

# 戦略的創造研究推進事業 —チーム型研究(CREST)—

## 「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」

(2018年度～2025年度)

### 研究領域 中間評価

研究総括: 上田 正仁

2023年2月7日(火)

# 報告内容

---

## 1. 研究領域の概要

- 1) 戦略目標、領域概要
- 2) 研究総括のねらい
- 3) 領域アドバイザー

## 2. 研究領域の運営

- 1) 研究課題の選考
- 2) 研究課題のマネジメント

## 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 4. 総合所見

# 報告内容

---

## 1. 研究領域の概要

- 1) 戦略目標、領域概要
- 2) 研究総括のねらい
- 3) 領域アドバイザー

## 2. 研究領域の運営

- 1) 研究課題の選考
- 2) 研究課題のマネジメント

## 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 4. 総合所見

# 1. 研究領域の概要 — 1) 戦略目標

## 2018年度 戦略目標 「トポロジカル材料科学の構築による 革新的材料・デバイスの創出」

### 達成目標

“トポロジー”の概念で特徴づけられる全く新しい物性の創出を目指し、基礎学理からシーズ育成研究、応用研究までを数学理論の概念を通して統合し、新たな機能を持つトポロジカル材料の開発や小型化、高速化、低消費電力化、耐傷・伸縮性向上などに資する革新的材料及びデバイスの創出を目指す。具体的には、デバイス創出に関しては企業による実用化を志向した研究開発への着手を目指せるよう産業界等とも連携し、以下の達成を目指す。

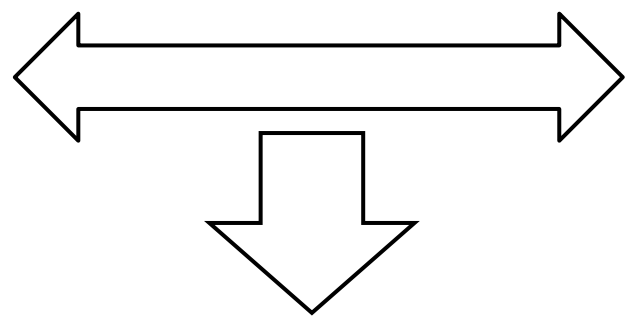
- トポロジカル材料科学の理論体系の構築
- トポロジカル材料の設計、創製、計測・評価技術の創出
- トポロジカル材料を応用した革新的デバイスの創出

# 1. 研究領域の概要 — 1) 領域概要

## CREST「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」

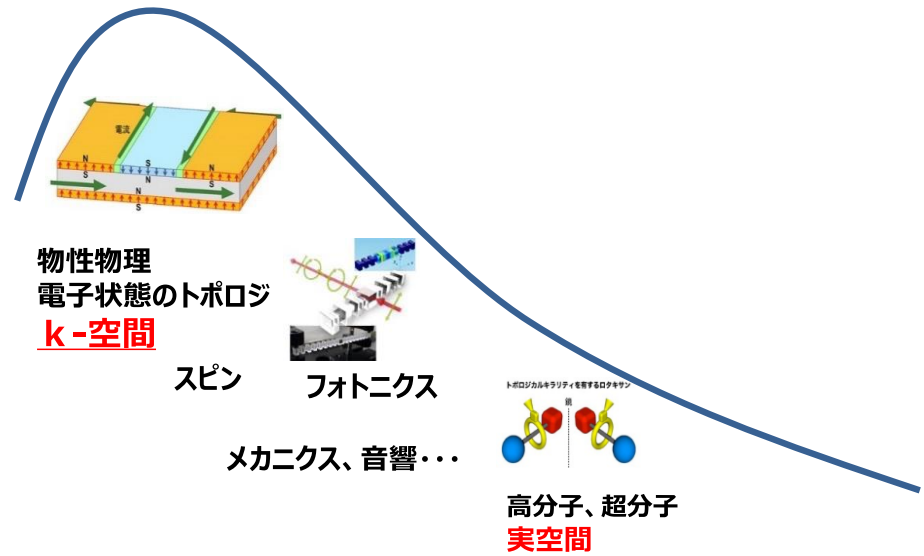
- ✓ 連続変形に対する不変性に着目した新たな物質観であるトポロジに着目する。
- ✓ 新規な機能発現に関する現象の解明、新規機能・新原理・新規構造に基づいた材料・デバイスの研究開発を推進する
- ✓ 電子状態のトポロジーに関する物性物理学を中心に置き、フォトンクスやスピントロニクス分野、デバイス工学に加え、実空間のトポロジーにおいて分子の幾何学的性質や絡み合いを制御するソフトウェアも対象とする。
- ✓ これらの研究分野が複合的に連携することで技術基盤の創出や基礎学理の構築、既存技術では実現できない革新的機能を有する材料・デバイスの創出を目指す。

Society5.0が目指す  
 超スマート社会  
 超低消費電力、超高速  
 新規機能

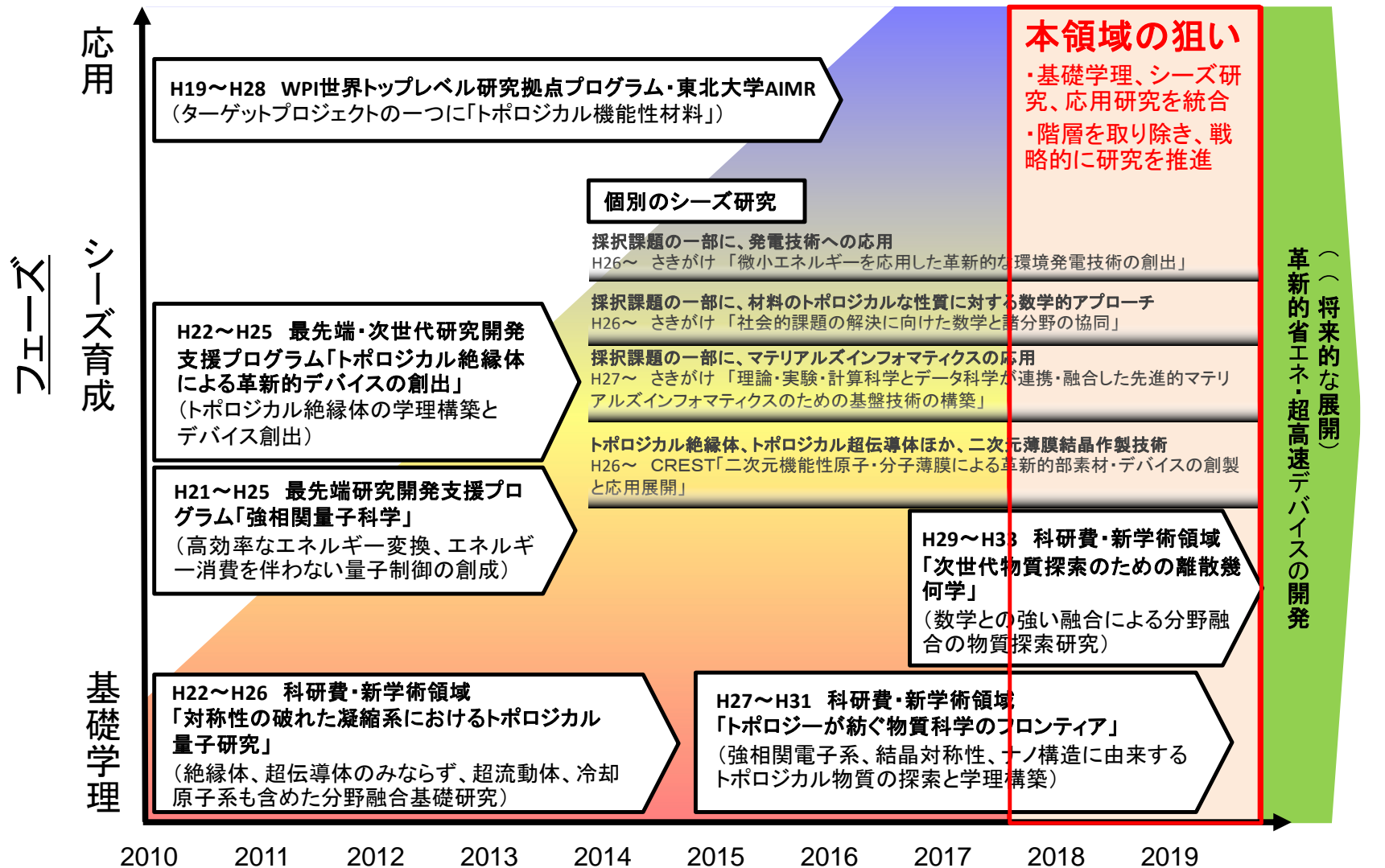


「Mooreの法則」  
 の終焉  
 性能改善の限界

- この限界を打破するため、トポロジカル材料に着目
- 新たな機能を有する革新的デバイスを創出
- 新たな価値の創造や新たな市場の創出等に繋げる道筋を示す
- フォトニクスや高分子も対象とし、領域に広がりをもたす



# 1. 研究領域の概要ー既存プロジェクトとの関係



H19～H28 WPI世界トップレベル研究拠点プログラム・東北大学AIMR  
(ターゲットプロジェクトの一つに「トポロジカル機能性材料」)

**個別のシーズ研究**

採択課題の一部に、発電技術への応用  
H26～ さきがけ 「微小エネルギーを応用した革新的な環境発電技術の創出」

H22～H25 最先端・次世代研究開発支援プログラム「トポロジカル絶縁体による革新的デバイスの創出」  
(トポロジカル絶縁体の学理構築とデバイス創出)

採択課題の一部に、材料のトポロジカルな性質に対する数学的アプローチ  
H26～ さきがけ 「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協同」

採択課題の一部に、マテリアルズインフォマティクスの応用  
H27～ さきがけ 「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」

H21～H25 最先端研究開発支援プログラム「強相関量子科学」  
(高効率なエネルギー変換、エネルギー消費を伴わない量子制御の創成)

トポロジカル絶縁体、トポロジカル超伝導体ほか、二次元薄膜結晶作製技術  
H26～ CREST「二次元機能性原子・分子薄膜による革新的部材・デバイスの創製と応用展開」

H29～H33 科研費・新学術領域「次世代物質探索のための離散幾何学」  
(数学との強い融合による分野融合の物質探索研究)

H22～H26 科研費・新学術領域「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子研究」  
(絶縁体、超伝導体のみならず、超流動体、冷却原子系も含めた分野融合基礎研究)

H27～H31 科研費・新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」  
(強相関電子系、結晶対称性、ナノ構造に由来するトポロジカル物質の探索と学理構築)

これまでの個々のプロジェクトをトポロジーという概念で集約

# 1. 研究領域の概要

# 領域アドバイザー

領域アドバイザー名	専門分野	現在の所属	役職	任期
安藤 陽一	トポロジカル絶縁体 トポロジカル超伝導	ケルン大学 物理学科	教授	2018年5月～
伊藤 耕三	トポロジカル高分子材料	東京大学 大学院新領域創成科学研究科	教授	2018年5月～
尾松 孝茂	量子エレクトロニクス 非線形光学	千葉大学 大学院工学研究院	教授	2018年5月～
川崎 雅司	トポロジカル絶縁体	東京大学 大学院工学系研究科	教授	2018年5月～
小磯 深幸	微分幾何学	九州大学	名誉教授	2018年5月～
富永 淳二	トポロジカル相転移 超格子	産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門	首席研究員	2018年5月～
中村 志保	スピントロニクス 電子デバイス	キオクシア（株） メモリ技術研究所	参事	2018年5月～
前野 悦輝	物性理論 トポロジカル物質	豊田理化学研究所	フェロー	2018年5月～
村上 裕彦	電子デバイス	(株) アルバック 未来技術研究所	所長	2018年5月～ 2022年3月
萬 伸一	電子デバイス	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター	副センター長	2018年5月～



# 1. 研究領域の概要 領域アドバイザー 構成について

- 本領域ではトポロジカル物性物理の新たな現象発現からデバイス展開を狙っていることから、物性物理分野および電子デバイスの専門家に重点を置いた。
- 高分子材料やフォトニクス分野もスコープにしていることから、それぞれの専門家にも参画頂いた。
- トポロジーは数学の概念であり数学者にも参画頂いた。
- 社会実装を目指すにあたり産業界から東芝メモリ(現キオクシア)・中村アドバイザー、アルバック・村上アドバイザー(現在は退任)、日本電気・萬アドバイザー(現在は理研へ異動)に参画頂いた。
- CREST「二次元」領域との連携を踏まえ研究代表者である川崎アドバイザー、富永アドバイザーに参画頂いた。

# 報告内容

---

## 1. 研究領域の概要

- 1) 戦略目標、領域概要
- 2) 研究総括のねらい
- 3) 領域アドバイザー

## 2. 研究領域の運営

- 1) 研究課題の選考
- 2) 研究課題のマネジメント

## 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 4. 総合所見

## 2. 研究領域の運営－1) 研究課題の選考

### 選考方針骨子1

#### 評価の視点(2018年)

数学・物理・化学等の研究を分野横断的に推進することで、**トポロジカルデバイスの実現**に向けた**革新的アイデア**を創出していくことがきわめて重要  
初年度選考では以下の点を重視

- ① **トポロジカル材料でどのような機能を実現するか、社会的課題にどう貢献するか**
- ② **従来の延長線上ではない、分野横断的で革新的なアイデア**となっているか

## 2. 研究領域の運営－1) 研究課題の選考

### 選考方針骨子2

#### 評価の視点(2019年)

トポロジカルデバイスの創成に繋げるため**革新的で独創的な学理の構築が必要不可欠**であるという考えに基づき、以下のような方針で選考

- ① **革新的で独創的な学理**提案になっているか
- ② **革新的な材料・デバイス**応用に**繋がる道筋**が描かれているか

#### 評価の視点(2020年)

これまで**カバーできていない分野**、**分野横断的で新しい視点**を持つ提案を重視

# 応募提案・採択課題

申請⇒採択	電子デバイス	フォトニクス	計測	数学	有機・高分子
2018年 42⇒5	3	1	1	0	0
2019年 17⇒5	2	1	0	1	1
2020年 15⇒4	3	0	0	0	1
Total 74⇒14	8	2	1	1	2

- 応募数は多いとは言えないがTop Scienceに根ざしながらもデバイス実証という高い目標を掲げたためと考えている
- 正面からデバイスに取り組む課題を採択
- フォトニクス分野と化学分野の課題も採択でき領域の広がりを確保
- トポロジカル物質の観測に有効な装置を開発する課題、トポロジーの理論的なベースになる数学課題も採択
- トポロジカル現象を電子回路で実現することを目指し新しい発想の課題も採択

# 採択課題ポートフォリオ

2018年度採択 2019年度採択 2020年度採択

デバイス

塚崎課題  
機能界面



島野課題  
非線形光学



Pham課題  
スピン軌道トルク



山本課題  
トポロジカル有機



岩本課題  
光デバイス



材料

于課題  
Beyond-skyrmion



松田課題  
準粒子



中辻課題  
磁性デバイス



胡課題  
人工グラフェン



佐藤課題  
ARPES



出口課題  
高分子弾性

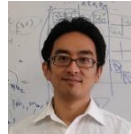


理論

江澤課題  
電子回路



越野課題  
超精密原子層



河東課題  
数学



エレクトロニクス・スピントロニクス  
電子デバイス

フォトニクス

計測  
数学

有機  
高分子

年齢構成(准教授・講師クラス2名)、国際性(外国籍2名、海外出身者1名)、ダイバーシティ(女性研究代表者1名)を含めたバランスの取れたポートフォリオとなった

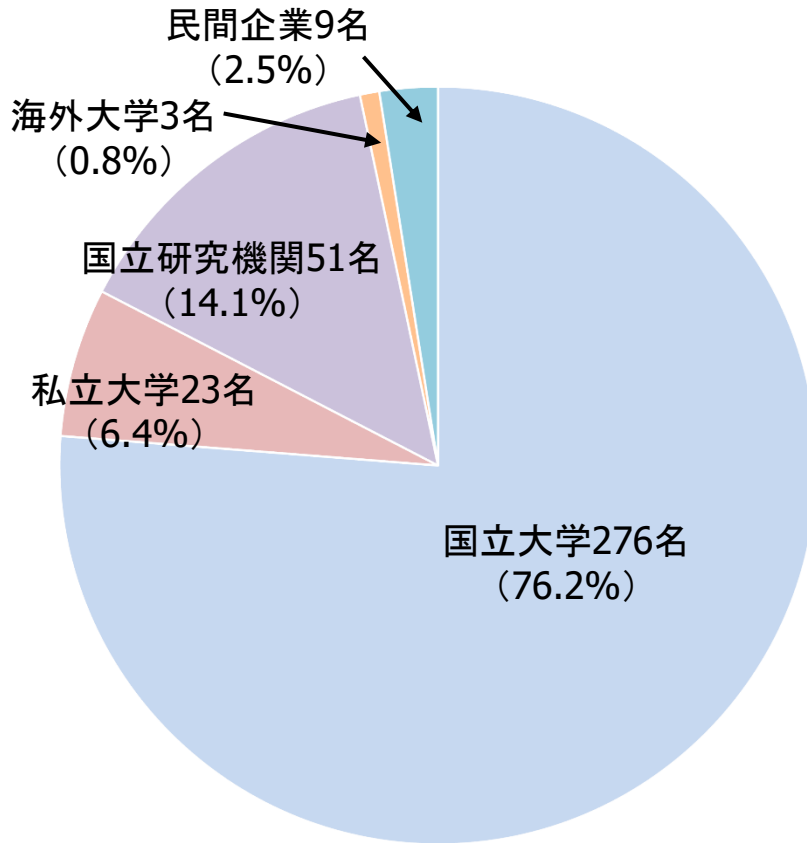
# 採択課題一覧

## 2. 研究領域の運営 -1) 研究課題の選考

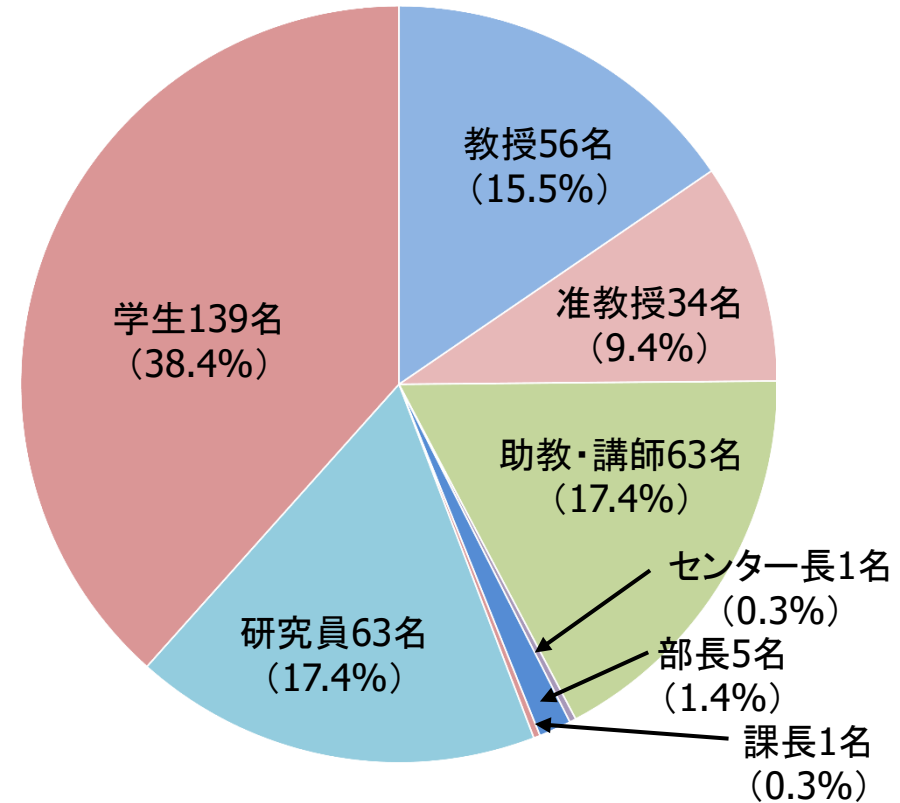
分野	研究代表者 (所属)	研究費 (百万円)	研究課題名
電子デバイス エレクトロニクス スピントロニクス	塚崎敦 (東北大学)	317	トポロジカル機能界面の創出
	中辻知 (東京大学)	583	電子構造のトポロジーを利用した機能性磁性材料の開発とデバイス創成
	ファム ナム ハイ (東京工業大学)	361	トポロジカル表面状態を用いるスピン軌道トルク磁気メモリの創製
	島野亮 (東京大学)	362	トポロジカル非線形光学の新展開
	松田祐司 (京都大学)	324	量子スピン液体におけるトポロジカル準粒子の解明と直接検出
	于秀珍 (理化学研究所)	377	Beyond Skyrmionを目指す新しいトポロジカル磁性科学の創出
	江澤雅彦 (東京大学)	260	電気回路によるトポロジカル量子計算方法の創生
	越野幹人 (大阪大学)	297	トポロジカル超精密原子層物質の創成
フォトニクス	胡暁 (NIMS)	275	人工グラフェンに基づくトポロジカル状態創成と新規特性開発
	岩本敏 (東京大学)	355	トポロジカル集積光デバイスの創成
計測	佐藤宇史 (東北大学)	324	ナノスピンARPESによるハイブリッドトポロジカル材料創製
数学	河東泰之 (東京大学)	194	物質のトポロジカル相の理論的探究
有機・高分子	出口哲生 (お茶の水女子大学)	318	高分子弾性のホモロジー的トポロジー理論の構築と環状混合デバイス
	山本洋平 (筑波大学)	318	自己組織化トポロジカル有機マイクロ共振器の開発

# 研究参加者の構成

## 所属機関



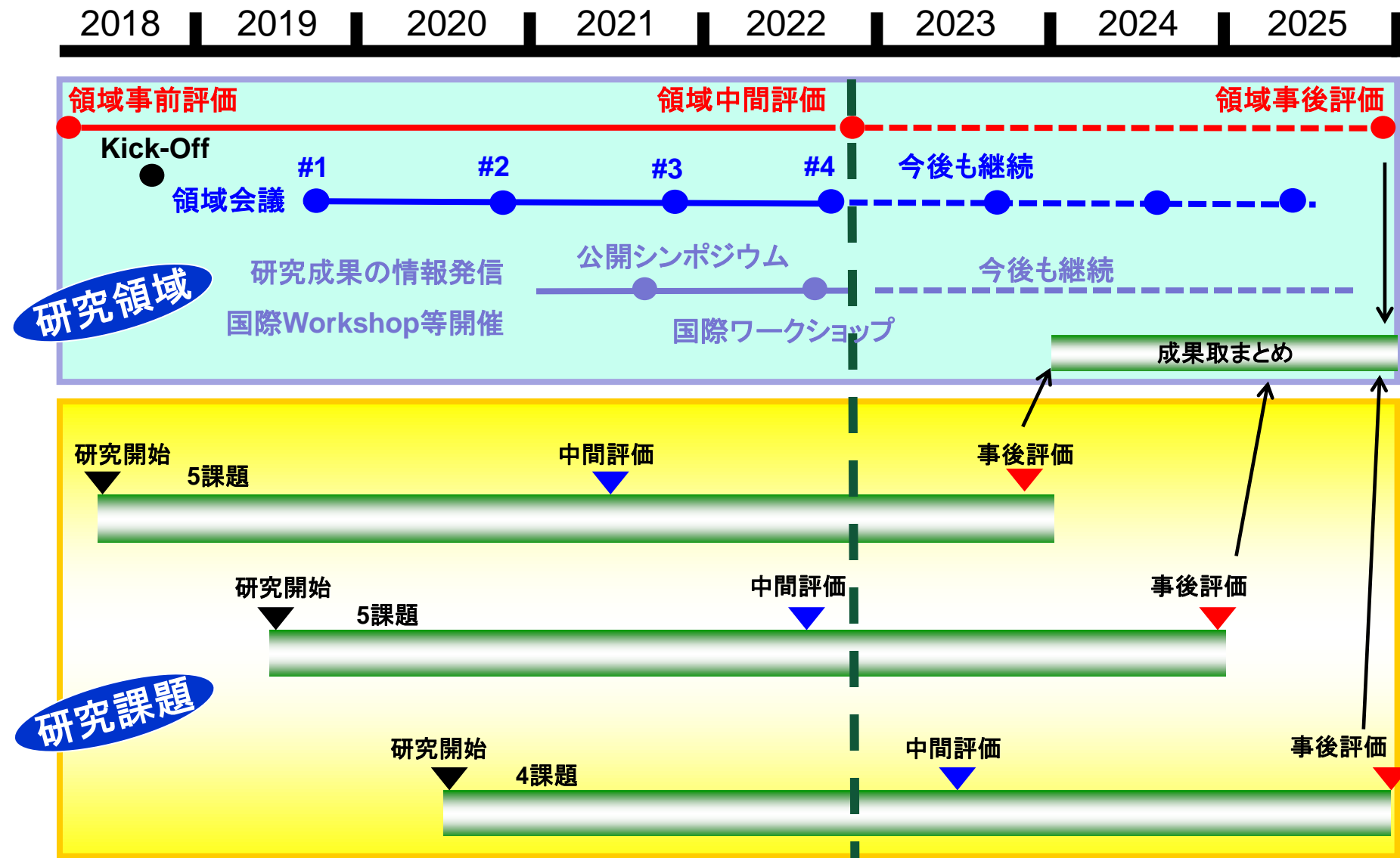
## 役職



- 大学等が3/4をしめる構成であり、1/3が学生で構成されている。
- 各研究チームには若手育成の重要性を指摘している。
- なお女性が9.1%、外国籍研究者が13.0%となっている。



# 研究領域の運営



## 2. 研究領域の運営 ー2) 研究課題のマネージメント

- 研究開始後速やかに**サイトビジット**を行った
- 研究の最終ゴールに向けた意識合わせが目的
- アドバイザーも同行
- **指摘事項は以下の通り**

### 2018年度採択課題

○佐藤課題 2019年2月14日 東北大学片平キャンパス 富永AD、前野AD  
物質開発も意味はあるが、本来の**計測技術の高度化にフォーカス**するよう指導  
機械学習の導入可能性を指摘

○塚崎課題 2019年2月14日 東北大学片平キャンパス 富永AD、前野AD  
**理論・数値シミュレーションと実験が一气通貫**で実施できるのが本チームの強みであり、それを生かすよう助言

○中辻課題 2019年8月2日 東京大学物性研究所 安藤AD、中村AD  
チーム内の連携が機能しており、**MnSn<sub>3</sub>のデバイス化に期待**  
メモリ応用では**リテンションが問題**になるので、早めに熱的安定性の確認を指示

○胡課題 2019年2月26日 物質・材料研究機構並木キャンパス 村上AD  
研究代表者、主たる共同研究者間の**シナジー効果**が明確な成果に結びつくよう密接な会話を指示

○ファム課題 2019年2月19日 東京工業大学大岡山キャンパス 川崎AD、萬AD  
研究代表者Gと宮本Gの連携は見えるが、小林Gとの**連携が見えないので改善**を指示

## 2. 研究領域の運営 ー2) 研究課題のマネージメント

### 2019年度採択課題

- 岩本課題 2020年3月9日 東京大学生産技術研究所 尾松AD、川崎AD、村上AD  
集中と選択を指示、スキルミオンレーザの応用、あるいは学術的成果の検討を指示
- 河東課題 2020年3月9日 東京大学駒場キャンパス 小磯AD、富永AD  
数学と物理のトップチームが協力することでシナジー効果が出せるかがポイントと指摘
- 島野課題 2020年3月10日 東京大学本郷キャンパス 尾松AD、川崎AD  
実験グループと理論グループが密接に共同作業することで可能となる学術的成果を期待
- 出口課題 2020年2月25日 お茶の水女子大学 伊藤AD、小磯AD、村上AD  
基礎から応用まで多方面での成果を期待
- 松田課題 2020年2月26日 京都大学吉田キャンパス 中村AD、前野AD  
顕著な成果を世界に認知してもらうための議論を指示

### 2020年度採択課題

- 于課題 2021年2月25日 On Line開催 中村AD、前野AD、村上AD  
解析には理論面でのサポートが重要で望月Gとの連携強化を指示
- 江澤課題 2021年3月11日 On Line開催 安藤AD、前野AD、萬AD  
マヨラナ粒子の量子計算を電気回路でどこまで可能か、明確な整理を指示
- 越野課題 2021年2月25日 On Line開催 川崎AD、小磯AD、村上AD  
物理、化学、デバイスのシナジー効果に期待
- 山本課題 2021年3月11日 On Line開催 伊藤AD、尾松AD、富永AD  
自己組織化技術を組み合わせ、さらに高性能ナノ構造を作る技術に期待

# キックオフミーティング

2018年12月7日、8日 KKRホテル金沢

- ✓ 両領域間の連携を狙うためCRESTとさきがけ「トポロジカル材料科学と革新的機能創」合同で開催
- ✓ 各研究チームより研究計画を発表し議論



上田総括挨拶



さきがけ村上総括



キックオフ会場の様子

# 領域会議

- 第1回2019年11月15日、16日 (JST東京別館、本部)
- 第2回2020年11月4日、18日 (On Line開催)

- 新規採択のキックオフを兼ねる
- キックオフについてはさきがけと合同開催
- 新規採択課題からは研究計画を、  
既存課題はサイトビジットでの助言を踏まえ進捗を報告

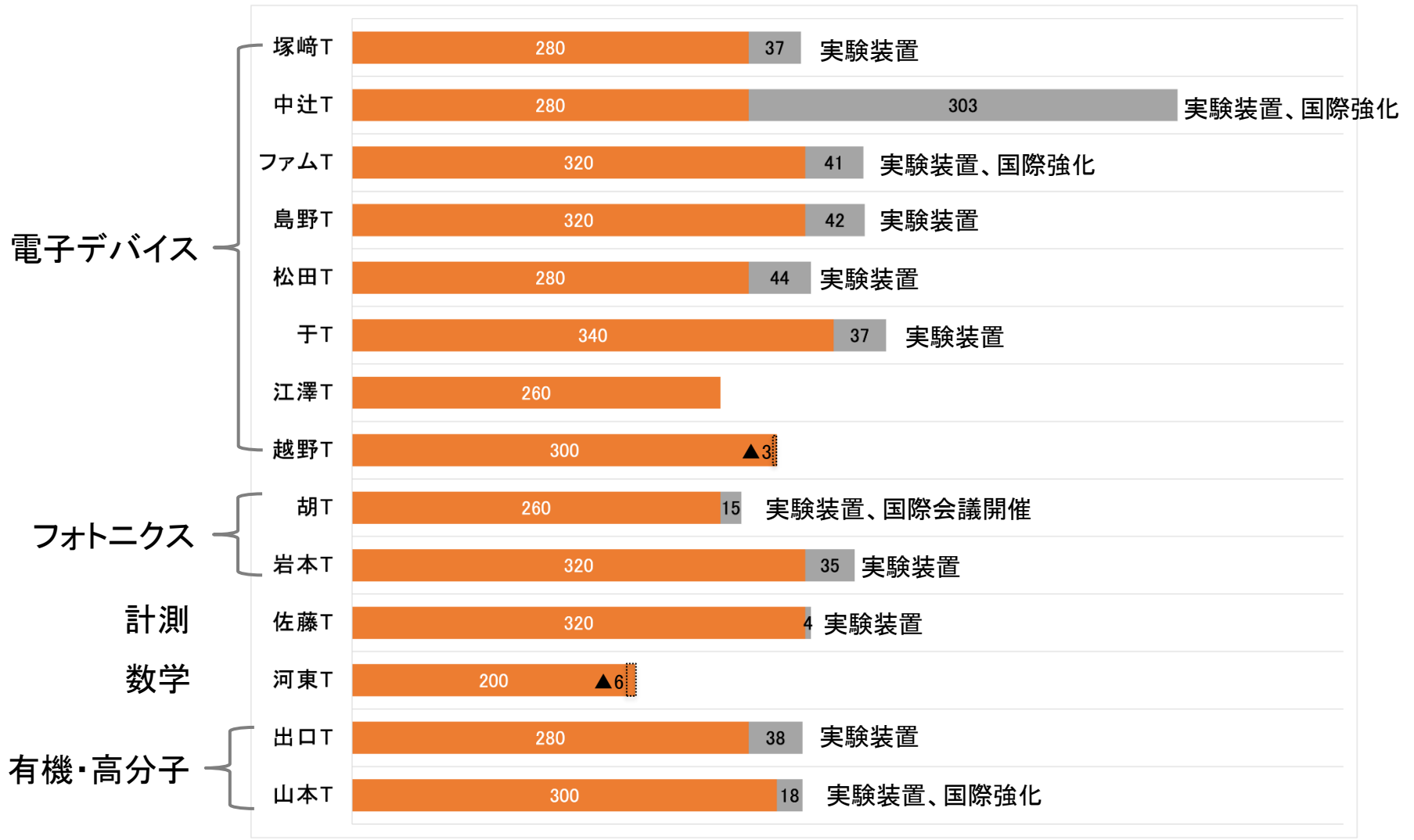
コロナ禍もありコメントメモによるフィードバックを運用開始

- アドバイザーが発表に対する助言、コメントを作成
- 総括確認後、研究チームにフィードバック
- 研究チームは翌年度の研究計画書に反映、総括確認
- 研究を実施し翌年の領域会議等で報告
- それを総括、アドバイザーが確認するサイクル

- 第3回2021年12月7日、10日 (On Line開催)
- 第4回2022年12月18日 (JST東京別館、Hybrid開催)
- コメントメモによるフィードバックを活用し進捗確認

# 研究費の追加配分

研究費増額  
 研究開始時



中辻課題はMn<sub>3</sub>Snによる高速磁気メモリ展開が世界的に見て注目を集めている。  
 当然、他の研究機関からの追従も激しい。ここで一気に引き離すべく大きな増額を判断。

# チーム別の論文成果・出願特許

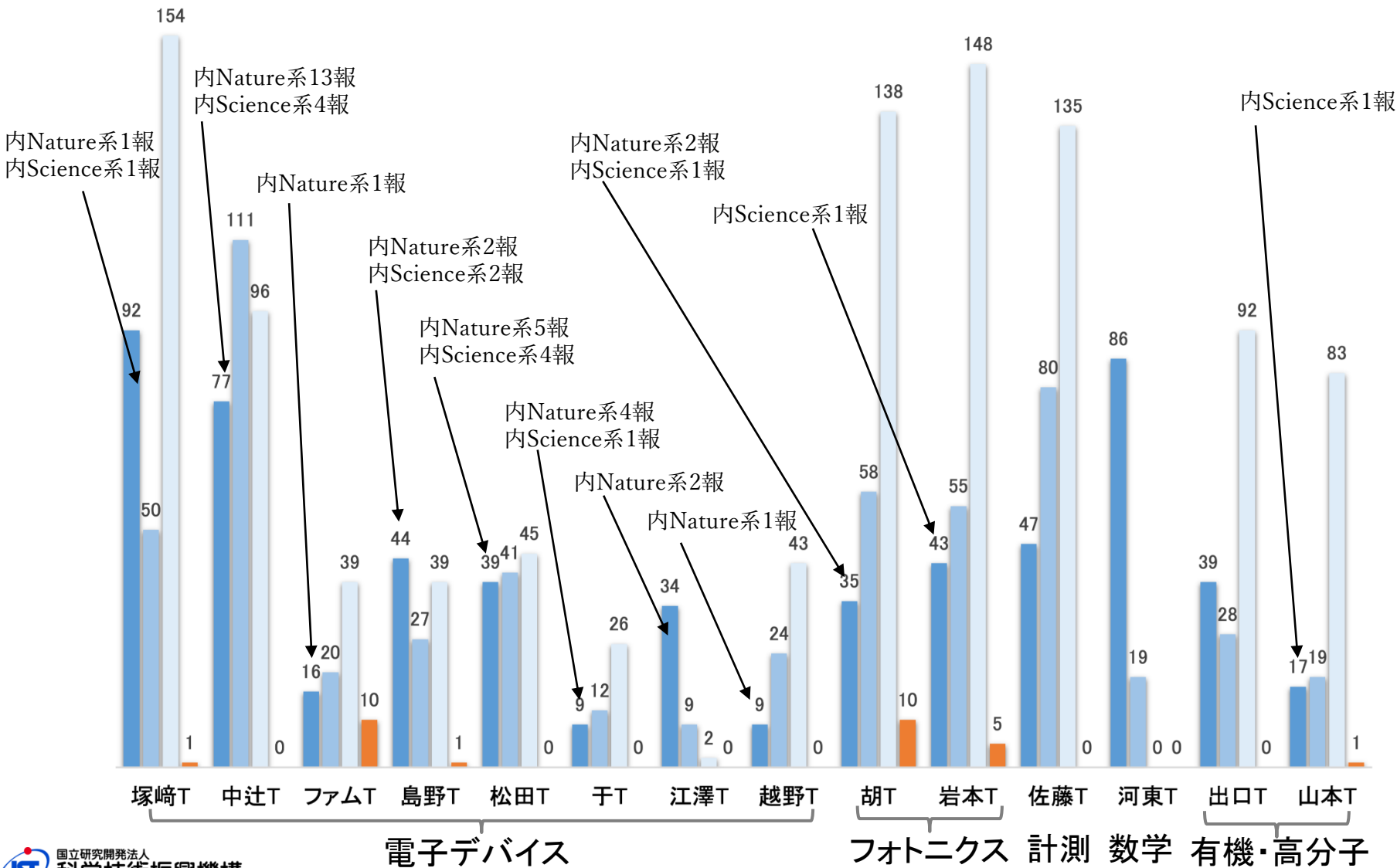
原著論文 587報 (内Nature系31報、Science系15報)

口頭発表 1040件

数値は国際、国内の合計

招待講演 553件

特許出願 28件



# 人材育成、表彰

## ■ 人材育成

- ◆ 准教授から教授への昇任: 3名
- ◆ 助教から准教授、講師への昇任: 8名
- ◆ 研究員から助教への雇用: 1名

## ■ 主な表彰

- ◆ 東北大学・塚崎敦 教授 日本学術振興会賞(2022)
- ◆ 東京工業大学・ファム准教授 ドイツ・イノベーション・アワード(2019)
- ◆ 東京大学・岩本敏 教授 アメリカ光学会フェロー(2020)
- ◆ 横浜国立大学・馬場俊彦 教授 IEEEフェロー(2022)
- ◆ 横浜国立大学・馬場俊彦 教授 応用物理学会フェロー(2022)
- ◆ 東京大学・緒方芳子 教授 Henri Poincaré Prize(2021)
- ◆ 東京大学・緒方芳子 教授 日本数学会賞秋季賞(2022)
- ◆ 京都大学・山下真由子 助教 羽ばたく女性研究者賞(2022)
- ◆ 東京大学・岡隆史 教授 久保亮五記念賞(2021)
- ◆ 東京大学・岡隆史 教授 日本学術振興会賞(2022)
- ◆ 東京大学・齊藤英治 教授 日本学士院賞(2022)



# 国際ワークショップ開催

## Pan-Pacific Workshop on Topology and Correlation in Exotic Materials

- Gordon and Betty Moore財団よりファンドを受けているEPIQS (Emergent Phenomena in Quantum Systems)とのWorkshopを開催
- 日程：2022年10月24日～27日
- 場所：フランス領ポリネシアのモーレア島 (UCB Gump Station)
- 非公開のワークショップであり日米のトップサイエンティストが最新情報を意見交換
- お互いの研究を向上させることに力を入れることができるなど、有意義な場である
- 今後も継続する方向



Workshop会場

左が上田総括、右がEPIQS側代表・UCB Moore教授



参加者集合写真

- 中辻課題では2020年度John Hopkins大学とトポロジカル磁性体の磁気構造と電子構造解析について共同研究を実施  
成果はアメリカ物理学のMn<sub>3</sub>X系シンポジウムで招待講演を行う  
トポロジカル物性分野で世界を先導する研究チームであるという印象付けた
- 胡課題では2016年に「物質のトポロジカル相とトポロジカル相転移の理論的発見」でノーベル物理学賞を受賞したプリンストン大学のダンカン・ホールデン教授をキーノートに招きInternational Workshop TOPOLOGY – The New Horizon of Materials Science and Nanophotonics (NIMS主催、JST後援)を2019年6月12日、13日にNIMSの並木キャンパスで開催した
- ファム課題では2022年度にマイアミ大学から研究者を招聘しトポロジカルスピントクスチャの周期的な時間変化により発生した交流スピン起電力の解析を実施
- 山本課題では2022年度ドイツのライプニッツ光技術研究所への研究者派遣と研究者招聘を実施し、キラル共役ポリマーからなるねじれ双極球体の表面におけるメタサーフェス構造制御に取り組んだ

# 研究成果の情報発信

- CREST/さきがけ「トポロジー」領域連携公開シンポジウム「トポロジカル科学の現在と未来」開催
- ◆ 日程: 2021年9月28日 (On Line開催)
- ◆ フォトニクス、スピントロニクス、エレクトロニクス、高分子、数学(理論)の5つのテーマを選定し、それぞれさきがけ研究者とCREST研究代表者が講演
- ◆ さきがけ研究者の後にCREST研究代表者が講演、さらにCREST研究者はそれぞれにテーマにおける未来像を語る構成
- ◆ 参加者は365名であったが、産業界からも64名が参加
- ◆ 当日参加できなかった方のためにJST Channellにて動画を公開

# 報告内容

---

## 1. 研究領域の概要

- 1) 戦略目標、領域概要
- 2) 研究総括のねらい
- 3) 領域アドバイザー

## 2. 研究領域の運営

- 1) 研究課題の選考
- 2) 研究課題のマネジメント

## 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 4. 総合所見

# 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 狙い

- 本研究領域はトポロジーに着目しつつデバイス創成が出口
- 従来の延長では実現できない性能改善や新規機能の創出

## 各課題の達成状況の報告

- トップサイエンスからデバイス展開: 中辻課題
- トップサイエンス: 松田課題
- エレクトロニクス・スピントロニクス
  - ・磁性体メモリ: ファム課題、・機能界面: 塚崎課題
  - ・超精密原子層: 越野課題、・トポロジカル磁性: 于課題
  - ・光制御: 島野課題、・新手法: 江澤課題
- フォトニクス: 胡課題、岩本課題
- 有機・高分子: 山本課題、出口課題
- ARPES: 佐藤課題、数学: 河東課題

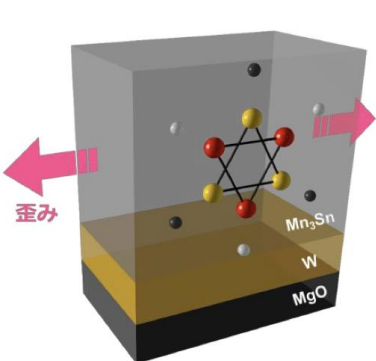
# 3 研究成果トピックス: Top ScienceからDevice創成

中辻課題(研究代表者:東京大学・中辻教授)

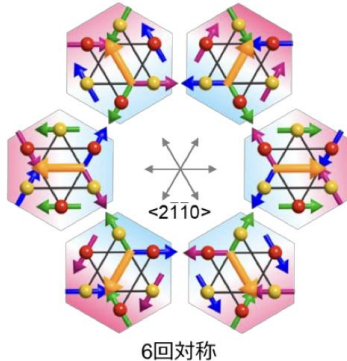
【狙い】ワイル反強磁性体を利用し省電力・超高速駆動・超高密度な次世代メモリへ展開

【成果】

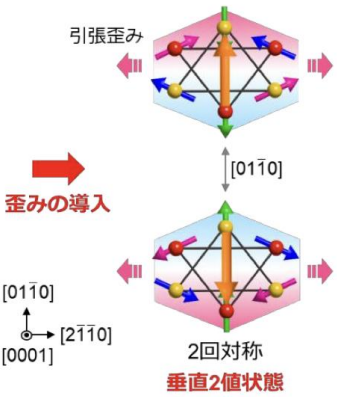
- 研究代表者自ら見いだしたワイル反強磁性体Mn<sub>3</sub>Snを用いTop Scienceからデバイス機能に展開
- すでに不揮発性メモリの動作原理を実証
- 垂直2値状態を実現し、メモリデバイスへの展開を開始している
- ワイル反強磁性は基礎学理の点からも国際的注目度が高い
- 基礎研究の対象となる物質が応用研究と直結しているという点が注目に値する



Mn<sub>3</sub>Sn多層膜の概念図



磁気八極子偏極



垂直2値状態

Natureにも立て続けに掲載  
 Nature 565, pp.627-630 (2019)  
 Nature 566, pp.518-522 (2019)  
 Nature 580, pp.608-613 (2020)

# 3 研究成果トピックス: Top Science

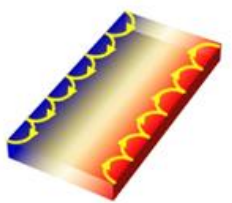
トポロジカル準粒子: 松田課題(研究代表者: 京都大学・松田教授)

【狙い】トポロジカル準粒子の解明と直接検出を狙う

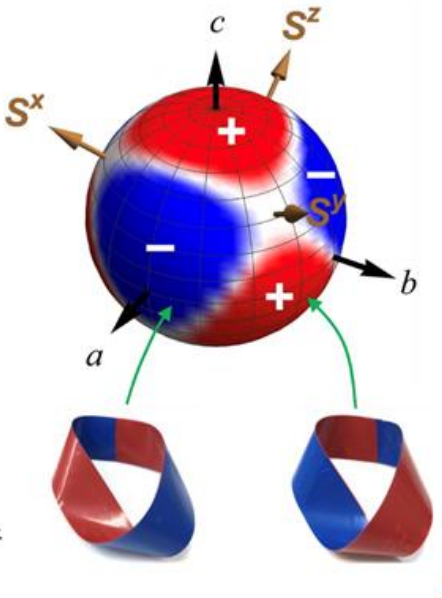
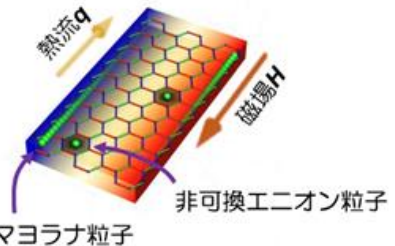
【成果】

- 量子コンピュータへの展開を念頭に、その検出自体がTop Scienceである
- すでにKitaev量子スピン液体の候補物質である磁性絶縁体  $\alpha$ -RuCl<sub>3</sub>の量子スピン液体状態において、熱ホール伝導度の高精度測定に成功している
- マヨラナ粒子や非可換エニオン粒子のもつトポロジーがはじめて実験的に示された
- マヨラナ準粒子の検出で世界をリードしている
- 超伝導を用いたマヨラナ準粒子の研究のいくつかが頓挫している中で、マヨラナ準粒子の決定的証拠と国際的に認知されることを期待したい

通常の量子ホール効果状態



Kitaev量子スピン液体



Scienceにも掲載が続いている  
Science Vol.366, Issue 6471, pp.1355-1359 (2019)  
Science Vol.373, Issue 6554, pp.568-572 (2021)  
Science Vol.373, Issue 6559, pp.1122-1125 (2021)

# 3 研究成果トピックス

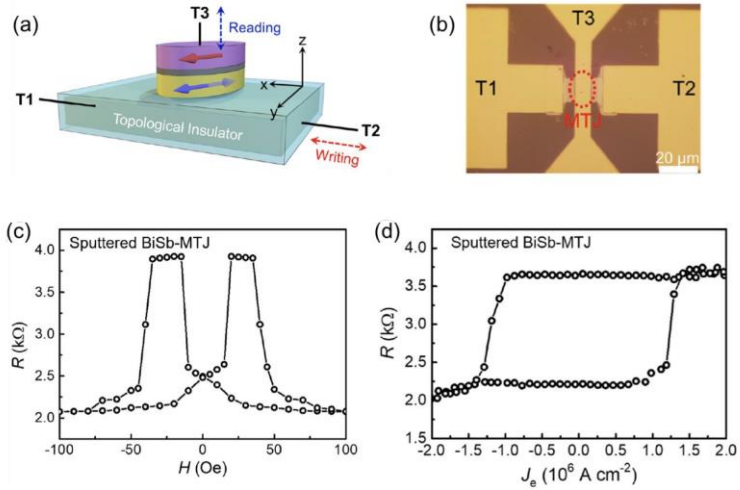
## 磁気メモリ:ファム課題(代表:東京工業大学ファム准教授)

【狙い】トポロジカル材料を磁気メモリへ応用

【成果】

- 成膜は工業的に有効なスパッタを利用している
- すでにスピン軌道トルク磁化反転を実証した
- SOT-MRAM実現に向け力強く進展している

Nature Communications 12,  
Article number: 6251 (2021)

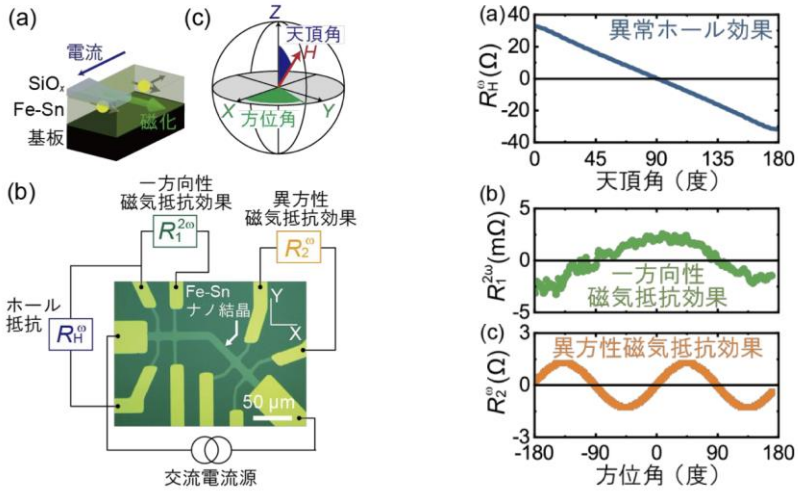


## 機能界面:塚崎課題(代表:東北大学・塚崎教授)

【狙い】理論提案と実験的な検証・機能開拓を緊密に推進し革新的機能デバイスを開拓する

【成果】

- 磁気ベクトルを3次元で検出するセンサーの進展が良い
- 実験家と理論家が密に連携している
- 領域内の他のチームとの連携にも積極的である
- 興味深い界面機能は3次元磁気センサーにとどまらず、広範な展開も期待したい





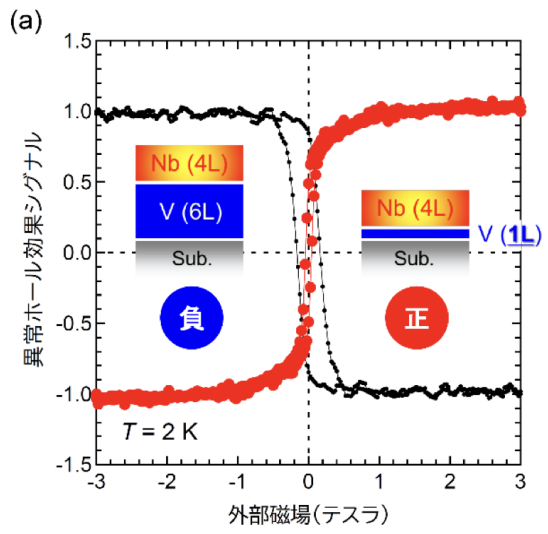
# 3 研究成果トピックス

超精密原子層: 越野課題 (代表: 大阪大学・越野教授)

【狙い】トポロジカル物性を持つ超精密原子層を理論的に予言、多孔性金属錯体(MOF)のナノ空間技術を用いて創成、革新的な物性を持つデバイスを実現する

【成果】

- 非磁性金属に二次元金属であるNbSe<sub>2</sub>超薄膜、強磁性体に二次元強磁性体であるV<sub>5</sub>Se<sub>8</sub>超薄膜を用いた磁性ファンデルワールスヘテロ構造を作製し、NbSe<sub>2</sub>に強磁性を誘起することに成功している
- 理論物理学者が化学の実験研究者とチームを組むというCRESTならではのシナジー効果が期待できる

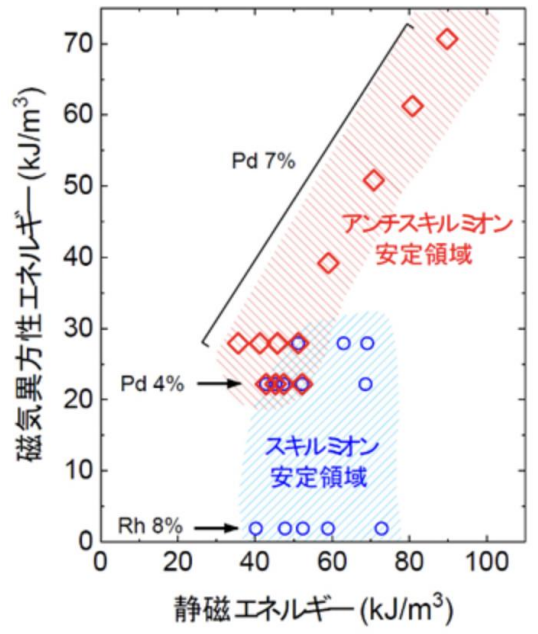


トポロジカル磁性: 于課題 (代表: 理研・于チームリーダー)

【狙い】三次元トポロジカル磁気構造の探索、観察とトポロジカル磁気構造を発現する新物質や、それらが示す新しい物性現象や物質機能を予測・探索・検証することで新しいトポロジカル磁性科学を創出

【成果】

- キラル磁性体中の単一のスキルミオンの室温で駆動に成功した
- (Fe,Ni)3Pが物質組成を変えることで磁気異方性を自在に制御でき、室温でアンチスキルミオンを安定化させるのに優れた物質であることを明らかにした
- 発足して間もないが、今後の展開を期待している



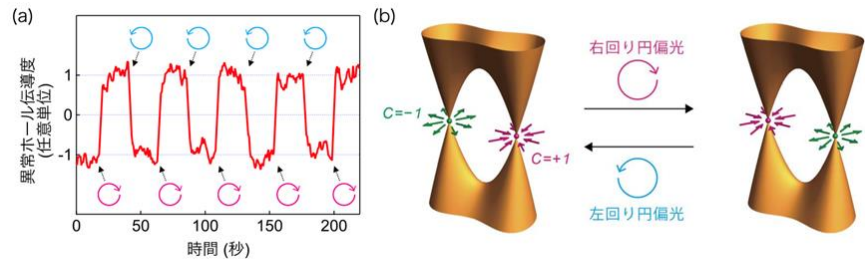
# 3 研究成果トピックス

光制御：島野課題（代表：東京大学・島野教授）

【狙い】トポロジカルな位相に起因する特異な光応答、特に非線形光学応答を探索

【成果】

- 塚崎課題と同じく大きな異常ホール効果を示す **Co3Sn2S2薄膜に注目**しており協調して推進している
- 磁性ワイル半金属中の電子が持つ**カイラリティと磁化を光によって反転させる**ことに成功した



新手法：江澤課題（代表：東京大学・江澤講師）

【狙い】**電気回路**でトポロジカル超伝導体模型をシミュレートすることで、マヨラナ状態の検証を行う

【成果】

- マヨラナ状態をブレイドする事により**トポロジカル量子計算**をシミュレートに成功した
- 斬新なテーマである
- **実験グループとの積極的な連携**を図っており、ユニークなシナジー効果を期待したい

1ビット演算 2ビット演算

初期状態 1 2 3 4 5 6  
trivial topological trivial topological topological trivial

終了状態 2 1 3 5 4 6  
trivial topological trivial topological topological trivial

両端にあるマヨラナ状態のブレイドはユニタリー演算子を生成

T字路を用いてプレイディング

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i)

● 超伝導はBdG方程式で記述される。

$$H(k) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \varepsilon_k & i\Delta e^{-i\phi} \sin k \\ -i\Delta e^{i\phi} \sin k & -\varepsilon_k \end{pmatrix}$$

電子バンドをコンデンサで表現  
ホールバンドをコイルで表現

マヨラナ超伝導モデルの等価回路

edge topological edge trivial  $\Phi=0$

C-channel (電子に対応)  
L-channel (ホールに対応)

edge states

$\Delta/t=0.9$

Arg(Z)

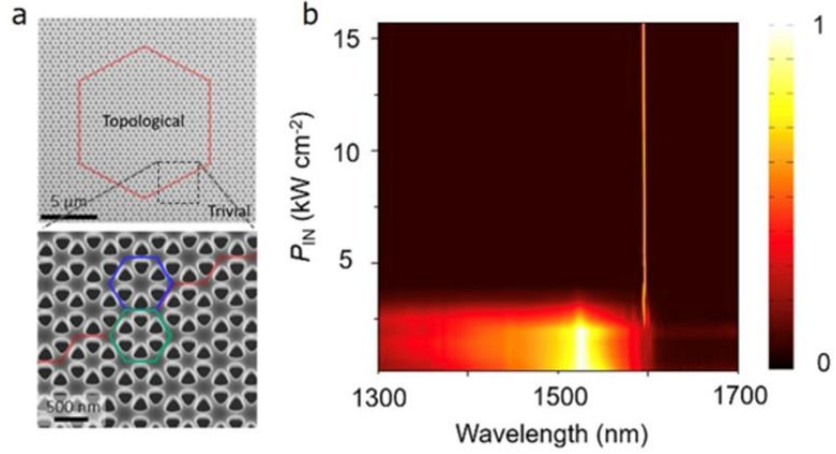
# 3 研究成果トピックス: フォトニクス

発光素子: 胡課題 (代表: NIMS・MANA主任研究者)

【狙い】トポロジカル特性由来のレーザー発振現象を利用し極小で指向性の優れた固体レーザー光源への展開

【成果】

- トポロジカル特性を示すフォトニック結晶トポロジカル特性を持たないフォトニック結晶を組み合わせ、**光閉じ込めに成功**した
- この共振器に**レーザー発振に成功**した

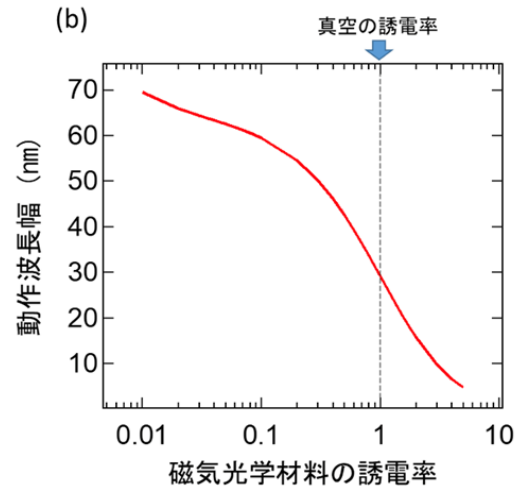
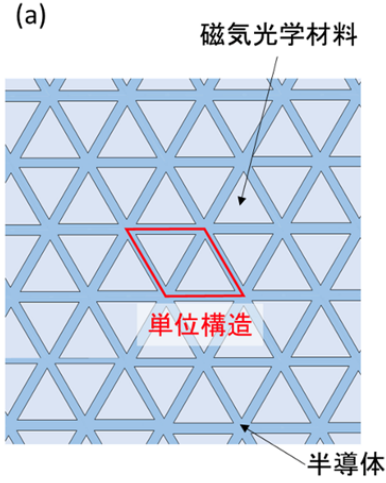


光導波路: 岩本課題 (代表: 東京大学・岩本教授)

【狙い】カイラルエッジ状態を利用した光通信波長帯**一方向性導波路**や、スキルミオンレーザ等の新奇トポロジカル**集積光デバイス**を実現

【成果】

- 一方向性光導波路の実現にむけた**基本原理を検証**した
- **小型高効率なアイソレータへの展開**も期待できる



将来のBeyond 2nmにおいて要求される光電融合の先駆け的研究成果を期待

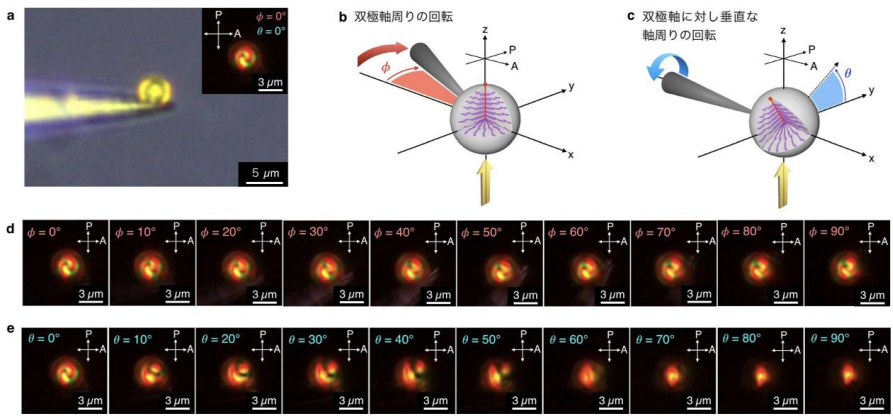
# 3 研究成果トピックス: 有機・高分子

山本課題(代表: 筑波大学・山本教授)

【狙い】有機マイクロ材料をベースに光機能の展開を狙う

【成果】

- 有機マイクロ球体から発生する円偏光発光の角度依存性を実証した
- ナノ領域で制御された構造の作製に成功しており、光との結合によりユニークな現象の発見を期待している

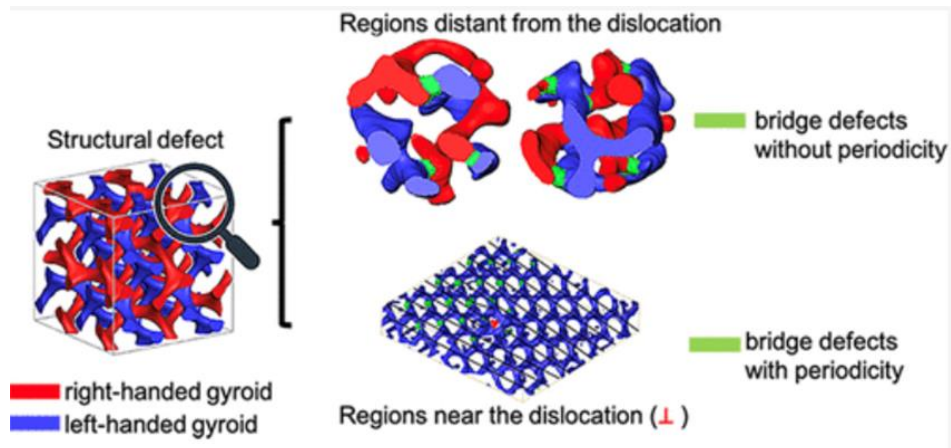


出口課題(代表: お茶の水女子大学・出口教授)

【狙い】任意のネットワークの弾性率を厳密に導く方法を構築し力学特性の設計に資する

【成果】

- 点欠陥や線欠陥、転位を明確に材料設計に資する成果が出つつある
- 厳密解を専門とする数理物理学者が化学合成の専門家とタッグを組むことでユニークな研究展開を期待したい



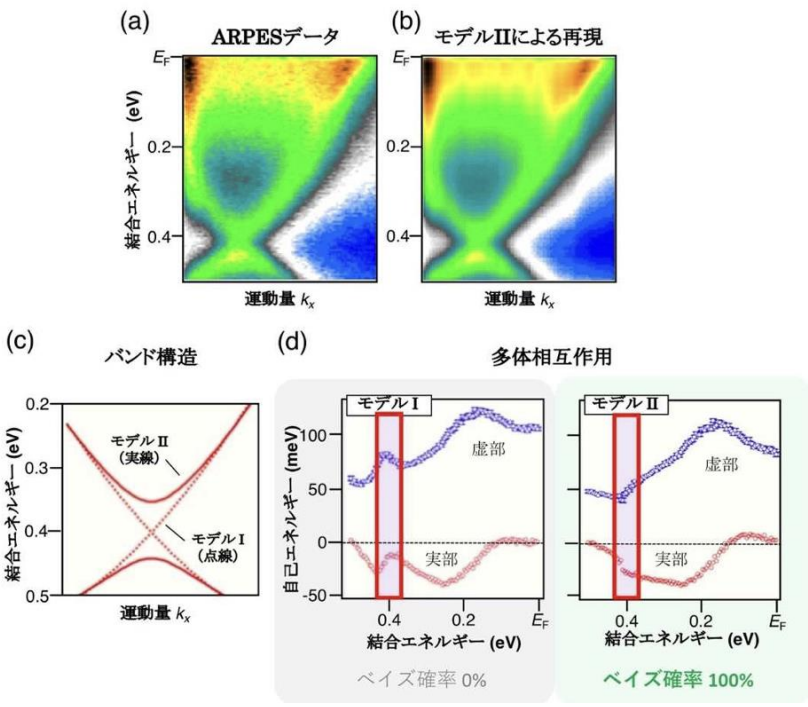
# 3 研究成果トピックス

計測: 佐藤課題 (代表: 東北大学・佐藤教授)

【狙い】角度分解光電子分光 (ARPES) を世界最高空間分解能で電子の持つ3つの基本的な物理量「エネルギー」「運動量」「スピン」を決定できる装置を開発する

【成果】

- 統計学的手法を用いて電子構造の全貌を明らかにする新しい解析方法を開発した
- ナノスケールでのスピン状態に感度を有するARPESという未踏の領域での検出器の開発を期待している



数学: 河東課題 (代表: 東京大学・河東教授)

【狙い】数学者と理論物理学者の協働により物理的な基礎理論の研究に資する

【成果】

- 数学者と物理学者が連携することで物理、化学両分野のチームへの貢献を期待したい
- 量子スピン系におけるSPT相の群コホモロジーによる分類についての予想を解決したことは、研究参加者である緒方氏のHenri Poincare賞の受賞にもつながった極めて高い成果である
- 若手育成にも積極的に取り組んでおり、そこで育ったハイブリッド型の研究者が将来の科学技術の発展に寄与することが期待できる

# 報告内容

---

## 1. 研究領域の概要

- 1) 戦略目標、領域概要
- 2) 研究総括のねらい
- 3) 領域アドバイザー

## 2. 研究領域の運営

- 1) 研究課題の選考
- 2) 研究課題のマネジメント

## 3. 戦略目標達成に向けた状況

## 4. 総合所見

## 4. 総合所見

- 応募数は多いとは言えないが、これは達成目標として先端学理に根ざしたデバイス実証という高い目標を上げたためと考えている。
- よって応募された提案の内容はいずれも極めてレベルが高く、選考には大変苦慮した。
- 結果、精鋭チームを採択することができた。
- 成果も順調に進展している。
- 今後も新たなデバイス創成に向け、その基礎検証と基盤となる学理の構築に引き続き努力していきたい。