合成できるような研究チーム化に期待。



光化学系IIの全体構造



解明した酸素分子を形成する反応における触媒部分の立体構造の変化

研究代表者：楊井 伸浩(九州大学大学院工学研究院 准教授)

戦略的創造研究推進事業 さきがけ「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」研究領域

研究概要

NMRやMRIは生命科学や医療において不可欠な量子技術であるが、感度が非常に低いという問題があった。室温における超高感度化を可能にする方法として動的核偏極法(triplet-DNP)が近年開発されたが、固体結晶中の芳香族分子しか高感度化出来ないという問題があった。本研究ではこれまで困難であったtriplet-DNPの水や生体分子への適用に挑戦した。

研究成果とインパクト

空気中で安定な偏極源、水溶性の偏極源、生体親和性の偏極源 開発に成功

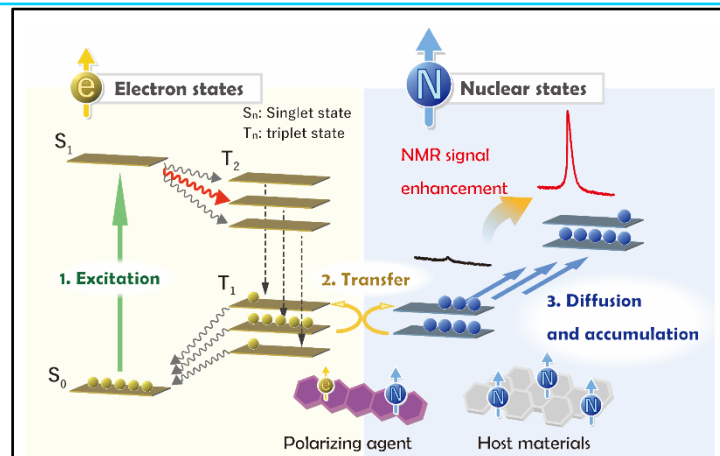
- 水分子(氷)、天然分子(エリスリトール)の超核偏極に初めて成功
- 薬剤(フルオロウラシル)のtriplet-DNPに初めて成功

⇒ triplet-DNPという量子物理分野に材料化学を融合した新コンセプトを確立

今後の展開等

～室温偏極技術の確立を目指したさらなる展開へ～

- ・偏極率の向上を目指した偏極源の配向制御技術の開発
- ・水、ピルビン酸、CO₂などの生体の重要分子の室温での高核偏極化(プロトン交換を介して生体分子を高偏極化し、MRI感度を連続的向上)
- ・MRI・NMRの室温超高感度化により医療診断や生命科学に貢献



論文名：“Triplet dynamic nuclear polarization of crystalline ice using water-soluble polarizing agents”

「独自に開発した非ペンタセン偏極源である空気中で安定な偏極源ジアザテトラセンを基盤とし、水分子(氷の結晶)のtriplet-DNPに初めて成功」(上図)

掲載紙: Chem. Commun. (2020年5月、Research Article), DOI: 10.1039/D0CC00836B

6. 戦略目標の達成状況について(4)

社会的・経済的な
観点からの貢献

- ✓ これまでに6件の国際特許出願、12件の国内特許出願、企業との共同開発に展開したケースあり
- ✓ 社会的・経済的価値の創出につなげていくために成果のプレスリリースを積極的に実施（合計12件）
- ✓ 研究期間中や研究終了後に新たな上級ポストの獲得に至った研究者も数多く輩出

生命現象の理解に基づく治療法・新薬開発 や 医療費抑制

- ドーパミンの脳細胞・組織内での挙動可視化、**脳の健康と薬の開発** への利用（塗谷睦生 2期）
- 世界最小の3次元回転センサーとして、**新薬研究や再生医療の幹細胞モニタリング**。（五十嵐龍治 2期）
- 細胞膜リン脂質の分布や動きを計測して**創薬候補を探索**（石綿整 1期生）
- 柔軟な多孔性結晶を応用した室温核偏極の技術により 医療で用いられる **MRIの高感度**（楊井伸浩 2期）

Society 5.0 の産業競争力 小型低侵襲・高精度のセンサー・計測装置 などの展開

- 簡便に真空紫外領域の円偏光を発生させた**イメージング 機器小型化**、**電子スピン分析技術**（小西邦昭 2期）
- 生きたままの細胞観察が必要となる**再生医療や生物学研究への幅広い利用**が期待（井手口拓郎 1期）
- **クライオ電子顕微鏡**などで分子イメージング技術を格段に向上（Radostin Danev1期）
- 個別化医療 のための微量放射性核種による**生体内代謝分析**、**福島原発廃炉の処理水分析**（富田英生3期）

科学技術立国（国際的存在感の向上、新規医療・技術シーズの持続的創出）の観点

- 光合成で酸素を形成する仕組み解明で、水を分解するための**人工光合成触媒の設計**（菅倫寛 2期）
- 水の高核偏極化に成功しており、さまざまな生体分子の**NMR/MRIの感度向上**（楊井伸浩 2期）
- 従来比 1000 倍の細胞 100 万個を同時観察する技術で**人工細胞シートの品質管理**（市村垂生 2期）

1. 研究領域の概要 ～戦略目標設定の経緯～
2. 研究総括の狙い
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域としての研究マネージメント状況
6. 研究領域としての戦略目標の達成状況
7. 領域設定の意義、今後の期待・展望、所感

7. 領域設定の意義

本研究領域の発足当時

日本国内では「量子生命科学」というキーワードは十分に広まっておらず、当時は危うささえ感じるとてもチャレンジングな公募だった。

本研究領域の関係者や研究者らが積極的に参画し、新たな異分野連携事業につながっている

それから現在までに…

2018年 光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）発足

量子科学技術（光・量子技術）を駆使し、非連続的な解決（Quantum leap）を目指す量子情報処理（主に量子シミュレータ・量子コンピュータ）、量子計測・センシング、次世代レーザー、量子技術の次世代を担う人材育成プログラムが整備

2019年 量子生命科学会 発足

本研究領域に所属する研究者が中核的に活躍

2020年 Q-LEAP「量子生命」Flagshipプロジェクト 発足

- 量子技術と生命・医療などを融合した「量子生命技術」を創製
- 医学・生命科学研究において利活用される計測技術のプロトタイプ(TRL6)の実現を目標
- 生体ナノ量子センサー、量子技術を用いた超高感度MRI/NMR、量子論的生命現象の解明・模倣に関する研究開発が推進

2022年 量子科学技術研究開発機構に量子生命科学研究所が設立

本研究領域の五十嵐研究者（2期生）や石綿研究者（1期生）らが異動して活躍

さきがけ 量子技術を適用した生命科学基盤の創出

今後の期待・展望、所感

科学技術イノベーションを開拓する独創的な研究を目指すには、専門性の殻を破るための気づきに出合える機会、つまり異分野融合ができる仕組みや場が大切と考えています。そこで「自らの専門分野を超えてどのように工夫したら見えなかった現象が見えてくるのか」を考えることができる資質が育成されます。

本研究領域を巣立った研究者が
Quantum Native のさきがけとなり、
近い将来 Quantum Native を育成する
新世代の指導者になることを望んでいます。

2023年1月25～27日
最終領域会議
@日本科学未来館



2017年度(第1期)採択課題

(所属・役職は研究期間終了時のもの)

研究者氏名	所属	課題名
石綿 整	量子科学技術研究開発機構 主任研究員	NVセンタデルタドープ薄膜による生体分子の機能・相互作用解析
井手口 拓郎	東京大学大学院 理学系研究科 准教授	超高感度ラベルフリーイメージング法の開発
衛藤 雄二郎	京都大学大学院 工学研究科 准教授	広帯域スクイーズド光源による低侵襲深部多光子分光
鬼頭 宏任	近畿大学理工学部 エネルギー物質学科 准教授	量子シミュレーション技術による未知の生体電子移動/機能発現の探索
島添 健次	東京大学大学院 工学系研究科 特任准教授	多光子時間空間相関イメージング手法の開拓
塗谷 睦生	慶應義塾大学 医学部 准教授	多光子現象を駆使した脳内化学情報伝達の可視化解析
平野 優	量子科学技術研究開発機構 主幹研究員	高分解能立体構造解析によるタンパク質における量子現象の解析
藤井 麻樹子	横浜国立大学大学院 環境情報研究院 准教授	反応性量子ビームによる細胞内生命現象の可視化
丸山 善宏	オーストラリア国立大学 計算機科学科 講師	生命と認知の量子情報理論: 圏論的定式化とその応用
萬井 知康	コネチカット大学 化学科 アシスタントプロフェッサー	磁場応答光プローブを用いた磁場による断層選択光イメージング
溝端 栄一	大阪大学大学院 工学研究科 講師	時分割XFEL結晶解析で可視化する金属酵素の動的構造活性相関
渡辺 宙志	慶應義塾大学 量子コンピューティングセ ンター 特任講師	量子化学効果を取り込んだタンパク質のシームレスな動的解析法の開発と応用

2018年度(第2期)採択課題 (所属・役職は研究期間終了時のもの)

研究者氏名	所属	課題名
五十嵐 龍治	量子科学技術研究開発機構 グループリーダー	コンポジット量子センサーの創成 -1細胞から1個体まで-
市村 垂生	大阪大学 先導的学際研究機構 特任准教授	音響フォノン計測で拓く超次元力学イメージング
大畠 悟郎	大阪府立大学大学院 理学系研究科 准教授	量子トモグラフィを用いた密度行列分光法の開発
尾瀬 農之	北海道大学大学院先端生命科学研究院 教授	生体分子中におけるアミンの量子特性を解明する
香川 晃徳	東京大学大学院 工学系研究科 特任准教授	生体内反応による核スピン量子もつれ生成の検証
小西 邦昭	東京大学 フォトンサイエンス研究機構 准教授	真空紫外コヒーレント光を用いた円二色性生体分光技術の開発
近藤 徹	東京工業大学 生命理工学院 講師	生体量子コヒーレンス顕微分光:本当に量子効果は生命を駆動するのか?
菅 倫寛	岡山大学 異分野基礎科学研究所 教授	量子ビームが拓く光合成膜タンパク質のマルチモーダル構造解析
Radostin Danev	東京大学大学院医学系研究科 教授	高速量子波面モジュレーション・クライオ電顕
東 雅大	京都大学大学院工学研究科 准教授	光合成反応中心における初期電荷分離過程の分子論的機構解明
楊井 伸浩	九州大学大学院 工学研究院 准教授	超核偏極ナノ空間の創出に基づく高感度生体分子観測
Neill Lambert	理化学研究所 開拓研究本部 研究員	光合成における量子環境
渡邊 千鶴	理化学研究所 生命機能科学研究センター 研究員	量子構造生物学におけるプロトン:相乗的效果と構造

2019年度(第3期)採択課題

(所属・役職は研究期間終了時のもの)

研究者氏名	所属	課題名
Lewis M. Antill	埼玉大学 大学院理工学研究科 特定プロジェクト研究員	動物磁気感受のためのクリプトクロム時空間計測
馬越 貴之	大阪大学 高等共創研究院 講師	生命ナノ動態をありのままに観察するラベルフリー超解像顕微鏡
小野 堯生	大阪大学 産業科学研究所 助教	量子容量を用いた生化学的界面の計測と制御
片山 耕大	名古屋工業大学大学院 工学研究科 助教	構造基盤に立脚した色認識機構および色覚情報伝達機構の解明
齊藤 諒介	山口大学 大学院創成科学研究科 助教	太古の光合成タンパク質:量子効果の誕生
庄司 光男	筑波大学 計算科学研究センター 助教	生体内量子多体系における特異的化学反応の機構解明
富田 英生	名古屋大学 大学院工学研究科 准教授	個別化医療にむけた光量子による放射性核種分離・分析法の開発
藤橋 裕太	京都大学 大学院工学研究科 特定助教	時間分解量子もつれ分光法:理論基盤の構築と生体分子系への応用
本蔵 直樹	浜松医科大学 医学部 准教授	非線形光学効果が照らす生体物質交換の仕組み
柳澤 啓史	東京大学 物性研究所 研究員	原子分解能・低速電子ホログラフィーの開発
山崎 歴舟	国際基督教大学 教養学部 准教授	共振器オプトフルイディックスの開発



Thank You
for Your Attention



科学技術振興機構