

# さきがけ

24/25



## 戦略的創造研究推進事業 個人型研究

Precursory Research for Embryonic Science and Technology

# さきがけとは

## 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)

### 趣旨

我が国が直面する重要な課題の克服に向けて、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、社会・経済の変革をもたらす科学技術イノベーションの源泉となる、新たな科学知識に基づく創造的な革新的技術のシーズ(新技術シーズ)を世界に先駆けて創出することを目的としています。そのために、研究総括が定めた研究領域運営方針の下、研究総括が選んだ若手研究者が、研究領域内および研究領域間で異分野の研究者ネットワークを形成しながら、若手ならではのチャレンジングな個人型研究を推進します。

### 概要

#### 研究期間

3年6ヶ月以内

#### 研究費

総額3,000万～4,000万円程度/課題

### 特徴

- 研究総括は自らが設計した研究領域運営方針の下に研究提案を募り、1領域あたり30～40件程度の研究課題を採択します。科学技術分野やサイエンス-科学技術イノベーションのバランスを見ながら、多様な研究者を採択してポートフォリオを組み立てていくことで、研究領域内および研究領域間で、多様な視点を持った研究者ネットワークを形成します。そのために、公募は数度に分けて行っており、採択方針は都度公募要領にて明記しています。
- 若手研究者が個人で独立した研究を行う規模として、1研究課題あたり総額4千万円程度の研究費を支援しています。さらに、若手研究者の自立やそのための研究環境整備の支援も行います。
- 若手研究者が研究成果を出すことのみならず、研究者として成長することを期待します。そのために、さきがけでは年に1、2回開催する領域会議やさきがけ研究者の研究室を訪問するサイトビジット等を通じて、研究総括・領域アドバイザーが助言・指導を行います。さらに、必要に応じて、海外研究者交流や社会の中の科学という観点から自らの研究を振り返る機会を与えといった、様々な研究推進サポートメニューを提供しています。
- 研究総括は、成果を最大化するために、さきがけ研究者に対し進捗に応じて研究の変更・加速・中止を指示する等、柔軟なマネジメントを行います。研究領域運営を支える領域アドバイザーを10名程度配置し、科学技術面のアドバイスや評価を行う有識者はもちろんのこと、出口を見据えた研究を支えるために、必要に応じて産業界の有識者や弁護士等の法的観点からのアドバイスを可能とする有識者も加えています。

研究提案の方法の詳細については、募集専用ホームページに掲載します。  
募集専用HPへのご案内、募集時期、募集の概要については、  
JSTホームページ(<https://www.jst.go.jp/>)、新聞発表、メールマガジンにてお知らせします。

さきがけホームページ

<https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/>



# 地球環境と調和しうる物質変換の基盤科学の創成

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2022-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2022-3.html)

戦略目標

「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術



研究総括  
山中 一郎  
東京科学大学 物質理工学院 教授

## 領域アドバイザー

石原 達己	九州大学 カーボンニュートラルエネルギー国際研究所 教授
小倉 賢	東京大学 生産技術研究所 教授
重藤 さわ子	事業構想大学院大学 教授
杉山 正和	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
武脇 隆彦	三菱ケミカル(株) Science & Innovation Center フェロー
寺村 謙太郎	京都大学 大学院工学研究科 教授
中山 哲	東京大学 大学院工学系研究科 教授
深谷 訓久	産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター 研究チーム長
松岡 孝司	ENEOS(株) 中央技術研究所 先進技術研究所長
依光 英樹	京都大学 大学院理学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、人間社会が地球環境と調和するために不可欠な物質循環に関わる元素からなる安定な分子から、エネルギー消費と廃棄物排出を極力抑制しながら、目的である有価値物質を高い選択性で変換できる物質変換の研究開発とこれに関わる基礎科学の創出を目指します。

具体的には、地球表面に豊富に存在し、人をはじめとする生物や食物を構成している元素、あるいは人間社会で利用されている元素の中で物質循環が重要とされている元素およびその化合物（主に炭素、窒素、酸素、水素、リン、硫黄、ケイ素などその化合物）を対象とした物質変換に関わる基礎的な研究開発を行います。これは、既に開発された資源化に関わる物質変換法の要素技術と比較して、エネルギー利用率や目的生成物への選択性の著しい改善が期待される基盤技術の創成を意味します。即ち、不可能と考えられていた反応を可能とする革新的触媒作用を示す触媒材料や電極材料の研究開発、高速かつ選択的イオン伝導性を示す固体電解質材料の研究開発、電気・光などを利用した高度なエネルギー制御や電子移動制御を伴う反応プロセスの研究開発を目指します。また、これらの研究における反応機構の解析的・理論的な解明に不可欠なオペランド計測・オンデマンド計測など先鋭的な分析法の研究開発や第一原理計算・熱流体工学シミュレーション・機械学習などの理論計算の研究開発も推進し、社会実装に発展しうる物質変換の基盤科学の創成を目指します。さらに、これらの研究の思想・課題・成果を対象として、グリーンケミストリー・経済学・社会科学などの観点から持続可能な社会の実現に資する物質変換の指標を示します。

## ゼロエミッション酸化反応の開発

## 内田 竜也

九州大学 基幹教育院 准教授  
同上

酸化反応は、ステップエコノミーに優れた官能基化法であるが、その一方で、酸化剤に由来する廃棄物が課題である。本研究では、地球上で最もカーボンニュートラルな酸化剤である分子状酸素を直接活性化して新たな触媒を創生し、望みの位置、望みの立体化学、および望みの官能基を導入できる実用的ゼロエミッション酸化法の開発を進める。

## 炭素循環構築に資する選別-リサイクル一貫技術評価・開発指針提示基盤の開発

## 大野 肇

東北大学 大学院環境科学研究科 准教授  
東北大学 大学院工学研究科 助教

GHG 排出実質ゼロ達成・化石燃料に頼らない循環型社会構築のため、廃棄物やバイオマスを原料化する前処理(選別)、化学変換プロセスの研究開発が活発化しています。本研究ではプラスチックリサイクルを題材に、開発技術の選択と集中、状況に応じた有効な組み合わせの発見、研究開発の加速への寄与を目指し、炭素完全循環達成に向けた廃プラスチックリサイクル技術の選別-リサイクル一貫炭素循環性能評価基盤を構築します。

## 選択的H+伝導膜に基づくNH3電解合成の手法確立と経済性検証

## 小川 敬也

京都大学 大学院エネルギー科学研究科 准教授  
京都大学 工学部 情報学(国際専攻) 准教授

プロトンのみ選択的に伝導する電解質膜を製作し、高活性触媒を利用してきつかつ選択性の高いアンモニア電解合成手法を開発します。かつ経済性を評価し、開発側へフィードバックを繰り返すことで、経済的にも実現可能な合成手法の確立を目指します。

## ナノ電気化学-ラマン分光の同時計測オペランド顕微鏡の開発

## 熊谷 明哉

千葉工業大学 工学部 教授  
東北大学 情報科学部 准教授(システムズ・プラットフォーム)

本研究では、ナノメートルスケールにおける電気化学反応とラマン分光計測を同時に計測可能な新規オペランド顕微鏡の開発を行います。本顕微鏡の開発を通して、二次電池や触媒などのイオンが介在する多様な電気化学反応と微小構造領域における分光特性を定量的に可視化・解析評価します。これを活用することで材料の物質変換機構の解明や機能性創発の要因の特定を目指します。

CO<sub>2</sub> ナノバブル還元による高効率エタノール合成

## 芝 駿介

科学技術振興機構 さきがり研究者  
愛媛大学 大学院理工学研究科 助教

CO<sub>2</sub> ナノバブルをエタノールに高効率還元可能な金属-カーボン複合電極触媒を開発します。具体的には、共スパッタ法によりカーボンナノチューブ上に金属ナノ粒子埋め込みカーボン薄膜を成膜して電極触媒化し、さらにプラズマ処理によりカーボン表面を改質し、ナノバブル還元に適した表面状態とします。以上により、ファラデー効率 90% 以上、1 A/cm<sup>2</sup> 以上の大電流で CO<sub>2</sub> をエタノールに高速還元する電極触媒を実現します。

## 固体触媒を対象とした固体 DNP-NMR 表面構造解析の基盤技術開発

## 永島 裕樹

産業技術総合研究所 材料・化学基礎部化学総合研究センター 主任研究員  
産業技術総合研究所 材料・化学基礎部化学総合研究センター 研究員

金属硫化物、硫化物、窒化物などで構成されるナノ材料は、固体触媒として広く利用され、持続可能な社会の実現のための物質変換に利用され得る重要な物質群です。革新的な固体触媒を合理的に設計するために、表面構造を知るための原子レベルでの高度な解析法が求められています。本研究では、これらの表面を選択的に解析できる固体 DNP-NMR の基盤技術開発を推進するとともに、新たな測定法の創出を目指します。

## リン酸態リンのアップサイクル物質変換

## 永縄 友規

産業技術総合研究所 材料・化学基礎部化学総合研究センター 主任研究員  
同上

リンは、あらゆる生物にとって欠くことのできない元素です。一方その原料であるリン鉱石は、我が国では産出せず、かつ枯渇性資源でもあることから、最も重要な戦略物質のひとつでもあります。本研究では、未利用リン資源として下水などに含まれている安定なリン酸態リンに着目し、これをリン酸エステルなど高付加価値なリン化合物へとアップサイクルする触媒的物質変換を実現し、リン資源循環利用技術の社会実装を目指します。

## nm ~ km のシームレスな接続による先制的LC設計評価手法の開発

## 藤井 祥万

東京大学 未来ビジョン研究センター 特任准教授  
東京大学 未来ビジョン研究センター 特任助教

未利用熱融通による資源循環を事例に研究のスケールを① nm ~ mm : マテリアル、② mm ~ m : コンポーネント、③ m ~ km : システムで切り分け、技術情報をシステム評価に反映させるフォアキャストと、ライフサイクル思考で各技術開発項目の設計にフィードバックするバックキャストを繰り返すことで新興技術の社会実装を加速させる「先制的 LC (ライフサイクル) 設計評価手法」を実証し、その方法論を確立する。

## 光エネルギーを利用した温和な条件で進行するアルカンメタセシス反応の開発

## 三ツ沼 治信

東京大学 大学院薬学系研究科 助教  
東京大学 大学院薬学系研究科 特任助教

カーボンニュートラルの実現に向け、持続可能な航空燃料の成分である長鎖アルカンの効率的な合成法の開発が求められています。本研究では、ドナー・アクセプター分子の自己組織化を基盤とした可視光駆動型脱水素触媒系を開発し、温和な条件で進行する触媒的アルカンメタセシス反応の実現を目指します。これにより合成燃料の主成分である低級アルカンを原料に希少価値の高い航空燃料を高効率で供給する方法を確立します。

## 金属ナノ触媒の階層設計による従来有機合成を脱却する未踏反応開発

## 谷田部 孝文

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上

段階的に機能集積する金属ナノ触媒の階層設計により、均一系触媒とは異なる固体触媒特有の触媒特性を利用し、従来有機合成を脱却する環境調和型未踏反応を開発します。特に、「脱離基・保護基・量論試薬に依拠しない高選択的精密有機分子変換」「新たな活性点構造による従来触媒では未踏の分子変換・選択性」を達成し、地球環境と調和する有機合成の確立や、固体触媒による新規有機反応開発に関する新たな学理の構築を行います。

## 触媒から電極構造の一貫制御による高効率電気化学的二酸化炭素変換

## 岩瀬 和至

東北大学 多元物質科学研究所 講師  
同上

本研究では、反応に関与する触媒と、二酸化炭素の物質輸送に関与する電極構造を一貫制御することを通じて、従来研究では達成できなかった高い生成物選択性およびエネルギー効率での二酸化炭素電解の達成を目指します。特に、触媒の金属活性中心の配位環境と、触媒電極の触媒層の多孔質構造の制御に着目します。研究を通じて、高効率な二酸化炭素電解を実現する触媒電極の設計指針の解明を目指します。

## ポリエステル資源のケミカルアップサイクル活用

## 荻原 陽平

岐阜大学 工学部 准教授  
東京都立大学 大学院理学研究科 特任准教授

ペットボトルや繊維などに由来する廃棄ポリエステルを、再生可能な非在来型炭素資源と捉え、これを様々な高価値化成品へと直接アップサイクルする触媒的物質変換プロセスを開発します。依然として熱的・物理的処理が支配的なポリエステルの既存リサイクルスキームから脱却し、有機合成化学のアプローチから地球環境と調和し経済的にも合理的な炭素循環システム構築を目指します。

## AEM 型リアクターを利用した廃棄物の電気化学的資源化

## 信田 尚毅

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
横浜国立大学 大学院工学研究科 助教

産業的な廃棄物の多くは、高酸化状態の化学的に安定な構造を有しています。このような安定廃棄物は、高温・高圧・高エネルギー・試薬の利用といった過剰なエネルギー投入により還元可能ですが、持続可能な産業の確立に向けては、温和でグリーンな資源化法が必須となります。本研究では、アニオン交換膜(AEM)型電解装置の利用を鍵とし、安定廃棄物を電気化学的に還元し有用な化学物質へと変換する新手法を開発します。

## アルカリ金属イオンを俯瞰する未踏電極反応開拓と蓄電応用

## 多々良 涼一

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
東京理科大学 理学部第一部 講師

アルカリ金属イオンを用いた蓄電デバイスのうち、リチウムイオン電池は既に商用化され、ナトリウムイオン電池も実用化を目指した研究開発が進んでいます。一方で、本研究では敢えて重アルカリ金属であるルビジウム・セシウムに着目し、大きなイオンサイズにより得られる特異な反応挙動を利用した新たな電池材料の創製と、アルカリ金属イオン全体を俯瞰した学理の構築を目指します。

## フッ素化合物の水素還元反応の開発

## 土井 良平

大阪大学 大学院工学研究科 助教  
同上

広範な有機フッ素化合物を水素と塩基により温和な条件(常温~150度程度)にて分解し、対応する炭化水素とフッ化物に変換する触媒を開発します。触媒としては炭素フッ素結合を切断する均一系Ni錯体と水素化触媒の組み合わせを検討します。実用化に向けて、有機フッ素化合物の混合物の脱フッ素水素化、官能基許容性の検証、フッ素資源回収およびスケールアップ検討を行います。

## 木材を機能性マテリアルに変換する分子性錯体触媒の開発

中川 由佳

京都大学 化学研究所 特任助教  
同上

本研究では、分子性錯体触媒を用いて「強固な木質細胞壁の破砕」および「木材由来の高分子に機能性をもたらす官能基変換」を穏和な条件下で、単段階で実現できることを実証します。さらに、技術の社会実装やLCAに鑑み、触媒とその反応効率にとどまらず、原料調達やスケールなど生産システム全体の最適化を検討します。これにより木材の化成品利用の拡大展開を目指します。

## 窒素と炭素の資源循環を指向した硝酸態窒素からの尿素的電解合成

井口 翔之

京都大学 大学院工学研究科 特任准教授  
同上

ものづくりの電化を指向し、排水中の硝酸態窒素と大気中の濃度増大が問題視されている二酸化炭素から、肥料・接着剤・樹脂等の原料として欠かせない尿素を再生可能エネルギー由来の電力を用いて、常温・常圧の条件下で合成します。そのために活性な窒素種や炭素種の生成、および窒素-炭素結合の形成に有効な革新的な電極触媒と反応場の設計と開発に取り組みます。

低濃度CO<sub>2</sub> 吸蔵・水素化を革新する多元機能触媒の設計開発

前野 禎

工学院大学 先進工学部 准教授  
同上

本研究では、O<sub>2</sub>と5%以下の低濃度CO<sub>2</sub>を含む混合ガスからCO<sub>2</sub>を吸蔵し、水素化により回収したCO<sub>2</sub>を直接COやCH<sub>4</sub>へ変換しながら、同時に再生できるCO<sub>2</sub>回収・資源化プロセスの構築を目指します。従来のCO<sub>2</sub>吸蔵・水素化が抱える、O<sub>2</sub>による失活、多量の白金族元素の利用、高温での運転(300~400℃台)、低いCO<sub>2</sub>処理速度の全てを解決する革新的な触媒反応場の開発に取り組みます。

## 未利用資源利活用を鍵とする糖質バイオマス化学変換

松本 剛

北海道立総合研究機構 産業技術開発センター エネルギー・環境・地産研究 主任  
北海道立総合研究機構 産業技術開発センター エネルギー・環境・地産研究 副主任

本研究では、人口減少と需要低下に伴い余剰在庫が増加している甜菜糖関連連産品に注目し、その製糖工程中途の抽出液を原料とし、5-ヒドロキシメチルフルフルールを經由して液体燃料(パラフィン類)を合成する化学変換プロセス開発に取り組みます。この調和物質変換プロセスの確立は、甜菜農業および製糖産業に新たな付加価値を提供し得るとともに、北海道における環境調和型社会の実現にも貢献できると期待されます。

## 赤外分光法を駆使した液相固体酸塩基触媒反応ダイナミクスの解明

大須賀 遼太

北海道大学 触媒科学研究科 助教  
同上

液相中での固体触媒の酸塩基性質は、これまでブラックボックスとされてきました。本研究では、赤外分光を用いた液相での固体触媒の酸塩基性質評価手法を確立します。本手法をカーボンニュートラルの実現に資する「バイオマス変換反応」のoperando計測へと展開し、触媒反応ダイナミクスの解明を目指します。これらの解析を通じて得られた情報を触媒設計へとフィードバックすることで、触媒反応系の高効率化を実現します。

## C1 資源を活用する新規遷移金属光触媒の創製

村田 慧

理化学研究所 触媒科学センター 副CCO研究ユニットリーダー  
東京大学 生産技術研究所 助教

本研究では、光化学的に発生させた活性な金属錯体による化学結合形成/切断を基盤として、C1化合物を多様な炭化水素へと変換する光触媒反応の開発に取り組みます。一連の反応開発を通じて、地球上に豊富に存在するC1資源および太陽光エネルギーを活用する炭素循環の実現に貢献することを目指します。

## 原子シミュレーションによるゼオライト触媒のデータ駆動的設計

村岡 恒輝

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上

ゼオライトの骨格トポロジー、組成、原子位置、活性種、モルフォロジーの無数の組み合わせを網羅するゼオライト触媒データベースを構築します。大スケールの触媒スクリーニング手法を採用することで、C1化学の各経路に最適なゼオライトを予測します。さらに、それを実現するために必要な合成条件を予測します。

## アンモニアを窒素源とする高効率アミン合成

清川 謙介

大阪大学 大学院工学研究科 助教  
同上

窒素循環の中心を担うアンモニアを窒素源として付加価値の高いアミンを直接合成できれば、資源循環やエネルギー効率の観点から理想的です。本研究では、アンモニアを窒素源とし、省エネルギーかつ廃棄物を極力減らした環境調和型のアミン合成の基盤技術を開発します。

## マルチモーダルX線オペアランド計測による触媒構造活性相関の解明

山本 達

東北大学 国際触媒イノベーション・スマートセンター 准教授  
同上

反応中の触媒表面は構造ゆらぎがある動的な反応場ですが、構造ゆらぎと触媒活性の関係は明らかではありません。本研究では、3GeV高輝度放射光施設NanoTerasuの高輝度X線を利用した触媒表面の化学・電子状態と構造を同時計測可能なマルチモーダルX線オペアランド計測システムを立上げ、触媒構造ゆらぎと触媒活性の相関を解明します。動的な触媒反応場という新学理に基づき、新規触媒開発設計指針の確立を目指します。

イオン液体を基盤とするCO<sub>2</sub> 回収・電解一括プロセスの開発

本林 健太

名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

CO<sub>2</sub>の電解還元プロセスでは、まずCO<sub>2</sub>を吸収液に選択的に取り込み、さらに一度分離して電解液に溶かし直してから電解還元を始めるのが一般的です。本研究では、エネルギー消費の多くを占めるCO<sub>2</sub>の分離過程を省略できるように、CO<sub>2</sub>の選択的吸収液と還元用電解液の機能を併せ持つイオン液体を開発します。これにより、エネルギー効率が劇的に向上したCO<sub>2</sub>回収・電解一括プロセスの実現を目指します。

## 廃棄硫黄を原料とした機能性硫黄ポリマー材料の創製

小林 裕一郎

大阪大学 大学院理学研究科 助教  
同上

エポキシ、イソシアネート、カルボニルクロリド等を用いて、様々な逐次重合硫黄ポリマーを合成し物性評価を行うことで、その構造と物性を系統的に評価し相関させ、プラットフォームを構築します。この際、社会実装を目指し、低環境負荷な硫黄ポリマー合成法(室温・無溶媒合成)も実現します。その得られた硫黄ポリマーを用いてリチウム硫黄電池や自己修復材料などの機能性材料を創製します。

## 電解液の完全利用を指向した省資源型デバイスの開発

山本 貴之

京都大学 エネルギー理工学研究所 助教  
同上

今後予測される蓄電池の需要増加に対応するため、希少金属が不要な省資源型デバイスの開発が必要と考えられます。本研究では、炭素材料のみを活物質として用いたデュアルカーボン電池に注目しています。中性溶媒が含まれないイオン液体を電解液に用い、複数のイオン種を適切に組み合わせることで、室温付近で使用可能な新規高濃度電解液の開発および電池の高性能化を目指します。

高密度CO<sub>2</sub>の化学変換を指向した新規触媒反応場設計

芳田 嘉志

金沢大学 理工学域 准教授  
同上

CO<sub>2</sub>が高密度環境において発現する分子間相互作用や基質溶解機能、溶媒極性制御などの物理化学特性を化学反応に応用し、CO<sub>2</sub>膨張液体を基軸とする液-液二相のエマルジョン反応場における低温CO<sub>2</sub>化学変換を目指します。CO<sub>2</sub>活性化におけるPdの構造感受性を解明し触媒回転のさらなる高速化を試みるとともに、相間物質移動を利用した目的生成物の連続抽出と組み合わせることで高速CO<sub>2</sub>化学変換を実現します。

## 大環状錯体によるバイオマス炭素資源の精密自在変換

中村 貴志

筑波大学 数理工学系 助教  
同上

バイオマスは石油に代わる炭素資源として注目されていますが、ファインケミカル合成の原料として石油化成品を置き換えるには至っておらず、主に燃焼エネルギーとして利用されています。本研究では、バイオマス炭素資源を直接変換し、その化学修飾を精密に制御する新たな手段として、配位結合で基質を認識する大環状錯体を開発します。そして、その金属間距離に応じた高選択的触媒反応を実現することを目指します。

## 炭素・窒素循環を実現するシアニドの非古典的資源化法の開拓

百合野 大雅

北海道大学 大学院工学研究科 助教  
同上

炭素・窒素循環は近年の環境問題を解決する目標の一つとして注目を集めています。シアニドは炭素と窒素からなる最小の分子状アニオンです。我々の生活に欠かせない工業用化学製品ですが、その毒性は高く、また、無毒化のために資源循環サイクルから外れていました。本研究では、シアニドを炭素・窒素資源とみなし、その効率的な回収、固定化と非古典的な高付加価値化を目指した研究を行います。

# 複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学

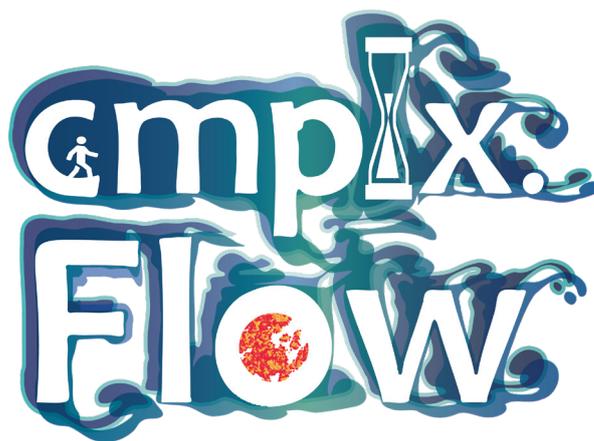
[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-2.html)

戦略目標

複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化



研究総括  
後藤 晋  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授



## 領域アドバイザー

河合 宗司	東北大学 大学院工学研究科 教授
河原 吉伸	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
坂上 貴之	京都大学 大学院理学研究科 教授
只熊 憲治	トヨタ自動車(株) 新事業企画部 事業開発室 室長
店橋 護	東京科学大学 工学院 教授
長田 孝二	京都大学 大学院工学研究科 教授
服部 裕司	東北大学 流体科学研究所 教授
深淵 康二	慶應義塾大学 理工学部 教授
松林 伸幸	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
渡邊 智彦	名古屋大学 大学院理学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、近年その発展が目覚ましい、流れの数値シミュレーションのための環境や手法、流れの計測技術、そして、これらにより得られた膨大なデータを解析する応用数学的手法を駆使し、これまで困難であった複雑な流動・輸送現象の抜本的な解明や、より正確な予測および高度な制御法の確立に向けた、新しい流体科学の基盤を構築することを目的とします。

具体的には、乱流による運動量・熱・物質輸送、燃焼などの化学反応を伴う流れ、環境流体の諸現象、生体内の流れと輸送現象、種々の複雑流体の輸送・移動現象、電磁場を伴う流れにおける輸送現象など、あらゆる流動およびそれによる輸送現象を研究対象とします。これらの現象に対して、伝統的な流体力学の解析手法はもちろん、応用数学解析、データ科学、数値シミュレーション、新しい実験・計測手法などを適用し、それぞれの研究を深化させつつ得られた知見を相互に活用することで、複雑な流動・輸送現象の解明の糸口を見出すとともに、各分野の強みを活かした新しい分野の開拓に貢献します。

複雑な流動と輸送をキーワードとし、広い意味での流体力学が関わる種々の分野を俯瞰する視点を導入し、若手研究者どうしの積極的な分野横断交流を推進します。

2021年度探採研究者「1期生」

### 非平衡高エネルギー密度プラズマにおける流動・輸送現象の解明

岩田 夏弥

大阪大学 レーザー科学研究所 教授  
大阪大学 高等共創研究院 准教授



物質に高強度光を照射すると高エネルギー密度プラズマが生成されます。大出力レーザーを使えば星内部相当のエネルギー密度を実現でき、ミクロな粒子加速やマクロな高温プラズマ流動が同時進行する非平衡物理を探究できます。ミクロとマクロが絡み合う輸送現象の理解は流体科学として重要です。本研究はプラズマ中のミクロ過程の統計的モデル化と流体的記述への展開に挑戦し、高エネルギー密度の流動・輸送現象の解明を目指します。

### マイクロ・ナノ界面系でのイオン流体科学の創出

植松 祐輝

九州工業大学 大学院情報工学研究科 准教授  
九州大学 大学院理学研究科 助教



近年の社会変動と科学技術の進展を踏まえ、多孔質膜系、気泡・水滴系の流体力学の計測実験に取り組みとともにモデルの理論解析を実施し、マイクロ・ナノ界面系でのイオンの関与する複雑流れの原理的解明と予測理論を構築します。また、界面でのイオンの効果を切り口に、これらの系での未解決問題を解明し、関係する有望な分析/産業/エネルギー技術のさらなる理解と革新をするための知識基盤を整えます。

### 間の分子流体力学

小林 一道

北海道大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



「間の分子流体力学」の創生の中心となる Enskog-Vlasov 方程式は未だ不完全であるため、本提案では Enskog-Vlasov 方程式の多成分・多原子分子への拡張を行い、この方程式に対する高速計算手法の構築を目指します。また、拡張した方程式から流体力学方程式系の導出を試み、非平衡気液界面流れに対する力学の確立を目指します。更に、本研究結果の有用性を確認し、様々な分野へ本成果を展開します。

### アポストリオリ流体幾何学の創出

佐藤 慎太郎

東北大学 大学院工学研究科 助教  
同上



実験・数値流体力学から得られる複雑な流れ場の大規模データを基礎として、流動現象の本質を幾何学的な観点から帰納的に理解することを目指します。これまで具体的な条件の解析に特化していた実験・数値流体力学に、抽象化を得意とする現代数学、数値流体力学およびデータ駆動科学の知見を融合させることで、複雑な流動現象の幾何学的な理解およびそれに基づく流体の革新的な予測・制御技術を開発します。

### “力”を既知とする新しい流体科学

田川 義之

東北農工大学 大学院工学研究科 教授  
同上



流体応力場を出発点とした新しい流体科学の創出を目指し、流体応力場の新しい計測システムを提案します。これにより複雑な流動・輸送現象の抜本的な解明と制御への道筋をつけ、他分野との新たな融合基盤を構築します。具体的な対象として、動脈瘤の現象を取り上げます。本研究期間内には、独自の光弾性応力計測システムの自動化と理論・数値計算を援用した機械学習により、応力計測の非線形性の克服を目指します。

### 混相／複雑流体のレオロジー物性計測を基軸とした流体科学の創成

田坂 裕司

北海道大学 大学院工学研究科 教授  
北海道大学 大学院工学研究科 准教授



本研究は、混相・複雑流体の諸現象を理解・制御するためのレオロジー物性評価基盤技術確立を目指します。複雑流体の過渡的レオロジー物性評価が可能な、超音波スピニングレオメトリの技術を開発・応用し、流れの遷移問題の混相流体への拡張を行います。またレオロジー物性に関わる流体力学、材料科学、化学工学、医学の諸問題を通して USR による物性評価プロトコルを確立し、「評価」から「予測・制御」へレオロジーの理工学を転換させます。

### 数理融合で拓く乱流場中の自発的秩序構造形成の活性化と輸送制御

仲田 資季

駒澤大学 総合教育研究部 准教授  
自然科学研究機構 核融合科学研究所 准教授



乱流物理に数値・情報科学的手法を組み込んだ数理融合アプローチによって、幾何学的自由度を持つ外場や構造のなかに置かれた乱流場から自発形成する秩序の流れ場や渦構造、そして、それらに付随するエネルギー・物質輸送などの機能を自在に活性化するための理論・計算的手法の構築とメカニズムの解明を目指します。プラズマ乱流における渦・流れ・磁場の非線形相互作用の問題を通して、新たな学際的展開を開拓します。

### アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓

西口 大貴

東京科学大学 理学部 准教授  
東京大学 大学院理学系研究科 助教



バクテリア系を題材とし、3次元アクティブ乱流の時空間構造を高速焦点顕微鏡で直接観察します。統計則を実験的に解明するとともに、アクティブ流体のマクロな境界条件までミクロから包括的に理解する統計力学的な方法を構築します。履歴依存する負粘性を活用したデバイスの創出へ向け、微小路路内にアクティブ乱流を流したときの粘性応答と集団運動を同時観察し、平均流下でのアクティブ乱流の挙動の解明にも挑みます。

### 機械学習と数値解析を融合した流動モデリング

堀江 正信

(株) RICOS 基盤研究部 部長  
(株) 科学計算総合研究所 基盤研究部 部長



複雑な流動・輸送現象の数値解析には時間がかかることが多く、機械学習による代替が期待されています。本研究では、柔軟な機械学習モデルであるグラフニューラルネットワークと流動・輸送現象に適した数値解析手法である不連続 Galerkin 法と組み合わせることで、物理現象の要請である座標変換に対する同変性と流動・輸送現象において重要な保存則を満たし、高精度かつ高速に予測ができる機械学習・数値解析手法を開発します。

### 実験と数理の融合による細胞内流体構造連成の解明

松永 大樹

大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教



細胞収縮力はミオシン・キネシンといったモータータンパク質の役割に起因しますが、細胞グローバルスケールで生じる流動現象はモーターの活動に起因する流体構造連成問題とも捉えることができます。モータータンパク質のローカルの拡散動態がどのように収縮力と関連しているか、引力は細胞グローバルスケールの流動を生み出すのか、広い時間空間の階層を跨る力学現象の一端の解明を本研究課題では目指します。

### データ指向型アプローチによるグリーン燃焼技術の確立

源 勇気

東京工業大学 工学院 デニューラック助教  
同上



本研究では、水素燃焼等に代表されるグリーン燃焼技術の確立と実用化のための高精度数値熱流体解析の実現に必要な、大規模データに基づく、実用性も考慮した高精度データ指向型物理モデルの開発を目的とします。また、データ指向型モデルの従来モデル同様の再最適化のための、熱流体解析エンジニア自身がモデル学習実施可能な機械学習プラットフォームの開発を実施し、高精度なデータ指向型モデルの持続的な普及に貢献します。

### 量子回転流体科学の創生と多孔性ナノ空間による流動制御

金 賢得

京都大学 大学院理学研究科 助教  
同上



本研究の目的は、核の個性や自由度が主導的役割を果たす複雑なマクロ流動の原理を解明し予測するため量子回転流体方程式を確立し、ナノ空間を活用したパラ素-オロン水素流体の流動分離制御方法を提案することで、水素エネルギー社会の実現に資することです。本研究を通して、これまでマクロ流動予測や制御が困難であった量子回転流体における特殊性と普遍性を統一的に理解し、核が主役となる流体科学体系の基盤を構築します。

### 流体応力場イメージングによる流体科学の基盤構築

栗山 怜子

京都大学 大学院工学研究科 助教  
同上



複雑な流動現象の本質的理解と予測・制御を支える基盤技術の構築に向けて、流体応力場を非接触・高時間分解能で定量する新たなイメージング技術を提案します。力に応答する蛍光高分子を流体応力プローブとして応用し、流体内や壁面の応力場を可視化します。流体力学、光工学、高分子化学、レオロジーの知見を統合し、信号解析にデータ科学的手法を取り入れながら可視化手法を確立して、将来的に多様な分野への展開を目指します。

### 非ニュートン／非一様／非平衡系の新しい流体科学

佐藤 健

京大大学 設計製造技術研究所 助教(デニューラック)  
京都大学 化学研究科 助教



構成要素がミクロ・メソ・マクロの時空間的な階層性を持つ非ニュートン(複雑)流体は、非一様/非平衡流動が容易に顕在化します。本研究ではまず、ミクロ・メソスケールを接続したモデル「擬似実験系」を構築します。次に、(擬似)実験結果を学習用データとし、データ科学的手法により、流体科学の根幹である構成則モデルを導くことを目指します。このプロセスを通して、非一様/非平衡流動予測に有効な方法の構築に挑戦します。

### 材料と流動・輸送現象の協創ものづくりの原理的解明

鈴木 崇弘

大阪大学 大学院工学研究科 講師  
同上



スラリー乾燥による構造形成は燃料電池や二次電池の多孔質電極をはじめとした種々のものづくりに利用される基幹技術ですが、従来の製法技術開発は経験に依存しており、科学的な理解が求められています。本研究では、スラリー乾燥過程の流動と誘電緩和挙動の同時計測手法を確立し、分子スケールから材料と流動の関係を明らかにします。そして、燃料電池電極を事例とした材料と流動の協創による構造形成メカニズムの解明を行います。

### 化学熱力学を融合した界面流体力学の創成

#### 鈴木 龍汰

京都工科大学 大学院工学研究科 准教授  
東海工科大学 大学院グローバルイノベーション研究センター 特任助教

二流体界面での流動現象を軸に、化学熱力学を加味した新規な流体科学の創出・流動現象のダイナミクスの全容解明を目指します。流動実験・シミュレーション・理論解析の全方向から現象の理解を可能とし、他分野との新たな融合基盤を構築します。具体的にはバイオテクノロジーやCO<sub>2</sub> 地中貯留と石油増進回収の同時達成への応用を指向します。特にCO<sub>2</sub> 地中貯留と石油増進回収での最適条件を算出するソフトウェアを開発します。



### 局所秩序変数に基づくナノ熱物質移動論の前進

#### 高橋 和義

京都府立大学 情報科学センター 准教授  
同上

相転移を伴う流体現象は自然界における普遍的な現象であるにもかかわらず、理解が十分に進んでいません。本研究では、ナノレベルの熱物質移動論を流体のスケールまで前進させることで、相転移を伴う流体現象の解明を目指します。そのために、物質分子の自己集合構造を精密に記述する局所秩序変数を機械学習により特定します。これを統計力学に用いて相転移における自己集合過程を詳細に記述し、さらに最新の流体理論と接続します。



### Optothermal fluidics の分子流体科学への展開

#### 辻 徹郎

京都大学 大学院情報学研究所 准教授  
同上

分子スケールの影響が顕在化する分子流体では熱は流れの駆動源になりますが、これらの流れは従来の流体力学の枠組みだけでは説明できません。本研究では、熱誘起型分子流体現象に対して、熱的実験条件の制御性が高い Optothermal fluidics の実験技術と分子流体力学理論の両方向から理解することを目指します。これらの流れは、熱エネルギーと運動量の変換手法や微小物質輸送/分離への応用が期待されます。



### 間質環境の再現と制御による細胞動態の操作技術の創成

#### 船本 健一

東北大学 流体科学研究所 准教授  
同上

生体内において細胞は間質と呼ばれる生体組織に包まれており、間質内の流動・輸送現象に対する細胞動態が疾患の治療・予防の鍵となります。本研究では、間質内の流動・輸送現象をマイクロ流体デバイスと計測融合シミュレーションにより再現し、細胞動態の変化のメカニズムを解明します。そして、環境因子を制御することで細胞動態の操作技術を探求し、疾患特有の間質環境を標的とする新しい医療技術の基盤を創成します。



### 沸騰現象の再構築による新しい熱流体科学の創出

#### 矢吹 智英

九州工業大学 大学院工学研究科 教授  
九州工業大学 大学院工学研究科 准教授

沸騰を世界最先端の計測・解析技術により精密に分解して熱伝達メカニズムを再構築する新しい熱流体科学を実践し、新規熱輸送技術、数値計算熱伝達予測技術の創出に資する知見の獲得を目指します。高効率・長距離熱輸送を実現する沸騰現象の工業利用の広まりは、熱輸送に必要な電力、材料量の大幅な低減、排熱再利用の高効率化につながり、脱炭素社会の実現に寄与します。



### ソノケモフルイディクス論による化学流体場の予測

#### 山本 卓也

大阪公立大学 大学院工学研究科 准教授  
東北大学 大学院工学研究科 助教

超音波照射時に発生する超音波化学流体(ソノケモフルイド)現象を数値モデル化します。具体的には化学反応を伴う気液混相現象を数値モデル化し、大規模数値計算を用いて反応効率を求めます。その後構築した数値モデルを利用して、超音波照射条件を変化させ、データ科学的手法を用いて化学反応効率の良い条件を探求します。最終的に、その条件で実験を行い、化学反応効率を評価します。



### 非平衡流れに対する階層的流体力学の創成

#### 有馬 隆司

苫小牧工業高等専門学校 創設工学部 准教授  
同上

急激な物理量の時空間変化や複雑な素過程を伴う非平衡流れでは、異なる時空間スケールの現象が絡み合い、従来の流体力学では適切に記述できません。本研究では、多原子分子効果、実在気体効果、多成分性を含む流体を対象に、階層的時空間スケール構造を考慮した流体モデルを、拡張された熱力学に基づいて構築します。これにより、非平衡輸送現象の包括的な理解と高精度な予測・制御が可能となり、流体科学の新展開が期待されます。



### 非周期的・間欠的流動現象のデータ駆動モデリング

#### 大道 勇哉

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 主任研究開発員  
同上

複雑流動場に生じる非周期的・間欠的な現象(Nonstationary 現象)の時空間パターン抽出を可能な独自のデータ解析法を提案し、実際の工学問題を対象にその有効性を実証する。さらに、流れ場中の各現象が他現象と及ぼし合う相互作用の解析法を検証する。本研究構想を通じ、これまでの平均的な振る舞いを主な対象としてきた流体データ解析を、Nonstationary な振る舞いも解析可能なデータ解析へと転換する。



### 熱と化学種が形成する密度成層乱流の新展開

#### 沖野 真也

京都大学 大学院工学研究科 講師  
同上

熱成層乱流を対象に、直接数値計算、力学系理論、室内実験を駆使することによって、小スケールで生じる二重拡散不安定性と乱流の相互作用を徹底的に解明します。さらに、系を熱成層流体から化学反応(中和反応)をとまらう酸・塩基溶液へと拡張し、化学反応が乱流に及ぼす効果を明らかにします。本研究をきっかけとして、熱流体力学と化学を包含する新たな学問領域の構築を目指します。



### 高Re 数乱流伝熱面の多自由度形状最適化

#### 亀谷 幸憲

明治大学 理工学部 専任講師  
同上

エネルギーの有効利用のため、熱交換器の高性能化が大きな課題です。本研究では高 Re 数乱流場での伝熱面形状最適化を目的とし、RANS 方程式を用いた伴流最適化に LES を組み合わせた多自由度形状最適化手法を開発します。LES の SGS モデルに基礎流れの DNS データを利用した機械学習を取り入れ、最適化の高精度を図ります。また、3D プリンタで供試体を作成し、風洞実験により形状最適化アルゴリズムを実証します。



### 量子粘性の検証と複雑な量子流動現象の解明

#### 竹内 宏光

大阪公立大学 南陽第一物理学研究所 准教授  
大阪公立大学 大学院理学研究科 講師

量子力学的効果が顕著なある種の物質は絶対零度近傍の低温下でも固化せず、超流体という非粘性流体に相転移します。超流体の流れは従来の流体よりも簡潔に記述されるため、流体科学の悲願である乱流理論の構築に有効なモデルとして注目されていますが、乱流に付随するはずの散逸の機構がその非粘性ゆえに十分理解されていません。本研究は量子粘性という概念を導入してこの困難を解消し、新しい視点から乱流理論の構築に挑戦します。



### 情報流体力学—複雑系の予測・制御に関する普遍的限界—

#### 田之上 智宏

大阪大学 大学院理学研究科 助教  
同上

近年、情報熱力学の進展に伴い、様々なシステムのふるまいや性能が情報の流れによって普遍的に制限されていることが明らかになってきました。本研究では、情報熱力学を乱流等の様々な流動現象に応用しながら、地球システムや生体システム等が示す複雑な流動現象の予測・制御に関する普遍的限界の解明に向けた新しい流体科学「情報流体力学」の基盤を構築することを目指します。



### 実用のための量子流体シミュレーション技術の開拓

#### 都築 怜理

東京大学 先端科学技術研究センター 講師  
同上

超流動ヘリウム4のダイナミクスは二流体モデルにより現象論的に記述されますが、渦格子など量子効果に起因して生じる巨視的量子現象の多くは再現出来ていません。自転角運動量保存型の二流体モデルはこれを打破する手法として注目を集めています。当該モデルの高精度化と大規模計算による実証を達成し、量子効果を捉えつつ噴水効果など数メートル規模の量子流体の挙動を再現できる実用的なシミュレーション技術を構築します。



### 超空間分解能計測と界面特性マッピングで拓く「すべり」の新学理

#### 手嶋 秀彰

九州大学 大学院工学研究科 准教授  
九州大学 大学院工学研究科 助教

固液界面で流体が速度を持つすべり現象を理解するには、界面特性とすべり長さの双方を把握する必要があります。本研究では、周波数変調原子間力顕微鏡を駆使することですべり計測の空間分解能を10 マイクロメートルから100 ナノメートルオーダーへと一気に2桁進化させます。この技術を基にすべりと界面特性を同時マッピングする新しいプラットフォームを構築し、すべり現象の物理機構をナノ・原子スケールから解明します。



### 高密度壁面計測とデータ科学の融合による乱流の予測と制御

#### 中 吉嗣

明治大学 理工学部 専任准教授  
同上

本研究では壁面での圧力変動場の高密度計測データから乱流場を推定し、乱流の予測と制御を行う新たな手法を確立します。このため、直接数値計算を用いて壁面圧力変動と乱流場の特徴量の関係を解明し、壁面情報から流れ場を推定するためのデータモデルを構築します。また、壁面圧力変動場を測定するための高密度マイクロアレイおよび乱流制御のための集束超音波音響流アクチュエータを開発し、実機での乱流の予測と制御を実現します。



## 粉体の流動と混合の時間・空間スケールリング

仲村 英也

大阪公立大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

大規模・長時間スケールで起こる粉体の流動・混合現象の予測に焦点を当てます。離散要素法 (DEM) を基盤として、实在粉体が本質的に内包する粒子径不均質性を扱うことができ、かつ、1 個粒子スケールの微視的な混合均一性まで予測できる高速計算代理モデルと粗視化計算技術の開発に取り組みます。これにより、实在粉体の流動・混合挙動の時間・空間スケールリングを可能とする粉体シミュレーション技術を創出します。



## 磁化プラズマ乱流のマルチスケール・マルチフィデリティモデリング

前山 伸也

自然科学研究機構 核融合科学研究所 准教授  
名古屋大学 大学院理学研究科 講師

磁化プラズマ乱流中のマルチスケール相互作用現象における重要な課題である「核融合原型炉開発に向けた乱流輸送の定量予測」と「マルチスケール相互作用の理解とモデル化」に挑戦します。それぞれの問題に対し、独自に提案する「マルチフィデリティ乱流輸送モデリング」と「射影演算子に基づく統計データ解析と一般化 Langevin モデリング」の二つをキープアプローチとして、解決の糸口を図ります。



## 対流熱伝達の上限への挑戦

本木 慎吾

大阪大学 大学院基礎工学研究科 講師  
同上

流体による熱の輸送現象の解明・予測・制御はエネルギーの有効利用に直結し、持続可能な社会の実現に寄与します。本研究では、磁気力等の付加的な外力を導入することで対流熱伝達をどこまで促進し得るのかを追求します。その複雑な流動・輸送現象の理論的な解明に挑むとともに、流体制御効果を数値的・理論的に実証し、伝熱促進を目的とした革新的な流体制御技術の創出を目指します。



# 電子やイオン等の能動的制御と反応

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunyah30-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunyah30-2.html)

戦略目標

持続可能な社会の実現に資する新たな生産プロセス構築のための革新的反応技術の創出



研究総括  
関根 泰  
早稲田大学 理工学術院 教授



扉絵は電気や光などを用いて電子やイオンを能動的に制御して、革新的な化学反応技術がスパイラルに生成していく様子をデザイン化したものです。基調色のグリーンは持続可能な社会の実現を目指していることを意味しています。"

## 領域アドバイザー

- |        |   |
|--------|---|
| 雨澤 浩史  | 東北大学 多元物質科学研究所 教授                       |
| 五十嵐 達也 | 富士フィルムホールディングス(株)<br>CTO室 統括マネージャー      |
| 佐藤 康司  | ENEOS(株) 中央技術研究所<br>執行役員・中央技術研究所長       |
| 佐藤 緑   | 産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門<br>総括研究主幹          |
| 里川 重夫  | 成蹊大学 理工学部 教授                            |
| 杉本 涉   | 信州大学 先端材料研究所/繊維学部<br>卓越教授               |
| 堂坂 健児  | 本田技研工業(株) 日本本部地域事業企画部<br>地域環境戦略課 課長     |
| 中井 浩巳  | 早稲田大学 理工学術院 教授                          |
| 中林 亮   | (株)AIST Solutions プロデュース事業本部<br>プロデューサー |
| 濱川 聡   | 産業技術総合研究所<br>執行役員/材料・化学領域長              |
| 山下 弘巳  | 大阪大学 大学院工学研究科 教授                        |
| 吉田 朋子  | 大阪公立大学 人工光合成研究センター<br>教授・副センター長         |
| 柳 日馨   | 大阪公立大学 研究推進機構 特任教授                      |
| 和田 雄二  | 東京工業大学 名誉教授                             |

## 研究領域概要

本研究領域では、電気や光などを用いて電子やイオンの能動的な制御を狙い、革新的な化学反応技術を創出することを目的とします。これによって、従来にない物質生産プロセスを実現させ、既存技術における反応制御の難しさ、収率や選択性の低さ、高い反応温度、平衡制約などから脱却できる新たな化学反応の体系を確立することを狙います。

具体的には、電気化学や光化学、非在来型プロセスなどを単独あるいは組み合わせることにより、電子やイオンを能動的に制御し、これによって化学反応の選択性向上、平衡制約からの脱却といった次世代反応場の開拓を狙います。高効率な物質合成に資する化学反応プロセスのみならず、反応プロセスを構築するための新規材料開発、例えば従来にない中温域で作動しうる新規イオン伝導材料の開発やこれら反応・材料の新規評価方法の確立、そのために必要となる理論化学の援用によるモデル化と実験系へのフィードバックなども研究対象に含めます。

化学(電気や光など)、反応プロセス(フローリアクターなど)、材料(電極材料、固体イオニクス材料、触媒など)、計測、理論の融合からなる次世代反応プロセスの創出により、持続可能な社会の実現を目指します。

2018年度探採研究者「1期生」

### 電解還元法による酸素酸化反応プロセスの構築

天野 史章

北九州大学 国際環境工学部 准教授  
同上



省エネルギーと高い反応選択性を両立した新しい化学品製造法の創出を目的として、電解還元法による選択的な酸素酸化プロセスを開発します。水素ではなく水を電子源として、酸素原子供与が可能な活性酸素種を能動的に形成し、これまで難しかった炭化水素の酸素酸化反応を制御します。電気化学と触媒化学のアプローチに、反応場の分離と物質移動を制御する化学工学的アプローチを融合させた革新的な反応技術の構築を目指します。

### 電界による能動的軌道変形を利用した化学反応技術の創出

アルブレヒト 建

九州大学 先端物質化学研究所 准教授  
東京工業大学 科学技術創成研究院 助教



本研究では、単分子接合中の分子への電界印加によって分子軌道が能動的に変形することを見出したことを端緒として①単分子の電界印加による反応性の変化を明らかにし②ナノギャップ電極や光誘起電子移動を用いてこれをパルクスケールの反応へと適用する手法を開発します。

### 外部電場により駆動するワイヤレス電解反応システムの構築

稲本 信介

東京工業大学 物質理工学院 准教授  
同上



本研究では、外部電場により駆動するワイヤレス電極（パイポラ電極）の概念を発展させ、電解質使用量の削減かつ電流量をモニター可能な分割パイポラ電極を用いた実用的電解合成系を設計します。各種計測技術やシミュレーションを駆使しながら、種々の電解反応への応用を検討し、低環境負荷の有機電解合成システムとして確立することを目標とします。

### 分子-金属界面の構造制御に基づくプラズモン誘起化学反応の制御

数間 恵弥子

理化学研究所 開拓研究本部 研究員  
同上



金属ナノ構造に光照射することで励起できる局在表面プラズモン（近接場光）は、太陽光エネルギーを化学反応のエネルギーに高効率に変換する手段として期待されています。本研究は、プラズモンック触媒の実用化に向け、高効率な反応経路を提供する触媒の設計指針の獲得を目指します。分子と金属の間に触媒層を導入することでプラズモン誘起化学反応の経路を制御し、単分子レベルで反応過程を解明、能動的な反応制御を実現します。

### 量子分割によるヘテロ接合ナノ粒子光触媒の超高効率化

亀山 達矢

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



光エネルギーを直接燃料に変換できる、光触媒反応が注目され、その高効率化が広く検討されています。本研究では量子ドットに特有の、量子分割過程（多重励起子生成）を利用した光触媒反応を開拓します。これにより、光電気化学セルを用いて、高エネルギー照射時の外部量子効率100%を超える超高効率反応を達成し、光エネルギー利用の限界に迫ります。申請者がこれまでに取り組んできた、環境適合性の高い低毒性多元系量子ドット開発と、ナノ構造制御技術により、量子ドット内にヘテロ接合界面を形成し、オージェ再結合するよりも早く、多励起子を電荷分離することでこれを達成します。

### ヒドリドイオンの光励起により駆動するアンモニア合成触媒の開発

北野 政明

東京工業大学 元素戦略研究センター 准教授  
同上



本研究では、活性化が困難な窒素分子を、H<sup>-</sup>イオンの光励起作用を利用することで活性化し、従来の固体触媒では実現できなかった温和な条件下でのアンモニア合成を行う新規触媒プロセスの構築を目的としています。結晶骨格中に高密度にH<sup>-</sup>イオンを含む材料と金属ナノ粒子触媒と組み合わせた触媒を用い、従来高温・高圧で行われてきたアンモニア合成プロセスの低温・低圧化を目指します。

### 金属酸化物クラスターによる多電子・プロトン移動触媒の創製

鈴木 康介

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 講師



本研究では、可視光や電気を利用して、貯蔵可能な化学エネルギーや有用炭素資源の生産を実現するために、多電子・プロトン移動反応を自在に制御することのできる革新的金属酸化物クラスター触媒を開発します。反応に合わせた活性点構造の設計に加えて、電子状態やプロトン化状態の制御による酸化還元特性、反応電子数、酸塩基性の設計により、新たな反応性や選択性を示す触媒材料を開発し、高難度酸化還元反応の実現を目指します。

### ナノスケールの電気化学イメージング技術の創成

高橋 康史

金沢大学 ナノ生命科学研究所 教授  
金沢大学 新学術創成研究機構 准教授



電気化学計測やナノ計測に特化した4種類のプローブ顕微鏡を駆使して、局所触媒活性の電気化学イメージングと制御、イオン・ホール伝導が関与する化学反応の理解、溶液中でのイオン濃度プロファイルイメージング、局所計測のための要素技術開発の4つのテーマをもとに研究を進めていきます。

### 光照射波長によって電子移動・化学選択性が変化するプラズモンック光触媒の創製と物質変換反応

田中 淳皓

近畿大学 理工学部 講師  
近畿大学 理工学部 助教



金属ナノ粒子の表面プラズモン共鳴に誘起される光触媒は、それぞれ異なる光吸収ピークをもち、その分布が可視光全域に広がっていることから注目されています。本研究では、化学反応の高度な選択性を達成する手法として、光照射波長および光触媒材料設計を駆使した電子移動方向の能動的な制御を試みます。さらに、電子移動の制御を行うことで、基質選択性や官能基選択性を自由に変化させることを目指します。

### ラビ分裂による化学反応操作法の確立

平井 健二

北海道大学 電子科学研究科 准教授  
同上



化学反応の制御は分子設計を基盤として発展してきました。本研究では、共鳴する光子と分子のコヒーレントな相互作用を用いて、分子の反応性を変化させる方法を開発します。これにより反応の進行や生成物の制御を実現します。

### 光触媒の能動的制御による近赤外光合成プロセスの開発

古山 漢行

金沢大学 理工研究域 准教授  
同上



近赤外光により選択的に活性化される触媒を開発し、可視光材料をはじめとした高付加価値材料の新しい合成法を開発します。近赤外光と強く相互作用することが知られるアザポルフィリンを利用し、置換基効果・中心元素の調整により吸収波長・光励起状態を能動的に制御できる設計指針を産み出し、600～1000 nm の光で駆動する触媒の開発を目指します。

### 準格子間拡散を利用した中温域高速ヒドリドイオン伝導体の創製と拡散機構の解明

飯村 壮史

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 主任研究員  
東京工業大学 元素戦略研究センター 助教



中温域で電気化学反応と触媒反応を適切に融合することで、高効率で選択的に化学反応を進めようという試みが近年注目を集めています。本研究は、イオンの多体運動の一つである準格子間拡散に着目し、電解水素化還元反応に資する中温域高速ヒドリドイオン伝導体の創出を目指します。また、非干渉性中性子準弾性散乱を用いてヒドリドイオンの拡散機構を明らかにし、高速アニオン伝導体の多体ダイナミクスという新たな学理を確立します。

### 電子制御型有機触媒の創製

大宮 寛久

京都大学 化学研究所 教授  
金沢大学 医薬保健研究域 教授



本研究では、金属元素を含まず、有機化合物のみで構成される有機触媒と光エネルギーを組み合わせることににより、電子を能動的に制御可能な触媒システムを開発します。この触媒システムを用いて、これまで実現困難であった反応プロセスを開発し、入手容易な化学原料から高付加価値の有機分子を合成します。

### 酸素欠損型モリブデン酸化物のプラズモン光反応場を利用した革新的CO<sub>2</sub>変換反応の開発

桑原 泰隆

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
大阪大学 大学院工学研究科 講師



本研究では、酸素欠損型モリブデン酸化物の表面プラズモン共鳴と酸素欠陥を利用することで化学的に安定なCO<sub>2</sub>を活性化し、選択的にメタノールへと変換可能なプラズモン触媒技術の開発を行います。モリブデン酸化物結晶中の電子密度・酸素欠陥密度を制御することでCO<sub>2</sub>活性化に最適なプラズモン光反応場を構築し、光エネルギーを効率的に化学エネルギーに変換することで、CO<sub>2</sub>メタノール変換プロセスの低温化を目指します。

### Mie共鳴による磁場増強を利用した光化学反応プラットフォームの構築

杉本 泰

神戸大学 大学院工学研究科 准教授  
神戸大学 大学院工学研究科 助教



本研究では、スピン禁制遷移を光により直接励起する技術を開発することで、従来の物質の光励起の制約から脱却し、新たな物質反応ルートを提案します。光励起過程における磁場の効果に着目し、誘電体ナノ構造のMie共鳴に起因する磁場増強効果を利用して、一重項・三重項間の直接的な光学遷移を実現します。材料、構造形成、新規反応ルートに開拓に関する実験的検討を行い、これまで不可能であった光化学反応を実現します。

## スピン角運動量の能動的制御による革新的電気化学反応の創出

須田 理行

京都大学 大学院工学研究所 准教授  
自然科学研究機構 分子科学研究所 助教



キラル分子による金属ナノ粒子ネットワークを基板表面に固定化し、ここに流れる電流に多重スピン偏極効果を与えることで、高スピン偏極電流の生成が可能となる電極材料を創製する。この電極を電気化学反応に用いることで、通常の電流では実現不可能な、スピン偏極電流を用いることによる革新的な電気化学反応、すなわち電気化学的不斉合成反応や反応過程におけるスピン多重度選択的な反応を実現する。

## イオン伝導性原子膜の能動的制御と低温イオンクス材料の創製

山本 瑛祐

名古屋大学 未来材料システム研究所 助教  
同上



ありふれた酸化物イオンクス材料 (CeO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>) を、ナノシート化技術と第一原理計算に基づく精密設計によって中低温領域で巨大イオン伝導度を有する原子膜材料に生まれ変わらせます。さらに、ナノシートの有する電界変調特性を活用し、電場によるイオン伝導性の能動的制御を実現することで、革新的なイオンクス材料の基盤構築に繋がります。

## 光励起キャリアを触媒サイトに誘導する高分子光触媒の創製

中田 明伸

京都大学 大学院工学研究所 講師  
中央大学 理工学部 助教



本研究では、光励起キャリア分布に合わせ適切な分子性触媒を内包した高分子光触媒を、精密設計した分子骨格を用いて「一から」組み上げる手法を確立します。本手法により、分子性光触媒と半導体光触媒の長所を創発的に融合した「光励起キャリアを触媒サイトに誘導する高分子光触媒」を創製し、電極化などのアシスト無しに高効率な「水を電子源」とした CO<sub>2</sub> 還元を実証します。

## 電磁波駆動触媒反応によるリグノセルロースの熱化学変換

椿 俊太郎

九州大学 大学院農学工学部 准教授  
東京工業大学 物質理工学院 助教



本課題では電磁波の精密制御によって触媒反応を能動的に操る手法を確立し、リグノセルロースの温和な熱化学変換を実現する。具体的には以下の3項目に取り組む。(1) 触媒材料の誘電特性に基づく電磁波駆動触媒の開発、(2) 精密制御型電磁波反応装置の開発、(3) 「その場観察」による電磁波駆動反応の促進機構の理解と触媒反応制御手法の確立。

## 2020年度探検研究者(3期生) 近接場光による励起状態制御の理論

岩佐 豪

北海道大学 大学院理学工学部 助教  
同上



量子力学では、基底状態の波動関数に外場を作用させて励起状態を重ね合わせることができます。本研究では、「物質近傍に局在する近接場光を用いて励起状態をどのように制御できるか」に理論的に挑戦します。具体的には、近接場光と分子の相互作用を記述するための双極子近似を超えた第一原理計算手法を開発し、電磁場の空間構造を設計して、狙いの電子励起状態へと励起し、分子の反応性を能動的に制御する仕組みを打ち立てます。

## 化学ポテンシャル制御による特殊反応場形成技術の創出

中村 崇司

東北大学 多元物質科学研究所 准教授  
同上



固体電解質に電圧を印加すると、キャリアイオンに対応した化学ポテンシャルの変調が起こります。この固体電解質上で起こる現象を利用し、本研究では化学ポテンシャルの能動的制御が可能な特殊反応場を形成する技術を開発します。本技術を活用し、反応駆動力(化学ポテンシャル)を能動的に制御することで対象材料のアニオン欠陥を自在に制御し、従来に無かった革新的な材料合成技術への展開を目指します。

## インターメタリック反応場でのプロトンクスを利用した高効率触媒系の開発

古川 森也

北海道大学 触媒科学研究所 准教授  
同上



本研究では、電場印加下でのプロトン伝搬によって平衡制約からの脱却を可能とする「表面プロトンクス」の現象論を、触媒反応における反応性を劇的に変化させる「インターメタリック反応場」上で起こさせることで、既存技術では困難な高効率触媒反応系の構築を実現します。具体的には、CO<sub>2</sub>からのメタノール合成およびプロパン脱水素の反応系において、平衡制約からの脱却による劇的な低圧化および低温化をそれぞれ達成します。

## 複合アニオン固体電解質を用いたヒドリドインターカレーション反応の開拓

竹入 史隆

理化学研究所 開拓研究本部 研究員  
自然科学研究機構 分子科学研究所 助教



ヒドリドイオン伝導体は中低温で動作可能な電気化学デバイスへの応用が期待されますが、その電極反応、すなわちヒドリドイオンの脱挿入反応は未開拓です。本研究では、優れたイオン伝導特性を示す複合アニオン化合物を固体電解質として用いた新奇電極反応に挑戦します。将来的な物質変換デバイスへの展開を可能とする基盤技術を開発するとともに、水素量を電気化学的に制御した準安定相における物性開拓にも取り組みます。

## 電位制御マルチプローブと顕微分光による微小領域化学反応オペランド可視化技術の開発

永村 直佳

物質・材料研究機構 マテリアル基礎研究センター 主任研究員  
物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点 主任研究員



革新的な化学反応をデバイス実装する際、界面や欠陥で局所的に起こる反応が特性の鍵を握ります。本研究では、元素選択的な情報が非破壊で得られる顕微分光に、電子・イオンを注入できるマルチプローブを組み合わせて能動的な反応制御を行う、新たなオペランド計測の要素技術開発を行います。これを活用し、電池や触媒のデバイス構造内の微小領域で局所的に起こる化学反応の機構や空間不均一性の要因の系統的評価を目指します。

## 固体表面イオン配列の能動的制御を利用した高選択的触媒化学反応の開発

細見 拓郎

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
九州大学 先端物質化学研究所 特任助教



本研究では、単一の結晶面が露出した金属酸化物ナノワイヤが、有機分子鎖中の僅かな官能基位置の違いを識別して特定の分子のみを選択的に脱換させることを見出したことに着想の端を得て、結晶面上における分子選択性の起源を明らかにします。さらに、固体表面上のイオンの配列・距離の能動的制御によって反応性・選択性を自在に制御する手法を開発することで、高耐久性と高選択性とを両立した新しい触媒系を創出します。

## 異方歪みの能動的制御による二酸化炭素の高効率・高選択変換

轟 直人

東北大学 大学院環境科学研究所 准教授  
同上



本研究では、触媒結晶格子中に加わる異方歪みを能動的に制御し、電気化学的二酸化炭素還元反応を高効率かつ高選択化する手法を開発します。具体的には、触媒層に異方歪みを印加し制御するためのデバイスを作製し、異方歪みを印加した状態で触媒の特性と構造を評価できるその場測定システムを開発します。新規開発するデバイスと測定手法を駆使し、従来理論に束縛されない新たな反応系を実現します。

## 原子層ホットエレクトロントランジスタによる低温高効率反応誘起

野内 亮

大阪公立大学 大学院工学研究所 准教授  
大阪府立大学 大学院工学研究所 准教授



窒素固定化といった元来高温を必要とする反応に対しては、高エネルギー電子を用いる低温化が有効です。そういった電子はトンネル接合への電圧印加で形成できることが古くから知られていますが、電極近傍の局所的な反応誘起にとどまっていた。本研究では、原子層ホットエレクトロントランジスタ構造を用いることで、有効面積最大化やエネルギー減衰最小化による高効率化を図り、低温化と高効率化を両立する反応系を実現します。

## 振動エネルギーで駆動する新しい触媒反応系の開拓

山添 誠司

東京都立大学 大学院理学研究科 教授  
百穂大学東京 大学院理学研究科 教授



本研究では低周波の振動をエネルギー源とした振動触媒反応システムを開発するため、振動エネルギーで分子活性化を可能にする振動触媒および振動触媒反応装置の設計・開発を行う。触媒の構造因子が触媒作用に及ぼす効果や放射光を用いたオペランド分光による振動触媒反応機構を解明し、振動触媒反応系の基盤技術の構築と高活性な振動触媒の開発を行う。

## 担体の電子状態制御による金属ナノ粒子触媒活性化の機構解明と設計

中田 彩子

物質・材料研究機構 ナノ・キエックコア技術開発センター 主任研究員  
物質・材料研究機構 開拓ナノ・キエックコア研究拠点 主任研究員



大規模第一原理計算により、担体の電子状態の制御による触媒活性のコントロールに関する指針を得ることを目指します。数 nm サイズの金属ナノ粒子を様々な担体上に担持させ、その構造や電子状態のサイト依存性や反応性を計算することで、実在系で担体が金属ナノ粒子触媒に与える影響を詳細に解析します。また、原子や欠陥の導入により担体の電子状態を変化させた場合に、金属ナノ粒子の性質・反応性に与える影響を解析します。

## 電荷移動が制御された高効率可視光応答型光触媒の開発

久富 隆史

信州大学 先端領域融合研究群 教授  
九州大学 先端領域融合研究群 准教授(特定雇用)



フラックス中での粒子形成、構造や組成を考慮した前駆体酸化物の利用、低価数金属カチオン-ピング等の手法により、サイト選択的助触媒共担持の検討に適する結晶面の発達した高結晶性の酸化物光触媒微粒子を調製します。調製した光触媒を用いて、水素生成助触媒と酸素生成助触媒をサイト選択的に共担持する技術を開発し、電荷の輸送特性や反応性への効果をモデル反応の解析により評価します。

## 2層の反応溶液と分子の自発的な動きを利用した高耐久な光触媒反応

山崎 康臣

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
成蹊大学 理工学部 助教

本研究では、混和しない2層の溶液を用いて、光触媒反応の反応場を、光化学的に光増感錯体が電子を獲得する「明反応場」と獲得した電子を用いて触媒がCO<sub>2</sub>還元反応を行う「暗反応場」の2つに分離することを目指します。光増感錯体が光還元された際に明反応場から暗反応場へと自発的に移動する光増感サイクルを構築し、光増感錯体及び触媒の還元種が照射光によって分解されない、高い耐久性を有する光触媒系を構築します。



# 細胞操作

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-6.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-6.html)

戦略目標

革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明



研究総括  
宮脇 敦史

理化学研究所 脳神経科学研究センター/量子工学研究センター チームリーダー



副研究総括  
山本 卓

広島大学 大学院統合生命科学研究所 教授/ゲノム編集イノベーションセンター センター長

## 領域アドバイザー

- |        |  |
|--------|--|
| 岡田 眞里子 | 大阪大学 蛋白質研究所 教授                             |
| 川原 知洋  | ソニーグループ(株) リサーチプラットフォーム<br>先端研究部 シニアリサーチャー |
| 神取 秀樹  | 名古屋工業大学<br>オプトバイオテクノロジー研究センター<br>特別教授      |
| 出口 茂   | 海洋研究開発機構 海洋機能利用部門<br>センター長                 |
| 淵木 理   | 東京大学 大学院理学系研究科 教授                          |
| 野崎 智義  | 東京大学 大学院医学系研究科 教授                          |
| 浜地 格   | 京都大学 大学院工学研究科 教授                           |
| 山田 泰広  | 東京大学 大学院医学系研究科 教授                          |

## 研究領域概要

本研究領域は、細胞制御の機構に関する操作と理解をインタラクティブに進めることにより、ライフサイエンスの幅広い分野にインパクトをもたらす技術革新の創出を目指します。

ここでは「細胞制御」における細胞を、個体や組織を構成する要素、または各種オルガネラから構成される集合システムと捉えます。10の6乗個以上の細胞をすり潰して生化学実験に供するような従来の解析手法に対して、近年のシングルセルオミクス解析およびバイオイメージング技術による時空間解析は、細胞個々のパーソナリティやインテグリティを尊重しながら、細胞制御機構に関するより詳細かつ多面的なデータをもたらしてくれています。こうしたデータ量の爆発的増大と歩調を合わせたかのように人工知能の基盤技術が広く伝播し、データ分析の高速化が実現しています。

ただしデータの量が増えても細胞制御機構の理解が深まるとは限りません。複雑なシステムを支配する因果関係を暴くには、ある特定の要素の働きを操作してシステム全体あるいは他の要素の振る舞いを調べることが有効です。そこで本研究領域は、技術開発の側に立って、細胞制御機構の操作(以降、細胞操作と略称)に焦点を合わせる方針をとります。解析に伴って必然的に起こる対象への操作を定量的に扱う必要を認識しつつ、対象を自在に操作する技術の開発を鋭意進めます。既存の技術に潜むノビシロを粘り強く追及することは大切であり、現在の細胞操作の中心的要素技術、たとえば、ゲノム編集や光・化学遺伝学を、最先端技術を駆使して改善すれば、精度向上や多様化の点で相応の進歩が達成されるでしょう。細胞操作を支援するハードウェアやソフトウェアも併せて開発する必要があるでしょう。異分野技術とのクロスオーバーを網羅的に行うことで飛躍的進歩を起こす試みも大切です。一方で、全く新しい細胞操作のための要素技術をゼロから創り上げ、細胞制御機構の新局面を開拓する試みが必要です。

細胞は驚嘆すべき謎をたくさんはらんでいます。細胞は、科学の常識で凝り固まった研究者を避けて、無邪気に接する研究者に心を許してその制御機構を開示してくれるのでしょうか。細胞操作とは「細胞を遊ぶ」ことであると捉えていきます。参画研究者が失敗を恐れず細胞を遊びめぐる環境を創りたいと思います。細胞遊びを巡って生まれる操作と理解のスパイラルが、領域の外とも相互作用しながら正に成長し、どこかでたとえ小さくても新しい渦を創ることを望みます。想定外の展開を積極的に取り込み、採択された各研究チームが設定目標を大胆に見直しながら研究を進めることで、領域自身もしなやかな成長を図ります。

## マウス脳深部を遊ぶ

井上 智好

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
 広島大学 大学院総合生命科学研究科 日本学術会議特別研究員 PD



生命機能の多くは、生体深部の細胞や分子の時間パターンの組み合わせで生じると考えられています。しかし、既存技術では深部細胞機能の計測とシングルセル解像度の光操作による検証は困難です。本研究では計測・操作技術を駆使して *in vivo* シングルセル解像度光干渉ファイバースコープジェネティクス技術を開発し、脳深部の海馬の時系列データを再構成することで時間情報コーディングの概念を検証します。

## 代謝の操作:ヒト初期胚に学ぶ代謝スイッチの探索

入江 奈緒子

(公財) 美中研 バイオイメージングセンター 室長  
 同上



ヒト妊娠成立の要である着床時、初期胚の代謝システムは酸化的リン酸化から解糖系にダイナミックに切り替わります。本研究は、ヒト多能性幹細胞による着床期胚発生培養モデルを用い、酸化的リン酸化・解糖系の代謝スイッチと代謝物変動の分子制御機構を解析します。この知見を応用し、汎用性の高い代謝変動評価系及び操作法を開発し、着床時ヒト胚発生における代謝変化の役割の解明とその技術応用を目指します。

## 空間交差型エピゲノムによる超微細な転写操作

大石 裕晃

九州大学 生体防衛医学研究所 助教  
 同上



遺伝子発現量の調節は、転写因子の転写制御領域への結合に加えて、DNAメチル化、ヒストン修飾、高次ゲノム構造などのエピゲノム要素が複雑に関与しています。エピゲノム要素の組み合わせは膨大な数に及びます。これらの組み合わせを効率的に解析するため、蛍光イメージングを用いた空間オミクス技術と独自の生細胞解析技術を融合させます。この基盤技術をもとに新規の空間交差型エピゲノムによる転写操作法の開発を目指します。

## 表皮細胞による動物性繊維をもちいたハウスの構築

小沼 健

鹿児島大学 大学院理工学研究所 准教授  
 同上



オタマボヤは、ハウスというセルロースを含む袋に棲んでいます。ハウスは海水中の餌を濾過する流路やフィルターをもつ複雑構造です。オタマボヤは、折り畳んだ状態のハウスを分泌して体にまとっており、これを膨らませるとハウスが完成します。このハウスの作り方から、細胞上でセルロース（繊維）をもちいて形を設計する工程を解明し、「細胞による編み物」「動物性繊維による立体構築」という新しい細胞機能の解明に挑みます。

## アプレッソリアを遊ぶ:生物界屈指の膨圧・接着力制御

熊倉 直祐

理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員  
 同上



炭疽菌やイネいもち病菌は、アプレッソリアという感染の専門細胞が発生する生物界屈指の膨圧を利用し、植物の硬い細胞表面に穴を穿つことで感染を成立させます。この強力な貫穿孔は、膨圧と接着力という二つの物理的な力から成り立ちます。本研究では、私独自のゲノム編集技術およびアプレッソリア解析技術を用いて、膨圧・接着力発生分子メカニズムを解明し、さらにその知見を基に膨圧・接着力の制御技術を確立します。

## 音波で実現する革新的な細胞操作への挑戦

糸田 昌宏

京都大学 大学院生命科学研究所 助教  
 同上



音波が細胞にどのような作用をもたらすのかは、未だ十分に体系立って追究されていない、生命科学の未踏領域です。本研究では、独自に組み立てた細胞音響装置を用いて、様々な音波が細胞にもたらす作用を明らかにするとともに、細胞が異なる音波パターンを「聞き分ける」メカニズムを追及します。また、音波を刺激源とした遺伝子操作や細胞分化操作を達成して、新たな発想の細胞操作技術の開発に挑戦します。

## Opto-GPCRome の創成

小島 慧一

岡山大学 学術研究院医歯薬学域 講師  
 同上



G タンパク質共役型受容体 (GPCR) は、細胞外からのシグナルを細胞内へと伝達する働きを持ち、広範な生理機能や疾患に関与することが知られています。本研究では、多岐に渡る GPCR シグナルを光で緻密に制御できるプラットフォームを構築し利用することで、GPCR シグナルと生理機能との因果関係を解明する学術分野・Opto-GPCRome を創成することを旨とします。

## 失われたタンパク質機能を復活・拡張する細胞制御技術の開発

小杉 貴洋

自然科学研究機構 分子科学研究所 助教  
 同上



タンパク質は長い年月をかけて進化した結果、多様な機能を獲得し複雑な生命システムを制御できるようになりました。その進化の間には、一度獲得した酵素機能を失ったタンパク質も多数存在し、それらは「偽酵素」あるいは「擬似酵素」と呼ばれ、未だ謎に包まれています。本研究では、タンパク質構造予測および設計技術を用いて、未知の擬似酵素を探索し改造することにより、細胞を自在に操る新規手法の開発を行います。

## OMEGA 随伴システムの解析とツール開発

齋藤 諒

理化学研究所 細胞研究本部 理研 ECL 研究チームリーダー  
 Broad Institute (70-F 階) Feng Zhang Lab 上級科学者



CRISPR-Cas9・Cas12 の祖先または親戚である OMEGA システムはトランスポゾンに隷属する RNA 誘導性 DNA 切断酵素です。ある種の OMEGA 遺伝子はその隷属から逃れたことで、皮肉にも活性を失い、生物プロセスに RNA 誘導性を付与する形で宿主微生物に再び従属することになりました。こうした OMEGA 随伴システムを系統的に同定し、その機能を明らかにすることで、生物学ツールへの応用を目指します。

## 水分子の可視化がもたらす細胞操作:細胞内の水を操る

白神 慧一郎

京都大学 大学院農学研究所 助教  
 同上



水は細胞重量の大半を占めるにもかかわらず、その生命科学的な実態は謎に包まれています。本研究では、水分子の「状態」を可視化できる顕微鏡を開発することで、水分子が関わる細胞制御機構を明らかにすることを目指します。またそれと同時に、水分子の状態を動的に操作する技術を探求することで、細胞内水分子の状態制御に基づく革新的な細胞操作を実現するための可能性も追求します。

## 生体膜融合の操作によって新機能を創発するデザイナー細胞の開発

曾宮 正晴

大阪大学 産業科学研究所 准教授  
 大阪大学 産業科学研究所 助教



細胞は脂質二重膜によって細胞内の区画化を行っています。これまでの研究で、細胞膜同士を融合させる人工タンパク質の作成に成功しました。この人工タンパク質を利用して、細胞膜を制御し、外的刺激に応じてユニークな機能を創発するデザイナー細胞の開発を目指します。細胞膜はあらゆる生物に共通する構造であるため、本研究によって動物・植物・微生物などのデザイナー細胞を作成する共通基盤技術が完成することが期待されます。

## 非DNA 型遺伝情報を自在制御する技術の開発

茶谷 悠平

岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域 准教授  
 同上



DNA ではなくタンパク質のアミノ酸配列の中にコードされた質の、新たな遺伝情報の自在制御を実現させる、独自の遺伝子操作技術を開発します。タンパク質合成装置リボソームの異常を引き起こす様々な「難翻訳配列」について、特異的に作用する新規の翻訳促進因子を人工進化実験から創出します。本技術から、既存技術では達成できない遺伝子機能制御、タンパク質生産効率向上などを実現し、社会問題の解決に貢献します。

## 細胞の「動き」を遊ぶ「人工」細胞骨格の創成

中村 秀樹

京都大学 白鷺センター 特定准教授  
 同上



本研究では、生きた細胞内で動作し、重合・脱重合を自在に操作できる「人工」細胞骨格を開発します。細胞内で「人工」分子モーターと協働して長距離輸送を可能にする「人工」微小管と、細胞内の局所で重合・脱重合を時空間的に操作可能で、重合により物理的力を発生する「人工」アクチンの開発を目指します。それぞれの機能が適合する候補タンパク質をエンジニアリングし、生きた生物個体内で細胞の「動き」の操作を実現します。

## オルガネラ及び膜タンパク質局在光操作技術の開発

比嘉 毅

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
 同上



光合成の場として知られ、植物特異的オルガネラである葉緑体が、光に応じて運動する「葉緑体光定位運動」に着目した研究を行ないます。主要制御因子であるフォトロボリンや CHUP1 自身の光による細胞内局在変化の重要性が指摘されており、その制御機構の解明を目指します。同時に、得られた知見を応用し、葉緑体以外の任意のオルガネラ局在を光で操作する技術や、任意の膜タンパク質局在を光で操作する技術の開発を目指します。

## 『光膜輸送学』- 光による膜輸送の自在制御への挑戦

福田 昌弘

東京大学 先端科学技術研究センター 助教  
 同上



光遺伝学は、光で特定の細胞の機能を操作する技術であり、約 20 年前の光駆動型イオンチャネルの発見に端を発します。近年では神経科学などの基礎生物学分野のみならずヒトの疾患治療にも応用されるなど、光遺伝学は現代の生物学を支える基盤技術のひとつである一方で、その適用範囲はいまだ限定的です。本研究では、新規に発見した光受容体タンパク質を出発点に独自ツールを開発することで、新しい光遺伝学分野を開拓します。

## 細胞の代謝を操作するMETA body 制御ツールの開発

三浦 夏子

大阪公立大学 大学院農学研究科 准教授  
同上

解糖系酵素群が低酸素条件下で細胞質に形成するタンパク質集合体は、出芽酵母で研究が進んでおり、様々な疾患との関連も指摘されています。一方で、代謝酵素集合体の形成・離散を直接的に制御する手法が存在しないため、酵素集合体の生物学的な意味はほとんど未解明です。本研究では解糖系酵素の集合体を精密かつ自在に制御できるツールを複数の生物種について構築することで、細胞・組織・個体における機能の解明を目指します。



# 時空間マルチスケール計測に基づく生物の復元あるいは多様化を実現する機構の解明

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-5.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-5.html)

戦略目標

「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～



研究総括

上村 匡

京都大学 大学院生命科学研究所 教授

## 領域アドバイザー

稲田 利文	東京大学 医科学研究所 教授
河崎 洋志	金沢大学 医学系 教授
塩尻 かおり	龍谷大学 農学部 教授
清水 健太郎	チューリッヒ大学 進化生物学環境学研究所 所長 / 横浜市立大学 木原生物学研究所 客員教授
眞貝 洋一	理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員
中村 保一	国立遺伝学研究所 情報研究系 教授
野村 暢彦	筑波大学 生命環境系 教授 / 微生物サステナビリティ研究センター センター長
林 悠	東京大学 大学院理学系研究科 教授
松田 史生	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
森下 喜弘	理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー

## 研究領域概要

本研究領域では、幅広い時空間スケールの中で生物が示す応答の二面性に注目し、分野横断的な計測・解析技術の最適化や開発を通して、この応答を実現する機構を解明し、さらに制御することを目指します。

生物界で見られる事象は、空間的には分子レベルから組織、個体、集団レベルまで、時間的には瞬時に起こる化学反応から個体の成長や世代を越えた形質の発現まで、広範なスケールにわたります。この中で、外界からの刺激や時の移ろいの中で変化した生物は、元の状態に戻ろうとする（復元）一方で、さらに変化を推し進めて、元とは異なる状態で安定する（多様化）こともあります。生物が示すこれらの応答を、本研究領域では「生命力」として扱います。

生物の復元や多様化の機構を解明するには、広大な時空間スケールにまたがる事象間の因果関係を明らかにしなければなりません。そのため、生命力の解明に当たっては、取得すべき情報のモダリティやデータ量に応じて既存の技術を組み合わせる、あるいは新技術を開発することにより、目的に適した計測手法を構築する必要があります。さらに、近年はオミクス技術などの発展により、時空間スケール内の各座標について、膨大かつ複雑なデータの取得が可能になっているため、個々のデータあるいは複数のデータの中から生物学的意味を抽出・理解し活用できる情報科学的手法を導入することも重要です。

計測、データ解析、仮説の立案と検証からなるサイクルを回して、様々な文脈において生命力を実現する機構を明らかにすることで、基礎生命科学における未解決の問題が解かれるのみならず、さらに未知の生命力の発見につながることを期待されます。

## 農業活動が駆動する雑草の高速進化メカニズムの解明

岩上 哲史

東京農工大学 大学院農学研究院 准教授  
同上



雑草は農耕地において人間による排除の対象となってきましたが、雑草は遺伝的に変化することで様々な排除圧に適応してきました。本研究では、雑草における典型的な農耕地適応現象である除草剤抵抗性の進化機構の解明を目指します。また並行的な進化の背景にあるゲノム特性を解析することで、急速な進化を可能にする「進化的転用」機構を明らかにします。これにより、除草剤抵抗性雑草の防除と進化抑制技術の確立を目指します。

## 慢性疾患における細胞間相互作用カテゴリー・多様化経路マップの作成

大瀧 夏子

千葉大学 大学院医学研究院 特任助教  
同上



慢性疾患は、健常状態で安定している細胞に、細胞間相互作用などの外力が非連続的に積み重なって進む、疾患安定状態への多様化と捉えられます。しかし、個々の細胞間相互作用の情報を大量に取得するのに適した実験・解析手法がないため、多様化過程を理解することは困難でした。そこで本研究では、網羅的な1細胞間相互作用データを取得する技術基盤を開発し、世界初の細胞間相互作用カテゴリー・多様化経路マップ作成を目指します。

## 代謝レジリエンスと破綻から識る生命力

樫尾 宗志朗

東京大学 大学院薬学系研究所 助教  
同上



オミクス解析は生命科学に大きな進展をもたらした一方、見かけ上変化の無い要素が見落とされる傾向にあります。栄養欠乏や産生阻害においても安定して保たれる重要な代謝経路として、S-アデノシルメチオニン(SAM)代謝を見出しました。本研究では、SAM代謝の時空間的制御を包括的に解析し、細胞内の局所から個体全体に至るまで生命現象を横断的に探求することで、変化に隠れた生命力の解明を目指します。

## 微生物本来の生命力を可視化する

加藤 遼

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教  
徳島大学 ポストLEDフォトリソ研究所 特任助教



生物が本来示すはずの代謝の多様性を可視化するには、代謝物及び代謝を支える細胞内の酵素や核酸などの分子を破壊せずに、時空間的マルチスケールに観察することが必要です。本研究では、微生物内の分子を限りなく損なわずに複数の代謝物を可視化する超解像赤外分光イメージング法を確立します。油脂酵母の生命力解明を1例とし、従来の代謝物計測では得ることができなかった微生物本来の生命力の知見獲得を目指します。

## 履歴探索ゲノミクスによる脳の復元力の解明

北沢 太郎

オーストラリア DANDRITE 北沢 EMBL グループリーダー  
同上



本プロジェクトでは生命力を脳のストレスからの復元力として捉えます。ストレス応答に関する研究は数多く行われてきましたが、個体間・細胞間の応答の多様性もたらす分子レベルの因果要因を長期的な時間スケールの中で解析することは困難でした。本プロジェクトでは1細胞履歴探索ゲノミクスを樹立することでこの問題を克服し、脳のストレスからの復元をもたらす要因を分子・細胞・個体・集団レベルの解析で明らかにします。

## 花寿命をめぐる花粉とめしべの敵対的な相互作用とその進化

京極 大助

兵庫県立人と自然の博物館 遺伝・環境マネジメント研究部 研究員  
同上



進化生態学の理論予測にもとづき「花粉は花を枯死させる性質を進化させ、めしべはこれに抵抗する性質を進化させる」という仮説を多角的なアプローチで検証します。主にシロイヌナズナを用いて、花粉とめしべの性質を決定している遺伝子を特定します。また、近縁種間での遺伝子の系統進化パターン等を明らかにします。これらにより、ミクロスケールからマクロスケールを統合しつつ、花粉とめしべの「生命力」を明らかにします。

## 温度変動を起点とした季節性花成応答の復元と多様化の分子基盤

久保田 茜

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教  
同上



本研究では植物が発揮する生命力である開花制御の仕組みに迫ります。植物が温度変動に対して季節情報を「復元」する一方で、日々の温度の移り変りに対して開花応答を「多様化」させる仕組みに着目することで、植物の温度応答の二面性を支える分子基盤を明らかにします。また温度応答を操作することで、環境変動に強い農作物の創出の知的基盤の提供を目指します。

## 酵母のフェロモン認識の二面性と環境適応メカニズムの解明

清家 泰介

大阪大学 大学院情報科学研究科 助教  
同上



本研究は、分裂酵母のフェロモン認識機構における「厳密さ」と「柔軟さ」の二面性を理解し、環境適応のメカニズムを解明することを目指します。具体的には、フェロモンとその受容体の認識特異性の変化が生殖隔離や種分化にどのように寄与するかを、時空間スケールで詳細に計測し解析します。また自然界から実際に単離した野生酵母株の調査と組み合わせることで、酵母の生命力を把握し、自然界での進化の理解を深めます。

## 時空間プロテオーム技術開発で解明する生命力強化の分子メカニズム

高野 哲也

九州大学 高等研究院 独立准教授  
同上



恐怖記憶は、一見不快な体験でありながら、将来の危険を回避するための生存本能を強化する重要な役割を果たします。しかし、過剰な恐怖記憶はうつ病や不安障害、心的外傷後ストレス障害(PTSD)などの精神疾患の原因となり、現代社会でも深刻な問題です。本研究では、時空間プロテオーム技術を用いて、脳の生命維持に関わる機能変化を制御する分子メカニズムを網羅的に解明し、新しい治療アプローチの開発を目指します。

## 暑熱から生命を守る柔軟かつ強靱な最上位体温調節中枢

高橋 徹

筑波大学 医学医療系 助教  
同上



日本を含む「暑い」環境に生息する生物は「暑熱応答」なる生命力を宿します。恒温動物である哺乳類には高体温症・熱中症のリスクが常に伴うため、この力は特に不可欠です。本研究では、体温調節中枢である視索前野 POA を軸に時空間スケールの大きい研究を展開します。生体内/外の温度情報の統合、暑熱レベルに適した柔軟な応答、暑熱順化を実現する神経機構の解明に挑み、暑熱から生命を守る「しなやかな力」の真髄に迫ります。

## ライブセルオミクスを用いた受精卵に潜む個性の診断と操作

鳥井 孝太郎

理化学研究所 環境資源科学センター 特別研究員  
同上



本研究は遺伝にも環境にもよらずに生物を自発的に個性化させる生命力を明らかにします。生体オミクス法は個体内の細胞を破壊せずにオミクスデータを取得可能にする手法です。この手法を用いて同一個体における発生過程の起源的個性と孵化後の行動個性を記録し、両個性データ間の一貫性を探索することで個性の起源である発現変動遺伝子を特定します。加えて、特定した遺伝子の mRNA 注入による個性の出生前操作にも挑戦します。

## 「不都合な配列」解析で切り拓く翻訳制御と生命力の理解

藤原 圭吾

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
機構・システム研究機構 国立遺伝学研究所 特任助教



翻訳の一時停止は時に細胞毒性を引き起こします。一方で、翻訳を一時停止するアミノ酸配列が様々な生理機能に利用されていることがわかりつつあります。本研究では大規模ゲノム情報の生物情報学的解析と実験的検証により、「避けられている」アミノ酸配列パターンをむしろ有効活用する生命システムを発見し、翻訳制御と生理的役割、進化的背景について理解することを目指します。

## 集団適応力を支える多様性出現の神経基盤解明

牧野 浩史

慶應義塾大学 医学部・医学研究科 教授  
慶應義塾大学 医学部・医学研究科 特別招聘准教授



本研究では、神経細胞から個体、集団といった多層的なレベルで実現される多様化のプロセスを、脳と AI の分野を横断した研究によって理解することを目指します。異なる報酬環境で訓練されたマウスや AI エージェントがどのような個性を獲得し、集団における競争社会でどのようにふるまうのか、その神経基盤を検証します。本研究により、今後、多様な個体で構成される集団が持つ「生命力」の本質に迫ることができると期待されます。

## 細胞内破壊が創出する個体機能:その分子基盤、制御、進化

森下 英晃

九州大学 大学院医学研究院 教授  
同上



生体内のいくつかの組織では、オルガネラ等の細胞内成分を大規模に「壊す」(本研究では「細胞内破壊現象」と呼ぶ)ことで、新たな個体機能を創出しています。ところが、その分子基盤はほとんど不明です。本研究では、ゼブラフィッシュやヒトプライマリー細胞3次元培養系等を用いた独自の高精度時空間解析手法を確立することで、細胞内破壊現象の責任因子を同定し、その分子機能、個体機能、進化を解明します。

# 海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2023-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2023-2.html)

戦略目標

海洋と CO<sub>2</sub> の関係性解明と機能利用



研究総括  
神田 穰太  
新潟大学 大学院教育支援機構 特任教授



## 海洋バイオスフィア BLUE BIOSPHERE

### 領域アドバイザー

安部 大介	(株)ウェザーニューズ サービス統括主責任者 常務執行役員
石坂 丞二	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 特任教授
小川 浩史	東京大学 大気海洋研究所 教授
小笠 恒夫	水産研究・教育機構 水産資源研究所 主幹研究員
河宮 未知生	海洋研究開発機構 地球環境部門環境変動 予測研究センター センター長
北澤 大輔	東京大学 生産技術研究所 教授
杉崎 宏哉	水産研究・教育機構 研究戦略部 参与
鈴村 昌弘	(株)AIST Solution コーディネーター事業本部 チーフ/コーディネーター
西岡 純	北海道大学 低温科学研究所 教授
野尻 幸宏	国立環境研究所 客員研究員
濱崎 恒二	東京大学 大気海洋研究所 教授
原田 尚美	東京大学 大気海洋研究所 教授
脇田 和美	東海大学 海洋学部 教授

### 研究領域概要

本研究領域では、海洋と気候のシステムの変貌と相互作用を正しく理解するとともに、海洋における二酸化炭素吸収等の人為的制御技術の研究・開発を進めて、持続可能な温暖化抑制への貢献を目指します。

海洋はその広大な面積をもって大気と接しており、熱および二酸化炭素をはじめとする物質の交換が存在するため、地球表層の気候システムを構成する極めて重要な要素です。特に、生物活動によって駆動される海洋の炭素循環システムは、海洋内部に二酸化炭素・有機物を隔離することで、地球の温度上昇を抑制する効果をもつことが知られています。しかし、近年、この海洋環境（「海洋バイオスフィア」）において、地球温暖化による海洋の物理構造変化と二酸化炭素溶解による海水酸性化が進行し、極端な気象現象の頻発化や海面上昇、成層強化による貧酸素化や表層への栄養塩供給制限など様々な変化がもたらされていることが明らかとなってきました。この海洋の変化がグローバルレベルの気候にどのような影響を与えるのか、海洋と気候のシステムの変貌と相互作用を正しく理解する必要があります。

以上を踏まえ、本研究領域では、海洋と気候の相互作用の解明に関連する研究に加え、炭素循環などの人為的制御による温暖化対策の可能性を評価・開発する研究を進めます。ローカルからグローバルまでの多様な空間スケールと地質学的な過去から未来までの多様な時間スケールにおいて、環境学、気象学、海洋物理学、分析化学、生態学、生命科学だけでなく、データ科学、人工知能、情報通信、材料・デバイス工学における様々な先端技術を用いて、観測、理論解析、数値計算、室内実験、船上実験など様々な研究アプローチにより、炭素をはじめとする物質循環の理解とその制御を目指す技術開発に貢献します。また、戦略目標の達成に向けた成果を最大化するため、CREST「海洋と CO<sub>2</sub> の関係性解明から拓く海のポテンシャル」との連携を最大限に活用して進めていきます。

## 海洋酸性化がもたらすケイ素循環の破綻への対策

池田 文

広島大学 大学院総合生命科学研究科 准教授  
同上



大気中二酸化炭素の増加に伴う海洋酸性化によって、海洋中のケイ素循環のバランスが崩れ、炭素循環にも影響を及ぼす可能性が指摘されています。また、従来考えられていたよりも多くの微生物がケイ素循環に関与していることが示唆されています。本研究では、海洋酸性化がケイ素と炭素の循環に及ぼす影響の把握に向けて、海洋中のケイ素循環を再評価するとともに、微生物の力を利用して健全なケイ素循環を維持する技術を開発します。

## 南大洋太平洋側における深層水の炭素貯留量変動史：氷期炭素レザバーの実態解明

岩崎 晋弥

北海道大学 大学院地球環境科学研究院 助教  
同上



本研究は海洋による炭素貯留の自然プロセスを理解するため、氷期の炭素貯留庫として有力な南大洋太平洋側において、最終間氷期以降の深層水炭酸イオン濃度変動を定量的に復元することにより炭素貯留量変動を見積もります。その際、自身が開発した新しい復元手法により高い時空間分解能のデータ取得を実現することで、大気二酸化炭素濃度が低下した際に南大洋太平洋側の深層水に貯留された炭素量と貯留プロセスを明らかにします。

## 溶存圏の遺伝情報が拓く新規プランクトン動態解析

遠藤 寿

京都大学 化学研究所 准教授  
同上



海洋における物質循環の主役は植物プランクトンをはじめとした微視的な生物です。海洋生態系の将来像を把握する上で、10万種以上ともいわれる真核微生物の環境応答を理解することが不可欠です。本研究は、海水溶存圏の非生物態 RNA の網羅的・定量的分析を用いて全プランクトン種の増殖・死滅を同時に計測する環境影響評価手法を確立し、気候変動下における海洋生態系の応答解明を目指します。

## 千年を超える過渡的な海洋炭素循環の変化の理解

小林 英貴

福山大学 学術研究部理学系 特命助教  
同上



海洋炭素循環モデルを用いた過去から将来にわたる統合的な数値実験を行い、大陸風化と海水準変動、海底堆積過程に焦点を当て、千年規模の時間スケールにおける海洋の炭素貯留の変化メカニズムを定量的に議論します。

## ビタミンB12 から探る海洋一次生産制御機構

近藤 能子

長崎大学 大学院総合生命科学研究科 准教授  
長崎大学 大学院水産・環境科学総合研究科 准教授



本研究では、環境の異なる沿岸域・外洋域双方におけるビタミンB12の動態解析と、船上培養実験による現場植物プランクトン群集のビタミンB12制限の実態についての検証を行います。動態解析や培養実験では、ビタミンB12に加え、鉄など微量元素や植物プランクトン・バクテリア群集組成についても調べます。ビタミンB12の海洋物質循環における役割を評価し、海洋環境と気候の相互作用についての理解の深化に繋がります。

## 化石分析から探る地球温暖化に対するイワシ類生態の応答

坂本 達也

京都大学 白眉センター 特任助教  
東京大学 大気海洋研究所 海洋科学特定共同研究者



海洋生態系の基盤であるイワシ類の生態は、地球温暖化によってどう変化するのでしょうか。本研究では、最近年に発見された神奈川県（古東京湾）の陸上地層から産出する魚類耳石・二枚貝・有孔虫等の化石標本について、高度安定同位体分析等の複合解析を行います。こうして当時のイワシ類の成長・回遊履歴等と海洋環境条件を復元し、現代との違いを理解することで、温暖化がイワシ類の分布や個体数に与える影響を解明します。

## 気候変動影響評価に資する光合成活性の高時空間観測システムの構築

高尾 信太郎

国立環境研究所 地球システム領域 主任研究者  
同上



近年頻発する海洋熱波を始めとする極端海洋現象による低次生態系や大気-海洋間二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)交換量への影響が危惧されています。本研究では、極端海洋現象-CO<sub>2</sub>濃度-植物プランクトンの生理状態(光合成活性)の相互作用の解明と海洋炭素循環への影響を評価するための高時空間観測システムを構築し、北太平洋におけるCO<sub>2</sub>濃度と光合成活性の季節変動を同時に把握できる世界初のデータセットを創出します。

## 多元素分析に基づく海洋における微量金属循環の定量化

高野 祥太郎

京都大学 化学研究所 准教授  
同上



海水中の微量金属は、植物プランクトンにとって必須栄養素もしくは毒物であるため、海洋の微量金属と炭素の循環は密接に関係しています。本研究では、大気エアロゾル、植物プランクトン、海水、海中粒子、堆積物に含まれる微量金属の濃度と同位体分析によって海洋における溶存態および粒子態微量金属の供給-輸送-除去プロセスの定量的な理解を目指します。

## 細菌から紐解くマングロープの炭素貯留能

長谷川 万純

海洋研究開発機構 最先端研究開発部門 ポストドクトラル研究者  
海洋研究開発機構 最先端研究開発部門 JPS5 外米研究者



マングロープ林は、ブルーカーボン生態系の一つであり、その高い炭素貯留能から注目されている二酸化炭素吸収源です。本研究では、有機物の分解者である微生物のうち細菌に焦点を当て、マングロープ生態系中どのような細菌が存在し、どのような生命活動を行うことで、高い炭素貯留能を支えているのかを明らかにします。本成果により、環境変動がマングロープ生態系に与える影響の評価と将来予測への貢献を目指します。

## シングルセル解析を用いた海洋の生物生産性の再評価

増田 貴子

水産研究・教育機構 水産資源研究所 主任研究者  
同上



安定同位体をプランクトン群集に取り込ませて有機物中の<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>Cを二次イオン質量分析装置(NanoSIMS)で観察して植物プランクトンによるCN取り込み活性を細胞毎に可視化、定量し、得られた結果をFRRF、安定同位体取り込み実験で得られたバルクの結果と比較します。ピコプランクトンを対象に有機態の<sup>13</sup>N利用を可視化します。上記の結果をモデルに適用して東北沖海域の一次生産を推定します。

## ヘム鉄：人為起源鉄を追跡する次世代方法論

伊左治 雄太

海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 副主任研究者  
同上



人間活動により排出される人為起源鉄は、海洋一次生産を支える重要な鉄の供給源です。本研究では、一次生産を支える鉄の供給源を解析する新たな手法として、含鉄生体分子ヘムBの鉄安定同位体比分析法を開発します。この手法を海水や海底堆積物に適用し、現在および過去の一次生産者による人為起源鉄の利用を可視化することで、人為起源鉄が炭素循環に与える影響を明らかにします。

## サンゴ骨格の結晶成長界面における観察手法の高度化

大野 良和

科学技術振興機構 さきざき研究者  
北里大学 海洋生命科学部 特任助教



造礁サンゴは長い年月をかけて地形を形成し、サンゴ礁域の豊かな生物多様性を支えています。しかしながら、サンゴを含む海洋生物の骨格形成過程や、その生育阻害との関係については、細胞生理学的な研究が進んでおらず、不明な点が多く残されています。本研究では、非破壊的な生体イメージング技術を応用し、サンゴ骨格表面の固相-液相界面の可視化技術の構築を目指します。

## 海洋未培養ウイルスのサルベージとそのライブラリ化

高橋 迪子

高知大学 医学部 特任助教  
同上



大規模ゲノム解析技術により海洋炭素循環システムにおけるウイルスの役割が解き明かされてきましたが、それらの多くは未培養であるため生物学的性状を正確に評価できていません。本研究では海洋の未培養ウイルスを粒子として再生する基盤技術を開発し、再生ウイルスをライブラリ化することによって、海洋炭素循環システムの理解の深化に貢献します。

## 海洋炭素循環における単細胞動物プランクトンの役割解明

仲村 康秀

鳥取大学 エスチュアリー研究センター 助教  
鳥取大学 研究・学術情報本部 エスチュアリー研究センター 助教



プランクトンは大気中のCO<sub>2</sub>を深海へと運ぶため、海洋炭素循環において非常に重要な役割を担っていますが、特に微生物ループの詳細については未解明な部分が多いです。そのため、本研究では単細胞動物プランクトンに着目し、彼らを通じた微生物ループの新たな経路を明らかにする事を目指します。

## 海洋微生物への非光合成炭酸固定経路設計

二井手 哲平

大阪大学 大学院情報科学研究科 助教  
同上



本研究は、沿岸工業地域でのカーボンネガティブ技術の開発を目指し、海洋微生物へ人工の炭酸固定経路を実装することでCO<sub>2</sub>からの有用物質生産に挑戦します。そのために、データベース上の全酵素反応を統合した代謝モデルで代謝シミュレーションを実施することで、高いエネルギー効率を示す人工の炭酸固定経路を設計します。

## カイアシ類を用いたゲノム時代の気候変動リスク評価

平井 惇也

東京大学 大気海洋研究所 講師  
同上



地球規模の気候変動に伴い海洋の昇温化や酸性化は急速に進行し、海洋生態系における'目に見えない種内の遺伝的多様性の消失'が予想されています。本研究は環境変化に迅速に応答し、魚類餌料としても重要な動物プランクトンであるカイアシ類に着目し、将来的な変化に脆弱な集団・海域をゲノムレベルで特定します。また、プランクトンの多様化プロセス等、ゲノム情報を活用した今後の生態学的研究の道筋を示すことも目的とします。

## 沿岸海域における溶存有機物の分子構造と環境機能

藤井 学

東京科学大学 環境・社会理工学院 准教授  
東京工業大学 環境・社会理工学院 准教授



超高分解能質量分析 (FT-ICR-MS) やケモインフォマティクス技術、ネットワーク解析等を活用して、DOM 分子構造の探索かつ網羅的スクリーニングが可能ネットワークトラバーサル法を開発します。タンデム質量分析や LC 分析による構造候補の検証、さらには分子変換過程の解明、分子構造情報からの環境機能推定等を通して、炭素循環を含む様々な角度から沿岸海域 DOM の環境機能や生物地球化学的プロセスを評価します。

## 珪藻シリカのホウ素同位体組成から導く pH 指標

堀 真子

大阪教育大学 理数情報教育系 准教授  
同上



大気中に増加した二酸化炭素の多くは海洋に吸収されます。生物源シリカは、過去の海洋環境を記録する地質試料として有望です。本研究では、様々な水環境に生息する現世の珪藻殻を分析し、珪藻殻に含まれるホウ素同位体比を用いて pH を求める換算式を構築します。また、堆積後の続成作用を調べ、指標の長期安定性を検証します。pH 記録を長時間スケールに拡張することで、二酸化炭素吸収における海洋の機能解明に貢献します。

## 革新的な海底生態系3次元構造観測ツールの開発

水野 勝紀

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
同上



海底近傍における物質循環やブルーカーボン生態系拡大施策の評価を進める上で、最も重要な情報基盤のひとつとなる生物の3次元的な生態情報を、従来よりも高精度・高効率に取得するため、本研究では、様々な時空間スケールの海底画像データに超解像技術を応用し、海底ハビタットマップ作成の高精度化、高効率化を実現します。また、堆積物中における物質循環の定量化に資する、生態系3次元構造観測技術を開発します。

## ブルーカーボン貯留と大気CO<sub>2</sub>除去の統合的理解

渡辺 謙太

海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 主任研究官  
同上



藻場などの海面下に分布するブルーカーボン生態系は海洋中に有機炭素を貯留する機能を有しますが、それはどの程度の時間・空間スケールで大気CO<sub>2</sub>の除去に寄与しているのでしょうか。本研究では、藻場による炭素貯留量の実測と、CO<sub>2</sub>除去効果の時間・空間的な広がりを浅海域から沖合域にかけて実測・推計することで、藻場による炭素貯留機能と大気CO<sub>2</sub>除去効果の統合的理解を目指します。

# 加齢による生体変容の基盤的な理解

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2022-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2022-4.html)

戦略目標

老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明



研究領域統括  
望月 直樹

国立循環器病研究センター 研究所長



研究総括  
三浦 正幸

東京大学 大学院薬学系研究科 教授

## 領域アドバイザー

有田 誠	慶應義塾大学 薬学部 教授
木村 宏	東京科学大学 総合研究院 教授
清中 茂樹	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
小林 武彦	東京大学 定量生命科学研究所 教授
高倉 伸幸	大阪大学 微生物病研究所 教授
寺尾 知可史	理化学研究所 生命医学研究センター チームリーダー
豊島 文子	京都大学 医学部 教授 / 東京科学大学 総合研究院難治疾患研究所 教授
中島 裕史	千葉大学 大学院医学研究院 教授
原 英二	大阪大学 微生物病研究所 教授
松本 邦弘	名古屋大学 大学院理学研究科 名誉教授

## 研究領域概要

本研究領域は、老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明を目標とします。これを達成するために、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）と国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）が3プログラム（さきがけ、AMED-CREST、PRIME）を同時に立ち上げ、互いに連携しながら研究を進めます。そのため、本研究領域では研究総括（Program Officer: PO）に加え、3プログラムの連携を統括する研究領域統括（Program Supervisor: PS）を配置しています。

### <研究領域統括方針>

老化は寿命とは切り離せず、寿命を全うし長期生存するために、生体には生理的なロバストネスと環境や外部刺激に適応し障害から回復させる能力であるレジリエンス機構が備わっていると考えます。したがって老化では生体のロバストネスとレジリエンスの変容が生じている可能性が考えられます。これらの変容のメカニズムを新たな技術や解析手法を用いて調べることで老化メカニズムを解明し、寿命延伸に伴う加齢性疾患を如何に制御するかを目指した研究を推進することが重要です。

生体を構成する分子・細胞・組織・臓器・個体の生命現象の根幹となる構成要素に関する計測・解析技術の進展は近年著しく、これらの研究手法は老化現象のメカニズムの解明を飛躍的に進展させる可能性があります。今後は、これらの最先端技術を活用して老化の根本的な原理を探索し、その原理を踏まえた加齢性疾患の予防・治療のための機序を解明するために、基礎研究と予防や治療への応用展開を目指した研究の一体的な研究体制を構築し、包括的に研究を推進していくことが期待されます。

モデル生物・特徴的な老化現象を示す生物・ヒトを対象として、先端的解析技術を駆使した老化の根本的理解を進める研究を目指します。このためには、老化研究者間の連携や技術の共有が必須となり、研究者間の活発な共同研究や試料の交換を促進し、生物間での普遍性原理の解明を果たせる領域になることを目指します。

また、JSTとAMEDは本研究領域の目標の実現に向けて、一体的な事業運営を行い、それぞれが推進する研究の間で、異分野の多角的知見や技術を融合、連携することにより、老化研究の統合的理解を深め、世界に先駆けて独創的な研究開発に取り組みます。さらに、ムーンショット型研究開発制度（2020年度～2029年度）目標7「2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステナブルな医療・介護システムを実現」との連携も視野に入れて活動していきます。

### <研究総括方針>

世界的に高齢化が社会問題として取り上げられる中で、近年老化が創薬対象として捉えられ、抗老化薬の探索など、その応用面に注目が集中しています。しかし、その研究の歴史は未だ浅く、老化という生命現象の基礎的な知見が十分に蓄積されているとはいえません。そこで老化を、「加齢によって生体がロバストネスとレジリエンスの変容をきたす現象」として捉え、本研究領域では広範な生命科学的アプローチによって加齢におけるロバストネスとレジリエンスの変容に関する基盤的な理解を目標とします。

生物が発生、成長、老化そして死に至るまで、体内ではロバストネスとレジリエンスが刻々と変容していきます。ここで述べる生体変容は生活史に伴って起こる持続した生体の変化を指し、分子レベルではエピジェネティックな遺伝子発現制御、代謝、レドックス、細胞内シグナル伝達等があり、細胞レベルでは増殖や分化、幹細胞性の維持・休眠、細胞老化や変性・細胞死を対象に含みます。組織レベルでは免疫や神経、内分泌システム、組織障害、修復、がん化等、体内における様々な組織の時間的変容を内包しています。さらには生物が進化において獲得してきた加齢における生体のロバストネスやレジリエンス変容の在り方を知ることも重要だと考えられます。

これらの加齢による生体変容を理解するためには、これまで生命・医学研究で培われてきた計測・解析技術、例えば各種オミクス技術やイメージング技術、データ解析やシミュレーション、ゲノム編集技術等を総動員し、さらに他分野の科学技術をも積極的に取り入れて挑む必要があります。また、今まで使われてきたモデル生物（マウス、小型魚類、ショウジョウバエ、線虫、酵母等）に加えて、短命種や長命種の新規モデル生物、本領域の研究に資するオルガノイド開発までも対象とします。以上を踏まえ、本研究領域では、今まであらゆる研究分野で培われてきた科学技術を総動員し、更なる技術開発を推進し、加齢に伴う生体変容の基盤的理解を目指します。

## ケトン体による代謝-老化表現型連関の解明

有馬 勇一郎

熊本大学 国際先端医学研究機構 特任准教授  
同上



ケトン体は空腹時に産生される代謝産物です。適度な食事制限が健康長寿につながる事が明らかとなる中、ケトン体の働きについても注目されています。しかし、ケトン体には様々な作用があり、何が実際に影響を及ぼしているのかは明らかではありません。そこで、ケトン体が老化にもたらす影響を検証するため、ケトン体合成・分解を完全に制御する動物モデルを構築します。そして、ケトン体代謝が老化に及ぼす影響を正しく評価します。

## 皮膚深部に着目した新規老化メカニズムの解明

一條 遼

京都大学 生体物医学研究所 助教  
同上



皮膚は基本的には表皮、真皮、皮下組織から形成されます。表皮、真皮に着目した研究は数多く報告されてきましたが、さらに深部の組織の老化に関してはこれまでほとんど報告されていません。本研究では、これまで着目されていなかった皮膚深部組織に着目し、イメージング、single cell RNA sequence 技術、移植実験などによって新規の老化メカニズムの解明を目指します。

## 間葉系間質細胞の局在依存的特性による筋維持機構の解明

上住 聡芳

九州大学 生体防衛医学研究所 教授  
徳島大学 医歯薬学研究所 特任講師



筋の老化はサルコペニアと呼ばれる大きな社会問題となっています。筋組織に内在する間葉系間質細胞(筋MSC)は筋の恒常性を維持しており、本細胞の機能低下はサルコペニア発症に寄与します。筋MSCは筋組織内でいくつかの特徴的な局在をとり、その局在によって異なる機能を担うと考えられます。本研究では、筋MSCの局在依存的な特性とその加齢変容を解明し、得られた知見からサルコペニアの予防・治療法開発を目指します。

## 加齢による胸腺の退縮における胸腺上皮細胞変容の基盤研究

大東 いずみ

徳島大学 先端酵素学研究所 教授  
徳島大学 先端酵素学研究所 准教授



T細胞の産生器官である胸腺は生体内で最も早期に退縮し、胸腺退縮によるT細胞産生の低下は獲得免疫機能低下や加齢関連疾患の発症などに関与します。本研究では、加齢プロセスにおいて、胸腺の機能を主に担う胸腺上皮細胞での栄養代謝やオートファジー機能の変動が胸腺機能にもたらす影響を明らかにすると共に、早期から退縮する胸腺をモデル器官とし、生体における器官退縮の本質に迫ります。

## 脈絡叢変容による脳内液性環境老化の分子機構

堅田 明子

九州大学 大学院医学研究科 講師  
九州大学 大学院医学研究科 助教



加齢に伴い、誰もが認知症を発症するリスクを抱えますが、発症年齢や進行度合いは個人差が大きく、その原因は明らかではありません。本研究では、脳脊髄液産生を担う脈絡叢が脳内液性環境整備の中核と考え、脈絡叢の加齢に伴う変容を解明します。マウスでも、老齢では学習能力や脈絡叢遺伝子発現の個体差が大きいため、記憶学習に相関する老化標的遺伝子ネットワークを明かすことで、認知機能低下に個体差が生じる原因を追究します。

## 原始卵胞を起点とした卵子の加齢メカニズムの解明

永松 剛

山梨大学 大学院総合研究部 教授  
同上



卵子の加齢変化を質的な機能低下と量的な減少という2つの側面から捉えます。そして卵子形成の起点となる原始卵胞の静止期維持機構の解明を基に、加齢による卵子の変化を根本的に理解することを目指します。本研究で得られる成果は生殖補助医療における高齢化問題の解決基盤となり得るものです。

## 老化に伴う睡眠異常の解明と免疫変容の神経科学的理解

長谷川 恵美

京都大学 大学院医学研究科医歯薬学情報科学専攻 准教授  
筑波大学 医学医療系 助教



本研究では、睡眠覚醒制御機構に関する神経細胞集団や、それらが構成する神経回路が、加齢に伴いどう変化し、その神経活動や遺伝子発現が変化するのか、そしてどのような変化が睡眠変容を引き起こすのかを分子神経科学的に明らかにします。さらに、睡眠・覚醒状態に応じて、免疫応答がどのような挙動を示すのかを探索し、老化による睡眠変容が及ぼす免疫機能低下の理解に繋げ、睡眠の介入による健康寿命伸延の提案を目指します。

## 次世代電子顕微鏡による早老症発症の分子基盤の解明

松本 翔太

東京大学 定量生命科学研究所 助教  
同上



生物が持つDNA修復機構は、ゲノムに生じた損傷を絶えず取り除くことで私たちの健康に貢献しています。このDNA修復機構が破綻することにより、早老症をはじめとする様々な疾病が引き起こされます。しかしなぜ早老症が発症するのかについては未解明な部分が多く残されています。本研究では蛍光とクライオ電子顕微鏡を統合した次世代電子顕微鏡を駆使して、細胞核内を分子レベルで直接「見る」ことによりこの謎に迫ります。

## レトロトランスポゾンから紐解く老化細胞の免疫応答変容

三好 知一郎

理化学研究所 生命医学研究センター チームリーダー  
京都大学 大学院医学研究科 准教授



老化過程において、レトロトランスポゾンの発現上昇が免疫応答異常を伴う加齢性疾患に関与することが示唆されていますが、その動態制御やメカニズムはまだよくわかっていません。本研究は、老化細胞において、ヒトL1レトロトランスポゾンがどのようにして慢性炎症にもつながら免疫応答の破綻やDNA傷害を引き起こすのか、オミクス解析を駆使してその作用原理を明らかにし、これを制御する手法の開発を目指します。

## ミトコンドリアDNA変異から生じる老化プロセスの解明

吉永 直人

理化学研究所 基礎資源科学センター 基礎科学特別研究員  
理化学研究所 基礎資源科学センター 訪問研究員



老化現象の一つである、ミトコンドリアDNA(mtDNA)変異による細胞機能の変容を理解することは非常に重要です。しかし、mtDNA編集技術が十分確立されていないため、mtDNA変異由来の機能変化は検討されていません。そこで本研究では、独自技術を用いてmtDNA編集技術を確立し、mtDNA変異が細胞に与える影響をマルチオミクス解析により評価することで、mtDNA変異と老化の関係性を解明します。

## 霊長類精子幹細胞に備わる老化抑止メカニズム

渡部 聡朗

国立成育医療研究センター再生医療センター 専門員  
同上



マウスとヒトにおいては寿命が大きく違うにも関わらず、一世代で導入される突然変異の数はあまり変わらないことが明らかになっています。これは一世代あたりに導入される変異が増えると次世代個体で奇形が頻発してしまうため、長寿命生物が進化するためには突然変異の抑制が必要であったと考えられます。本研究では霊長類のモデル動物であるマモセットを用いて、霊長類の精子幹細胞の老化を抑制するメカニズムを明らかにします。

## 新たな研究基盤の構築に基づく造血老化機構の解明

金山 剛士

東京科学大学 総合研究院 准教授  
東京医科歯科大学 難治疾患研究所 助教



造血系の加齢変容を理解することは健康寿命の延伸に寄与します。しかしながら、定常時の造血と異なり、加齢のような生体ストレスに対する造血では血球分化経路の理解が進んでおらず、従来の造血前駆細胞同定法はストレス造血研究に適していません。このような現状を打破するため、新たな解析法の樹立や分化経路の発見を通じて研究基盤を再構築するとともに、造血系の加齢変容を引き起こす原因の究明を目指します。

## 加齢に伴う翻訳制御の変容による神経幹細胞の機能低下

呉 泉

京都大学 大学院医学研究科 特任講師  
同上



静止状態にある成体神経幹細胞は、刺激に応じて活性化され新生ニューロンを産生します。そのプロセスの変容は記憶や学習能力の低下など、加齢に伴う脳機能低下の一因とされますが、その原因やメカニズムは不明です。私は、タンパク質を生成する翻訳過程に注目し、神経幹細胞活性化・分化における翻訳品質管理機構の役割と加齢に伴うその変容に焦点を絞った研究を行い、幹細胞の老化防止の方策を探索します。

## アリをモデルとした社会性と加齢変容の連関解明

古藤 日子

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 主任研究員  
同上



本研究では社会性昆虫アリをモデルとして「生殖と寿命のトレードオフ」に着目した社会性と加齢変容の連関と制御基盤の理解を目指します。社会環境の変化が個体の寿命延長をもたらす条件を同定し、加齢変容プロセスに及ぼす影響を細胞、組織、個体レベルにて記述します。さらにマルチオミクスと行動定量、ゲノム編集や薬剤投与による機能操作実験により社会環境が加齢による生体変容を制御する分子メカニズムの解明を目指します。

## プロテオームから紐解く加齢性転写後調節異常と老化メカニズム

高杉 征樹

大阪公立大学 大学院医学研究科 講師  
大阪公立大学 大学院医学研究科 助教



本研究ではリソソーム系とUPS系がプロテオームの加齢変化に及ぼす影響とそのメカニズムを薬剤投与や遺伝子改変によりこれらの系に介入操作を行ったマウスのマルチオミクス解析を通じて解明していきます。さらに、加齢に伴い大部分の組織で増加するApoEとHTRA1がECMタンパクの蓄積と老化に及ぼす影響を中和抗体やトランスジェニックマウス、ならびにマルチオミクス解析により明らかにしていきます。

### 細胞外基質の架橋変容から生じる組織硬化の分子基盤の解明

辰川 英樹

名古屋大学 大学院創薬科学研究科 助教  
同上

ヒトの体は細胞からというよりも、むしろ細胞と細胞外マトリクス (ECM) から作られていると言っても過言ではありません。加齢により、ECM はリシロキナーゼやトランスグルタミナーゼにより架橋修飾され、変容した ECM 自体が様々な病態の増悪に関わることが示唆されています。本研究では、ECM の「量」だけでなく、「質」の変化が組織修復の破綻を伴う組織硬化 (線維化) を誘導する分子機構を解明します。



### 加齢に伴う生体内分子システム状態遷移の探究

渡邊 謙吾

徳島大学 大学院医歯薬学研究部 教授  
システムイノベーション研究 医療イノベーションイニシアチブ  
システムイノベーション研究 医療イノベーションイニシアチブ

従来の医療は病気を特定して治すことが主要でした。しかし老化では、加齢性疾患の顕在化前から生体内システムが連続的に遷移しており、病気よりも健康状態を中心に捉えるべきだと考えます。そこで本研究では、ヒト・モデル生物のマルチオミクスデータと機械学習・システムバイオロジーの手法を活用したデータ駆動的アプローチで、加齢に伴う生体内分子システム状態遷移を理解し、老化の定量的評価・介入法の基盤開発を目指します。



### 細胞の力学特性から解き明かす加齢変容

塩見 晃史

理化学研究所 開拓研究本部 基礎科学特別研究員  
同上

細胞・組織の力学特性変化は生命現象、特に加齢において重要な表現型であると同時にそれらの制御因子ですが、詳細な分子機構や加齢疾患との因果関係については未解明な点が多く残されています。本研究は、私が以前に開発した 1 細胞の力学特性と遺伝子発現の大規模な統合解析が可能な ELASTomics 法を用いることで、加齢における力学特性変容の分子メカニズムや加齢疾患との因果関係を解明することを目的とします。



### 睡眠工学手法による老化時計の不安定性修復

田淵 理史

ケースウエストナッシュ大学 保健医療学部 アシスタントプロフェッサー  
同上

老化依存性な睡眠制御機構の不安定化を研究対象として、加齢依存性な脳機能の動的不安定性を解明・制御することを目指します。ショウジョウバエをモデル生物とすることで初めて実現可能な神経工学と合成生物学の学際領域的な睡眠工学的アプローチを提案し、老化時計の不安定性を修復し、神経工学的手法と合成生物学的な視点を組み合わせた、シナプス可塑性と脳波制御に基づくアンチエイジング方法論の確立を目指します。



### 記憶を司るドーパミン細胞の老化障害メカニズムの解明

五十嵐 啓

カリフォルニア大学アーバイン校 医学部 部長特別准教授  
同上

本研究は、申請者が 2021 年に同定した、脳の嗅内皮質に注射して記憶を司っているドーパミン細胞に生じる加齢性機能障害の解剖・生理・分子メカニズムを明らかにし、なぜマウスが加齢性記憶障害を起こすのかを理解することを目的とします。嗅内皮質はアルツハイマー病の起始核であることから、本研究を通じて将来的なアルツハイマー病の病理理解を目指します。



### 造血細胞の空間的組織化ダイナミクス変容による老化の統合的理解

中西 未央

千葉大学 大学院医学研究部 講師  
同上

本研究では造血幹細胞と造血前駆細胞の空間的組織化という新たな造血制御メカニズム発見に基づき、多様な造血老化現象を統合的に理解し、その進行を抑制するための基盤を構築します。さらに細胞休止維持の破綻や分化の偏りなど、さまざまな組織で加齢変容をもたらす老化の根本的なメカニズムを解き明かします。



### 鉄恒常性の変容から紐解く細胞老化現象

平山 祐

岐阜薬科大学 薬学部 准教授  
同上

過剰な鉄蓄積は細胞の酸化損傷や鉄依存的細胞死 (フェロトーシス) を引き起こしますが、老化細胞には高レベルの鉄が蓄積しています。そのため、フェロトーシスを回避するような鉄恒常性の変容が細胞老化の過程で起こっていると考えられます。本研究では、独自に確立してきた細胞内鉄イオン検出技術を活かして、分子・細胞・生物個体の各階層で機能する新たな鉄検出技術を確立し、鉄恒常性を基軸とした細胞老化研究を実施します。



### 更年期における行動変容の神経内分泌学的理解

井上 清香

ワシントン大学セントルイス 聴覚科 アシスタントプロフェッサー  
同上

更年期は 40 ~ 50 代女性に訪れる加齢変容です。生殖機能の老化に伴い、性ホルモンの分泌量が徐々に減少し、中枢神経系の機能に変容をきたします。本研究では更年期における行動変容の実態を明らかにすることを目的とします。社会行動を制御する神経回路をモデルとし、分子・解剖・生理・行動解析を駆使して、生殖機能の老化と行動変化を結び付ける神経内分泌学的メカニズムに迫ります。



### 神経変性疾患をヒト進化の観点から理解する

難波 隆志

ヘルシンキ大学 HILIFE グループリーダー  
同上

ヒトの進化過程では様々な適応が起き、その結果として現生人類の解剖学的・機能的な特徴が形作られてきました。本研究ではヒトの進化の過程で起こった特徴的な性質の変化が、どのように神経変性疾患に関わっているのかを、神経変性疾患患者由来 iPS 細胞を用いてメタボロミクスなどのマルチオミクス解析などを併用しつつ明らかにします。将来的に本研究は神経変性疾患の新しい治療戦略の開発に結び付くことが期待されます。



### 老化に伴う B 細胞の分化の変容と Regulome 調節

宮崎 正輝

京都大学 医学部 准教授  
同上

本研究では、転写因子によるエンハンサー調節 (Regulome) の視点から老化に伴う (1) 骨髄での B 細胞分化の低下と (2) 末梢 B 細胞の活性化の変容の分子機構の解明を目的とします。(1) については加齢に伴うコア転写因子の協調作用の変動を明らかにしその分子機構の解明を目指し、(2) については single-cell Multiome (scMultiome) 解析を用いて老化 B 細胞を同定し、抗体の親和性亢進を司る AID 遺伝子の発現調節機構を解明します。



### 細胞内タンパク質熱力学の変容に対抗する代謝産物の研究

上地 浩之

東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教  
同上

細胞内のタンパク質は加齢に伴い、ときに必要な局在を消失し、あるいは不必要な凝集を形成します。これらは組織・個体の機能低下や疾病を惹起することから、生理的なタンパク質動態を付与する細胞内環境の理解が重要です。本研究は、タンパク質動態が細胞内の熱力学的性質に依ること、これが小分子で調節される知見に基づき、タンパク質の細胞内集合動態を制御しその変容に対抗する生体内代謝産物について研究します。



### 翻訳動態の変容から紐解くプロテオスタシスの破綻と老化現象の理解

松尾 芳隆

東京大学 医学部 准教授  
同上

近年、老化の進行と共に翻訳の停滞頻度が上昇することで、プロテオスタシスの破綻が亢進することが報告されました。本研究では、この現象に着目し、老化によって翻訳停滞が増加する原因やその産物が蓄積する分子機構の解明を目指します。また、老化に伴う翻訳停滞が、既知の様々な老化現象を加速させる可能性を検証することで、老化に伴う生体変容の基盤的理解に貢献します。



### 生殖系列が加齢を免れるメカニズムの研究

渡瀬 成治

熊本大学 発生病学研究所 助教  
同上

生殖系列は世代を越えて生き続ける「不死」の細胞系列と言われています。これまでの研究から、リボソーム DNA 反復配列のコピー数安定維持機構が生殖系列の「不死性」を支えていることがわかってきました。しかし、生殖系列における本機構のメカニズムはまだよくわかっていません。そこで本研究では、生殖系列における本機構の分子基盤を解明し、得られた知見から体細胞老化の抑制へむけた方法確立の手がかりを提供します。



### 一次繊毛の変容と加齢現象の関連メカニズム

大屋 愛実

名古屋大学大学院 医学系研究科 助教  
同上

代謝亢進作用を持つメラノコルチン 4 型受容体 (MC4R) は、視床下部神経細胞の一次繊毛に局在し、MC4R 局在一次繊毛が加齢に伴って短くなることで代謝熱産生量は加齢依存的に低下します。本研究では、この MC4R 局在一次繊毛の加齢性退縮メカニズムの解明に取り組みます。これによって得られた知見は、代謝を含む様々な生理機能の加齢に伴う低下メカニズムを一次繊毛という切り口で解明する手がかりになると考えます。



### 老化変容する網膜情報処理機能の神経科学的解明

松本 彰弘

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 助教  
同上

本研究では、加齢や機能疾患に伴う網膜の機能的変容を神経科学的に解明することを目的とします。加齢による網膜から脳への感覚入力不全が、視覚や睡眠、高次認知機能での疾患に与える影響を、電気生理学、イメージング、遺伝子解析、行動解析、数理モデリングを駆使して明らかにします。本研究での知見に基づき、「網膜の介入的な機能操作による視覚や認知機能の回復」という新たな治療モデルの構築を目指します。



## 加齢依存性脱メチル化によるDNA 損傷を介した神経変性解読

三橋(小池) 佑佳

新潟大学 脳研究所 助教  
同上

孤発性神経変性疾患の最大の危険因子は加齢です。本研究では、神経変性の誘導因子として、加齢依存性の分子機序である、DNA の脱メチル化とDNA 損傷に着目しました。ヒトの疾患脳を対象に、シングル核エピトランスクリプトームとDNA 損傷部位の解析という最先端技術を組み合わせた検証を行い、加齢による神経変性の分子基盤の解読を目指します。



# パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤の構築

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-5.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-5.html)

戦略目標

「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤



研究総括  
押谷 仁  
東北大学 大学院医学系研究科 教授

## 領域アドバイザー

有吉 紅也	長崎大学 熱帯医学研究所 教授
岩本 康志	東京大学 大学院経済学研究科 教授
小坂 健	東北大学 大学院歯学研究科 教授
北野 宏明	沖縄科学技術大学院大学 大学総合オープンシステムユニット 教授
香西 豊子	佛教大学 社会学部 教授
菖蒲川 由郷	新潟大学 十日町いきいきエイジング講座 特任教授
城山 英明	東京大学 大学院法学政治学研究科 教授
土谷 隆	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
三浦 麻子	大阪大学 大学院人間科学研究科/ 感染症総合教育研究拠点 教授
武藤 香織	東京大学 医科学研究所 ヒトゲノム解析センター公共政策研究分野 教授
渡辺 登喜子	大阪大学 微生物病研究所 教授

## 研究領域概要

本研究領域は、幅広い分野の研究者の結集により、パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤を構築するとともに、緊急時の分野横断的対応を可能とする研究者ネットワークを形成することを目的とします。

COVID-19 感染拡大は、経済社会活動全体だけでなく個々人の日常生活へ長期的かつ甚大な影響を与えています。このパンデミックにあたっては、臨床医学・ウイルス学・公衆衛生学のみならず、情報科学や計算科学、材料・デバイス工学、環境科学など多様な分野における研究が実施されていますが、同時に、各分野において不足している技術や課題が明らかとなりました。また、複雑化した社会において人々の活動がどのように感染を拡大させるのかを正しく把握し、社会・経済活動とのバランスを保ちつつ柔軟かつ適確な感染症対策をとるためには、それぞれの自然科学分野における研究だけでは限界があり、人文学・社会科学を含めた積極的な異分野連携による「総合知」の活用が不可欠であるとの認識が高まっています。

そこで本領域では、繰り返される感染症の脅威に人類がどのように対応してきたのか長い歴史を振り返るとともに、COVID-19 対応により見えてきた社会的・技術的課題の本質を見極め、様々な専門性を持った研究者が結集しネットワークを形成しながら、あらゆる立場の人々が共生しつつ感染状況に応じた適切な対策を取ることを可能とする持続可能な社会を作り出すための社会・技術基盤の構築を目指します。

## 夜の文化芸術の社会経済的機能に関する研究

池田 真利子

筑波大学 芸術系 助教  
同上



本研究はポスト・コロナのグローバル社会の文化慣習の変化を見据え、オンライン・対面接触社会経済のレジリエントかつ創造的融合のため、現在危機的状況にある夜の民間公益文化芸術セクターの経済創造活動に焦点を当て、科学的エビデンスに基づき現状を調査・公開し、コロナを機に露となった日本の文化政策から零れる文化芸術を理解し、真に持続可能な文化行政と夜の社会・経済構築の総合知を形成することを目的とします。

## 網羅的マイクロデータに基づく経済シミュレーション

井上 寛康

兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 教授  
兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 准教授



感染症対策等の施策が経済にどのような影響を与えるのかを推計します。具体的には、サプライチェーン・消費・企業活動の多面的・大規模・マイクロなデータを取り入れ、多くの活動主体が相互作用する複雑ネットワークを考慮したモデルを用いて、大型並列計算機を用いたシミュレーションを実施します。その際、従来研究では分析が困難なサービス産業の需給の追跡や日次ベースでの推計精度の向上を目指します。

## 数理科学が推進するパンデミックナレッジ基盤の構築

岩波 翔也

名古屋大学 大学院理学研究科 講師  
名古屋大学 大学院理学研究科 助教



人々は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)を経験する過程で、パンデミックに伴う医療や経済の課題に直面しました。本研究課題では、パンデミックの発生に際した迅速な対応を可能にするために、数理科学を駆使して、ウイルスとしての特性と感染症としての特性を結びつけ、政策など社会的影響を検討します。パンデミックを包括的に理解することで「将来の感染症を知り備えるための社会・技術基盤」の構築を目指します。

## 不確実な感染症政策に対する協力基盤の構築

佐々木 周作

大阪大学 感染症総合教育研究拠点 特任准教授(常勤)  
東北学院大学 経済学部 准教授



感染症対策となる科学技術には不確実性が伴うために、自発的協力者が少ない・政策ターゲットの協力が得られない等の課題が生じます。本研究では、不確実性に関する特徴を整理した上で、自発参加に委ねる「オプトイン方式」での協力者を量的把握し、行動経済学の情報提供ナッジが協力者を増やす効果を検証します。また、参加を初期設定にする「オプトアウト方式」について人々の自由意志と厚生に配慮できる導入方法を探究します。

## パンデミックに備える社会的データ収集枠組の構築と数理モデルによるネットワーク介入の有効性評価

瀧川 裕貴

東北大学 大学院人文社会科学系研究科 准教授  
東北大学 大学院文学研究科 准教授



パンデミックがバランスのための社会的データ基盤の構築に向けて、計算社会科学に基づきながら、社会的属性・健康アウトカム付きのネットワークデータ収集方法論を開発します。その上で、それらのリアルデータを用いたネットワーク介入の数理シミュレーション解析を行います。それにより、感染拡大防止および経済・社会活動との両立および社会的公正さの観点から、ネットワーク介入政策の有効性を評価します。

## 感染症対応における国際・国内がバランス向上に関わる研究—情報共有における異分野間連携と医薬品開発投資戦略に着目して—

武見 綾子

東京大学 先端科学技術研究センター 准教授  
東京大学 未来ビジョン研究センター 特任研究員



新型コロナウイルスの脅威によってその課題があらためて突き付けられた、感染症対応における国際・国内のバランスについて研究します。具体的には、(1) 感染症早期探知・対応に関する異分野間情報共有の促進 (2) 柔軟な契約形態による医薬品投資の促進等を取り扱います。また国際社会における情報共有枠組み確保の観点から、新しい感染症にかかわる条約がどのように担保されるか、他の条約との比較も踏まえ検討します。

## パンデミックに対してレジリエントな研究体制構築のための基盤研究

南宮 湖

慶應義塾大学 医学部 専任講師  
同上



COVID-19の臨床・研究に従事する医療従事者と研究者との双方向の議論やアンケート調査等から課題を抽出し、次の新興・再興感染症のパンデミック時に直ちに運用可能な研究体制を提案します。医療従事者の負担を最小限にする効率的な医療情報収集システムを構築し、研究参加が診療支援及び診療の質の向上につながるシステムを構築します。ELSIも検討し、パンデミックにレジリエントな社会・技術基盤の創出に寄与します。

## パンデミック時の過信行動の進化と早期警戒信号の役割

西 晃弘

カリフォルニア大学サンディエゴ校 公衆衛生大学院 准教授  
カリフォルニア大学サンディエゴ校 公衆衛生大学院 デモグラフィック講座



本研究では、パンデミック時における過信に基づいた行動(例:マスク非着用で外出、リモート勤務要請に応じない等)の進化とその条件をエージェントベースシミュレーションと実際の参加者によるオンライン実験にて探索します。さらに過信進化を抑制する際の早期警戒信号の役割を同様の方法で検討します。また歴史的感染症データ利用による実証研究も実施します。最後に日米他のステークホルダーと意見交換も行う予定です。

## 屋内空気の遠隔制御による感染症対応型情報環境の構築

長谷川 圭介

埼玉大学 大学院理工学工学研究科 准教授  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 講師



本計画は、空中超音波が生成する音響流を用いた飛沫制御技術および、ネットワーク越しに触覚・聴覚刺激を伝達するエッジデバイスコミュニケーション技術の開発を目指すものです。対面とオンラインの両場面での独自技術の進展により、対人交流において本質的に重要な要素が明確になるとともに、COVID-19下でのフィジカルディスタンス対策の問題点を補完してパンデミック下での対人交流の質を維持できると期待されます。

## マルチスケール地理的感染拡大モデルの構築と展開

藤原 直哉

東北大学 大学院情報科学研究科 准教授  
同上



本研究では接触調査を行うことで都市における人々の接触の性質を明らかにし、GPSなどの大規模人流データによって推定された接触との比較を行います。接触調査の結果を利用して感染拡大の数理モデルを構築し、さまざまな地理的スケールにおける感染拡大のシミュレーションを行います。また、疫学データ等の実証分析を行い、モデルと実際の感染拡大を比較するほか、シミュレーション結果を理論的に理解することを目指します。

## 感染症拡大抑止を支援するセンシング・ハブ基盤の構築

南木 創

産業技術総合研究所 健康医学工学部門 研究グループ長  
産業技術総合研究所 健康医学工学部門 研究員



感染症の発生・拡大を抑制するには、一人一人の健康状態を正確に把握することが重要です。そこで本研究では、各種バイオマーカーの質的・量的変化を簡易に計測するためのマルチセンシングデバイスを開発し、健康診断の「日常化」を実現する分析システムの構築に取り組みます。既存サーベイランスの補完や在宅での健康管理を指向したデバイス開発を通じて、将来のパンデミックを効果的に抑止する基盤技術の創出に挑みます。

## パンデミック下におけるデータ駆動型政策のための疫学・統計・機械学習の方法論およびその社会還元

米岡 大輔

東京大学 医学系研究科 客員研究員  
聖隷国際大学 公衆衛生大学院 准教授



本研究では、パンデミック下における種々の調査法のバイアスの検討およびその補正ならびに感染状況のフェーズ毎のニーズに見合った疫学・統計・機械学習の方法論を提案します。また、複数分野に分散された情報や数理手法、データやプログラムなどを整理し、その結果の解釈まで一貫できるプラットフォームも構築します。

## 変異株の超早期捕捉に基づく流行予測法の開発

伊東 潤平

東京大学 医学部研究科 准教授  
東京大学 医学部研究科 助教



新型コロナウイルスの流行の波は、伝播力の高い「変異株」の出現により引き起こされます。本研究では、新型コロナウイルスの配列データベースを監視し、新規変異株の同定から次期流行株の予測、そして流行予測までを自動で行うAIを開発し、web上に公開します。さらに、基礎ウイルス学者と連携し、同定した次期流行株の性質を流行前に明らかにします。そして、変異株の出現・流行にレジリエントな社会基盤の構築に貢献します。

## パンデミック下で持続可能な臨床検査体制構築のための基盤研究

上養 義典

慶應義塾大学 医学部 専任講師  
同上



本研究課題では、COVID-19パンデミック初期に社会や医療の要請に十分に答えられなかった我が国の臨床検査の課題をあらゆる観点から抽出します。そして、デジタル化と自動化により個々の検査室の災害時自助機能の強化と、ネットワークを活用した検査室間の共助体制の構築により、次のパンデミックにおいて安定して機能し、社会貢献が可能な強靱な社会インフラとしての臨床検査のモデルを模索し提案します。

## 意思決定科学と感染症疫学を統合した数理モデルによる社会防疫

遠藤 彰

長崎大学 大学院健康医学・グローバルヘルス研究科 助教  
同上



意思決定科学と感染症疫学を統合した新たな数理モデルのアプローチにより、「個人の意思決定」と、個々の意思決定の集合として生じる感染症流行に伴う「社会全体の利害」を適切に調停する政策について定量的に検討します。流行中に人々がリスクと利益を評価し個々に意思決定する例として特に重要な「ワクチン接種」と「接触行動」に着目してモデルによる推定やシミュレーションを行い、政策提案につなげます。

## パンデミックに強い子どもの医療・保健・教育連携モデルの構築

### 大久保 祐輔

国立育育医療研究センター 社会医学部 室長  
同上



コロナ禍において、小児への医療提供体制および医療と教育、医療と地域保健の連携が不十分であることが判明しました。本研究では、医療ビッグデータで、コロナ禍の小児の診療実態と医療政策効果を因果推論・機械学習の手法で分析します。また、地域医療ネットワークを把握し、数理モデルによるシミュレーションを行い、持続可能な子ども医療体制を構築します。

## 本人確認の歴史とパンデミック対応への示唆・証明写真を事例として

### 山本 敬洋

シンガポール工科大学 人文社会科学研究センター 講師  
ハイデルベルグ大学 文化圏研究センター 助教



パンデミック下での社会経済活動の継続には、非対面での安全・確実な本人確認が重要です。本研究は証明写真を事例に、本人確認技術の普及を巡る政策議論と言説を歴史的に分析します。顔写真による本人確認の登場、一般市民の反応、無帽・無表情・正対直視といった様式の厳格化を分析し、社会的受容の背景及びプライバシー概念との関連をよりよく理解することで、将来の対感染症政策への社会的合意形成に資することを目指します。

## マルチグループ構造化感染症モデルの数学的解析と実用化

### 國谷 紀良

神戸大学 大学院システム情報科学研究科 教授  
神戸大学 大学院システム情報科学研究科 准教授



本研究では、感染症の流行を表す数理モデルの内、集団に属する各個体の異質性に応じてモデルを細分するマルチグループモデルに注目します。特に、免疫レベルの変化や行動変容などの複合要因を考慮できるマルチグループ構造化感染症モデルを構築し、その数学理論の発展と実用化を目指します。また、タイプ別再生産数の理論を利用して、ハイリスク者を優先したワクチン接種など、特定のグループに特化した政策の有効性を検証します。

## 総合知で生み出すネクスト・パンデミックに迅速対応できる技術基盤の開発

### 加藤 哲久

東京大学 医科学研究所 准教授  
同上



核酸と蛋白質から構成される微小粒子であるウイルスの姿を正確に分析することは、感染症対策の基盤といえます。しかしながら、ウイルス核酸には非標準的な遺伝情報が多数コードされており、その全容解読は容易ではありません。本研究では、ウイルスの非標準的遺伝情報を解読する革新的な科学技術を創生することで、パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤を整備することを目指します。

## パンデミック下の性感染症の実態把握と対策立案

### 池内 和彦

東京大学 医学部附属病院 助教  
同上



COVID-19 パンデミックによる行動変容の結果、多くの感染症の流行が一時的に下火になった一方で、梅毒やMpxvなど性感染症の流行は拡大しました。本研究はビッグデータを用いてパンデミック下における性感染症の有病率、罹患率、再感染率、感染リスクを評価し、流行抑制のための対策立案を目指します。また、今後新規の性感染症流行が起こった際、流行状況を早期に検知するシステムの構築を目指します。

## パンデミックへの備えの政治学

### 小林 義治

リーズ大学 政治国際研究学部 准教授  
同上



次のパンデミックへの十分な備えには、一般市民の理解と関心が不可欠です。COVID-19の経験を通じて、備えに対する関心は高まったかもしれませんが、時間の経過とともに関心が衰えることが懸念されます。また、事前の備えがパンデミック時の政治や政策に与える影響に関する知見は限られています。本研究は、政治学の視点から次のパンデミックへの「備え」を分析し、新たな課題やパンデミック対応策への影響を明らかにします。

## 微生物学とAIの統合知による次世代の感染症制圧

### 清水 秀幸

東京科学大学 総合研究 M&D データ科学センター 教授  
東京医科歯科大学 M&D データ科学センター 教授



迅速な創薬は次のパンデミックに対する社会基盤として非常に重要です。本研究では、微生物の性質を人工知能(AI)に学習させ、感染症に対する迅速かつ精密なAI創薬の実現を目指します。具体的には、微生物タンパクと化合物の親和性の関連を深層学習で紐解き、同時に微生物がゲノムにコードする抗菌ペプチドを効率よく発見するAIも創出します。低分子およびペプチド創薬両面からパンデミックに備えた技術基盤を構築します。

## ポストコロナ社会での高齢者に対する Precision Public Health の実現

### 井上 浩輔

京都大学 白眉センター 特定准教授  
同上



本研究では全国高齢者コホートに最先端の因果推論・機械学習を応用し、パンデミックに脆弱(うつ症状の増悪、認知機能低下など)な高齢者の特徴、及びコロナ禍において運動・社会参加の効果が高い高齢者の特徴を明らかにします。多面的な属性情報に基づく個人ごとの脆弱性と介入効果を推定することで、社会状況を踏まえた個別化戦略のあらたな地平を切り開き、世界における医療・公衆衛生の在り方の歴史的変換点を創造します。

## 平時と有事をつなぐ感染症領域の“Platform of multi-platform trials”の社会実装

### 齋藤 浩輝

聖マリアンナ医科大学 医学部 講師  
同上



本研究では、平時から有事までシームレスに対応可能な、複数の国際感染症プラットフォーム研究同士を横断的につなぐ、新たなコンセプト『A Platform of multi-platform trials (PMPT)』を提唱・構築するのみならず、日本特有の環境においても持続発展可能なPMPTを構築することで、レジリエントな社会・技術基盤の構築に貢献することを目指します。

## 緊急時における公益事業を中心とした企業間連携と住民間協働体制の構築

### 中村 絵理

神戸大学 大学院経営学研究科 教授  
神戸大学 大学院経営学研究科 准教授



本研究の目的は、パンデミック等の緊急時に必要となる企業間連携や住民間協力の最適体制を、公益事業を中心とした持続可能なプラットフォームとして構築する手法を確立することです。特に、サービス提供プロセスを通じて住民や顧客と接触が多い公益事業として都市交通事業を、生産プロセスを通じて政府や自治体と接触が多い公益事業として水道事業を取り上げ、これらを含む社会統合的な調整・連携ネットワークの構築を目指します。

## IoT技術を用いた医療従事者にやさしい臨床データ取得体制構築とデジタルツイン技術開発による、多角的なパンデミック対策の立案

### 江島 啓介

南洋理工 工学 医学部 助教  
同上



本研究ではまず、臨床データの効率的な取得方法の確立を行います。全自動遺伝子検査システムをIoT技術によってサーバーと接続し、サンプル採取からデータ蓄積までを効率化します。次に、現実の患者を再現したコンピュータ上の患者であるデジタルツインを開発します。デジタルツインから生成されるデータを使って実行性のある感染症対策を立てる仕組みを整えます。デジタルツインは公開され、さらなるパンデミック対策への活用を促します。

## 支払意志額概念の拡張による感染症対策の最適化

### 都築 慎也

国立国際医療研究センター 国際感染症センター 医師  
同上



本研究ではいざいざ到来する新たなパンデミックに備え、「我々の社会が感染症対策に支払っても良いと考えるコスト」の上限を決定することを目標とします。ここで言うコストとは金銭的な価値、健康上の指標の双方を内包しており、その許容額の上限、即ち支払意志額(Willingness to pay)を定めることで経済・保健両面から感染症対策を最適化することを目指します。

## 新しい保健システム構築のための実証的な疾病負荷研究

### 野村 周平

慶應義塾大学 グローバルリサーチインスティテュート 特任教授  
慶應義塾大学 医学部 特任准教授



包括的で比較可能な保健指標「疾病負荷」は、保健政策の優先決定に重要な情報ですが、諸外国に比べ我が国での政策活用は限定的です。本研究は、これまで私が行ってきた疾病負荷研究を進展させ、コロナ危機の先にある、社会経済活動を維持しつつ、公平で強靱で持続可能な新しい国内外の保健システムの構築に疾病負荷を活用する基盤を確立し、そして我が国の喫緊の国内保健政策とグローバルヘルス政策の議論に資する知見を創出します。

## 動物由来ウイルス感染症の発生リスクを評価する技術基盤の構築

### 川崎 純菜

千葉大学 大学院医学研究科 特任助教  
早稲田大学 理工学術院総合研究所 次席研究員



動物からヒトへのウイルス伝播によって、多くの感染症が引き起こされてきました。本研究では、公共サーベイランスデータを再利用し、ヒトと動物を対象とした大規模なウイルスゲノムの調査を実施することで、ヒトに感染症を起こしうるウイルスの特定と、感染症発生の前兆やリスク因子の解明に取り組みます。これらの知見により、パンデミック発生前にリスク低減に向けた対策を立案・推進するための科学的根拠を提供します。

## 感染症の流行に強い高齢者福祉・医療の構築に関する基盤研究

### 長尾 美紀

京都大学 大学院医学研究科 教授  
同上



本研究では、1. 高齢者の予後を可視化し、2. 高齢者福祉・医療当事者への心身的・経済的な影響、3. 限定的に自治体がリソースを投入した事業の経済的な評価、についてリアルワールドデータを用いて分析することにより、課題の構造化を行います。その上で、パンデミック時であっても揺るがない高齢者福祉体制と福祉・医療をシームレスにつなぐシステムの提言へとつなげます。

## 大規模社会データを縮約する数理疫学手法の構築:理論に基づく感染症対策の新展開

三浦 郁修

愛媛大学 先端研究・学術推進機構 研究員  
愛媛大学 先端研究・学術推進機構 EPI 特別研究員 SPD/CPD

感染症数理モデルは政策決定における重要なツールとして利用されていますが、流行を捉える観測データと組み合わせるとはじめて真価を発揮します。本研究課題では、異分野において収集されているが未だ活用されていない「代替データ（人々の社会活動やウイルスの蔓延状況を反映する多様なデータ）」を統合し、迅速かつ詳細な感染動態の把握と介入政策の最適化を実現する数理的アプローチを提案します。



# 生体多感覚システム

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-6.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-6.html)

戦略目標

ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明



研究領域統括  
永井 良三  
自治医科大学 学長



研究総括  
神崎 亮平  
東京大学 先端科学技術研究センター  
シニアリサーチフェロー



Multisensory Integration  
in Biological Systems

## 領域アドバイザー

稲見 昌彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
尾仲 達史	自治医科大学 生理学講座 教授
風間 北斗	理化学研究所 脳神経科学研究センター チームリーダー
上川内 あづさ	名古屋大学 大学院理学研究科 教授
熊谷 晋一郎	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
関 和彦	国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 部長
富永 真琴	名古屋市立大学 なごや先端研究開発センター 特任教授
西本 伸志	大阪大学 大学院生命機能研究科 教授
古川 茂人	静岡社会健康医学大学院大学 社会健康医学研究科 教授
渡邊 克巳	早稲田大学 理工学術院 教授
渡部 文子	東京慈恵会医科大学 総合医科学研究センター・臨床医学研究所 教授

## 領域運営アドバイザー

近藤 薫	東京大学先端科学技術研究センター 特任教授 / 東京フィルハーモニー交響楽団 コンサートマスター
長谷川 豊	MY-THOUGHTS デザインアドバイザー

## 研究領域概要

本研究領域は、生体感覚システムおよび末梢神経ネットワークを包括した「マルチセンシングシステム」の統合的な理解、および可視化・制御法の開発を目標とします。これを達成するために、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) と国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) が4プログラム (CREST、さきがけ、AMED-CREST、PRIME) を同時に立ち上げ、互いに連携しながら研究を進めます。そのため、本研究領域では研究総括 (Program Officer: PO) に加え、4プログラムの連携を統括する研究領域統括 (Program Supervisor: PS) を配置しています。

### <研究領域統括方針>

感覚機能と自律神経系は、生体が恒常的に機能を果たすためのフィードバック系として重要な役割を担っています。一方、加齢をはじめとする内的・外的ストレス等による感覚機能の低下や喪失、さらに末梢神経系の障害は、健康障害と慢性疾患発症の大きなリスク要因です。そこで生体感覚システム・末梢神経ネットワークを包括した「マルチセンシング」の生理機構を統合的に理解することにより、全身臓器の関わる疾患を標的とした新規治療法の開発や、生活の質 (QOL) の向上、ひいては健康寿命の延伸が可能になると期待されます。また、マルチセンシングシステムを介した革新的技術の社会実装は、感覚代行、感覚シェアなど、より豊かで幸福な社会の実現に貢献することができます。

JST では基礎原理の解明および基盤・応用技術の開発を軸として、センシング機能の拡張や新たな機能の獲得を目指します。一方、AMED では健康・医療への出口を見据えた基礎研究から医療応用を軸に、失った機能の回復・維持、すなわちセンシングと調節機能の回復・維持・予防を目標とします。具体的には、マルチセンシングシステムの動作機構の解明、病態解明、活動状態を可視化・定量化する技術開発、およびそれらを基にした副作用の少ない治療法や予防法の開発、個人に適した医薬品、医療機器、低侵襲性デバイスの創出等を目指し、同時に、生体のマルチセンシング機能の拡張や高度なセンシングメカニズムの応用によるイノベーション・シーズの創出を出口としてとらえ、JST と AMED が両輪となって推進します。4プログラムの研究者がネットワーク型研究所を構成することによって、相互連携と若手研究者のステップアップ、さらに研究の発展を促します。

### <研究総括方針>

生体内では、インプットされた外的・内的な刺激はさまざまな感覚受容器で特殊感覚・内臓感覚・体性感覚などの感覚情報として符号化され、電気信号に変換されたのち、末梢神経を経て中枢神経に伝達されます。本研究領域は、そのような多様な生体感覚と末梢神経のネットワークを統合した生体多感覚システムの包括的な解明を目指します。生体における感覚研究は、特に視覚や聴覚の解析が他の感覚解析に先立つ形で研究が進展しました。近年、シングルセルオミクス解析技術やタンパク質の機能・構造解析の進展により、味覚や嗅覚に関する新規受容体が同定され、その作動原理が明らかになるなど、他の感覚についても徐々に新しい知見が得られはじめています。一方で、これまでの感覚研究はそれぞれの感覚に特化する形で進められてきており、異なる感覚間の協調など、感覚システムを統合したメカニズムといった観点からは十分に解析されていません。また近年、情報科学や工学デバイスなどの発展に伴い、それらを生体に対して適用することで、新たな生体センシング機能も解明されつつあります。このような生体多感覚システムの解明に加えて、仮想現実や拡張現実で代表される ICT 技術の飛躍的な進展に伴い、生体感覚の研究でこれまで得られた知見を ICT 技術などと融合し、ヒトの持つセンシング機能の拡張や感性の向上に資する技術についても、学術的・産業的重要性が高まっています。

以上を踏まえ、本研究領域では生命活動における生体多感覚システムの機能解明とその機能や作動原理を応用した技術開発を推進します。

### 感覚介入リハビリ技能の解明と支援装置への応用

安琪

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
九州大学 大学院システム情報科学研究科 准教授



脳性麻痺児は感覚器と筋活動の関係性を示す「脳内身体表現」を形成できず、運動が障害される。これに対して、本研究では理学療法士が脳性麻痺児の感覚器に行っている介入技能および乳幼児の運動に与える影響を解明し、脳内身体表現の形成を促進する装置を開発する。この脳内身体表現を改善する装置や方法論は脳性麻痺児のみならず高齢者や脳損傷患者の運動機能をも改善することが期待される。

### 柔軟な行動戦略を導く多感覚時空間統合の脳回路機構

佐々木 亮

自然科学研究機構 生理学研究所 教授  
京都大学 大学院医学研究科 助教



自他の行動戦略から柔軟に一連の認知行動（感覚→意思決定→運動）を決定する脳神経基盤を解明します。まず脳の時空間的統合・切り替え処理をマルチスケールに定量化する評価法を開発します。次に行動中の動物の多脳領域大規模神経活動から多因子を柔軟に統合・切り替え可能な多階層デコーダーを構築し、リアルタイムで意思決定を予測推定します。更に光遺伝学を用いた広汎脳回路操作により、認知行動の健全な制御を可能にします。

### 視覚障がい者における空間と運動の身体的表象

池上 剛

情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 主任研究員  
同上



ブラインドサッカー選手のような視覚障がい者アスリートは、目が見えていないと錯覚するほど巧みで正確な運動パフォーマンスを発揮することができます。視覚に頼ることなく、脳はどのようにして正確な空間認知や身体制御を実現しているのでしょうか？本研究は、視覚障がい者の身体的な脳の情報表現に着目し、視覚を失った脳が、身体感覚（固有感覚）を活用して空間認知や運動制御を実現する脳内機構の解明を目指します。

### 小さな脳による多感覚システムを用いた標的認識の制御機構

石川 由希

名古屋大学 大学院理学研究科 講師  
同上



動物は複雑な環境の中で特定の標的を認識する能力を持っています。本研究は、その一つである昆虫の訪花行動に焦点を当て、彼らが小さな脳でどのように花を認識しているかを明らかにします。訪花性ショウジョウバエに遺伝学的なツールを導入し、花への標的認識に用いる感覚やシグナル、シグナル検出に寄与する神経機構を特定します。また、感覚入力を再現することで、複数の感覚を統合する神経機構を理解することを目指します。

### 養育行動を引き起こす多感覚統合機構の解明

田坂 元一

理学研究所 生命機能科学研究センター 上級研究員  
理学研究所 生命機能科学研究センター 研究員



動物は常に多様な感覚刺激に晒されており、脳は感覚情報を元に意思行動決定を行います。一方で、中枢において複数の感覚刺激がどのように意思決定プロセスに影響を与えるのかはよくわかっていません。本研究では、仔から発せられる複数の感覚刺激によって引き起こされる養育行動をモデルとして、脳深部を含む多領域からの大規模なニューロン群の活動記録により、中枢における多感覚モダリティの統合メカニズムの解明を目指します。

### 人工神経ネットワークによる完全皮膚型触覚センサ

石塚 裕己

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教  
同上



触覚情報の記録や理解に向けて、皮膚と感覚神経及び知覚メカニズムを工学的に再現した皮膚型完全触覚センサの開発に取り組みます。まず、皮膚の構造と感覚神経を工学的に密接に再現した触覚センサを作製します。次に、センサ応答を感覚神経の応答に近付けるための信号処理方法を開発し、FPGAに実装します。最後に、触覚センサが人間と同じ知覚能力を有することを確認し、得られたデータを分析します。

### 情動が制御する側頭葉の感覚ゲーティング機構を探る

大原 慎也

東北大学 大学院生命科学研究所 准教授  
東北大学 大学院生命科学研究所 助教



我々の脳は、感覚器を通して受け取った外界の情報を側頭葉で連立し、記憶として保存します。しかし、膨大な感覚入力情報のうち、記憶として残るのは生存に必要なごく一部の情報に限られます。本研究の目的は、この情報の取捨選択に関わる、側頭葉の感覚ゲーティング機構を明らかにすることです。また、気分や情動に関わるモノアミン神経伝達物質に着目することで、情動による感覚ゲーティングの制御メカニズムの解明を目指します。

### 後天的食嗜好の形成を担う新規腸脳軸の解明

中島 健一郎

名古屋大学 大学院生命科学研究所 教授  
自然科学研究機構 生理学研究所 准教授



味や食物の好みは、先天的に決まっているのではなく変化します。しかし、元々好きでないものを後に好きになる仕組みは未だよくわかっていません。本研究では、全ての動物のエネルギー産生において必須なビタミンB1の感知を担う新規腸脳軸（腸→求心性迷走神経→脳幹→高次中枢）に注目し、その実態を明らかにします。また、それを基に、後天的食嗜好形成のトリガーとして働く神経細胞やメカニズムの特定を目指します。

### 多感覚情報から「気づき」をもたらす脳回路の探索

小山 佳

脳科学研究機構 脳神経系 脳神経学 主任研究員  
脳科学研究機構 脳神経系 脳機能イメージング部 研究員



本研究は、霊長類モデル動物（サル）を用いて、多感覚から生じる環境の予測、変化の気づき、柔軟な行動の切り替えという一連の神経基盤の理解を目指す。特に、多感覚情報が収斂する前頭眼窩野の機能に着目し、感覚皮質から前頭眼窩野、前頭眼窩野と皮質下神経核との相互連絡による情報処理の役割を特定することで、感覚野—前頭連合野、および前頭連合野—皮質下領域における情報処理機構の新たな機能モデルの構築を目指す。

### 呼吸による情報処理の揺らぎが与える多感覚認知への効果

國松 淳

筑波大学 医学医療系 助教  
同上



スポーツ選手が大切な場面で「息を整える」ように、私たちは呼吸を操作することで無意識に感覚を研ぎ澄ましているのかもしれませんが、本研究では、呼吸リズムが多感覚認知にもたらす影響を詳細に明らかにするとともに、その脳内メカニズムを神経回路レベルで解明することを目的とします。これによって、感覚情報処理のアルゴリズムに呼吸という新しい概念を付加し、感覚の感受性を人為的に操作する新しい技術の創出を目指します。

### 嗅皮質情報統合地図の構築とその応用

眞部 寛之

奈良県立医科大学 医学部 准教授  
同志社大学 研究開発推進機構 准教授



感覚入力を行動出力に変換する機構の詳細は不明です。本研究は嗅覚系に着目し、個々の嗅皮質領域が、それぞれ特異的様式で匂い入力とトップダウン入力を連合するという仮説をすべての嗅皮質領域で検証し、嗅皮質情報統合地図を構築します。次に、情報統合地図内の回路動作と行動出力の因果関係を明らかにします。そして、匂いを行動に変換する嗅皮質機能の解明から、多感覚ネットワーク機構の共通原理の解明をめざします。

### ストレス適応の新規神経基盤—ストレスホルモンによる感覚系ドパミン回路の調節—

木村 生

北海道大学 大学院薬学研究院 准教授  
慶應義塾大学 医学部 特任助教



生物にはストレスに対抗する力「ストレス適応力」が備わっています。この力が上手く働かないと、生物はストレス不応答状態に陥り、脳・消化器・循環器など、体の様々な部位で病が生じます。本研究では、多感覚刺激の処理に特化した感覚系ドパミン細胞とストレスホルモンとの関係を明らかにすることで、ストレス適応力の神経メカニズムを解明すること、ストレス不応答症の成り立ちの理解を深めることを目標とします。

### 感覚器—末梢組織間の革新的神経回路解析法の開発

近藤 邦生

鳥取大学 医学部 准教授  
自然科学研究機構 生理学研究所 助教



私たちの体は、外界の変化に対して体内の生理状態を安定に保つ「恒常性」を持ちます。恒常性では、脳が感覚器からの情報を用いて末梢組織の機能が調節しますが、感覚器から末梢組織まで情報が伝えられるメカニズムはよくわかっていません。本研究では、感覚器・脳・末梢組織の間の情報のやり取りを担う神経回路の解析を可能にする新しい研究手法を開発し、エネルギーの恒常性が制御される仕組みを明らかにします。

### 自発的な低代謝状態torporを生み出す多感覚システム

山口 裕嗣

自然科学研究機構 生理学研究所 助教  
名古屋大学 環境医学研究科 特任助教



本研究では、寒冷環境で絶食させたマウスが一時的に体温を大きく下げてtorporに入ることをモデルとして、ウィルスドレーシング技術、インビボ遺伝子編集技術、光遺伝学などの最新の神経科学的ツールを用いて、torporを制御する生体多感覚システムの作動原理の解明を試みます。

### 多感覚の統合による文脈記憶と行動制御機構の解明

後藤 明弘

京都大学 白眉センター 特定准教授  
京都大学 大学院医学研究科 助教



私たちは視覚、聴覚、触覚等の様々な感覚を統合することによって、出来事の“文脈”を記憶します。このような多感覚の記憶は文脈記憶と呼ばれ、複雑な環境を識別して行動するために重要です。本研究では、多感覚が脳内で文脈記憶として統合され行動へ反映される機構を細胞レベルで解析するため、それらを支える神経活動を同時にかつ長期間的に計測、操作することが可能な新たなファイバー内視顕微鏡と光遺伝学を開発、応用します。

## 多次元計測による霊長類の多感覚コミュニケーション機構の解明

小松 三佐子

東京科学大学 総合研究院 特任准教授  
東京工業大学 科学技術創成研究院 特任准教授



コミュニケーションは単に自分の意思を相手に伝えるだけでなく、社会とかかわり自己を確立するために重要ですが、その脳内機構の解明には至っていません。本研究では、小型の霊長類であるマーマセットを用いた大規模神経活動計測技術と自由行動下の行動・生理指標解析との融合により、霊長類の多感覚コミュニケーション脳内基盤の解明を試みます。

## 革新的イメージング技術による脳陽相関メカニズムの解明

市木 貴子

新潟大学 大学院医歯学総合研究科 研究准教授  
新潟大学 大学院歯学総合研究科 助教



脳と陽が互いに影響を及ぼし合う脳陽相関のメカニズムは不明な点が多く残されています。例えば、炎症性腸疾患は、うつ病の原因となりますが、そのメカニズムは明らかになっていません。本研究では、独自に確立した *in vivo* イメージング技術を用いて、包括的・網羅的な内臓感覚の観察を可能にし、消化管への病態生理的刺激が情動行動に影響を与える神経基盤を明らかにすることで、脳陽相関メカニズムの解明を目指します。

## 匂いから色を連想する脳の仕組み

木下 充代

総合研究大学院大学 統合脳科学研究センター 准教授  
総合研究大学院大学 先端脳学研究所 准教授



アゲハチョウの脳にある学習・記憶の場として研究されてきた多感覚領域—キノコ体—で、“色と匂い情報の統合と適応的な色情報の抽出”の神経機構を明らかにすることを目指します。キノコ体内では、内在神経に入った視覚と嗅覚の情報が、出力細胞と傘部にフィードバックする抑制細胞に受け渡されます。そこで、キノコ体の神経ネットワークを巨視的に解明した上で、各神経における匂いと色情報の符号化を明らかにしていきます。

## 感覚運動介入系を用いた多感覚システム構造の解明と工学応用

志垣 俊介

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 助教  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教



本研究では、仮想現実を用いた神経行動学実験、情報熱力学的解析、計算論的神経科学及びデータ駆動型モデリングを相補的・段階的に実施することで、昆虫の多感覚入力に対する状況適応的な運動生成過程の解明を目的とします。成果の帰結として、自律移動ロボットを基盤とした人工システムに再構成することで、昆虫のように不確実性の高い環境に対しても柔軟かつ、適切に動作可能なロボットシステムとして社会実装を目指します。

## 多感覚情報を統合する神経回路構造の解明

太田 桂輔

東京大学 大学院医学系研究科 助教  
同上



脳内の情報処理メカニズムを理解するためには単一神経細胞の活動記録と、その背後にある神経回路の同定が欠かせません。本研究では大規模な神経活動計測の結果に基づいた神経回路構造の仮説を立てます。2光子励起顕微鏡により生きた動物の脳から神経活動を記録し、さらに単一神経細胞レベルで神経回路を同定します。一次感覚野、そして連合野で提案仮説を検証し多感覚情報の統合機構の解明を目指します。

## 多感覚システムによるストレス応答の多様性と情動制御機構の解明

勢力 薫

大阪大学 大学院薬学研究科 助教  
大阪大学 大学院薬学研究科 特任助教(常勤)



ストレスにはさまざまな種類や強度があり、脳の活動や行動選択に異なる影響をもたらすと考えられます。本研究では、細胞種選択的なウイルスベクターやイメージング技術駆使して、ストレスの種類や強度に応じた脳全体の活動変化や、さまざまな種類の神経細胞の活動動態を捉えることにより、ストレス情報がどのように処理・統合されることで生体反応や情動関連行動に多様性が生じるのかを明らかにします。

## 身体情報の多角計測による社会性構築メカニズムの解明

白松 知世

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教



個体間の社会的関係、すなわち社会性は、複雑な多感覚情報処理で支えられています。特に、脳の情報処理や自律神経系を反映するような、意識に上らない生体シグナルが、どのように社会性構築に影響するかは大きな問いです。本研究は、個体の内部状態を反映し得る生体シグナルや運動のゆらぎを多角的に計測する系を動物モデルで構築し、多感覚情報処理を介した社会性構築の例として、音楽による社会性強化メカニズムを解明します。

## 脳半球の対称性を崩す多感覚受容

岡本 和樹

順天堂大学 大学院医学研究科 助教  
順天堂大学 大学院脳神経学講座 助教



左脳と右脳は対称的に配置されながら、非対称的な機能を発現します。この機能非対称性の成り立ちは未だ明らかにされていません。本研究では、脳の左右非対称性が「経験」に基づいて形成されていくことに着目し、「多感覚入力の左右差」に原因があるのではないかと仮説を立て、左右半球への入力バランスを導入します。そして、機能非対称性の代表的な例である「利き手」成立への影響を検証していきます。

## 意識的な知覚認知系と無意識的な身体運動系の脳内インタラクション

林 拓志

東京大学 大学院教育学研究科 助教  
同上



ヒトが外界から感覚情報を取得し行動を実行するという一連の感覚運動ループでは、意識的な知覚認知系と無意識的な身体運動系という2つの異なるシステムが脳内で同時に駆動されていると考えられます。本研究では、これらの情報処理プロセスの間にどのような乖離があるのか、また、それがどのような脳内インタラクションを経て、知覚と行動の一貫性が保たれているのかを解明することを目的とします。

## 多感覚システムから多層的自己が立ち上がる機構の解明と応用

鳴海 拓志

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
同上



本研究の目的は、多感覚システムから多層的に自己が立ち上がるメカニズムを解明することです。そのために、身体的自己、身体イメージ、物語の自己という階層の異なる自己の関係を表す神経科学的にも妥当な計算モデルを構築し、VRを活用した基礎研究と自己認識の不適合状態を評価・改善する応用研究の両輪を通じてモデルの検証と改善をすすめ、多層的自己の認識・形成に関する妥当性の高いモデルを確立することを狙います。

## 行動の初期発達を支える全身多感覚への注意機構

金沢 星慶

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 特任助教



私たちは視覚や触覚、あるいは固有感覚などの様々な感覚を受けてそれらの情報を取捨選択しながら行動しますが、その処理過程はほとんど意識していません。このような無意識の多感覚処理は発達の早い段階で獲得されると考えられます。本研究では生後数か月までの赤ちゃんを対象に、多感覚と行動の計測手法および注意機構に着目した行動モデルを開発することで、行動獲得における多感覚統合過程を理解することを目指します。

## 多感覚グルーブ感創発の機序解明と音楽芸術表現への応用

藤井 進也

慶應義塾大学 環境情報学部 准教授  
同上



ヒトは音楽のリズムを聴くと、手拍子したり、ダンスしたり、喜びを感じて自然と身体を動かすことがあります。このような音楽を聴いて快情動や運動意欲が生じる感覚は、グルーブ感と呼ばれます。本研究では、グルーブ感を多感覚現象として捉え、グルーブ感のあるリズム演奏の特徴を解明し、グルーブリズム演奏を自動生成するシステムの開発・検証に取り組みます。また研究成果を応用し、新たな音楽芸術表現の創作を行います。

## シンバイオティックセンシングによる脳機能修飾メカニズムの解明

宮島 倫生

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
慶應義塾大学 医学部 特任講師



我々の腸には1000種類以上もの共生細菌が定着しており様々な生理機能に影響を及ぼしています。本研究課題では不明な点が多く残されている共生細菌が脳に及ぼす影響、なかでも脳機能の発達や脳の発生過程に及ぼす影響を明らかにすることを試みます。特に共生細菌が多感覚システムや多感覚統合プロセスの発達に及ぼす影響に焦点を当て、そのメカニズムについて共生細菌感知メカニズムを含めて明らかにすることを目指します。

## 小脳の全脳予測による運動・認知・情動の計算論

河合 祐司

大阪大学 先端の学際研究機構 准教授  
同上



小脳は大脳皮質の様々な領域と密な結合を有しており、小脳の予測能力は非運動性機能にも貢献している可能性があります。本研究は、小脳の予測能力が大脳皮質のダイナミクスにも全脳的に適用され、局所領域のダイナミクスを安定化し、異なる領域のダイナミクス間の協調を実現するという仮説を提案し、計算機シミュレーションを通して、運動・認知・情動に影響を与える小脳・大脳連関の多感覚システム機構を計算論的に解明します。

## 高速な意思決定を司る神経計算機構の解明

藤原 輝史

理化学研究所 認知研究本部 理研白脳研究チームリーダー  
同上



本研究では、3つの画期的なアイデアを採用することで、研究者自身のこれまでの研究や先行研究と一線を画した新しい行動・神経活動計測実験系を強力な遺伝子生物モデルショウジョウバエにおいて確立します。そして、多感覚を用いた運動制御と高速な意思決定の神経機構の解明という難題解決に向けて飛躍的な進歩をもたらします。

# 植物分子の機能と制御

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2020-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2020-2.html)

戦略目標

革新的植物分子デザイン



研究総括  
西谷 和彦  
神奈川大学 理学部 特任教授

## 領域アドバイザー

有田 正規	情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 教授
遠藤 求	奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス領域 教授
小笠 栄一郎	サントリーグローバルイノベーションセンター(株) 研究部 主幹研究員・研究スペシャリスト
高野 義孝	京都大学 大学院農学研究科 教授
高林 純示	京都大学 生態学研究センター 名誉教授
萩原 伸也	理化学研究所 環境資源科学研究センター チームリーダー
松井 健二	山口大学 大学院創成科学研究科 教授
村中 俊哉	大阪大学 大学院工学研究科 教授
森田(寺尾) 美代	自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授
山崎 真巳	千葉大学 大学院薬学研究院 教授

## 研究領域概要

本研究領域は植物分子（植物由来化合物及びその関連遺伝子）を軸として、生体内及び生態系内の生命現象の解明と、その有効利用に資する基礎的知見の創出と革新技術の構築に向けた研究を推進します。この目的のために「生体内における植物分子の機能と制御」、「生態系内における植物分子の機能と制御」、「植物分子の探索と設計・制御技術の開発」の3つを領域の柱とし、異分野の連携・融合を積極的に進めます。具体的には、分子生物学や細胞生物学、生態学、植物病理学などで用いられてきた従来の手法に加えて、近年特に発展を遂げた計測・分析技術、比較ゲノム解析やオミクス解析等を含むバイオインフォマティクス、合成生物学、天然物有機化学や有機合成化学などの化学的手法を駆使しながら、モデル植物のみならず、農業用作物や薬用植物、それ以外の多様な植物を対象にして、植物分子の機能と制御に関する新しい概念を創出し、その活用に向けた基盤技術の創出を目指します。

## ゲノム・遺伝子倍化が駆動する植物分子の新機能の探索とデザイン

赤木 剛士

岡山大学 学術研究環境生命自然科学学域 教授  
岡山大学 大学院環境生命科学研究科 准教授



植物は進化の中で系統特異的なゲノム・遺伝子倍化を頻りに繰り返しており、多くの「各植物種を代表する独自の形質」は、この系統特異的な倍化に由来します。しかし、植物倍化遺伝子群の潜在的な新機能の大部分は未開拓であり、本研究では、ツツジ目果樹作物・トマトのゲノム進化に着目し、系統特異的なゲノム・遺伝子倍化に駆動され適応進化の中で独自に形成された新規機能分子の網羅的探索を行い、作物への実装を目指します。

## 低分子化合物から読み解く植物細胞の分化全能性

岩瀬 哲

理化学研究所 環境資源科学研究センター 上級研究員  
理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員



私たちヒトは植物の高い再生能力を利用して生活を豊かにしていますが、どのような分子機構が再生現象で働いているのか、理解の途中にあります。本研究では、植物細胞の分化全能性や多能性発現に関わる低分子化合物をメタボローム解析やスクリーニング手法によって単離し、植物の組織や胚の再生における役割を明らかにします。得られた知見を応用し、再生が困難な有用植物の組織培養効率を上げる手法の開発を目指します。

## 細胞壁-クチクラ連続体の理解とその応用

大島 良美

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 主任研究員  
同上



植物を環境や外敵から保護するクチクラは細胞壁の外側の脂質層と考えられてきました。本研究では、クチクラを細胞壁との境目がない「細胞壁-クチクラ連続体」としてとらえ、新たに、物理化学的手法による生きたままの構造解析、表皮細胞壁の分析を試みます。クチクラ解析手法も駆使して、クチクラ及び細胞壁成分が変化した遺伝資源を解析し、細胞壁-クチクラ連続体形成の分子機構の解明、植物表面改変技術の開発を目指します。

## 新規植物分子によるAM菌培養技術の開発と共生制御の解明

亀岡 啓

中国科学院 分子植物科学卓越创新中心 グループリーダー  
東北大学 大学院生命科学研究所 助教



アーバスキュラー菌根菌 (AM 菌) は植物に無機栄養を供給するため、生物肥料としての活用が期待されています。しかし、AM 菌の培養効率が悪いことが農業利用拡大の障害になっています。未知の植物分子が AM 菌の増殖を促進する可能性を見出したことから、本研究では、この植物分子を単離して、植物分子を用いた高効率な AM 菌培養系を確立するとともに、この植物分子の共生における機能の解明を目指します。

## 植物と昆虫の共生・寄生の分子メカニズムを解く

平野 朋子

京都府立大学 大学院生命環境科学研究科 准教授  
京都府立大学 大学院生命環境科学研究科 特任助教



本研究では、「共生・寄生は、互いが持つ共通分子によって成立する」という新規に提唱した仮説を検証します。異種高効率生物間相互作用において、最も高度な共生・寄生の例である「虫ごぶ」形成を題材に、虫ごぶ誘導昆虫が分泌するエフェクターを探索し、これらが、どのように植物の虫ごぶ遺伝子発現プログラムを操作しているかを解明します。

## 根冠の組織形成が創発する根の防御応答の時空間制御とその動態

宮島 俊介

石川県立大学 生物資源環境学部 講師  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教



本研究では、根の先端部にある根冠において、そのユニークな組織形成と、防御二次代謝産物の代謝という細胞機能を統御する分子機構を解明し、根冠が発動する根の病害抵抗反応の実体を暴きます。特に、蛍光寿命イメージングにより、根冠細胞内での防御二次代謝産物を産生する酵素複合体「メタボロン」の形成動態とその制御系に焦点を当て、植物の病害抵抗反応の時空間動態を読解し先駆的な研究目標を達成します。

## 収斂進化の理解に基づく植物特化代謝のデザイン

棟方 涼介

京都大学 生体情報学 助教  
同上



植物が作る多様な特化代謝産物は、未来の持続可能な社会を支える天然資源として期待され、更なる活用に向けた生産技術開発が求められています。本研究では、遠縁な植物系統が同一の特化代謝産物を生産する点に着目し、遺伝的に多様な生成・分泌・蓄積能の獲得に繋がる収斂進化を検証します。その知見を基に、収斂進化で生じた遺伝的多様性を異種生物に集約して植物特化代謝産物の生産系を構築する、革新的代謝設計に挑戦します。

## ポリアミンの新合成反応開発と気孔活性植物分子の創出

村上 慧

関西学院大学 理学部 准教授  
名古屋大学 トランスオーム・バイオテクノロジー研究センター 特任准教授



本研究では、生物活性分子としてのポリアミンに着目し、有機化学を基盤として植物の気孔に作用する分子開発を行います。有機合成化学の手法を駆使することにより、新たな遷移金属触媒と光触媒反応の開発を進め、従来の手法では合成が困難な骨格をもつポリアミン誘導体を簡単にそして大量に合成します。合成した分子については気孔に対する生物活性を調査し、シームレスにケミカルバイオロジー研究へと展開します。

## 花粉を用いた「細胞間移行RNA分子」の解析とそれを利用した遺伝子改変

元村 一基

立命館大学 生命科学部 助教  
立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構 助教



本研究では、花粉を材料として用い、細胞間を移行する RNA 分子とその移行を制御するタンパク質分子に着目して研究を進めます。そしてこのタンパク質が既知の RNA 細胞間移行にも関与するのかを解析します。加えて本研究で得られた知見から、植物の遺伝子改変技術に資する人工精細胞移行性 RNA 分子を設計して、作物を含む多くの種子植物に適用可能な、精細胞を利用した高効率な遺伝子改変技術の実現を目指します。

## 植物生合成酵素の機能改変と物質生産系の確立

森 貴裕

東京大学 大学院薬学系研究科 准教授  
東京大学 大学院薬学系研究科 助教



植物分子生合成の「解析・改変・利用」を目的とし、生合成鍵酵素やその複合体の立体構造解析、酵素反応の人為的制御、高効率有用物質生産系の構築を行います。具体的には、生合成酵素群の立体構造を基盤とした変異導入により酵素の機能を改変し、設計した合成基質などと組み合わせることで非天然型新規化合物群を創出します。また、微生物、植物において酵素群をコンパートメント化した、効率的物質生産系を確立します。

## 比較ゲノミクスを基盤とする免疫受容体ネットワークの解明とデザイン

安達 広明

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教



植物は多様化した免疫受容体がつくる分子ネットワークを利用することで、多種多様な病原体を認識し、免疫応答を誘導します。本研究では、病害抵抗性を示す植物種のゲノム情報から有用な免疫受容体遺伝子を発掘し、機能予測及び機能評価を進め、免疫受容体ネットワークの全容を解明します。そして、その成果を免疫受容体ネットワーク活用型の新規抵抗性技術の開発に繋げます。

## 植物寄生性線虫の感染をモデルとして植物の細胞融合の謎に迫る

大津 美奈

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教  
John Innes Centre Genes Department Postdoctoral Fellow (JSPF特別奨励金)



細胞壁のある植物細胞では、細胞融合は殆ど起こりません。しかし、驚くべきことに植物に寄生する線虫の一種であるシストセンチュウは、植物細胞に細胞融合を誘導し、巨大な多核の栄養貯蔵細胞「シンシウム」を作らせます。本研究では、シロイヌナズナとテンサイシストセンチュウをモデルに、細胞融合過程のライゼンセル解析や感染細胞の単一細胞多オミクス解析を組み合わせて、植物の細胞融合メカニズムの解明に挑戦します。

## 「擬態する花」に着目した昆虫操作の物質・遺伝基盤解明

奥山 雄大

国立科学博物館 植物研究部 研究主幹  
同上



本研究では花ではないものに擬態する「擬態花」をつける「カンアオイ属」と「テンナンショウ属」計100種以上の栽培個体コレクションを用い、花の香り、誘引される昆虫、トランスクリプトームの網羅的データセットを作成します。これらのデータ間の相関関係を解析した上で実証実験を行い、物質・遺伝子・生態をつなぎます。これにより強力な昆虫操作のメカニズム、植物の潜在的な物質生産能力に関する理解の変革を目指します。

## 生殖障壁としてのクチクラ層の分子機能の解明

加藤 義宣

東京大学 大学院農学系生命科学研究所 助教  
同上



被子植物は花粉をやり取りして種の遺伝的多様性を維持しています。花粉が雌蕊の先端（柱頭）に付着すると花粉の認証が行われ、適合しない花粉は花粉管を伸ばすことができません。本研究では、柱頭の外側を覆うクチクラと呼ばれる脂質成分の層が関わる花粉認証の仕組みを明らかにします。さらにこの認証機構を人為的にコントロールする手法の確立を通じて、園芸・育種開発の拡張に繋がる基盤技術の創生を目指します。

## 計算化学を用いたテルペン環化酵素と酸化酵素の反応機構解析と機能改変

佐藤 玄

山梨大学 大学院総合研究部 特任助教  
同上



二次代謝産物の構造多様性は、骨格構築酵素と修飾酵素の組み合わせによって産み出されます。本研究では、テルペン環化酵素と鉄依存性酸化酵素をそれぞれモデルとして取り上げ、量子化学計算と実験化学の両輪を駆使して詳細な反応機構解析を行い、構造多様性創出メカニズムを明らかにすることを目的とします。さらに、計算結果に基づいた酵素の機能改変により、新規骨格を有する新たな植物分子の創出を目指します。

## 情報分子が拓く植物による菌根菌への寄生能力獲得と制御

### 末次 健司

神戸大学 大学院理学研究科 教授  
神戸大学 大学院理学研究科 准教授



これまで菌根共生の進化的生態学的研究では、植物と菌根菌が互いに良いパートナーを選別できることが前提とされており、菌根菌に寄生する植物がどのように出現したのかは、大きな謎でした。本研究では、同一植物種において独立栄養性と菌従属栄養性の個体を自在に作出できる培養系と野外サンプルを用いた収斂解析で得られる知見を統合し、分野横断型のアプローチで、植物が菌根菌を騙すことを可能にしたメカニズムに迫ります。

## 植物修飾分子による多面的機能のテイラーメイド制御

### 相原 悠介

神戸大学 大学院理学研究科 准教授  
名古屋大学 大学院理学研究科 研究員



植物が産生する高反応性分子を「植物修飾分子」と定義します。アブナ目植物の植物修飾分子イソチオシアネート(ITC)を題材として、植物における多面的な標的タンパク質と生理機能を解明します。標的特異性を決定づけるITCの作用機構を分子構造レベルで解明し、生理作用ごとに最適化されたテイラーメイドITCを創出します。これを基に、有用な植物機能を亢進させる、植物修飾分子のテイラーメイド制御技術を確立します。

## オーキシン極性輸送をモデルとした体軸の形成・維持機構の解明

### 榎本 悟史

北海道大学 大学院理学研究科 准教授  
北海道大学 大学院理学研究科 助教



オーキシンの極性輸送は、植物の形態形成を制御する重要な現象ですが、その輸送方向はオーキシン排出担体PINの細胞における偏在化で規定されます。本研究では、PINが細胞膜上で形成する新奇複合体様構造に注目した研究を行うことで、従来のモデルに代わる新しい細胞極性・体軸形成モデルを提案します。本研究は、オーキシンをはじめとした植物分子の輸送方向をデザインする基盤技術の創出に繋がる可能性があります。

## 生態系内における多成分揮発性植物分子の時空間イメージング

### 関本 奏子

横浜市立大学 大学院生命システム科学研究所 准教授  
同上



アレロパシーは、植物が体内で生産した代謝物を大気中や土壌中に放散させ、周囲の生物に影響を及ぼす現象です。その代謝化合物は多数あり、我々にとって有用なものも多いため期待されますが、極微量かつ多様な揮発性物質の捕捉や効果検証は難しく、ほとんど未発掘です。そこで本研究では、揮発性植物分子の放出特性や生態系内での時空間的動態を網羅的に分析・可視化する技術を開発し、新規アレロパシー探索の基盤を確立します。

## 植物のストレス応答分子機構を利用した人工受容体の創出

### 加藤 大明

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
京都大学 大学院農学研究科 特定研究員



植物は細胞膜の受容体を使って病原菌の存在を認識し、感染に対する防御応答を誘導します。本研究では、スフィンゴイド塩基受容体に着目し、この受容体がどのようにスフィンゴイド塩基をとりあてているかを詳細に解析します。次に、この受容体の仕組みを改造して、あらかじめ物理的な刺激を与えたときに植物が病原菌の攻撃に対して備えることができる「人工受容体」の創出に挑戦し、将来の作物の新規防除技術の開発に貢献します。

## 機械刺激センサーであるトライコームの分子基盤の解明と応用

### 野元 美佳

名古屋大学 遺伝子実験施設 講師  
同上



植物葉面の毛状突起(トライコーム)は、雨によって負荷される機械刺激を感知すると、周辺組織でカルシウムウェーブ依存的な免疫を活性化します。本研究では、トライコームのマルチオミクス解析と微細構造解析によって、その制御を担う植物分子を同定し、機械刺激受容センサーとしての特徴付けを行います。機械刺激の情報伝達経路を明らかにし、感染リスクの上昇に伴い自律的に疾病防除能を強化することのできる植物を作出します。

## 二酸化炭素濃度を感知する植物細胞内装置と作用分子

### 高橋 洋平

名古屋大学 トランスオーム・デザイン生命科学研究所 特任准教授  
University of California, San Diego Division of Biological Sciences Assistant Project Scientist



本研究では、植物がどのように二酸化炭素の濃度変化を感知するのかを解明するため、植物・大気間のガス交換の90%以上を担う気孔に焦点をあて、二酸化炭素を感知して気孔閉鎖を引き起こす未知の細胞内情報伝達装置に生化学・分子遺伝学・ケミカルバイオロジーを駆使した複合的アプローチで迫ります。さらに、植物の二酸化炭素取り込みの促進や水利用効率の改善に繋がる革新的新規化合物の単離と活用を目指します。

## 一細胞／一核RNA-seq解析による異形細胞の遺伝子発現アトラス

### 白川 一

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教  
同上



植物は、二次代謝産物やタンパク質等の有用分子を異形細胞に高蓄積しています。異形細胞の分化メカニズムの理解や遺伝子発現アトラスの作製は、有用植物分子の生合成経路・大量生産・蓄積機構の理解につながります。本研究では、一細胞／一核RNAシーケンシングにより異形細胞の遺伝子発現アトラスを作製します。その知見をもとに、有用植物分子の生合成経路や大量蓄積機構を人為的に操作する技術の開発を行います。

## 植物の免疫シグナル因子を逆手に取った病原菌の宿主認識機構

### 深田 史美

岡山大学 資源植物科学研究所 助教  
同上



植物が病原菌を認識すると、ペプチドなどのDAMPsと呼ばれる物質を放出し、それを受け取った植物細胞の免疫を強化します。本研究では、「植物が放出するDAMPsが、実は病原菌によって認識され、病原力を高める因子として利用されている」という、新しい植物-病原菌相互作用のモデルを提唱し、実証に挑みます。本成果により、病原菌のDAMPs認識による病原力発揮機構を標的とした新規農業開発への貢献を目指します。

## 「発芽スイッチ」の構築：厳密な種子休眠維持機構の解明と応用

### 福井 康祐

東京理科大学 理学部第一部 准教授  
岡山理科大学 理学部 講師



雑草など野外で生きる植物は、不利な環境下での発芽を回避する休眠維持機構を備えています。本研究では、この休眠の維持に関わる遺伝子を明らかにするとともに、どのような化学的誘導で休眠が打破され発芽へと向かうのかを解明します。これらを活用し、休眠の維持を可能にする遺伝子の利用と、休眠を打破する化合物の創製を通じて、厳密な種子の休眠から発芽へと切り替え可能な「発芽スイッチ」の構築を目指します。

## 特化代謝のリサイクル経路がもたらすC/N/S循環システムの理解

### 杉山 龍介

千葉大学 大学院薬学研究所 助教  
シンガポール国立大学 理学部 Visiting Research Fellow



植物は外敵や環境ストレスから身を守る手段として特化代謝産物を生産します。本研究では、これまで「代謝の終着点」と考えられてきた特化代謝産物が植物体内で分解・リサイクルされている可能性に着目し、その分子メカニズムの解明を目指します。特に炭素・窒素・硫黄のリサイクル反応に焦点を当て、成長と環境適応の栄養バランスや有用生理活性物質の生産を制御する、新しい戦略ターゲットとしての利用にも取り組みます。

## 植物の細胞極性を制御する分子基盤の解明

### 吉成 晃

名古屋大学 高等研究院 特任助教  
同上



陸上植物の形態や機能を制御する様々な分子は、細胞内の特定の場所に配置されたり細胞外での特定の場所に分泌されたりすることで、その機能を発揮します。本研究では、植物分子が偏在するために重要な「細胞極性」がどのように形成・維持されるのかを、極性プロテオミクス、ケミカルジェネティクス、そして極性スイッチの3つの切り口から解析し、解き明かします。

## 発現制御機構の多様性に基づく植物特化代謝の生産制御

### 山田 泰之

神戸薬科大学 薬学部 講師  
神戸薬科大学 薬学部 助教



植物は様々な特化代謝産物を作り、その一部は医薬品などに利用されています。しかし、資源の枯渇なども懸念されており、持続的な天然資源の管理・供給方法の確立が求められます。本研究では、植物が獲得した多様な特化代謝生成系と、それらを制御する転写因子の機能獲得と多様化に着目し、その関連性の解明に取り組みます。それら知見を基に、代謝フローの選択的増強といった革新的な物質生産制御系の構築を目指します。

## 全身獲得抵抗性／感受性間のスイッチングシステムを解く

### 館田 知佳

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教



植物と病原体は、病原体の存在している植物組織のみならず、存在していない非感染組織においても、植物体内を長距離輸送される植物分子を利用して、生存をめぐる攻防を繰り広げています。本研究では、病原体との攻防戦の過程で非感染葉で惹起される全身獲得抵抗性と感受性誘導システムに焦点を当て、そのスイッチングメカニズムを解き明かすことで、両システムを農業に利用するための研究基盤の構築を目指して研究を行います。

## 植物生長制御に寄与するアポカロテノイドの包括的理解

### 若林 孝俊

東京大学 大学院農学生命科学研究所 助教  
神戸大学 大学院農学研究科 助手



カロテノイドの開裂により生成するアポカロテノイドは、植物体内だけでなく生態系内でも作用する多様な機能を有します。本研究では、アポカロテノイドの一大グループを形成し、多様な構造と機能を持つストリゴラクトンに着目します。未だ未解明である枝分かれ抑制ホルモンの化学的本来の同定をはじめとして、個別のストリゴラクトン分子が有する機能の追求を通じて、アポカロテノイドの分子機能の包括的理解を目指します。

# 細胞の動的な高次構造体

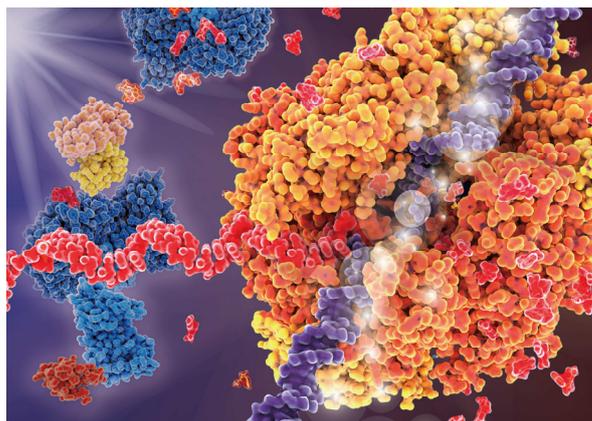
[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2020-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2020-1.html)

戦略目標

細胞内構成因子の動態と機能



研究総括  
野地 博行  
東京大学 大学院工学系研究科 教授



## 領域アドバイザー

伊藤 秀一郎	第一三共(株) 研究開発本部 研究統括部 研究イノベーション推進部 研究推進第一グループ 主席
内橋 貴之	名古屋大学 大学院理学研究科 教授
岡田 康志	理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー
加藤 貴之	大阪大学 蛋白質研究所 教授
神谷 真子	東京科学大学 生命工学院 教授
白木 賢太郎	筑波大学 数理物質系 教授
杉田 有治	理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員
南後 恵理子	東北大学 多元物質科学研究所 教授
林 重彦	京都大学 大学院理学研究科 教授
前多 裕介	京都大学 大学院工学研究科 教授
村田 武士	千葉大学 大学院理学研究科 教授
望月 敦史	京都大学 医生物学研究所 教授

## 研究領域概要

細胞が示す多彩な機能は、分子複合体からオルガネラに至る動的な高次構造体によって支えられています。本研究領域は、そのような動的な高次構造体の性質を分子の視点に基づいて解析し、機能発現の普遍的メカニズムの解明を目指します。

近年、ライフサイエンス分野では、分子から分子複合体、オルガネラ、細胞にわたる階層間での生命現象の理解が飛躍的に進展しようとしています。例えば、オルガネラの内外を区別する境界は脂質二重膜によって定義されることが一般的であると考えられてきましたが、細胞内相分離現象によって生体分子が自己集合した膜のない構造体やオルガネラを形成する例が多数報告されています。技術においても、超解像顕微鏡や分子特異的プローブの発展により高時空間分解能の画像が得られるようになり、動的な高次構造体の微細構造が観察できるようになりました。このような新たな知見は、生物学のみならず物理学や化学などの概念が契機となって生み出されていることが多いことから、今後も異分野融合研究の推進により新概念の提唱や新技術の創出が期待されています。

以上を踏まえ、本研究領域は、高い時空間分解能で細胞内の動的な高次構造体を計測する手法を開発するとともに、数理的解析や理論的考察も加え、生命機能の発現・制御のメカニズム解明を目指します。

## 繊維の運動機構の原子レベルでの解明

市川 宗蔵

徳島大学 生命科学部 テニュアトラックフェロー  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教



本研究では、クライオ電子顕微鏡法による高空間分解能の構造解析手法を、プロテオーム解析や構造モデリングなどの手法と組み合わせることで、繊維の軸糸9+2構造全体の原子モデルを得ます。得られた原子モデルを用いて分子動力学シミュレーションを行うことで、繊維構造の安定化機構を解明します。さらに、繊維内部構造の構造変化をリアルタイムで可視化し、繊維の運動制御機構を原子レベルで明らかにすることを目指します。

## ヘテロクロマチン形成高次構造体の解明と制御

岩崎 由香

理化学研究所 生命医科学研究センター チームリーダー  
慶應義塾大学 医学部 准教授



ヘテロクロマチンは、ゲノムの安定性維持や機能発現に重要な役割を果たし、その形成不全が様々な疾患の原因となります。本研究は、小分子RNAを介したヘテロクロマチン形成に着目し、これがゲノム三次元構造や核内配置、LLPSによる空間的な構造体を形成する可能性を検討すると同時に、形成過程を時系列での理解に取り組みます。さらに、人工的な小分子RNAの発現を介したヘテロクロマチン形成の制御を目指します。

## 高速AFMを用いたSMC複合体の力学機構の解明

梅田 健一

金沢大学 ナノ生命科学研究所 特任助教  
同上



近年、DNA凝縮や姉妹染色分体の接着過程において、染色体構造維持(SMC)タンパク質の液-液相分離現象が重要な役割を担うことが明らかになりつつありますが、そのサブ分子レベルでの形成・破壊原理は未知の領域となっています。本研究では、高速原子間力顕微鏡(AFM)に光ピンセットを組み合わせた新規手法を用いて、SMCのトポロジカル結合や液-液相分離の形成・破壊ダイナミクスを可視化・原理解明を行います。

## ピコ流体質量分析イメージングによる生細胞のがん化の理解

大塚 洋一

大阪大学 大学院理学研究科 准教授  
大阪大学 大学院理学研究科 助教



細胞の生命活動の本質を理解するためには、生細胞まるごとに含まれる化学種を多次元情報として計測・解析し、そこから生化学的意義を理解するというアプローチが重要となります。本研究ではピコ液体を活用する質量分析イメージング技術を開発し、生細胞中の分子環境を、具体的な化学成分の量や種類の変化に基づいて調べます。がん細胞の脂質や代謝物、タンパク質などの変化を探り、細胞の不均一化との関連性を解明していきます。

## 細胞内の水を用いた細胞内微小環境の定量評価法の確立と応用

梶本 真司

東北大学 大学院薬学研究科 准教授  
東北大学 大学院薬学研究科 講師



細胞内に豊富に存在する水分子を用いて、細胞内の様々な物理量をラベルフリーで同時に定量評価する手法を確立し、細胞内で起こる生理現象を解明します。特に、液液相分離など細胞内環境の局所的な変化を伴う生理現象について、分子間相互作用や分子構造といった分子レベルの変化から、局所的な密度や構造の変化、さらには温度や固さといったマクロな物理量の変化を同時に定量的に可視化することで、階層網羅的に明らかにします。

## タンパク質複合体を合理的に改造し、細胞内機能を理解・制御する

小杉 貴洋

自然科学研究機構 分子科学研究所 助教  
同上



細胞内では様々なタンパク質複合体が重要な働きをしています。本研究では、機能を合理的に制御した様々な改造タンパク質複合体を創り出し、それらを細胞内に戻すことで起こる変化を観察することで、細胞内でのタンパク質複合体の機能を理解することを目指します。さらに、そこで得られた理解を基にして、改造タンパク質複合体を用いた細胞制御技術の開発も行います。

## RISCの機能発現を1分子mRNAレベルで「見る・操る」

小林 穂高

徳島大学 先端生命科学研究所 准教授  
アルポート・アインシュタイン医科大学 リサーチフェロー



Non-coding RNAの代表格であるmicroRNAは、動的な高次構造体[RISC]を形成することで、膨大な種類のmRNAの発現を制御します。本研究では、RISCの機能発現を1分子mRNAレベルで「見る・操る」ための独自技術を開発することで、RISCが「いつ・どこで」機能するのか突き止めます。これにより、多彩な生命現象を司るRISCについて、機能発現の普遍的メカニズムに迫ります。

## ミトコンドリア形態の包括的数理モデリング

立川 正志

横浜国立大学 国際総合科学科(理学部) 准教授  
京都大学 ウイルス・再生医学研究所 准教授



ミトコンドリアは内外二層の膜からなり複雑な形態を持つ細胞内小器官で、エネルギー変換やアポトーシスなど重要な細胞機能を担っています。ミトコンドリアの形態はその機能と強く関わっていると考えられていますが、その原理は解明されていません。本研究では、内外膜にかかる力のバランスと機能分子の運動に基づいて、形態を制御する方程式を構成し、解くことで、ミトコンドリア形態の制御原理の解明を目指します。

## 細胞内構造の実験力学

谷本 博一

横浜国立大学 理学部 准教授  
同上



本研究は、代表的な細胞骨格である微小管とアクチンが細胞内で示す力学特性を精密に測定することで、細胞内の空間秩序生成および細胞の動的な形状決定という細胞生物学の中心的な現象の物理的・設計原理を明らかにすることを旨とします。

## ゲノムレベルで細胞内脂質ダイナミクスを解明するラベル化戦略

土谷 正樹

静岡県立大学 薬学部 准教授  
京都大学 大学院工学研究科 助教(南極プログラム)



細胞の膜は脂質分子が動き回り集まって出来た構造体です。細胞内での脂質の挙動はタンパク質により制御されます。しかし、生細胞の活動のなかで脂質を高時間分解能で計測する事、また脂質の制御因子を同定する事は困難です。そこで本研究では細胞内局所的な分子ラベル化法を用いて脂質動態を定量的に捉える細胞測定技術を開発します。さらに網羅的な遺伝子探索法と融合させ、脂質動態の遺伝子基盤を解明する新技術を開発します。

## 発光反応場を構成するペプチドプロープ開発

西原 諒

産業技術総合研究所 健康工学研究部門 主任研究員  
産業技術総合研究所 生命工学領域 研究員



本研究は、生物発光反応に関与する非発光生物由来タンパク質のアミノ酸配列を基に、ルシフェラーゼ機能を持つペプチドプロープを開発します。更に、合理的に設計合成したルシフェリンと組み合わせることで、発光強度と発光色を調節し、細胞内タンパク質の動的構造変化をも捉える新規生物発光イメージングの基礎基盤技術を開発します。

## 動的なオルガネラコンタクトネットワーク制御機構の解明

西村 多喜

東京大学 大学院医学系研究科 特任講師  
フランス・グリュック研究所 オートフラグ-研究室 ボスドク



オルガネラコンタクトサイト研究のボトルネックは解析ツールが限られていることにあります。そこで本研究ではコンタクトサイト可視化と細胞内脂質可視化に有用なツールの開発に取り組みます。可逆的なsplit蛍光プロープを利用し、生理的条件下におけるコンタクトサイトの検出プロープを製作すると共に、膜脂質を特異的に認識するツールのオンデマンド製作実現に向けた、脂質プロープ製作のストラテジー確立を目指します。

## アクチン細胞骨格動態の構成的理解と制御

宮崎 牧人

理化学研究所 生命医科学研究センター チームリーダー  
京都大学 白眉センター 特定准教授



アクチン細胞骨格は動物細胞に普遍的に存在する動的な高次構造体であり、細胞骨格の構造転移が細胞の形態転移を引き起こし、細胞運動や分裂、極性形成など生命に本質的な機能を生み出しています。本研究ではアクチン細胞骨格が多様な細胞機能を駆動する仕組みを、独自の再構成システムを用いて体系的に理解することを目指します。本研究を通じて、アクチン細胞骨格が司る細胞機能を自在に操る基盤技術が確立できると期待されます。

## 多色1分子計測によるGPCRシグナロソームの動態解明

柳川 正隆

東北大学 大学院薬学研究科 准教授  
理化学研究所 開拓研究本部 研究員



GPCRは細胞内で様々な分子と高次構造体(シグナロソーム)を形成し、複数のシグナル伝達経路を制御する薬の受容体です。近年、薬に応じてGPCRが経路選択的活性を生むことを利用し、副作用の低い薬が開発されています。しかし、経路選択が生じるメカニズムは明らかではありません。本研究では、多色同時1分子蛍光顕微鏡を開発し、薬刺激に伴うGPCRシグナロソームの動態変化を観察、経路選択の分子機構を解明します。

## リボソームの動的分子構造と細胞内分布の統合的理解

横山 武司

東北大学 大学院生命科学研究所 助教  
同上



生命を維持する細胞内のシステムは、多彩な分子機械が協動的に動くことで維持されています。本研究課題では、タンパク質合成を司る翻訳マシナリーに着目し、細胞内での分布と動的な構造を同時に捉えることで、その統合的理解を目指します。RNAエンジニアリング技術を駆使して、特定の遺伝子を翻訳するリボソームの細胞内座標を特定する新技術を開発し、「翻訳の現場」を高分解能で可視化します。

## オルガネラ分裂リングの分子動作機序の解明

吉田 大和

東京大学 大学院理学系研究科 准教授  
同上



ミトコンドリアや葉緑体といった膜型オルガネラは、“オルガネラ分裂リング”と呼ばれる細胞内の動的な高次構造体によって分解されることで数を増やすことが出来ます。「オルガネラ分裂リングの分子動作機序」を明らかにし、また「オルガネラの分裂増殖に機能する全遺伝子」の機能を理解することによって、真核生物が永続的なオルガネラの維持を可能とした普遍的なオルガネラ創成原理の解明を目指します。

## Ⅲ型分泌系の細胞内機能構造の高分解能構造解析

川本 晃大

大阪大学 蛋白質研究所 助教  
同上



細胞内での蛋白質間相互作用や過渡的に形成される複合体については構造解析が難しく構造-機能相関研究は遅れています。本研究ではミニセル化技術とクライオ電子顕微鏡による構造解析を組み合わせ、細胞内機能構造の高分解能解析技術を開発します。そして、蛋白質の輸送過程における企型ニードル複合体構造や輸送装置の構造変化を明らかにし、効率の良い蛋白質輸送を可能にしている企型分泌系の蛋白質分泌機構の解明を目指します。

## 相分離進化化学による人工オルガネラの創成

寺坂 尚純

東京科学大学 未来社会創成研究院 特任准教授  
東京大学 大学院理学系研究科 特任助教



相分離タンパク質・RNAを用いた人工非膜型オルガネラ研究が近年報告されていますが、天然を超えるような機能を創出することは未だ困難です。本研究では、一億種類という高多様性ライブラリーを用いた、相分離タンパク質・非膜型オルガネラの分子進化系を構築し、コンパクトな de novo 相分離タンパク質タッグの開発や高効率カスケード反応を可能にする人工オルガネラの創成を目指します。

## 2021年度探検研究者(二期生) 刺激依存的な細胞骨格・オルガネラ複合体の局在変化による生理機能発現

上田(石原) 奈津美

東邦大学 理学部 准教授  
名古屋大学 大学院理学系研究科 講師



古くからオルガネラの局在変化は観察されてきましたが、刺激依存的な局在変化の生理的意義は不明です。本研究では、神経細胞の情報受容素(スパイン)への細胞骨格・モータータンパク質複合体を介した刺激依存的なオルガネラの移動と記憶固定の機能相関と因果関係を解明することで、「刺激に応じたオルガネラの局在変化が生命現象の基盤」という Conceptual Advance を提唱することを目指します。

## タンデムクラスタ配列を基盤とした新規動的な高次構造体の解析

栗原 美寿々

北海道大学 大学院薬学研究所 助教  
同上



近年、タンパク質やRNAを介した相分離によって核内空間が区画化され、複数の生体反応が混雑せず進行するという考えが提唱されていますが、そこにゲノムDNAがどのようにして関わるかはほとんど明らかになっていません。本研究では巨大タンデムクラスタ配列に注目し、近位ジオチンラベル法によって相互作用する分子を網羅的に同定します。これにより、核内空間構築における巨大タンデムクラスタ配列の役割を明らかにします。

## 解糖系高次構造体の時空間操作技術によるグルコース代謝制御の解明

中村 秀樹

京都大学 白眉センター 特定准教授  
京都大学 大学院工学研究科 特定助教



合成生物学分野の技術で解糖系酵素高次構造体に応用し、生きた細胞内で構造体の集合・離散を、小分子化合物や光刺激により高い時空間分解能で「操る」技術を確立します。この技術による高次構造体の集合・離散操作による影響を、蛍光イメージングで「見る」・近接ラベリングを用いたプロテオミクス解析で網羅的に「知る」という多角アプローチで解析し、動的な高次構造体の理解を通してグルコース代謝の制御機構に迫ります。

## 細胞内1分子力学操作による非熱的ゆらぎの影響解析

有賀 隆行

大阪大学 大学院生命機能研究科 准教授  
山口大学 大学院医学系研究科 准教授(特命)



生体分子モーターは、環境の熱ゆらぎを利用して効率よく働くと言われてきましたが、実際に働く環境である細胞の中での効率計測はできていませんでした。一方、生きた細胞の内部では、熱ゆらぎだけでなく非熱的なゆらぎも自発的に生みだされています。本研究では、細胞内で単一分子を力学的に操作する手法を開発し、力学応答とゆらぎの計測を通じて、細胞内の非熱的なゆらぎが個々の分子の効率に及ぼす影響を解析します。

## 神経伝達物質の放出確率を制御する超分子集合体の再構成

坂本 寛和

東京大学 大学院医学系研究科 助教  
同上



神経伝達物質の放出確率は神経細胞・シナプスの種類によって大きく異なります。このような機能的な多様性は複雑な脳神経回路を成り立たせる本質であると考えられます。本研究では、放出確率を制御する動的な高次構造体として、四種の構成因子(Munc13, RIM, RIM-BP, CAST)から成る超分子集合体を想定し、*in vitro*再構成技術およびナノレベルの分子計測技術を構築することで、その動作原理を解明します。

## “可逆的な液・固相転移”による細胞内構造体の構築・解体機構の解明

畠 星治

東京大学 大学院薬学系研究科 特任講師  
同上



これまで、細胞内の構造体は、様々な構成分子が確率的に出会い合っていくことにより、レゴブロックが積み重なるかの如く組み立てられると考えられてきました。しかし、細胞内には“短時間”で構築・解体される巨大な構造体も存在します。本研究では、既存モデルでは説明の難しい巨大な構造体の迅速な構築・解体機構について、“液・液相分離”と“可逆的な液・固相転移”に基づく革新的な理論の構築を目指します。

## ゼブラフィッシュから解く組換え開始の動的制御

今井 裕紀子

科学技術振興機構 ささげ研究者  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 特任研究員



減数分裂期に起こる相同染色体の組換えは、次世代への遺伝情報の伝達を担い、生物に多様性をもたらす重要な過程です。本研究では、この組換えがどのようにして始まるのか、ヒトと類似した特徴をもつゼブラフィッシュをモデルにアプローチします。生殖細胞培養系を用いたライブイメージングと遺伝学・生化学的解析を組み合わせ、染色体構造や組換え因子といった高次構造体による組換え開始の動的制御を明らかにします。

## 細胞内非膜型分子集合体の不均一核生成:定量的理解と光制御

下林 俊典

京都大学 IPS 細胞研究所 准教授  
プリンストン大学 化学工学・生物工学 IPS 海外特別研究員



非膜型の分子集合体はいつでもどこで形成し生物学的機能を発揮するのだろうか?本研究では、光技術、細胞工学、物理理論を融合し、非膜型分子集合体が形成される過程を分子レベルから定量的物理的に解明する。その理解をもとに非膜型分子集合体の生成を時空間的に厳密に制御する新たな技術を開発し非膜型分子集合体の機能に迫る。

## 超解像・1分子計測によるヒト染色体凝縮機構の解明

日比野 佳代

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 助教  
同上



染色体凝縮は、長大なヒトゲノムDNAを1万分の1の長さの棒状構造に変換する驚異的な自己組織化過程です。凝縮には染色体関連タンパク質、特にコンデンシンDNAモーターが必須ですが、モーター活性がどのように凝縮に寄与しているかは分っていません。そこで、染色体凝縮中のヌクレオソームの動態や構造とコンデンシンなど凝縮関連タンパク質の動態を超解像・1分子イメージング、染色体の構築原理を明らかにします。

## ベイズ的一細胞FRET計測で探る細胞シグナリングの適応原理

神野 圭太

中央研究院 分子生研研究所 Assistant Research Fellow  
Yale University Department of MCB Associate Research Scientist



細胞はシグナリング系と呼ばれる化学反応系を用いて動的に環境情報を処理する。この系は主に細胞集団の平均値を通して特徴付けられてきた。しかし近年の一細胞レベルの解析は、この系の挙動の細胞間のばらつきや時間的な揺らぎまでもが進化的に選択された性質であることを示唆している。そこで私はFRETと呼ばれる蛍光観察技術とベイズ推定の考え方を結合し、この系の動的な性質を一細胞レベルで特徴付け、その機能を考察する。

## 人工タンパク質による、高次構造体の自由自在な解体・分解

坪山 幸太郎

東京大学 生産技術研究所 講師  
ノースウエスト大学 ファイバー/生体工学 ポストドクフェロー



細胞内の非膜型オルガネラは、転写や翻訳の制御などの機能を持つことが示されています。しかし、内在性の非膜型オルガネラを特異的に解体・分解し、その機能を解明することは困難です。そこで、生体分子の相互作用を操作可能な人工タンパク質を創出し、その特徴の理解を目指します。そのような理解に基づき、多彩な非膜型オルガネラを自由自在に解体・分解する技術を確立し、非膜型オルガネラの生物学的意義を明らかにします。

## リボソームの交通渋滞を解消するしくみと生理的意義の解明

松尾 芳隆

東京大学 医科学研究所 准教授  
同上



翻訳の伸長反応は、緩急を伴ったダイナミックな反応であり、速度調節によって遺伝子発現を制御しています。ストレスなどによってこの速度調節に異常が生じると、リボソームの交通渋滞が形成され、その蓄積が引き金となりアポトーシスや自然免疫応答が誘導されます。本研究では、異常翻訳の実体であるリボソームの交通渋滞の形成と解消を試験管内で再現し、その動態を1分子レベルで可視化します。

## 物質吸収を担う刷子縁膜の高次構造動態とその破綻メカニズムの解明

李 勇燦

横浜市立大学 大学院生命医科学研究科 助教  
同上



腸や腎臓の上皮細胞では、刷子縁膜と呼ばれる高度に発達した膜構造が効率的な物質吸収を実現しています。本研究では、この刷子縁膜を電子顕微鏡グリッド上に形成する細胞培養技術を確認し、電子線トモグラフィーによってその内部構造と空間分布を直接観察します。さらにサブトモグラム平均化法を用いることで、主な構造体に関してはナノメートル以下の分解能で構造を解明することを目指します。

## タンパク質の集合・離散を制御するペプチドタグの開発

菅井 祥加

東京科学大学 総合研究 特任助教  
筑波大学 数理論理学系 助教



タンパク質の集合・離散が関与する生命現象の役割や機構を理解するためには、細胞が自然に形成する集合体を観察する手法だけでなく、集合体を人為的に制御する技術が有用となります。本研究では、pH変化を外部刺激としてタンパク質の集合・離散を制御可能な短いペプチドタグを開発します。さらに、開発したペプチドタグを活用し、神経変性疾患に関与するタンパク質のアミロイド形成機構の理解を目指します。

## 長鎖RNA粗視化分子シミュレーションモデルの開発

堀 直人

ノッティンガム大学 薬学部 助教  
ノッティンガム大学 薬学部 ノッティンガムリサーチフェロー



長鎖RNAは、細胞内の遺伝情報伝達や機能制御を担っており、コロナウイルスやそのワクチンの構成物質としても重要です。ところが、特性や機能を理解する上で鍵となる分子レベルでの構造は、実験による直接観察が難しくほとんど分かっていません。本研究では、数千塩基にわたる長いRNAの構造アンサンブルを明らかにする分子シミュレーション技術を開発し、機能メカニズムの解明やRNA医薬への応用を目指します。

## 細胞内熱ダイナミクスの解明

猪股 直生

東北大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



高感度微小温度センサアレイから得る細胞内の動的な温度・時間情報を基に、高次構造体の熱特性、細胞内熱プロセスへの寄与・役割および相互作用を解明します。高い温度・時間分解能、そしてマイクロかつミクロの計測範囲を達成する新しい細胞内分析技術を開発します。本研究を通して、生命科学における新しい熱プロセスおよび熱制御概念を活かした、現在の技術を凌駕する熱工学における新技術の創出に寄与します。

## オルガネラ間の動的相互作用が駆動する細胞分化

高塚 大知

金沢大学 理工研究 部 テクニカル助教  
同上



植物の根の表面から突出する「根毛」は、水分・養分の吸収に重要な働きを持つ細胞です。根毛の分化過程で発現する遺伝子が多数同定されていますが、それらを適切なタイミングで発現させる仕組みは不明です。本研究では、植物細胞の大半を占める「液胞」と、遺伝子発現の司令塔である「核」が互いの動態を制御し合う『動的相互作用』の存在を証明し、更には、その遺伝子発現と根毛分化誘導における役割を実証します。

## DNA分子配置技術を用いた免疫受容体高次構造体分子機能の解明

増淵 岳也

カリフォルニア大学サンディエゴ校 工物科学部 博士課程  
同上



本研究は、DNAナノ分子配置技術を用いた免疫シナプス再構成系、無細胞再構成と組合せ、空間分解能を向上した新規再構成系を樹立しました。確立した新規再構成系を用いて、PD-1高次構造体形成に必要な因子を同定し、申請者が見出した新規分子モデルを検証する。さらに、PD-1の未知の分子機能を新規分子モデルの文脈で検証する。

## 実験と計算の協奏による生体分子動態解析法の開発

大出 真央

大阪大学 蛋白質研究所 助教  
理化学研究所 開拓研究本部 基礎科学特別研究員



生命現象の素過程は、細胞内生体分子や複合体の複雑かつ動的な相互作用によって営まれますが、それらの解析は容易ではありません。本研究提案ではクライオ電子顕微鏡での構造解析に計算科学アプローチを組み合わせることで構造分類・動態解析の新たな手法を開発します。さらに、開発手法を実際の蛋白質クライオ電子顕微鏡観察像へと適用し、ターゲット蛋白質の機能発現に伴う生体内でのマルチスケールな動態の解明を目指します。

## 核内構造体への摂動による細胞状態遷移の制御

武井 洋大

カリフォルニア大学サンディエゴ校 Research Scientist  
カリフォルニア大学サンディエゴ校 教授



本研究では、合理的に選択された数百種類の摂動条件と、空間ゲノミクス法による高い空間分解度での一細胞マルチオミクス計測を組み合わせることで、核内構造体と細胞状態遷移の直接的な関係性の解明と、核内構造体への摂動を介した細胞状態遷移の制御を目指す。これを実現するため、胚性ゲノムの活性化のマウス及びヒト培養細胞モデルを用いて、研究を行う。

## 持続可能な標識法による時間無制限オルガネラ動態イメージング

義島 維文

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、独自に開発した持続可能なタンパク質標識法を応用し、細胞内オルガネラを時間無制限に観察し、その動態解析を行う。蛍光プローブが入れ替わり続けるタンパク質標識法の開発と応用を進め、オルガネラの長時間・超解像イメージング、マルチカラーイメージング、コンタクトサイトのイメージングを行うことで、オルガネラの微細構造とオルガネラ間相互作用を解析し理解する。

## CRISPR-Cas 酵素 Cas7-11 を用いた細胞操作技術の開発

加藤 一希

東京科学大学 総合研究 部 テクニカル准教授  
東京大学 先端科学技術研究センター 特任講師



新規 CRISPR-Cas 酵素、Cas7-11 は RNA 依存性の RNA 分解酵素であり、タンパク質分解酵素です。本研究提案では、Cas7-11 を用いて動物細胞の操作技術の開発を目指します。

## 生体防御と睡眠：液-液相分離がつかなく2つの高次機能

戸田 浩史

筑波大学 国際統合健康科学研究機構 助教  
同上



Nemuri という分子の挙動の理解を通じ、「液-液相分離」という細胞内で起こるミクロの現象によって、「生体防御」や「睡眠」というマクロの高次生命現象をどのように制御しているかを明らかにすることを達成目標とする。

## 小胞体タンパク質分解過程の場の観測と分子基盤の解明

持田 啓佑

東京科学大学 総合研究 部 助教  
理化学研究所 脳神経科学研究センター 日本学術振興会特別研究員



小胞体は、タンパク質の品質と量を適切に保つため、それらを分解する独自の仕組みを備えています。しかしながら、タンパク質分解に関わる各過程が小胞体上でどこで、どのようなキネティクスで行われるのかという時間情報については意外にも殆ど明らかにされていません。本研究では、分解過程を観測する蛍光イメージング技術の開発などを通じて、小胞体におけるタンパク質分解を新たな次元・観点から理解することを目指します。

## 汎用性の高いクライオCLEM 戦略の確立と有毛細胞の高次構造体の解明

草木 迫 司

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
同上



内耳の有毛細胞は音によって引き起こされる機械刺激を電気信号へと変換します。本研究では、効率的な細胞観察を行うために、蛍光観察と電子顕微鏡観察における画像を相関させるクライオ CLEM を取り入れた汎用性の高い観察戦略を確立します。この戦略を用いて、有毛細胞の動的なシグナル変換機能を担う高次構造体をクライオ電子線トモグラフィーにより可視化し、機能発現メカニズムの解明を目指します。

## 生体透明化技術の開発による脳深部神経代謝の解明

那須 雄介

中央研究院 生物化学研究所 助研究員  
東京大学 大学院理学系研究科 助教



生きている試料の組織深部の細胞内高次構造体を高時空間分解能で蛍光観察するため、生体透明化技術を開発する。開発にあたり、申請者が開発した超高感度乳酸パイロセンサ R-ILACCO1.1 及びタンパク質工学手法を利用する。

## 非膜性構造体内部における分子挙動の階層統一的解明

山本 詠士

慶應義塾大学 理工学部 准教授  
慶應義塾大学 理工学部 専任講師



細胞内では、特定のタンパク質や RNA が液-液相分離現象によって集まることで、非膜性構造体が形成されます。本研究では、ミクロ階層（原子・分子挙動）・メゾ階層（相分離）を繋ぐマルチスケールシミュレーション手法の開発を行い、非膜性構造体内部の動的不均一性が分子の拡散・局在・相互作用に与える影響の解明を目指します。

# 多細胞システムにおける細胞間相互作用とそのダイナミクス

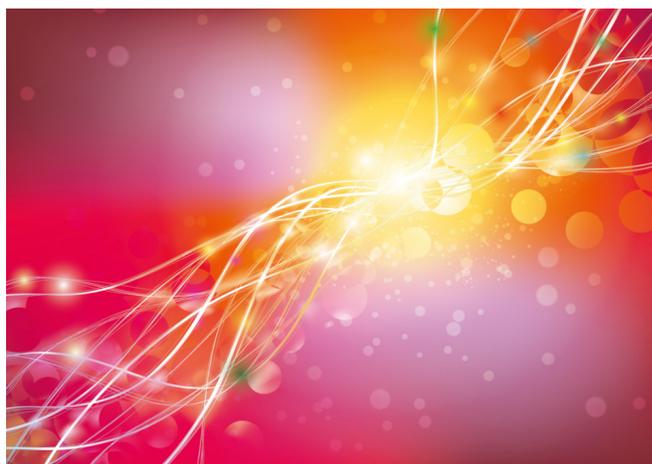
[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-1.html)

戦略目標

多細胞間での時空間的な相互作用の理解を目指した技術・解析基盤の創出



研究総括  
高橋 淑子  
京都大学 大学院理学研究科 教授



扉絵は、多数の細胞が協奏して生体を作り上げる様子をイメージしたものです。

## 領域アドバイザー

井上 康博	京都大学 大学院工学研究科 教授
入江 直樹	総合研究大学院大学 統合進化科学研究センター 教授
永樂 元次	京都大学 医生物学研究所 教授
大川 恭行	九州大学 生体防御医学研究所 教授
小石 龍太	第一三共(株) トランスレーショナル研究所 主席研究員
近藤 寿人	JT生命誌研究館 顧問/大阪大学 名誉教授
清田 純	理化学研究所 医科学イノベーション推進プログラム チームリーダー
永井 健治	大阪大学 産業科学研究所 教授
藤森 俊彦	自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授
谷内江 望	プリティッシュコロンビア大学 バイオメディ カルエンジニアリング 教授
吉田 松生	自然科学研究機構 基礎生物学研究所 教授
渡邊 力也	理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員

## 研究領域概要

本研究領域では、組織・器官・個体等を構成する細胞集団を時空間的に解析することによって生命現象を1つのシステムとして理解することを目指します。このため、多種細胞を時空間的に識別し、その動態や相互作用を解析する技術の開発やデータサイエンス・数理学による生命モデルの開発、また、それらの技術を活用した生命システムの解明を目的とする若手研究者を結集し、研究開発を推進します。

近年、1細胞レベルでの各種オミクス解析技術やイメージング技術などの発展に伴い、細胞や生体分子の網羅的かつ定量的な解析が可能になってきています。また、ヘテロジニアスな細胞からなる細胞集団が相互作用しながら変化してゆくダイナミクスを通して、生命を理解することが可能になりつつあります。このような動的な現象を対象とした研究開発では、特に空間情報や時間情報に着目しながら、生命科学と工学、化学、光科学、情報科学、数理学などが連携することが有効です。多様な技術を糾合することでこれまで困難とされていた分子や細胞の生命現象における理解が深まることが期待されます。

以上を踏まえ、本研究領域では、多細胞システムの解明に向けて異分野の研究者が切磋琢磨し、オープンに議論する場を提供します。これにより各々の課題を洗練させるとともに、課題間のシナジー効果により新たな研究潮流の萌芽を形成し、創造性豊かな研究を通して、生命機能の本質に迫ることを目指します。

## Heterogeneousな組織境界層を起点とした時空間的な細胞間相互作用

岡部 泰賢

大阪大学 免疫学フロンティア研究センター 特任准教授  
京都大学 ウィルス・再生医学研究所 特定准教授



組織とはいわば区画化された空間であり、物理的な境界により細胞社会が隔離されることが独立した多細胞システムとして機能するために必要不可欠です。一方、境界は物質や細胞を選択的に通過させることで外界や組織間とのコミュニケーションを制御する動的な場でもあります。本研究では内臓表面で境界を形成する中皮層に着目し、組織境界層を起点とした細胞間相互作用の新たな様式を提唱します。

## 位置情報レコーディングによる多細胞システム解析

沖 真弥

京都大学 大学院医学研究科 特任准教授  
九州大学 医学研究院 講師



臓器、器官や個体などの多細胞システムを対象とした解析では、目的の細胞集団を高い純度で「分取」しなければなりません。既存の方法ではマイクロレベルで特定の細胞集団を非侵襲的に取り出すのは容易ではありません。そのような限界に挑戦すべく、本研究では光学と分子生物学を融合した「位置情報レコーディング技術」により、光照射領域に限定可能なオプティクス解析法を開発します。

## 細胞間相互作用の理解に資するゲノムワイド1分子遺伝子空間分布解析

小口 祐伴

理化学研究所 開拓研究本部 研究員  
同上



最近では空間分布情報を伴う遺伝子発現解析技術が急速に発達を見せている (seqFISH<sup>+</sup>やSlide-seqを代表として)。究極的な空間遺伝子発現解析のためには、検出遺伝子の網羅性と1分子単位の空間解像度が求められる。しかしこの2つの要素はトレードオフの関係にあり、現状両立する技術はない。そこで本研究ではこれを両立する技術を確認し、細胞間相互作用に伴う遺伝子の空間発展を詳細に捉えることを目指す。

## 高次血管網の形成を制御する微小環境ダイナミクス

木戸屋 浩康

福井大学 学術研究院医学系部門 教授  
大阪大学 微生物病研究所 助教



血管構造パターンの多様性は、これまで知られている遺伝子発現によるプログラムに加え、未知の環境因子によるゆらぎによって生じると考えられます。実際に、生体内イメージングによる解析では、新しい血管がランダムに発芽して、蠢くように支配領域を拡大する過程が観察されています。本研究では、血管と微小環境における複雑な相互作用を時間空間的に解析することで、血管構造の多様性を生み出す複合的システムを明らかにします。

## テンソル分解を利用した細胞間相互作用の時空間解析

露崎 弘毅

理化学研究所 生命機能科学研究センター 基礎科学特別研究員  
理化学研究所 生命機能科学研究センター 特別研究員



本研究では「どの細胞同士が、いつ、どこで、どの分子ネットワークによって細胞間相互作用 (CCI) をしたのか」という情報を、テンソルを用いたデータ構造で表現し、テンソル分解アルゴリズムを適用することで、データに含まれる顕著な時空間CCIパターンを抽出します。また、テンソルの柔軟性を活用し、各種1細胞オミックスとの同時解析や、他の研究者のデータに、関連情報を割り当てる、推薦システムの開発にも取り組みます。

## 接着の偏在によるモザイク形成メカニズム

富樫 英

神戸大学 大学院医学研究科 助教  
同上



培養細胞と上皮組織をモデルに、モザイクパターンが作られる際のライブイメージングとドメイン解析により、細胞の割込みにおいてネクチンが細胞辺ごとに接着力と収縮力の偏った分布を作る分子メカニズムを明らかにします。さらに、接着力や収縮力の計測を行い、新たに創出した組織形成の数値モデルに導入することで、力の偏りが細胞の割込みを制御しモザイクパターンを作る力学原理の解明を行います。

## 線虫全神経の1細胞遺伝子発現解析と活動計測

豊島 有

東京大学 大学院理学系研究科 准教授  
東京大学 大学院理学系研究科 助教



線虫を自動追尾するステージを顕微鏡に統合し、画像中の神経細胞の追跡手法を改良して、行動中の線虫の全神経活動を観察する系を確立します。個々の神経細胞における遺伝子発現パターンを解析して神経細胞の同定 (アノテーション) に適した線虫株を作成します。測定した神経活動をアノテーション技術によって神経回路にマッピングし、回路レベルで解析します。

## 多能性不均質溶解機構の理解と再生医療への応用

橋本 昌和

大阪大学 大学院生命機能研究科 准教授  
大阪大学 大学院生命機能研究科 助教



本研究では「細胞はどのようにして隣の細胞の状態を知り、どう付き合うのか?」について理解することに挑戦します。具体的には多能性組織であるマウス着床前胚エピブラスの細胞社会において、ある細胞が、隣接する細胞の多能性状態をいかに認識し、組織内での均質性構築のために生かすか殺すかの判断をするメカニズムの解明を目指します。さらにそこから得られた知見を活かし、再生医療分野への貢献も目指します。

## 曲率に対する力学応答システムによる分岐形態形成

平島 剛志

シガポール国立大学 メカノバイオロジー研究所 助教  
京都大学 大学院医学研究科 講師



微細加工技術やイメージング、力計測-推定技術を用いた分野横断的手法により、細胞集団が有する環境応答能力「場の曲率の感知と力生成」を検証します。さらに、得られたデータを基に数値モデル化を進め、シミュレーション解析を通じて、再現性の高いロバストな分岐形態形成を実現する多細胞動態システムを明らかにします。国内外を問わず異分野研究者間での交流を深め、積極的に協働しながら本研究課題を進めていきます。

## オジギソウの運動を支える植物独自の細胞間情報伝達

真野 弘明

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 特任助教  
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 特別協力研究員



オジギソウは植物ですが、葉をさわるとまるで動物のようにすばやく動きます。オジギソウには運動のための特別な細胞があり、運動の際にはそのひとつひとつが水を出し、すばやく縮みます。しかし、葉の全体をすばやく動かすにはそれだけでは足りません。たくさん細胞が同時に縮むための、なんらかの仕組みが必要で。その仕組みを明らかにし、植物の細胞が使っているコミュニケーション方法を知ることがこの研究の目的です。

## Wntによる平面細胞極性の動的形成機構の解明

三井 優輔

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 助教  
同上



平面細胞極性は多くの動物に共通してみられる普遍的な細胞の方向性です。平面細胞極性を方向付けることが知られている分泌性シグナル蛋白質Wntの可視化を基盤として、どのようにWntが平面細胞極性を方向づけるかを、独自のライブイメージングを中心に解析し、分子レベル・細胞レベルでの相互作用として理解します。更にそれをもとに平面細胞極性を培養系で再構成することを目指します。

## 光による消化管形成制御機構の解明

谷口 俊介

筑波大学 生命環境系 准教授  
同上



動物が正常な機能を持った体を形づくる過程において、光や温度などの外的刺激がいかんして初期発生に影響を与えるのかに関して不明な点が多く残されています。本研究では、発生生物学のモデル動物であるウニの幼生を用いて、不安定な海洋環境で変化する外的刺激依存的に、消化管形成を制御する仕組みの発見とその分子機構の解明を目指します。

## 異種植物間ネットワーク解析による植物間相互作用の理解

吉田 聡子

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術院 教授  
奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構 特任准教授



寄生植物は異種植物である宿主植物の組織に侵入し、宿主植物細胞の影響を受けながら自身の細胞運命を変化させ寄生を成立させます。本研究では、モデル寄生植物コソオガマを用いたトランスクリプトーム解析により、寄生器官内の細胞群の時空間的なアイデンティティの変化を追うとともに宿主植物遺伝子と合わせて遺伝子共発現ネットワーク解析を行い寄生を司る遺伝子モジュールとそれを制御する宿主因子を明らかにします。

## 縞パターン形成の多様性を生み出すネットワーク

秋山(小田) 康子

JT 生命科学研究 細胞・発生・進化研究室 特別研究員  
大阪医科大学 医学部 非常勤講師



オオヒメグモでは、体節形成の基盤となる周期的縞パターン形成はダイナミックな波状の遺伝子発現が関わる現象で、からだの領域により多様性が見られます。本研究では、極性の形成から波の出現と進行、縞パターンへの展開までを単一細胞レベルで解析します。発現の空間情報や遺伝子機能の情報も取得し、多様なパターンの形成を実現する分子ネットワークを明らかにします。パターン形成のライブ観察や培養細胞への再現も目指します。

## 膜電位を介した細胞間相互作用による形態形成機構の解明

荒巻 敏寛

大阪大学 大学院生命機能研究科 助教  
同上



細胞膜電位の「変動」が、細胞集団内で「伝播」することによって、モルフォゲン様形態形成因子として機能しうることを示唆されています。本研究ではゼブラフィッシュをモデルに、光遺伝学を用いて膜電位を人為的に操作することで、形態形成因子としての膜電位の作用機序を分子レベルで解明します。さらに、膜電位を介した情報伝達が多細胞生物において普遍的な細胞間相互作用である可能性についても検証します。

## 動的シグナル勾配と生物時計による組織構築原理の解明

### 磯村 彰宏

京都大学 医学部研究所 特任准教授  
京都大学 高等研究院 特任助教



多細胞組織の構築は、シグナル勾配や生物時計などの時空間的な情報を統合することで実現されていると考えられています。しかし、それらがどのような情報を含んでいる、どのようなルールで相互に変換・解読されているのかは十分に明らかではありません。本研究では、マウス ES 細胞由来の未分節中胚葉細胞をモデルに、培養技術および蛍光イメージング・光制御技術を新開発・活用することでこの問いに答えることを目指します。

## 接着と張力の操作で明らかにする上皮ダイナミクス

### 大谷 哲久

東京理科大学 大学院理学研究科 准教授  
自然科学研究機構 生理学研究所 助教



上皮は体外と体内を区画化するバリアとして働くと共に、器官の働きに応じて多様な形をとります。上皮組織の形は細胞同士の接着と細胞の張力のつり合いによって決まると考えられますが、接着と張力には相互依存性があるため、その両者を独立に操作することは困難です。本研究では細胞間接着を自在に制御できる人工細胞間接着技術を開発し、接着と張力を独立に操作することにより、上皮ダイナミクスの原理を解明します。

## 細胞間相互作用の可視化と操作のための技術開発

### 京 卓志

大阪大学 産業科学研究所 特任研究員  
同上



本研究では、細胞間相互作用が織りなす多様な生命現象と、それを取り巻く様々なシグナル伝達経路間の相関関係・因果関係を高い時間的・空間的分解能で解明することを目指します。そのために、細胞接着タンパク質が担う細胞間相互作用を高い時間的・空間的分解能で、かつ様々なシグナル伝達経路の活性と同時に観察可能なイメージングツール及び、細胞間相互作用を自在に改変できる光操作ツールを開発します。

## 継続的成長を支える形成層幹細胞の動態と細胞間相互作用

### 石 東博

ポツダム大学 生物学・生理学研究所 ジュニアリーダー  
ハイデルベルグ大学 生物学センター 日本学術振興会特別研究員



植物体の継続的な成長は、二次（肥大）成長によって物理的、物流的に支えられています。二次成長中の形成層では、幹細胞が絶えず木部、節部を、内側、外側それぞれに作り出しますが、その細胞動態や制御機構には多くの謎が残されています。本研究では、形成層幹細胞の動態や、分化過程での遺伝子発現変遷を明らかにし、局所的遺伝子操作を通じて、継続的成長を支える細胞間相互作用の実体を細胞レベルで解明することを目指します。

## 葉から始まる植物概日時計の長距離相互作用

### 高橋 望

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教  
—



植物では、各部に備わった概日時計同士のコミュニケーションにおいて、多くの謎に満ちています。本研究はシロイヌナズナの葉と植物体本体の間の接ぎ木を行い、その概日リズムを解析する手法を開発し、植物の葉と他器官のあいだでの概日時計の相互作用を明らかにすることを目指します。また、師管液成分のオミクス解析等を通じて時間情報伝達物質の同定を試み、更にその物質が離れた場所の概日時計に作用する仕組みを探ります。

## 睡眠・冬眠を生み出す細胞間相互作用

### 乘本 裕明

北海道大学 大学院医学研究院 准教授  
名古屋大学 大学院医学研究科 日本学術振興会特別研究員 SPD



レム・ノンレム睡眠状態を再現する爬虫類 *ex vivo* 実験系を開発します。その後、これらの状態を誘導するために必要な細胞群を同定し、それらがどのように相互作用することによって睡眠が形作られるのかを明らかにします。これに加え、まだ神経科学の俎上に載っていない冬眠という現象にも生理学的手法を用いてアプローチしていきます。

## タンパク質合成の時空間制御から見た多細胞システムの理解

### 藤井 耕太郎

フロリダ大学 医学部 アシスタントプロフェッサー  
スタンフォード大学 医学部 リサーチアソシエイト



多細胞生物では発生、疾患、時には行動までも遺伝子発現によって制御されます。それら生命現象を理解する為、本研究では遺伝子発現の最終段階であるタンパク質合成が時空間でどのように制御されているか、『質』と『量』の両方を統合的に理解することを目指しています。特に本提案ではタンパク質合成の『質』の時空間的制御と分子機構の解明を目指し、タンパク質の凝集病として知られる神経変性疾患への応用を考えています。

## 植物の自家不和合性における細胞間相互作用のダイナミクス

### 村瀬 浩司

東京大学 大学院農学生命科学研究科 特任准教授  
同上



SRK と SP11 のモデル構造を作製して、MD シミュレーションにより網羅的なドッキング実験を行い、各ハプロタイプで認識に重要なアミノ酸を同定します。また、多数のハプロタイプをパターン解析することにより SRK-SP11 相互作用に関わるアミノ酸の法則性を抽出します。これらの結果より導き出される自家不和合性モデルについて分子生物学的・生化学的実験によって検証して、その妥当性を証明します。

## 細胞の個性と共同性を統制する電気化学ポテンシャル

### 森本 雄祐

九州工業大学 大学院情報工学研究科 教授  
九州工業大学 大学院情報工学研究科 准教授



細胞機能に必須の要素である電気化学ポテンシャルの多細胞システムにおける役割を1細胞レベルで理解するために、高感度イメージングによる細胞内イオン濃度の網羅的な定量を行います。また、光遺伝学的手法を応用することにより、細胞内イオン濃度を人為的に制御する手法を確立します。これらの実験手法を用いることで、多細胞システムにおける1細胞ごとのイオン透過特性と生命機能の関係を明らかにします。

## 細胞集団移動が駆動する体毛のコーミング機構の解明

### 山崎 正和

秋田大学 大学院理工学研究科 教授  
秋田大学 大学院医学系研究科 准教授



平面内細胞極性 (PCP) は、組織において体毛等の向きが特定の方向に揃う現象です。膜貫通分子 Frizzled 等から構成されるコアグループは PCP 制御の中核であると認知されていますが、分子実体は不明ながら、コアグループに依存しない PCP 調節機構の存在が示唆されています。本研究では、独自に見出した新たな現象「細胞集団移動を介した体毛のコーミング」に着目し、この未知なる PCP 制御機構の解明を目指します。

## コンタクトーム解析の基盤技術の確立

### 米原 圭祐

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 教授  
オーストラリア 医学部 准教授



本研究では細菌由来のペプチド転移酵素とウイルス感染制御技術を組み合わせることで、細胞間接触の総和「コンタクトーム」を解析するための基盤技術を開発します。これにより、従来不可能であった順行性トランスシナプス標識や一過性に相互作用した細胞の網羅的同定などが可能となります。これらの技術を利用して哺乳類中枢神経系における細胞間の機能ドメインを介したダイナミックな時空間相互作用を網羅的に明らかにします。

## 組織修復を駆動する組織微小環境ネットワーク

### 榎本 将人

福井大学 学術研究院医学系部門 特命教授  
京都大学 大学院生命科学研究所 助教



損傷組織の修復・再生は多様な細胞同士の相互作用によって達成されますが、その制御機構については不明な点が残されています。本研究はショウジョウバエ上皮をモデルとして、組織損傷によって生体内に形成される細胞間ネットワークの時空間制御機構を遺伝学的解析と器官ライブイメージング解析により明らかにすることで、組織が損傷を修復し再び元通りの機能・形態を回復していく仕組みの解明を目指します。

## 体の左右非対称を形成する力学的な機構の解明

### 大森 俊宏

東北大学 大学院工学研究科 准教授  
東北大学 大学院工学研究科 助教



体の左右非対称は初期胚に見られるノードと呼ばれる組織において決定されます。ノード内には水流が存在し、ノード左の不動繊毛が水流による機械刺激を感知することで左右非対称が形成されることが分かってきました。しかし、「なぜ左の繊毛だけが機械刺激を感知するのか？」という謎が残されたままとなっています。本研究では、工学的な数値流体解析、構造解析から、左の繊毛が機械刺激を感知する力学的な機構の解明を目指します。

## ルミクリンによる上皮組織の高次階層制御

### 浄住 大慈

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
大阪大学 微生物病研究所 助教



上皮組織は自己の構造を組織化するにつれ、細胞→上皮シート組織→上皮性管腔と構造の組織化レベルを階層的に発展させます。このとき各階層では固有の組織制御システムが機能していますが、管腔構造を完成させたのち作動する組織制御システムがあるのか十分に検討されていません。そこで哺乳動物の生殖路で機能するルミクリンをモデル系として *in vivo* 解析することで、上皮組織の高次階層での制御機構を明らかにします。

## 個々の細胞動態の集積による植物の成長運動の制御

### 郷 達明

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 助教  
同上



植物の成長に伴った運動は、植物ホルモンであるオーキシンの偏差分布が引き起こす不均一な成長（コロニー成長）により制御されるといふ説（コドニー/ウェット説）が提唱されています。しかし、偏差成長する細胞群の位置やタイミングは明らかになっていません。本研究では重力にตอบสนองした個々の細胞動態の精密計測により偏差成長の場を特定し、オーキシンの偏差分布から局所的な細胞伸長の制御に至る機構を明らかにします。

## 哺乳類胚における発生休止の多細胞ダイナミクス

高岡 勝吉

徳島大学 先端酵素学研究所 准教授  
同上

本研究では「哺乳類胚の発生はどのように休み、再活動するのか?」という課題に取り組みます。具体的には、「発生休止はプログラムされた多細胞システムにより制御されている」という提案者独自のアイデアをもとに、独自に開発した「細胞-組織特異的大規模 KO 技術」や、オミクス、イメージング技術を駆使した研究を展開します。



## 行動多様性を生み出すケモコネクトーム

平野 恭敬

香港科学技術大学 生命科学研究所 准教授  
The Hong Kong University of Science and Technology School of Science Assistant Professor

本研究ではシナプスの生化学的特性を空間的に解析する新規手法を用いて、コネクトームにそれら情報を組み込んだケモコネクトームを明らかにします。さらにケモコネクトームの動性を捉え、それらを操作し、様々な行動解析法を用いて捉えたケモコネクトームの重要性を探ります。ケモコネクトームとその動性を明らかにすることで、コネクトームだけでは説明できない動物の行動多様性の根本原理に迫ります。



## 時空間的コネクトプロテオミクス技術の創出

高野 哲也

九州大学 高等研究院 准教授  
慶應義塾大学 医学部 特任助教

脳組織は多くの細胞集団によって構成されています。従来の手法では、脳組織中から個々の細胞種間の構成分子を解析することは出来ませんでした。本研究では、組織内で特定の細胞種間を繋ぐ分子を網羅的に探索する為の時空間的コネクトプロテオミクス 技術を開発します。これにより、脳組織内の個々の神経回路網やグリア細胞間の生理的意義 を解明し、全く新しい観点からの脳の動作原理及び脳機能を解明します。



## 胚の幾何情報感知システムと時空間制御機構

守山 裕大

青山学院大学 理工学部 助教  
同上

胚発生において、時空間的に統制の取れた遺伝子発現や細胞の挙動は個体の体制を作り上げていく上で重要です。本研究課題では原腸形成過程を通じた体軸パターンニングに焦点を当て、胚の幾何情報に沿った遺伝子発現がどのように達成されるか、またそれに伴う細胞 / 細胞集団の挙動がどのように時空間的に制御され胚の体制を作り上げていくかを解析し、ミクロからマクロを貫く、胚発生の包括的な理解を目指します。



## 細胞間相互作用の設計による多細胞パターン形成

戸田 聡

大阪大学 蛋白質研究所 准教授  
金沢大学 ナノ生命科学研究所 助教

動物の発生過程では、細胞どうしが相互作用して複雑な多細胞パターンを形成します。本研究では、培養細胞を用いたモデルシステムに細胞間シグナル回路を作りこむことで、自発的なスポット形成や精密な勾配形成を実現するのに十分な細胞間相互作用を明らかにし、細胞がパターンを正確かつ自発的に制御する原理に迫ります。さらに本技術をオルガノイド培養系に導入し、組織構造をねらい通りに操作する技術開発を行います。



## 多核細胞が創り出す1細胞内転写マシナリーの解明

箭原 康人

大阪大学 大学院医学系研究科 准教授  
富山大学 学術研究部医学系 助教

多核細胞では複数の核が協調し合うことで、その働きが制御されています。本研究では多核破骨細胞にフォーカスします。異なる核を持つ前駆細胞が互いに融合する過程を詳細に観察するとともに、1細胞内に存在する複数の核による転写状態を独立して解析可能な新技術の創出を目指します。複数の核によって制御される1細胞内のダイナミクスを解明することにより、破骨細胞の活性化や機能低下に潜む新たな原理を探求します。



## 遺伝子改変マウスを用いた配偶子相互作用とそのダイナミクスの解明

野田 大地

熊本大学 大学院先端機構 准教授  
同上

精子は卵細胞膜と接着・融合して、卵へと取り込まれると、父性染色体を卵に送り込むと同時に、卵を活性化して受精が成立します。最近、私は融合に関連する精子タンパク質を見出しました。本研究では、遺伝子改変マウスを用いて、これらの融合関連因子がどのようにして融合メカニズムを制御するのか、その分子メカニズムの解明とともに、融合により取り込まれる精子タンパク質の卵活性化における役割を明らかにします。



## 細胞間接着の破壊を介した新しいメカノセンシング機構の解明

橋本 秀彦

大阪大学 大学院生命機能研究科 助教  
University of Chicago Department of Genetics and Cell Biology Research Professional

多細胞生物個体は、隣り合う細胞との接着をダイナミックに消失、形成することで組織や器官を構築する。ヒトと同じ脊索動物に属するホヤ胚の器官構築における上皮シート細胞再配置をモデルに、細胞間の接着因子どうしの結合ダイナミクスを可視化し、ライブイメージングと光操作を駆使して新しいメカノセンシング様式：機械刺激→接着の破壊→シグナル伝達の存在を検証する。それと共に細胞再配置の力学、分子メカニズムを解明する。



# ゲノムスケールの DNA 設計・合成による細胞制御技術の創出

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunyah30-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunyah30-1.html)

## 戦略目標

ゲノムスケールの DNA 合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出



研究総括  
塩見 春彦  
慶應義塾大学 医学部 教授

## 領域アドバイザー

朝倉 陽子	味の素(株) R&B企画部 シニアマネージャー
石井 浩二郎	高知工科大学 理工学群 教授
今井 由美子	医薬基盤・健康・栄養研究所 感染病態制御ワクチンプロジェクト プロジェクトリーダー
岩崎 信太郎	理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員
岡崎 寛	理化学研究所 創薬・医療技術基盤プログラム プログラムディレクター
小比賀 聡	大阪大学 大学院薬学研究科 教授
角谷 徹仁	東京大学大学院理学系研究科/ 情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 教授
北島 智也	理化学研究所 生命機能科学研究センター 副センター長・チームリーダー
黒川 顕	情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 教授・副所長
菅野 純夫	千葉大学 未来医療教育研究機構 特任教授
鈴木 勉	東京大学 大学院工学系研究科 教授
二階堂 愛	東京科学大学 総合研究院 教授
横川 隆司	京都大学 大学院工学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域はゲノムの構造と機能に関する基本原理(ゲノムの動作原理)の解明とその知見に基づく細胞利用の基盤技術の創出を目指すものです。特に、長鎖 DNA の活用を通して細胞の制御を目指すことで生命科学、ゲノム科学、細胞工学などのライフサイエンスのフロンティアの開拓と技術基盤の確立を目指します。

近年、世界的に長鎖 DNA を活用した研究開発が加速しています。これらはいずれも合成生物学の流れを汲むものであり、米国、中国、英国では複数の拠点が形成され、基礎研究や技術開発、ベンチャー企業の育成など戦略的な投資が行われています。しかしながら、各国の取り組みを見ると、細胞を任意に制御するためのゲノムの設計指針にまで踏み込んだ研究開発は少ないように見受けられます。

そこで、本研究領域では将来的なゲノム設計の基盤技術の構築に向けゲノムの動作原理の解明を目的とした研究開発に取り組みます。ここでは、進展が著しい長鎖 DNA の活用を視野に「ゲノムの構造と機能の解明」、「ゲノム設計のための基盤技術」、「ゲノムスケールの DNA 合成技術」、「人工細胞の構築」の4つの課題を推進し、ゲノムの複雑な機能と構造に関する知見の創出とゲノム合成や人工細胞に関する新たな技術の構築を目指します。

## 大規模ゲノム改変を可能にするRNAサイレンシング回避技術の確立

岩川 弘宙

東京大学 定置生命科学研究所 講師  
東京大学 定置生命科学研究所 助教



植物のRNAサイレンシングは人為的に導入した外来DNAの機能発現を阻害します。そのため、大規模ゲノム改変など、将来的に高機能物質生産が期待できる技術の導入を妨げると予想されます。本研究は新規試験管内系を用いた生化学に情報科学的アプローチを加えることによって、RNAサイレンシングを引き起こす隠れた法則や特徴を発見します。これを基盤として、高効率で外来DNAの発現を可能にする技術開発を目指します。

## メガベースサイズの人工DNAを用いたヒト人工染色体の設計・構築と汎用化

大関 淳一郎

(公財) かずさDNA研究所 先端開発部 研究員  
同上



ヒト人工染色体は、メガベース(百万塩基対)スケールのDNA配列を搭載可能な染色体ベクターで、物質生産や細胞機能を制御するための遺伝子群・人工合成したゲノム配列などの搭載と活用が期待されます。本研究では、ヒト人工染色体の動作原理を解明するとともに、メガベーススケールまで人工合成DNAを繋ぎ合わせる技術を開発することで、ゲノムスケールのDNAをヒト人工染色体に搭載・活用するための基盤技術を確立します。

## 膜融合による植物への長鎖DNA導入技術の開発

栗原 大輔

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
名古屋大学 大学院理学研究科 特任講師



長鎖DNAを植物細胞に導入する技術として、*in vitro* 受精卵または胚へ直接DNAを導入する技術の開発を行います。さらに、導入した受精卵・胚から培養変異なく植物個体を作出することを目的とします。本研究により植物受精卵や胚への長鎖DNA導入技術が確立されれば、有用植物個体の迅速な作出が期待されます。

## ミニマルゲノムから成る人工細胞の構築

車 諭激

海洋研究開発機構 超先端開発部門 主任研究員  
東京工業大学 地球生命研究所 特任准教授



ゲノム複製、遺伝子発現、膜合成、エネルギー生産など、細胞の生体維持に必須な代謝を担う遺伝子から最小限のゲノム、ミニマルゲノムを構築し、無細胞転写翻訳系とともに膜小胞に内封して、人工細胞の構築を目指します。また、人工細胞技術を応用して、デザインしたゲノムの機能発現を詳細に解析する純化された*in vitro*系を構築し、次世代のゲノム編集技術の基盤構築を目指します。

## ショウジョウバエ染色体工学による超巨大DNAや大規模遺伝子回路の構築法

近藤 周

東京理科大学 先進工学部 准教授  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 助教



100メガベース級の超巨大DNAや、100個以上の遺伝子からなる大規模遺伝子回路を動物細胞内で構築することは、現状では大きな困難を伴います。本研究はショウジョウバエの染色体工学技術を活用して、不等交差を繰り返して誘導することにより、無数のDNA断片を個体内で階層的に組み合わせる新たなDNA構築法を開発します。これにより作業工程が指数関数的に高速化され、超巨大DNAの構築が可能になります。

## レプリケーター領域の構成的理解を介したゲノム複製の制御技術の確立

大学 保一

東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教  
同上



ヒト培養細胞において、リーディング鎖・ラギング鎖それぞれを合成するDNAポリメラーゼの使用度を全ゲノム領域に渡り算出する実験系を開発し、これらの使用度の変化から個々のレプリケーター領域(複製開始領域)の位置、活動を定量的に評価する方法を確立します。この解析から得られるデータを利用して、様々なゲノム上の要因がレプリケーター形成に寄与する仕組みを解明し、レプリケーターをデザインする技術基盤を構築します。

## 細胞融合・分離が可能にする標的細胞の形質転換

坪内 知美

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 准教授  
同上



効率のよい細胞融合・分離システムを構築し、染色体レベルでの長鎖DNAの導入、削除の手法を確立します。このことで、染色体の追加だけでなくそこから発現する一連の因子を一過的にのみ作用させることを可能にします。さらに、このシステムを利用して標的細胞の遺伝情報を維持したまま、分化細胞に高効率かつ迅速に多能性を誘導することを試みます。

## 遺伝子を活性化するDNAルーピング機構の構造基盤の解明

野澤 佳世

東京大学 定置生命科学研究所 助教  
同上



長鎖DNAを介した遺伝子制御機構(DNAルーピング)を理解するために、エンハンサー・プロモーター間相互作用の中核を担うメディエーター複合体の構造を解明します。また、未だ明らかとなっていないエンハンサー領域のクロマチン状態を可視化するために、ヒストン修飾やエンハンサーDNA配列を含むヌクレオソーム、アクチベーター・タンパク質群を調製し、X線結晶構造解析とクライオ電子顕微鏡解析を行います。

## DNAのクラスター形成による転写制御の物理

山本 哲也

北海道大学 創成機構化学反応創成研究拠点 特任准教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



DNAのクラスター形成は、高分子のミセル化と類似しています。本研究では、1) コヒーシングがアクティブにDNAの形状を縮めること、2) その過程でスーパーエンハンサーの間の結合が解離することを考慮に入れて、高分子のミセル化の理論を拡張し、定常状態でのDNAクラスターの大きさと転写レートの理論解析を行います。その成果に基づき、スーパーエンハンサーによる転写制御のメカニズムを明らかにすることを目的とします。

## ゲノム配列から自動で全細胞モデリングする技術の開発

海津 一成

理化学研究所 生命機能科学研究センター 上級研究員  
同上



ゲノムスケールのDNA配列を一から設計するためには、遺伝情報からマルチオミクスや増殖速度など細胞の表現型を予測する全細胞シミュレーション技術が必要不可欠です。本研究では、データベース上の膨大なデータを統合することでゲノム配列から自動で大腸菌のモデリングを行う新たなプラットフォームを開発します。また本技術を用いてゲノム配列構造がいかに最適化され、どのような設計原理を持つのかを解明していきます。

## ゲノム構築におけるDNAトポロジーの役割

Canela Andres

京都大学 白眉センター 特定准教授  
同上



ゲノムDNAは微小な細胞内にきちんと収納され、高度に折り畳まれています。そのプロセスを理解することは細胞内で機能する合成DNAの適切なデザインに重要です。私はDNAのねじれを解消する酵素であるトポイソメラーゼ2(TOP2)が、DNAの折り畳みに重要なコヒーシンの結合部位で機能することを見出しました。DNAのねじれストレスの原因とTOP2の役割を解明し、ゲノムの核内配置機構の理解を目指します。

## DNAカーテンによるエピゲノム修飾継承の一分子計測

寺川 剛

京都大学 大学院理学研究科 助教  
同上



ゲノムの動作原理に基づいてゲノムを設計して人工細胞を構築するためには、生体分子への後天的な化学修飾(エピゲノム修飾)による遺伝子発現の制御について理解する必要があります。人工細胞が細胞分裂で増殖することを考えると、分裂前後でエピゲノム修飾が継承される機構を理解することが重要です。本研究では、エピゲノム修飾が継承される分子機構をDNAカーテン法を用いた一分子蛍光顕微鏡観察によって明らかにします。

## ゲノム三次元構造とゲノム機能をつなぐハブ構造構築

西山 朋子

京都大学 大学院理学研究科 教授  
名古屋大学 大学院理学研究科 准教授



*In cis* クロマチン高次構造形成に必要なコヒーシングがループ様構造を形成する過程を一分子リアルタイム観察系で明らかにし、このDNA構造変化を定量できるハイスループット解析系を開発する。この系を用いて転写活性とDNA構造変化の関連を調べ、精製タンパク質を用いた再構成系の構築を試みる。最後にこの系をDNA複製系と組み合わせることで、DNA複製・転写・接着機構が競合しないシステムを構築する。

## ポトルシップ法による人工細菌の創出

野崎 晋五

広島大学 大学院先進理工学専攻 共同研究員  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 特任研究員



本研究では、空き瓶の中で帆船模型を組み上げるポトルシップのように、大きな人工ゲノムを分断化した状態で細菌細胞に導入し、細胞内で完全なゲノムへと組み上げることで人工細菌を生み出すことを目指します。自在にゲノムがデザインされた人工細菌の創出技術は物質生産等への応用だけでなく、生命の必須因子を決定していく上でも重要となり、「生命とは何か?」という根源的な問いに対する解答に大きく近づくことが期待されます。

## 有機化学を基盤としたエピゲノム修飾ヌクレオソーム再構成技術の確立

林 剛介

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、有機化学分野で培われた分子技術を駆使し、DNA配列上の任意の位置で任意の修飾を有するヌクレオソームを再構成させることのできる技術を開発します。具体的には、ヒストンタンパク質およびDNAを化学合成し、翻訳後修飾やDNAメチル化などの「エピゲノム修飾」を有する細胞内環境に極めて近いヌクレオソーム(アレイ)を再構成させる技術の構築を行い、クロマチン分子生物学および合成生物学研究に貢献します。

## 組織特異的ゲノム構造の再構築技術の開発

原田 哲仁

九州大学 生体防衛医学研究所 准教授  
九州大学 生体防衛医学研究所 助教



組織特異的な細胞機能の獲得は、ゲノムから必要な遺伝子を発現させるために最適なクロマチン構造を形成する必要がありますが、その実態は明らかになっていません。本研究では、組織特異的ゲノム構造に焦点を当て、ゲノム作動領域の決定とそれを実行する因子の同定を行います。これにより、組織特異的遺伝子発現を操作する技術基盤の構築を目指します。

## 多細胞生物の進化に倣った染色体操作及び器官再構成法の開発

安藤 俊哉

京都大学 白眉センター 特定准教授  
自然科学研究機構 基礎生物学研究所 助教



本研究では、多細胞生物が進化の末に獲得した機能的な器官の特徴付けを行う鍵遺伝子座に着目します。鍵遺伝子座を別種生物の染色体上に大規模に移植することで、人為的に器官の特徴を再構成することを旨とします。その実現に必要な、鍵遺伝子の転写制御機構の解明と染色体操作技術の開発を進めます。

## シミュレーションによる染色体の動態解明と実測との比較

炭電 享司

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
金沢大学 ナノ生命科学研究所 特任助教



染色体は遺伝情報を担う生命に欠かせない物質であり、細胞分裂期においては誰もが知る特徴的なX字の形をしています。しかし、どのような分子がどのような配置を取ってX字を形成しているのか、分子レベルの構造は実は分かっていません。本研究は、染色体の構造や動きをシミュレーションによって解明します。また、種々の実験と比較することで正確な染色体のシミュレーションを可能にし、実験に役立つ情報に還元します。

## 人工エクソソームによる長鎖DNAの細胞導入法の開発

真栄城 正寿

北海道大学 大学院工学研究院 准教授  
北海道大学 大学院工学研究院 助教



脂質ナノ粒子やエクソソームは、標的化や高い細胞導入効率を示す。一方で、エクソソーム間の細胞への遺伝子導入効率の違いなどは未解明であり、エクソソームの遺伝子導入性能に関わる重要な因子を解明できれば、細胞への長鎖DNAの導入技術を確立できる。そこで本研究は、エクソソームによる遺伝子導入に関する重要因子を特定し、人工的に改変したハイブリッドエクソソームによる長鎖DNAの導入技術を開発する。

## リピート配列の相同組換えを保護する細菌ゲノムの分子基盤

石川 聖人

長浜バイオ大学 バイオサイエンス学部 准教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



タンデムリピート配列は、相同組換えによって機能喪失するリスクがあるにも関わらず、細菌ゲノム中では安定に維持されています。このことは相同組換えの保護システムの存在を示唆します。本提案では、複数のタンデムリピート配列を含む ataA 遺伝子を相同組換えから保護するための分子基盤を明らかにし、新たなゲノム操作技術の開発に繋がります。

## アーキアゲノムの分配機構と染色体工学への応用

竹俣 直道

京都大学 大学院工学研究科 助教  
インディアナ大学 分子細胞生化学部門 博士研究員



アーキアは真核生物の起源となった原核生物ドメインであり、われわれ真核生物がどのように誕生したかを解明する鍵を握っています。また、アーキアがもつ高い極限環境耐性や特殊な代謝系は応用面でも高いポテンシャルを秘めています。本研究は、アーキアで未だ同定されていないセントロメアの探索と、それを活用したアーキア人工染色体の開発を通じて、アーキアゲノムの動作原理と染色体工学への応用を目指します。

## 副反応を起こさない核酸等価体による長鎖DNA合成

正木 慶昭

東京工業大学 生命理工学院 助教  
同上



DNA化学合成ではさまざまな副生成物が生成することが知られています。これらの副生成物は、合成した遺伝子やゲノムの配列の正確性に大きな影響を及ぼします。本プロジェクトでは、ゲノム合成において問題となる副反応を起こさないよう設計した核酸等価体を用い、ホスホアミダイト法をゲノム合成に特化させることで、現在のゲノム合成の達成している水準を超える新たな基盤技術を開発します。

## エピゲノム確立の再構成による動作原理解明

越阪部 晃永

東京大学 大学院理学系研究科 特任助教  
グローバル・メンタル研究所 博士研究員



本研究では、反復配列上で観察されるクロマチン構成因子ヒストンのバリエーションとエピゲノム修飾間のクロストークによる遺伝子発現制御機構の解明を目指します。具体的には、生化学および分子遺伝学的手法によってエピゲノムの試験管内・植物内再構成を行い、特異的なヒストンバリエーション導入によるエピゲノムの確立とその制御システムを解析します。さらに、エピゲノム確立およびその動作原理の普遍性の理解を深めます。

## DNA配列のボトムアップ型自動設計技術の開発

前田 和勲

九州工業大学 大学院情報工学研究科 准教授  
九州工業大学 大学院情報工学研究科 助教



アミノ酸などの有用物質は遺伝子組換え細胞で生産されています。今後は長鎖DNA合成技術によってDNA配列設計の自由度が大幅に広がります。しかし、求める生物機能を実現するDNA配列を生物実験による試行錯誤で見つけ出すことは困難です。そこで、本研究では、DNAパーツを組み合わせることで、期待する生物機能を実現する遺伝子回路とそのDNA配列を自動設計することを目指します。

## 原始生命の進化に学ぶゲノム拡張基盤の構築

水内 良

東京大学 大学院総合文化研究科 特任助教  
同上



私がこれまでに携わってきた原始生命の進化に関する研究の知見を基に、人工細胞内で異なる遺伝子の断片を集積し、効率良く複製・機能する長鎖ゲノムを自発的に進化させる新しい技術を開発します。これにより、任意の遺伝子をコードした長鎖ゲノムを迅速に取得し、また人工細胞を用いてそれら遺伝子を自律的に進化させられるようになります。

## 顕微操作技術による初期胚の不安定なゲノムの分配システムの解明

京極 博久

神戸大学 大学院農学研究科 助教  
理化学研究所 生命機能科学センター 研究員



哺乳類の初期胚発生過程において、染色体分配異常の頻度が非常に高いことが知られていますが、その詳細な実態は明らかになっていません。本研究では、顕微操作技術を用いて、胚を人工的に操作し、特性の異なる胚を作り出すことや特殊なサンプリングをすることで、新たな解析技術を構築し、胚の染色体分配異常の解明を行い、安定なゲノム分配システムの理解を目指します。

## 生物種間で異なる時間スケールの原因解明と操作

松田 充弘

EMBL (European Molecular Biology Laboratory) Barcelona 研究員  
同上



妊娠期間が20日と9か月で異なるように、マウスとヒトは発生の時間スケールが異なります。これはマウスとヒトのゲノムの違いが原因ですが、ゲノムのどの部分が原因なのか、ゲノムの違いがどのようなメカニズムで種に特異的な発生時間スケールを与えるのかは全く分かっていません。本研究は、マウスとヒトの体節時計をモデルにして発生時間スケールの違いを生み出す原理を解明し、時間スケールを改変・操作することを目指します。

## ゲノム複製・組換えにおけるDNA高次構造制御機構の解明

村山 泰斗

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 准教授  
情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 ティンアクト連携



ゲノム複製は、様々な要因で生じるDNAの絡まり(DNA高次構造)によって阻害されます。本研究は、SMC型染色体構造タンパク質に着目し、DNA高次構造を解消して複製を効率的に行うメカニズムについて、複製タンパク質を用いた試験管内再構成解析を軸に解明します。DNA高次構造制御機構を搭載することによって、試験管内で染色体を効率的に複製・保全する技術基盤の構築を目指します。

## ヘテロクロマチンの構築とその分子基盤

白井 温子

理化学研究所 開拓研究本部 研究員  
同上



染色体が安定に複製し、正常に分裂するのに数Mbにわたるセントロメア周辺(ペリセントロメア)のヘテロクロマチン構造が重要な役割を果たしていることが知られていますが、その配列自体の意味や機能については不明な点が多くあります。本研究では、反復配列からの鎖特異的なncRNAがヘテロクロマチン形成に果たす役割や反復配列が抑制される仕組みの解明を行うことで、安定に複製・分裂する人工染色体の構築を目指します。

## 潜在する生命のゲノムが創出する原始細胞骨格機能の具現化

松林 英明

東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教  
ジョンスホプキンス大学 医学系研究科 博士研究員



ゲノム解析などの進展により、原始のアクチン細胞骨格の姿がわかってきました。しかし、メタゲノムや非モデル生物の機能は、解析が難しいことが課題になっています。本研究では、これらのゲノム機能を直接解析することを可能にするため、人工細胞内でのタンパク質操作を実現し、細胞骨格による動的な膜変形や運動を具現化できる技術基盤を構築します。それらの技術を用い、細胞骨格や膜変形機能の起源に迫ることを目指します。

## 有用物質生産を志向した機械学習支援 ゲノムデザイン

山田 亮祐

大阪公立大学 大学院工学研究科 准教授  
大阪府立大学 大学院工学研究科 准教授

微生物を用い、再生可能資源から様々な有用物質を生産することで、持続可能な社会を形成することが期待されています。本研究では、機械学習の技術を用い、有用物質の生産に適した生命の設計図（ゲノム）のデザインを明らかにします。更に、デザインしたゲノムを酵母細胞内で再現し、種々の有用物質を高効率に生産することを目指します。



# 材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-4.html)

戦略目標

選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～



研究総括  
北川 進  
京都大学 高等研究院 特別教授

## 領域アドバイザー

植村 卓史	東京大学 大学院工学系研究科 教授
梅津 理恵	東北大学 金属材料研究所 教授
岡部 晃博	三井化学(株) 新事業開発センター 室長
金子 弘昌	明治大学 理工学部 准教授
高井 まどか	東京大学 大学院工学系研究科 教授
寺西 利治	京都大学 化学研究所 教授
富重 圭一	東北大学 大学院工学系研究科 教授
中島 裕美子	東京科学大学 物質理工学院 教授
山下 弘巳	大阪大学 大学院工学系研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域は、世界中で顕在化している環境問題や資源問題のうち材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発を目的とします。資源枯渇への対応や環境負荷の低減、再生材使用率の向上といった社会からの要請に応えるには、それらの制約を受け難い原料からの材料創製および使用済みの材料を望み通りに分離・回収・リサイクルするための基盤技術の創成が重要で、それらが互いに結びつき、循環サイクルとして機能することも重要です。これまでの物質科学の枠組みを超え、多様な学術知見をもとにした新たな材料創製と循環に関わる基礎学理を構築し、それらの基盤技術の開発に取り組むことで、これからの資源循環型社会の実現に貢献することを目指します。

具体的には、材料・化学、物理学、環境・エネルギー、バイオ、エレクトロニクス、原子力、地質・海洋など幅広い分野を対象とし、金属、無機、有機・高分子、バイオなどにおいてこれまで取り扱われてきた純粋な材料だけでなく、不純物を含む複雑系材料にも焦点を当てます。すなわち、汎用資源やユビキタスに存在する原料、不純物を含む複雑系(廃棄物・廃液)原料として、高機能・高性能かつリサイクル性を考慮した材料の創製、および材料創製に最適な形で再生材を供給可能とする分離、分解、回収といった循環技術に関する基礎研究を展開し、その基礎学理を構築すると共に、循環型社会の実現に貢献する基盤技術の開発を目指します。

## 電荷包囲場の設計による遷移金属循環材料の創製

池本 晃喜

東京大学 大学院理学系研究科 准教授  
同上

今日、金属を如何に循環的に有効活用していくのかという観点からメタルサステナビリティは重要な概念となっています。本研究では、環状にコンパクトに窒素配位部を集積した電荷包囲場的な配位環境を特長とする錯体材料を開発します。五角両錐七配位構造などの異常配位環境を有する錯体化学の学理を開拓しつつ、高効率かつ高選択的な貴金属循環を実現する機能性錯体材料を創製します。

## イオン伝導を利用した強誘電材料の革新

大谷 亮

九州大学 大学院理学研究院 准教授  
同上

空間反転対称性の破れた結晶構造をもつ極性材料は、強誘電性、圧電性、焦電性、非線形光学特性といった優れた機能性を示します。一般的に、強誘電体は絶縁体として開発されてきたため、伝導体は強誘電性を示さないと考えられてきました。本研究では、この常識を覆すべく、極性骨格をもつイオン伝導体の新規合成開拓を行うことで、極性と伝導イオンが強相関した新物性の実現に挑戦します。

## ユビキタス資源を活用した資源循環カプセルの開発

北山 雄己哉

大阪公立大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

近年、海洋マイクロプラスチック問題は世界的な解決すべき火急の課題として認識され、この問題を解決するための革新的技術の開発が求められている。本研究では、自然界に豊富に存在するユビキタス原料であり、非可食性バイオマスであることから人間の食料と競合することがないリグニンを活用し、自然界で分解され天然分子にもどり環境負荷が極めて低い資源循環型高分子カプセルを開発する。

## バイオマスを用いた分解性NOペプチドの創製

清水 洋平

北海道大学 大学院理学研究院 准教授  
同上

ポリマーは現代社会に必要な不可欠な材料ですが、その多くは難分解性であり、環境問題の要因の一つとなっています。本研究は、バイオマスの一つであるカルボン酸を原料として、新たな分解性ポリマー「NOペプチド」を創製し、その機能開拓を目指します。さらに、NOペプチドの構造的な特徴に基づいた分解法を確立し、資源循環を可能にする新たな材料としてこれを利用するための基盤技術を開発します。

## 酵素分解を利用した循環型メソスコピック粒子材料

高野 勇太

北海道大学 電子科学研究所 准教授  
同上

酵素分解を利用した革新的な微粒子生成法により、環境調和型メソスコピックナノ粒子材料 (ms 粒子) を創製する手法の確立を目指します。特に、非可食性バイオマスや廃棄物由来の原料を用いて金属ナノ粒子集合体や分子触媒ナノ粒子などを開発し、新規な ms 粒子の機能発現を実現します。本手法で生成される ms 粒子は酵素分解性の連結部を有するため、使用後の分解・リサイクルが容易な環境調和型ナノ材料として期待できます。

## 資源循環をプログラムした自己組織化ポリマー材料の創成

寺島 崇矢

京都大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

本研究では、ユビキタスな天然化合物と汎用化合物を原料に用いて可逆的に生成/分解できる両親媒性ポリマーを設計し、その自己組織化により資源循環性をプログラムした機能性ポリマー材料を創出します。材料を化学的に分解/再生するリサイクル技術と、土壌や海洋、湖などの自然環境での分解により資源循環する技術を開発し、地球環境に配慮した循環性を併せもつ機能材料創製を目指します。

## 炭素-フッ素結合の開裂/再形成を鍵とするフッ素循環有機合成

西本 能弘

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

炭素-フッ素結合の開裂と再形成を鍵とした'フッ素を循環させる'戦略のもとで、高付加価値フッ素化合物の高効率合成を開発します。また、環境問題物質 PFAS を原料とした高価値フッ素化合物の合成により、PFAS のリソーシングとアップグレードも確立します。高効率合成とリソーシング・アップグレードを両輪とする有機合成反応により、持続的・産業のためのフッ素ニュートラルの実現を目指します。

## トポロジーと磁性に基づく革新的半金属材料の創製

肥後 友也

東京大学 大学院理学系研究科 特任准教授  
同上

トポロジカル半金属は、安価・安全な元素を用いた場合でも、特異なバンド構造に由来する巨大な電気・熱・光応答や高い電子移動度など、電子デバイス応用に適した優れた機能が期待できます。本提案では、持続可能な発展型社会の構築に向けて、資源・環境制約を克服する汎用・高機能電子材料としての利用を目指し、不純物や乱れに強靱な磁性トポロジカル半金属の開発と革新的電子機能の創出を行います。

## クロスリアリティ時代に向けた光・音響動的循環型物質工学の開拓

本多 智

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
同上

本研究では第一に、光および高密度焦点式超音波 (HIFU) の印加により力学物性を可逆的に制御可能な光・音響動的機能物質 (PADM) の開発、第二、HIFU を有効利用した異種材料の接合解法と PADM による修復・再接合法の開発をおこなう。さらに、PADM と量子ドットからなる複合材料を創製し、HIFU 照射による物質内部での音と光の応答領域展開法と、3次元閉鎖空間での材料の力学物性制御技術を開発する。

## ユビキタス分子をフェロイック材料に転換する機能性結晶の創製

焼山 佑美

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

固体材料における空間反転対称性の欠如は、特異な物性発現の鍵となりますが、そのような極性構造を選択的に構築することは困難です。本研究では、シンプルかつユビキタスに存在する多様な分子を取り込み、極性配列させることのできる機能性ホスト結晶を開発します。強誘電性をはじめとする物性の確認・機能展開を通じ、多様なフェロイック材料を自在に創出できる「on 1」な資源循環材料の創製を目指します。

## 高機能炭化金属ナノ粒子の創製と環境調和型液相水素化反応への応用

山口 渉

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教  
同上

本研究では、炭化金属ナノ粒子の特異な水素活性化能に基づく、高効率な液相水素化反応系の開発を目指します。化学工業における基幹化合物の多くは液相変換法によって合成されており、従来の金属触媒よりも低い水素圧力下で反応を促進することができれば、水素の安全かつ高効率な利用、金属資源の使用量低減および省エネルギー化につながり、既存技術を置き換える次世代触媒プロセスの構築に貢献できると期待されます。

# 光でつなぐ情報と物理の融合分野の開拓

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-3.html)

戦略目標

持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓



研究総括  
川西 哲也

早稲田大学 理工学術院 教授

## 領域アドバイザー

青木 隆朗	早稲田大学 理工学術院 教授
大友 明	情報通信研究機構 未来ICT研究所 上席エキスパート
栗村 直	物質・材料研究機構 電子・光機能材料研究センター 主幹研究員
鯉淵 道紘	情報・システム研究機構 国立情報学研究所 教授
中野 義昭	東京大学 大学院工学系研究科 教授
橋本 俊和	日本電信電話(株) 先端集積デバイス研究所 上席特別研究員
原井 洋明	情報通信研究機構 ネットワーク研究所 研究所長
星田 剛司	富士通(株) フォトニクスシステム事業本部 先行技術開発室長
丸田 章博	大阪大学 大学院工学研究科 教授
山田 浩治	産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター 総括研究主幹

## 研究領域概要

本研究領域では、持続可能な情報通信システムの実現を目指して、我が国が強い光科学と情報・材料等の科学を融合し、従来技術の限界を打破する革新的な融合技術のフロンティアを開拓します。これまでも光の性質を活用した情報処理に関する研究は長年進められてきましたが、既存の情報処理技術との融合や蓄積された知見の活用が十分ではなく、実用化が進んでいませんでした。逆に、既存の情報処理の手法を光技術で代替しようとするあまり光の性質を生かし切れていないといったケースもありました。そこで、基礎科学やデバイス・システムに関する要素技術の深掘りに加え、利用技術開拓にわたる階層間の融合を推進することで、革新的な技術創出と期待拡大の好循環を生み出すことを目指します。

本研究領域では、「光の真価を発揮する原理・要素技術」と「光と異分野のハイブリッド技術」の2つを柱として研究を推進します。具体的には、光の潜在能力を最大限に引き出す要素技術の開発や新たな理論・材料等を導入し、光の基礎原理・新現象等を追究することで、光を適材適所に活用したシステム全体を効率化する技術の開拓を目指します。さらに、光と情報等の科学の融合により、光や電子だけでは突破できなかった従来の性能限界を超えるハイブリッド技術を開発することで、従来限界を打開できるシステムの実証を目指します。

このように、ハードウェアの物理的性質の高度な理解と情報技術に基づくシステム設計の融合を進め、高効率・高速といった利点のある光を駆使した情報と物理とが直結する世界を目指すことで、持続発展可能な情報システム社会の実現に貢献します。

## 光コムを駆使した多機能な時空間コヒーレント分光技術の開拓

浅原 彰文

電気通信大学 大学院情報理工学研究所 准教授  
同上



本研究では、次世代光技術として知られる光周波数コム（光コム）を自在に操り、複数台のマルチ光コムを組み合わせた革新的な時空間コヒーレント分光技術を開拓します。光波の時間モードと空間モードが高度にデザインされ、高い機能性と操作自由度をもつ量子物性の計測制御技術を確立することにより、量子情報デバイス開発等における新たな基盤技術の創出を目指します。

## 力学的調律プラズモン場による最適化生体分子検出

石川 大輔

東京科学大学 総合研究所 講師  
東京医科大学 生体材料工学研究所 講師



疾患の原因となるウイルスの遺伝子に由来するマイクロRNAを極微量で検出できる方法を開発することは、疾患の早期発見と簡便で正確な診断のために重要です。本研究では、構造DNAナノテクノロジーを駆使して、光学活性なプラズモン場を備えた光学センサを開発します。このプラズモン場を二次元界面で力学的に精密制御することで、高い選択性と超高感度をもつRNA検出手法を確立することを目指します。

## 表面格子共鳴による巨大な非相反光学応答の実現

石田 拓也

東京大学 生産技術研究所 助教  
同上



従来、可視～近赤外領域において無偏光に対する非相反光学応答を日常的な環境下で実現することは困難でした。本研究では、光電気化学的ナノキラル形状化法を用いて、優れた磁気光学材料と光アンテナ効果を有するプラズモニック金属から構成される磁気キラルナノ複合体アレイを作製します。これにより、表面格子共鳴を利用して磁気キラル効果を増強し、日常的環境下での巨大な非相反光学応答の実現を目指します。

## 光で創るスピネクスタ機能

石原 淳

東北大学 大学院工学研究所 助教  
同上



本研究では、光波の軌道角運動量や空間自由度、光干渉増幅、周波数-空間変換、プログラマブルな偏光制御など、光科学および光技術の発展によってもたらされた光機能を極限まで活用し、従来の限界を超えた光とスピネクスタのメディア変換技術基盤を確立します。そして連続媒質型物理リザーバといった機能性を示すことで、光の高い拡張性を利用した複雑なスピネクスタならでの高速・大容量処理の技術革新を目指します。

## 赤外・テラヘルツ光シンセサイザの開発

岡崎 大樹

京都大学 化学研究所 助教  
同上



光電場に応答する物理を追究することで、光電場駆動の超高速光電変換に基づく光周波数帯動デバイスの実現が期待されます。本研究では、これらを自在に操作せしめる光源開発と光計測に取り組みます。Cr:ZnSやFe:ZnSeに代表される次世代レーザー材料を利用した中赤外フェムト秒レーザーにおいて、高度なレーザー位相制御/増幅技術を開拓し、赤外域からテラヘルツ域にわたる広帯域な光電場シンセサイザを創出します。

## 植物由来フォトニック構造を用いた超高密度散布型センサデバイスの実現

春日 貴章

大阪大学 産業科学研究所 助教  
同上



環境情報を収集し情報空間に送信するセンサデバイスは、物理空間と情報空間を繋ぐ窓口であり、大量設置によってきめ細やかな環境情報の収集・利活用が可能になります。本研究では、大量設置と持続可能性の両立に向け、材料・光学・情報技術を融合した新奇センサデバイスを開発します。植物繊維など環境に配慮した材料のみを用いることで、空からばらまくレベルで高密度に設置でき、かつ、環境に優しいセンサデバイスを実現します。

## 転写集積術による $\chi(2)$ ～ $\chi(3)$ 融合非線形光学の開拓

高 磊

産業総合研究所 フォトフォームフォトニクスセンター 主任研究員  
同上



非線形光学効果による波長変換デバイスの進化は世代ごとに効率と集積度が向上している。非線形光学結晶の改良、擬位相整合(QPM)法の導入、導波路化による高効率化、TFLNウエハの登場など発展が著しい。本研究では、TFLN導波路の構造揺らぎによる位相不整合を抑えるべく、高精度なSiPh集積技術と独自の薄膜転写技術を活用し、 $\chi(2)$ - $\chi(3)$ 融合型のチップレット集積型非線形光学分野を開拓する。

## 光学部品を必要としない分光デバイスの創造

崔 容俊

豊橋技術科学大学 大学院工学研究所 准教授  
同上



本研究では、シリコンの光吸収特性を用いて、光学部品を必要としないフィルタフリー分光センサを開発し、機械学習を用いて可視光・近赤外線領域における分光法を確立します。さらに、フィルタフリー分光センサをアレイ化させ、時間・空間・スペクトルとなる3次元の光情報を取得可能な分光イメージングデバイスを創成し、多重蛍光観察、ウイルス検出、植物分光分析など様々な分野への応用が可能な小型分光イメージングシステムを実現します。

## 決定論的の光局在伝搬が拓く高密度光・量子デバイス

松田 信幸

東北大学 大学院工学研究所 准教授  
同上



光導波路や光ファイバといった光伝送路の集積密度は、近接伝送路間で生じる光波クロストークにより制限されます。本研究では、光波の局在現象を利用し、クロストークを遮断する導波路アレイ構造を実現します。さらに、この構造を用い、光子デバイス回路の高密度集積化や、マルチコア光ファイバのコア数増大を図り、将来のグリーン情報システムにおける情報処理能力や通信速度の向上に貢献する光・量子デバイス技術を開発します。

## 光トポロジカルスピネクスタの開拓

森 亮

東京大学 物性研究所 助教  
同上



光科学技術の進展により、非平衡状態の新たな物質相や超高速制御が実現可能になってきました。本研究では、光と物質の構造を調和させることで、近年発見された、光と物質の相互作用によって生まれる励起子状態とトポロジカル電子状態を組み合わせた「エキシトニックトポロジカル状態」のスピネクスタや励起子相互作用を自在に制御することで、新奇量子相の探索、そして情報・デバイス技術応用への新たな可能性探求を目指します。

# 新原理デバイス創成のためのナノマテリアル

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2023-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2023-3.html)

戦略目標

新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術



研究総括

岩佐 義宏

理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長

## 領域アドバイザー

葛西 誠也	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター 教授
越野 幹人	大阪大学 大学院理学研究科 教授
佐藤 宇史	東北大学 材料科学高等研究所 教授
高村(山田) 由起子	北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授
竹谷 純一	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
塚崎 敦	東京大学 大学院工学系研究科 教授
宮本 良之	産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員
村木 康二	日本電信電話(株) NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員
若宮 淳志	京都大学 化学研究所 教授
渡部 宏治	東京エレクトロン(株) デバイス技術企画部 プロジェクトリーダー

## 研究領域概要

本研究領域では、2次元物質をはじめとする多様なナノマテリアルの電子デバイスに関する基礎学理の構築と基盤技術の開発を目的とします。ナノマテリアルは、近年ファンデルワールス物質の特徴を生かしたナノチューブや2次元物質が最先端半導体デバイスのコアマテリアルとして期待されているだけでなく、種々のセンサ、光デバイス、スピントロニクスデバイスなどとして応用が進展しています。一方、2次元物質は、そのデバイス化によってバルク材料では実現できない量子物性が数多く発見され、世界的に大きなインパクトを与えています。このように、ナノマテリアルとそのデバイスを用いて、先端エレクトロニクスの基礎を切り開くとともに、新規物性を開拓しこれに基づくデバイスの新原理を創成します。これによって、ナノマテリアルでしかできない新機能、高性能デバイスの実現を目指します。

具体的には、ファンデルワールス物質に限らず、電子機能を有するあらゆるナノマテリアルを対象とし、極薄膜や界面なども含みます。物質の合成から、デバイス作製とそのプロセス開発、基礎物性の解明から機能開発と高度化まで、物理、化学、材料科学、電子工学などの学際的アプローチで、独創性の高い基礎学理を確立するとともに、ナノマテリアルの活用基盤技術を構築します。

### 超低電圧動作WSe<sub>2</sub> CMOS集積回路の基盤創生

川那子 高暢

産業技術総合研究所 先端半導体研究センター 主任研究員  
東京工業大学 科学技術創成研究院 助教



本研究では、二セレン化タングステン(WSe<sub>2</sub>)を用いた超低電圧動作 CMOS 集積回路の基盤技術を確立します。特に WSe<sub>2</sub> チャンネルを上下のゲートスタックで挟み込んだダブルゲート動作、ノンドープ WSe<sub>2</sub> チャンネルによる n/p FETs の実現及び独自の自己整合プロセスによる超低電圧 WSe<sub>2</sub> CMOS デバイスを実現します。そしてチップレベルの超低電圧動作 WSe<sub>2</sub> CMOS 集積回路への応用展開を目指します。

### キラル動的共有結合性有機構造体トランジスタの創製

佐々木 由比

東京大学 先端科学技術研究センター 講師  
東京大学 生産技術研究所 特任助教



本研究では、高い秩序性を有する動的共有結合性のキラルナノ集合構造をオンデマンドに作製するためのボトムアップアプローチを提案します。形成したキラルナノ集合構造をトランジスタへ導入し、本デバイスを化学センサのプラットフォームとして活用することで、ナノ集合体の可能性を拡張する取り組みを目指します。

### ナノ物質超構造の量子協同過程を利用した高効率光電デバイスの開発

田原 弘量

横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授  
京都大学 白眉センター 特定准教授



集団のナノ物質が協同的に振る舞うことで、巨大な光学応答が生まれます。本研究では、集団のナノ物質が生み出す量子協同過程を利用した光電デバイスを開発します。ナノ物質を精密に配列して結合させた超構造体を作製し、量子協同過程を介した効率的な赤外-可視エネルギー変換技術を生み出します。さらに、エネルギー変換とともに、情報変換の観点から赤外光利用に向けたデバイスを開発します。

### 超高速動作イオントロンクスの創成

土屋 敬志

韓国・KAIST 超高速ナノデバイス研究センター グループリーダー  
韓国・KAIST 超高速ナノデバイス研究センター 主任研究員



本研究ではイオントロンクスデバイスの動作速度を決定する電気二重層の応答について、デバイスを構成する電解質やチャンネル材料、電極の諸特性、界面、デバイス構造などに着目して飛躍的な高速化を図るとともに、高速動作を合理的に説明する新しい電気化学モデルを考案し、様々なナノマテリアルを用いて超高速動作イオントロンクスを実現するための学術基盤を構築する。

### 一次元ナノ空間におけるヘテロ接合の理解と作製技術の創出

中西 勇介

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
東京都立大学 大学院理学研究科 助教



ナノチューブなどの一次元ナノ空間に形成する直径数 nm 以下の「原子細線」は究極的に細い電子材料として長年注目されていますが、外部から隔絶されたナノ空間への電極接続は難しく、デバイス研究は限られています。本研究では、ナノ空間と外部をつなぐヘテロ接合を実現し、原子細線の電子特性を最大限に引き出す電極接合技術を開発します。実際にデバイスを作製し、動作実証することで、原子細線の活用基盤の構築を目指します。

### 磁性超薄膜界面を用いた革新的電圧スピントリコニックデバイス技術の開発

中山 裕康

産業技術総合研究所 先端量子デバイス研究センター 主任研究員  
同上



Society5.0により実現する超スマート社会では、情報処理量及び電力消費量の爆発的増大が懸念されており、コンピュータ機器の低消費電力化が不可欠です。本研究では、磁性体超薄膜における界面制御技術を核にした新材料・構造探索により、磁性体積層構造における長距離相互作用を用いた電圧スピントリコニック制御に挑戦し、書き込みエラー率の劇的削減を可能とする次世代の省エネルギースピントリコニックの新技術創出を目指します。

### 狭ギャップ二次元材料の大面積プロセスと中赤外光デバイス応用

東垂水 直樹

カリフォルニア大学アーバイン校 教授  
カリフォルニア大学アーバイン校 教授



中赤外光の活用は、ガスセンシングやナイトビジョンなどに応用が可能であり、防災・セキュリティ、ビルメンテナンス、自動車などの分野で需要が高まっています。本研究では、狭ギャップ二次元半導体の優れた光学特性に着目し、材料・プロセス開発、および中赤外光デバイスの高性能化を目指します。マイクロスケールでの単一デバイス動作にとどまらず、チップスケールからウェアラブルデバイスでの大面積化・集積化に挑みます。

### 2次元ペロブスカイトを用いた高速キャリア輸送の実現

松島 敏則

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 准教授  
同上



キャリア輸送性の有機アミンを導入した2次元ペロブスカイトを半導体層とした電界効果トランジスタを作製する。有機アミン層と金属ハロゲン層でキャリア輸送を分担させた革新的なアンビポーラ駆動を実現する。成膜プロセスの最適化により粒界密度と欠陥密度を低減させ、それにより、キャリア輸送を高速化させることを目指す。

### ナノ空間の対称性制御による光スピン機能の創出

松原 正和

東北大学 大学院理学研究科 准教授  
同上



物質が示す様々な機能は、そこに内在する電子自由度の対称性と密接に結びついています。本研究では、ナノ空間の対称性を操作した様々な薄膜人工物質—2次元メタマテリアル—を開発し、新原理の光スピン流生成・制御やスピン光電変換など、物質本来の特性に縛られない新規光スピン機能創出の基盤技術を構築します。

### 薄膜界面・構造の不均一性による創発トポロジカル物性

茂木 将孝

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
マサチューセッツ工科大学 博士研究員



二次元物質の捻りが生む非一様なモアレ模様は起因する、新奇な電気、光応答に注目が集まっています。本研究では、物質の非一様性を広く捉え、分子線エピタキシー薄膜合成技術を活用したヘテロ界面歪みや組成制御を通して不均一性をデザインすることにより、物質のトポロジーに着目した新たな電子機能を開拓します。さらに、先端レーザー技術による物質の非平衡状態生成を通じた超高速トポロジカル相スイッチの実現にも挑戦します。

### 化学気相成長に基づく原子層デバイスの構築

井ノ上 泰輝

大阪大学 大学院工学研究科 助教  
同上



次世代の半導体デバイス材料として、グラフェン、六方晶窒化ホウ素、遷移金属ダイカルコゲナイドなどの原子層物質が期待されています。本研究では、原子層物質の化学気相成長において、ヘテロ層成長、成長・エッチング速度制御、核生成制御等の物質合成技術を高度化し、従来の半導体プロセスと融合することで、原子層デバイスの新たな作製方針の確立を目指します。

### 3次元集積CFETに向けた次世代材料素子技術基盤の構築

柯 夢南

千葉大学 大学院工学研究科 助教  
同上



新チャンネル材料 CFET の実現に向けた、Ge や二次元材料半導体及びその積層構造を用いた3次元集積 CMOS を開発し、高品質 Ge と MoS<sub>2</sub> MOS 界面形成技術、トランスファー法による積層 MoS<sub>2</sub> チャンネル形成技術、3次元的に直接接続できる低抵抗 SD コンタクト形成技術など、世界初となる Ge pFET と MoS<sub>2</sub> nFET を用いる3次元集積 CMOS の設計および開発を成功させ、その最適構造やプロセスを明確にする。

### 二次元強誘電体の自発分極制御とメモリデバイス応用

菅 大介

京都大学 化学研究所 准教授  
同上



二次元強誘電体は、結晶格子 1-2 個程度の厚さ（約 1 ナノメートル）にまで極薄化しても自発分極を維持できるナノマテリアルです。本研究では、二次元強誘電体メンブレン結晶の材料技術を開発させ、ツイスト積層など、これまでの強誘電体材料の研究では活用できなかったアプローチをも駆使して、自発分極制御により優れた特性を持つ二次元強誘電体を実現し、超低消費電力メモリデバイス開発に挑戦します。

### モアレ分子科学の創生

島崎 佑也

東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授  
理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員



本研究では半導体遷移金属ダイカルコゲナイドからなるヘテロ構造において、閉じ込め強いモアレポテンシャルと弱いゲート電極によるポテンシャルの組み合わせにより、均一性の高い少数電子状態を実現する。特にトリオン発光や励起、量子光学測定を利用することで光学的な単一電子状態の検出を試みる。またゲート電極による制御により、少数電子から構成される様々なモアレ分子を実現する。

### ナノ計測と分子線エピタキシーを融合した新規原子層ナノマテリアル開発

菅原 克明

東北大学 大学院理学研究科 准教授  
同上



本さきがけ研究では、MBE 法・原子置換法・元素析出法を用いることで、これまで未知となっていた新たな原子層ナノマテリアル群を創製し、それらの新規量子物性を明らかにする。また、それらの起源をマイクロ/ナノ ARPES などのナノ計測による電子状態イメージングによって解明することで、新規原子層物質における量子現象の創発を目指すと共に、新たな「原子層エレクトロニクス」開発に資する基盤技術構築に貢献する。

## 超薄膜トポロジカル反強磁性体ナノデバイスの機能性開拓

竹内 祐太郎

物質・材料研究機構 若手国際研究センター ICYSリサーチフェロー  
同上

近年のトポロジカル反強磁性体における様々な量子物性の発見によって、反強磁性体をコア材料に用いたデバイス研究が加速しています。本研究では、電流によるトポロジカル反強磁性体のスピン回転という新規現象をナノスケール素子において能動的に活用します。超高速スピン制御や従来とは質的に異なる発振効果を実証することで、新しい原理による高機能不揮発性メモリや次世代高速通信の実現に向けたコア技術の創出を目指します。



## マイクロ波を用いた原子層物質の新現象探索

田中 未羽子

東京大学 物性研究所 助教  
同上

原子層物質は複数の物質を組み合わせで所望の物理系を作成することができる、物性物理の理想的なプラットフォームです。しかし体積が非常に小さいためこれまで測定手法が限られてきました。未開拓であった MHz $\sim$ GHz のエネルギー帯には超伝導と磁性体の重要な物理が存在します。本研究では原子層物質のマイクロ波応答を測定する方法を確立し、超伝導と磁性に関する新現象の開拓を行います。



## 顕微分光による二次元物質デバイスの物性開拓

張 奕勁

東京大学 生産技術研究所 助教  
同上

本研究では、顕微光学測定を中心としたアプローチから二次元物質やその van der Waals 積層のナノデバイスの研究を行います。極低温や高磁場を印加した特殊環境において電気伝導測定と顕微分光測定を同時に行うことで、未開拓であった領域における新奇物性や機能性を開拓します。また、van der Waals 積層の作製途中に顕微分光などのその場物性評価を行う新しい研究スタイルの構築も目指します。



## 界面創発磁気デバイス創成に向けた学理構築

藤田 貴啓

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上

トポロジカルに非自明な磁気構造中の電子は、仮想的な創発磁場によって駆動され、様々な創発磁気輸送現象を示します。本研究では、電気伝導性と磁性が機能分離された酸化物ヘテロ界面を用いて、従来のバルク材料では不可能な創発磁場をもたらす新機能性や新奇物性を開拓します。酸化物ヘテロ界面を“界面”創発磁気輸送現象の研究舞台へと昇華させるべく、高い結晶性と物質選択の自由度を両立した成膜手法の確立にも挑戦します。



## 分子ギアがつくる幾何学的フラストレーション有機半導体の機能創出

松本 道生

物質・材料研究機構 ナノスケルトン材料研究センター 研究員  
同上

幾何学的フラストレーションは物質構造の「単純さ」と「複雑性」を両立させる物質群であり、この構造がもたらす奇異な物性現象から注目を集めています。一方、従来の報告は金属原子を含む無機結晶が大半で、有機分子性結晶の例はほとんどありません。本研究では分子同士の噛み合いを制御する分子ギアを用いて、幾何学的フラストレーションが内在する有機分子性半導体結晶を新たに合成し、その物性開拓とデバイス作成を目指します。



# 量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2023-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2023-1.html)

戦略目標

量子フロンティア開拓のための共創型研究



研究総括  
井元 信之  
東京大学 特命教授室 特命教授

## 領域アドバイザー

石内 秀美	元 先端ナノプロセス基盤開発センター (EIDEC) 代表取締役社長
井上 弘士	九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授
小芦 雅斗	東京大学 大学院工学系研究科 教授
上妻 幹旺	東京科学大学 総合研究院 教授
高柳 匡	京都大学 基礎物理学研究所 教授
竹内 繁樹	京都大学 大学院工学研究科 教授
樽茶 清悟	理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレクター
富田 章久	北海道大学 大学院情報科学研究院 教授
中村 泰信	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター センター長
平野 琢也	学習院大学 理学部 教授

## 研究領域概要

本研究領域は、量子コンピュータ・量子通信・量子センサー等の量子情報技術を単独または組み合わせて、ハードを造る・システム化する・ソルバーとして使う・ソフトを開発する・新しい使い方を開拓するにあたり、他の分野（素粒子・宇宙、物性物理、化学、材料工学、電気電子、情報処理、機械工学、計算科学、最適制御、AI、基礎数理など）の既存成果や考え方を積極的に取り入れたり、逆にこれらの分野に共創的に融合したりして分野の変化をもたらすことにより、新たな「量子フロンティア」の開拓を目指します。

これまでに培ってきた量子技術は、量子の特性を活かすために必要な従来型（古典）技術の蓄積を十分活用したとは言いきれないため、大規模化や実用化、新利用法開拓も十分とは言えません。このため量子と異分野との融合や、古典の蓄積をはじめとする異なる階層での融合を積極的に進めることでこれまでの状況を打破し、真の量子・古典ハイブリッドの超越性実現を目指します。そのために、周辺装置・エレクトロニクス・システムアーキテクチャ・アルゴリズム等での様々な協調・融合を推進します。また、原子・分子・イオン・光、超伝導材料、半導体材料、プロセス技術、レーザー技術などの連携により、高いポテンシャルを持った新奇量子系、異なる量子系のハイブリッド方式、量子の制御方法や基盤となる基礎学理の拡大を探索します。

これらの新しい量子科学技術を追求することにより、従来不可能であったことを計算・予測・診断・制御することが可能となり、今後の経済・社会の発展や、より安全かつ安心な暮らしに繋がることが期待されます。

## 核スピンを介した非侵襲量子診断技術の開拓

### 上ノ町 水紀

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
京都大学 学際融合教育研究推進センター 特定助教



生体深部における微小領域の情報と位置を同時検出する技術は未だ存在しません。本研究では、複数の光子を連続的に放出するカスケード核種の核スピンを「量子センサー」として利用し、微小環境情報と薬剤集積を同時取得する新しい非侵襲量子診断技術を開拓します。原理検証から医用応用の実験的検証、光子相関の物理的解明を行い、世界初の生体深部における電磁場や温度、pH等の情報抽出イメージング技術の確立を目指します。

## 常在ZZ相互作用を用いた大規模超伝導量子計算

### 小川 和久

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授  
大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 講師



量子コンピュータの大規模化に伴い、スケラビリティの問題が深刻になっています。本研究では大規模化に伴う制御線本数の過多・周波数衝突・マイクロ波制御装置の負担という3つの問題に対し、「常在ZZ相互作用を2qubitゲートとして用いた計算方式」というアプローチを提案し、その有効性を理論的・実験的に検証します。

## 格子ゲージ理論シミュレーションへの量子情報理論的アプローチ

### 奥田 拓也

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
同上



この研究では、格子ゲージ理論をシミュレートする効率的なアルゴリズムを開発して精度を向上させ、今まで不可能だった問題の解析を可能にするを目指します。量子コンピュータによる回路型と測定型のシミュレーションの理論を進展させ、アルゴリズムを開発し実装します。またテンソルネットワークを用いた古典シミュレーションを通じてハミルトニアン形式での格子ゲージ理論シミュレーションのアルゴリズムを開発します。

## 光子数分解可能なスケラブル単一光子検出器の開拓

### 沓間 弘樹

東北大学 大学院工学研究科 助教  
同上



本研究では、超伝導性、マイクロ波回路技術、光検出器開発、増幅器開発の異なる分野の知見を結集することで、誤り耐性を備えた光子量子コンピュータに必要な光子数識別可能な高速超伝導検出器アレイを創出することを目指します。小型なインピーダンス変換回路を備えた超伝導マイクロワイヤ単一光子検出器と低消費電力な超伝導増幅器を組み合わせた新たな超伝導検出器システムの開発を行います。

## 光導波路による中性冷却原子デバイスの集積化

### 高野 哲至

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
京都大学 大学院理学研究科 特定准教授



導波路中の定在波が表面に作る染み出し光で、ツリウム原子を捕獲します。ツリウム原子は、電子が最外殻を占有することによる静電遮蔽のために、例えばストロンチウム原子の約1/4000相当の極めて電場に鈍感な時計遷移を持ち、導波路表面によるドコヒーレンスに強い状態が得られます。さらに、魔法波長で染み出し光による外乱を制御することで、ms以上の光学コヒーレンスが期待されます。このデバイスは量子通信に適していると考えられます。

## k-RDM 推定量子アルゴリズムが拓く量子新奇テストベッド準周期系

### 竹森 那由多

大阪大学 大学院理学研究科 准教授  
大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授



k次の縮約密度行列(RDM)を得る量子アルゴリズム開発として、フェルミオン影法によるk-RDM推定を用いた量子部分空間展開法の開発を行います。フェルミオン影法によってk-RDMの評価を効率化し、さらに高次のRDMを低次で近似する手法を組み合わせ、量子部分空間展開法に必要とされるコストを大幅に削減します。さらに、RDMが必要となる量子優位性をもつテストベッドとして、準周期系を取り上げます。

## 超伝導量子センサーと暗黒物質探索の共創的融合

### 新田 龍海

東京大学 素粒子物理国際研究センター 特任助教  
同上



量子コンピュータの核となる構成要素の一つである超伝導量子ビットは、いままでも難しかったGHz帯の単一光子のセンサーとしての応用が提案されています。本研究では、光子センサー応用に特化した超伝導量子ビットを開発し、いままでも実現されていなかった光子センサーの感度の広帯域化を目指します。さらに、開発した光子センサーを暗黒物質探索に応用し、広帯域の暗黒物質探索を遂行します。

## 大規模化可能なシリコン量子コンピュータ単位構造の開発

### 野入 亮人

理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員  
同上



本研究では、半導体集積技術を用いて大規模化が可能と目されているシリコン量子コンピュータにおいて、量子ビットをコヒーレントに動かすシャトル技術を拡張して大規模化可能な単位構造を開発します。シャトルの距離とパフォーマンスの関係を明らかにすることで、少数量子ビット系において示された、量子コンピュータとしての高い性能を保ちながら、大規模化における障壁である配線問題等を解決可能な単位構造を検討します。

## 量子位相的機械学習法の開発と計算複雑性の解析

### 早川 龍

京都大学 白眉センター 特定助教  
京都大学 大学院理学研究科 大学院生



量子計算機を用いて位相的なデータ解析を行う手法が、古典計算に対して著しい高速性を有する量子アルゴリズムとして注目を集めています。本研究では、位相的データ解析を用いた量子機械学習法の構成に取り組みます。また、高次のホモロジーに関連する問題の計算複雑性の解明に取り組み、ハミルトニアン計算複雑性とホモロジー問題の計算複雑性の関係性を明らかにします。さらに、量子位相的機械学習法における量子優位性を確立します。

## 誤り耐性光接続によるハイブリッド量子ネットワークの構築

### 福井 浩介

東京大学 大学院工学系研究科 特任研究員  
同上



将来の大規模量子情報処理の実現に向けて、光と物質系の量子アーキテクチャを相互補充させたスケラブルな量子ネットワーク方式を提案します。本研究では、光の量子誤り訂正技術を活用した誤り耐性型量子ネットワークの構成手法とともに、光物質間相互作用を活用した高い誤り耐性を持つ光の効率的な実装プロトコルを考案します。これにより光と物質系の量子ビットを共創させる量子ネットワーク方式の理論的基盤を構築します。

## 強結合による電気化学エネルギー変換学理の革新

### 福島 知宏

北海道大学 大学院理学研究院 講師  
同上



本研究では共振場一物質の量子光学相互作用である強結合により、電気化学エネルギー変換の学理革新を目指します。真空場の局在性、電場強度の制御可能な共振場の創出を行います。水の物性制御を基軸とし、イオン伝導、電極触媒特性変調を分光電気化学的に評価を行い、結合強度の物性変化に与える寄与を明らかにします。また、熱と仕事の分配の強結合効果を検討することで、基礎学理の解明、エネルギー変換への応用を開拓します。

## 高速な定数空間オーバーヘッド誤り耐性量子計算の理論基盤

### 山崎 隼汰

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
同上



本研究では高次元エクスパンダーを使って構成できる高性能な量子符号の理論を進展させ、またこうした符号を活用して誤り耐性量子計算を少ない時間・空間オーバーヘッドで行う実行手順を開発します。さらに光学系での実装まで念頭に置き、実装に必要なリソースの定量的評価手法・古典数値シミュレーション手法を開発します。これにより将来的な高速な定数空間オーバーヘッド誤り耐性量子計算の実装に向けた総合的な理論基盤を構築します。

## 異種材料とナノ構造で切り拓く光チップ上大規模量子情報処理

### 勝見 亮太

慶應義塾大学 大学院工学研究科 准教授  
慶應義塾大学 大学院工学研究科 助教



量子技術の担い手として室温動作と長距離伝搬が可能な光が注目されています。集積フォトニクス技術を駆使することで、コンパクトな光チップ上で大規模な量子情報処理を行う可能性が拓ける一方、単一材料の有する性能だけでは実現が困難でした。そこで本研究では、異種材料の量子素子をナノ構造によって高性能化しハイブリッドに融合することで、室温付近でスケラブルに動作できる革新的な集積量子光デバイスの創成を目指します。

## Mixed Quantum-Classical Multiscale Theoretical Study of Molecular Polariton Physics and Chemistry

### ゲン タンフク

京都大学 大学院工学研究科 講師  
同上



分子ポラリトンは、分子の電子的・振動的な励起と光共振器モードの強結合によって生じるハイブリッド状態であり、分子システム制御のための有望なアプローチを提供します。しかし、これらのハイブリッドシステムの複雑な性質のため、メカニズムの完全な理解は困難です。本研究は、分子システムにおける分子ポラリトンの物理的性質と化学的反応性を探るために、量子古典混合のマルチスケール理論的な枠組みを開発することを目指します。

## 純レプトン粒子反粒子対原子干渉計による素粒子物理学研究

### 周 健治

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上



レプトンと呼ばれる素粒子のみでできたポジトロニウム(Ps)原子干渉計を実現し、素粒子物理学の精密実験研究を行います。単純な構造のPsは理論的には扱いやすいですが、寿命が約100 nsと短いため、精密測定が困難でした。量子分野で発展したレーザー冷却等制御技術と融合し、Psの精密測定を実現します。電磁相互作用や反物質重力相互作用の強さを最高精度で決定し、素粒子物理学における問題の解明を目指します。

## トポロジカル・ブレッドボードによる量子機能性探索

### 杉本 貴則

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 特任准教授  
同上

多体トポロジカル物性は、様々な次世代量子機能性材料への応用が期待されていますが、現状ではスーパーコンピュータを用いても解析が困難であることが知られています。本研究では、この多体トポロジカル物性を、現代の量子計算機を用いて解析・制御するための、量子ゲート・アルゴリズム群（トポロジカル・ブレッドボード）の開発を行います。さらに、これを活用して、次世代量子計算の検証や新規量子素子の提案に挑戦します。



## マグノン量子光学による新奇量子系の創成

### 日置 友智

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上

量子光学の学理体系に基づき磁性体中の素励起であるマグノンの特性を用いることで、これまで量子情報の担い手となり得なかった強磁性体中に、マグノンの連続量量子状態を実現し、集積化可能な新奇磁性体量子系を創成します。マグノンの強い非線形性を材料・素子構造の最適化によって引き出し、パラメトリック過程により安定化された量子状態を生成することで、磁性体の量子情報担体としての有用性を実験的に実証します。



## 希釈冷凍機内の近距離テラヘルツ無線通信システムの開発

### 辻本 学

情報科学研究科 量子・光情報システム工学研究センター 准教授  
同上

量子コンピュータの規模拡大を妨げる熱流入問題の解決に向け、高温超伝導体ジョセフソンプラズマエミッターのFM技術に応用した近距離 THz 無線通信システムを開発します。無線化によりケーブル数を削減し、冷凍機の高効率化、省電力化、低コスト化、小型化を実現します。最先端の量子技術と THz 技術、B5G/6G 技術を融合し、通信安定性、ノイズ耐性、熱的特性などの観点からシステムを最適化します。



## 量子ユニバーサル符号とその応用

### 松浦 孝弥

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 特別研究員  
ロイヤルメルボルン工科大学 理学部 客員研究員

情報源や通信路の詳細を知らずに符号化・復号化を行うユニバーサル符号の理論を、量子通信理論へ拡張することを目指します。特に、構成法が未開拓の量子秘匿通信、量子情報通信におけるユニバーサル符号を開発します。また、通信路の詳細に依らないというユニバーサル符号の特性を、信頼できない量子通信路を用いて盗聴の恐れなく秘密鍵を共有する量子鍵配送と呼ばれるタスクに応用し、新しい普遍的な安全性証明手法を確立します。



## 測定型量子計算のための連続中性原子アレイの基盤技術開発

### 中島 秀太

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授  
同上

近年、量子コンピュータを実現するプラットフォームとして冷却中性原子の光ピンセット配列が注目を集めています。本研究では、量子誤り訂正および測定型量子計算への応用を念頭に、長いコヒーレンス時間を持つ核スピン量子ビットと複数の狭線幅遷移を利用可能な「イッテルビウム原子」の連続レーザー冷却およびイッテルビウム原子光ピンセット配列の連続生成の基盤技術の開発を目指します。



## 生体分子の構造が生み出す磁気応答機構

### 長嶋 宏樹

埼玉大学 大学院工学系研究科 助教  
同上

渡り鳥をはじめとする様々な動物が磁気を感じることができることは広く知られています。本研究では、磁覚に関与するとされる磁場効果を示すタンパク質を対象に、磁場効果を生じるメカニズムやその磁気的性質を調べ、そのメカニズムを担うタンパク質の構造と併せて明らかにすることを目指します。また、電磁波や静磁場を用いた反応制御にも挑戦します。生体分子の磁場効果を活用した革新的な医療技術およびバイオテクノロジーの基盤を構築することを目指しています。



## ストリング rf イオントラップでの量子情報

### 長谷川 太郎

慶應義塾大学 理工学部 専任講師  
同上

「ストリング rf イオントラップ」という新しい設計に基づく rf イオントラップの開発を目指します。ストリング rf イオントラップは、原子イオンからのレーザー誘起蛍光を集められる立体角が大きい・トラップのサイズが変えられる、という特徴があり、量子情報実験へ非常に有用な手法となると期待できます。本研究ではその実現と、2次元に配列したイオントラップアレイの量子シミュレーションへの応用を目的としています。



# 物質と情報の量子協奏

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2022-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2022-1.html)

戦略目標

量子情報と量子物性の融合による革新的量子制御技術の創成



研究総括

小林 研介

東京大学 大学院理学系研究科 教授

## 領域アドバイザー

井上 慎	大阪公立大学 大学院理学研究科 教授
大岩 顕	大阪大学 産業科学研究所 教授
岡 隆史	東京大学 物性研究所 教授
川畑 史郎	法政大学 情報科学部 教授
桐原 明宏	日本電気(株) セキュアシステムプラットフォーム研究所 ディレクター
芝内 孝禎	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
武岡 正裕	慶應義塾大学 理工学部 教授
西岡 辰磨	大阪大学 大学院理学研究科 教授
宇都宮 聖子	OpenAI Japan 合同会社 Go To Market Principal Solutions Engineer
松野 丈夫	大阪大学 大学院理学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、革新的量子制御技術の創成を目的として、量子情報の視点に立脚しながら量子物性をテクノロジーへと転換していく独創的で挑戦的な研究を推進します。量子物性と量子情報の融合を通じて、両者の結節点となる量子物質を理解・機能化・制御する研究開発を行い、新概念・新技術の開拓により量子制御技術の将来的な新基盤を生み出します。

豊かな構想力と洞察力、物質合成・微細加工技術・測定技術・理論・計算技術に支えられた実力を発揮し、量子科学の将来を世界的にリードする若手研究者の輩出を目指します。本研究領域では「量子多体系の制御と機能化」、「新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用」の2つの観点から研究を推進します。具体的には、量子情報に基づいた量子物質における新しい量子状態制御手法の開拓、新原理量子ビット・量子センサ・量子シミュレーションの提案と実証、将来的に実現可能な物理系を念頭においた量子アルゴリズムの提案と実証などを対象とします。これらを通して、従来の枠組みを超えて量子物性と量子情報を融合し、両者の協奏的發展の場を構築します。

物質科学・情報科学・数理学・ナノ構造科学などの連携のもとに量子科学を推進することによって、知的生産性の革命につながり、国家及び国民の安全・安心の確保といった社会的ニーズに応えられるような、量子制御技術による不連続なイノベーションを目指します。

## CPAN スキルミオクスースキルミオンと情報の量子統合

赤城 裕

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
同上



従来の磁気スキルミオンの枠組みを超えた CPAN スキルミオンの開拓とその新規物性の解明を行います。とりわけ、CPAN スキルミオンの制御法を確立し、近年発展著しい情報分野への展開として、両者を量子の観点から統合・応用し、CPAN スキルミオミクスという新規分野の開拓をします。スキルミオンの操作性の高さを十分に活かし、これを演算要素とする擾乱に強い量子計算を提唱し、量子コンピュータへの応用基盤構築を目指します。

## チューリング機構を用いたマヨラナ準粒子の創発

浅場 智也

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
京都大学 大学院理学研究科 特任准教授



本研究では、最近発見されたチューリング機構による原子細線作製技術を活用して、(1) イジング磁性体の原子スケール Y 字ジャンクション、および (2) 超伝導体に接合したグラフェン・ナノリボンを作製することを目指します。そして、走査型トンネル顕微鏡によるトンネル伝導度測定から、原子細線の接合部やエッジにおいて、トポロジカル量子計算実現の鍵となるマヨラナ準粒子の存在を示すことを狙います。

## 物性と時空の融合による新規量子アンプの実現

稲田 聡明

東京大学 素粒子物理国際研究センター 助教  
東京大学 素粒子物理国際研究センター 特任助教



ブラックホールの周囲では強力な重力により時空がゆがめられ、特異な物理過程が発現します。本研究では、物性系における超光速性の分散関係を利用することで、イベント・ホライズン型量子アンプ等の新規デバイスを実現します。これにより、メタマテリアルや微細加工技術を用いた制御性の高い量子系において、時空の物理を動作原理とする新たな情報処理デバイスの開発基盤を構築します。

## 光周波数コムによるマルチコア光量子コンピュータプラットフォーム

遠藤 護

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上



光量子コンピュータは他手法に比べて高速化が可能な方式です。その利点を最大限に活かすべく、光周波数コム技術を活用しプロセッサのマルチコア化を行います。また、光周波数コムと光子数識別器を巧みに利用した非ガウス型量子状態生成機構を開発し、誤り訂正と万能計算が可能な光量子コンピュータプラットフォームの確立を目指します。これらの実現は超高速な量子コンピュータ実現の第一歩となります。

## 電荷・スピン・光子のテラヘルツ量子インターフェース

黒山 和幸

東京大学 生産技術研究所 准教授  
東京大学 生産技術研究所 助教



半導体量子ドットとテラヘルツ光共振器を用いて、電子のスピン自由度とテラヘルツ電磁波とのコヒーレント結合を実現します。さらに、トポロジカル効果によって狭帯域化した光共振器を導入し、電磁波の波長を超える距離を隔てた 2 つのスピンをコヒーレントに結合させることを目指します。それにより、テラヘルツ帯域での回路量子電力学をスピンに対して実現し、スケーラブルなスピン量子ビット素子のための基盤技術を開発します。

## 非平衡物質相を利用した革新的量子デバイス技術の創出

高三 和晃

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
同上



近年、光誘起超伝導や時間結晶などの「非平衡物質相」を実験で実現できるようになってきました。平衡状態のルールに縛られない非平衡物質相は、物質科学の限界を突破するポテンシャルを秘めています。本研究では、これまでの非平衡物質相の基礎研究を、量子情報理論・デバイス実験技術の知見と融合・深化させることで応用研究へと転換し、量子技術実現に向けた課題を解決するための新技術を理論的に提案することを目指します。

## 多光子量子もつれジェネレーターの開発

高島 秀聡

公立千歳科学技術大学 理工学部 准教授  
京都大学 大学院工学研究科 助教



非常に多くの光子がもつれた状態（多光子量子もつれ）は、光子を用いた量子コンピュータ、量子ネットワーク、量子計測などの量子技術の実現に不可欠です。しかし、既存の技術では、このような状態を実現することは困難でした。本研究では、共振器を組み込んだ光ファイバと単一不純物欠陥を含むダイヤモンド粒子とのハイブリッドシステムを開発することで、多光子量子もつれを生成する革新的な量子制御技術の実現を目指します。

## イオントラップ技術による物性の創出

野口 篤史

東京大学 大学院総合文化研究科 准教授  
同上



レーザー冷却されたイオン・電子ハイブリッドトラップ技術を開発します。この系はトラップイオンが格子点、トラップ電子が価電子・伝導電子となり人工固体を構成します。本研究では、こうした作られた人工固体において、固体としての物性を発現させ、それを評価することを目指します。この技術開発により、人工固体による量子シミュレーション技術が確立し、また電子トラップ量子コンピュータ実現への基盤技術を提供します。

## 散逸と非平衡外場駆動の結合による量子制御の理論構築とその応用

森 貴司

慶應義塾大学 理工学部 准教授  
理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員



散逸と非平衡外場駆動の結合効果を基礎理論的な立場から明らかにすることによって、新しい量子状態制御・量子動的制御法を開拓します。将来の量子多体系の制御技術に貢献するとともに、強結合領域における量子熱力学の構築や量子情報の観点からの非平衡ダイナミクスの解明など、非平衡物理学の基礎論のさらなる探究につながる成果を目指します。

## 固有状態熱化仮説の破れと場の理論の量子シミュレーション

山崎 雅人

東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構 教授  
同上



物理学において熱化は多体系を記述する熱力学や統計力学の基礎をなす根源的な現象です。孤立系で熱化を説明するために導入されたのが固有状態熱化仮説ですが、興味深いことにその破れの例も知られています。本研究では、固有状態熱化仮説の破れの本質に、素粒子理論や格子ゲージ理論の量子シミュレーション、ホログラフィー・重力理論等を組み合わせて多角的に迫り、その量子技術への応用可能性への道筋を示します。

## 量子と古典の境界に挑戦する行列積くりこみ群法

山田 昌彦

東京大学 大学院理学系研究科 特任講師  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 特任助教



行列積くりこみ群法は全く新しい量子多体系のシミュレーション手法です。従来のモンテカルロ法を持つ負符号問題を解決し、様々な格子上でほとんどの量子模型の基底状態・有限温度状態を計算することができます。行列積くりこみ群法は無限系を直接扱え、ボンド次元が無限大の極限で熱力学量を正確に求めることができます。本研究ではこの行列積くりこみ群法を用いて現代物理学の様々な未解決問題にアプローチします。

## Development of integrated quantum circuits with chiral Tomonaga-Luttinger liquids

Lin Chaojing

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
東京工業大学 理学院 特任助教



トポロジカル量子材料における創発的な準粒子は、トポロジカル系に特有の物性を示すため、特徴的な量子情報処理を実現できる可能性があります。本プロジェクトでは、整数・分数量子ホール系でのカイラルなプラズモン準粒子を利用して、結合の強いプラズモン共振器量子電磁力学や、準粒子の分数化と再結合による準粒子干渉効果を探査します。これらの研究は、新しいトポロジカル量子情報科学の創成に繋がると期待されます。

## 強結合な量子開放系の定式化と冷却原子シミュレータへの応用

内野 瞬

早稲田大学 理工学術院 准教授  
日本原子力研究開発機構 先端物性研究センター 任職研究員



量子多体系における散逸効果の理解は、基礎物理学や量子情報科学において極めて重要な課題です。本研究では非平衡場の量子論に基づき、散逸影響下で強く相互作用する量子多体系の理論的な定式化を行います。そして、構築した理論を冷却原子シミュレータに適用することで、量子物性における新概念の創出を目指します。

## 高輝度量子光源によるフーリエ限界を超えた時間分解ラマン分光

衛藤 雄二郎

京都大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



時間と周波数に関して量子揺らぎが強く相関した、百ワット級ピーク強度の高強度パルス対光源を開発します。そして、「超短パルス光源によって可能となる超高速時間分解能」と「狭線幅光源によって可能となる高い波数分解能」という相容れない性質を同時に実現できる非線形ラマン分光法を提案・実証します。それによって、従来技術では観測できない超高速過渡現象における分子構造変化を正確にとらえることが可能になります。

## 量子幾何とトポロジーを用いたAMO量子技術の開発

小澤 知己

東北大学 材料科学高等研究所 教授  
東北大学 材料科学高等研究所 准教授



量子状態のパラメータ空間中での変化を記述するのが量子状態の幾何学的性質やトポロジカルな性質です。本研究では、原子・分子・光 (AMO) 物理を舞台に、量子状態の幾何・トポロジーを用いた新規な量子技術を理論的に開拓します。特に量子計算機のプラットフォームでの量子状態の制御方法の開発や、量子計測とトポロジカル物性の融合を目指します。並行して量子技術を用いて量子多体系の幾何・トポロジーを明らかにする研究も行います。

## 量子スピン液体における創発準粒子の電氣的検出技術の確立

笠原 裕一

九州大学 大学院理学研究院 教授  
京都大学 大学院理学研究科 准教授



物質のもつトポロジに由来して創発される非可換工ニオンは、環境ノイズに強いトポロジカル量子計算の基本要素となる準粒子です。本研究では、非可換工ニオンを用いたテクノロジー開拓において必須要素となる、「非可換工ニオンの電氣的検出技術」を確立します。これにより、トポロジカル量子計算をはじめとする革新的量子制御における基盤技術の開拓を目指します。

## 強相関系の非平衡開放系ダイナミクスと量子情報

沼澤 宙朗

東京大学 物性研究所 助教  
同上



強相関系の基礎的な模型 (SYK 模型) の非平衡開放系ダイナミクスを調べること、非平衡開放系ダイナミクスと量子情報との関連を調べます。また、SYK 回路と SYK 模型との対応から、量子アルゴリズムと量子物質のダイナミクスの関係を研究します。さらに、環境系と強く相互作用した開放系の例として不純物問題を取り上げ、ブラックホールの物理の知見も援用することで、開放系特有のダイナミクスと量子情報の役割を解明します。

## 磁性体を用いた量子素子の電氣的制御・測定基礎学理

石塚 大晃

東京科学大学 理学院 准教授  
東京工業大学 理学院 准教授



量子デバイスへの応用を目指して、スキルミオンやソリトン、カイラル近藤系などの磁気状態の電氣的測定および制御に関する研究を行います。磁性金属・半導体における磁気輸送現象と磁気ダイナミクスの研究を通して、既存技術と親和性の高い量子デバイスの動作原理を探索します。これらの研究成果は、集積化や高温動作といった優位性をもつ量子デバイスの実現や、量子ビット素子を用いた物性研究につながる事が期待されます。

## 集積フォノン回路によるカイラル量子ネットワークの創出

佐々木 遼

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 基盤科学特別研究員  
同上



マイクロ波素子はその波長の長さゆえに小型化には原理的な限界がありますが、同じ周波数を持つフォノンは波長が非常に短いため、フォノンを利用した素子は小型化・集積化が可能で、本研究では、フォノンの導波路構造を利用した、マイクロ波領域におけるフォノンの集積回路を開発します。回路構造由来の効果により凝縮系や量子系との結合を高めることで、カイラリティを持つ量子フォノン回路を実現します。

## 非平衡量子系の物理に基づく汎用大規模量子アルゴリズム

水田 郁

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上



量子計算機の有望な応用先として量子多体系のシミュレートがあります。本研究では、時間周期系などの非平衡量子多体系の理論と量子特異値変換などの量子計算理論を融合し、状態準備など量子多体系のシミュレートを最適に行う量子アルゴリズムを構築します。従来の平衡系を超えた新奇物性現象の舞台である非平衡系の物理を量子計算に反映させることで、将来的に物性物理・量子化学に適用可能な高速・汎用的な計算法の確立を目指します。

## トポロジカル量子評価基盤の構築

井上 悠

産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門 研究員  
同上



物質中のトポロジカル量子状態を巧みに操ることで、量子誤り耐性に優れた情報処理の実現が期待できます。本研究では、トポロジカル絶縁体を用いた先端素子の作製と、マイクロ波分光やスピッチング現象を利用した時間分解測定技術を組み合わせることで、トポロジカル量子情報処理応用を見据えた量子評価基盤を構築します。

## キラルな分子性物質を舞台にした強相関スピントロニクスの開拓

佐藤 拓朗

自然科学研究機構 分子科学研究所 助教  
同上



本研究では、キラルな対称性を持つ有機超伝導体に着目し、強相関スピントロニクスという新しい学術領域の開拓を目指します。特に、近年発見されたキラル超伝導体における巨大スピン偏極現象の基礎学理を解明し、その量子制御法の基盤確立を狙います。さらに、有機超伝導ヘテロ接合を開発し、そのマクロなコヒーレンスを応用した異種物質間での超長距離スピン伝送を実現することで、新たな量子デバイスを創出します。

## 新規量子ビット実現に向けた量子スキルミオンの創出

横内 智行

理化学研究所 創発物性科学研究センター エディタリー  
東京大学 大学院総合文化研究科 助教



本研究では、スキルミオンの巨視的量子トンネリングの観測により、スキルミオンが量子性を有することを実証する。特に、量子ゆらぎが増大する量子相転移近傍のスキルミオンに焦点を当て、交流磁場や交流電流を用いてスキルミオンのダイナミクスを励起する。そして、その際の緩和時間の温度依存性に基づく議論を通じて、スキルミオンの巨視的量子トンネリングの観測を試みます。

## 開放系トポロジカル相による普遍的量子状態制御

小布施 秀明

北海道大学 大学院工学研究院 准教授  
同上



対称性・トポロジカル相など特定の系に制限されず開放系へも適用可能な普遍的な量子状態制御手法の理論基盤を確立、概念の普及を目指します。具体的には、トポロジカル相の動的制御による量子状態輸送、空間-時間反転対称性による開放量子系の状態制御、開放系ランダウ-ツェナー遷移、グローバル・アルゴリズムに基づく量子状態変換などの理論研究を行います。さらに実証実験可能な実験系を提案し、実験を理論面から支援します。

## Mastering Quantum Complexity: The Path to Scaling and Controlling topological Majorana bound states

Chiu Ching-Kai

理化学研究所 数理創造プログラム 上級研究員  
同上



本研究では、3次元トポロジカル超伝導体内の渦におけるマヨラナ束縛状態 (MBS) について検討します。具体的には、トポロジカル量子コンピューティングのために、MBS の存在の実証、スケールビリティ、トポロジカルな保護による長寿命性、量子ビットの読み出し、移動制御などに取り組みます。さらにアプリコソフ渦プラットフォームとマヨラナのスピン特性を調べる方法論を開発し、MBS の応用を開拓します。

## メタオプティクスを用いた単一冷却原子アレイ生成制御

レ ハクホウトウ

産業技術総合研究所 製造技術研究部門 主任研究員  
同上



本研究では、光の波長・位相・振幅・偏光特性を独立かつ精密に制御できるメタ原子から成る可変メタオプティクスを用いることで、サブ波長単位で光波面の時空間を極端的に制御することを通じて、原子冷却及び単一原子の捕獲・計測の基盤技術を開拓します。そして、最大級のスケールビリティかつ無欠損単一原子アレイの実現を目指します。また、MEMS 型真空排気技術と統合し、小型冷却原子アレイ生成デバイスの開発も図ります。

## 量子制御で切り拓くランダム量子多体系の高度情報機能

中田 芳史

京都大学 基礎物理学研究所 特定准教授  
同上



近年、量子系におけるランダムなユニタリ時間発展を用いた量子情報処理が大きな注目を集めています。本研究では、ランダム相互作用を持つ量子多体系のハミルトニアン時間発展と量子制御を組み合わせることで、ランダム量子多体系における量子情報処理の可能性を探索します。特に、ランダム量子多体系の時間発展を活用した量子誤り訂正や閉じた量子系での局所熱平衡化などを協奏的に開拓することを目指します。

## ハイブリッド超伝導体を用いた革新的量子制御技術の創出

成田 秀樹

京都大学 化学研究所 特助助教  
同上



時間・空間反転対称性が同時に破れた超伝導体を用いて、革新的量子技術に繋がる新奇電子相の開拓を行います。本研究では、強磁性体、超伝導体、重金属を非対称に配置したハイブリッド超伝導体において、位相を制御することでトポロジカル物性の量子制御技術への応用、テクノロジーへの転換に繋げます。

## 原子スケール表面精密制御による超高度感度NV 量子センサー開拓

秋山 了太

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
同上



ダイヤモンド NV センターは長いスピンコヒーレンス時間を持ち、量子状態が外場に敏感なため次世代の超高度感度量子センサーとして注目されています。特にダイヤモンド表面の NV センターは、センサー高感度化のために重要ですが、表面近傍の環境が悪くコヒーレンス時間が短いなどの問題があります。本研究では、表面物理を駆使して新しい角度からこれらの問題を解決し、また高品質表面 NV センターを使って新しい物理現象を探索します。

## カイラル超伝導体の検証と異常音響電気効果の開拓

橋本 顕一郎

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
同上



カイラル超伝導に電磁波や音波などの外場を与えると、超伝導ギャップの内側にカイラリティモードと呼ばれるボゾン励起が現れます。カイラリティモードは電磁波や音波と結合するため、これらの結合を観測することでカイラル超伝導を検証します。さらにゼロ磁場でのカイラリティモードと音響モードの結合 (異常音響電気効果) を利用して、電磁波と音波の相互変換を実現し、カイラル超伝導体を用いた新たな情報伝達技術を実現します。

2024年度探採研究者「3期生」

## アルカリ土類原子中の核イオン量子制御の探索

### 土師 慎祐

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授  
同上

本研究ではアルカリ土類原子に内在する核イオンの量子制御技術の開発に取り組みます。特に、中性原子のリドベルグ励起により隔離された核イオンの光学遷移を積極的に利用することで、イオントラップ中の単一イオンと中性原子の光学的結合と遠隔量子ゲート操作へと応用します。またそれにより、多機能・高品質なハイブリッド型複合量子デバイスの実現を目指します。



## キラリティー制御に基づく革新的情報デバイスの開拓

### 増田 英俊

東北大学 金属材料研究所 助教  
同上

磁気モーメントがらせんを描いて秩序化するらせん磁気構造では、電流と磁気秩序が複雑に絡み合うことで非自明な電流応答が発現します。本研究では、らせん磁気構造のキラリティー（らせんの右巻き・左巻き）を電氣的に制御し、電流スピン変換、非相応答などの新現象・新機能を開拓します。これによりらせん磁性スピントロニクスという新しい分野を開拓し、キラリティー自由度の情報素子への展開を目指します。



## クラウド量子デバイスを用いた多体量子もつれの評価とその応用

### 松崎 雄一郎

中央大学 理工学部 准教授  
同上

D-wave 社および QuEra 社クラウドの実機を用いて多体の量子もつれ状態を生成して、その寿命を計測する。そして、古典計算機によるシミュレーションにより実験結果を再現して、多体の量子もつれ状態と環境との相互作用を理解する。その後、クラウドの実機を用いて、多体の量子もつれ状態を利用した新しい量子アルゴリズムの実証と、古典限界を超える量子センサの実証を行う。



## 情報輸送に基づく発光中心ハイブリッド型量子システムの基盤構築

### 森岡 直也

京都大学 化学研究所 准教授  
同上

半導体中の発光中心は量子技術に有用な光・スピン特性を有します。それぞれの発光中心は異なる特性を持ち、複数種の発光中心をハイブリッドに用いることで、単独種では達成し得ない優れた量子情報システムを実現する可能性があります。本研究は複数の優れた発光中心を有する炭化ケイ素に着目し、発光中心スピンをハイブリッドに利用するためのスピン間の情報輸送の実現に向けてその基盤となる量子制御技術の構築を目指します。



## 物質・情報・時空を統合する量子シミュレーション基盤の創出

### 山本 大輔

日本大学 文理学部 准教授  
同上

物質・情報・時空の協奏的な理解を目指し、物性理論、重力理論、およびそれらの統合領域における量子シミュレーション基盤を創出します。物質の卓上量子シミュレーション（人工量子物質）および時空の卓上量子シミュレーション（テーブルトップ宇宙）に関する具体的な計画研究を実施し、その実現のための量子シミュレータ制御プロトコルの確立や新しい量子情報量の検出・活用法の基礎理論構築を並行して行います。



# 持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-1.html)

戦略目標

資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御



研究総括  
岩田 忠久

東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授

## 領域アドバイザー

阿部 英喜	理化学研究所 バイオプラスチック研究チーム チームリーダー
伊崎 健晴	三井化学(株) 高分子・複合材料研究所 リサーチフェロー
伊藤 浩志	山形大学 大学院有機材料システム研究科 教授
上田 一恵	ユニチカ(株) 樹脂事業部 マネージャー
佐藤 絵理子	大阪公立大学 大学院工学研究科 教授
陣内 浩司	東北大学 多元物質科学研究所 教授
田中 敬二	九州大学 大学院工学研究院 主幹教授
所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授
野崎 京子	東京大学 大学院工学系研究科 教授
増淵 雄一	名古屋大学 大学院工学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、資源の有効利用や持続可能な材料生産システムの構築を目指して、「確実な結合とやさしい分解」を兼ね備えたサステナブル材料の創製に向けた独創的な基盤技術の研究開発を目的とします。確実な結合とは、使用中は優れた機能や性能を安定的に発揮するための結合や構造で、やさしい分解とは、使用後は再利用可能な材料に変換するために、温和な条件下で原子・分子レベルあるいは中間・部分構造に速やかに分解することです。

具体的には、高分子、有機、生体、無機および金属材料ならびにそれらの複合材料を対象とし、高性能なサステナブル材料の設計・開発を目指した、結合と分解に関する精密制御技術の研究開発を行います。物性や構造を分解性と共に制御可能な結合を導入した材料合成、分解性セグメントを導入した材料設計、選択的に結合を切断できる触媒の開発、外部刺激等による有機・無機化合物における結合形成と開裂を自在に制御する技術、異種材料の接着界面における結合と分解を制御する界面制御技術、複合材料における分解リサイクル手法の確立を目指した相分離構造や階層構造などの高次構造制御技術の開発などを目指します。また、超小角 X 線散乱、3 次元トモグラフィ、透過型電子顕微鏡などの手法を用いた複合材料におけるナノ・メソ・高次構造の可視化、理論化学およびコンピュータシミュレーションによる結合および分解の予測など、本分野で必要とされる計測および解析技術の開発にも合わせて取り組みます。さらに、材料学と生物学の融合を目指し、従来の触媒にとらわれず、生体触媒である酵素にも焦点をあて、水系・常温・常圧などの温和な条件下での結合と分解の実現に向けた研究も推進します。複合材料や製品の分解では、物理的な手法による材料間の分離や化学工学的な手法による効率的な分解を目指します。確実な結合の自在な制御と再利用を念頭に入れたやさしい分解手法の確立を通じて、持続可能な社会の実現に貢献します。

## 刺激応答性の化学結合変化を利用した界面制御技術の構築

### 相沢 美帆

東京科学大学 総合研究院 助教  
産業技術総合研究所 材料・化学環境機能化学研究部門 研究員



「強固な接着」と「容易な解体」という二律背反な機能の両立を目指して、接着界面の化学結合に着目した界面制御技術を開発します。光や熱の刺激によって結合状態を変化させる分子を用いて、接着と解体を界面から制御します。この技術を活用して、強固な接着を証明するための界面状態の検出法や、実利用を見据えた解体システムを提案し、持続可能な社会に向けて資源循環を促進させる技術として貢献することを目指します。

## 熱安定な分子スイッチによる光可逆性接着剤の開発

### 今任 景一

広島大学 大学院先進理工系工学研究科 准教授  
広島大学 大学院先進理工系工学研究科 助教



使用時には強く接着し、使用後には外部刺激で簡単に剥離できる接着剤は、マルチマテリアル化があらゆる分野で進む中、材料のリサイクル・再利用を可能にします。私は、大きな構造変化と高い熱安定性を両立した新たな分子スイッチを用いて、接着と剥離を光可逆的に制御できる高分子のみからなる接着剤を開発します。固体と液体、および水素結合の形成と解離の光可逆的変換の相乗効果で、接着強度の大きく可逆的な変化を実現します。

## リサイクル可能な原料でリサイクル可能な多孔体を合成

### 伊與木 健太

東京科学大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
東京科学大学 大学院工学系研究科 助教



無機多孔質材料であるゼオライトは、温室効果ガスや汚染物質の吸着・分解、バイオマスを利用した物質合成など、環境・エネルギー問題の解決へ向けたキーマテリアルです。しかしながら、ゼオライト自身のサステイナブルな合成プロセスは確立されていません。本研究では、原子レベルの配列制御にチャレンジし、自在に分解・結合可能な骨格のデザインと、実用化へ向けた高価な原料のリサイクルを合わせて検討します。

## 微生物の鉄代謝から着想を得た分解性結合の立案と動作検証

### 江島 広貴

東京科学大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



大腸菌やサルモネラ属菌が分泌するポリフェノール性鉄キレート剤であるエンテロバクテリンの化学構造に着目し、エンテロバクテリンが鉄イオンの補足 (ON) と放出 (OFF) をスイッチングするメカニズムからヒントを得た新規「分解開始スイッチ」を立案します。この「分解開始スイッチ」を植物由来ポリフェノールからなるバイオペースフィルム中に組み入れることで、水中分解性セグメントとして機能するかどうか検証します。

## 建築系発泡ポリウレタン断熱材の表面部における結合分解制御メカニズムの導入による資源循環技術の構築

### 北垣 亮馬

北海道大学 大学院工学研究科 教授  
北海道大学 大学院工学研究科 准教授



オートクレーブ環境下における建築系ポリウレタン断熱材の素材フィルムの表面分解とイソシアネートエマルジョン散布による架橋メカニズムを明らかにした上で、 $\mu$ X線 CT によりパッキングされた発泡ウレタン小片の立体配置構造を把握し反応場の形成状況を最適化することで熱伝導率・曲げ強度ともに十分な再生成型体を完成させる。これにより「ポリウレタンの界面部における分解結合制御手法」を完成させる。

## 酵素によるポリアミド合成／分解のオルソゴナル制御

### 土屋 康佑

東京科学大学 大学院工学系研究科 准教授  
東京科学大学 大学院工学系研究科 特定准教授



酵素反応は基質特異性により結合形成と分解の両反応を位置・立体選択的に制御することが可能です。本研究では、ポリアミドの適切な分子設計と酵素の選択により、合成と分解をそれぞれ独立に行うことが可能な酵素反応系を確立することで、ポリアミドの合成と分解をオルソゴナルに制御することを目指します。これにより、材料安定性を担保しながらオンデマンドに酵素分解することが可能な機能性ポリアミド材料の開発を行います。

## 高物性・オンデマンド分解型脂肪族縮合系ポリマーの創製

### 福島 和樹

京都工芸繊維大学 繊維学部 教授  
東京科学大学 大学院工学系研究科 准教授



脂肪族ポリエステルやポリカーボネートなどの加水分解性を示す脂肪族縮合系ポリマーを基本骨格として、様々な側鎖構造を導入することで、高い熱/力学物性(高物性)の付与や、主鎖の分解の速度と時期の制御を可能にさせます。これにより、いつでも(オンデマンドに)分解可能な「つよい(高物性)の循環型ポリマー材料を実現し、従来の分解性ポリマーが抱えてきた「分解と材料寿命」のトレードオフの打破に挑戦します。

## 光安定材料への酸添加による協働的光分解技術の創成

### 正井 宏

東京科学大学 大学院工学系研究科 准教授  
東京科学大学 大学院総合文化研究科 助教



本研究では、光・酸協働分解という新概念を軸に、光に安定で強固な結合をやさしく光分解可能な材料の機能化と多様化を実現する。光・酸協働分解性を有するユニットを開発し、高分子材料中に導入することで、様々な高分子材料に対して「自然光の下でも使い続けることができる光分解技術」を提供する。同時に、本技術の非リアメタル化・多重化を実現し、微細光分解に基づく材料高機能化によって技術を一歩進め、深化させる。

## 安定主鎖構造の活性制御に基づく高機能ポリマーの精密解重合

### 南安規

産業技術総合研究所 材料・化学環境機能化学研究センター 主任研究員  
同上



本研究では、スーパーエンジニアリングプラスチックの主鎖中のモノマーユニットに分解性を発現させ、特定の主鎖結合を精密に分解してモノマーに分解する、精密解重合反応の開発に挑戦します。得られたモノマーについては、再重合によるポリマーへの再生、機能化分子へ変換できることも合わせて示します。こうして、従来の手法では困難な高機能、高安定プラスチックのケミカルリサイクルの突破口を切り開きます。

## 微生物学と電気化学を融合した金属組織制御分解

### 若井 暁

海洋研究開発機構 超先端研究開発部門 主任研究員  
海洋研究開発機構 超先端研究開発部門 研究員



本研究では、微生物が金属材料(特にステンレス鋼)を腐食させる現象と電気化学的な組織溶解特性の共通点に注目し、微生物が引き起こす組織選択的溶解現象の理解を目指します。微生物による金属腐食は社会インフラにダメージをもたらす重大な問題ですが、独自に確立したステンレス鋼電極を用いた電位モニタリング培養システムを用いて腐食原理を解明し、腐食診断・防食技術・金属回収技術への発展に貢献します。

## ガラス・セラミックス材料の光造形と完全解体技術の創成

### 飯島 志行

横浜国立大学 大学院環境情報研究科 准教授  
同上



本研究では、微量のモノマーにより液中で粒子間を確実に光架橋できかつ、光硬化体を水系室温の温和な条件で一次粒子まで完全解体できる新概念光応答性スラリーを設計します。さらに、本スラリーを活用して、ガラス・セラミックス材料の任意形状への光造形性、高速度脱脂焼成操作に基づく高速製造性、光硬化体の完全解体と光硬化性スラリーの再生に基づく原料リサイクル性に優れた、革新的製造プロセスを構築します。

## 超音波による再加工が可能な汎用ソフト/ハード動的架橋剤の開発

### 勝又 麗香

マサチューセッツ大学アースタウン 自然科学研究科 助教  
同上



熱硬化性樹脂を含む高分子ネットワークを再成型可能とする材料設計の開発は、持続可能な社会を実現する材料科学における喫緊課題のひとつです。しかし、近年注目される動的結合の組み替えには、それぞれの系に特異的な条件が要求されることから、広汎な材料への応用には至っていません。そこで本研究では細断超音波による再加工が可能で汎用樹脂に適用可能な、ソフト/ハード動的架橋剤の開発を目標とします。

## 官能基変換による分解可能な汎用ポリマーの創出

### 久保 智弘

東京科学大学 物質理工学部 助教  
東京工業大学 物質理工学部 助教



本研究では、自然環境下で速やかに低分子量化し、使用時の安定性と使用後の分解性を両立するサステイナブル材料の設計指針を構築することを目的とします。具体的には、高分子主鎖中の官能基の一部を変換することで分解性を制御する手法を開発します。高分子構造と機能の関係を明確化し、高分子反応による分解性官能基導入手法、および廃棄物を用いた分解性付与手法を確立することを目標とします。

## オンデマンド合成&解体を実現するビニルポリマーの高速分解技術

### 高坂 泰弘

徳川大学 先端領域創成研究科 准教授  
同上



オンデマンド合成が可能で共重合による物性制御を実現するビニルポリマーに、特定刺激での高速分解を実現する機構を搭載し、造形・解体が容易な新材料を提供します。高速分解は主鎖-側基間の分子内エステル交換反応で実現します。ラジカル開環重合によりビニルポリマーの主鎖にエステル結合を導入するとともに側基にアルコール源を含むモノマーを交互連鎖させ、分解構造を構築します。研究の後半では本技術を接着剤に応用します。

## 木質バイオマス全成分利用を可能とする安定結合切断法の開発

### 小林 広和

東京科学大学 大学院総合文化研究科 准教授  
同上



木質バイオマスの主成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンという3種類の高分子です。本研究では、これら3成分すべての効率な利用を可能とする結合切断触媒反応を開発します。特に、バイオマス利用を阻む根源的な障害である、セルロース中の糖ユニットを繋いでいるC-O結合と、リグニンが持つ強固な結合を、触媒によって選択的に切断し、基幹化学品に転換します。

## 強固な結合をやさしく光分解する複合ナノ材料の創出

小林 洋一

立命館大学 生命科学部 教授  
立命館大学 生命科学部 准教授



フッ素化合物は私たちの豊かな生活を支える必要不可欠な材料な一方、過激な条件でしか分解せず、環境・生体蓄積性がきわめて高いなどの課題があります。本研究では、深紫外光を含まず、光強度の弱い太陽光を用いて、強固な炭素-フッ素結合を開裂する複合ナノ材料を創出します。温和な条件でフッ素化合物をリサイクル可能なフッ化物イオンにまで分解する手法を確立することにより、持続可能なフッ素リサイクルの実現を目指します。

## アニオン活性化法に基づく分解性芳香族ポリマーの創製

重野 真徳

東北大学 大学院薬学研究所 准教授  
同上



本研究では、分解性の芳香族セグメントを設計し、末踏の分解性芳香族ポリマーの科学に貢献することを目指します。従来のポリマーの分解反応では、主鎖の立体的混み合いが反応を阻害しましたが、立体的に空いた側鎖部位の分解が起点となって主鎖の分解を誘起するポリマーを開発します。有機塩基の化学を基盤として、効率的な触媒的分解反応として、さらには、反応性中間体を活用したアップサイクル分解として確立します。

## 架橋点を分解トリガーとするリサイクル性汎用ゴム材料の開発

田中 亮

広島大学 大学院先進理工系科学研究科 准教授  
同上



本研究では、炭化水素ポリマーの望みの位置に強固な動的架橋部位を導入することで、高機能化とマテリアルリサイクルを同時に達成可能な汎用ゴム材料の開発を目指します。動的架橋部は、特定条件下でのみポリマーの触媒的解重合反応の基点となるように設計し、材料として利用した後のケミカルリサイクルも可能とします。リサイクルが困難と言われるゴム材料の分野において、既存材料を超える性能とリサイクル性の両立に挑戦します。

## 剛直成分含有ポリマーの完全バイオ循環空間デザイン

野田 修平

神戸大学 大学院科学技術イノベーション研究科 特命准教授  
理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員



本研究では「微生物を菌体触媒に用いたPEFの完全バイオ重合」及び「人工進化的酵素開発を通じたポリマー分解酵素の極高機能化」という2つの技術開発を行います。PEFの完全バイオ重合を達成し、他の剛直成分含有ポリマー合成技術へと拡張します。また、人工進化的酵素開発を通じてポリマー材料を常温常圧で迅速に分解する酵素の開発を行い、ポリマー分解酵素の全く新しい開発手法として体系化します。

## 界面トポロジー制御で拓く高耐久・易分離無機有機接合

荒井 俊人

物質・材料研究機構 高分子・ナノ材料研究センター 独立研究員  
同上



本研究では、界面のトポロジカル構造制御に基づく有機/無機複合材料の接合技術を開発します。自己焼結性材料を無機接合層として利用し、ポリマー材料と共通ネットワーク構造を作ります。この絡み合い構造を用いることで、伸長・せん断双方に強い接合層を構築し、複合材の高耐久化を目指します。また、各相の熱的・化学的な性質の違いを活かし、再資源化可能な状態に分離する技術を確認します。

## 多糖の分解と再構成による資源循環型オリゴ糖ベース材料の創出

磯野 拓也

北海道大学 大学院工学研究院 准教授  
同上



多糖誘導体は再生可能資源から短工程で得られ、生分解性も期待できることからサステナブルな高分子材料として有望視されています。しかし、物性の幅や成形加工性に大きな課題を抱えています。本研究では、多糖が元来持っている構造・機能を維持しつつ、その欠点をオリゴ糖へと低分子量化(分解)することで解消し、さらに適切な形で高分子材料設計に組み込む(再構成)することで真にサステナブルな高分子材料を創出します。

## プラスチックの不均一分解の可視化技術開発と分解メカニズムの解明

木田 拓充

滋賀県立大学 工学部 講師  
同上



本研究では、プラスチックにおけるミクロおよびメソスケールの構造不均一性を考慮して分解挙動を解析することにより、プラスチックの複雑な分解メカニズムの解明に挑みます。具体的には、重水素化ラベル法と顕微イメージング技術を組み合わせることで、高次構造中の特定部位における特定分子鎖の分解状態を直接・選択的に観察可能な分解評価技術を開発します。プラスチック単体だけでなく、複合材料の分解評価にも応用します。

## 塩応答性バイオポリマー複合材料の分解制御

徐 于懿

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



真水中では崩壊せず、塩水中で迅速的に分解・解離する刺激応答性複合材料を開発します。多糖類と親水性ポリマーを基盤とし、ポリマー鎖間に可逆的なヘミアセタール/アセタール結合を導入して化学架橋し、同時に強固な物理的な多点相互作用を形成することで、機械的特性と耐水性を持つ複合材料を開発します。可逆的化学結合と物理的相互作用を塩応答により解離させることで材料の易解体を実現し、再複合化による資源循環を達成します。

## 物性と再利用性を高次両立する剛/柔可変高分子の創製

高橋 明

東京科学大学 物質理工学院 助教  
東京工業大学 物質理工学院 助教



本研究では、使う際は剛直な化学構造に基づいて高温でも優れた強度・耐久性を示しつつ、使用後は化学構造が柔軟化し、より低温でも再加工・リサイクル容易な性質へと変換できる高分子を開発します。また、元の優れた物性を示す状態へと高効率に再生できるリサイクル工程を確立します。それにより、これまで両立困難だった物性とリサイクル性を高い次元で兼ね備えた、新たな高分子群を開発します。

## ホウ素側鎖による主鎖反応性設計を鍵とした循環利用型ポリマー材料の創出

西川 剛

京都大学 大学院工学研究科 助教  
同上



ビニルボロン酸誘導体のラジカル重合という独自の成果に基づき、ビニルポリマーの主鎖上ホウ素のユニークな特性を鍵とした循環利用型ポリマー材料を開発します。ビニルポリマーの炭素-炭素結合主鎖は通常の状態では確実な結合として振る舞いますが、主鎖炭素に直結したホウ素の反応性を利用することで主鎖分解を誘起できます。これにより、主鎖の切断と再構築を自在に制御してポリマーの循環利用を可能とします。

## 水トリガーの易解体接着を実現する結合交換性TPEの開発

林 幹大

名古屋工業大学 大学院工学研究科 助教  
同上



本研究では、ABAトリブロック共重合体(A:ガラス鎖、B:熔融鎖)のB鎖上に、四級化共有結合から成る結合交換性サブドメインを導入した新規熱可塑性エラストマー(TPE)設計を提案します。TPE元来のサステナブル性を保持したままの物性向上指針の確立とともに、湿潤環境における水による結合交換特性制御やマルチトリガー型易解体接着技術開発を行い、TPEの新しい可能性を開拓します。

## 自然界最強クモ糸と人類最強ナノチューブの複合繊維

平野 篤

産業技術総合研究所 材料・化学領域 主任研究員  
同上



本研究は、自然界で最強の「クモ糸」と人工物で最強の「カーボンナノチューブ」を組み合わせた複合素材の実現を目指します。この複合素材は、使用時には高い強度を発揮し、使用後は穏やかな条件で分解可能な特性をもつことが期待されます。この実現のために、クモ糸タンパク質とカーボンナノチューブの間に「確実な結合」を形成させ、さらに必要に応じて「やさしい分解」が可能となる分解プロセス開発を目指していきます。

## 反応機構シフトによるセラミックスの接合と分解

山口 祐貴

産業技術総合研究所 材料・化学領域 主任研究員  
同上



本研究は、非晶質含水酸化物ゲルを原料に用いた複合酸化物の室温合成プロセスを活用して、低CO<sub>2</sub>排出でありながら新しい積層セラミック界面デザインを可能とする、溶液中で起こす新しい接着と剥離プロセスの創生を目的とします。樹脂等ではむずかかった、500℃を超えるような高い温度で使用するセラミックス部材の、接合と分解を200℃以下の溶液中で達成する新しいリサイクルプロセスの開発に挑戦します。

## 自己修復とケミカルリサイクルがともに可能な光学樹脂の開発

吉田 嘉晃

九州工業大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、「傷ついても修復し、壊れても再生できる機能性材料」をコンセプトとして、優れた光学特性のみならず、自己修復性やケミカルリサイクル性などのサステナブルな性質を示すポリマーを開発します。また、これらのポリマーを無触媒や無溶剤の条件で合成および解重合することにより、製造からリサイクルまでを一貫して低環境負荷および低エネルギーで達成することを目指します。

2023年度探採研究者「3期生」

# 物質探索空間の拡大による未来材料の創製

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-4.html)

## 戦略目標

元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間の開拓



研究総括  
陰山 洋  
京都大学 大学院工学研究科 教授

## 領域アドバイザー

有馬 孝尚	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授 / 理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレクター
猪熊 泰英	北海道大学 大学院工学研究院 教授
梅津 理恵	東北大学 金属材料研究所 教授
太田 裕道	北海道大学 電子科学研究所 教授
大谷 博司	豊田理化学研究所 フェロー部門 フェロー
小川 周一郎	旭化成(株) 研究・開発本部イノベーション戦略部 シニアマネージャー
中西 和樹	名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
前田 和彦	東京科学大学 理学院 教授
楊井 伸浩	東京大学 大学院理学系研究科 教授
藪内 直明	横浜国立大学 大学院工学研究院 教授

## 研究領域概要

本研究領域は、我々が直面する環境・資源・エネルギー、医療・健康等に代表される社会課題を解決するために、従来技術とは異なる非連続な概念・コンセプトを探求したシンプルかつ斬新なアイデアにより、これまでの物質探索空間の枠を超えた、革新的な新機能性材料の創出を目指します。

具体的には、異なる元素同士のシナジー効果を解明した上での元素の複合化による「多元素化」、元素の配置制御等による材料システムとしての「機能複合化」、非平衡状態や速度論的制御を利用する「準安定相」の活用等の視点で、環境・エネルギー関連材料、エレクトロニクス材料、医用材料、構造材料等への利用に向けて夢のある材料・プロセス研究を推進します。

さらに、将来的な素材化、プロセス化技術の流れも意識し、物質創製技術やプロセス制御技術確立のために、計算科学や機械学習等のデータ駆動科学、最先端オペランド計測技術等との融合による原理解明、学理構築等、広い視点を背景とした挑戦的なアプローチでの研究を目指します。

## 電場による非平衡反応場を利用した合成化学

伊藤 喜光

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



電極表面に接している溶液は、電極界面において電位に応じたバルクとは異なる空間を形成します。本研究では、このような非平衡空間を利用した従来の電気化学的手法では得る事ができない、新しいナノ構造材料合成法の開発を行います。得られた材料の構造解析を通じて電極上の非平衡空間の実体を明らかにすると同時に、革新的機能をもつ新奇な有機及び無機材料の開発を目指します。

## 準安定電子状態を活用した量子機能材料の創製に関する研究

大池 広志

理研・研研連携 ナノ・キオクシア共同研究センター 主任研究員  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



本研究では、急冷された物質中の電子が形成する未知の準安定状態を利用して、準安定状態を持つ「メモリ機能」を活用して、金属・絶縁体状態、磁気状態、超伝導・常伝導状態などの電子状態制御を行います。量子力学的な自由度を持つ電子が形成する準安定状態の背後にある学理を明らかにすることにより、熱電変換材料や超伝導材料などの量子機能材料を開発することで、新原理に基づいた情報技術の実現を目指します。

## 誘電・光学応用に向けた新奇酸フッ化物材料の創製

片山 司

北海道大学 電子科学研究所 准教授  
同上



従来、誘電・光学材料で用いられているセラミック材料のほとんどは酸化物であり、酸フッ化物の応用は限られていました。しかし、酸フッ化物の有する大気安定性と酸化物以上の電気絶縁性・広バンドギャップは、酸フッ化物が酸化物以上の機能を誘電・光学材料分野で発揮する期待があることを示唆しています。そこで本研究では酸フッ化物の高絶縁性・広バンドギャップを活かした新規誘電体材料、磁気光学材料の創製を進めていきます。

## ヨウ素アニオンの性質を生かした新機能の開拓

金正煥

東京工業大学 元素戦略 MDX 研究センター 特任准教授  
東京工業大学 元素戦略研究センター 助教



ヨウ素のような巨大アニオンの性質やそれに伴う電子物性を基礎とし、ハロゲン化合物からの新たな機能開拓を図ります。特にこれまでに困難とされていた様々な機能の両立に着目し、発光材料での「輸送特性と発光特性の両立」、半導体での「キャリア制御と移動度の両立」などに挑戦します。研究方法としては、複合アニオンを用いた物質探索、低温溶液法を用いた準安定相の創製、複合相薄膜を用いた多機能化などを採用します。

## テラヘルツトリプルパルス分光法による電子フォノン結合評価技術の開発

筒井 祐介

京都大学 大学院工学研究科 助教  
同上



材料中に存在する原子・分子の乱れにより、さまざまな物理量が変動を受けています。本研究では最先端レーザー技術駆使した振動モードの自在な制御技術を実現し、フォノンの非調和性やフォノン励起を用いた転移挙動の研究へと展開します。これと同時に、テラヘルツ波による高速時間分解測定を駆使した凝縮相中の自由度の結合評価を確立し、新機能性材料の新たな探索空間を開拓することにより、未来材料の探索を加速します。

## 電子材料系における非原子軌道の物質設計

平山 元昭

東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授  
同上



本研究では、従来の原子軌道ではない、電子の量子力学的干渉効果によって発現する非原子軌道的状態に着目した物質設計を行い、その学術的基盤を確立することを目指します。系としては、電子化物、異種原子間共有結合、干渉縞などを検討し、非原子軌道の電子材料設計とそこから創発される未踏の電子状態を開拓します。手法としては大規模かつ高精度な第一原理手法を用い、定量性を伴った理論提案を実施します。

## π共役分子の内部を探索空間とする未来材料の創製

福井 識人

名古屋大学 大学院工学研究科 講師  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



本研究では有機分子が多元素複合系であるという視点のもと、「骨格内部の変換」という独自の分子設計戦略の一般化を通じて物質探索空間の拡大を狙います。具体的にはπ共役分子に着目し、その骨格内部を未踏の物質探索空間と定めます。そして、分子変換法の確立と構造多様性の拡張を2本柱として研究を推進します。これにより、従来の周辺修飾法とは異なる機能創発指針を確立することで、未来材料の創製へとつなげます。

## 物質輸送の差異を生かした新規準安定相の創出

三浦 章

北海道大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、固相反応における熱力学的平衡状態に達する前の非平衡状態で形成される準安定相に焦点を当てます。放射光 XRD と電子顕微鏡でその観察によって、反応中の原子と粒子の「静と動」を調査することで準安定材料がどのように形成されるかについての学理を明らかにし、新たな準安定材料の創出を目指します。

## 合金化と複合化による鉄ナノ触媒の革新

満留 敬人

大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授  
同上



金属錯体における配位性元素であるリンや窒素を鉄ナノ粒子の安定化配位子と捉えた触媒設計法のもと、それらと鉄とを合金化することにより、安定な低原子価鉄ナノ粒子を原子レベルで制御・合成します。また、得られた鉄ナノ合金を機能性材料と複合化することにより、未踏の「大気中安定かつ高活性な新規鉄ナノ合金触媒」を開発します。開発した鉄触媒の有効性を種々の反応において評価し、鉄触媒の汎用性を飛躍的に拡張します。

## π共役分子の一次元配列を基点とした未来材料探索

宮島 大吾

香港中文大学 (深) 理工学院 教授  
理化学研究所 産能物性科学研究センター エキスパート



分子性材料の物性は構成する分子の構造と集合様式によって決まります。しかしながら分子が集合し形成する三次元構造の予測・制御は未だ困難な課題の一つです。本研究ではπ共役分子の一次元配列を基点とした三次元分子集合技術を開発します。開発した分子集合技術を基に未踏分子集合構造を実現し、革新的機能性材料を探索します。

## 圧力・温度場の時空間的局在化によるメカノケミストリーの開拓

伊藤 佑介

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上



高圧印加とそれに伴う昇温による構造相転移の誘起が注目されていますが、付与できる圧力と冷却速度のトレードオフのため、高圧物質の創製に限界があります。本研究では、光照射時の電子とフォノンを高速に制御することで、超高压と超高速冷却を両立させた反応場を創出し、新材料創製を目指します。物質探索空間を超高压反応領域へと拡大することで、準安定相の創製を可能とするメカノケミストリーを開拓します。

## 新しいシリコンの水溶液化学による多孔性ソフトマテリアルの創成

金森 主祥

京都大学 大学院理学研究科 助教  
同上



シリコンは地殻中に豊富に存在するケイ素と酸素を主体とする樹脂材料であり、原油由来のプラスチックとは似て異なるものです。本研究では、シリコン系において新しい多孔性柔軟材料、すなわち多孔性ソフトマテリアルを創成することを目的としています。シリコン系における新しい水溶液合成法を開拓することによってその化学構造や多孔構造の探索空間を拡大し、環境負荷の低いシリコン材料の未踏の可能性を引き出します。

## 強相関窒化物薄膜の創製

相馬 拓人

東京科学大学 物質理工学 助教  
同上



遷移金属酸化物における高温超伝導などの強相関物性の発見は、セラミックスの研究にパラダイムシフトを起こし、電子材料を含め新しい材料が開発され、応用展開されました。本研究では、酸化物で培われた高品質薄膜に立脚した物質合成技術を窒化物に適用することにより、窒化物中に強相関電子を創り出します。窒化物の特徴が融合した「強相関窒化物」という新パラダイムを創成することにより、未来材料が潜む新たな大地を開拓します。

## 金属3D プリントを用いた非平衡組織・準安定相の創出

高田 尚記

名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授



Al や Fe を基軸とした種々の元素を組み合わせた成分系において、金属 3D プリント技術のひとつであるレーザー粉末床溶融結合 (L-PBF) プロセスが創出する非平衡組織と準安定相の特徴を抽出し、L-PBF プロセスによる製造材の優れた機械的性質の発現機構を解明します。本成果を基に、多元素化による非平衡組織・準安定相の制御に資する学術基盤の構築を目指します。

## 分子モーターを用いたDNA 超らせんの光制御

豊田 良順

東北大学 大学院理学研究科 助教  
同上



DNA を用いて人工的に構築するナノスケールの機能性材料が近年注目を集めています。本研究では、光照射によって単一方向に回転する分子モーターを用いることで DNA 鎖のトポロジーを制御し、準安定状態である超らせん構造を自在に作り出すことを目指します。人工分子と天然材料を複合する技術を確立するとともに、DNA 超らせんをツールとして既存の技術では獲得できない DNA 材料群を創出します。

## 欠陥内局所物性を活かしたバルク物性機能探索

### 新津 甲大

物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 独立研究者  
物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点 独立研究者



従来の結晶性材料の強化機構は転位等の格子欠陥同士の弾性相互作用に立脚した学理ですが、欠陥に局在する物性を考えると強化機構はより一般化・体系化された形で説明できると考えました。この欠陥局在物性は欠陥の動的挙動に影響を与え力学機能をはじめとする多様な巨視的物性に变化をもたらすと期待されることから、欠陥局在物性を巨視的物性を設計する上での新たな自由度と捉え、多様で新奇な機能性の探索を行います。

## 高度な構造秩序を内包する酸化ガラスの創製

### 橋本 英樹

工学院大学 先進工学部 准教授  
同上



金属の電気化学的酸化または金属イオン水溶液からの酸化物析出反応を用いて非晶質中間酸化物を合成し、これに室温高圧圧縮技術を組み合わせることによって、バルクの中間酸化物ガラス群を創出します。量子ビーム計測やコンピュータシミュレーションを含む実験によって、この材料群に共通の構造的特徴を明らかにし、物性と関係を解明することで、新材料の設計指針をガラスの構造の観点から提案することを最終的な目標とします。

## 異種混合配列オリゴマーによる超高伝導性材料の創製

### 藤野 智子

東京大学 物性研究所 助教  
同上



異種混合配列の豊富な構造自由度に基づく幅広い電子相関系のもとで構造-物性相関研究を行い、超高伝導性の実現を目指します。構造的乱れのない単結晶性と優れた加工性を生かして、塗布型結晶性薄膜電極材料へと展開します。低分子材料での強相関電子系の域を脱した幅広い電子相関系の示す新しい伝導物性・物理現象の発見により、導電性オリゴマー材料研究領域を開拓します。

## 新奇ダイヤモンド構造体の創製

### 八木 亜樹子

名古屋大学 トランスフォーム生命科学研究所 特任准教授  
同上



ダイヤモンド材料の微細化が無機化学研究の大きな流れとなっているものの、その制御は困難です。本研究では分子合成の技術を駆使することで、新たな高次ダイヤモンドである「分子性ダイヤモンド」や異種材料にダイヤモンド構造を高度に結合させた「ダイヤモンドハイブリッド構造体」の創製を行います。異端かつ多様なダイヤモンド構造体を創製することで、広く科学産業の進展に貢献することを目指します。

## アルカリ水光分解を促進する分子性触媒の創製と制御

### 山内 幸正

九州大学 大学院理学研究院 助教  
同上



再生可能エネルギーの貯蔵技術として分子性触媒を用いた可視光水完全分解に基づく水素製造に大きな期待が寄せられていますが、その半反応である酸素発生がボトルネックとされています。そこで、酸素発生には有利だが逆に水素生成が不利となるアルカリ性水溶液において、優れた水素生成触媒特性を示す未来材料を創製します。さらに、太陽光駆動のアルカリ水分解分子システムに関する応用研究へと展開し持続可能な社会構築に貢献します。

## 未踏高密度カチオンを基盤とする機能創製

### 石垣 侑祐

北海道大学 大学院理学研究院 准教授  
同上



本研究では、カチオン部位が規則的に配列した分子を構築することで、高密度カチオンのトポロジーに基づく機能創製を目指します。カチオン部位のトポロジカル配列に基づく包接能の制御及び未踏π共役系分子の構築へと繋げる狙いです。これにより、従来は主に中性分子において開拓されてきた物質探索領域を有機カチオン種へと広げ、高密度かつ規則的に配列した多価カチオン種を基盤とする未来材料創製に挑戦します。

## 量子ダイナミクスの理解と制御に立脚した機能材料設計の実現

### 浦谷 浩輝

京都大学 大学院工学研究科 特定助教  
同上



量子ダイナミクスすなわち時間依存量子力学を考えることにより、極めて高速・高効率なエネルギー輸送や、レーザーを用いた化学反応の精密制御など、従来の化学や材料科学の常識を超える機能や物質操作を開拓できる可能性があります。本研究では、独自の計算機シミュレーション手法を活用することで、量子ダイナミクスの制御に基づく物質・反応設計を実現し、このような機能や手法を実用的な段階へと引き上げることを目指します。

## 時間・空間反転対称性が破れた反強磁性体の開拓と制御

### 北折 暁

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上



系の対称性は、物質の応答の選択則と密接に関係しており、その適切な制御は非自明な物性を実現するための重要な鍵となる可能性を秘めています。本研究では特に、時間・空間反転対称性の破れた特殊な反強磁性体の開拓を行うことで、非相応答やトポロジカル物性に代表される新しい物質機能を開拓し、次世代のエレクトロニクス・スピントロニクスに資する基幹材料としての可能性を検証することを目指します。

## 未来電極材料の実現に向けた多機能電気化学ナノプローブの開発

### 小林 柚子

理化学研究所 開拓研究本部 特別研究員  
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 大学院生



電気化学反応はエネルギー変換や化合物生成を通して社会を支えています。その選択性や効率を最大化するために、本研究では、電極側の構造や材料のみならず溶液側のイオンにも物質探索空間を広げ、「反応を促進するイオン」を精密に設計した未来電極材料の創出を目指します。その指針を得るために、電極構造、中間体、生成物およびそれらへのイオンの影響をナノスケールで追跡できる多機能プローブ顕微鏡技術の開発に取り組みます。

## 拡散変態による形状記憶材料の創出

### 田原 正樹

東京科学大学 総合研究院 准教授  
東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授



これまで形状記憶効果は原子無拡散のマルテンサイト変態のみ起こるとされてきました。本研究では、この材料学的常識を覆す「拡散変態による形状記憶効果」の創出を目指します。この新しい機能性は、マルテンサイト変態を阻害していた準安定相の消失がトリガーとして起こります。

## ビッグデータ電顕解析から迫る非平衡学理

### 中室 貴幸

東京大学 総括プロジェクト機構 特任准教授  
同上



映像が持つ訴求力を活かし、従来の分析法では見逃されてきた科学現象に潜む分子動態を解明する、ビッグデータ電顕解析を実現します。合目的に観察場を構築することで分子、集合体、結晶・非結晶で生起する相互作用を時間発展的に紐解き、階層的な知見を獲得します。分子の非自明な動態の発見を通じて非平衡現象の理解を深め、未来材料設計に資する基礎的知見を創出します。「映像の力」を物質材料研究と教育現場に示します。

## ハイブリッドDNAファイバーによるプログラマブル材料工学の開拓

### 濱田 省吾

東京科学大学 情報理工学部 助教  
東北大学 大学院工学研究科 特任講師



プログラマブル材料工学の基盤となる、汎用性のある各技術を理論と実験の融合で確立します。シンプルなバルク材料「ハイブリッドDNAファイバー」を開発、複合材料化により新たな物性・機能性を実現します。データ駆動型の探索的デザインを導入することで、配列情報も含めた各種パラメータを一元化して設計します。例として、スパイダーシルクを模倣した物性や動的プログラマブル性の実現を目指しています。

## 第三世代キタエフ物質

### 原口 祐哉

東京農工大学 大学院工学研究科 助教  
同上



環境ノイズに強いトポロジカル量子コンピューティングの実現が期待されるキタエフスピ液体物質の開発を究極の目標として掲げ、固相メタセシス反応に立脚した準安定物質探索空間を開拓します。固相メタセシスにおいて必然的に生じる副生成物を無機物質合成における相図の新たな軸に加え、副生成物に内在する組成・生成熱・混合エントロピーなどの複合自由度を制御する技術を開発することで準安定相への自在アクセスを目指します。

## 巨大多元素異種金属多核構造の逐次的精密合成

### 湊 拓生

広島大学 大学院先進理工系科学研究科 助教  
同上



本提案では、剛直な多座配位子上に自在配列した異種金属多核構造同士を原子レベルで精密に縮合・集積させる合成技術を確認し、巨大分子の構造解析や特異な磁気・触媒特性の制御と解明を行います。多様な金属種や多座配位子に対して適用可能な手法を確認することにより、従来精密な構造制御が極めて困難であったメソスコピック領域における系統的物性探索も目指します。

## 超高温昇温脱離法による無機固体表面分析の革新

### 吉井 丈晴

東北大学 多元物質科学研究所 助教  
同上



昇温脱離分析法は、試料を加熱し、脱離した気体を質量分析計により同定する手法です。本研究では、独自開発してきた超高温・高感度な真空昇温脱離分析法を基盤技術とし、無機材料の欠陥・表面に関する新しいキャラクタリゼーション手法の確立を目指します。無機固体からの高温熱脱離過程に関する学理を新たに構築し、従来の非破壊分光法では分析困難な化学構造・相互作用を明らかにすることに挑戦します。

## 液晶分子配列を生かした未来メカトロニクス材料の創出

### 吉尾 正史

物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター グループリーダー  
同上

本研究では、イオン伝導性液晶を中核とするメカトロニクス複合材料を創出します。高速振動と高出力の両立を実現できると同時に、自己修復や形状記憶機能を示す装着可能なソフト触覚・応力センサーデバイスの開発を目指します。電場下での素子のオペランド計測を通じて、イオンの移動とナノ構造変化の可視化に挑戦し、電気力学変換のメカニズムを解明します。



# 原子・分子の自在配列と特性・機能

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

戦略目標

自在配列と機能



研究総括  
西原 寛

東京理科大学 研究推進機構総合研究院 特任副学長・総合研究院長

## 領域アドバイザー

稲垣 伸二	名古屋大学 大学院工学研究科 特任教授
岩佐 義宏	理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長
平野 愛弓	東北大学 電気通信研究所 教授
宮下 精二	東京大学 大学院理学系研究科 名誉教授
宮田 浩克	名古屋大学 大学院工学研究科 特任教授
山元 公寿	東京科学大学 総合研究院 教授
渡邊 正義	横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授

## 研究領域概要

本研究領域では、原子や分子を自在に結合、配列、集合する手法を駆使して、次元性、階層性、均一・不均一性、等方・異方性、対称・非対称性、複雑性などの観点からユニークな構造をつくり出し、その構造がもたらす新しい化学的、物理的、生物学的ならびに力学的に新奇な特性や機能を引き出すことによって、基礎科学のイノベーションを起こすとともに、社会インフラや生活を豊かにする革新的な物質科学のパラダイムを構築することを目的とします。

具体的には、近年、飛躍的に進歩してきた化学合成、原子操作、分子集合技術を基盤として、新しい発想や戦略のもとに、独創性に溢れた新物質、新構造体を生み出します。そのユニークな物質・構造体を、進化が著しい化学構造解析、結晶構造解析、ナノ配列構造解析や原子レベルの精密分析技術、さらに、大規模計算による精密な構造や化学的性質・物性の予測・解析法などと組み合わせることによって、類のない特性や機能の発現へ展開します。

原子・分子を要素とする物質や構造体の合成・変換・組合・配列とそれらの分析・解析を対象とする化学に加えて、理論に基づいて物質の特性を予測、解析する物理学、生体物質や生物機能の仕組みの分子レベルでの解析やそれらに作用する物質の開発を行う生物学、デバイス作製を行う工学などが連携して、未来社会に有用な俯瞰的な新しいモノづくりを行うことによって、社会が抱えている持続可能な開発目標、SDGs の達成に貢献する科学技術を切り開きます。

## 塩基配列からナノ粒子配列への自在変換が拓く生命情報検出

太田 誠一

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



AとT、GとCそれぞれの塩基のペアによって2重らせんを形成するDNAは、ナノスケールの動的な構造制御を可能とします。本研究では、生命情報を塩基配列に貯蔵した核酸から、「人工バイオマーカー」として任意に塩基配列を設計した人工DNAを増幅して書き出し、さらにこれに含まれるトリガー配列によってナノ粒子の3次元配列の変化を誘起することで、粒子の光特性変化から生命情報を検出する、新たな検査技術を開拓します。

## 二次元系の自在超構造化と機能創出

北浦 良

情報科学研究科 ナノスケール制御センター 制御系グループ長  
名古屋大学 大学院理学研究科 准教授



二次元物質を組み合わせて生み出される超構造の可能性は広大です。本研究では二次元物質を対象に構造・組成制御を極限まで突き詰めることで未踏の二次元超構造を創製する方法論を確立します。さらに、生み出される新奇二次元超構造の特異な電子状態を利活用した新たな電子デバイスへの展開を図ります。

## 金属ナノ粒子における原子の三次元自在配列技術の構築

草田 康平

京都大学 白銀センター 特定准教授  
京都大学 大学院理学研究科 特定助教



本研究では、金属原子の三次元配列を自在に制御し、金属ナノ粒子の選択的な結晶相の制御「相制御」の達成により、自然界には存在しない新規ナノ物質を開発することを目的とします。具体的には、金属元素及び合金組成を変えることなく、金属の三大基本構造（面心立方格子、六方最密格子、体心立方格子）を化学的合成法で選択的に作り分ける技術の構築とそのメカニズムの解明を行い、触媒特性を中心に新規ナノ物質開発を行います。

## 金属錯体触媒の精密配列に基づく反応場の自在構築と正と負の触媒効果

近藤 美欧

東京工業大学 理学院 教授  
大阪大学 大学院工学系研究科 准教授



本研究では、触媒分子の精密配列に立脚した触媒反応の自在操作を目標とした研究を行います。第一に、触媒分子の精密配列を利用した反応場の自在構築法を確立し、高規則性を有し、内部に空間を有する新規触媒材料、反応性フレームワークを構築します。その上で、精密配列がもたらす「正」と「負」の触媒効果を発現させ、配列制御の化学と触媒化学との融合による物質変換反応全般に広く貢献する新たな学問領域を開拓します。

## トポロジカル結合の自在配列による革新的機械特性発現

佐藤 弘志

理化学研究所 創発物科学研究所 センター エグゼクティブリーダー  
東京大学 大学院工学系研究科 講師



「トポロジカル結合」では、構成ユニット間での直接的な結合は形成されておらず、応力が増えられと構成ユニット同士の間隔は柔軟に変化します。金属-有機構造体 (MOF) をプラットフォームとした「トポロジカル結合」の自在配列により、「応力に柔軟に適應する」トポロジカル結合の特性を最大限活かし、本来相容れない「結晶性」と「適應性」を併せ持つ革新的機械特性を示す材料の創製と学理的構築を目指します。

## ナノシートの配列制御に基づく革新的ソフトマテリアルの創成

佐野 航季

信州大学 学術研究院 助教  
理化学研究所 創発物科学研究所 センター 基礎物性研究員



二次元物質であるナノシートは、様々な分野での応用が期待される魅力的な次世代ビルディングブロックですが、ボトムアップ手法で合目的なナノシート配列構造を構築することは極めて困難です。本研究では、ナノシート合成と機能実現との間に大きく横たわる壁を打破すべく、ナノシートの配列を自在に制御できる基盤技術の確立と、ナノシートの新規配列構造に基づいた革新的機能を有するソフトマテリアルの創成を目指します。

## 可逆的ペプチド鎖による高次ナノ構造構築法の開発

澤田 知久

東京科学大学 総合研究院 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 准教授



自然界のタンパク質における構造とその機能は、ポリペプチド鎖の配列情報に基づいて高度にプログラム化されています。本研究では、10残基以下のペプチド断片を可逆な結合によって連結した分子鎖（可逆的ペプチド鎖）が生み出す特異なナノ構造の探索と機能化を行います。可逆性のある連結を組み込むことによって、通常のポリペプチド鎖では抑制されていた潜在的な特異なトポロジー構造を誘起し、新奇ナノ構造群を創出します。

## MBE・原子置換・パターンニングを融合した新原子層材料の創製

菅原 克明

東北大学 大学院理学研究科 准教授  
同上



本研究では、新たに建設する原子置換装置および真空ガルパルスキャナレーザ装置を用いて原子・構造・空間の3つを自在に制御した新規原子層材料を開発し、それらの電子状態解明を行います。得られた新たな知見から、新規原子層材料における原子・構造・空間の制御に基づいた新奇量子現象の創発および学理構築を目指すと共に、既存デバイスを凌駕する「原子層エレクトロニクス」開発に資する基盤技術構築に貢献します。

## ケイ素誘導型分子を活用した金属自在集積

砂田 祐輔

東京大学 生産技術研究所 教授  
東京大学 生産技術研究所 准教授



ナノサイズ金属化合物は、多分野で機能材料として使われています。これらの機能は金属配列や次元性に依存しますが、全構造パラメーターの完全制御は未踏です。本研究ではケイ素分子を用いた誘導型合成法に立脚し、全構造パラメーターを完全に制御した金属集積分子の自在合成を実現します。併せて高機能性触媒としての応用や高次構造体への構造拡張を行い、構造・次元性・機能を自在に制御可能な金属ナノ材料の科学を開拓します。

## 特異的原子配列が創るエキゾチッククラスターの開拓

塚本 孝政

東京大学 生産技術研究所 講師  
東京工業大学 科学技術創成研究院 助教



本研究では、クラスターの物理的形質（原子配列の幾何学的対称性）と、数学的因子（原子配列の内在数）の二つの要素に着目した研究を展開します。これに基づいて設計したクラスターを、独自開発した多元素合金クラスターの精密合成手法「アトムハイブリッド法」を用いて実際に合成・評価することで、光・電気・電気・触媒特性に代表される革新的物理特性や特異的化学反应性を発現したエキゾチッククラスターの創成を行います。

## 離散的配列ブロックに基づく人工タンパク質配列自在設計技術の開発と応用

中野 祥吾

静岡県立大学 食品栄養科学部 准教授  
静岡県立大学 食品栄養科学部 助教



データベースには大量のタンパク質配列が登録されており、その数は現在も増え続けています。本研究では拡大を続ける配列データを網羅的に解析し、全てのタンパク質にその機能を決定づける離散的配列ブロックが存在することを証明します。配列ブロックの同定を可能とする新規手法の開発を行うとともに、これらブロックを組み合わせて機能を自由自在に制御した人工タンパク質配列設計の実現を目指します。

## 強相関ファンデルワールス超構造の創成

中野 匡規

東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授  
同上



分子線エビタキシー法を利用したアブローチにより、劈開法では作製が困難な強相関二次元物質の作製と集積化に取り組みます。そして、電子の個々としての性質であるスピンやバレー、あるいは波動関数のトポロジーといった量子力学的な特徴と、電子の集団としての性質である超伝導や磁性などの強相関物性を人工超構造で融合させ、天然には存在しない物性や機能性の創出を目指します。

## 準2次元金属の層配列制御による界面機能の創出

原田 尚之

情報科学研究科 ナノスケール制御センター 協理  
東北大学 金属材料研究所 助教



現代社会を支える通信、制御、センシング技術は半導体デバイスにより成り立っています。半導体デバイスの機能は異なる物質が接合された界面で生まれます。本研究では、層状の電気伝導層を持つ準2次元金属に着目し、半導体と結晶シリコンで接合します。準2次元金属の層配列を自在に制御する方法を開発し、層配列の生む界面物性により、革新的なパワーデバイス、高周波デバイス、スピンドバイスを実現します。

## らせん状π共役分子の自在配列によるキラル分子機能の創出

廣瀬 崇至

京都大学 化学研究所 准教授  
同上



π拡張型の分子骨格にらせん状の歪みを加えることで、ナノスケールのらせん構造に由来するユニークな電子物性が発現します。本研究では「大きなπ共役系」と「しなやかさ」を兼ね備えたπ拡張型のらせん状分子の自在配列に挑戦します。らせん状分子のキラリティーが増幅されるような異方性の高い集積構造を精密に設計することで、π拡張型らせん状分子を基盤とする新奇な光学的・力学的機能の発現を目指します。

## 液体中のイオン・分子配列制御と電気化学新機能の開拓

山田 裕貴

大阪大学 産薬科学研究科 教授  
東京大学 大学院工学系研究科 准教授



本研究構想では、液体中におけるイオン・溶媒分子の配列構造化手法を開発するとともに、配列の特徴により生み出される新機能の開拓を目的とします。電解液を特定の機能を有する単位配列の集合体ととらえて設計することで、構成要素であるイオン・溶媒分子固有の性質を逸脱した新奇な電気化学機能を有する電解液材料を開発し、高電圧水系蓄電池をはじめとする革新的な電気化学デバイス・反応の開拓を目指します。

## ラダー化が拓く配列と高次構造の自在制御と機能創出

井改 知幸

名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授



本提案の自在配列の対象は、「二次構造を構成するモノマー単位及び二次構造そのもの」です。ラダー化を主軸とした二次構造の自在構築 / 自在配列という新概念を着想し、多彩な二次構造を構築する技術と様々な次元で階層的に配列する手法を確立します。さらに、二次構造とラダー / 超分子構造の個性 / 強みを掛け合わせることで、新物性・卓越機能を創出し、分離、認識、触媒、情報、運動に関連する革新的材料の創製を目指します。

## 機能団の自在配列を可能にする多面性ポリマーの創製

石割 文崇

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
大阪大学 大学院工学研究科 講師



機能団の自在配列を可能にする新しい鎖型ポリマーとして、ポリマー鎖に複数の異なる面を持たせた、「多面性ポリマー」を開発します。この多面性ポリマーは面同士の自己集合により、超微細かつ複雑な高次超構造を形成することが期待されます。本研究では、多面性ポリマーを基盤とした新しい学理構築および機能団の自在配列の実現、さらには、これまでの限界を超える微細ナノグラフィックなどの機能発現に挑戦します。

## 擬ラセミ分子の自在配列による高機能性有機結晶の創出

伊藤 傑

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、右手と左手のように重なり合わない「キラル分子」が有する相補性を活用し、二種類のキラル有機分子からなる「擬ラセミ分子」を同一結晶内に配列する技術を開発します。異なる発光部位をもつ擬ラセミ分子を配列する手法を確立することで、機械的刺激に段階的に応答して発光特性が変化する結晶材料を創成します。さらに、本手法により異種の機能性分子を精密に配列し、新奇機能をもつ光電子材料や細孔材料を創出します。

## 可逆的共有結合を用いたペプチド立体構造制御と機能創出

梅澤 直樹

名古屋大学 大学院薬学研究所 教授  
名古屋大学 大学院薬学研究所 准教授



タンパク質は、種々の官能基を適切に配置することで、洗練された機能を生み出します。しかし、その部分構造を抜き出したペプチドは、様々な立体構造をとるため、タンパク質に匹敵する機能は得られません。本研究では、可逆的共有結合を用いて、熱力学的に制御された、多様な立体構造をもつペプチド群を調製し、優れた機能をもつペプチドを効率的に見出します。タンパク質間相互作用阻害あるいは触媒機能をもつ分子を開発します。

## ローンペアの自在配列制御による低次元性・低対称性物質の創成

加藤 大地

京都大学 大学院工学研究科 助教  
同上



本研究では、Bi などのカチオンが有するローンペアの形状・方向・配列を自在に制御することで、低次元性・低対称性の構造を合理的に設計することを目指します。特に、ローンペアを有するカチオンとアニオンの相互作用に着目し、複数のアニオンを巧みに使いこなすことによって、従来では困難であったローンペア配列の自在制御を目指します。

## 局所原子配列の熱的制御による酸化物相変化メモリ開発

河底 秀幸

東京都立大学 大学院理学研究科 准教授  
東北大学 大学院理学研究科 助教



現在、ストレージクラスメモリとして注目される相変化メモリでは、カルコゲナイド物質の結晶相・アモルファス相の熱的・可逆制御を原理としています。そこで本研究では、層状酸化物における局所原子配列を制御し、秩序相・無秩序相・直方晶相の熱的・可逆制御を実現します。さらに、多値記憶可能な酸化物相変化メモリとして室温・大気下で動作させることで、相変化メモリ材料におけるパラダイムシフトの実現をめざします。

## ナノ空間・界面情報の転写による超精密単原子層物質の創製

北尾 岳史

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上



グラフェンをはじめとする単原子層物質は、エッジ部分における原子配列や幾何学構造によって、その特性が大きく変化します。本研究では、金属・有機構造体(MOF)が持つ空間・界面情報を利用することで、これまで理論上の存在であった種々のグラフェンナノリボン(GNR)、二次元ネットワークなどの超精密単原子層物質を現実的に作り出します。精密単原子層物質の新奇物性を具現化することで、基礎学理の構築と材料応用への道筋を示します。

## メンブレン積層制御による界面超構造の創出

塩貝 純一

大阪大学 大学院理学研究科 准教授  
東北大学 金属材料研究所 助教



元素・構造・膜厚が制御された積層構造の界面では、バルク結晶にはない様々な物性や機能を示します。本研究では、エピタキシャル成長法とエッチング法を融合させたメンブレン積層技術によって、既存技術では積層化が困難であった物質の薄膜超構造の作製技術を開発します。さらに、積層構造や配向を自在に制御することで、新しい物性と機能を示す界面の創出に取り組みます。

## 強相関ラジカル分子構造体のライティングラフ物性

水津 理恵

佐賀大学 シンクロtron光応用研究センター 准教授  
名古屋大学 大学院理学研究科 特任助教



優れた物性を発現する元素の構造と同じ構造を、分子で作ることによってその性質を再構築、あるいはさらに発展させるという「等結晶トポロジー」という概念があります。本研究では、面内方向に強い分子間相互作用をもつ「強相関ラジカル分子」がつくる二次元構造体のバンド構造および分子配列を明らかにし、そのフェルミ準位を制御することで、その構造トポロジーに起因する電子機能や電気化学機能を引き出すことを目指します。

## 超低電子ドーズSTEM法の開発と実空間原子・分子配列構造解析

関 岳人

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



超低電子ドーズ条件下で原子・分子配列を超高解能で直接観察できる走査透過型電子顕微鏡法(STEM)を開発し、従来では観察が不可能であった電子線照射損傷を受けやすい材料の局所原子・分子配列の解析を可能にします。さらに開発した手法を自在配列材料へと応用します。機能発現の場となる原子・分子の局所配列構造を直接観察し、材料機能との相関性を解明することで、配列指針の構築を目指します。

## 変形/運動するクロミック発光性分子結晶の開発

関 朋宏

静岡大学 理学部 准教授  
静岡大学 理学部 講師



本研究では、外部刺激に反応する分子結晶を研究対象とし、特に厳密な変形 / 運動を示す新規材料の開発を目指します。厳密な変形 / 運動を可能にする鍵は、外部刺激に反応した単結晶間の配列変化です。利点として、結晶内の分子配列を明確に決定でき、刺激応答性の起源を正確に理解できる点が挙げられます。このような分子結晶を体系的に開発し、「精密変形 / 運動材料」の化学を構築し、未知の機能の付与と知見の蓄積を可能にします。

## ポーラスナノシートの自己集積構造制御による機能発現

林 宏暢

物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 主任研究員  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教



周期的に構築された微小ナノ空間内に種々の材料を分子レベルの精密さで一度に配列・集積させる技術確立は、原子1個・結合1本に至る微細な構造最適化を経て物性制御された材料に対して相乗的機能発現の場を提供します。本研究ではベルト型環状分子を連結したポーラスナノシートを開発し、適切なゲストとポーラスナノシート選択による自己集積構造の自在制御、ポーラス内で精密集積・配向されたゲストの機能発現を達成します。

## 分岐を持った蛋白質ユニット自在配列の実現

真壁 幸樹

山形大学 大学院理工学研究科 教授  
山形大学 大学院理工学研究科 准教授



蛋白質構造中に機能性ユニットを自在に配列した分岐構造を作り出すことができれば、その構造に依存した新しい機能を生み出せます。本研究では直列と分岐の蛋白質間連結を組み合わせて、機能性蛋白質ユニットを分岐連結した前例のない dendritic 様の連結構造体を作り出します。小型抗体や酵素など、様々な機能性ユニットを自在に分岐連結させ、医薬品への応用や酵素の複合体など新しい分子群の創成を目指します。

## 自在配列合成で拓く精密構造制御無機高分子の新展開

松本 和弘

産業技術総合研究所 機能分子融合研究センター 研究チーム長  
産業技術総合研究所 材料・化学領域 主任研究員



独自に開発したシリコサン化合物のワンポット配列制御合成法を駆使した自在配列合成により、配列制御シリコサン化合物ライブラリを整備するとともに、モノマー配列構造と各種物性との相関を体系化したデータベースを構築することで、データ駆動型機械学習によるシリコサン材料の物性予測技術の開発を目指します。

## サブナノ有機ブロックの配列による有機構造体の緻密設計

森本 淳平

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上



本研究では、サブナノメートル単位で立体構造が規定された有機分子をブロックのように配列して構築することで、ナノメートル未満の緻密さで有機ナノ構造体を設計する手法を実現します。さらに、その緻密な立体構造を利用して、(1) 生体分子の複雑な表面を精密に認識する分子を設計すること、(2) 緻密で複雑な構造を持つナノ空間を創成すること、に挑戦します。

## 水素結合性無機構造体で拓く新しい学理および材料開発

五十嵐 正安

産業技術総合研究所 触媒化学総合センター 上級主任研究員  
同上



原子・分子を精密に配列して構造を制御することで新しい物性や機能が発現し、その結果革新的な材料開発が可能になります。本研究では、独自に見出した水素結合性無機構造体 (HIF) の特異な空間配置・配列をもとに、無機化学と有機化学双方の学理を追求し、さらにその学理を基盤とした革新的な有機-無機複合化合物の創出を目指します。

## 原子精度での光合成色素分子の配列形成と光電変換機能の評価

今井 みやび

理化学研究所 開拓研究本部 基礎科学特別研究員  
同上



生物の多くの機能は進化の過程で効率化されているため、これらの機能を研究し技術開発に取り入れることは、技術革新を引き起こす可能性を秘めています。本研究では、走査トンネル顕微鏡を用いて、個々の分子を配列させたモデル光合成系を形成し、配列に対応した光電変換機能を原子精度で評価します。構造と機能の相関を解明し、光合成で驚異的な効率で生じる光電変換機能を人工的に発現し、配列構造により制御することに挑みます。

## タンパク質集合体による色素と触媒の分子配列

大洞 光司

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、天然光合成系の構成要素である光捕集系と触媒中心の分子配列に着目し、タンパク質集合体を用いて色素と触媒を適切に配列し、光水素発生系の開発をめざします。人工的に集合化したタンパク質を基盤に光増感色素を配列する技術を確認し、光子密度の低い太陽光を反応中心に集約して、円滑な多電子移動反応を可能にする人工光捕集系を構築します。さらに触媒部位を適切に導入し、人工光合成系の開発に貢献します。

## 金属イオンのタンパク質内精密多点配置による機能創出

岡本 泰典

自然科学研究機構 生命創成探究センター 准教授  
東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教



高難度反応を触媒する多核金属酵素をボトムアップで作直すこと、すなわち、人工金属酵素を構築することは強力な触媒開発に繋がります。しかし、タンパク質内部で複数の金属イオンを自在に配置することは極めて困難な課題です。本研究では、タンパク質内部で金属イオンを多点配置する戦略を見出し、人工多核金属酵素を構築します。複数の金属イオンの協働性による基質の多点活性化や特異な機能の発現をねらいます。

## 新規配列解析法を利用した機能性PNAアダプターの開発

樫田 啓

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



近年、様々な分子に結合する核酸アダプターが注目されています。しかし、多くの場合 DNA や RNA が利用されていたため、化学的機能に乏しいという問題点がありました。本研究では、我々が開発した配列解析法を利用してペプチド核酸 (PNA) によるアダプターの開発を目指します。PNA を利用することでこれまで困難であった標的分子への結合や生体分子検出などへの応用が期待できます。

## メカノケミストリーを活用した2D 超潤滑原子構造の自在創成

桑原 卓哉

大阪公立大学 大学院工学研究科 講師  
同上



ダイヤモンドライクカーボンは、境界潤滑・無潤滑環境で摩擦係数 0.01 以下の超潤滑を発現します。しかし、その起源は原子レベルの現象・構造にあることから、全く解明されていません。そこで、量子化学 / 分子動力学計算により、超低摩擦発現を支配する 2 次元原子構造の形成機構を解明します。電子・原子論に立脚したモデル・理論の構築及び実験による実証を通じて、超潤滑 2 次元原子層のメカノケミカル合成技術の理論設計を実現します。

## 自在配列による機能性タンパク質集合体の創成

鈴木 雄太

科学技術振興機構 さきがけ研究者  
京都大学 白眉センター 特定助教



本研究の究極の目標は、生体分子に匹敵する、あるいは自然界に存在しない人類に有益な機能性タンパク質集合体を創り出す「革新的なタンパク質デザイン」を確立することです。その第一歩として本研究では、タンパク質を自在に配列し様々な形状の集合体を創り出すモジュール式タンパク質集積デザインを確立し、構造制御・機能搭載を可能にすることで、生体材料への応用を視野に入れた機能性タンパク質集合体を構築します。

## 結晶内分子配列に基づくバイオリファイナリー

田代 省平

東京大学 大学院理学系研究科 准教授  
同上



バイオマスの化学変換による資源やエネルギーの創出はバイオリファイナリーと呼ばれ、触媒や材料分野における重要な標的の一つです。本研究では、超分子化学・分子配列化学に立脚した革新的なバイオリファイナリー技術を開発するため、優れた分子配列能・触媒能を示す多孔性結晶を活用することにより、フラン誘導体やテルペン、多糖、リグニンなどを標的とした高選択的分子変換反応や分子配列技術を開発することを目指します。

## 自在配列膜貫通ペプチド精密設計法の開発と機能開拓

新津 藍

理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー  
理化学研究所 開拓研究本部 助研員 (JPS 特別研究員 9P)



膜タンパク質は、膜貫通領域がアミノ酸の一次配列に基づいて特定の配置に集積することで機能を発現します。本研究では、この「配列-構造相関」を膜貫通  $\alpha$ ヘリックスペプチドを用いて探索・検証し、会合数やダイナミクスを自在に制御することを目指します。その手段として分子動力学計算を活用した新しい設計法を開発し、自在配列膜ペプチド群を創出します。さらに設計ペプチドから高機能人工膜タンパク質への応用を開拓します。

## ナノ励起子自在回路による革新情報処理基盤の開拓

茂木 裕幸

筑波大学 数理物質系 助教  
同上



情報処理技術のエネルギー効率を劇的に改善するために、電荷中性である励起子の応用が効果的です。独自の時間分解マルチプローブ技術を応用し、原子厚のシート状材料を重ね合わせた二次元ヘテロ構造をプラットフォームとして、励起子閉じ込め系をナノスケールで自在に配置します。これにより励起子情報回路を形成した後、励起子流の全光制御 (ナノスケール励起子光スイッチ) を実現し、革新的な情報処理基盤を創ります。

## 二次元配列構造における局所電子密度分布および物性解析手法の開発

森川 大輔

東北大学 多元物質科学研究所 助教  
同上



本研究では、電子ナノビームを用いた局所電子密度分布解析と第一原理計算との協奏により、これまでに類のない局所領域の物性解析手法を開発します。特に原子の配列が物性を支配している二次元配列構造の解析へと応用し、ナノ領域の電子密度分布やバンド構造等の唯一無二の情報取得可能な日本発の技術となることを目指します。

## アッセムブリー補助によるタンパク質の配置制御

矢木 真穂

名古屋大学 大学院薬学研究科 講師  
同上



本研究では、生命分子の複合体形成におけるアッセムブリー補助メカニズムの本質を取り入れたシステムを構築することで、複数種類のタンパク質のアッセムブリーを制御する戦略を確立します。過渡的に生成する集中間体を安定化することにより、ビルディングブロックとしてのタンパク質が規則正しく集積したヘテロ超分子構造体を創成し、新規機能創出のプラットフォームとして利用することを目指します。

## ポトルブラシポリマーによる革新的相分離構造の創成

山内 祥弘

物質・材料研究機構 高分子・バイオフィサイクセンター 独立研究員  
物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 独立研究員



ポトルブラシポリマーは、長さ・直径・化学的性質の制御性、共有結合性、単分散性の特徴を兼ね備えるユニークな一次元物質です。本研究では、マクロスケールの機能・物性を操るためのメソスケールの中継点として、ポトルブラシポリマーによる革新的な相分離構造を創出します。ポトルブラシポリマーに静電的特性や力学的特性をナノスケールで付与することでマクロスケールへ伝達される機能・物性と相分離構造の相関解明に挑戦します。

# 情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2020-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2020-4.html)

戦略目標

情報担体と新デバイス



研究総括  
**若林 整**  
東京科学大学 総合研究院 教授

## 領域アドバイザー

岡田 健一	東京科学大学 工学院 教授
斉藤 朋也	ルネサス エレクトロニクス(株) メモリIP技術開発第一部 課長
清水 健	アクセンチュア(株) ビジネスコンサルティング本部ストラテジー グループ マネジング・ディレクター
出口 淳	キオクシア(株) 先端技術研究所AI・システム研究開発センター グループ長
富永 淳二	産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域付 名誉リサーチャー
根本 香絵	沖縄科学技術大学院大学学園 量子情報科学・技術ユニット 教授
平本 俊郎	東京大学 生産技術研究所 教授
藤澤 宏樹	マイクロンメモリジャパン(株) DEG DRAM Engineering R&D フェロー
水野 正之	NEC 航空宇宙・防衛ソリューション事業部門 主席スペースICTアーキテクト
森村 浩季	NTTテクノクロス(株) IOWNデジタルツインプラットフォーム事業部 ビジネスユニット長
山川 真弥	ソニーセミコンダクタソリューションズ(株) 第4研究部門 統括部長
渡部 宏治	東京エレクトロン(株) デバイス技術企画部 プロジェクトリーダー

## 研究領域概要

本研究領域は、デバイス内で情報の鍵を握る「情報担体」の特性を活用した高性能・高機能デバイスを創出し、さらにこれらを集積化・システム化することにより社会実装可能な情報システム基盤技術を創成します。超スマート社会やさらにその先の次世代情報化社会を実現するには、情報処理を担うデバイスやシステムのさらなる高度化が不可欠です。一方で、CMOSの微細化に代表される従来のエレクトロニクスでは情報処理能力向上に限界が見え始めており、限界を突破するための新しい材料・デバイス技術やそれらをシステム化するための革新的な基盤技術が求められています。

そこで本研究領域では、デバイス内での情報処理の鍵となる情報担体に着目します。ここで情報担体とは、状態変数として定義される情報を表す物理量や物理系のネットワーク構造・分子構造等、広く情報を担い得る自由度を包含した概念とします。本研究領域では、多くの既存デバイスで情報担体の役割を果たしている電荷に限らず、スピン状態や分子構造、物質相変化、量子、構造ネットワークといった情報を担いうるあらゆる情報担体を対象とします。情報の取得、変換、記憶、演算、伝達、出力等のデバイス機能の根幹をなす多様な情報担体を深く掘り下げ、かつ高度に利用することによって革新的なデバイスを創出します。さらに社会実装可能なシステム構築へと導くため、単体デバイスによる機能発現にとどまらず、集積化・システム化を行うことにより、回路・アーキテクチャ・システム・アプリケーションレイヤーとの協働を進め、革新的な情報システム基盤のイノベーションを目指します。特に本研究領域では、個人のアイデアにもとづいた挑戦的な材料・デバイス・システムの基礎研究に注力します。

## ダイヤモンド中の電子スピンをを用いたマルチモダル量子センサの開発

荒井 慧悟

東京工業大学 大学院電気電子系 准教授  
東京工業大学 工学部 助教



Physical空間のセンシングは、Society5.0の実現に向けたCyber-Physical-Spaceの一翼を担う。その鍵を握る技術のひとつは、センサのマルチモダル(多機能)化だ。本研究では、ダイヤモンド中の窒素・空孔欠陥「NVセンター」を磁場・温度・圧力・回転(ジャイロ)センサとして用い、極低温~1,200℃、極高压~60GPaといった幅広い環境で機能するシステムの開発を目指す。

## シリコン中の電子スピンをを用いた論理演算素子の創成

安藤 裕一郎

大阪公立大学 大学院工学研究科 教授  
京都大学 大学院工学研究科 特定准教授



本研究ではシリコン中の電子スピンの生成・制御・検出技術を高度化し、スピンの向きや総数を情報担体とするデバイスを開成する。スピン操作についてはスピン偏極ベクトルや総数を電界、磁界、不純物、スピン軌道相互作用等で制御する技術を確立する。更に、スピン情報を磁化に書き込み、増幅する技術等の確立にも取り組む。最終的にはスピン固有の新奇な演算手法を開発し、スピン論理演算素子を創成する。

## ウルツ鉱型極性材料による強誘電トンネル接合素子の創製と物性解明

清水 荘雄

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 独立研究者  
同上



ウルツ鉱型強誘電体材料の持つ、巨大な自発分極、大きな抗電界、異方性結晶構造という特徴を生かして、小さな膜厚でも分極を保持しつつ、大きな抵抗オンオフ比を持つ強誘電体トンネル接合素子の実現をエピタキシャル薄膜成長を行うことにより目指す。さらに、分極反転メカニズムの解明や新物質探索を通して、信頼性の向上や物性の制御、さらに集積化に対する可能性を検証する。

## 磁気メモリの革新に向けたスキルミオン物質の開発と機能開拓

高木 里奈

東京大学 物性研究所 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



磁気スキルミオンと呼ばれる粒子性を持つ渦状の磁気構造体は、大容量・省電力な磁気メモリを実現する情報担体の候補として注目されています。本研究では、ナノスケールのスキルミオンを生じる新物質開発を行い、スキルミオンの高密度化を実現するための新しい物質設計指針の確立を目指します。さらに、高密度なスキルミオンに由来する電磁気応答現象の観測を行い、磁気メモリ等への応用に向けた機能の開拓に挑戦します。

## 大規模集積化ガスセンサの創出による多成分ガスの時系列分析

田中 貴久

慶應義塾大学 理工学部 専任講師  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



多成分ガスである呼吸を用いた健康管理のため、ガス濃度と集積回路内電荷の2情報担体間の変換を行う大規模集積化ガスセンサを開発し、従来型ガスセンサで実現できなかった小型高機能診断プラットフォームを創出します。具体的には、イオンゲルを基幹材料としてジュール局所加熱によるセンサの多機能化を組み合わせ、従来型ガスセンサを超える集積度を実現します。

## 電子・正孔を情報担体とするフレキシブルサーマルデバイスの創製

廣谷 潤

京都大学 大学院工学研究科 准教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



本研究では、高キャリア濃度中の電子や正孔を情報担体と定義して、そのキャリア濃度をアクティブに制御する革新的なアイデアに基づき、熱を自在に制御するデバイスの創製にチャレンジします。さらに制御する熱流束を厳密に測定する手法として、高温で安定なP/N型ドーピングされた原子層材料を用いた超薄薄のフレキシブルな熱流束センサの創出にも挑戦します。

## 伸縮性導体・半導体による超柔軟ダイオード

松久 直司

東京大学 生産技術研究所 准教授  
慶應義塾大学 理工学部 専任講師



半導体デバイスの要求を満たす伸縮性電子材料と、伸縮性基材特有の熱や溶剤による変形の影響を受けないプロセスを開発し、高性能な伸縮性半導体デバイスを作製・その物理探索を進める。この知見を活かして非伸縮性のデバイスと比較しても遜色ない伸縮性センサマトリクスや太陽電池、光イメージャなどを実現する。さらにウェアラブルデバイスやソフトロボットへの応用を進めていく。

## 電子・イオン制御型バイオイオントロンクス

三宅 文雄

早稲田大学 大学院情報生産システム研究科 教授  
早稲田大学 大学院情報生産システム研究科 准教授



本研究で提案する新デバイスは、従来デバイスが実現できなかった物質の輸送(開放系)、電子とイオンのキャリア制御(双方向情報伝達機構)、生化学エネルギーから電気を創る自己発電(外部電源不要)などの新機能を実現し、ひいては、生体機能をイオン信号で制御する新しい原理のバイオデバイスである。その成果は、生体からの情報取得、あるいは、生体への情報伝達を高度化させる新技術として、広範な波及効果が期待される。

## 反強磁性薄膜を用いたスピン超流動デバイスの創出

森山 貴広

名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
京都大学 化学研究所 准教授



一般的に超流動とは、液体ヘリウム超流動や超伝導に代表される無散逸の流体现象です。一方、秩序変数空間において2次元的なトポロジを有する磁性体においては、超流動的なスピン角運動量の流体现象である「スピン超流動」が予言されています。本研究では、反強磁性薄膜を利用し磁気異方性トポロジを考慮した材料設計によってスピン超流動を実現し、超低消費エネルギーのスピン輸送デバイスを創出することを目指します。

## 革新的スピン注入技術を用いた縦型半導体スピン素子の創成

山田 道洋

大阪大学 大学院基礎工学研究科 特任准教授  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教



本研究では、原子層制御した強磁性体/半導体界面を有する縦型半導体スピン素子構造を実現すること、室温動作高性能スピン素子の創成を目指します。半導体スピン素子の飛躍的性能向上に向けて、原子レベルで急峻な強磁性体/半導体エピタキシャル界面を実現すると共に、縦型スピン素子中の半導体中間層への原子層ドーピング技術の確立に取り組めます。これにより三次元集積可能な超低消費電力素子の社会実装への道を開拓します。

## 電子・光技術の融合による半導体テラヘルツコム発振器の創成

有川 敬

兵庫県立大学 大学院工学研究科 准教授  
京都大学 大学院理学研究科 助教



本研究では、エレクトロニクス技術とフォトニクス技術の融合により、集積可能な半導体ベースの広帯域テラヘルツコム発振器の開発に挑みます。具体的には、共鳴トンネルダイオードを用いた発振回路にレーザー技術の概念を導入し、従来技術の限界を突破します。これにより、テラヘルツ波を情報担体としたセンシング技術の普及を加速し、安心・安全な社会の実現に貢献します。

## 不確定性スピントロニクスデバイス

金井 駿

東北大学 電気通信研究所 准教授  
東北大学 電気通信研究所 助教



本研究ではスピントロニクス確率ビットデバイスの動作原理に関する材料・構造特性の解明と高性能化、及びスピントロニクスデバイス・材料における量子機能の創出により既存の決定論的コンピューティングの物理限界を超えることを目指します。磁性体スピントロニクス研究と量子スピン研究の材料・物理スケール・ハードウェアのギャップを埋めることで世界に先駆けた「超スマート社会」の実現に必要な不可欠な基盤技術を開発します。

## 単一磁束量子を用いた雑音駆動型超低電力計算機基盤の創成

川上 哲志

九州大学 大学院システム情報科学研究科 教授  
九州大学 大学院システム情報科学研究科 助教



本研究では、既存計算機の低電力化の律速要因であった雑音限界を突破すべく、単一磁束量子デバイスに基いた雑音を回路動作のメカニズムとして活用する計算原理・回路を提案します。この雑音駆動型素子を前提として、可逆論理ゲートに基づく演算回路を構築し、クロック駆動型回路と融合した計算機システムアーキテクチャを開発することで、高度情報化社会のための超低電力コンピューティング基盤を創出します。

## デバイス・システム協調による超低電圧布線論理型AIプロセッサ

小菅 敦文

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上



Society5.0実現のためには実空間で超低電力に動作する情報処理システムが必要不可欠です。従来AIプロセッサの課題は、高い電力を消費するメモリアクセスでした。本研究ではメモリアクセスを無くし、人間の脳と同じように、データが演算素子間をダイレクトに流れ情報処理される布線論理型プロセッサを研究します。新規アルゴリズムとデバイス回路の協調設計により、革新的なAIプロセッサを実現します。

## 局所磁性変調による磁壁移動メモリの革新的情報制御技術の開拓

小山 知弘

大阪大学 産学科学研究所 准教授  
同上



本研究では磁性細線中の磁気特性を局所的に変調させる技術を用いて、磁壁移動型メモリデバイスの情報担体である磁区およびその境界に形成される磁壁のダイナミクスを高度に制御します。具体的には、1. 高密度かつ超省エネルギーな磁区書き込み、2. 電界誘起力イラル磁気構造を利用した磁壁インパルス伝送の実証を目指します。情報の高密度化と消費電力の低減を可能にする原理的に新しい情報書き込み・操作手法の創出に貢献します。

## 非平衡系(偽)族混晶半導体ヘテロ接合によるテラヘルツ帯デバイスの創出

柴山 茂久

名古屋大学 大学院工学研究科 助教  
同上



本研究では、これまでに正孔の共鳴現象を観測した実績のある GeSiSn/GeSn ヘテロ接合のデバイス化を起点として、(1)安定動作が可能なデバイス構造設計指針の、実験と理論の両面からの解明 (2)RTD デバイス動作の信頼性向上に向けた Ge(Si)Sn 結晶欠陥・絶縁膜 /Ge(Si)Sn 界面欠陥制御の要素技術開発を行い、GeSiSn/GeSn ヘテロ接合 RTD デバイスの室温動作実証を行う。

## 極低温CMOS コンピューティング技術の開拓

栗野 皓光

京都大学 大学院情報学研究所 准教授  
同上



極低温動作を前提とした CMOS コンピューティング技術を開拓します。近年注目を集めている量子チップは、量子ビットをノイズから守るために、室温から複数の温度階層を隔てた数 mK 程度の極低温環境に置かれています。しかし、77K や 4K 等の中間温度階層は有効利用されてきませんでした。そこで、本研究では中間温度階層の有効利用する極低温コンピューティング技術を開拓し、CMOS 回路の極限性能を追求します。

## メタ表面放射制御による分子情報担体デバイスの構築

西島 喜明

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本提案では、金属薄膜-誘電体(分子検出層)-金属ナノ構造体(MIM型)からなる中赤外の波長域で動作するメタ表面を光化学センサデバイスとする。このデバイスで、プラズモンアシスト赤外放射増強法を適用することにより、超高感度でどれだけ微量な分子も、必ず見つけ出す超高感度センサを実現する。さらに、光-分子結合による複雑な形状のスペクトルから、どんな分子も判別する解析システムの実現を達成目標とする。

## 界面析出技術を用いたゲルマニウムデバイス創製と機能開拓

鈴木 誠也

日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター 任期研究員  
物質・材料研究機構 グローバル中核部門 ICYS 研究員



単原子層のゲルマニウム 2 次元結晶であるゲルマニウムは、新奇なトポロジカル物性の発現が期待されていますが、そのデバイス応用の目処は立っていません。これは、ゲルマニウムが大気中で容易に酸化してしまうことに加え、それを考慮した合成方法やデバイス化手法が確立されていないためです。本研究では、ゲルマニウムの界面析出技術を開発することで、ゲルマニウムのデバイス化、物性検証、デバイスとしての機能開拓を行います。

## マグノンを情報担体とした光マグノンニックリザパーコンピューティング

飯浜 賢志

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教



本研究ではスピンの波であるマグノンを情報担体として用いる。光パルスラインに変調をかけ情報を載せ、磁性体に照射することによって高次元情報を有するマグノンを作り出す。集積化したマグノンネットワークを用いてベンチマークタスクを実行し、光マグノンニックリザパーコンピューティング性能の関係を明らかにする。最終的に超高次元情報を有するマグノンリザパーを用いて他リザパーの先行研究と同等以上の性能を出す。

## 単分子誘電体ストレージガラスメモリの開発

西原 禎文

広島大学 大学院先進理工系科学研究科 教授  
同上



高度な情報化社会を実現する為に、コンピュータの省電力化は避けて通れない課題となっています。この問題を解決し得る技術としてインメモリコンピューティングが提案されていますが、現在、これに搭載可能な究極のスペックを有するメモリ材料はありません。そこで本研究では、電場によって分極方向をスイッチングできる金属酸化物分子を用い、インメモリコンピューティングに繋がるストレージガラスメモリの作製を目指します。

## イオノエレクトロニクスに基づく疾病診断プラットフォームの開発

田畑 美幸

東京農工大学 大学院工学研究科 講師  
東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 助教



開口部 200 - 300nm のウェル構造を有する SiNW-FET を作製しセンサ界面を機能化することでシングル生体小胞解析を行い、上皮細胞由来とがん細胞由来の生体小胞識別精度 90% 以上を目指します。その電気的検出の過程には分子認識、イオン生成、チャンネル内電荷密度の変化といった一連の情報担体の移動があり、情報担体の変化量を定量表示する今までにない疾病診断プラットフォームを創製します。

## 3D チップレット型ヘテロ量子デバイスの創生

井上 史大

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
横浜国立大学 工学研究科 准教授



3D チップレット技術を量子コンピュータ集積技術に取り込み、さらなる高集積量子ビット、高温動作、長デコヒーレンス時間の 3D チップレット型ヘテロ量子コンピュータを創出します。ヘテロ量子コンピュータ創成を見据えた直接接合技術の理解深化と小径ウエハの新規スケールアップ手法、超伝導ボトムアップ配線形成技術の確立を目指します。

## 量子環境ノイズ情報を組入れる高忠実度量子制御技術の開拓

三木 拓司

神戸大学 大学院科学技術イノベーション研究科 准教授  
同上



万能量子コンピュータの実現には、量子ビットの制御忠実度の向上が不可欠です。本研究では、制御誤差の要因となる量子環境ノイズを情報担体とし、制御メカニズムに組み入れて活用する革新的な量子制御技術を開発します。量子ビット近傍ノイズの高精度センシングとフィードバック補正を実現する回路・実装・システムを開発することで、高忠実度量子制御を可能にする量子コンピューティング基盤技術の開拓を目指します。

## 古典-量子をつなぐNV 量子スピントロニクスの基盤技術の開発

森下 弘樹

東北大学 先端スピントロニクス研究開発センター 准教授  
京都大学 化学研究所 助教



量子技術を活用した超スマート社会(Society 5.0 など)の実現には、フィジカル空間の古典情報とサイバー空間の量子情報を繋ぎ、古典-量子情報の相互変換する機能を有する量子情報担体が必要となります。本研究では、室温動作可能な NV 量子情報担体に着目し、電気的な技術を用いた NV 量子情報担体の古典-量子情報の相互変換を実証し、革新的 NV 量子スピントロニクスの基盤技術を開発します。

## 多機能スピル酸化物による革新的情報担体デバイスの創製

軽部 修太郎

京都大学 化学研究所 特定准教授  
東北大学 大学院工学研究科 助教



我々の生活を豊かにし得る次世代情報化社会では、莫大な情報を高効率でかつ、省エネルギーで処理する事が喫緊の課題となっています。そのような背景から本研究課題では、反強磁性酸化物の電子スピンを情報担体を選び、MRAM の情報高密度化を実現します。また情報担体機能に留まらず、多値出力、発電、高感度センシング、演算などの機能も盛り込み、多機能酸化物で構成された究極のデバイス創製を目指します。

## 熱力学的に可逆な制御による超伝導計算システム

山栄 大樹

京都大学 理学部 准教授  
東京理科大学 理学部第一部 専任助教  
横浜国立大学 大学院理工学部 大学院生



将来の情報通信技術の持続的な発展のためには、既存の技術とは異なる低電力動作が可能な新しい技術が必要となります。本研究では、熱力学的に可逆な制御による超伝導回路を用いたスケラビリティの高い超低電力計算システムを開発します。半導体集積回路に対して、低消費エネルギーで動作が可能な4ビット算術論理演算器の実現を目指します。

## ネットワーク型シリコン量子プロセッサの開拓

米田 淳

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
東京工業大学 超スマート社会卓越研究 特任准教授



誤り訂正型量子コンピュータは、限界を迎えつつある情報処理能力の向上に、革新をもたらすと考えられます。本研究では、その実現に向けた二大障壁となる、配線と誤り訂正符号の課題を同時に解決するシリコン量子プロセッサ構造を追求します。電子スピンの量子状態を情報担体とし、電子スピン量子情報伝送に基づいたシリコンチップ内の量子ネットワークを新たな動作原理とする、真に集積可能な量子プロセッサの創製を目指します。

## 集積可能な炭化珪素光量子プロセッサの基盤技術構築

小林 拓真

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
大阪大学 大学院工学研究科 助教



炭化珪素(SiC)はデバイス技術の確立したワイドギャップ半導体であり、光子を情報担体とした量子デバイスの実現・集積化に最適なプラットフォームです。本研究では、計算科学と実験の両手法を駆使し、SiCの単一光子源の開拓を行います。さらに、単一光子源の発光を電子デバイス動作とカップリングさせ、電流/電圧による自在な駆動/制御を実証します。これにより、集積可能な光量子プロセッサの実現に貢献します。

## スピントロニクスへの量子流体力学的アプローチ

湯川 英美

東京大学 理工学部 准教授  
東京理科大学 理学部第一部 専任助教



スピン自由度のあるシステムにおいて、平均場的なアプローチから導いた流体力学方程式を量子化する事でスピン系の量子流体力学方程式を定式化する。これにより、これまでスピントロニクスの分野で考慮されなかったスクイーミングなど量子情報の概念を導入することで可能にし、量子レベルの精密測定によってスピントロニクスデバイスの制御性を向上させることを目指す。

# 革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-3.html)

戦略目標

最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成



研究総括

田中 耕一郎

京都大学 大学院理学研究科 教授

## 領域アドバイザー

石原 一	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
岩井 伸一郎	東北大学 大学院理学研究科 教授
枝松 圭一	東北大学 名誉教授
小川 美香子	北海道大学 大学院薬学研究院 教授
腰原 伸也	東京科学大学 理学院 教授
島野 亮	東京大学 低温科学研究センター 教授
鈴木 俊法	京都大学 大学院理学研究科 教授
中野 貴志	大阪大学 核物理研究センター センター長
三沢 和彦	東京農工大学 理事(経営戦略・人事担当)・ 統括理事・副学長
湯本 潤司	東京大学 特任教授

## 研究領域概要

科学の発展に光科学技術が大きな寄与をしてきました。原子の分光学の知見が量子力学を生み出し、半導体物理学に発展し、その後の光物性や量子光学の基盤を支えています。レーザーの発明は光科学における大きな一里塚でしたが、現在では多くの科学分野を支える基盤技術となり、また光通信や光記録に代表される数え切れないほどの応用展開をもたらしました。このように光科学技術は学術や社会への貢献を果たしつつ、光科学技術自身も大きく進化するという好循環を起してきました。ここで着目するのは、様々な科学分野において新しい展開を追い求める研究者の夢や理想が、新しい光科学技術を生み出す強い動機や原動力となっていることです。細胞内をできるだけ高い空間分解能で見たいという生命科学者の飽くなき探求心が高解像度光学顕微鏡の技術開発を突き動かしてきました最近では、非線形光学の取り込みと共に新しい蛍光色素が開拓され、回折限界をはるかに超える分解能に至っています。アインシュタインの一般相対論が予言する重力波の検出は長年の物理学者の夢でしたが、最近になってようやく長尺のレーザー干渉計によって達成されました。これに必要なレーザー安定化技術や干渉計技術の開拓は光科学の進展をもたらしています。そのような例は枚挙にいとまがありません。

本研究領域では、これまでには無かったような革新的な光科学技術を開拓し、様々な科学分野の新局面を切り開くような挑戦的な研究を推進します。この過程から、将来様々な分野で応用されるような基盤的な光科学技術の創出を図ります。

## 極低温原子・微小球ハイブリッドシステムで探る散乱の物理

赤松 大輔

横浜国立大学 大学院工学研究科 准教授  
産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門 主任研究員



レーザー冷却された極低温原子気体と光トラップされた微小球が共存するハイブリッドシステムを可能にする光技術確立し、「古典的」微小球と「量子的」原子の散乱現象を調べます。特に散乱における内部温度の役割、表面形状などの影響を調べ、ナノテクノロジーや基礎科学の分野に大きな貢献する事を目指します。

## 光駆動非線形音響波による生体深部メカノイメージング

石島 歩

北海道大学 電子科学研究所 助教  
東京大学 大学院工学系研究科 特任研究員



蛍光顕微鏡による分子イメージングは、生体内の多種多様な分子を蛍光プローブにより可視化する技術として、生命科学分野の発展に貢献しています。しかし、細胞それぞれに異なる硬さなどの力学的個性を知ることはできません。本研究では、非線形音響波を顕微鏡の力学プローブとして利用し、光の高速度性と干渉性を最大限活用することで、生体内の力学的個性を細胞レベルの分解能でイメージングする光技術の創成に挑みます。

## ”All-optical”な電気生理学による植物個体の膜電位操作技術の創出

井上(今野) 雅恵

東京大学 物性研究所 特任研究員  
名古屋工業大学 大学院工学研究科 研究員



膜電位形成は生命活動に重要なシグナルの一つですが、植物では内生の光受容体との競合から、これまで光による膜電位操作技術（オプトジェネティクス）は適用されていません。本研究では、微生物型ロドプシン由来の膜電位操作ツール、及び膜電位感受性タンパク質をシロイヌナズナに導入し、膜電位操作と検出の双方を光で行う“All-optical”な電気生理学により植物の膜電位を制御する技術の創出に挑戦します。

## 原子イオン集積量子光回路による究極の量子技術基盤の創出

長田 有登

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
東京大学 大学院総合文化研究科 特任助教



光領域での量子系として原子イオン系や集積量子光回路系が有望ですが、前者は集積性が、後者は均一な二準位系の組み込みが問題となっています。そこで原子イオン系と集積量子光回路の技術を組み合わせることで、イオン系の高精度な量子操作性と集積量子光回路の集積性と光子操作性が同時に利用可能となります。本研究ではこのような技術融合により量子技術におけるブレークスルーを起こし、新たな量子技術基盤を提供します。

## マイクロ光周波数コムの新規制御技術の開発

久世 直也

徳島大学 ポストLEDフォトリソ研究所 准教授  
IMRA America Laser Research, Member of Technical Staff



マイクロ光周波数コムは高Q値微小共振器から発生する光周波数コムで、将来的に大量生産可能で、小型な汎用性の高い光周波数コムになると期待されています。本研究ではマイクロ光周波数コムの高精密同期技術やコムモード制御技術の開発を行い、従来の光周波数コムにはない、マイクロ光周波数コム独自の性質を活かした新規応用分野の創出を目指し、マイクロ光周波数コムの実用化への道を拓きます。

## コンピュータホログラフィーを応用した活動電位発生機構の解明

坂本 雅行

京都大学 大学院生命科学研究所 特定准教授  
東京大学 大学院医学系研究科 助教



神経細胞（ニューロン）は細胞あたり数千〜数万のシナプス入力を受けていると考えられていますが、個々のシナプス入力細胞内でのように統合され搬送していくについてはよく分かっていません。この問題を解決するため、本研究では光による神経活動操作と活動計測をシナプスレベルで同時におこなう新技術の開発をおこなっています。新技術を用いて電位伝搬の可視化をおこない、活動電位発生のメカニズムを解明します。

## 原子スケール極微分光計測法の開発と界面水分子の局所配向イメージングへの応用展開

杉本 敏樹

自然科学研究機構 分子科学研究所 准教授  
同上



本研究では、水分子の配向感度・表面感度・極微空間分解能を高度に両立する光学顕微鏡計測法を世界に先駆けて開発することに挑戦します。この新規な手法を用いて、種々の機能性材料のモデル表面に吸着させた水分子に対して原子・分子スケールの極微分光研究を展開します。これにより、界面水素結合ネットワーク中の水分子の配向構造をデザインし、特異的な物性や化学的特性を創発させる基礎学理を構築します。

## 新型プラズモン誘起電荷分離を用いたCO<sub>2</sub>資源化光触媒の開発

高橋 幸奈

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 准教授  
同上



金属ナノ粒子とp型半導体とを接合した新型プラズモン誘起電荷分離という革新的な光触媒技術を開拓することで、光エネルギーの高効率変換を可能にする技術の確立を目指します。CO<sub>2</sub>を還元して資源化する光触媒の開発を通して、従来高効率な利用が困難であった、一光子当たりのエネルギーが小さい近赤外光や、室内光などといったエネルギー密度の小さな光まで有効活用できるような技術が確立できると期待されます。

## 光トラップ技術による量子流体力学の開拓

袁輪 陽介

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教  
同上



光技術を極低温環境、特に超流動ヘリウム環境に適用することで、量子流体力学を開拓することを狙います。本研究では、超流動ヘリウム中の量子的構造である量子渦に着目し、そのダイナミクスを光トラップ技術によって解明します。量子渦は量子乱流の構成要素であり、その性質を解明することが量子流体力学の大きな発展に繋がります。光トラップ技術による量子流体力学の開拓という、全く新しい研究アプローチに挑戦します。

## 電気化学デバイスの分子スケール制御に向けた近接場基盤技術の創成

横田 泰之

理化学研究所 開拓研究本部 専任研究員  
同上



金属探針の近接場を利用したナノスケール分光法は高性能な電気化学デバイスを実現するための基盤技術として期待されていますが、電解質溶液の存在下では測定自体の再現性や安定性が低いという問題を抱えています。本研究では、電気化学の知見を利用して溶液環境で長期利用できる究極のナノ光源を開発します。これにより、様々な電気化学界面上に適用可能な近接場分光技術を開成し、省エネルギー社会の実現に貢献します。

## 炭素原子気体の精密分光と冷却の実現

吉岡 孝高

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



光周波数標準に安定化された深紫外・真空紫外領域のフェムト秒光周波数コム開発に基づいて、当該光周波数領域に存在する中性炭素原子の電子遷移を対象に精密分光を実現します。また、パルファガス冷却による予備冷却のもと、希薄炭素原子気体の超低温へのレーザー冷却とトラップ法の開拓に挑戦します。このことで、宇宙科学や生物学等、広範な自然科学分野とより密接に関連する、精密分光と低温科学の新分野創成を目指します。

## 冷却原子を用いた量子センシングによるダークマター探索

青木 貴稔

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
同上



ダークマター（暗黒物質）は、光では直接観測できません。しかし、原子内の「弱い力」の影響を「光」で検出することで、ダークマターを探索することができると期待されています。本研究では、光技術と弱い力を組み合わせ、量子エンタングル状態の原子でダークマターの測定感度を高める全く新しい提案です。光技術と弱い力を組み合わせた量子センシングは、新しい分野を開拓します。

## アト秒軟X線光源による水の光励起ダイナミクスの解明

石井 順久

量子科学技術研究開発機構 量子技術基盤研究部門 上級研究員  
量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門 主任研究員



本研究では、レーザーをベースとしたアト秒軟X線パルス光源を開発し、水の光励起後極初期のダイナミクスを解明します。波長2000 nmの赤外領域において、高出力短パルス光源を開発し、貴ガスにおける光の高次高調波発生によりアト秒軟X線を作り出します。このアト秒軟X線光源を用いて、酸素K吸収端（540 eV）近傍の軟X線吸収微細構造分光を時間分解計測し、水の光励起後の素過程を明らかにします。

## 感度と速度を極めた中赤外画像診断による革新的プラズマの創出

稲田 優貴

埼玉大学 大学院理工学研究科 准教授  
埼玉大学 大学院理工学研究科 助教



本研究では、時空間再現性のない難解なプラズマの電子密度と電界が、従来に比して100倍の感度と速度で同時に連続可視化できる、卓越した統合システムを開発します。そして取得した大量の動画データを、数値解析モデルの構築や希少プラズマの発現メカニズム解明にフル活用し、プラズマに由来する活性種の革新的大量生成法を創出します。

## 光子-電子誘導非線形散乱による新規光学技術の創出

上杉 祐貴

東北大学 多元物質科学研究所 助教  
同上



一般に光と自由電子の散乱はトムソン断面積で決まる反応確率の小さな現象ですが、誘導効果を利用することで効率的に散乱が生じ、実用的な応用展開が期待できます。本研究ではレーザー光による電子顕微鏡効果の開発や、自由電子を媒質とする非線形光学効果の実証に取り組みます。これらを通して、光と自由電子の誘導散乱過程を利用した全く新しい光科学技術の創出を目指します。

## 光周波数コムによる光フェーズドアレイの開発

加藤 峰士

電気通信大学 大学院情報理工学研究所 准教授  
電気通信大学 大学院情報理工学研究所 特任助教



本研究では光周波数コムによる高速かつ広帯域な光フェーズドアレイの開発を目指して、位相制御された超短パルス群による任意波面発生技術の確立に挑戦します。従来は光集積回路で単色かつCW光を独立に位相制御する手法が主流でしたが、本研究では広帯域な超短パルス光を光周波数コムの共振器制御で位相制御するという全く新しい手法を提案します。これにより光周波数で空間を直接制御するという新たな光技術の創始に挑戦します。

## ベクトル波形制御された高強度高周波テラヘルツパルスによる物質制御

神田 夏輝

理化学研究所 光子工学研究センター 研究員  
東京大学 物性研究所 助教



ディラック半金属のフロッカーワイル状態の超高速制御への応用を見据え、電場尖頭値 MV/cm 級の高周波テラヘルツベクトル整形高強度パルス発生技術を開発します。そのためにこの波長帯における偏光精密計測法、ベクトル整形パルスの発生法、増幅法の開発を行います。本研究の実現により、強電場による高速物性制御への道が開かれるだけでなく、各要素技術はさらに高度な光操作技術として深化させられるものと考えています。

## 光ドレスト高速電子線散乱によるzepto秒遅延時間測定

歸家 令果

東京理科大学 理学部 教授  
同上



超短パルスレーザー場中で希ガス原子と高速電子線を衝突させ、角度分解飛行時間型電子分析器を用いて散乱電子のエネルギーと散乱角度分布を計測します。散乱電子の強度分布を解析することによって、標的原子と入射電子との相互作用ポテンシャルによって生じる散乱電子のzepto秒の遅延時間を決定し、zepto秒科学を開拓します。

## 全反射減衰テラヘルツ分光で切り拓く細胞内の水の世界

白神 慧一郎

京都大学 大学院農学研究科 助教  
同上



水は「生命の基盤」とも呼ばれる一方で、水分子が細胞内で担う役割や機能は未開拓領域として取り残されています。本研究では、テラヘルツ～赤外領域に至る分光情報を同時に取得できる高精度・高安定な広帯域分光測定系を構築し、水の物性変化と細胞活動の関係性を明らかにすることを目指します。

## 電子線赤外分光を利用した超高空間分解能同位体検出

千賀 亮典

産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員  
同上



本研究では、電子線の赤外分光に関する基礎研究を進めるとともに、同位体の高感度検出を狙った技術開発を行います。これによってマクロスケールの応用がメインであった同位体検出技術の空間分解能をサブナノメートルまで向上させます。開発した技術を利用して生体・化学反応の単分子・原子レベル追跡といった、これまでに全く異なるスケールの同位体科学を実現します。

## 表面弾性波を用いたオプトスピンメカニクス

久富 隆佑

京都大学 化学研究所 助教  
同上



存在こそ理論的に示唆されてきたものの未だ確固たる観測がなされていない角運動量が存在します。それがフォノンの持つ角運動量です。本研究では表面弾性波フォノンに着目し、これまで環境として取り扱われその詳細が明らかにされてこなかったフォノンの角運動量の存在を光を用いて実証することを目指します。さらにそれを足掛かりにして、光・電子スピン・フォノン間における角運動量相互変換の物理を探求していきます。

## 超精密偏光計測が可能にする新しいダークマター探索

道村 唯太

カザフスタン共和国 物理学部 天体物理学研究室 准教授  
東京大学 大学院理学系研究科 助教



様々な宇宙観測により、宇宙の全物質の約80%はダークマターであることが明らかになりましたが、その正体は全くわかっていません。多様なダークマター候補のうち、近年高い注目を集めているのがアクシオンと呼ばれる、光子とわずかに相互作用する未発見粒子です。本研究ではレーザー干渉計を用いて、アクシオンが変化させる光の偏光状態を精密に計測するという新発想の手法により、かつてない精度でダークマター探索を行います。

2021年度採択研究者「3期生」

## 界面アップコンバージョンが可能とする革新的光変換

伊澤 誠一郎

東京科学大学 科学技術創成研究院 准教授  
自然科学研究機構 分子科学研究所 助教



光の波長を長波長から短波長に変換する技術：フォトンアップコンバージョンは、太陽電池の効率向上や、光遺伝子治療等の生体応用が期待され注目を集めています。本研究では、有機半導体界面を用いることで実現できる新たなフォトンアップコンバージョン現象について、そのメカニズムを明らかにします。さらに様々な材料系でこのアップコンバージョン現象を実現し、革新的光変換技術へと発展させることを目指します。

## 時分解軟X線トモグラフィーによる磁気ダイナミクスの4次元観測

石井 祐太

電機・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 主任研究員  
東北大学 大学院理学研究科 助教



本研究では、放射光軟X線を用いた時分解磁気トモグラフィー法を開発し、磁性体中の磁気ダイナミクスの観測を行います。3次元構造の可視化が可能なトモグラフィー法に時分解測定を組み合わせることで、磁気ダイナミクスに対する高解像度な4次元観測を実現します。これにより、3次元磁気構造に現れるスピンドラフトやトポロジカル欠陥構造のダイナミクス等、これまで観測が不可能であった磁気励起に伴う物性現象の解明を目指します。

## 第二近赤外光を活用するがん治療

石田 真敏

東京理科大学 理学部 准教授  
九州大学 大学院工学研究科 助教



本研究では、独自のポリフィリン骨格改変法を駆使することで、典型元素（シリコン）イオン配位能を有する環状共役第二近赤外光感受性色素を合成し、がん細胞の特異抗原と結合するモノクローナル抗体との複合体を構築を目指します。近赤外照射による金属中心の軸分子の光アンケージ反応性の解析と細胞毒性について検討することで、深部がんの次世代近赤外光治療を目指した基盤技術の創出を行います。

## ナノワイヤー単一細胞機能制御診断法の開発

猪瀬 朋子

京都大学 白眉センター 特定准教授  
京都大学 高等研究院 特定助教



細胞集団に存在する不均一性を正しく理解するためには、単一細胞レベルで細胞機能を操作、観察可能な技術開発が重要です。本研究では単一細胞内へ挿入したナノワイヤー上で起こる非線形光学現象やプラズモン現象を用いて、単一細胞内ナノメートル領域での光反応場の制御を実現し、遺伝子やタンパク質を確実に導入する技術と、分子導入が起こる細胞機能変化を定量的に単一細胞レベルで検出可能な技術開発に挑戦します。

## 非線形光学過程の自在な操作技術を基盤とした真空紫外域における原子・分子・光科学の創出

大饗 千彰

電気通信大学 量子科学研究センター 准教授  
電気通信大学 量子科学研究センター 助教



光波の間の相対的な「位相関係」を媒質中で自在に制御することで、非線形光学過程における光波の間のエネルギーの流れの向きや速さを自在に操作することができます。本研究では、この非線形光学過程の新たな可能性を開拓することで、未踏技術である真空紫外100～200 nm全域で波長可変な単一周波数レーザーを実現し、さらに、それを用いて、真空紫外域における新奇な原子・分子・光科学を創出することを目指します。

## 光子の時間的量子もつれ連鎖と高分解能光子計測

金田 文寛

東北大学 大学院理学研究科 教授  
東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教



光計測は現代の科学および産業技術を支える基礎技術のひとつです。本研究では、従来の光計測とは異なり、光の量子である光子を量子もつれによって相関させ、互いに協調的に機能させる高分解能光計測を実現します。この目的達成のため、本研究では量子メモリや量子ゲート技術を駆使し、異なる時間に発生する光子間に量子もつれを着実に連鎖させることで、効率的に量子もつれを大規模化する技術を開拓します。

## 高強度テラヘルツ光によって誘起された量子スピンドラフトの学理創出

玉谷 知裕

科学技術振興機構 ささきけ研究員  
東京大学 物性研究所 特任研究員



従来のスピントロニクスは、熱や不純物によって強く散乱された古典的拡散スピンドラフトを研究対象としています。しかし、近年開発された高強度テラヘルツ光源を用いれば、熱や不純物による散乱が起こるより早く、波動関数の位相が乱されていない量子スピンドラフトを生成することが可能です。そこで、本研究では、高強度テラヘルツ光を半導体に照射することで生じる量子スピンドラフトの学理を構築し、新たなスピントロニクス分野の創出を行います。

## 高強度サブテラヘルツ波パルスで操る超伝導ナノ磁気構造ダイナミクス

中村 祥子

九州大学 大学院理学研究科 准教授  
九州大学 低温科学研究センター 特任助教



トポロジカル超伝導体内のナノ磁気構造である磁束量子のコアには、マヨラナ粒子が局在すると考えられています。本研究では、マヨラナ粒子の人為的操作に道を開くため、磁束コアの全光学的な生成・消滅、操作に挑戦します。そのために、空間偏光分布を自在に制御できる高強度サブテラヘルツ波パルス光源を開発します。

## レーザー冷却極低温電子源による超精密ビーム制御

本田 洋介

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 准教授  
同上

本研究では、レーザー冷却した極低温原子集団をレーザー光で電離し、方向の良く揃った質の高い電子ビームを生成する、新しい極低温電子源を開発します。この高性能電子ビームを用い、ビーム開口の小さなテラヘルツ加速器を実用化することで、従来のマイクロ波加速器の概念を革新する全光学加速器システムを確立し、超精密ビーム応用分野を切り拓きます。時間および空間分解能を併せ持つ高速電子顕微鏡への応用を目指します。



## 階層的動力学理論によるバイオ・X線機能性分子の超高速X線光化学

山崎 馨

理化学研究所 光子工学研究センター 研究員  
同上

本研究では、高速・正確な階層的X線化学反応動力学法を開発し、バイオ・X線機能性分子のX線誘起化学反応をイオン化（時定数：10 fs）から光解離（ps）までアト秒・フェムト秒軟X線過渡吸収分光法で追跡可能にします。本手法を放射線増感剤・有機シンチレータ分子等のX線誘起無輻射失活過程や解離反応に適用し、従来の反応動力学理論や放射光分光では困難なバイオ・X線機能性分子の動作機構の動力学解明と分子設計を実現します。



# 力学機能のナノエンジニアリング

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-2.html)

戦略目標

ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明



研究総括  
北村 隆行  
京都大学 名誉教授

## 領域アドバイザー

荒井 政大	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
幾原 雄一	東京大学 大学院工学系研究科 特別研究教授
伊藤 耕三	物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター フェロー
岩崎 富生	(株)日立製作所 研究開発グループ シニア所員
加藤 仁一郎	AJS(株) デジタルイノベーション事業部 理事
栗村 隆之	三菱重工業(株) 総合研究所 主席研究員
志澤 一之	慶應義塾大学 名誉教授
濫谷 陽二	信州大学 特任教授
田中 勝久	京都大学 大学院工学研究科 教授
津崎 兼彰	物質・材料研究機構 フェロー
西脇 真二	京都大学 大学院工学研究科 教授
平山 朋子	京都大学 大学院工学研究科 教授
吉江 尚子	東京大学 生産技術研究所 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、超スマート社会や持続可能で豊かな社会を実現するための基幹技術である材料開発をターゲットとして、材料の基本物性である力学特性の発現機構をナノスケールから理解することや、ナノスケールの変形や構造変化に由来する力学特性を利用した新たな材料機能を創出すること(ナノエンジニアリング)によって、発展性の高い材料設計指針を獲得することを目指します。

具体的には、各種材料(金属材料、無機材料、有機材料など)において、強度特性等を決定している支配因子やそのメカニズムについてのナノスケールからの解明と、それに基づく機能創出を進めます。また、同スケールにおける力学特性を主とした他の物理特性(熱物性、磁性、導電性など)との相関性に着目した新奇な機能創出も対象に含めます。これらの目的の達成のため、その場計測下の力学実験技術、力学解析法、シミュレーション技術等を発展させ、ナノ材料からマクロ材料の共通基盤であるナノスケールの力学学理の展開と多様な特性解明への解析評価技術の確立を推進します。さらに、基礎研究の結実として、材料の高機能化や新機能創出につながる材料設計指針を獲得することを目指します。

物理学や化学等のナノスケールの現象への理解に特長がある研究分野と機械工学や材料工学等の機能の発現機構や構造の理解に特長がある研究分野の融合を通じて、異種材料間の相違点や共通点を見出すことでナノ材料力学に関する普遍的な学理構築や新分野の開拓に貢献します。

## 無拡散変態ナノ組織の幾何と形状記憶特性

稲邑 朋也

東京工業大学 科学技術創成研究院 教授  
同上



本研究は、独自に発見した TiNi 基形状記憶合金を用い、整合な界面だけからなる「コンパクトな無拡散変態ナノドメイン組織」が形成される幾何学条件を数理モデル化し、このコンパクト条件からの「距離」と駆動時の転位累積挙動および形状記憶特性の関係を抽出し、ナノ組織の幾何を制御してあらゆる形状記憶合金の力学的機能を格段に高める材料設計指導原理を得るものです。

## 疑似自由度を用いたメソスケール粗視化モデリング

畝山 多加志

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



高分子やソフトマターはナノ・メソスケールにおいて種々の構造を形成し、それがマクロスケールの物性に強く影響します。そのような構造を持つ系を理論や計算で効率的に調べるためには、粗視化と呼ばれる自由度の低減手法が有効です。本研究では、分子の位置等の通常の自由度に加えて拡散係数やポテンシャルを時間とともにゆらぎ疑似熱力学自由度ととらえ、疑似自由度を含めた形の新たな粗視化手法を構築します。

## 金属薄膜の強度発現を担う外的・内の寸法効果の解明

近藤 俊之

大阪大学 大学院工学研究科 講師  
大阪大学 大学院工学研究科 助教



金属薄膜の変形・破壊の機構と強度には膜厚（外的寸法）と微視組織（内的寸法）が大きな影響を及ぼします。本研究では膜厚と微視組織を独立に制御した超ナノ～マイクロ厚薄膜を創製し、これらに対するその場ナノ観察・解析破壊じん性・疲労き裂進展試験法を確立します。変形・破壊の機構と強度に及ぼす膜厚効果と微視組織効果を分離して解明することで、金属薄膜の強度発現を担う因子と発現メカニズムの理解・体系化を目指します。

## ナノスケールの組成ゆらぎ設計による超低脆性ガラスの創製

篠崎 健二

産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員  
産業技術総合研究所 無機機能材料研究部門 研究員



ゆらぎを自在に制御可能にする新規プロセスを提案し、ガラスの“ゆらぎ”をナノ・マイクロスケールの材料設計可能要素として確立します。これによりナノスケールでの変形と破壊挙動を設計することで、亀裂が発生・進展しにくい超低脆性ガラスを実現します。

## タンパク質結晶の転位論に基づく力学特性の解明

鈴木 凌

横浜国立大学 理学部 助教  
同上



タンパク質分子から構成される結晶材料の一つであるタンパク質結晶は、一般的な金属や無機材料と比較して、数十～数百ナノメートルといった巨大な構成要素を有しています。さらに、タンパク質結晶は単位体積当たり最大で70%の水分子を含んでおり、その水が結晶格子内を動き回るといった特異な材料です。この材料の力学特性を解明し、他の結晶材料との類似点や相違点を見出すことで、新しい機能の探索と創出を目指します。

## ゆらぎ誘起原子シャッフルングの格子動力学と変形挙動との相関

多根 正和

大阪公立大学 大学院工学研究科 教授  
大阪大学 産業科学研究所 准教授



凍結された合金組成ゆらぎによって誘起される無拡散の変位型相転移の動的原子シャッフルングを対象とし、動的原子シャッフルングのための力学理論を「熱・統計力学」および「格子動力学」に基づいて構築します。その上で、動的原子シャッフルングを考慮した塑性変形および変形誘起相転移における格子変形モデルを構築し、動的原子シャッフルングに着目した新たな力学理論を確立します。

## 材料多様体のマルチスケールメカニクス

垂水 竜一

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授  
同上



本研究では、材料多様体上の弾性理論と非局所弾性体の構成式論を組み合わせることで、結晶格子の乱れである格子欠陥（転位と回位）に対する新しい数値モデルを構築するとともに、これをアインジオメトリック解析に基づく大規模数値計算へ実装します。本研究の遂行によって、エンジニアリング材料の強度や変形特性の起源を解明し合理的な材料設計を実現する、格子欠陥のマルチスケール力学解析を確立します。

## 転位芯の局所自由度を有する力学理論に基づく新奇機能の創出

都留 智仁

日本原子力研究開発機構 原子力科学部門 研究主幹  
日本原子力研究開発機構 原子力科学部門 研究員主幹



材料の力学特性は一般に転位運動によって決定されますが、一部の合金の優れた力学特性は従来の材料にないナノスケールの特異な転位構造に起因することが分かってきました。本研究では、転位運動を決定する支配因子を解明するとともに、従来理論を越えた材料によらない「局所自由度を有する転位の力学理論」と「有限温度の転位運動を記述する解析手法」を構築することで、計算による戦略的な機能向上と新奇機能の創出を目指します。

## 変形・破壊現象の原子スケール解析

栃木 栄太

東京大学 生産技術研究所 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



本研究では、微小電気機械システム（MEMS）を用いた新規のその場機械試験システムを開発し原子分解能透過型電子顕微鏡（TEM）内にてその場機械試験を実施、結晶性材料における変形・破壊現象を原子スケールにて直接観察します。荷重、温度、ひずみ速度といった機械試験パラメータを高度に制御し、種々の条件下での結晶の力学的応答を原子レベルから明らかにすることにより、ナノ力学の学理構築に寄与することを目指します。

## 無機半導体材料の力学特性に及ぼす光環境効果のマルチスケール計測と機能開拓

中村 篤智

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授



最近、光環境が無機半導体材料の延性や脆性に大きく影響することが発見され、注目されています。一方、半導体材料には大型の結晶を得られないものも多く、光環境が半導体の力学特性に及ぼす影響についての理解は未だ不十分となっています。そこで本研究では、ナノスケールまで対応可能な力学特性のマルチスケール計測手法を確立し、光環境が力学特性に及ぼす影響を系統的に評価するとともに、そのメカニズム解明を行います。

## イオン架橋の動的特性制御によるポリマー材料の高機能化

三輪 洋平

岐阜大学 工学部 教授  
岐阜大学 工学部 准教授



イオン成分を利用して適度な強度で架橋したイオン性エラストマーは、自己修復や強靱性、超延伸性など様々な機能を発現します。本研究では、この機能発現メカニズムを分子スケールから詳細に解明します。さらに、化学構造と分子スケールの運動性との関係を解析し、機能発現に最適な分子設計指針を確立します。また、イオン成分のCO<sub>2</sub>ガスによる可塑化特性を利用した高性能接着材料や自己修復性ポリマーガラスの開発に挑戦します。

## 固相粒子接合界面のナノメカノケミストリー

市川 裕士

東北大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



粒子を固相状態のまま衝突積層させ、皮膜・構造体を作る固相粒子積層プロセスは、新しい材料プロセスとして期待されています。これらを一連のナノメカノケミストリー現象と捉え、固相接合界面ナノ領域で起きている材料の超高速変形挙動、それに伴う化学変化、および結合の物理化学現象を実験的に解明します。微小材料の変形と化学反応を同時に取り扱うナノメカノケミストリー現象を説明できるように材料力学の拡張を目指します。

## 界面相互作用計測による高分子境界膜の潤滑機構解明

伊藤 伸太郎

名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授



固体表面に形成された高分子の境界膜は、過酷な摩擦条件においても高い潤滑性をもつことが報告されています。ただし、その厚さは1μm以下であり、そのような薄膜が潤滑性を発現するメカニズムは未だ解明されていません。本研究では、ナノレオロジー計測、X線反射率計測、マイクロ流体デバイス計測を駆使した多角的かつ階層的なアプローチにより、分子レベルからマクロな潤滑機能が発現するメカニズムを解明します。

## 周期マイクロ強度勾配制御による多機能材料設計

菊池 将一

静岡大学 工学部 准教授  
同上



本研究では、構造用金属材料をターゲットに「ナノスケールで組織制御してミリスケールで機能発現」させる指針を明確化します。周期構造内の全組織に対する連続損傷計測および力学シミュレーションを行い、動的試験におけるマイクロな転位の発生・運動と、マクロな変形の非線形性の重畳効果を解明します。高強度相が低強度相を包み込んだ周期構造制御材料における、特異な動的損傷発生・進行メカニズムを明らかにします。

## 電子流による原子拡散に基づくナノワイヤ結晶性デザイン

木村 康裕

九州大学 大学院工学研究科 准教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 助教



本研究では、金属ナノワイヤの力学特性を左右する結晶性に着目した、電子流による原子拡散に基づくナノワイヤ結晶性デザインの創出を目的とします。エレクトロマイグレーションと呼ばれる高密度電子流による原子拡散を駆使してナノワイヤを創製することで結晶性操作技術を開発し、異なる結晶性を跨ぐ力学特性評価を実施することで、これまで閉鎖されてきたナノワイヤ力学特性を活かす高強度機械材料としての応用発展を目指します。

## 接着接合ナノ構造の非破壊力学強度解析技術の確立

塩澤 大輝

神戸大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



様々な分野の機械構造上でマルチマテリアル化が進められており、接着接着の強度向上および非破壊評価技術が求められています。本研究では、可視光や赤外線からテラヘルツ領域までの様々な波長帯の電磁波を用いて、力学的負荷を受ける樹脂材料および接着剤におけるナノ構造とひずみ・応力場を計測してナノ構造が力学的挙動に及ぼす影響を評価する技術を構築し、接着接合の疲労強度メカニズムの解明を目指します。

## 層構造を持つソフトマテリアルの力学特性と革新的機能創出

楽 優鳳

産業技術総合研究所 電子光基礎技術部門 主任研究員  
同上



本研究では、これまで開発した三種類の層構造を持つソフトマテリアル（ゲル、液晶ポリマーと金属ナノ材料）の研究に基づき、これらの構造材料から得られた知見を融合することによって、層構造、ナノ結晶構造とナノ分子運動（光誘起）がマクロな力学特性を決定する支配因子を見出し、優れた力学特性を持つ新規材料の設計や、これらの特性を使用した革新的な力学機能性材料の創出を目指します。

## 高温クリープ損傷のマルチスケールフィジックス

柴沼 一樹

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



本研究で提案する「多段階メカニズムの統合化モデル」は、有限要素解析モデル、微視組織モデル、粒界相対速度モデル、ポイド生成・成長モデル、粒界エネルギーモデルの5個のサブモデルで構成され、それらを有機的に連成することで「高温クリープ損傷」という複雑な物理現象を再現します。一方、「非破壊時系列計測技術」では、粒界変形のその場計測とX線CTポイド計測により、統合化モデルの実行に必要な熱力学特性を同定します。

## 高強度鋼における水素脆性クラック伝播挙動のマルチスケール解析

柴田 暁伸

物質・材料研究機構 構造材料研究センター 上級グループリーダー  
物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 グループリーダー



高強度鋼の水素脆性における各破壊過程に対応する力学特性を破壊力学に基づいて評価するとともに、トモグラフィとFIB-SEMシリアルセクション観察を組み合わせたマルチスケール解析という新しい解析手法を確立します。この独自手法により水素脆性の本質的特徴である不連続クラック伝播挙動に焦点を当て、ナノ力学での破壊メカニズムに基づいてマクロ力学特性の起源を解明する水素誘起破壊の学理構築を目指します。

2021年度探検研究者（3期生）

## ハイドロゲル摩擦のナノ潤滑機構の流体力学的解析

石田 忠

東京科学大学 総合研究院 准教授  
東京工業大学 工学部 准教授



ハイドロゲルの摩擦界面では、水膜だけでなく3次元網目構造に包まれる水に及ぶ流れ場によって、高い流体潤滑が発現すると考えます。これを実証するために、「ハイドロゲルを構成する水と3次元網目構造の動きを電子顕微鏡観察する技術」と「電子顕微鏡観察下でハイドロゲルを摩擦試験するデバイス」を開発し、摩擦界面のSEMその場観察を行います。水の流れからせん断力を計算し、摩擦係数と比較することで、その潤滑機構を流体力学的に理解します。

## 超高分子量ポリマーに基づく新奇機能開拓

玉手 亮多

物質・材料研究機構 量子・バイオ材料研究センター 独立研究員  
物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点 独立研究員



超高分子量ポリマーからなるイオンゲルの示す特異な高伸張性・自己修復性、高分子鎖の絡み合い・溶媒・高分子相互作用、高分子鎖の界面ダイナミクスといった分子スケールの観点から解明します。ハイドロゲル・オルガノゲル・エラストマーなど様々な高分子系に超高分子量ポリマーに基づく材料概念を展開して新奇力学機能の開拓を実施することで、超高分子量体の絡み合いを基盤とする高機能性高分子材料の体系化を実施します。

## ナノ界面の疲労損傷検出と抑制による複合材料の超長寿命化技術

高橋 航志

北海道大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



繊維強化複合材料の疲労破壊は、繊維と樹脂の界面はく離に起因すると言われています。そこで、大型放射光施設のX線ナノCTを利用し、ビームライン上でのその場疲労試験・観察によって界面近傍における疲労損傷を数10nmの分解能で可視化する技術を確立します。これを、分子動力学法の大規模計算で疲労損傷をシミュレーションし、ナノCT観察結果と直接的に比較することで、界面近傍における疲労損傷の素過程を解明します。

## 疲労摩擦のスケールアップ過程のマルチモーダル計測

大塚 雄市

長岡技術科学大学 工学部 准教授  
同上



摩擦顕微鏡と顕微鏡ラマン分光によるマルチモーダル計測により、摩擦における塑性変形の効果を解明します。分子動力学法および粗視化モデルによる摩擦のスケールアップモデルを構築し、マクロ摩擦との対応を解明します。

## 第一原理機械学習手法によるナノ異材界面の力学特性の解明

松中 大介

信州大学 学術研究院 教授  
信州大学 学術研究院工学系 准教授



本研究では、機械学習を援用して第一原理計算の情報に基づく異材界面系の原子間ポテンシャルを開発するスキームを確立し、界面結合や触媒効果が考慮された分子動力学解析を実施して、界面近傍でのナノスケールの欠陥の動的挙動を解明します。各種材料の異材界面について体系化し、電子状態の理論的考察をあわせて、ナノ異材界面の力学特性を支配する因子を明らかにすることを目指します。

## 未踏高分子材料群「極限伸長網目」の学理構築

中島 祐

北海道大学 大学院先端生命科学部 准教授  
同上



ゲル・ゴムなどのソフト高分子網目材料は、そのナノスケール網目鎖のコイル状構造に由来した柔軟性、伸張性を示します。本研究では、これら材料の網目鎖を極度に伸長させ、新奇力学機能を有する未踏材料「極限伸長網目」を創製します。自由エネルギー的に不利な極限伸長網目の合成法を確立し、そのナノ伸長構造に由来する特異な力学特性を見出し、得られた材料は、易分解材料、力で機能化する材料などへの応用展開を図ります。

## 緩やかな拘束を用いた高分子樹脂の強靱化

加藤 和明

科学技術振興機構 ささげ17研究員  
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 講師



異なる分子間の幾何学的な拘束を制御することで、通常の高分子材料では見られない物性や機能が現れます。本研究では、高分子と環状分子のインターロック超分子から合成されるポリロタキサン樹脂に特有の異成分運動の独立性に基づき、靱性を担う軸分子の特異な運動性と変形に誘起される構造変化を制御することで、従来トレードオフの関係にあった剛性と靱性を両立する、高分子樹脂の新たな設計指針の確立を目指します。

## 構造トポロジー情報を応用した靱やかな機械学習力場の構築

南谷 英美

大阪大学 産業科学研究科 教授  
分子科学研究 理論・計算分子科学領域 准教授



アモルファスをターゲットに、トポロジーを応用した構造記述子による熱伝導率と剛性率の高精度予測とナノ構造との相関・因果関係の抽出を行います。異なる物性を支配するナノ構造の共通性の解明や、それらの物性が望ましい関係を持つ作成プロセスを同定することを目指します。さらに、トポロジカル構造記述子を応用した、乱れた構造に強い機械学習力場を構築し、マルチスケールシミュレーションの基盤を作ります。

## ナノスケール内部応力制御による鉄鋼強靱化

中田 伸生

東京工業大学 物質理工学院 教授  
東京工業大学 物質理工学院 准教授



鉄鋼のマルテンサイト組織に分布する微視的な引張内部応力が、(001)へき開破壊を誘発することをマクロとミクロのスケールから実証した後、分子動力学シミュレーションを援用した内部応力の実測を行うことで、炭化物の析出によって生じる微視的内部応力状態の動的な変化の全容をミクロスケールで明らかにします。これにより、へき開破壊を抑制する理想的なナノ合金炭化物の析出状態を提示し、鉄鋼の更なる強靱化を試みます。

## 二軸伸長変形下におけるマルチスケール構造解析による非晶性高分子の分子鎖凝集構造と変形メカニズム

小椎尾 謙

九州大学 先端物質化学研究所 准教授  
同上



放射光X線散乱測定による分子鎖間距離、疎密構造、ポイド・クラック等の評価、複屈折測定による官能基や分子鎖の配向評価による「その場マルチスケール構造解析」に基づき、「非晶性高分子」の真の凝集構造と「二軸伸長変形下」における絡み合いなどのナノスケール構造と力学物性の関係を解明します。

## 幾何学と力学融合に基づく回位制御による材料機能設計

雷 霄雯

東京科学大学 物質理工学院 准教授  
福井大学 学術研究院工学系部門 准教授



回位弾性論の構築に注目し、幾何学とナノ力学の双対性に基礎を置く低次元構造体の格子曲率を基本とした変形力学理論を構築し、従来の材料学の常識を覆す高強度・高延性な構造材料の創製を可能にすることを目指します。具体的には、ナノ構造体における離散曲面設計原理の確立→幾何学と力学の融合による新たな回位論の定式化→回位制御に基づくバンドル構造変形・強化原理説明という一連のユニークな研究を行います。

## 多自由度界面での変形伝播制御に基づく強化指針創出

譯田 真人

物質・材料研究機構 構造材料研究センター 主幹研究員  
物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 主任研究員

金属材料の界面は複雑な微視的構造を持ち、ナノスケールの現象である界面での変形伝播や変形発生を通して、強度や破壊特性などに様々な影響を与えます。本研究では、界面構造を積極的に活用した金属材料の力学特性向上の指針創出を目指し、BCC金属とFCC金属の多様で複雑な界面構造における幾何学的 / 化学的自由度が、単独あるいは同時に転位伝播や転位生成に及ぼす影響を、原子論計算手法により直接的に解明します。



# 革新的な量子情報処理技術基盤の創出

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-6.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-6.html)

戦略目標

量子コンピューティング基盤の創出



研究総括  
**富田 章久**  
北海道大学 大学院情報科学研究院 教授

## 領域アドバイザー

井上 弘士	九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授
門脇 正史	産業技術総合研究所 量子-AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター グロスアポイントメントフェロー/ (株)テソノ AI研究部 担当次長
金本 理奈	明治大学 理工学部 教授
小松崎 民樹	北海道大学 電子科学研究所 教授
高柳 匡	京都大学 基礎物理学研究所 教授
徳永 裕己	日本電信電話(株) コンピュータ&データサイエンス研究所 特別研究員
中島 研吾	東京大学 情報基盤センター 教授/ 理化学研究所 計算科学研究センター 副センター長
根来 誠	大阪大学量子情報・量子生命研究センター 准教授
藤井 啓祐	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
増原 英彦	東京科学大学 情報理工学院 教授
山下 茂	立命館大学 情報理工学部 教授

## 研究領域概要

量子ビットの集積と制御技術によって量子コンピュータハードウェアを「作る」研究に対し、本研究領域では量子を「賢く使う」研究を行います。「賢く使う」とは、量子力学の与える制約や制限されたリソースを巧みに利用した情報処理技術、現実的な物理環境下での大規模量子計算など、何らかの制約の中でも実行可能である、あるいは逆に制約を活用する技術を創造することを意味します。

研究内容としては、フォールトトレラント量子コンピュータを実現するための量子アーキテクチャや量子ソフトウェアから、古典的手法よりも効率よく問題を解く量子アルゴリズム、量子センサと量子コンピュータを統合した高度な量子情報通信技術、量子技術と古典IT技術とを融合した情報処理システム、量子アルゴリズムを利用して社会的問題を解決するアプリケーションまで、ハードウェア開発以外の広範なテーマを対象とします。

さまざまな学術領域の融合・協働により、こうした革新的な情報処理手法の研究開発を進め、社会実装可能な量子コンピューティングを実現するための技術基盤を作り上げることを目指します。

## テンソルネットワークによる量子状態圧縮技術の高度化

上田 宏

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授  
理化学研究所 計算科学センター 研究員



多様な量子状態を小さな情報量で表現するためにテンソルネットワーク (TN) という枠組みが注目を集めています。本研究では量子/古典計算機の混合環境下において堅牢に稼働する量子多体ソルバーをTNの導入によって達成します。特に、異なるクラスのTNの線形結合状態における物理量が量子計算機において容易に評価できる量子優位性を活用した解法を提案し、多様な量子状態をよりコンパクトに表現する手続きを構築します。

## テンソルネットワーク状態を活用した量子多体系基底状態計算手法の開発

大久保 毅

東京大学 大学院理学系研究科 特任准教授  
東京大学 大学院理学系研究科 特任講師



本課題では、格子上で相互作用する量子スピンス系を主たる対象として、NISQ デバイスを用いた基底状態計算の大規模化、精緻化を目指した研究開発を行います。凝縮系物理の分野で発展しているテンソルネットワーク状態の知見を活用して、具体的な二次元量子系に対する最適な量子回路をデザインすることから始め、最終的には、一般的な二次元・三次元の量子多体系に適用可能なアルゴリズムの構築を目指します。

## 量子-古典空間分離法を用いた量子多体系ソルバーの開発

倉重 佑輝

京都大学 大学院理学研究科 准教授  
京都大学 大学院理学研究科 特任准教授



量子力学の基礎方程式に基づき、あらゆる物質の性質を予測することは物質科学の長年の夢です。量子計算機の発展により、その実現が現実味を帯びています。量子計算機のサイズが限られた段階では、古典計算機との連携が必要になります。本課題では両計算機の特徴を活かし、解の表現空間を量子古典で分離することにより、古典計算機では解くことの難しい、強く相関した量子多体系の問題を解くアルゴリズムを開発します。

## 量子化学計算の高効率量子アルゴリズムの開発

杉崎 研司

大阪公立大学 大学院理学研究科 特任講師  
大阪市立大学 大学院理学研究科 特任講師



これまでに報告されている量子化学計算のための量子アルゴリズムの多くは、高精度量子化学計算が本当に必要とされているような複雑な電子構造を持つ分子系への適用が困難です。本研究では基底状態の近くに多数の励起状態を持つような擬縮退系の高精度量子化学計算を量子コンピュータ上で効率的に実行できるような新規量子アルゴリズムの開発を行い、量子コンピュータを実際の化学研究に役立てられるような理論枠組みを創造します。

## 量子演算の高精度化基盤技術開発

杉山 太香典

富士通 (株) 富士通研究所 研究員  
東京大学 先端科学技術研究センター 特任助教



本研究では、基本量子演算の評価手法開発、制御系の較正手法開発、ノイズ源特定手法開発、ソフトウェア開発、の4つの研究を行います。3つの手法開発ではそれぞれ理論研究、数値実験、物理実験、に取り組みます。理論研究では量子物理・量子計算・統計学のアプローチを進展させ、既存手法の欠点を克服した優れた手法を開発します。数値実験と物理実験では開発手法の有用性を実証し、ソフトウェアは開発後順次公開します。

## ヘテロジニアスな設計と制御に基づく誤り耐性量子計算

鈴木 泰成

日本電信電話 (株) コンピュータテクノロジ研究所 研究員  
日本電信電話 (株) セキュアプラットフォーム研究所 研究員



現実的な量子デバイスには量子特有の複雑な不均質性が存在し、これを的確に扱うことが量子デバイスを実用的な計算機の規模に拡張する上で課題となっています。本研究では量子エレクトロニクス設計と制御における不均質さを計算機設計のために扱うための理論的な枠組みを構築します。さらに、この枠組みに基づき量子デバイスの不均質さを積極的に活用した、拡張性と性能に優れたヘテロジニアスな誤り耐性量子計算を提案します。

## 実世界における量子計算に向けた数値的解析

Darmawan Andrew Sudiro

京都大学 基礎物理学研究所 特任助教  
京都大学 基礎物理学研究所 助教



量子情報処理技術は次世代の情報技術として注目を集めています。実際の実験環境ではノイズを無視することが出来ないため、理論的に期待される量子情報処理タスクを実行するためには、ノイズの影響を理解し制御することが必要不可欠です。本研究では、実際の実験に即した状況で量子情報デバイスを解析するための数値計算手法を開発し、ノイズが量子情報処理技術にどのように影響するかを明らかにします。

## 量子ハイブリッド組合せ最適化アルゴリズム開発

平石 秀史

日本大学 理工学部数学科 准教授  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教



組合せ最適化問題に対し、パラメータ化アルゴリズム理論の枠組みを用い、現実のデータで高速動作する量子・古典ハイブリッドアルゴリズムの開発を行います。特に、グラフ・マトロイド分解理論を用い、データを古典計算が容易な部分と困難な部分に分解し、古典計算困難なタスクに対し量子計算サブルーチンを開発することで、量子ハイブリッド化による計算性能向上を行うと同時に、量子計算機の実機で性能向上の検証を行います。

## 完全秘匿性を実現する量子IoT アーキテクチャの構築

松崎 雄一郎

産業技術総合研究所 情報セキュリティ研究センター 主任研究員  
産業技術総合研究所 ネットワーク・セキュリティ研究センター 主任研究員



近年、IoT (モノのインターネット) の進展は目覚ましいものがあります。しかし、IoT では身の回りのものがインターネットにつながるため、セキュリティ対策が重要となります。本研究では、量子性を用いて、完全な秘匿性の保証されたIoT の理論的枠組みを提案します。量子センサ、量子コンピュータ、量子通信を統合化させることで、高効率・高速・安全な情報処理システムを構築して、超スマート社会の実現に貢献します。

## 計算化学のフロンティアを拓く革新的複素数波動関数量子シミュレータの開発

水上 渉

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授  
九州大学 大学院情報理工学系研究科 助教



本研究では、従来の量子化学プログラム・パッケージが苦手とする複素数波動関数の現れる問題をターゲットとして、古典・量子ハイブリッドアルゴリズムの開発と、それを実行するシミュレータの実装をおこないます。相対論効果が強く現れる重原子系や固体表面上の光化学反応など、量子化学計算において未成熟な領域に光を当て、量子コンピュータの有望な応用領域を開拓することを目指します。

## 開放系における変分量子アルゴリズムの解析と開発

上西 慧理子

慶應義塾大学 大学院理工学研究科 特任講師  
同上



本研究では、ノイズが変分量子アルゴリズムに与える影響の解析やノイズのエラーを評価する手法の構築を行います。また、機械学習の分野において発展してきた最適化手法による視点から解析を行うことで、局所解から効率的・高速に抜け出す手法を開発します。さらに、得られた知見をもとにノイズがどのような条件下で量子計算を加速させるのかを明らかにし、ノイズがアシストする変分量子アルゴリズムを開発します。

## スパースモデリングを用いた固体の革新的量子計算技術の開発

品岡 寛

埼玉大学 大学院理工学研究科 准教授  
埼玉大学 大学院理工学研究科 助教



本研究では、古典アルゴリズムのボトルネックを量子超越性で解消した固体の高精度量子多体計算手法を開発し、新機能探索及び材料解析の加速を通して、生産プロセスの革新につなげます。具体的には、(1) 量子多体計算理論「動的平均場理論」、データ科学的な手法「スパースモデリング」を活用した量子-古典ハイブリッドアルゴリズム、(2) 固体の物性予測を行う量子ソフトウェア、を開発し、(3) 実証計算を行います。

## 量子計算機による量子ダイナミクス研究に向けた技術基盤の創出

曾田 繁利

理化学研究所 計算科学センター 技師  
同上



量子多体系のダイナミクスは取扱いの困難さから未だよく理解されていない研究課題です。そこで、本研究では量子多体系のダイナミクスに対するNISQ デバイスを用いた研究を実現することを目的とした量子-古典ハイブリッドアルゴリズムを開発します。開発した手法については古典の大型計算機による計算結果との比較による量子計算の優越性の検証、またNISQ デバイスを用いた量子多体系のダイナミクス研究への応用を行います。

## 量子情報幾何に基づく、対称性・不可逆性・量子性の統一的理論の構築と応用

田島 裕康

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助教  
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助教 (デュータラック)



本研究課題では、対称性・不可逆性・量子性の間に存在する普遍的な構造を定式化・理解する統一的な理論体系を構築し、量子計算・量子熱力学・物性および生物物理をはじめとした幅広い分野へ応用することを目指します。また、それらの知見を踏まえて、耐故障性量子計算の実現に向けた誤り訂正符号の探求、量子熱関関をはじめとした量子デバイスの性能向上法の解析を行う予定です。

## 信頼性を持つ量子コンピュータ・アーキテクチャの研究

谷本 輝夫

九州大学 大学院システム情報科学研究科 准教授  
九州大学 情報基盤研究センター 助教



量子コンピュータの実現に向けて、システムレベルの信頼性獲得に必要なアーキテクチャ技術に取り組んでいます。量子回路の実行回数を増やすことで再現性を高められますが、実行時間や消費エネルギーが増加します。したがって、アルゴリズムやデバイスの性質に適切に実行回数を制御する必要があります。デバイスの現実的なふるまいをモデル化したシミュレーション・フレームワークを構築し、再現性あるシステムを探求します。

## 多様な電子状態計算を実現する包括的量子アルゴリズムの開発

土持 崇嗣

神戸大学 大学院システム情報科学研究科 准教授  
神戸大学 大学院システム情報科学研究科 講師



量子コンピュータによって複雑な化学反応を解き明かすためには、限られた計算資源でもそのポテンシャルを最大限に引き出せる実用的な量子アルゴリズムが求められます。デジタルコンピュータでは取り扱いが難しい量子もつれを強く起こした様々な電子状態を効率よく構築する量子回路や、少ない量子ビット数を用いて精度の高い結果を得る手法を提案し、黎明期にある量子コンピュータをうまく活かす技術の創出を目指します。

## リアルタイム制御ソフトウェアによる量子ビット仮想化

中島 峻

理化学研究所 創発物性科学センター 上級研究員  
理化学研究所 創発物性科学センター 研究員



量子コンピュータハードウェアの性能は、デバイスの物理的性質だけでなく、制御手法に大きく依存します。本研究では量子ハードウェアと密接に連携して動作するリアルタイム制御アルゴリズムを開発・実装します。制御アルゴリズムと一体となった量子ビットの「仮想化」を通じて、量子コンピュータ性能の底上げを目指します。

## 離散的化学反応論のための量子計算技術

水野 雄太

北海道大学 電子科学研究科 助教  
同上



原子・分子は粒子として振る舞う離散的存在であり、化学反応は原子間の結合が組み換わる離散的現象とみなせます。この離散性と組合せ爆発のために、化学量論的反応経路解析や確率論的速度論解析など、従来計算技術では膨大な計算量を要する問題が化学反応論には存在します。本研究では、これらの問題を量子計算によって効率的に解くための枠組みを開発し、化学反応論と量子情報処理技術の相乗的發展に貢献します。

## 量子計算における低レイヤタスク分割技術の構築

御手洗 光祐

大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教



近年量子コンピュータのハードウェアは目覚ましい発展を遂げていますが、それでもなお、近未来に実現するハードウェアの能力は、使用可能な量子ビット数やゲート精度などの面で限られたものとなると予想されます。本研究では、量子コンピュータに実行させたいタスクを適切に分割するための手法を、特に量子ゲートや量子回路といった低レイヤ部で適用できる形で開発し、そのようなハードウェアを適用できる応用範囲を拡張します。

## 高速な量子機械学習の基盤構築

山崎 隼汰

東京大学 大学院理学系研究科 助教  
東京大学 大学院工学系研究科附属 特任研究員



本研究では、量子コンピュータをうまく使った高速な機械学習を広い適用範囲で高速化を損なうことなく実現するためのアルゴリズム・アーキテクチャの理論的基盤を構築します。量子コンピュータならではの高速・大規模な機械学習を将来的に実現するための方法を研究することで、機械学習に支えられた我々の社会の一人一人が量子コンピュータの恩恵を受け情報化社会の発展がより一層加速するための理論的基盤作りを行います。

## 高機能量子通信プロトコルにおける量子操作の分散効率化と評価

秋笛 清石

日本電信電話 (株) コミュニケーション科学基礎研究所 研究主任  
日本電信電話 (株) コミュニケーション科学基礎研究所 研究員



商用化の進み量子鍵配送に続く量子情報処理技術として注目される、高機能量子暗号や多ノード間量子通信などの高機能量子通信の実現には、各ノードでの量子操作やノード間で共有する量子もつれの効率化が求められます。本研究では通信プロトコルの特徴を踏まえた、量子操作の汎用的な分散効率化手法と量子もつれの共有困難性の評価方法・最小化方法を確立することで、高機能量子通信の社会実装への道筋と理論的基盤を築きます。

## 多体波動関数物性の量子シミュレーション

池田 達彦

科学技術振興機構 さきがけ研究員  
東京大学 物性研究所 助教



量子多体系の波動関数には本来、物性を決定する様々な情報が含まれていますが、その全てを計算することは古典コンピュータには非常に難しい課題です。本研究課題では、商用量子コンピュータ実機および GPU シミュレータを使って量子多体系の波動関数を解析するための技術的基盤を構築します。さらにこの技術を用いて、物性物理学や量子統計物理学の未解決問題を解決することを目指します。

## 符号問題が生じる場の理論の古典量子計算法の開発

伊藤 悦子

京都大学 基礎物理学研究所 准教授  
理化学研究所 口粒加速器科学研究センター 協力研究員



素粒子の物理を記述する場の理論のシミュレーションに有効な量子計算のアルゴリズムを開発します。複数の古典量子ハイブリッド計算法を実装し、どの手法が有効であるかの検証を行います。またこれらの計算法を用いて、従来のモンテカルロ法では計算が困難な符号問題の生じる系の性質を明らかにします。基本コードは公開し分野の素粒子原子核理論分野の発展に役立てます。

## 量子エラー抑制の基礎理論の構築および実用的手法の提案

遠藤 傑

日本電信電話 (株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 助研研究員  
日本電信電話 (株) セキュアプラットフォーム研究所 研究員



近年、量子エラー抑制と呼ばれる、量子コンピュータの計算エラーを取り除く手法が盛んに研究されています。本研究では、様々な提案されている量子エラー抑制技術に統一的な定義を与えます。そして、量子エラー抑制手法を組み合わせることにより、効率的で、複雑なノイズにも対応できる、実用的な量子エラー抑制技術を提案します。さらに、量子エラー抑制を組み込んだ効率のよい誤り耐性量子計算手法も提案します。

## 第一原理計算と量子アルゴリズムをつなぐ多階層計算手法の開発

大戸 達彦

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
東京大学 大学院基礎工学研究科 助教



密度汎関数法プログラムと量子アルゴリズム間を接続するインターフェースを開発し、水中の溶質分子や固液界面に吸着した分子など、大規模現実系を対象とし、周囲の影響を埋め込みポテンシャルとして取り入れながら変分量子固有値ソルバーによる高精度第一原理計算を行います。エネルギーの計算だけではなく、量子アルゴリズムの適用範囲を第一原理分子動力学法にまで拡張し、高精度計算手法による表面反応解析を行います。

## 量子多体理論を用いた量子計算機の高速度アルゴリズムの開発

桑原 知剛

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 副センターリーダー  
理化学研究所 革新知能統合研究センター 研究員



量子多体系の計算複雑性を解明することを目的として、ハミルトニアン複雑性と呼ばれる研究分野が現在発展しています。ハミルトニアン複雑性は量子超越性の証明や精度保証のある量子アルゴリズムの開発において大きな注目を浴びてきました。この分野は計算機科学と物理学の境界研究領域であり、様々な未解決問題は数学的に明瞭な形で定義されています。本研究の目的は、これらの数学的な未解決問題を解決することにあります。

## 初期宇宙解明に向けた量子アルゴリズム開発基盤の創成

本多 正純

理化学研究所 数理創造プログラム 上級研究員  
京都大学 基礎物理学研究所 助教



私たちの宇宙が始まったばかりの頃、宇宙では実際に何が起こっていたのでしょうか。この疑問に答えるには、初期宇宙を支配する物理法則を解明すると共にその時間発展を調べる必要がありますが、これは従来の計算技術では膨大な計算量を必要とすることが知られています。本研究では、量子計算によりこの状況を打開することを将来に見据え、初期宇宙解明のために必要な量子アルゴリズムの開発・確立を目指します。

## 人工量子系における量子状態同定および量子もつれの定量化法の開発

山本 大輔

日本大学 文学部 准教授  
同上



人工量子系を用いた量子コンピューティング・量子シミュレーションのためには、マクロな物理量だけでなく、量子状態そのものの同定や量子もつれの定量化が不可欠です。本研究では、特に光格子中の冷却原子系を適用先として設定し、効率的操作と現実的コストで可能な量子状態再構築法の開発や、そのポストプロセスのアルゴリズム構築を行います。冷却原子量子シミュレータへの実装を経て、一般の人工量子系への適用を目指します。

## 量子並列回路を用いた計算基盤の構築

吉岡 信行

東京大学 素粒子物理国際研究センター 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



量子情報技術の進展によって、大規模な量子計算機に手が届く時代が到来しようとしている中、誤り耐性のない量子的なリソースを最大限活用する試みは、まだまだ発展途中の段階にあります。本研究では、並列実行される量子回路間に、制御された量子相関や古典事後処理を導入することを通じて、実行可能な高精度演算を押し広げる枠組みを構築することを目指します。

## 虚時間量子ツールボックスの開発

渡部 昌平

芝浦工業大学 工学部 准教授  
東京理科大学 理学部第一 講師



持続可能な社会を目指す現代において組合せ最適化問題の解決は重要な課題です。量子アニーリングは量子効果を使ってこの問題を解くユニークな手法ですが、課題も知られ現在精力的に研究が進められています。本研究では、組合せ最適化問題の新しいソルバーとして、虚時間量子アニーリング向け量子コンピュータの実現方法を構築します。さらに、効率化の手法を開発し、これらを組み込んで虚時間量子ツールボックスを開発します。

# 未来を予測し制御するための数理を活用した新しい科学の探索

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-2.html)

戦略目標

新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学



研究総括  
荒井 迅  
東京科学大学 情報理工学院 教授

## 領域アドバイザー

岩見 真吾	名古屋大学 大学院理学研究科 教授
恐神 貴行	日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所 シニア・テクニカル・スタッフ・メンバー
鍛冶 静雄	九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授
河原 吉伸	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
鈴木 秀幸	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
高津 飛鳥	東京都立大学 大学院理学研究科 准教授
塚本 真輝	京都大学 理学研究科 教授
西成 活裕	東京大学 大学院工学系研究科 教授
牧野 和久	京都大学 数理解析研究所 教授

## 研究領域概要

様々な社会課題の地球規模での深刻化や新たな社会的問題の顕在化が起こる中、地球をグローバル・commonsとして守り、育てるとともに、人々の安全と安心を確保できる社会の実現が求められています。実現に向けては、あらゆる情報・データを駆使し、社会課題をはじめとした直面する脅威や状況の変化をできる限り早期に検知し、最適な意志決定と対応が可能な新たな社会基盤を構築していく必要があります。

そのためには、複雑な自然・社会現象を解明・解析し、その変化の重要な兆しや変革点を的確に捉えて「予測」し、取り返しのつかない悪い状態への遷移を回避しなくてはなりません。加えてこうした予測に基づいた事象への介入により、最終的により望ましい状態へと導く（もしくは良好な状態を維持する）「制御」に関わる新しい学理と革新的な技術を創出していくことが重要です。また、不可能な目標に向けてリソースを割くのは持続可能性の観点から望ましくないため、そもそも予測や制御が可能な現象なのかという問題も問わなくてはなりません。

本研究領域では、社会課題に関係する各分野における複雑な現象や多様なデータを、数学・数理科学によって抽象化及び可視化することで解明・解析し、その結果を現象の予測や制御に繋げるための新たな基礎学理の創出を目指します。

具体的には、社会課題を構成する様々な現象から数学的な構造を抽出し、現象の起点や変化点における因果関係や主要因を説明する変数を探索します。さらに、現象に関する専門的知見も活用しながら、その確からしさの検証・実証や、それに基づく予測・制御の実現可能性の検証に取り組みます。なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) に参画します。

## 生体システムの動態を予測・制御する解析基盤の開発

飯田 溪太

大阪大学 蛋白質研究所 准教授  
同上



本研究では、分子、細胞、生体組織などが階層的に連なる生体システムの動作原理の理解を目指しています。疾患変容メカニズムを遺伝子制御の観点から包括的に理解するための数理基盤を構築することで、疾患の予測や最適制御、および医学への応用を可能にします。数理科学とデータ科学を融合させ、多モダリティのデータを表現する空間を定義することで、汎用的な計算ツールの開発にも取り組みます。

## 区分的に平均曲率一定な曲面を用いた閉曲面構造体の変形のモデル化と制御

岩本 憲泰

信州大学 繊維学部 助教  
同上



曲面状の構造体の形をリアルタイムに制御することができれば、個人や環境に合わせて変形する衣服、建築、家具の実現に繋がります。そのためには、予測と制御において利用可能な計算量の少ない形のモデルが必要です。特に、閉じた曲面状の構造体では、形のモデル化が容易ではありません。本研究では、区分的に平均曲率が一定という仮定に基づいて、閉曲面状の構造体の数学的表現を探求し、構造体の形の制御を目指します。

## 量子ダイナミクスの解明・予測・制御のための量子非線形科学の理論構築

加藤 譲

公立ほこだて未来大学 システム情報科学部 准教授  
同上



本研究では、量子系の数理に潜む非線形構造に着目し、量子系の複雑な現象を解明・解析し、予測を行い、さらに制御するための量子非線形科学の基礎理論の構築を行います。本研究は、力学解析、データ解析、制御の観点から、量子非線形科学の新しい学問領域の地平を切り開き、量子情報処理、量子機械学習、量子計測制御に関する新規の技術創出のための理論の礎となり、量子情報処理及び量子デバイス技術の発展に貢献します。

## 大規模代数計算のための計算代数および機械学習理論の構築

計良 宥志

千葉大学 大学院情報学研究院 助教  
同上



本研究では、グレブナー基底の計算に代表される高コストな代数的・記号的な計算アルゴリズムを機械学習を用いて抜本的に加速し、大規模代数方程式の計算を実現することを目指します。特にその基盤となる計算代数アルゴリズムと機械学習モデル・理論の開発を行います。本目標が達成できれば、代数的手法による厳密な解の計算などを大規模な制御システムで実現できます。

## 部分空間を変数とする劣モジュラ最適化の構築

相馬 輔

情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授  
同上



劣モジュラ最適化は、グラフやネットワークなどの離散的な対象を扱う様々な問題を統一的に表現できる幅広いモデリング能力と、効率的なアルゴリズムとを兼ね備えた非常に強力な枠組みです。本研究課題では、部分集合を扱う従来の劣モジュラ最適化、部分空間を扱う劣モジュラ最適化へと拡張し、幅広いモデリング能力と行列計算に基づく効率的なアルゴリズムとを備えた新しい組合せ最適化の枠組みを構築します。

## 損失関数設計と最適化ダイナミクスの協調

包含

京都大学 大学院情報学研究所 特任助教  
同上



代理損失の最適化が評価指標の最適化を誘導するかどうかを検証する枠組みである適合性解析を拡張し、勾配流ダイナミクスと適合性解析を統合する。その際に、最適化の予算上限に応じて許容可能な誤差水準や停止時間が異なるときに最も良い損失関数を選ぶための枠組みとして発展させる。その応用先として、棄却付き分類において最適化の予算上限を考慮した proper loss の選択を行う。

## 予測と制御を支える高次元確率微分方程式モデルの変化点検知

仲北 祥悟

東京大学 大学院総合文化研究科 特任助教  
同上



転換点をはじめとする不確実性を伴う複雑事象の予測と制御において、高次元確率微分方程式モデルは重要な役割を果たします。しかし関連事象のレジームシフトが生じると、単一のモデルによる事象の予測と制御は有効でなくなります。このようなモデルの誤りに対処するために、レジームシフトを統計学における変化点と見なし、これを適切に検知できる方法を研究します。

## トポロジカル制御理論の確立

広野 雄士

大阪大学 大学院理学研究科 助教  
同上



本研究は、複雑システムのロバスト制御とネットワーク・トポロジーの関係性を解明し、新たな「トポロジカル制御理論」を確立することを目的とします。化学反応系や電気回路など多様なシステムにおけるロバスト制御可能性を、トポロジカル不変量を通じて特徴付け、その理論を数学的に定式化します。さらに、効率的な制御機構検出アルゴリズムを開発し、合成生物学などでの活用を目指します。

## 圏論的機械学習とその化学情報処理への応用

丸山 善宏

名古屋大学 情報学研究所 准教授  
名古屋大学 大学院情報学研究所 准教授



現在の AI 技術は膨大なリソースを必要とし日本は米国や中国の後塵を拝しています。日本が米国や中国に打ち勝つことができますとすれば、現在のリソース勝負 AI の一歩先をゆく斬新な理論的アプローチをとることによってであると考えられます。本プロジェクトでは、圏論という構造主義数学に基づく次世代融合 AI 研究に取り組みます。特に、現在のタスク特化型 AI の限界を突破し普遍性を持つ汎用人工知能の理論的基礎を探求します。

## 作用素論的力学系解析のための量子計算技術

水野 雄太

北海道大学 電子科学研究所 助教  
同上



ありとあらゆるシナリオをシミュレートし、最適な意思決定を導く—この理想的な予測・制御を実現するための量子計算技術を開発します。具体的には、作用素論的力学系理論に立脚し、量子微分方程式ソルバーを用いて多種多様なシナリオを並列にシミュレートした後に、量子動的モード分解により本質的な情報を抽出し、動的現象の理解や制御に有用な縮約モデルを構築する、一連の動的現象解析プログラムを開発します。

## 細胞配向のトポロジーが創発する人工筋組織の機能制御

宮廻 裕樹

東京大学 大学院情報理工学系研究科 講師  
同上



心臓や筋肉の機能を再現する筋組織工学は、再生医療、創薬など様々な社会課題に関係する技術として発展しています。しかし、作製される筋組織の設計は経験則や試行錯誤に大きく依存しています。本研究では、複素解析を基盤とした細胞配向理論に基づき、(1) 機械的収縮機能、(2) 自己修復機能、(3) 興奮伝達機能の観点から筋組織工学における筋機能の予測設計・制御を実現する新たな数理基盤の開発を行います。

## 表現学習による大規模複雑系のデータ駆動制御と予測

森岡 博史

理化学研究所 革新知能統合研究センター (AI) 研究員  
理化学研究所 革新知能統合研究センター 研究員



大規模複雑系に潜む抽象的潜在空間とその上での予測制御則とを統一的にデータ駆動学習する手法を開発することで、様々な自然・社会現象の背後にある未知の数理構造の解明とそれに基づく予測・制御の実現を目指します。

## 最適輸送理論による細胞分化ダイナミクスの推定・制御基盤の構築

谷地村 敏明

東北大学 数理学科共創社会センター 助教  
同上



本研究課題では、最適輸送理論を基として、時系列 scRNA-seq データを用いて細胞分化ダイナミクスを推定する手法を開発し、遺伝子発現空間における Waddington のエビジェネティックランドスケープとそれを形成する遺伝子制御ネットワークを推定・制御する数理基盤の構築に取り組みます。また、時系列 scRNA-seq データから実際の三次元組織における時空間遺伝子発現パターンの復元も目指します。

## マルコフ性の殻を打ち破る生物資源管理モデルの創成

吉岡 秀和

21世紀先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 准教授  
同上



マルコフ性に基づく多項式過程として環境・資源ダイナミクスを統一的に記述し、転換点の有無やその前兆の解析を効率的に行う。また、データの揺らぎや記憶に対応するオーリッチ空間の変遷を追跡することで、転換点を避け、さらに転換点を迎えた系を再活性化できる予測・制御に取り組む、数理手法の構築のみならず、「消滅可能性自治体」等に複合的な環境測定システムを設置し、データ収集を行うことで提案手法を検証する。

# AI・ロボットによる研究開発プロセス革新のための基盤構築と実践活用

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2024-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2024-1.html)

戦略目標

自律駆動による研究革新



研究総括  
竹内 一郎

名古屋大学 大学院工学研究科 教授 / 理化学研究所 革新知能統合研究センター チームリーダー

## 領域アドバイザー

荒井 ひろみ	理化学研究所 革新知能統合研究センター ユニットリーダー
上野 玄太	情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授
牛久 祥孝	株式会社NexaScience 代表取締役 / オムロンサイニクエックス(株) リサーチアドミニストレイティブディビジョン リサーチバイスプレジデント
岡崎 直観	東京科学大学 情報理工学院 教授
尾形 哲也	早稲田大学 理工学術院 教授
瀬々 潤	(株)ヒューマノーム研究所 代表取締役社長
高橋 恒一	理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー
原田 香奈子	東京大学 大学院医学系研究科 教授
一杉 太郎	東京大学 大学院理学系研究科 教授
日野 英逸	情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授

## 研究領域概要

AI やロボット技術の顕著な進展に伴い、科学研究や技術開発のプロセスを加速する自律駆動型の研究開発アプローチが世界的な潮流になりつつあります。AI やロボットを導入することで、研究開発現場の単純作業から研究者・技術者を解放することに加えて、研究者・技術者の認知機能・身体機能を超えた複雑な対象を扱うことが可能になります。研究者・技術者が AI・ロボットと連携しながら研究開発を進めることで、研究開発のあり方そのものが革新され、従来では不可能であった科学発見や技術革新が期待されます。

本研究領域では、自律駆動型の研究開発アプローチの確立を目指し、AI・ロボットを活用した研究開発プロセスの革新につながる基盤技術の創出、ならびに、実践活用による科学技術の発展を目指します。具体的には、研究開発プロセスの革新のための基盤技術として、AI・機械学習の方法開発、ロボットシステムの構築を進めます。同時に、AI・ロボット技術を生命科学や材料科学等の科学分野、計測工学や機械工学等の工学分野の具体的な研究開発課題にて実践活用します。基盤技術の開発と実践課題への活用を密接に連携させながら進めることで、新たな科学発見や技術革新の創出を目指しつつ、自律駆動型研究開発の汎用的な枠組を構築します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) に参画します。

## 自律駆動科学のためのロボットシステム基盤

浅野 悠紀

東京大学 大学院工学系研究科 特任講師  
同上

自律駆動科学のためのロボットシステム基盤の実現のため、ロボット・実験設備・AIツールの統合によるラボオートメーションシステム基盤の構築に取り組みます。また、応用分野での自動化課題でシステム運用を実践しながらシステム構築を進めます。ロボット分野での知見と経験を活かし、科学実験・AI・ロボットの研究者が協働する研究コミュニティ形成も含めたエコシステム構築を目指します。

## 逐次的学習理論とグラフマイニング技術による動的環境解析とその応用

黒木 祐子

CENTAI Institute S.p.A. Research Scientist  
CENTAI Institute S.p.A. Postdoctoral Researcher

グラフマイニングとは実社会に現れるネットワークなどのグラフ構造を持つデータから有益なパターンや知識を抽出する技術である。本研究では、不確実性を伴うグラフマイニング技術の発展に寄与する逐次的学習理論とアルゴリズムの基盤構築を目指す。動的環境下における高度な意思決定のための基盤を確立し、グラフ構造で表現された研究開発プロセスの効率化へと発展させ、データ駆動型研究の進展を目指す。

## 制御と学習の統合による再現性の高い動作生成モデル

境野 翔

筑波大学 システム情報系 准教授  
同上

まず、非マルコフ過程を前提とした模倣学習モデルを開発し、将来の応答の先読みを必要とする技能動作を再現する。次に、非マルコフ過程を前提としたフィードバック制御を構築することで、安定かつ高精度な制御系を実現する。あわせて、作業空間内でのバイラテラル制御を特異点を考慮することで実現し、多様なロボットに模倣学習を実装できるようにする。最終的に、AI研究者らと連携して科学実験を自動化する。

## 言語と感覚運動予測を紐づけたロボット継続学習手法の開発

鈴木 彼方

富士通(株)人工知能研究所 プリンター/プリンサーチャー  
富士通(株)人工知能研究所 研究員

現在の基盤モデルはオフラインデータのみから学習されているが故の恣意性の欠如、及び、大規模化による学習コストの増加のため、様々なロボットタスクに容易に適用可能ではないものとなっています。本研究は、大規模言語モデルと複数のロボット動作モデルを繋げた、継続的なスキル学習手法の創出を目的とします。これにより、複数環境・タスクで構築した動作生成モデルが組合せ可能となることを目指します。

## 自律型流通系固体触媒評価ロボットの開発

高橋 ローレンニコール

北海道大学 大学院理学研究院 助教  
北海道大学 大学院理学系研究科 助教

本提案では世界初の自律型ガス流通型不均一触媒評価ロボット装置の開発を実施する。3dプリンター部品、触媒評価装置(フローマイクロリアクターを採用)、ガスライン、電子基板、制御ソフト、データ科学手法、データベースなど全てを完全自作し、低価格かつ汎用性が高い装置を開発する。対象反応はCO<sub>2</sub>水素化によるメタン生成とし炭素資源循環型の技術開発を目的とする。本提案では国内の触媒開発のロボット化普及に貢献する。

## AIの科学と人間の科学の共生にむけた技術基盤

武石 直也

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上

機械学習と科学的な数理モデルを組み合わせることで、科学的知識を活用して予測や信頼性を改善できると期待されます。そのようなハイブリッドモデルを使うためには科学的知識を最大限活用するための学習方法などの技術的課題があり、本研究ではそれを解決してハイブリッドモデルを広く活用できるようにします。また、実践を通してハイブリッドモデルが科学的知見としてどのように受容され得るかという根本的問いに取り組みます。

## 対話的因果探索法に基づく生体内小分子輸送システムの開発

橘 棕

東京大学 大学院薬学系研究科 助教  
東京大学 大学院 薬学系研究科 助教

AI技術の進化に伴い医療分野でのデータ解析事例が増える一方、大規模データを用意できない実験医学研究への応用は依然として困難な課題です。本研究では科学者の知識を機械学習に組み込み、AIが提案した因果関係モデルを科学者が検証し実験を行う対話的サイクルを繰り返すことで科学的理解が可能なAIを洗練します。医療技術開発と基礎研究の同時進進を目指す新たなアプローチを小分子輸送システム開発を題材に実証します。

## 革新材料創出のための自律駆動型研究支援ソフトウェアの開発

田村 亮

物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター チームリーダー  
同上

AIとロボット実験装置を容易に繋ぐことを目的とした、自律駆動型研究支援ソフトウェアを開発し、オープンソースソフトウェアとして公開します。AIとロボット実験装置をそれぞれモジュールとして扱うことで、様々な組み合わせで自律駆動型研究を実施できるシステム構築します。それにより、新材料開発を含め多岐にわたる研究ニーズに対応できるソフトウェア開発を目指します。

## 柔軟さと触覚を活用した人と同じ環境で実験作業を学習するロボット

濱屋 政志

理研(株)ロボット工学研究所 研究員  
理研(株)ロボット工学研究所 研究員

本研究はロボットが人と同じ環境で様々な実験作業を自律的に遂行する未来ビジョンを描きます。本研究は、身体の柔軟さで安全に環境に接触しつつ、触覚で作業中の手掛かりや危険を検知する機能を持つ統合的な運動学習基盤を構築し、不確実で未知な環境における複数の実験作業の実現を目的とします。

## 高速DBTLサイクルによる自律駆動型タンパク質設計

林 周斗

東京科学大学 総合研究院 准教授  
東京医科歯科大学 難治疾患研究所 准教授

創薬や材料科学などの分野では、自然界に存在するタンパク質を凌駕する高機能タンパク質や、自然界には存在しない新機能タンパク質の開発が求められています。従来のタンパク質設計は専門知識や経験に基づいて行われており、人の認知能力や労働力に限界がありました。そこで本研究では、AIとロボットを連携させることにより、人間の介在を必要としない完全自律駆動型のタンパク質設計プラットフォームを開発します。

## 幾何学的深層学習による科学技術機械学習基盤の創出

松原 崇

北海道大学 大学院情報科学研究科 教授  
同上

本研究は、モデル駆動的なアプローチを深層学習と融合することで、力学系の物理的な法則や特性をデータ駆動的に発見し、それらを保証する数理モデルを自律的に構築する技術基盤を開発する。これによって、高速かつ高精度な計算機シミュレーションを実現し、計算機シミュレーションを用いた研究開発プロセスのループを加速させる。そのため、幾何学的深層学習および科学技術機械学習を理論と実践の両面で深化させる。

## 研究開発における暗黙知を形式化化する自然言語処理の研究

吉野 幸一郎

東京科学大学 情報理工学 准教授  
理化学研究所 情報統合本部 チームリーダー

研究開発のプロセスそのものを記録し、隠れた暗黙知を形式化し、その要点を出力するようなAIの構築を行う。このため、様々なマルチモーダル情報を用い、また研究開発における多様な動作の粒度を取り扱う自然言語処理システムを構築する。このため、研究開発プロセスを対象とした質の良い言語注釈付きマルチモーダルデータベースを構築する。

# 計測・解析プロセス革新のための基盤の構築

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2023-5.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2023-5.html)

戦略目標

社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新



研究総括

田中 功

京都大学 大学院工学研究科 教授

## 領域アドバイザー

小山 幸典	物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 主幹研究員
杉沢 寿志	日本電子(株) 経営戦略室・オープンイノベーション推進グループ 参与
竹内 一郎	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
常行 真司	東京大学 大学院理学系研究科 教授
樋口 知之	中央大学 理工学部 教授
福岡 剛士	金沢大学 ナノ生命科学研究所 所長・教授
壬生 攻	名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授
武藤 俊介	名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
村上 恭和	九州大学 大学院工学研究院 主幹教授
山本 量一	京都大学 大学院工学研究科 教授

## 研究領域概要

本研究領域では、革新的な計測技術に繋がる実験や計算機シミュレーションの深耕とともに、最新の情報科学に基づいた知識抽出技術を開拓し、世界トップレベルの研究遂行を目指します。

新しい計測・解析が科学技術の飛躍的な発展の契機になり、社会に大きなインパクトを与えた例は、数多く見られます。科学技術の発展には、計測・解析プロセスの持続的な革新が必要です。これを可能にするためには、確固たる基盤技術の構築が不可欠です。それが達成できれば、今後10年から20年にわたり我が国の研究環境上の大きなアドバンテージとなり、2050カーボンニュートラルの実現やSDGs等の世界的な社会課題解決に確実に繋がると期待されます。

令和4年度の戦略目標「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」の下に、既にCRESTの研究領域が設定されており、計測・解析により現実の様々な難課題の解決を図るための研究が進められています。さきがけにおいては、その前段階となる基盤研究、とくに、(日)計測の原理や手法の深化と革新(「見る」)、(月)インフォマティクスを活用したデータ解析による革新的な知識抽出技術創出(「気づく」「わかる」)を目指します。そしてCRESTと連携して、「見る」「気づく」「わかる」の一連の研究開発プロセスの基盤形成を目指します。さらに異分野交流の場のなかで、今後の計測・解析技術を担う研究人材の育成を進めます。

## 磁場印加スピン分解顕微光電子分光の開発

岩澤 英明

電子科学技術研究開発機構 関西光子科学研究所 上級研究員  
電子科学技術研究開発機構 量子技術基盤研究部門 上級研究員



国内最高輝度・微小集光の軟X線放射光と計測インフォマティクスを活用することで、磁場印加中でスピン分解・角度分解光電子分光の顕微計測を可能にする革新的な装置を開発します。新規トポジカル材料の局所のみ存在する電子状態・スピン状態・磁場応答を可視化することで、バンド構造・スピントクスチャ・磁気構造の相関を解明し、高機能性の解明、基礎学理の構築、そして新規材料の探索・設計指針の取得を目指します。

## 有限温度効果の導入で挑む第一原理物性予測の革新

只野 央将

情報・材料研究機構 量子技術基盤研究センター グループリーダー  
情報・材料研究機構 量子技術基盤研究センター 主任研究員



有限温度域には高機能準安定相や創発物性が潜んでいると期待できます。しかしながら、温度効果が考慮されない既存の第一原理計算手法でこれらを探ることは困難です。本研究では、フォノンやマグノンなどの素励起を第一原理的にモデリングするアプローチによって、温度変化にともなう構造変化や物性変調を予測できるシミュレーション手法の創出を目指します。また、有限温度での機能材料開拓に展開し、手法の有効性を実演します。

## 電子線照射を活用した原子分解能その場観察法の開発と材料研究への応用

馮 斌

東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授  
同上



本研究ではサブÅ空間分解能を有する走査型透過電子顕微鏡 (STEM) をベースに電子線照射を活用し、外場印加特殊ホルダーと高度に融合することで、原子分解能 STEM その場観察法の確立を目指す。更にこの手法を様々な材料に応用することにより、これまで原子レベル解析が極めて困難であった格子欠陥ダイナミクス過程を原子レベルから解明する。

## AI 駆動による高速AFM 計測・解析の自動化

梅田 健一

金沢大学 ナノ生命科学研究所 特任助教  
同上



高速 AFM 計測・解析技術の自動化を行い、開発した自動化システムのベンチマークのために、モデルケースとして天然変性タンパク質をターゲットとして計測を行う。天然変性タンパク質は、様々な疾患の原因であり、その構造や作用機構を解明するための基盤技術を確立することで、SDG3 (健康と福祉) への解決策を与えることができる。

## 過渡吸収分光「ギャップ時間帯」克服に向けた挑戦

玉井 康成

東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 准教授  
京都大学 大学院工学研究科 助教



過渡吸収分光法は、短寿命過渡種のダイナミクスを定量的に計測できる数少ない手法であるため、「光」を扱う広範な分野において産・学問問わず幅広く用いられています。しかし、過渡吸収分光法には従来法では測定困難な「ギャップ時間帯」が存在することが知られています。本研究では、従来法に情報処理手法を融合することで、「ギャップ時間帯」の高精度計測に挑戦します。

## 局在化3次元AFM による革新的サブナノスケール固液界面構造解析

宮田 一輝

金沢大学 ナノ生命科学研究所 准教授  
金沢大学 ナノ生命科学研究所 助教



原子間力顕微鏡 (AFM) は液中で試料表面を原子分解能観察できる技術であり、近年では高速観察や3次元観察などの高度な計測も達成されています。一方、そのデータ解析手段は従来の画像処理の延長に留まり、有益なサブナノスケール情報の効果的な抽出が困難でした。本研究では、多数の液中3次元 AFM データを用いた統計解析による局在化3次元 AFM 技術を開発し、これまで可視化できなかった固液界面構造解析を実現します。

## 粒子集団の化学反応時空間ダイナミクスの情報計測基盤の構築

木村 勇太

東北大学 多元物質科学研究所 助教  
同上



蓄電池等の化学・電気化学デバイスには、多数の材料粒子の集団から成る複合部材が用いられます。こうした粒子集団では、個々の粒子の挙動からは予測できない、集団に特有の化学反応が生じ得ます。本研究では、この粒子集団特有の化学反応ダイナミクスを実測し、その大規模計測データを解析することで、集団特有の振舞いが生じるメカニズムを理解するとともに、得られた知見をデバイス設計に活用するための方法論を確立します。

## 計測データに根ざしたモデリング原理の革新

徳田 悟

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 准教授  
九州大学 情報基盤研究開発センター 助教



古くは 17 世紀から続く数理モデリングは現象の理解を推進してきました。しかし、現代的なデータ科学の視点に立つと、未だ残る実践的課題が浮かび上がります。本研究では、モデルの不定性・観測ノイズ・モデル不一致の三課題に着目し、それら全てに対処する方法やその裏付けとなるベイズ推定の基礎論を構築します。これにより、計測データに根ざしたモデリング原理を確立し、あらゆる現象を曖昧さなく理解する指針を打ち出します。

## 深層学習を用いた次世代電子線トモグラフィー技術の開発

山本 知一

九州大学 大学院工学研究科 助教  
同上



本研究では、4D-STEMによる回折イメージングおよび STEM-EDX/EELS による元素・化学状態マッピング、深層学習による画像復元技術を高度に組み合わせることにより、これまでになく正確な原子配列を 3D 再構成できる新しいマルチモーダル電子線トモグラフィー技術を開発します。それにより、多結晶性材料中の格子欠陥や表面・界面などの非周期原子配列の 3D 解析の実現を目指します。

## 確率的推論によるデータ取得とデータ解析の包括的最適化

坂田 綾香

情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授  
同上



統計科学の手法を用いた先端計測システムの最適化や、データ取得とデータ解析の相互最適化、さらには計測科学と統計科学の研究者をつなぐ意思決定支援システムの研究を通じ、研究目的を達成する。計測条件の検討や意思決定が、予測に対する統計学的モデリングと類似する点に着目し、また計測条件や起こりうるシナリオを視覚的に表すグラフ表現を導入することで、計測科学と統計科学の間の障壁を克服し、両者を密接に結びつける。

## 蓄電池充放電反応の原子分解能その場観察

仲山 啓

1-創 ファインセラミックスセンター/基礎研究 上級研究員  
同上



蓄電池充放電反応の原子分解能その場観察の実現を目指します。実現に必要な (1) 反応領域制御、(2) 試料方位制御、(3) 電子線照射量低減を可能にする電子顕微鏡計測システムを構築することにより、電極材料内部のイオン分布変化と付随する局所構造変化を動的かつ原子レベルで可視化します。得られた充放電反応の動的描像に基づいて、非平衡かつ微視的視点に立脚したナノ電気化学の学理構築に寄与することを目指します。

## アト秒X線自由電子レーザーによるX線計測の無損傷化

井上 伊知郎

理化学研究所 放射光科学研究センター 研究員  
同上



X線計測手法では光照射に伴う試料損傷が測定対象や計測精度を制限してきました。本研究では、アト秒X線パルスを用いて試料の状態が変化する前に測定を完了することで、X線計測の無損傷化を目指します。アト秒X線の弱点である光特性の不安定性を機械学習手法によるパルス幅推定とロバストな光学系によって克服し、無損傷計測の実証実験としてタンパク質ナノ結晶構造解析やX線非線形分光を実現します。

## 超解像界面顕微分光(xyz-SR-SFG) による実空間界面分子環境の可視化

関 貴一

弘前大学 大学院理工学研究科 助教 (P1)  
同上



本研究では、界面選択的振動分光法である和周波発生振動分光法 (SFG 分光) を顕微分光法へと適用し、さらに超解像イメージング分野で利用されてきた光学スキームを利用することで、数ミクロン程度に留まっていた水平方向空間分解能をサブ100nm 以下の領域へ100 倍以上の向上を目指す。さらに、官能基の配向や官能基のオングストロームレベルでの位置情報を取得することで、実空間界面分子環境の可視化に挑戦します。

## 高フィネス共振器を用いた微量成分の高分解能測定システム開発

橋口 幸治

産業技術総合研究所 計測標準総合センター 主任研究員  
同上



産業のハイテク化に伴い、ガス中に含まれる微量成分を正確に測定する需要が高まっています。本研究では、高フィネス共振器を用いてガス中微量成分を直接・高感度・高精度に測定可能となる技術を開発します。時間分解能・空間分解能の高いデータを取得し、さらにインフォマティクス (機械学習) を活用することで、今まで見ていなかったものの測定が可能となる。材料開発に貢献可能な新規測定システムを確立します。

## 原子-マクロ表面反応分析プラットフォームの構築

数間 恵弥子

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



原子・分子スケールとマクロスケールの表面反応分析をシームレスにつなげ、総合的に扱うことができる一連の計測データを同一試料表面で入手可能な独自の計測基盤を構築する。表面の活性点の原子レベル構造、電子状態、吸着分子の局所の反応性、マクロスコピックな反応性とを相関を実験的に解明し、得られたデータを理論モデルのパラメータとして活用することで、触媒分野におけるマテリアルズ・インフォマティクスに貢献する。

## コヒーレント回折イメージングを用いた多次元情報解析

河口 智也

東北大学 金属材料研究所 助教  
同上



X線を用いて nm 程度の空間分解能で材料を可視化するブラッグコヒーレント回折イメージング法を高度化することにより、形態・断面情報に加え、歪場・欠陥・結晶構造・電子状態分布やそれらの時間発展を含む多次元情報を取得する計測技術を確立します。さらに、インフォマティクス技術を用いることで、得られた情報を多次元性を保持しつつ、材料の機能発現を支配する特徴量・記述子を「あぶり出す」解析技術の基盤を構築します。

## 原子・イオンダイナミクスの革新的理論解析技術の開発

豊浦 和明

京都大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



固体内における原子・イオンダイナミクスの第一原理解析は、原子レベルの微視的描像を把握できる強力なツールです。ただ、既存手法には評価精度と評価効率の両立に課題があり、理論計算主導の材料探索の実現には技術革新が不可欠です。このような背景から、本研究では、高精度かつ高効率で汎用性の高い原子・イオンダイナミクスの理論解析手法を確立し、固体イオニクス材料探索に繋げることを目指します。

## ナノスケール動的ステレオ熱輸送評価法の開発

川本 直幸

電機・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 主幹研究員  
同上



省エネ・再エネの観点から、実用材料・デバイスにおける 3 次元で微視的な熱輸送現象の解明が期待されています。そこで、透過電子顕微鏡内での 3 次元的な熱輸送評価を目指した 2 地点同時測温による動的ステレオ熱評価法の開発に加え、異種接合部界面や複合材料内の粒子連結部での局所応力と熱の関係に注目した新手法の開発に取り組みます。

## 第一原理拡散量子モンテカルロ法による原子に働く力の計算確立と応用

中野 晃佑

電機・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 独立研究員  
同上



第一原理量子モンテカルロ法は、次世代の電子状態計算手法として注目されている手法である。第一原理量子モンテカルロ法が物質材料分野においてさらに普及するには、現状確立されたエネルギーの計算を超えて、その応答、例えば、原子に働く力の計算、を可能にする計算手法開発が必要となる。本研究では、第一原理拡散量子モンテカルロ法による原子に働く力の計算手法を開発し、物質・材料分野での応用を進める。

## 計算データに基づく電子分光計測の統計モデリング

柴田 基洋

東京大学 生産技術研究所 助教  
同上



電子状態に関する分光データには、豊富な情報が含まれています。しかし、スペクトルの形成原理の複雑さなどから、複数の計測成分やノイズが重なった実際の計測に対しては定量的な解析手法が確立されていません。本研究では、第一原理計算で得られる電子分光計測データについての機械学習と統計モデリングを組み合わせることで、スペクトル成分の特定や分離、物性・構造情報の抽出を定量的に行う手法の開発を目指します。

## フェムト秒電子顕微鏡で挑む非平衡物質相のデータ駆動モデリング

中村 飛鳥

理化学研究所 創発物性科学研究センター 研究員  
同上



パルス光に誘起される非平衡物質相は、平衡状態では現れない多様な新規物性の宝庫です。本研究では、物質の光誘起ダイナミクスを fs × nm の時空間分解能で計測可能なフェムト秒電子顕微鏡を開発し、非平衡結晶構造の時空間発展を定量的に明らかにします。さらに計測結果にデータ駆動型のモデリング手法を適用することで、物質を構成する原子が従う運動方程式を見つけ出し、非平衡物性の学理を追及します。

## 多様な情報源を利用可能なデータ駆動実験計画法の構築

竹野 思温

名古屋大学 大学院工学研究科 助教  
同上



ベイズ最適化は機械学習モデルを用いた効率的なデータ駆動実験計画法として注目を集めています。しかし、既存のベイズ最適化法はある単一の実験や計測で実数値の実験結果を得る場合にしか適用できません。そこで、本研究では、精度の異なるシミュレーションや複数の実験工程、専門家の事前知識などの多様な情報源を考慮できる、より実践的なデータ駆動実験計画法の構築を目指します。

## 超高分解能電磁場ダイナミクス可視化手法の開発と応用

遠山 慧子

東京大学 大学院工学系研究科 助教  
同上



結晶界面に現れるサブナノメートルスケールの局所電磁場ダイナミクスは、電子デバイス、磁気デバイス、電池などの先端材料において非常に重要な役割を担っています。本研究では、走査透過電子顕微鏡法を発展させ、局所電磁場の外場応答を超高空間分解能で観察する手法を開発します。さらに開発手法を応用し、局所電磁場と界面原子構造とを結びつけることで、材料機能発現メカニズムの根本理解を目指します。

# 社会課題を解決する人間中心インタラクションの創出

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2023-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2023-4.html)

戦略目標

人間理解とインタラクションの共進化



研究総括  
葛岡 英明  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授

## 領域アドバイザー

池谷 のぞみ	慶應義塾大学 文学部 教授
梶本 裕之	電気通信大学 大学院情報理工学系研究科 教授
神田 崇行	京都大学 大学院情報学系研究科 教授
木村 朝子	立命館大学 情報理工学部 教授
小池 英樹	東京科学大学 情報理工学系 教授
佐藤 洋一	東京大学 生産技術研究所 教授
鈴木 健嗣	筑波大学 システム情報系 教授
中野 有紀子	成蹊大学 理工学部 教授
山下 直美	日本電信電話(株) コミュニケーション科学 基礎研究所 特別研究員
渡邊 克巳	早稲田大学 理工学術院 教授

## 研究領域概要

人、AI、ロボットがネットワークで相互に接続され、実空間やバーチャル空間で日常的にインタラクションできるようになるに従って、私たちの社会生活や価値観が大きく変わりつつあります。このとき、単に技術の進歩だけに注目したのでは、人と社会を健全な方向へ導くシステムを創出することはできません。人間中心の未来社会を実現するイノベーションを創出するためには、人間の特性の理解と同時に、高齢化、人口減少、健康医療、社会的格差などの社会課題も深く理解することが欠かせません。このためには、情報科学技術に関する研究だけでなく、心理学、認知科学、社会科学といった分野の研究から得られる新たな知見を融合させた総合知によって研究を進めることが重要です。

本研究領域では、システム開発と、人文・社会科学的な研究による分析・評価を繰り返すことによって、情報科学技術と人文・社会科学を融合させた総合知的な研究を促進・浸透させ、これによって社会課題の解決や人の well-being に資する人間中心の新しいインタラクションを創出することを目指します。

具体的には、認知科学的な研究や質的な調査に基づいた人間理解の深化と、そうした理解に基づいた新規かつ有用なインタラクションの創出、さらには情報科学技術と人文・社会科学分野をつなぐ新たな研究手法を探索します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) の一環として運営します。

## パフォーマンスを安定化する脳状態の自己調節訓練法の確立

岩間 清太郎

慶應義塾大学 理工学部 助教 (有期)  
同上



本研究の目的は、ヒトのパフォーマンスを安定化できる、脳状態の自己調節訓練法を確立することです。パフォーマンス変動の原因である課題前の脳状態を非侵襲脳信号から推定し、推定結果のフィードバックを手がかりとして脳の状態を自ら調節する訓練法を開発します。この技術を用いて、獲得した技能が安定的に発揮されること、パフォーマンスが高い状態で安定化することで学習効率が向上することを目指します。

## 大規模言語モデルとヒト脳の相互理解と新たなインタラクション創出

高木 優

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 特任准教授  
大阪大学 大学院生命機能研究科 助教



本研究では大規模言語モデルとヒト脳との対応を取ることで、相互の理解を促進し、新たな脳・大規模言語モデルインタラクションを創出します。第一に、脳活動データと大規模言語モデルを自然言語でインタラクションさせて脳を理解します。第二に、インタラクション中の大規模言語モデルの中身を脳活動を介して理解します。最後に、各個人の状態を考慮した大規模言語モデルと人との新たなインタラクションの枠組みを提案します。

## 複数のチャットボットで構成する動機づけ面接環境

矢谷 浩司

東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
同上



AIやチャットボットを用いる、人の自発的な変化を助ける動機づけ面接はこれまで1対1の形で行われていました。本研究でユーザとAIが複数人のグループでコミュニケーションする新しい形を提案します。これにより、ユーザは他の人たちの模倣AIの話を聞きながら、自分も話やすくなると考えられます。特に、月経前症候群や薬物依存症のように他者から理解が得られにくい症状を持つ人を対象とし、この方法の効果を検証します。

## 価値観モデルに基づき多様な社会関係を媒介する対話エージェント

内田 貴久

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教  
同上



本研究の目的は、人間の多様な社会関係を媒介する対話エージェント(人間中心インタラクション)の実現です。まず、自己開示を引き出すエージェントの理論及び価値観のモデル化手法を確立します。さらに、個人及びコミュニティレベルで多様な社会関係を促進する技術を開発し、小学校高学年を対象として実証します。AI・ロボット技術と人文・社会科学を融合した研究アプローチを採用し、「AIロボット社会関係学」を創成します。

## 障害者のための省学習データ音声・音響認識技術の開発

高島 遼一

神戸大学 都市安全研究センター 准教授  
同上



流暢な発話が困難な構音障害者の生活支援を目的として、コミュニケーションを円滑にするための障害者音声認識技術、および安全監視のための環境音認識技術を開発します。現在の深層学習による音認識技術は大量の学習データが必要ですが、障害者の音声や監視対象である異常音の収録は困難です。この課題を解決すべく、学習データが少量あるいは全く存在しない状況でも高精度に障害者音声・環境音を認識する技術の実現を目指します。

## 社会的インタラクション時の感情制御訓練法の開発

吉江 路子

産業技術総合研究所 情報・人工工学領域 主任研究員  
同上



対面での社会的インタラクション時に生じる心理的ストレスは、人々のパフォーマンスに悪影響を与えることがあります。これを踏まえ、本研究では、対面での社会的インタラクション状況の例として音楽公演に着目し、演奏者の緊張・あがりに関わる内外的要因の解明に取り組みます。これらの要因に基づき、社会的インタラクション時に感情状態を制御する訓練法を開発し、ストレス下におけるパフォーマンス向上の支援を目指します。

## 認知的デジタル格差を解消する診断支援AIシステム

香川 璃奈

産業技術総合研究所 人工知能研究センター 主任研究員  
筑波大学 医学医薬系 講師



仮に将来、極めて高性能なAIが極めて平等に普及したとしても、最終的な意思決定者が人間である限り、AIを活用する能力の個人差やAIの利用場面の違いに基づく格差「認知的デジタル格差」が生じます。本研究では、AIをつかう人間の認知バイアスを詳細に記述することで、AIの性能向上だけでは達成できないより良い意思決定を支援するAIシステムの提案を目指します。

## 学習者視点によるAIを用いた学習の理解とデザイン

永嶋 知紘

ザルツァクトス コンピュータサイエンス部 ジュニアプロフェッサー  
同上



本研究では、「学校の子どもたちが教室でAIを効果的、安全、かつ自主的に利用するためにどのようなサポートができるか」という社会的な課題に取り組み、AIを用いた学習における子どもたち視点での理解を深化し、その理解に即した新たなインタラクションをデザインすることを目的としています。本研究はドイツと日本の2カ国で実施します。

## 高齢就農者によるドローン操作の学習プロセスのデザイン

安久 絵里子

筑波大学 生命環境系 助教  
(一社) 人間生活工学研究センター 研究員



農業従事者の高齢化が進む一方で、ドローンなどの先端技術を活用したスマート農業が推進されています。こうした新技術のスムーズな習得のためには、ユーザの特性を考慮した支援を行う必要があります。そこで本研究では、高齢者がドローン操作を学習する際に、どのような身体的・認知的負荷や困難が生じるのかを実験室実験とフィールド実験の両面から明らかにし、高齢者の心身の特性を踏まえた学習プロセスのデザインを行います。

## 人間とAIの融合による自己拡張システムの構築と拡張自己主観性の解明

笠原 俊一

(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所 リサーチラー  
同上



本研究は、人とAIの融合による自己拡張システムを構築し、自己主観性の拡張がもたらす自己認識・社会性の変容を明らかにします。1) 自己認識の変化、2) コミュニケーションの変化、3) 社会規範への影響の3つの観点に焦点を当て、拡張自己主観性に関して知覚認知・社会科学の視点から科学的検証を行います。技術進歩に伴う社会課題を早期に把握し、科学的な根拠に基づく解決策の提案を目指します。

## 視線特性分析と視線誘導による技術獲得支援

宮藤 詩緒

東京科学大学 情報理工学 助教  
東京工業大学 情報理工学 助教



本研究では、脳神経外科医の顕微鏡縫合訓練において、複合現実(MR)を用いた視線誘導を行うことで、無意識下の技術を上級者から練習者に伝達する技術を探求します。上級者の動作と視線の特性は顕微鏡動画から抽出し、視線に着目することで技術の解明を行います。また、練習者の練習動画に動作と視線の特性を再現し、それらの動作や視線の誘導を行うフィードバックを与えることで、上級者の無意識下技術の伝達を試みます。

## ソーシャルキャピタルの醸成ダイナミクスの解明

家入 祐也

早稲田大学 大学院情報生産システム研究科 講師  
同上



人と社会のつながりは、様々な社会課題を解決する社会資源であり、SC(ソーシャルキャピタル)の概念で捉えられています。一方で、人と社会のインタラクションが、SCを醸成する過程は不明瞭であり、コミュニティに適したSC醸成には至っていません。本研究では、つながりが喪失し、機能喪失が問題視される商店街のSC醸成ダイナミクスを解明し、SCを醸成する最適なインタラクションを明らかにします。

## Generative AR: 拡張現実と実世界指向の生成AIによる新たなヒューマンAIインタラクション

鈴木 遼

東北大学 電気通信研究所 非常勤講師  
カルデアシステムサイエンス部 アススタンプフェッサー  
同上



本研究は、拡張現実(AR)と生成AIを組み合わせて、人間の思考と創造性の拡張を目指します。従来のスクリーン上に限定されたヒューマンAIインタラクションを、ARとAIの統合により物理世界に融合させます。具体的に、1) 大規模言語モデルのARへの応用、2) 生成AIを用いたARコンテンツ生成、3) AIを用いたARアシスタントを開発します。また、AR x AIの新たな研究分野を構築します。

## 身体で協調を引き出す人間とロボットの超輸送

八木 聡明

京都大学 大学院情報学研究科 助教  
同上



駅や商業施設などで形成される高密度な人間の流れにロボットが混じり込むには、人間とロボットが協調して移動するインタラクションが求められます。本研究では、人間とロボットの集団移動の中で人間が振る舞うロボットへの協調行動の理解と、身体で協調を引き出すロボットの設計・行動の学習に取り組みます。これによって、人間だけが移動する場合よりも移動効率が超える人間とロボットの輸送:超輸送の実現を目指します。

## 乳児期からの社会脳ネットワーク形成メカニズムの解明

石川 光彦

一橋大学 社会科学高等研究院 講師  
同上



本研究の目的は、ヒトの社会的インタラクションの情報処理基盤である社会脳がどのように形成されるのか、発達メカニズムを明らかにすることです。養育者によるケアを通じた社会的経験が乳幼児期の社会脳発達にどのように影響するのかを縦断研究で検討します。非線形な発達軌跡を神経科学的データから捉え、脳の多様性に対して理解のある社会を目指します。

## MaAI:マルチモーダル対話基盤モデルによる非言語翻訳

井上 昂治

京都大学 大学院情報学研究所 助教  
同上



異文化コミュニケーションにおける相互理解を促進するために、会話中の非言語的ふるまい(ターンテイクング、相槌、フィラー、視線配布など)を言語・文化間でリアルタイムに翻訳・変換・可視化する多言語マルチモーダル対話基盤モデル MaAI を開発します。そして、異文化コミュニケーションにおける非言語的ふるまいの機能・効果を解明し、「非言語翻訳」という新たな研究トピックを創出します。

## オンラインによる社会的認知の歪みの測定ツールの評価

豊島 彩

喜望峯大学 大学院人間社会科学部 講師  
同上



我々は心理的孤独を感じることで、他者との関わりを評価する社会的認知が歪むことが指摘されています。本研究では、まず、心理学の実験課題を応用した社会的認知の歪みを可視化するツールの改良、およびデータ収集を行います。次に、心理的孤独に関するオンライン学習プログラムを実施し、開発した測定ツールによる評価を行います。これらの研究により、測定ツールとオンライン学習プログラムの社会実装を目指します。

## 情動と身体運動のインタラクションにおける内受容感覚の役割解明

金子 直嗣

東京大学 大学院総合文化研究科 助教  
同上



本研究の目的は、内受容感覚に着目して情動と身体運動のインタラクションの神経メカニズムを解明することです。心身状態の個人差と変動性を考慮しながら、情動に伴う運動制御系の変調と運動による情動反応の変化を調べます。更に、内受容感覚を調整するニューロモジュレーション法を用いて、このインタラクションの最適化を図ります。本研究知見は、個別最適化されたヘルスケアや人間中心の環境・技術設計への貢献が期待されます。

## 価値観の多軸化によるルッキズムからの脱却

濱本 裕美

東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教  
同上



現代社会では容姿を過度に重視するルッキズムが問題になっており、摂食障害などの精神疾患を引き起こしています。本研究では、VR と MRI を合わせて使うことで自己身体認知のメカニズムを包括的に解明し、ルッキズムによってこのプロセスがどのように変化するかを解明します。さらに、容姿が本質的には自己評価に直結し得ないというメタバースの特徴に注目し、メタバースでの交流がルッキズムを減弱する可能性を検討します。

## Discovering and Dismantling Dark Patterns in Everyday Interfaces

シーボーン ケイティ

東京科学大学 工学院 准教授  
東京工業大学 工学院 准教授



本研究は、ダークパターン (DPs) というトリッキーで強制的な UI の認識と是正方法を探索します。専門家と一般市民の理解を調査し、消費者コンテキストで探索的および検証的研究を行います。また、個人の DPs に対する「免疫力」を高めるトレーニングシステムや、リアルタイムで保護を提供する対策システムを開発・評価します。人間中心のリスク・ベネフィット評価の枠組みを構築し、欺瞞のない未来の実現を目指します。

## バイオフィードバックへの所有感生起による呼吸調整手法の構築

伴 祐樹

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 特任講師  
同上



本研究では、呼吸に関するバイオフィードバックに所有感を生起させることで、呼吸への意識と自己調整機能を高めるとともに、呼吸誘導の効果を増強する手法の開発を目指します。実際の呼吸活動と時間的・空間的・質的に一致・類似する刺激を設計することでバイオフィードバックへの所有感を生起させる手法を構築し、それを応用することで日常生活でも実施可能な効果的な呼吸調整法の確立をはかります。

## 錯覚で拓く健康寿命延伸社会

田辺 健

産業技術総合研究所 情報・人工知能領域 主任研究員  
同上



本研究では、錯覚を利用し、意識的に頑張る必要がない認知症予防と不安を感じさせない認知症検査という健康寿命延伸に向けた新しいインタラクションを実現します。具体的には、自らの筋発揮によって運動を増大させているにもかかわらず、動かされた錯覚させる技術を応用し、ウォーキングの運動効果を認知症予防レベルまで引き上げます。また、錯覚の特性から軽度認知症を判別するシステムを開発します。

## 時間変調操作を用いた共同作業支援手法の設計と評価

松本 啓吾

東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教  
同上



本研究の目的は、加齢や発達障害により時間知覚や時間評価に機能不全が生じ、知覚-運動スキルや共同作業等に困難を抱えるユーザに対して、時間変調操作という革新的なアプローチで支援を行うことです。この実現のために、複数のユーザ間における因果関係やタイミングの整合性を保持しながら、個々のユーザに応じて心理的時間を調整できる時間変調手法の設計、および、その評価を行います。

## フロー状態と生理的同調を活用したハイパフォーマンスの創出

土橋 祥平

筑波大学 体育系 助教  
同上



人が目標を達成しウェルビーイングを実現するためには、自身の有する心身の機能を最大限に発揮しながら他者と共に有機的に連携を図っていくことが重要です。本研究では、個人及び集団の脳活動時における生理・心理・社会的指標のダイナミクスと知的パフォーマンスの関連から、フロー状態と生理的同調を高精度に予測する客観的指標を確立し、これを標的としたハイパフォーマンス創出戦略の構築に挑戦します。

## 歩行練習時の治療者-患者間相互作用解明と治療方法提案支援

山本 征孝

東京理科大学 創域理工学部 助教  
同上



本研究では歩行リハビリテーションにおける治療者、患者双方の運動や心理的な変化を明らかにして、治療者-患者間のインタラクションが歩行機能改善に及ぼす影響を探索します。さらに、歩行を誘導するための治療者の手動的な技術や患者の歩行状態、身体機能の計測結果から治療者-患者間のインタラクションを促進することで、今までにない効果的な歩行リハビリテーションの提案や治療者の技術向上を目指します。

# 文理融合による人と社会の変革基盤技術の共創

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/bunya2022-2.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/bunya2022-2.html)

## 戦略目標

文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出



研究総括  
栗原 聡  
慶應義塾大学 理工学部 教授

## 領域アドバイザー

秋山 英三	筑波大学 システム情報系 教授
和泉 潔	東京大学 大学院工学系研究科 教授
遠藤 薫	学習院大学 名誉教授
大竹 文雄	大阪大学 感染症総合教育研究拠点 特任教授(常勤)
小野 智弘	(株)KDDI総合研究所 Human-Centered AI研究所 所長
亀田 達也	明治学院大学 情報数理学部 教授
志済 聡子	合同会社アイシスコンサルティング 代表
相馬 亘	立正大学 データサイエンス学部 教授
本村 陽一	産業技術総合研究所 人工知能研究センター 首席研究員
山内 裕	京都大学 経営管理大学院 教授

## 研究領域概要

COVID-19の感染者数予測等により社会シミュレーションの政策への反映が注目されているものの、感染抑制に伴う経済への影響等、複合的な社会状況を社会シミュレーションに反映することにはまだ多くの課題があります。多様なデータやデータの相互関係に内包される個人・コミュニティ・社会の行動特性、関心事、嗜好等の情報を十分に活用できていないためです。このようなマルチスケール（個人、コミュニティ、社会）の様々なデータを解析し、社会シミュレーションに含めることができれば、より複雑な政策シナリオや事業戦略等を、効果的かつ社会受容性高く遂行するプロセスの革新が可能になると考えられます。

そこで本研究領域では、行動変容等の社会変革に向けた基盤として、様々なスケール・種類のデータから人や社会を解析する技術、それに基づいたシミュレーションにより政策シナリオ等を導出する技術を、人文・社会科学と自然科学の融合によって共創することを目指します。

具体的には、防災・減災・リスク管理、感染症対策・リモート化する After コロナ社会、社会・経済格差、Web/ ソーシャルメディアの健全な利活用等の社会課題をテーマとして、下記の研究に取り組みます。

- 1) マルチスケール（個人、コミュニティ、社会）の活動データや人文・社会科学の知見に基づく、人や社会の行動特性・嗜好の導出、行動判断等をもたらす要因の特定やそれらのモデル化・数値化等
- 2) モデル化・数値化した人や社会の特性を導入したマルチエージェント等のシミュレーションにより、政策立案・決定等に資するシナリオの導出
- 3) 導出される政策シナリオ等の効果や社会受容性の向上手法の探索及び1)・2)のへのフィードバック

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) の一環として運営します。

## Well-being 最大化のための個性適応型目標創生

石川 翔吾

静岡大学 学術院情報学領域 講師  
静岡大学 情報学部 講師



個性情報に基づいて人生をシミュレートする技術を開発することで、健康者を基準としてそこに近づける従来の研究の方法論を脱却し、人それぞれの活力のある生き方をアシストする研究基盤の創出を目指します。認知症ケアの分野において、認知症人も含めた共同創造の方法論で、医療や介護情報に基づいて個性を構成する要素を包括的にモデル化し、well-being を最大化するための目標創生技術を開発・実装します。

## 反実仮想で測る公的資源配分の依怙臆戻と非効率

牛島 光一

筑波大学 システム情報系 准教授  
筑波大学 システム情報系 助教



政治的依怙臆戻は非効率な公的資金配分と政治不信を介して、社会に（厚生）損失をもたらしている可能性がある。本申請プロジェクトは、政治的依怙臆戻がどこで、どの程度起きており、また、これによる厚生損失があるとすればどれくらいか、について調べる。分析は機械学習とオルタナティブデータ（衛星画像）を活用し、ユニークな大規模調査情報の予測値パネルデータを構築することで行う。

## 共生の条件を探る: 価値観の融和はどこまで可能か?

小倉 有紀子

北海道大学 社会科学実験研究センター 特任助教  
科学技術振興機構 さきがけ研究者



SNS の発展などを背景に、社会における価値観の分断が可視化されるようになりました。一方で人の価値観は固定されたものとは限らず、他者との相互作用を通じて変化する場合があります。人々の価値観の融和はどの程度まで可能で、どこから不可能なのでしょうか。この問いに行動科学・神経科学・情報科学の観点から取り組み、多様な人々が互いに平和に共存できる「共生社会」の実現に貢献することを目指します。

## 家庭と都市の持続可能なライフスタイルへの転換に関する研究

金本 圭一郎

東北大学 大学院環境科学研究科 准教授  
総合地球環境学研究所 准教授



地球環境問題が深刻化する中で、国や企業だけでなく、家庭や都市も変化を迫られている。家庭や都市は、温室効果ガス排出量や大気汚染物質を直接出すだけでなく、消費を通じて、住んでいる場所とは全く異なる場所で環境に対して影響を与えている。本研究は、都市や家庭の消費がサプライチェーンを通じてどの程度環境負荷を排出しているのか、そして、その将来への見通しを定量化する。

## 良い集会的決定の心理・インタラクション基盤の究明

金 恵瑛

東京大学 大学院人文社会科学部 特任助教  
科学技術振興機構 さきがけ研究者



かつてない速さで変化する社会の中でより良い集会的決定を生み出すにはどのようなシステムを構築すれば良いかを検討し、社会の設計指針を確立することは重要な課題です。本研究は、良い集会的決定を生み出す心理・インタラクション基盤を解明するために、大規模ウェブ実験と生理測定を組み合わせたマルチスケールのデータから人々の認知・行動アルゴリズムを明らかにし、社会的分断を改善できるシステムの構築を目指します。

## 民主主義のレジリエンスを高めるための社会変革技術

小林 哲郎

早稲田大学 政治経済学術院 教授  
神戸大学 大学院法学研究科 研究員



近年、権威主義に親和的な非民主的ナラティブの浸透にソーシャルメディアが利用されていること、日本人の民主主義に対するコミットメントが弱いことが明らかにされてきた。また、世界的に民主主義が後退し権威主義が台頭する中で、日本においても民主主義のレジリエンスを高める必要がある。本研究は、個人・ネットワーク・社会の3つのレベルにおいて非民主的ナラティブの浸透を防止する社会変革技術の開発を遂行する。

## 因果情報を用いた経済ナラティブシミュレーション

坂地 泰紀

北海道大学 情報科学研究院 准教授  
東京大学 大学院工学系研究科 特任講師



大きなイベントに伴う経済のレジームチェンジが頻発しており、ただ時系列を解析するだけでは、経済の見通しは全く立たない状況になっている。そこで、ロバート・J・シラー博士が提案しているナラティブ経済学を実証する形で、テキストマイニングとシミュレーションを組み合わせた新たなモデルを構築することで、ナラティブ経済学を実証することで新たな経済分析を可能にする。

## 被災者と未災者が共に学ぶデジタル災害空間基盤

佐藤 翔輔

東北大学 災害科学国際研究所 准教授  
同上



1) デジタル空間災害における語り部の被災体験および周辺現象の再現として、それらの統合、没入感の評価実験を行う。2) 語り部と異なる行動を体験できるシミュレーション機能を実装するために、歩行デバイスによる実装、行動シミュレーション機能の妥当性・有効性の検証を行う。3) 学び・気づきによる集合知の共有システムを実装するために、未災者による疑似体験の蓄積と解析、疑似体験を行った未災者の行動変容観察を行う。

## 非整数人から成るサービスアクターキメラによる価値共創

善甫 啓一

筑波大学 システム情報系 准教授  
筑波大学 システム情報系 助教



VR 体験をメタ構造として捉えて、サービス生産能力ですらアセット化した社会の VR シミュレーションを行い、最適なサービスデザインを探索を目指す。特に、リモート技術の発展で実現される、サービスの生産者（サービスアクター）の部分的融合によって成るアクターキメラの活用を想定している。アクターキメラ技術やその主体感がサービス生産性に与える影響を明らかにし、経済最適な価値共創行動のデザイン方法を確立する。

## 人流を解析・誘導するマルチスケール超群集シミュレーション

山本 江

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
同上



感染症の拡大防止や緊急避難時の効果的な誘導を行うことを目的として、都市と都市の間の人流、駅や交差点等の公共空間における歩行者群集の流れ、といったスケールの異なる人流の相互作用を考慮した数百～数千規模の超群集シミュレーションモデルを開発し、そのパラメータ同定による感染リスクの評価、及び行動誘導へのフィードバックを行う基盤技術の研究を目指す。

## 大規模言語モデル駆動の都市交通シミュレーション基盤

天野 辰哉

大阪大学 大学院情報科学研究科 助教  
同上



都市交通のマルチエージェント・シミュレーションにおいて、言語モデルを活用し各エージェントの内面と振る舞いを自然言語のダイアログとして表現する。実世界センシングにより得られる人々の移動や行動とその意図に関わるデータを言語表現に変換し、大規模言語モデルへの追加学習を行うことで、交通分野における多様なデータソースに基づく人の移動とその意志決定のフローを、エージェントモデルとしての再現することを目指す。

## マルチスケール住環境と建物改善行動変容の相互影響GeoAI モデル

薄井 宏行

千原工業大学 創造工学部 教授  
東京大学 大学院工学系研究科 助教



住み続けられるまちづくりは主要なSDGs の一つです。住み続けられるまちづくり施策は、(1) 個人による建物等の改善（行動変容）をどのように促し、(2) マルチスケールな住環境をどのように変容させていくのか、両者の変容の相互影響に着目して解明するため、複雑な都市空間におけるマルチスケールな住環境の計測と定量化手法を確立し、マルチスケールな住環境に対する個人や地域社会の行動変容メカニズムのモデル化手法を確立します。

## 大規模言語モデル上での学習者の思考過程シミュレーションによる教育変革基盤技術

江原 遥

東京学芸大学 教育学部 准教授  
同上



学習者に適した助言には、知識量や推論力に加え個々の学習者の思考過程シミュレーションによる学習者の理解可能範囲の考慮が必要です。本研究では、個別適応可能で適切な助言を行える、組織内設置可能な大規模言語モデル技術を研究開発します。AI の内部状態を教育学の概念と対応付ける計算教育学を切り拓き、学校教員に AI の個々の学習者への評価を理解可能にし、教育負担削減や AI と教員の協働に役立つ基盤技術を開発します。

## フィールド実験で解き明かす夜の睡眠と昼間の社会

久保田 荘

東北大学 大学院経済学研究科 准教授  
早稲田大学 政治経済学術院 准教授 (フェニックス)



ストレス過多の現代社会では、睡眠改善施策が注目されています。本研究では、夜の睡眠改善が、個人レベルで日中の行動変容に繋がり、最終的に社会全体の変動を引き起こす経路の解明を目指します。フィールド実験を行うと共に、デジタルデバイスやスマートフォンアプリを活用して多面的な生体・行動変化の記録を行い、それを医療・社会・経済の統合シミュレーションに繋げることで、マクロの社会転換を捉えます。

## 社会シミュレーションの政策活用に向けた社会プロセス変革手法の開発・質問紙実験に基づくアプローチ

黒木 淳

横浜国立大学 国際商学大学院データサイエンス研究科 教授  
同上



本研究では、ナッジ等行動変容を促進する方法論のシミュレーション導入に向けたモデル化手法の探索を目的として、社会シミュレーションの予測情報の有無、ノイズの大きさ、メッセージ・フレーミングの3つ着目し、1+2×2のトリートメントで5つに区分したデザインを基に質問紙を構築し、ヒアリング調査、オンライン質問紙実験の後、フィールドに基づく質問紙実験を実施し、社会プロセス変革の推進・普及に貢献する。

## 意思決定のための自然言語処理による未来予測

小町 守

一橋大学 ソーシャル・データサイエンス研究所 教授  
同上



本研究では、時間による変化を考慮した言語モデルを提案し、未来の予測に取り組みます。社会科学の知見に基づいて価値判断のラベルを付与したオープンなデータセットを構築し、誰もが言語モデルを検証・改善できるようにします。また、予測の根拠および確かさを示すことで、言語モデルの受容性を高めることを目指します。構築された言語モデルによって、エビデンスに基づく政策立案や意思決定を対話的に進めるようになります。

## リアリティを生み出すSociety-in-the-Loop 社会シミュレーションの創出

山田 広明

富士通 (株) 富士通研究所 研究員  
富士通 (株) 富士通研究所 研究本部 研究員



社会シミュレーションは、過去データや過去事例の蓄積が十分でない状況であっても、仮想環境上での実験を通して判断の根拠を生み出せるツールです。しかし、予測可能性の低さと検証可能性の欠如により、社会実装は十分に進んでいません。本研究は、社会実験を活用したデータ同化と意思決定者による検証を組み込んだ Society-in-the-Loop 社会シミュレーション設計手法を創出することでこの問題の解決を目指します。

## 大規模位置・検索履歴による意味論的人流解析

下坂 正倫

東京科学大学 情報理工学 准教授  
東京工業大学 情報理工学 准教授



人の移動履歴と共に、検索行動・購入行動等の個人の嗜好・関心に関連づけられた大規模データを統合してモデリングする、より深いレベルの人流解析技術:「意味論的人流解析」の基盤技術を開発します。本課題では、検索履歴と位置履歴を用いた地域来訪者の関心の特徴を捉える手法や、検索および位置履歴を用いた来訪者の行動モデリング手法を開発し、他分野研究者と協業しながら、本技術の利活用の検証にも取り組んでいきます。

## 人々の抱える問題を改善するメタパース体験のデザイン

高野 雅典

(株) サイバーエージェント 学際情報センター リサーチ  
(株) サイバーエージェント グループ IT 推進本部 リサーチ



メタパース上でのアンケート調査・介入実験を行い、個人の抱える問題における介入効果や社会ネットワークの変化を明らかにします。具体的にはメタパースの利用体験への介入によって利用者のメタパースや現実の社会の社会的行動変容を促し、両社会における利用者の社会ネットワークの深化・拡大を目指します。その知見を元に介入効果がメタパースと現実の2層社会ネットワークモデルを構築し介入の長期的・大域的な効果を評価します。

## 立場と規範を反映した言語モデルによる法議論シミュレーション

山田 寛章

東京科学大学 情報理工学 助教  
東京工業大学 情報理工学 助教



従来の法的判断予測の枠組みでは与えられた事実関係と原告・被告の主張を所与として予測を行っており、原告・被告それぞれの法的議論の中での役割が軽視されている点が課題でした。本研究では、法的判断を行う者・訴えを提起する者・訴えを受ける者の異なる3つの立場と日本法に基づく規範を反映したエージェントの構築手法を確立し、マルチエージェントな法議論シミュレーションの構築を目指します。

## Society5.0 実現にむけた受容される見守り社会の技術開発と制度設計

諏訪 博彦

奈良先端科学技術大学院大学 先端技術研究科 准教授  
同上



本研究では、「受容される見守り社会とはどのような社会か?」を大きな問いとし、IoT デバイス連携に基づく安心安全な個人情報流通社会の在り方を検討し、それに必要な個人情報流通基盤や要素技術を開発・設計、開発することを目的とします。具体的には、個人情報流通受容判別モデルの構築(目的1)、個人情報流通基盤の構築(目的2)、個人情報流通基盤の社会実装実験(目的3)を行います。

## 複雑な環境における最適な制度設計

野田 俊也

東京大学 大学院経済学研究科 講師  
同上



マーケットデザインは科学的・工学的な制度設計を目指す革新的かつ学際的な学術領域だが、これまで解析的アプローチを中心に用いていたため、複雑な環境に対して最適な制度設計を行うことができていなかった。本研究では、深層強化学習の技術を用いて、エージェントの価値関数を近似する手法により、従来分析不能だった重要問題に対して最適な制度を構築する。応用の対象には、腎交換・ワクチン配布などを想定している。

## 社会精神状態と世論形成過程のシミュレーション

狩野 芳伸

静岡大学 学術情報学領域 准教授  
同上



政策は人々の意見や気持ちとの相互作用で形成されていきますが、相互作用を媒介するのは SNS、議会における議論、メディアが主であると考えられます。本研究では人々の意見の集合を世論、気持ちの集合を社会集団的な精神状態と呼ぶことにし、人物属性と精神状態の推測システム、個人々の情報拡散や意見・気持ちの変化を予測するシステムを構築し、政策決定支援に資する世論・社会精神状態の形成過程シミュレーションを行います。

## 競争と協調による森林管理の保全能力の拡大

高橋 遼

早稲田大学 政治経済学術院 准教授  
同上



本研究では、世界的な森林減少の問題に対応するため、競争と協調を取り入れた新たな森林管理制度を提唱し、この制度の効果を検証するため、仮想環境と現実環境の双方で社会実験を実施する。仮想環境では、独自アプリを使用して森林管理を再現し、政策が資源保全に与える影響を検証する。現実環境では、バン格拉デシュを対象に実際に制度導入を行い、ドローンを用いた計測を通じて森林炭素保全への影響を定量的に評価する。

## 相互不信から始まるデータ流通社会の信頼醸成

早矢仕 晃章

東京大学 大学院工学系研究科 講師  
同上



分野を超えたデータ活用が新たなイノベーションの源泉として注目されていますが、相互不信の状況から信頼関係が醸成され、データ取引に至る過程の解明は来たるデータ流通社会における重要な課題です。本研究では信頼性が不確実な状況における複雑なデータ流通・取引の創発的作用の解明によってデータ流通・取引メカニズムの構築とデータ流通シミュレーションの実装を実現し、新たなデータ社会基盤の創出に貢献します。

## 「自分で決める」と「他者に任せる」を融合する政策ターゲットング

佐々木 周作

大阪大学 感染症総合教育研究拠点 特任准教授(非常勤)  
同上



本研究では、行動科学と情報科学の知見を融合させて、「自分で決める」「機械学習に基づく個別ターゲットングに任せる」の方針選択が個人・社会の厚生に与える影響をフィールド実験で評価する。また、人々の方針選択のメカニズムを実験の結果を踏まえて整理して、意思決定モデルを構築する。さらに、個人・社会の厚生が悪化する場合に備えて、自発的な選択変更を促す政策コミュニケーション(ナッジ・メッセージ)を開発する。

## 対話型AI との交流を通じて自律的な情動調整を高める心的基盤のモデル構築

野崎 優樹

甲南大学 文学部 准教授  
同上



大規模言語モデルの発展に伴い、励ましや悩み相談に活用可能な対話型 AI の開発が進められています。一方、AI への過度な依存により、人の自律性が損なわれる可能性を懸念する声もあります。本研究では、科学的知見に裏付けられつつも人の尊厳を尊重した心理学の理論的枠組みに基づき、対話型 AI との交流を通じて自律的な情動調整を高める心的基盤のモデルを構築します。そして、人と AI が共存共栄する社会の実現に貢献します。

## 学習者コピーモデルとの個別最適で協働的な学習基盤

峰松 翼

九州大学 データ駆動イノベーション推進本部 准教授  
同上



学習評価シミュレーション手法・学習評価に応じた学習コンテンツ生成手法・模倣モデルを学習者自身が指導するピア評価学習環境を開発し、「個別最適な学び」を実現します。中核技術として、大規模言語モデルを用いた学習者の文章生成過程を模倣する学習者モデルを開発することで、従来困難であった詳細な学習状況把握の自動化に取り組み、学習評価・学習コンテンツ生成・ピア評価学習環境を一体とした学習基盤を構築します。

## 格差社会解消のための共創的シナリオ創出シミュレーションの構築

澁谷 遊野

東京大学 大学院情報学 准教授  
同上



普段とは異なる場所や人との交流は、さまざまな背景や事情を抱える人々の孤立を防ぎ、「違い」を超えた思いやりの醸成や、多様性で生じうる歪みや争いの軽減が期待されます。本研究では、より多くの人々が豊かな暮らしを享受し安心して暮らすことができる都市空間を実現するため、人々の行動や経験の格差とその要因を明らかにし、シナリオに応じた都市空間の多様性・包摂性の多角的評価を行うシミュレーションの開発を行います。

## 民族・宗教間対立や過激思想の多面的測定と政策介入実験

原 朋弘

筑波大学 経済学部 専任講師  
同上



テロや紛争のない世界の実現には、個人の思想や嗜好への理解と実情に即した政策が重要です。本研究は、政策決定の鍵となる対立関係や過激思想の度合いを多面的・定量的に評価する基盤を構築します。それを応用し、(1) 過激化リスクの高い人々を対象に、市場を通じた民族・宗教間の対立緩和と過激化防止を目指す政策や、(2) 元過激化組織戦闘員の脱過激化や社会復帰を目指す情報介入政策の効果を、フィールド実験で検証します。

## 高度法構造分析に向けたオントロジ設計とグラフ解析

### 久野 遼平

東京大学 大学院情報理工学系研究科 講師  
同上

米国過去 250 年の判決文 (700 万件)、企業との共同研究により提供された日本の判決文データ (12 万件)、日本の最高裁判所からダウンロードできる判決文全て (1.6 万件)、ドイツ最高裁判決文 (1 万件)、景気ウォッチャー調査、e-gov で収集できるパブリック・コメントを活用し、ナラティブの構造化技術と共にハイパーグラフ変化点検知や異時刻相関構造を含む動的集団有向ネットワーク分析技術を開発する。



## 平時からはじめるパーソナライズ化された防災行動変容システムの開発—Sealfee リスク認知パラドックス解消を目指して—

### 三浦 瑞貴

(前) KDDI 総合研究所 シンクタンク部門 コアリサーチャー  
(後) KDDI 総合研究所 共創部門 コアリサーチャー

自然災害が激甚化・頻発化する中、災害に対する平時からの備えは重要であり、その準備行動は多岐に渡る。しかしながら、重要であると認識しながら行動に至らない「リスク認知パラドックス」が問題となっている。本研究では、(旧)個人のリスク評価、(旧)個人に合わせた行動促進プランの自動生成、(旧)ユーザーの反応に応じた自動調整が特徴とした防災行動変容システムの開発と実証実験を通じ、リスク認知パラドックスの解消・緩和を目指す。



## 機械学習時代の社会変容を理解する基盤アプローチの創出

### 矢倉 大夢

マックアブタクノ人間関係センター・フォー・ヒューマンマインド 研究員  
同上

本提案では、データマイニング・行動実験・シミュレーションを組み合わせることで、機械学習技術のインパクトを理解するための基盤となるアプローチを構築する。その対象には、機械学習技術が人間の挙動や社会の規範などをどう変えていくかという点のみならず、人間や社会の変容が AI モデルの動作や開発の流れをどう左右するかという点も含まれる。



# 社会変革に向けた ICT 基盤強化

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2021-3.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2021-3.html)

戦略目標

Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術



研究総括  
東野 輝夫  
京都橋大学 副学長

## 領域アドバイザー

鍛 忠司	日立製作所 研究開発グループ 主管研究員
菊池 浩明	明治大学 総合数理学部 専任教授
佐藤 一郎	国立情報学研究所 情報社会相関研究系 教授
重野 寛	慶應義塾大学 理工学部 教授
清水 佳奈	早稲田大学 理工学術院 教授
田浦 健次郎	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
高田 広章	名古屋大学 未来社会創造機構 教授
中澤 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
森 達哉	早稲田大学 理工学術院 教授
山口 利恵	東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授

## 研究領域概要

我が国が提唱する Society 5.0 が目指す社会は、人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すデータ駆動社会です。その実現には、人々の社会活動を安全かつ持続的に発展させていくための ICT 基盤強化とデジタル変革の推進が求められています。

新型コロナウイルス感染症の流行とその対策過程において、ICT 基盤やデジタル変革に関する様々な課題が露呈しました。社会生活のデジタル変革は、人々の生活をコロナ禍の状況に適應させ、社会経済活動を活性化し、社会のレジリエンス性を強化する意味を持ちますが、その実現にはセキュリティ強化や個人のプライバシー保護が重要であり、「Security-by-Design」や「Privacy-by-Design」の考えに基づくソフトウェアやシステムの開発が必要です。

近年、スマートシティや自動運転、IoT を活用した健康・医療、GIGA スクール構想など、新たな社会システムの開発が進んでいます。AI やビッグデータ、IoT 技術の進展に伴い、情報基盤を取り巻く環境は大きく変化しています。システム全体を by-Design の観点で捉えた研究開発、安心・安全で信頼できる国産システムソフトウェアや ICT 基盤整備が必須です。

そのため本研究領域では、理論(数学や計算機科学の基礎)と社会システムの基盤技術(アルゴリズム・アーキテクチャ・OS・ネットワーク・データベース・IoT・セキュリティ・言語等)の研究者の領域内の交流・触発により、国際競争力を強化した科学技術イノベーションの創出を実現し、安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術の創出を通じ、社会変革に向けた ICT 基盤の強化を目指します。さらに、将来の社会システムの課題解決や社会変革を意識した研究開発を通して、by-Design に資する人材の育成を推進します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) の一環として運営します。

## 低消費自律駆動型モビリティ向けソフトウェアプラットフォームの構築

**安積 卓也**

埼玉大学 大学院理工学研究科 教授  
埼玉大学 大学院理工学研究科 准教授



本研究では、組み込みシステム向けの高性能・低消費のハードウェアを搭載したエッジデバイスをを用いて高度化・複雑化に対応する自律駆動型モビリティ向けのソフトウェアプラットフォームを構築します。具体的には、バッテリー駆動する案内・搬送ロボットやパーソナルモビリティ等小型の自律駆動型モビリティに不可欠となる認知・判断・動作に係る処理を低消費電力かつリアルタイム処理で実現します。

## 被災者個人の生活再建トータルサポートシステム

**井ノ口 宗成**

富士大学 学術研究所 准教授  
同上



被災者によるシステムの利用形態は多様であっても、既往技術の融合によりバックヤード処理を高度化することで、被災者への自動対応と情報の一元集約が可能なシステムを開発します。システムから生活再建の見通しを被災者に提案し、確実に迅速な生活再建を支援します。一方で、平時から過去災害の経験知に基づき誰もが個人単位でシミュレーションできる機能を実装し、日常利用からICTを活用した生活再建への行動変容を促します。

## RISを用いた無線通信環境の自己最適化

**太田 香**

室蘭工業大学 大学院工学研究科 教授  
室蘭工業大学 大学院工学研究科 准教授



超高速無線通信の実現にミリ波の利用が期待される一方で、障害物に弱く電波環境に依存することがネックになっています。本研究ではReconfigurable Intelligent Surface (RIS)と呼ばれる特殊な反射板をもとに無線通信環境を制御する基盤技術を研究開発します。RISの導入により発生する環境ノイズの増加や通信経路の複雑性などの多様な課題に取り組み、ミリ波の屋内活用を目指します。

## データセンタハードウェアへのソフトウェア脆弱試験の適応

**空閑 洋平**

東京大学 情報基盤センター 准教授  
東京大学 情報基盤センター 特任講師



アクセラレータ中心の分散システムでは、専用アクセラレータ同士がCPUをバイパスしてデータ通信するため、ソフトウェアによるセキュリティ手法、デバッグ手法の適応が困難になっています。本研究では、アクセラレータで採用される高速インターフェースであるPCI Expressをソフトウェア上に実装します。ソフトウェアによるPCIeデバイス開発手法を提案し、柔軟なセキュリティ検査手法をハードウェアに適用します。

## 実用性と安全性を両立する秘密情報量に基づく情報漏洩防止基盤

**塩谷 亮太**

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
同上



秘密データの情報量に着目した動的情報フロー追跡により、情報漏洩を厳密に検出しながらも実用プログラムの動作を妨げない情報漏洩防止基盤を実現します。本研究ではマルウェアによる情報漏洩からハードウェアの脆弱性を利用した情報漏洩までをも対象とする、包括的な情報漏洩防止基盤の構築を目指し研究を行います。

## プライバシー保護メカニズムデザインのための秘密計算技術

**照屋 唯紀**

産業技術総合研究所 情報・人工学領域 主任研究員  
同上



データに基づいたより良い意思決定を行う上で、情報の漏えいや不正使用などの脅威への対策、プライバシーの保護などが課題となっています。これら課題を解決するために、秘密計算技術および計算環境の真正性と匿名性を構築する技術について研究開発を行い、プライバシーに配慮しつつ安全に社会的意思決定を行うためのプライバシー保護メカニズムデザインの確立を目指します。

## 健康行動セキュリティのためのエンパワメントICT基盤

**中村 優吾**

九州大学 システムシステム情報科学研究院 助教  
同上



本研究では、「健康行動セキュリティ」というコンセプトに基づき、(1)人間の健康的な行動や生活習慣を資産、(2)人間の認知バイアスや嗜好の偏りを脆弱性、(3)不健康な行動の選択を誘発する情報提示を脅威と見なし、不健康な生活習慣の継続というリスクを回避しつつ、健康行動の維持・回復できるような人々をエンパワーするためのICT基盤技術とその方法論の確立を目指します。

## AI遍在社会を支え得る知的メッセージング基盤の研究

**坂野 遼平**

一橋大学 大学院ソーシャル・データサイエンス研究科 准教授  
工学院大学 情報学部 助教



来るべきAI遍在社会では、データの質や時空間的解像度の向上により、データ量の爆発的増加及びネットワーク帯域の枯渇が懸念されます。本研究では、遍在するAI同士の情報交換を支え得る広域メッセージング基盤の確立を目指します。具体的には、多数のメッセージングサーバの協調動作により負荷分散を図りつつ、ネットワーク内においてデータの前処理等をおこなうことで、通信量を適応的に削減する技術の研究に取り組みます。

## 細粒度のリカバリを可能にする高信頼OS

**山田 浩史**

東京農工大学 工学研究科 准教授  
同上



本研究では、OSの構成要素であるメモリオブジェクトのセマンティクスを活用し、メモリオブジェクトレベルでの細粒度のリカバリを可能にするOSアーキテクチャを新規提案し、ソフトウェアとして実現します。ハードウェアの故障やOS乗っ取りなどの信頼性阻害要因に対しその手法ごとにアドホックに対処してきた従来アプローチに対して、メモリオブジェクトにダメージを与える阻害要因であれば未知の障害をも対処可能とします。

## IoTのための自動テスト・自動修正基盤の構築

**吉田 則裕**

立命館大学 情報理工学部 教授  
名古屋大学 大学院情報科学研究科 准教授



IoTシステムは複数のユーザから多様な入力を受け付ける必要があり、かつ接続されるデバイスも多様であることが多いため、手作業で十分なシステムテストを行うことは困難です。また、脆弱性が発見されたあと、脆弱性の原因となったコードを特定し修正することも、手作業のみで行うことは困難です。本研究では、IoTシステムの自動テスト・自動修正基盤を開発することを目的とします。

## アドレスの秘匿によるサイドチャネル攻撃に頑健なOS

**穂山 空道**

立命館大学 情報理工学部 准教授  
同上



メモリサイドチャネル攻撃では攻撃者が攻撃対象のコンピュータ上でプログラムを実行するだけで通常はアクセス不能な情報を読み出し・書き換えできます。本攻撃の成立要件は、(1)攻撃者と被攻撃者でデータの保管場所が共有されること、(2)データのアドレスから共有された保管場所がわかること、です。そこでメモリ管理をOSから分離し隔離された環境内で実行することで要件(2)を不成立とし、この攻撃を根本から防ぎます。

## 協調エッジAI学習によるユーザ主体データ利活用基盤

**安藤 洸太**

北海道大学 大学院情報科学研究科 准教授  
北海道大学 大学院情報科学研究科 助教



現状のAI構築・学習は大規模な計算能力とデータを持つクラウドが主体ですが、これをユーザが自身のデータで運用可能なユーザ主体の技術へと移してゆく必要があります。複数端末で協調的にニューラルネットワークを学習する連合学習を用い、興味異なる複数ユーザがモデルを共有しながら相対的に学習するアルゴリズムと軽量プロセスにより、個々人のデータと計算資源を活用可能とするプラットフォームの創出を目指します。

## プログラム異常動作の自動検出技術の創出・機械が実現するセキュアな自動テスト

**柏 祐太郎**

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教  
同上



本研究では、人手で作成した入出力テストに頼らず、機械が不具合(異常)を検出することを目指します。具体的には、変更前後のソフトウェアを動作させ、動的解析によりトレースログ(プログラムがどのように動いたかを示すログ)を生成します。そして、変更後の動作が変更前の動作と著しく異なる場合や、開発者の変更意図(コミットメッセージ等)から逸脱している場合を異常な変更として検出する予測モデルを構築します。

## 通信センシング統合による知的なネットワーク管理

**魏 博**

東京大学 大学院工学系研究科 特任助教  
早稲田大学 理工学術総合研究所 助教(研究員)



ミリ波は、高速通信を実現する次世代技術ですが、直進性が強いと障害物で遮断されやすい弱点があります。一方、波長が短く高精度センシングには有望です。本研究では、通信センシング統合技術とソフトウェア基盤の開発により、物理情報を活用した通信中断のない安心安全で信頼性の高い知的なネットワーク管理技術の創出に挑みます。自動運転、遠隔医療、スマートシティ、Society5.0の実現などに幅広く貢献します。

## 機密性と完全性を保証する先鋭的な再構成システムの設計手法

**小島 拓也**

東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教  
同上



本研究では、エネルギー効率や処理性能の観点で有望視される再構成可能ハードウェアをベースにした次世代計算機システムにおいて、情報の機密性と完全性を保証するSW/HWの協調設計手法を実現します。その要素技術として、ハードウェア構成情報の改ざん防止、サイドチャネル攻撃に対する耐タンパー技術、秘密計算のための完全準同型暗号を高速に処理可能な計算システムの設計手法などの確立を目指します。

## ソフトウェアエコシステムを保守するメタメンテナンスの社会実装

畑 秀明

信州大学 工学部 准教授  
同上



オープンソースソフトウェアエコシステムを包括的に保守するメタメンテナンスの社会実装に向け、オープンソースソフトウェア開発プロジェクト群から有用な知見を探索する大規模な実証分析、有用な知見特定とオープンソースソフトウェアエコシステムのモニタリングのためのシステム開発、特定・集約した知を全体へ流通させるためのヒューマンインザループな技術と仕組みの開発と実証実験に取り組みます。

2023年度採択研究者「3期生」

## AIを活用したユーザ主体の組合せ最適化システム

川村 一志

東京科学大学 総合研究院 特任助教  
東京工業大学 科学技術創成研究院 特任助教



本研究では、組合せ最適化ソルバとしてのイジングマシンの利活用推進に向け、ボルツマンマシンと強化学習を活用したイジングモデルの自動設計に挑戦します。イジングマシンとボルツマンマシンを融合した双方最適化ソルバを設計し、それを核に持つ強化学習基盤を構築します。これにより、解の生成と評価、イジングモデルの修正を繰り返しながら途中で次第にイジングモデルが最適化されていく構造を作り出します。

## スマートコントラクトを用いた攻撃とその対策の検討

矢内 直人

パソナホールディングス(株) 情報セキュリティ部 主幹  
大阪大学 大学院情報科学研究科 准教授



本研究では攻撃者がスマートコントラクトを利用した際にどのような攻撃が可能となるか、攻撃者の観点による研究を通じて明らかにします。特に攻撃用スマートコントラクトと呼ばれる、攻撃者が意図した不正処理を実装しているスマートコントラクトの検討を通じて、スマートコントラクトがサイバー攻撃に利用された際の影響を示すとともに、その対策技術についてもスマートコントラクトのコードおよび利用履歴の観点から検討します。

## メモリ駆動形DBシステムによるデータ処理基盤強化

藤木 大地

東京科学大学 総合研究院 准教授  
慶應義塾大学 理工学部 助教(テュアトラップ)



本研究では、広く関連DBで使用されているB木の読み取り性能と、NoSQL/NewSQL等で使用されているLSM木の更新性能の両立をインメモリ計算IMCにより達成します。さらに、全エントリに対する準同型暗号演算が前提となっている完全秘匿型データベースについて、IMCにより静的データ近傍のメモリ資源を計算に転用し、データ移動を抑えながら超並列演算を行うことで、計算時間を低減させます。

## 人の組織を利用した情報処理とウェアラブルシステムへの応用

小林 洋

大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授  
同上



Society 5.0においては、ウェアラブルシステムを用いた、リアルタイムな人の支援は重要なターゲットです。これを実現するためには、AIを活用する生体情報の高度なリアルタイムな情報処理に対応できる、小型でエッジな計算機が必要です。本研究では、物理リザバコンピューティングの中間層として人の組織を利用した情報処理に関する研究を実施し、ハードウェアレスでセキュアな計算機を実現します。

## Interactive medical image diagnosis with chatbot assistance

ラシド イサム

兵庫医科大学 大学院情報科学研究科 教授  
同上



本研究では、チャットボットによる支援を可能にした深層学習モデルを用いた医用画像診断のための対話型フレームワークの開発を目的としています。マルチタスク画像診断モデルは拡張された画像知識の抽出を可能にし、生成AIテクノロジーは専門家のような医療診断レポートの生成をトリガーします。深層学習とLLMの組み合わせは、人材不足が予想される医療サービス環境を改善する可能性があります。

## リスクポテンシャルを考慮した都市ナビゲーションAIの研究開発

宮西 大樹

東京大学 大学院工学系研究科 特任研究員  
(株) 国際電気通信基礎技術研究所 研究開発研究所 専任研究員



本研究では、ユーザーの言語指示に従い、困難な状況下でも安全な経路を移動エージェントに提案できるナビゲーションAIの実現を目指して、(1)都市レベルの3D地図作成と意味情報の自動付与、(2)3D地図データへの言語データのグラウンディング手法の開発、(3)言語指示に従う都市ナビゲーションAIの開発、(4)シミュレーションを用いた災害・事故リスクを考慮したナビゲーションAIへの改良を行います。

## 位置情報に頼らない時空間データ解析基盤の創出

佐藤 光哉

電気通信大学 人工知能先端研究センター 助教  
同上



時空間ビッグデータ解析における大前提である、観測端末の位置情報の取得が不要なデータ解析手法の設計に取り組みます。端末間の関係性を暗に表現する特徴を手がかりとした相対座標推定に基づく事象の時空間特性予測により、位置情報の必要性から生じるIoTセンサ端末配置時の整備コストやプライバシーへの懸念といった諸問題を抜本的に解決し、あらゆるデータを滞りなく収集・活用可能な世界の実現を目指します。

## 環境適応型エッジAIによる巨大モデル利活用基盤

李 鵬

会津大学 コンピュータ理工学部 上級准教授  
同上



研究目的を達成するために、AIモデルの設計、エッジ・クラウドを連携する基盤ソフトウェア、プライバシー強化メカニズムを含むシステム全体を「by-Design」の観点から再構築することが必要です。具体的には、(a)巨大AIモデルを複数のエキスパートに分割して再構築する技術の確立、(b)環境感知による動的エキスパートの管理、(c)連合学習を導入した個性化エキスパートの構築、の三つの項目に取り組みます。

## HPC ユーザのためのTEE 利用支援フレームワーク

三輪 忍

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授  
同上



本研究では、REE用に記述された並列アプリケーションコードからTEE実行すべき処理を自動抽出する技術、ならびに、REEとTEEのハイブリッド実行およびTEE間の高速な暗号通信を行うコードを自動生成する技術を開発します。また、以上の技術を要素とするLLVMベースのコード変換フレームワークを開発し、開発したフレームワークの有用性を実アプリケーションを含む複数のアプリケーションを用いて評価します。

## 変動にロバストな高信頼エッジクラウド連携ネットワーク

佐藤 文博

京都大学 大学院情報科学研究科 准教授  
同上



本研究では、Society 5.0におけるサービスを高信頼に提供するための、エッジクラウド連携ネットワークの実現を目的とします。トラヒック変動等の恒常的に発生する事象と、攻撃や故障等の突発的に発生する事象を包括的に考慮し、高い可用性を達成する資源割り当ておよび更新スケジュール決定の数理モデルを構築します。それを元にした制御手法の開発や実装実験を行い、レジリエントなICT基盤の実現に貢献します。

## プライバシー保護と偽音声検出を統合する音声データ処理基盤

Wang Xin

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 特任准教授  
情報・システム研究機構 国立情報学研究所 特任助教



インフォデミックの時代において、AIが生成した偽音声の検出や声紋などの個人情報保護ができる音声データ処理基盤は不可欠です。一方で、既存の偽音声検出と声紋の保護に関する匿名化技術は独立して設計されているため、共同最適化ができず、検出と保護の水準も理論的に示せません。本研究は、偽音声検出と音声匿名化を尤度比に基づいた深層学習の枠組みで統合し、検出と匿名化モデルの最適化基準を理論的な改善を行います。

## サイバーとフィジカルを横断したセンサセキュリティ研究

吉岡 健太郎

慶應義塾大学 理工学部 専任講師  
同上



自動運転車が備えるLiDARセンサの脆弱性を突くセンサ幻惑攻撃は自動運転社会の重大な脅威であり、悪用すると衝突事故を誘発可能です。本研究は自動運転車をセンサ幻惑の脅威から守るため、サイバーとフィジカル領域を横断したセンサセキュリティ研究を行います。センサとソフトウェアの協調設計による新セキュリティ技術を開発し、サイバーとフィジカル領域間の情報交換を促進することで脆弱性の早期発見を実現します。

## 大規模言語モデルのための新しい信頼性向上技術

曹 洋

東京科学大学 情報理工学 准教授  
北海道大学 情報科学研究科 准教授



大規模言語モデル(LLMs)は私たちの社会を変革していますが、プライバシーや堅牢性、悪用のリスクももたらしています。本研究は、大規模言語モデルの信頼性を向上させる新しい技術を開発することを目指しており、敵対的な環境での大規模言語モデルの堅牢性を向上させ、大規模言語モデルによって生成されたコンテンツの誤用を防ぐことを目的としています。

# 信頼される AI の基盤技術

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2020-5.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2020-5.html)

戦略目標

信頼される AI



研究総括  
有村 博紀  
北海道大学 大学院情報科学研究院 教授

## 領域アドバイザー

石川 冬樹	情報・システム研究機構 国立情報学研究所 准教授
宇野 毅明	情報・システム研究機構 国立情報学研究所 教授
浦本 直彦	花王(株) DX戦略部門 上席執行役員・データ知創戦略センター長
大野 和則	東北大学 タフ・サイバーフィジカルAI研究センター 教授
岡崎 直観	東京科学大学 情報理工学院 教授
鹿島 久嗣	京都大学 大学院情報学研究所 教授
佐久間 淳	東京科学大学 情報理工学院 教授
佐倉 統	東京大学 大学院情報学環 教授
櫻井 祐子	名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授
谷口 忠大	京都大学 大学院情報学研究所 教授
長井 志江	東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構 特任教授
藤吉 弘巨	中部大学 理工学部 教授
松井 知子	情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授
持橋 大地	情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授
森永 聡	日本電気(株) データサイエンス研究所 上席主席研究員

## 研究領域概要

ネットワークやビッグデータ等の情報環境の広がりと、数理科学と情報技術の急速な発展によって、人工知能 (AI) 技術を用いたシステムやサービスが社会に広がりつつあります。このような AI 技術の活用により、あらゆる人々が適切で高品質なサービスを受け、社会と調和しつつ個人の能力を発揮して暮らしていける人間中心の AI 社会の実現が期待されています。その一方で、人と共に社会の重要なタスクをこなす「信頼される AI システム」の実現において、深層学習に代表される現在の AI 技術には、説明性や納得性、安定性、公平性等に関するさまざまな弱点や限界があることが判明してきました。また、AI 技術を組み込んだいわゆる AI システム全体やデータの信頼性・安全性・品質保証に関して、さらに、人間を基点として社会と調和した AI の活用に関する方策も必要です。

本研究領域では、人間中心の AI 社会の実現に向け、現在の AI 技術の限界を突破する次世代 AI 技術の基盤となる革新的な理論・技術の創出を目指します。従来の AI 技術の単なる延長ではなく、現在の AI 技術や AI システムが持つ本質的な問題点に取組み、解くべき問題を新たな視点で概念化・定式化し、その解決を目指す挑戦的な研究を推進します。

具体的には、1) 現在の AI 技術の弱点や困難を克服するための新しい数値・計算・解析手法に関する基礎技術や、2) AI システムの信頼性・頑健性・透明性・公平性等、社会における新たな AI 応用タスクの概念化・定式化と新しい構成原理・実現技術、3) これらを支えるデータや情報基盤の信頼性・安全性・プライバシーの保証技術、4) 多様なデータやタスクに対する AI 技術の拡張、5) AI システムの設計・開発・運用の方法論、等の研究に取り組みます。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) の一環として運営します。

## 信頼される資源配分メカニズムの構築

五十嵐 歩美

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教



様々な意思決定の自動化に伴い、アルゴリズムの公平性・信頼性の担保が喫緊の課題となります。本研究の目的は、スケジューリングや査読割当てなど、配分する財の可分性が必ずしも仮定できない状況において、資源配分問題の理論的性質と解法について深く考察することです。本研究では、メカニズムの公平性・全体最適性・信頼性がどのような状況で保証できるのかを考察します。

## 与えられた指示文章に従い言語で判断を説明するAI

栗田 修平

理化学研究所 革新知能統合研究センター 研究員  
理化学研究所 革新知能統合研究センター 特別研究員



深層学習モデルエージェントに言語による直感的な指示を与え、指示文章に従った複雑かつ体系的な動作を可能とする手法を探索いたします。特に、現実世界を模した環境で、エージェントに言語による多様な複雑な指示を理解させ、行動させることを目指します。動作から与えられた指示文章を予測することで、深層学習モデルの判断過程を指示文章に紐付いた形で可視化し、将来的な現実世界での言語理解技術につながる研究を目指します。

## 頑健性と安全性の性能限界を明らかにする深層強化学習

小林 泰介

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教  
奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教



頑健性と安全性を両立する深層強化学習を開発します。この基盤技術として、頑健性と安全性の定量評価が肝要となります。評価システムの礎として、新しいダイナミクスモデルの学習則と敵対的学習における正則化機構について開発を進め、単体レベルでの理論的・統計的な検証を行います。実問題として人とロボットが物理的接触を及ぼすような実問題を例に検証を進め、理論面・実用面の双方から提案技術を検証します。

## 説明性の高い自然言語理解ベンチマークの構築

菅原 朔

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教  
同上



正答に必要な能力がラベル付けされた言語理解データセットを構築し、システムの性能について言語理解の観点から説明性の高い精緻な評価を可能にします。ここで能力は自然言語処理で存立している基礎技術（照応解析・意味役割解析等）を単位とし、問題の作成にあたり自然言語の形式表現体系を利用します。このテストの応用により、実世界における言語理解システムの説明性・頑健性の向上が期待されます。

## リアルな意思決定のための時空間因果推論モデルの研究

竹内 孝

京都大学 大学院情報学研究所 講師  
京都大学 大学院情報学研究所 助教



すべてのIoTシステムから計測される、膨大な時空間データを社会での意思決定に結びつけるためのAIシステムにおいて、将来の基盤となる技術であるリアルな意思決定のための時空間因果推論モデルの研究を行う。具体的には、偏りを持つ時空間データから、バイアスが除去され信頼性の高い予測を行う技術の実現を目指し、時空間データ解析技術と因果推論技術を組み合わせた新たな機械学習モデルを開発する。

## 脳情報に基づいたAIの信頼性評価技術の開発

西田 知史

情報科学研究機構 脳情報統合研究センター 主任研究員  
同上



AIに対する人間の主観的信頼性を生み出す脳内メカニズムを世界で初めて解明し、それに基づいて主観的信頼性を脳活動から解読してAIの評価に利用するための技術を開発する。また、研究者が開発した、シミュレートした脳活動を解読する独自手法を融合し、従来技術に対する脳解読の優位性を保つたまま、脳計測コストの劇的な削減を実現して、正確性と利便性を両立する革新的な主観的信頼性の評価技術へと拡張する。

## 誤りがないことを保証する検証器つき機械学習の研究

西野 正彬

日産自動車 (株) NITコミュニケーションイノベーション研究所 情報研究員  
同上



確率統計に基づいた機械学習モデルの予測誤りをなくすることは本質的に困難です。そのため、機械学習モデルを利用するAIシステムを構築する際には、予測誤りに対処するために多大なコストをかける必要がありました。一方、ある種の予測誤りについてはその有無を外部から検証することができます。本研究では、そのような検証可能な誤りが存在しないことを保証するための、検証器つき機械学習モデルの実現を目指します。

## 機械学習モデルとユーザのコミュニケーション：モデルの説明と修正

原 聡

大阪大学 産業科学研究所 准教授  
同上



モデルの「説明」・「修理」に対して「データに基づくアプローチ」に着目する。このアプローチはデータの専門知識を有するユーザと親和性が高く、今後様々な分野のデータの専門家が機械学習モデルを扱うにあたって特に効果的だと期待できる。本研究では「説明」・「修理」のために「データAがデータBの予測に関連している / 有害である」といったデータ間の関連性を定量化する関連性指標の設計・原理説明・妥当性検証に取り組む。

## 機械理解の創成に向けた随伴関手の統計的推定理論の構築

日高 昇平

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授  
同上



本研究は、再現性と検証可能性をもち、見方・解釈に伴ってその意味付けが変わる認知現象の一つとして、曖昧図形の知覚に着目する。解釈・理解を関数、データの解釈への対応づけを関手とする「随伴関手の統計的推定」モデルにより、曖昧図形の知覚の数理構造を説明し、これを実験的に検証する。この研究の過程で新たに生まれる、圏論を基礎とした情報技術・統計的モデリングを概念実証として、「機械理解」分野創生の基礎を構築する。

## 生物集団移動の専門家が利用可能な説明・意思決定のための基盤技術

藤井 慶輔

名古屋大学 大学院情報学研究所 准教授  
名古屋大学 大学院情報学研究所 助教



計測技術の発展によって様々な生物や人工物の集団移動の記録が可能になり、これを背景に様々な社会や科学分野への貢献が期待されています。しかし、情報技術の利用が想定される実環境での集団移動の専門家、例えば生物学の研究者やスポーツチームの監督等にとって説明・操作・意思決定が難しい場合があります。本研究では、実環境での集団移動の専門家が説明・操作・発見・検証・意思決定可能な人工知能基盤技術を開発します。

## 人とAIの同化に基づく能力拡張型音楽理解・創作基盤

吉井 和佳

京都大学 大学院工学研究科 教授  
京都大学 大学院情報学研究所 准教授



信頼される音楽AIを実現するため、(1)信号から記号への変換技術（マルチタスク学習に基づく半教師あり自動採譜）、(2)音楽知識の記号表現技術（自己相似性に基づく教師なし音楽文法獲得）、(3)協調的な記号操作技術（データ同化に基づく半教師あり音楽生成）の実現に取り組みます。

## 実応用に向けた動画コンテンツ加工のためのユーザ制御可能な例示ベース深層学習フレームワークの確立

飯塚 里志

筑波大学 システム情報系 准教授  
筑波大学 システム情報系 助教



ユーザ制御可能な例示ベースで動画コンテンツ加工を行う深層学習フレームワークの構築に取り組みます。コンテンツ制作の現場において、制作物は質の高さや人間による制御性が求められますが、これを実現する深層学習モデルはいまだに確立されていません。本研究では、例示情報を効果的に取り込むニューラルネットワークや、例示データの自動取得システムを構築することで、柔軟で信頼性の高いフレームワークの確立を目指します。

## 認知・脳情報処理による人間らしい言語処理モデルの開発

大関 洋平

東京大学 大学院総合文化研究科 准教授  
東京大学 大学院総合文化研究科 講師



本研究では、自然知能研究としての言語の認知・脳科学と人工知能研究としての自然言語処理を融合することで、認知・脳情報処理に学んだ、人間らしい言語処理モデルを開発することを目的とします。具体的には、クラウドソーシングと脳機能イメージングで計測される人間の言語処理と、記号的生成モデルと深層ニューラルネットワークで実装される機械の言語処理を対照する過程で、言語処理のリバースエンジニアリングを目指します。

## 透明性の高い達成度テスト運用基盤の開発

岡田 謙介

東京大学 大学院教育学研究科 准教授  
東京大学 大学院教育学研究科 准教授、東京大学eS研究員 (兼任)



本研究では、試験実施後に問題された問題項目を公開することができ、かつ推定量が一致するような望ましい統計学的性質を持つ、項目反応モデルの体系と推定法を開発することを目標とします。従来の問題項目を秘匿してのテスト運営が困難になる中で、本研究でこれからのテストの数理的基盤を開発することによって、人々から信頼を得られる、透明性の高い達成度テスト運営を持続的に可能とすることを目標とします。

## センシングと知識発見の間に橋をかける数理的データ解析基盤

小野 峻佑

東京科学大学 情報理工学 准教授  
東京工業大学 情報理工学 准教授



計測対象 / 過程 / 環境に付随する様々な性質・条件（センシング知見）を数理的に取り入れることで、計測データに内在する劣化・不完全性を克服し、知識発見に定まる質と量を備えた信号情報を解析するための基盤的技術の創出を目指します。主に次の3つの技術的課題に取り組みます。①センシング知見に基づく数理的保証、②信頼性・効率性の高いパラメータ選択、③獲得した知識をデータ解析へ逆輸入・活用する方法論の確立。

## グラフデータの説明可能なバイアスに関する基盤技術の創出

佐々木 勇和

大阪大学 大学院情報科学研究科 准教授  
大阪大学 大学院情報科学研究科 助教

グラフデータは様々な応用がある一方で、差別的なバイアスを含んでいることがあります。公平な人工知能が求められている中、グラフデータ内のバイアスの定式化や検出 / 削除する試みは行われていません。私はグラフデータの説明可能なバイアスに関する基盤技術の創出を通して、公平な人工知能社会の実現に貢献します。具体的には、バイアスを説明可能に定式化し、バイアス検出と差別的なバイアス削除技術を開発します。



2022年度採択研究者【3期生】

## 個人特定に繋がりの情報を活用しない人物状態推定システムの構築

五十川 麻理子

慶應義塾大学 理工学部 准教授  
慶應義塾大学 理工学部 専任講師

あらゆる人が安心して AI 社会の恩恵を受けられる社会の実現を目指し、「個人特定に繋がりの情報を活用しない、人物状態推定システムの構築」に取り組みます。具体的には、人の顔や衣服を含んだ画像情報や、ユーザの声色・会話内容等の個人が容易に特定可能な情報を使わず、シルエット画像や、意味情報を含まない信号波等の「漏洩しても個人の特定に繋がりにくい計測情報」のみを入力とした人物状態推定技術を提案します。



## 簡単に使える柔軟マニピュレータの汎用技能獲得

田中 一敏

社団法人ロボット技術開発協会 理事  
同上

汎用技能を獲得するソフトロボットが、身体と物体に合う秩序立った運動を自ら発見し、運動の知識を汎用して応用するためには、物体操作の様々な運動を安全に試せる身体を有し、身体と物体に合う秩序立った運動を発見し、限られた試行から効率よく運動の知識を汎用する必要がある。このため本研究では、軽量小型柔軟アーム、物体特徴を表す秩序運動の生成法、試行効率の高い運動知識の汎用化を開発する。



## 学習過程における価値観の多様化と性能保証の両立

ホーランド マシュー・ジェームズ

大阪大学 産学研究所 助教  
同上

電卓や橋は「期待通りに動く」からこそ信頼される。AI システムも、挙動がユーザーの予想に反すれば信頼関係の構築は困難だが、性能として AI に「何を期待するか」が判然としない限り、議論が始まらない。「性能をどう測るか」が信頼性の原点であり、それを踏まえて性能を「どう保証するか」、それに「ユーザーの意思決定にどう繋ぐか」が論点となる。性能の測り方の刷新を切り口に、この諸問題の統合的な解決策を考案する。



## ニューロインフォマティクス活用で紐解く信頼される Explainable AI

上原 一将

豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 准教授  
自然科学研究機構 生理学研究所 助教

ヒト認知運動課題で得られる神経・筋生体情報を利用してすることで、(1) AI が導き出した行動課題成績の予測や判別に寄与する判断根拠を神経活動操作や仮想的生体信号操作等のニューロインフォマティクスを駆使して因果に基づく XAI の信頼性を検証する。(2) 将来的に人間-AI 協調が必要な医療における XAI 技術実装の実現を視野に入れ、臨床データを用いて検証することで XAI の社会浸透を目指す。



## 持続可能な高効率 AI システムの実現

富岡 洋一

金沢大学 コンピュータ理工学部 上級准教授  
同上

インフラ・医療などのミッションクリティカルシステムにおいて、AI の故障は人命に関わる深刻な誤作動を引き起こす可能性があります。AI の耐故障化が必要です。しかし、既存の耐故障化技術を AI システムに適用した場合、面積、消費電力、コストを大きく増加させる問題があります。本研究では、突発的に発生した故障を検知し、十分な精度の認識を継続できる耐故障 AI を低計算量、小面積で実現する技術を確立します。



## 望まれる性質を設計段階で保証する幾何学的深層学習の構築

松原 崇

北海道大学 大学院情報科学研究科 教授  
大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授

人工知能システムは、安全性や信頼性のために、対称性や空間構造、因果関係、機械制御の安定性や力学系の物理法則といった、対象が持つ性質を保証する必要があります。通常の深層学習は性質を満たすことを保証できず、演繹的に設計された数理モデルはデータへの定量的な適合性に限界がある。深層学習が近似する関数空間を幾何学的な知見に基づき設計することで、性質の保証と柔軟な学習を両立させることを目指す。



## リスク・アウェア制御理論の構築とその展開

岸田 昌子

情報・システム機構 国立情報学研究所 准教授  
同上

セーフティ・クリティカルな動的システムの自動化が加速しており、多様な不確実性下でも高い信頼性を有する制御設計が必須です。しかし既存の制御理論は、不確実性への対処はある程度可能であるものの、稀な重大事故による損失を適切に考慮することはできません。本研究では、テール・リスクを定量化して制御設計に反映させることで損失を最小限に抑え、信頼性と安全性を確保するリスク・アウェア制御理論を構築します。



## 情報理論を用いた不確実性に関する学習理論の展開

二見 太

大阪大学 大学院基礎工学研究科 講師  
日本電産(株) コミュニケーション科学基礎研究所 研究員

情報理論および PAC ベイズ理論の融合により、具体的なアルゴリズムに依存して、深層ベイズ推論の予測能力と統計的不確実性を同時に評価できる新しい非漸近論的な学習理論の構築を目指します。またそれを活用することで、ユーザーのデータに対する仮定に柔軟に合わせて、不確実性の評価が可能な新しい深層ベイズのアルゴリズムやモデルを開発します。



## 意思決定を支援する言語と非言語の論理関係認識

谷中 瞳

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
東京大学 大学院情報理工学系研究科 講師

意思決定に必要なエビデンスはテキスト上にあるとは限らず、図表などの非テキストの情報をテキストに紐づける必要があります。本研究では、論理と機械学習のアプローチを組み合わせ、人の意思決定を支援する言語と非言語の論理関係認識システムの実現を目指します。言語と非言語の意味を統一的に表し、論理関係を高度かつ高速に推論する手法を構築します。また、人が解釈しやすい形式で推論過程を出力するシステムを目指します。



## シーンのプライバシーを自動保護する深層空間モデリング

櫻田 健

京都大学 大学院情報科学研究科 准教授  
産業技術総合研究所 人工知能研究センター 主任研究員

カメラやレーザー等のセンサの種類に依存しない統一的な空間モデリング手法の構築と、その空間モデルに含まれるシーンのプライバシーやコンテンツを保護するための自動編集機能を実現します。本技術により、これまで難しかった空間モデルの公開と共有（オープンデータ化）を円滑に進め、自動運転やサービスロボット、XR など空間データ基盤に基づく産業を後押しすることを目指します。



## 脳の計算原理とプレイデータに基づく実世界ロボット学習

村田 真悟

慶應義塾大学 理工学部 准教授  
慶應義塾大学 理工学部 専任講師

人間の認知発達過程を参考にし、実世界環境におけるロボット学習を実現するために必要な計算原理とデータ取得法の確立を目指します。脳の情報理論として有力視されている自由エネルギー原理に基づく深層生成モデルを構築し、ロボットに実装します。効率性と多様性を備えたロボットのプレイデータを取得することで自己教師あり学習を行い、想定外の状況に対する適応能力や、未経験の目標に対する計画能力について検証します。



## 化学的知見を生かした転送性の高い特徴量の抽出と利用

横川 大輔

東京大学 大学院総合文化研究科 准教授  
同上

化学における機械学習は、有機化学における反応予測や無機化学における材料設計など、シングルタスクであるものがほとんどであり、構築した学習モデルを他の課題に転用することは困難です。そこで本研究では、化学における転送性の高い特徴量の抽出を機械学習により実現することで、化学者のようにマルチタスクで様々な化学現象に挑戦できる機械学習モデルの構築を目指します。



## 脳型アナログ演算を支える数理モデリング

酒見 悠介

千葉工業大学 数理工学研究センター 上席研究員  
同上

脳型ハードウェアは高いエネルギー効率と高い情報処理能力を両立する次世代コンピュータです。しかし、回路素子の非理想的特性やばらつき特性などのアナログ回路特有の問題により動作信頼性は低く、実用化は困難です。本研究課題では、脳の知見とデータ駆動モデリング技術を活用することで、デバイス・回路・アルゴリズムを融合した設計を可能にし、それにより高い信頼性で動作可能な脳型ハードウェアの構築を目指します。



## 品質保証と説明の両立による信頼できる AI の構築技術

和賀 正樹

京都大学 大学院情報科学研究科 助教  
同上

AI システムを信頼できるようにするためには、安全性、公平性、頑健性などの、システムの「正しさ」の保証とその説明が必要となります。本研究では AI システムの動作を説明する近似数理モデルの自動導出と、導出された数理モデルの数学的証明による正しさの保証を組み合わせることで、「正しさ」の保証と説明を両立する、信頼できる AI システムのための基盤技術を開発し、プロトタイプツールの実装を目指します。



# 数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-4.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-4.html)

戦略目標

数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開



研究総括  
坂上 貴之  
京都大学 大学院理学研究科 教授



## 領域アドバイザー

荒井 迅	東京科学大学 情報理工学院 教授
岩田 寛	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
落合 啓之	九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授
楠岡 成雄	東京大学 名誉教授
小磯 深幸	九州大学 名誉教授
平田 典子	日本大学 理工学部 特任教授
佐古 和恵	早稲田大学 理工学術院 教授
徳山 豪	関西学院大学 工学部 教授
福水 健次	情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授
三好 建正	理化学研究所 計算科学研究センター チームリーダー

## 領域運営アドバイザー

大田 佳宏	Arithmer(株) 代表取締役社長兼CEO/ 東京大学大学院 特任教授
-------	--

## 研究領域概要

次世代の社会では抽象的な概念や論理構造、曖昧な知覚や経験などが、広義の情報として科学的・社会的・経済的な価値を有するようになると言われていました。こうした社会の実現に向けて、数学・数理科学と情報科学が連携・融合し、様々な科学技術分野や産業界における諸課題および膨大なデータなどから、新しい数学的概念や数理構造を抽出し、それを情報化して利活用するアプローチが不可欠となっています。また、プロセスの記述による演繹的アプローチと大量データの活用による帰納的アプローチの双方の数理モデリング手法を高度に発展させ、また相補的に活用する数理的手法の創出を通じて、実社会における情報利活用の高度化・加速も期待されています。

本研究領域では、様々な対象に潜む数理構造や数学的概念を新たな「情報」として抽出し、それを次世代の社会の価値として利活用することで、私たちの認知能力を拡大し、次世代の社会や科学技術・産業の形成につなげるような情報活用基盤の創出を目指します。特に、数学・数理科学、情報科学の各分野の強みを活かしながら、領域として両分野の独立した研究者が連携・相補的に融合することにより、この目標達成を見据えた革新的な数理構造や数学的概念の提唱、その理論の構築、および、その情報化手法の研究・開発を推進します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能 / ビッグデータ / IoT / サイバーセキュリティ統合プロジェクト (AIP プロジェクト) の一環として運営します。

## 生命ダイナミクスのための流体数理活用基盤

石本 健太

京都大学 数理解析研究所 准教授  
 東京大学 大学院数理科学研究科 特任助教



質・量ともに限られた細胞スケールの生命現象の画像データに対して、流体方程式の構造に起因する「ながれ」と「かたち」の間の関係性を利用した数理活用基盤の構築を目指します。内部流れ・外部流れ・中間流れの全ての基礎的な流れの問題に対して、実験データの取得から、流体数値計算技術の開発、データ利用法の構築、およびその背後にある基礎数理の探求を一貫して行います。

## 文字列学的手法によるシークンシャルデータ解析

稲永 俊介

九州大学 大学院システム情報科学研究科 准教授  
 同上



M2M 通信等によって半自動生成される大規模データのほとんどはシークンシャルデータとみなすことができます。本研究では、リアルタイム処理でストレスフリーに動作し、安価なデバイスにも実装可能で、かつ安全に利用できる多様シークンシャルデータ解析プラットフォームの構築を目指します。文字列組合せの高度理論、最先端文字列処理アルゴリズム技術、暗号・セキュリティ技術を有機的に融合させることで、目標を達成します。

## パーシステントホモロジーによる位相高次構造抽出手法開発

大林 一平

岡山大学 サイバーフィジカル情報応用研究コア 教授  
 理化学研究所 革新知能統合研究センター 研究員



パーシステントホモロジー (PH) を基盤としたデータ解析の革新的発展のため、PH 上の機械学習、PH 上の最適化問題、粗視化 PH といった基盤理論とそのソフトウェアの開発を行い、それらを統合して PH による革新的なトポロジカル高次構造抽出フレームワークの構築を目指します。パーシステントホモロジーの数学、最適化や機械学習のような計算機科学、そしてそれらの理論的結果のソフトウェアによる実現が鍵となります。

## 「観測の価値」を最大化するデータ同化・予測手法の開発

小槻 峻司

千葉大学 国際高等研究基幹 教授  
 理化学研究所 計算科学研究センター 研究員



データ同化は、プロセス駆動型モデルと観測データを最適に繋ぐ学際的科学です。天気予報分野で発展してきたデータ同化は、情報抽出限界や多様な計測データの活用限界により観測ビッグデータを最大限に利用するための課題が残っています。本研究は、観測インパクト推定による「観測の価値」や数理構造等の情報特徴量を高度利用する新しいデータ同化・予測手法を開拓し、天気予報での実証実験や新分野への発展を達成します。

## イベント情報を活用する高精度時系列モデリング技術の構築

小林 亮太

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 准教授  
 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教



社会・Web・生物など多様なシステムから時系列が得られるようになり、時系列の活用はますます重要性になりつつあります。その一方、時間を無視して機械学習を適用するアプローチが主流であり、時間情報の活用は十分に進んでいないのが現状です。本研究では、非定常性、非線形性、部分観測性などの困難を克服することにより、社会や脳から得られた時系列から高精度な数理モデルを構築する技術を開発します。

## データ駆動型クープマン作用素による非線形力学系の解析と設計

薄 良彦

京都大学 大学院工学研究科電気工学専攻 准教授  
 大阪府立大学 大学院工学研究科 准教授



エネルギー、環境など様々な社会的課題の解決には、対象となる複雑現象を解析し理解すると同時に、解決に必要な機能を有するシステムを設計することが求められます。本研究では、この解析・設計に関する数学的基盤として非線形力学系に対するクープマン作用素に着目し、クープマン作用素のスペクトル構造を作用素論や関数論等の方法により特徴付けた上で、この構造に基づいてデータから解析・設計を行う方法論を開発します。

## 自己組織化による構造折紙パターンの創生

舘 知宏

東京大学 大学院総合文化研究科 教授  
 東京大学 大学院総合文化研究科 准教授



本研究では、多様な動的機能を持つ構造的折り紙パターンを新規に創出します。パターンの自己組織化プロセスを直観的に操作することで、背後にある数理構造にアクセス可能とするシステムを構築します。立体形状と構造性能に潜む数理構造や数学的概念を抽出し、構造的折り紙パターンを設計可能とすることで、諸科学・工学分野への応用の道を開拓します。

## 深層学習の潜在的な正則構造の理解に基づく学習法の安定化と高速化

二反田 篤史

九州工業大学 大学院情報工学研究科 准教授  
 東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教



深層学習モデルの膨大な学習コストを低減し、その適用ドメインを飛躍的に拡大する事を目標とします。具体的には、深層学習における最大の謎である学習法の大域収束性と汎化誤差担保の為に、学習法が備える潜在的な正則構造発見能力の正体について解明を試みます。更に、究明した正則構造と大域収束の為にネットワーク構造の十分条件を陽に利用した安定的学習法及びネットワーク構造学習法の開発に取り組みます。

## 離散幾何学が拓く計算系統学の新展開

早水 桃子

早稲田大学 理工学術院 准教授  
 情報・システム研究機構 統計数理研究所 助教



距離（非類似度）の情報からグラフ構造を解き明かしたいという問題意識は、科学の諸分野のデータ解析に見られるもので、例えば DNA の配列の違いから系統樹や系統ネットワークを推定する問題と密接に関連しています。本研究では、トポロジー、最適化、数え上げ・列挙などの多様な数理科学的視点により「離散幾何学的モデリング」の新しい問題を提起し、それらへの挑戦により計算系統学の新展開を目指します。

## 新しい凸性に基づくアルゴリズムと最適化理論

平井 広志

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
 同上



従来のユークリッド空間上の凸性に基づく連続・離散最適化の枠組みを乗り越えて、CAT(0)空間といった非正曲率距離空間の凸性に基づく新しい連続・離散最適化理論、および計算複雑度・アルゴリズム論を展開し、数学・数理論理学・情報科学諸分野へと横断的に活用します。

## 最適化アルゴリズムの平均感度解析

吉田 悠一

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 教授  
 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 准教授



最適化アルゴリズムは意思決定や知識発見の道具として広く用いられています。しかし実用では得られた入力データが現実を正確に反映しているとは限りません。そこで本研究では平均感度の低いアルゴリズム、即ち入力ランダムに少し変化しても出力が大きく変化しないアルゴリズムを構築し、これにより得られた出力が、その後の意思決定や知識発見に安心して使えるようになり事を目指します。

## 多重解像度の細胞分化構造解析システムの確立

井元 佑介

京都大学 高等研究院 特定准教授  
 京都大学 高等研究院 特定助教



近年の遺伝子解析技術の急速な発展によって、様々な遺伝情報がデータ化され、そのデータ解析によって生命の設計原理が解明されつつあります。本研究では、高次元統計解析・統計的因果探索・トポロジー・力学系などの数学理論を多角的に利用して、遺伝子発現データから細胞集団・単一細胞の多重解像度の細胞分化構造を抽出する解析システムを新たに開発することで、生命の設計原理の解明に迫ります。

## 統計解析プログラムのための形式検証手法

川本 裕輔

産業技術総合研究所 情報・人工知能 主任研究員  
 同上



プログラムが意図どおりに動作することを数理的に厳密に検証する手法として形式検証手法が研究されており、様々なソフトウェアの検証に利用されてきました。本研究では、統計解析プログラムの正しさを数理的に厳密に検証するための形式検証手法を構築します。特に、統計解析プログラムの自動検証技術を開発し、統計解析プログラムの信頼性を高めることを目指します。

## 最適点配置問題に内在する近似的凸構造の探求と活用

田中 健一郎

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
 同上



ユークリッド空間内の領域に有限個の点を「最もバランス良く」配置する問題は、数学・物理・情報などの分野で解決が求められています。この問題に対しては様々な最適化手法が多くの場合に考案されていますが、一般的な解法や理論が確立されているとは言えません。本研究では、これらの手法に対して数学的な基礎付けを行い、さらにそれらを統合する「近似的凸性」という統一の視点を見出し、最良点配置の理論と算法を確立します。

## メタな視点に基づく計算量理論の新展開

平原 秀一

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 准教授  
 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教



メタ計算量とは、計算量を問う問題の計算量（=問題を解くために必要な計算時間などの資源）のことを言います。例えば、回路最小化問題や時間制限付きコルモゴロフ記述量を計算する問題の計算量がその例です。近年、計算量理論においてメタ計算量の研究が国際的に進展し、重要性が認識されてきました。本研究では計算量理論をメタな視点で統一的に見直すことにより、計算量理論の難問に進展を与えることを目指します。

## 乗法群スパースモデリングによる幾何変換場のモデル化

船富 卓哉

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所 准教授  
同上



ベクトル場に局所構造を含めた「幾何変換場」を対象として、主要な因子を抽出するスパースモデリング技術および解析結果の可視化技術を開発します。幾何変換には乗法のみが許され、加法による演算は意味を成さないため、加法に基づいて定式化された従来の解析技術をそのまま適用するべきではありません。幾何変換が持つ群としての特性を活かすため、演算を乗法だけに制約したスパースモデリングの定式化を目指します。

## 協同的デジタル知識空間の評価指標の確立

小串 典子

明治学院大学 情報数理学部情報数理学科 准教授  
大阪大学 数理・データ科学教育研究センター 特任助教



Wikipediaのような自由参加の参加者と生成されるコンテンツという多様な要素が自己組織的に構造化した集合知においては、情報の価値や質は選ばれた専門家のみが関わる従来の辞書のように保証されません。本研究では、データ解析と数理モデルの双方を用いて自己組織的に構造化した集合知が持つ複雑な構造やその特徴を明らかにし、Wikipediaに代表される協同的デジタル知識空間の評価指標の確立を目指します。

## 組合せ計算幾何学の新展開

谷川 眞一

東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授  
同上



リンクージュやロボット等の動作計画や、より一般に幾何制約システムの自由度解析など、計算幾何学の諸問題に現れる代数方程式系に対し、その解空間の一般的な性質を考察する。マトロイドや劣モジュラ関数などの組合せ論・離散最適化の技術を軸に、方程式系が有する組合せ構造の意味で幾何的性質の特徴付けを行い、解釈可能なアルゴリズムの設計基盤となる組合せ計算幾何学を展開する。

## 生命現象の定性的理解を支援するデータ解析技術の創出

前原 一満

九州大学 生体防衛医学研究所 助教  
同上



本研究では、組合せ論的ホッジ分解をコア技術として、大規模なデータの背後に潜む定性的知識を獲得するためのデータ解析フレームワークを創出します。分子から細胞・組織スケールの複雑な生命システムを背景とする大規模計測データから、流れの構造を通じた対象の定性的理解、すなわち人間に馴染みやすい概念の獲得を目指します。

## マルチエージェント環境におけるモデリングとアルゴリズム

河瀬 康志

東京大学 大学院情報理工学系研究科 特任准教授  
同上



マルチエージェント環境における基本的な問題である安定マッチング問題、公平割当問題、複数財オークション問題などに対し、解の品質の理論保証・高速計算・戦略的な問題を同時に解決するようなアルゴリズムの設計を行う。そこで得られた知見を元に、マルチエージェント環境におけるモデリング手法とアルゴリズム設計手法の基盤技術を構築する。

## 確率統計情報を活用する数理モデルベース適応学習制御

細江 陽平

京都大学 大学院工学研究科 講師  
同上



モデルベース制御では数理モデルの良し悪しが制御性能に直結しますが、対象によっては十分精度のよいモデルを得られないことがあります。本研究では、事前および事後情報に基づいてモデルの未知部分を確率過程の分布として補充し、その結果を制御に活かすことを可能にする理論と技術を開発します。これにより、さまざまな対象の自動化に関する社会的課題の解決への礎を築くことを目指します。

## 逆問題の級数的手法による近赤外イメージング

町田 学

近畿大学 工学部 准教授  
浜松医科大学 先端医療教育研究センター 認定講師



近赤外イメージングは被曝の心配なく簡便な装置で計測できる技術として、医学はもちろんです。理学・工学の様々な分野での活躍が期待されています。しかし、そこに現れるのは非線形で非常に非適切な逆問題です。本研究ではこの逆問題に対し、輻射輸送方程式を用いた高精度化と逆級数を用いた高速化で挑みます。さらに継続計測における計測間の時系列に着目し、情報科学と融合した新たなデータ駆動型アプローチを構築します。

## 対称性を用いた深層学習とそれに繋がる不変式論の研究

三内 顕義

京都大学 理学研究科 特任准教授  
理学研究所 革新知能統合研究センター 研究員



現在レイノルズ作用素を用いて構成することができた同変深層ニューラルネットワークモデルを不変深層ニューラルネットワークの枠組みに適用しようとしている。その際に必要な数学的枠組みであるレイノルズ次元、レイノルズデザインなどの理論を進展させ、数学と情報の両面からアプローチすることで不変深層ニューラルネットワークモデルを構成する。

## 量子インスパイア機械学習で切り拓く超高次元脳・行動データ解析

間島 慶

量子科学技術研究開発機構 量子生命科学研究所 研究員  
同上



脳信号から情報を読み出す研究（脳情報デコーディング）では、脳データに特化した機械学習法を開発することで、詳細な情報の読み出しに成功してきた。しかし近年、計測技術の発展により、データの計測点数（次元数）が増加しており、計算時間増加の問題から、従来の機械学習法が適用できない事例が生じている。本計画では、量子インスパイア計算と呼ばれる計算法によりアルゴリズムの劇的な高速化を達成し、その問題を解決する。

## 非線形表現学習による大規模ネットワーク動的機能構造の解明

森岡 博史

理学研究所 革新知能統合研究センター (AIP) 研究員  
理学研究所 革新知能統合研究センター (AIP) 特別研究員



本研究は、未だ多くの謎につつまれている大規模ネットワークに発現する様々な動的機能構造のメカニズムの解明を目的とします。そのために、新たな理論に基づく非線形ネットワークダイナミクス表現学習法を開発し、ネットワーク時系列データからの、非線形ダイナミクスと、その動的機能を駆動・制御している潜在因子のデータ駆動表現学習を実現することで挑戦します。

## 変分のおよび幾何学的手法による人工衛星と惑星探査機の軌道設計

柴山 允瑠

京都大学 大学院情報学研究科 准教授  
同上



近年、宇宙開発は脚光を浴びてきている。ロケットの軌道設計はこれまで2体問題の解を用いるか、制限3体問題の数値計算をして得られた軌道を用いるのが主だった。本研究では、数学的に高度な理論を導入するというこれまででなかったアプローチにより、斬新な軌道を構築する。

## 発展方程式の数値計算に対する不確実性定量化理論の創出

宮武 勇登

大阪大学 D3センター 准教授  
同上



発展方程式の数値計算は、現象の予測や理解に欠かせない現代科学の構成要素です。しかし、近年ではアルゴリズムや計算機の進展よりも需要の高まりが顕著であり、数値計算の信頼性を定量的に評価する手法が求められますが、そのための手法や理論は全く整備されていません。本研究では、これまでの数値解析学の知見に確率・統計の考え方を導入することで実用的な定量化手法と基礎理論を整備し、新しい研究トピックを創出します。

## マリアバン解析と深層学習による高次元偏微分方程式の新しい計算技術

山田 俊皓

一橋大学 大学院経済学研究科 教授  
一橋大学 大学院経済学研究科 准教授



研究代表者がこれまでに構成した確率微分方程式に対するマリアバン解析を用いた高次元弱近似法と深層学習の方法を融合させた高次元偏微分方程式の新しい計算技術について研究を行い、実社会や自然科学・工学の現象を記述する複雑な線形・非線形偏微分方程式モデルや大規模計算モデルに対して有益な計算法・ソリューションを提供する。

## 複雑データに内在する深層構造の理論と応用

園田 翔

理学研究所 革新知能統合研究センター 上級研究員  
理学研究所 革新知能統合研究センター 特別研究員



深層学習により、写像を深さ方向に分解する方法（深層分解）の有効性が実証されました。写像を幅方向（基底と係数）に分解する方法は情報技術に普遍的であり、調和解析によって体系付けられています。一方、深層分解の理論は未整備であり、深層学習によって得られる中間情報表現の性質はほとんど予測不能です。本研究では、深層分解の理論と方法を開発し、特に写像やデータの「深さ」を定式化して、次世代の情報技術へ展開します。

## 解釈可能AIによるパターンダイナミクスの数理構造抽出と材料情報学への応用

本武 陽一

一橋大学 大学院ソーシャル・データサイエンス研究科 准教授  
情報・システム研究機構 統計数理研究所 特任助教



多様な材料科学分野でみられるパターンダイナミクスの理解の深化は、複雑な環境下における材料の生成や破壊過程等の時間発展を予測する上で重要である。本研究課題では、相位的データ解析、深層ニューラルネットワーク、ベイズ推論などの機械学習手法を融合させることで、パターンダイナミクスの解釈可能な数理構造を抽出する手法を開発する。これにより科学者による外挿可能な一般原理の探究が促進されることが期待される。

## 選好下のマッチングが生み出す構造の 解明と活用

### 横井 優

東京科学大学 情報理工学院 准教授  
情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教



人と人、もしくは人と組織との間で、参加者の選好にもとづき効率的で公平なマッチングを計算するための理論は、近年大きく発展しています。本研究では、参加者がもつ様々な選好を表せる表現力豊かなモデルを考え、望ましいマッチングの集合がなす構造を解析します。そしてその結果を活かし、人々の戦略的な振る舞いも考慮しながら、公平性や最適性を達成するアルゴリズムの設計に取り組みます。

# IoT が拓く未来

[https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research\\_area/ongoing/bunya2019-5.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunya2019-5.html)

戦略目標

次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術



研究総括  
徳田 英幸  
情報通信研究機構 理事長

## 領域アドバイザー

板谷 聡子	情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク 総合研究センター 主任研究員
荻野 司	(一社)重要生活機器連携セキュリティ協議会 代表理事／情報セキュリティ大学院大学情報 セキュリティ研究科 客員教授
菊池 浩明	明治大学 総合数理学部 専任教授
栗原 聡	慶應義塾大学 理工学部 教授
佐古 和恵	早稲田大学 理工学術院 教授
戸辺 義人	青山学院大学 理工学部 教授
中澤 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
原 隆浩	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
東野 輝夫	京都橋大学 副学長
吉岡 克成	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授

## 研究領域概要

Society5.0 が実現された超スマート社会においては、IoT(Internet of Things) でつながった人や機器から生み出される大量かつ多様なデータを、サイバーフィジカルシステム(CPS)において、AI やビッグデータ処理などの情報科学技術により分析・活用し、インテリジェントな機器等をニーズに合わせて制御することで、機器単体では決して得られない新しい価値やサービスを創発することが期待されています。一方、IoT 機器に潜む脆弱性をつく外部からの攻撃等も危ぶまれ、高度な攻撃にも耐える IoT セキュリティやプライバシーに配慮した高度なデータ収集・流通・蓄積・解析基盤等の開発も急務です。

この超スマート社会の CPS を支えるには、カーボンニュートラルなシステム、セキュリティやプライバシー保護をデザイン時点から組み込んだデータエコシステムの実現などが重要です。特に、日本が世界をリードするためには、この急速に進展する IoT 環境の戦略的活用を支援する基盤技術の研究開発を加速することが必須です。

本研究領域は、超スマート社会の実現を見据え、従来技術の単純な延長では得られない、質的にも量的にも進化した次世代 IoT 技術の基盤構築を目指します。例えば、IoT 機器から得られる多種大量のデータをリアルタイムに統合・分散処理する技術、IoT 環境における機能・性能・実装の課題を飛躍的に解決する要素技術、IoT 機器の脆弱性、データ保全性等の課題を根本的に解決するセキュリティ技術やプライバシー強化技術等を対象として、大胆な発想に基づいた挑戦的な研究を推進します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト(AIP プロジェクト)の一環として運営します。

## 超高速IoTビッグデータ解析のための分散アルゴリズム基盤

天方 大地

大阪大学 大学院情報科学研究科 助教  
同上



ビッグデータを処理する技術は増々重要となっていますが、これを高速に解析する技術は十分に開発・実装されていません。本研究では、多種大量なIoTデバイスによって生成されるIoTビッグデータを超高速に解析するための分散アルゴリズム基盤を確立します。具体的には、メトリック空間に焦点を当て、多くのデータ空間および距離関数に対応でき、かつ、効率的な並列分散アルゴリズムを設計します。

## ワイヤレスセンシングによるSustainable IoT基盤開発

内山 彰

大阪大学 大学院情報科学研究科 准教授  
大阪大学 大学院情報科学研究科 助教



IoTデバイスの数が膨大となる将来社会では、充電やバッテリー交換の手間が大きな課題となります。本研究では、ヒトやモノの動きが電波に及ぼす影響を直接とらえるワイヤレスセンシングに基づく状況認識技術を確立します。具体的には、電波に影響を与えるにもかかわらずバッテリー交換不要なタグを開発し、複数のヒトやモノによる電波変動を判別するとともに、動きそのものを電波の変化に変換する新しいセンシング基盤を構築します。

## IoTワイヤレスネットワークセキュリティ

杉浦 慎哉

東京大学 生産技術研究所 准教授  
同上



本研究では、膨大なIoTデバイスによって構成される分散ネットワークのための新しいワイヤレスセキュリティ技術を提案します。IoTに求められる通信要件を満たしながら、情報理論に裏付けられたセキュリティを達成するフレームワークの研究開発に取り組みます。これにより、現状の暗号のみによるセキュリティの弱点を補完しながら、将来にわたっても安全安心な通信基盤の構築に貢献します。

## Web/IoT横断的プライバシー保護データ解析基盤

清 雄一

電気通信大学 大学院情報理工学研究所 准教授  
同上



WebやIoT技術により人々の利便性は大きく向上しています。しかし、想定していなかったデータとの思わぬ組合せや、誤差を伴うセンサーデータの存在によるプライバシー漏洩が大きな課題となっています。本研究では、プライバシーリスクを把握した上で制御でき、安全かつ高精度に機械学習や統計的データ解析を行うことのできる、Web/IoT横断的プライバシー保護データ解析基盤の研究開発に取り組みます。

## ハイパーモーダル時空間データの超スパース表現

田中 雄一

大阪大学 大学院工学研究科 教授  
東京農工大学 大学院工学研究科 准教授



サイバーフィジカルシステムを産業的・科学的・工学的に利用するために重要なのは、フィジカル空間の精緻なセンシングです。しかし、大量センサを用いても広大なフィジカル空間を時空間的に遍く覆うのは原理的に不可能なため、革新的なセンシング技術が求められています。本研究では、数千モダリティを持つビッグデータから、フィジカル空間を精緻かつ高速に再構成するための基盤技術を確立します。

## 大規模で不完全なセンサーデータに対する高速な最近傍探索

松井 勇佑

東京大学 大学院情報理工学系研究科 講師  
東京大学 生産技術研究所 助教



あらゆる環境にセンサが張り巡らされた超スマート社会において、センサが単独で知的処理を行う未来を考える。本研究では、大規模データ処理において最も基盤的な技術である「近似最近傍探索」のセンサ上での実現に取り組む。センサから得られる生データが欠損し、事前処理等でも修復できない環境においても、データ検索を可能とする基盤技術を確立する。

## 生体情報操作を活用したウェアラブルセンシング基盤の拡張

村尾 和哉

立命館大学 情報理工学部 准教授  
同上



私が懸念しているウェアラブルセンシングのセキュリティリスクは、装着者による身体及びウェアラブル機器への攻撃です。ウェアラブル機器の普及によって持続可能性を有する公平公正な社会を実現するために、ウェアラブルセンシングに対する攻撃による生体情報操作の可能性を明らかにします。また、攻撃の有効活用によってデータ圧縮や省電力センシング、新たな通信方式の提案などウェアラブルセンシング基盤の拡張を実現します。

## IoT機器の実行環境の隔離を実現するIoT基盤ソフトウェアの構築

山内 利宏

岡山大学 大学院自然科学研究科 教授  
岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授



本研究では、システムソフトウェアの観点からIoT機器単体のセキュリティを向上させる基盤技術の確立に取り組みます。具体的には、IoT機器のソフトウェア脆弱性が存在しても攻撃や攻撃の影響を無効化する手法、IoT機器の攻撃可能領域を削減するシステムソフトウェア構成法、および個々のIoT機器毎に最適化したセキュリティポリシーとアクセス制御機構の実現を目指します。

## データ品質に基づいたIoTデータの経済流通プラットフォームの構築

吉廣 卓哉

和歌山大学 システム工学部 准教授  
同上



本研究では、街中に存在する膨大な固定デバイス、スマートフォン、自動車等から常にIoTデータを集め、これを経済的に流通させるプラットフォームの実現を目指します。具体的には、IoTサービス類型毎に品質評価指標を定義し、データソース毎に観測に基づいてデータ品質を評価する手法を構築します。更に、データ品質を用いて動的にデータソースを選択し、経済流通可能なサービスを創出できる仕組みを確立します。

## 電磁材料に基づく同一周波数上での新規分散処理技術の開拓

若土 弘樹

名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授  
同上



本研究では、新しい電磁材料・波形成選メタサーフェスを活用し、異なる同一周波数電波を新概念「パルス幅」に基づいて分散処理できる基盤技術の実現を目指します。本基盤技術により、ソフト側だけでなく、材料・デバイスなどハード側においても電波を操作することが可能となるため、将来的には分散処理性能を未知のレベルまで引き上げることに貢献します。

## IoT機器の長期的な安全性確保のためのビヨンド軽量暗号の開拓

五十部 孝典

兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 教授  
兵庫県立大学 大学院応用情報科学研究科 准教授



本研究では、IoTにおけるエッジデバイスの長期的な安全性を実現するために、新しい性質や機能を持つ暗号の開発を目的とする。デバイスはコンプライマンス(物理的にアクセスされる)される前提に立ち、その場合でも秘密鍵をソフトウェアのみで保護する技術や、仮に秘密鍵の秘匿性が破られた場合においても、安全性を確保する技術の開発を行う。

## 物理空間と電脳空間を統合するための電波空間APIの実現

猿渡 俊介

大阪大学 大学院情報科学研究科 准教授  
同上



本研究では、我々が生活する物理空間とコンピュータネットワーク上の電脳空間を電波空間で接続することを目指す。具体的には、電波による通信機能、エネルギー供給機能、センシング機能を兼ね備えた電脳空間APIモジュールを実現する。電波空間APIモジュールが実現されることで、IoTの未解決課題「物理空間をセンシングして電脳空間に取り込むためのエネルギーをどうするのか?」の問題を抜本的に解決することができる。

## 超高速な多モーダルIoTデータ統合処理基盤

塩川 浩昭

筑波大学 計算科学研究センター 准教授  
同上



IoTデバイスから取得されるデータの量は増加の一途を辿っています。しかし、我々が日常的に利用可能な計算機には演算能力・メモリ容量といった厳しい時間空間的制約が存在するため、IoTビッグデータのリアルタイム分析技術は依然として十分に開発されていません。本研究ではリアルタイムかつ多モーダルなIoTデータに対して超高速な分析処理を実現する基盤技術の確立を目指します。

## 環境適応エネルギー・データ統合管理IoT基盤

新津 葵一

京都大学 大学院情報科学研究科 教授  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授



環境に適応してエネルギー・データを統合的に最適管理するための次世代IoT基盤技術を構築し、カーボンニュートラルな次世代IoT技術の実現に貢献します。環境からのエネルギー収穫可能性を自律的に判断し、データの保存・処理・暗号化などを最適に管理する技術の開発を行います。コンセプトを実集積回路デバイス上で実証し、社会受容を目指します。

## 機械学習するIoT通信ネットワーク基盤

西尾 理志

東京科学大学 工学院 准教授  
京都大学 大学院情報科学研究科 助教



本研究は、IoT-AIトラフィックの爆発的増加とデータプライバシーの課題を解決するため、IoTデータの地産地消を実現する通信とAIデータ処理が一体化したIoT基盤構築を目指す。従来型クラウドAIを用いたIoTデータ処理ではなく、IoTデータを収集するローカルNW内で分散的にAI処理することで、コアNWのトラフィック削減とリアルタイム性向上および機密情報流出の危険性を大きく低減可能なIoT基盤を創出する。

## IoT 連携基盤による先端防災ITの実現

廣井 慧

京都大学 防災研究所 准教授  
同上

本研究は、既存の優れた防災技術をフルに活用し、漸進的かつ柔軟に連携させる基盤技術を開発します。具体的には、これまでばらばらだった異なる防災技術同士の技術連携、データ連携による被害予測の高精度化、テストベッド化を達成し、数時間先の被害を詳細に予測し、かつ防災分野での新たなサービス/システム創出に貢献する新たなしくみを確立します。



2021年度採択研究者【3期生】

## 安全なデータ共有・協調型自動運転システムの開発

青木 俊介

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 助教  
同上

自動運転システムは比較的豊富な計算資源・IoT センサ群・通信資源を有している一方、現状では車両単体の安全走行のためだけにデータを用いている。本研究ではデータの安全性・信頼性を向上させ、プライバシーを保護する技術を開発することで、インフラ側 IoT 機器・周辺の車両・遠隔の一般ユーザとデータを共有・協調する機構を実現し、自動運転システムと都市 IoT 基盤システムの融合を目指す。



## Control and Adaptation with Provable Safety and Resilience Inspired from the Human Sensorimotor System

仲平 依恵

カースゲーメロン大学 電気計算機研究科 助教  
トクモトテクノロジズ株式会社(電気計測工務) 総務

本研究では、より安全でレジリエントな制御・適応学習手法を提案します。障害物回避、ロバスト性、耐障害性、適応性を数学的に同時保証する手法を開発します。また、限界性能や性能間のトレードオフを改善するために、ヒトの感覚運動制御系が汎用している Diversity-enabled Sweet Spots を做う手法を構築します。これらの手法は、将来的に、自動運転の信頼性向上などに貢献することが期待されます。



## 測域センサを搭載した複数UAVによる共通IoT センシング基盤

廣森 聡仁

大阪大学 サイバーメディアセンター 准教授  
大阪大学 経営企画オフィス 准教授

街の日常的な状況を把握するだけでなく、災害の被害状況や規模を迅速に把握するために、測域センサを搭載した複数の UAV が協調することにより、対象とする領域を効率よく巡回するための巡回戦略、測域センサにより計測された点群データを UAV に搭載された小型計算機上のみで形状把握する手法を考案し、街中における様々な人やモノの存在及びその形状を、高精度な三次元マップとして把握可能なセンシング基盤を構築する。



## An Accessibility Assessment Toolkit for Inclusive IoT Design using Onbody Sensing

カイ クンツェ

慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 教授  
同上

インクルーシブデザイン (ID) とアクセシビリティ (AY) は国連の「持続可能な開発目標」でも中核となるコンセプトです。「標準ユーザ」に該当しない様々な人に貢献し得る IoT ですが、AY は個々のサービス開発者に任せられ共通仕様等がないのが現状です。本研究では動的システム設定を可能にする IoT 用 ID アーキテクチャ構築に向け、装着型センサを用いユーザ視点で IoT の AY を評価するツールキットを開発します。



## データ量低減による持続可能なIoT

中山 悠

東京農工大学 大学院工学研究科 准教授  
同上

5G などのネットワークや AI 技術の進歩を背景に、IoT デバイスは増加し続け、デジタルデータは爆発的な増大を続けています。昨今のトレンドである大量データの収集・処理では、設備コストや消費電力の増大、ユーザのプライバシーなどが課題になります。本研究は、データ処理と通信との融合的なアプローチにより、データサイズやその時空間密度の低減などを実現し、持続可能な IoT を目指すものです。



## タッチIoT：触れるインターネット実現のための肌感覚受信機の開発

Ho Anhvan

北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授  
同上

本提案研究では 視覚による汎用的な触覚検知装置を人間とのインターフェースとして、触覚の Big Data のリアルタイムの取得方法・伝送方法と、それによる AI を活かした人間と Cyber-Physical System (CPS) 環境との新たな価値を創出する研究を実施します。



## IoT セキュリティのための機械学習の自動カスタマイズ技術

白川 真一

横浜国立大学 大学院環境情報研究科 教授  
横浜国立大学 大学院環境情報研究科 准教授

IoT 技術への期待は大きくなっており、IoT 機器の脆弱性を突いたサイバー攻撃も増加しており、IoT セキュリティの高度化は急務である。本研究では、IoT 機器の種類や用途に合わせて特徴量やモデル構造を自動カスタマイズする技術によって機械学習を用いた IoT セキュリティの高度化を目指す。特に、複数の IoT 機器で観測されるデータを連携利用することで、効率的な機械学習の自動カスタマイズ基盤技術を開発する。



## ヒアラブルコンピューティングにおけるセキュリティ基盤の確立

渡邊 拓貴

公立こがで未来大学 システム情報科学部 准教授  
北海道大学 大学院情報科学研究科 助教

イヤホン型コンピュータ (ヒアラブルデバイス) を常時装着する社会では、ユーザはヒアラブルデバイスを通して常に情報を得て、それを元に行動することになります。従って、ヒアラブルデバイスへの攻撃によるユーザの行動操作や、常時情報提示によるユーザの聴覚特性変化等の脅威が考えられます。本研究では、ヒアラブルデバイス常時装着環境の脅威を解明し、対策技術を開発することで、ヒアラブルセキュリティ基盤を確立します。



## 人の知覚を用いた参加型IoT センサ調整基盤の創出

松田 裕貴

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 助教  
同上

IoT が都市の至る所に設置される未来のスマートシティでは、データに基づく様々なサービスが日常生活をより豊かにするでしょう。その実現には、センサデータを統合し私達の「感覚」に寄り添った情報を取り出すための持続可能な基盤が必要となります。本研究では都市 IoT センサを「人々の知覚」によって調整することで、種類・精度の異なるセンサデータを統合する「ユーザ参加型 IoT センサ調整基盤」の創出を目指します。



## 医工スパイラル連携を促進する医療検査システム設計支援基盤の構築

杉浦 裕太

慶應義塾大学 理工学部 准教授  
同上

本研究は、情報学と医学の融合によるアウトカム創出を目指す。整形外科疾患に着目し、この疾患推定の原理解明と、多種多様な検査システムを開発する。このアウトカム創出に向けて、本研究では、医療検査システム設計支援基盤を構築する。これにより、地域や国の格差を考慮した医療検査方法を確立できる。また、日常環境での疾患推定は、疾患の重症化の予防につながる。



## 高性能ストリームデータ圧縮技術の開発

山際 伸一

筑波大学 システム情報系 准教授  
同上

従来のデータ圧縮技術では対応できない、IoT 機器に特有のデータストリームを、メモリへの一時的保存や処理のストリームなしに連続的に圧縮・復号化出来るストリームデータ圧縮技術を開発する。可変長圧縮に加え、ユニバーサルな圧縮技法を開発し、ハードウェアとしてコンパクトに実装できるアーキテクチャを開発する。ハードウェア化されたプロトタイプを元に、IoT 機器の通信や計算性能を向上させると共に、省電力化を狙う。



## 匿名センシングデータの人・モノ・動作の特性への因子分解

豊浦 正広

山梨大学 大学院総合研究部 教授  
山梨大学 大学院総合研究部 准教授

世界で個人特定情報の取得を許容しない流れは強まる方向にあります。本研究では、顔画像や個人照合を伴わない匿名センシングデータからでも、高精度な動作認識と同じ人によるデータの追跡の実現を目指します。センシングデータを人・モノ・動作の特性へと因子分解することで、互いの影響を排除して認識できるようにします。研究の実現によって、高度なデータ収集・流通・蓄積・解析が可能な匿名ビッグデータの構築に貢献します。



# さきがけ 研究終了

領域85領域 2622課題

キーワード	研究領域名	研究総括・副研究総括	発足年度	終了年度	課題数
革新的コンピューティング	革新的コンピューティング技術の開拓	井上 弘士	2018年	2023年	30
トポロジ	トポロジカル材料科学と革新的機能創出	村上 修一	2018年	2023年	32
量子生体	量子技術を適用した生命科学基盤の創出	瀬藤 光利	2017年	2022年	36
微粒子	生体における微粒子の機能と制御	中野 明彦	2017年	2022年	33
熱制御	熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御	花村 克悟	2017年	2022年	26
人とインタラクション	人とインタラクションの未来	暦本 純一	2017年	2022年	30
光操作	生命機能メカニズム解明のための光操作技術	七田 芳則	2016年	2022年	36
量子機能	量子の状態制御と機能化	伊藤 公平	2016年	2022年	28
情報計測	計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用	雨宮 慶幸・北川 源四郎	2016年	2021年	31
社会デザイン	新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出	黒橋 禎夫	2016年	2021年	32
微小エネルギー	微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出 (CREST・さきがけ複合領域)	谷口 研二・秋永 広幸	2015年	2021年	27
フィールド植物制御	フィールドにおける植物の生命現象の制御に向けた次世代基盤技術の創出	岡田 清孝	2015年	2021年	32
光極限	光の極限制御・積極利用と新分野開拓	植田 憲一	2015年	2021年	36
革新的触媒	革新的触媒の科学と創製	北川 宏	2015年	2021年	29
マテリアルズインフォ	理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築	常行 真司	2015年	2021年	41
情報協働栽培	情報科学との協働による革新的な農産物栽培手法を実現するための技術基盤の創出	二宮 正士	2015年	2021年	18
社会情報基盤	社会と調和した情報基盤技術の構築	安浦 寛人	2014年	2020年	30
1細胞解析	統合1細胞解析のための革新的技術基盤	浜地 格	2014年	2019年	39
数学協働	社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働	國府 寛司	2014年	2019年	31
エネルギーキャリア	再生可能エネルギーからのエネルギーキャリアの製造とその利用のための革新的基盤技術の創出	江口 浩一	2013年	2018年	12
疾患代謝	疾患における代謝産物の解析および代謝制御に基づく革新的医療基盤技術の創出	小田 吉哉	2013年	2018年	15
ナノエレクトロニクス	素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成	桜井 貴康・横山 直樹	2013年	2018年	34
超空間制御	超空間制御と革新的機能創成	黒田 一幸	2013年	2018年	38
ビッグデータ	ビッグデータ統合活用のための次世代基盤技術の創出・体系化	喜連川 優・柴山 悦哉	2013年	2018年	17
恒常性	生体における動的恒常性維持・変容機構の解明と制御	春日 雅人	2012年	2017年	41
構造生命科学	ライフサイエンスの革新を目指した構造生命科学と先端的基盤技術	若槻 壮市	2012年	2017年	33
分子技術	分子技術と新機能創出	加藤 隆史	2012年	2017年	43
相界面	エネルギー高効率利用と相界面	花村 克悟	2011年	2017年	32
CO <sub>2</sub> 資源化	二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出	磯貝 彰	2011年	2017年	31
細胞構成	細胞機能の構成的な理解と制御	上田 泰己	2011年	2017年	39
慢性炎症	炎症の慢性化機構の解明と制御	高津 聖志	2010年	2016年	37
元素戦略	新物質科学と元素戦略	細野 秀雄	2010年	2016年	34
太陽光	太陽光と光電変換機能	早瀬 修二	2009年	2016年	36
物質変換	光エネルギーと物質変換	井上 晴夫	2009年	2016年	39
脳神経回路	脳神経回路の形成・動作と制御	村上 富士夫	2009年	2016年	45
情報環境	情報環境と人	石田 亨	2009年	2016年	36
iPS	iPS細胞と生命機能	西川 伸一	2008年	2016年	30
知の創生	知の創生と情報社会	中島 秀之	2008年	2016年	30
藻類バイオエネルギー	藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出	松永 是	2010年	2015年	28
エビジェネティクス	エビジェネティクスの制御と生命機能	向井 常博	2009年	2015年	40
脳情報	脳情報の解読と制御	川人 光男	2008年	2015年	37
ナノシステム	ナノシステムと機能創発	長田 義仁	2008年	2015年	40
光の利用	光の利用と物質材料・生命機能	増原 宏	2008年	2014年	40
生命モデル	生命現象の革新モデルと展開	重定 南奈子	2007年	2013年	35
次世代デバイス	革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス	佐藤 勝昭	2007年	2012年	33
数学	数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索	西浦 廉政	2007年	2012年	31
界面	界面の構造と制御	川合 真紀	2006年	2012年	34
生命システム	生命システムの動作原理と基盤技術	中西 重忠	2006年	2012年	38

キーワード	研究領域名	研究総括・副研究総括	発足年度	終了年度	課題数
RNA	RNAと生体機能	野本 明男	2006年	2011年	29
ナノ製造	ナノ製造技術の探索と展開	横山 直樹	2006年	2011年	29
光作用	物質と光作用	筒井 哲夫	2006年	2011年	28
代謝	代謝と機能制御	西島 正弘	2005年	2010年	33
光創成	光の創成・操作と展開	伊藤 弘昌	2005年	2010年	24
構造制御	構造制御と機能	岡本 佳男	2005年	2010年	37
生命現象	生命現象と計測分析	森島 績	2005年	2010年	32
構造機能	構造機能と計測分析	寺部 茂	2004年	2010年	40
デジタルメディア	デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	原島 博	2004年	2009年	16
量子と情報	量子と情報	細谷 暁夫	2003年	2008年	15
シミュレーション	シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築	土居 範久	2002年	2007年	17
ナノテック融合	情報、バイオ、環境とナノテクノロジーの融合による革新的技術の創製	潮田 資勝	2002年	2007年	24
生体分子	生体分子の形と機能	郷 信広	2001年	2006年	23
情報と細胞機能	情報と細胞機能	関谷 剛男	2001年	2006年	32
情報基盤と利用環境	情報基盤と利用環境	富田 眞治	2001年	2006年	17
ナノと物性	ナノと物性	神谷 武志	2001年	2006年	28
生体と制御	生体と制御	竹田 美文	2001年	2006年	22
光と制御	光と制御	花村 榮一	2001年	2006年	22
合成と制御	合成と制御	村井 眞二	2001年	2006年	28
認識と形成	認識と形成	江口 吾朗	2000年	2005年	33
秩序と物性	秩序と物性	曾我 直弘	2000年	2005年	28
相互作用と賢さ	相互作用と賢さ	原島 文雄	2000年	2005年	20
機能と構成	機能と構成	片山 卓也	2000年	2005年	20
協調と制御	協調と制御	沢田 康次	2000年	2005年	27
タイムシグナルと制御	タイムシグナルと制御	永井 克孝	2000年	2005年	39
変換と制御	変換と制御	合志 陽一	2000年	2005年	30
組織化と機能	組織化と機能	国武 豊喜	1999年	2004年	31
情報と知	情報と知	安西 祐一郎	1997年	2003年	44
形とはたらき	形とはたらき	丸山 工作	1997年	2002年	38
状態と変革	状態と変革	国府田 隆夫	1997年	2002年	38
素過程と連携	素過程と連携	大嶋 泰治	1997年	2002年	38
遺伝と変化	遺伝と変化	豊島 久真男	1994年	1999年	31
知と構成	知と構成	鈴木 良次	1994年	1999年	31
場と反応	場と反応	吉森 昭夫	1994年	1996年	31
構造と機能物性	構造と機能物性	高良 和武	1991年	1996年	24
光と物質	光と物質	本多 健一	1991年	1996年	24
細胞と情報	細胞と情報	大沢 文夫	1991年	1996年	24

※終了年度は延長を含めた最後の課題の終了年度を表しています。



**国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略研究推進部**

〒102-0076 東京都千代田区五番町7K's五番町  
TEL/03-3512-3526 FAX/03-3222-2066  
e-mail: presto@jst.go.jp  
事業URL: <https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/>  
X: [https://twitter.com/jst\\_kisokenkyu](https://twitter.com/jst_kisokenkyu)  
note: [https://note.com/jst\\_kisokenkyu](https://note.com/jst_kisokenkyu)



**JSTはダイバーシティを推進しています**

<https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/nadeshiko/>

