

## 戦略プロポーザル

# トポロジカル量子戦略

～量子力学の新展開がもたらすデバイスイノベーション～

Topological Quantum Matter Initiative

– Device Innovation by New Developments in Quantum Physics –

CRDSホームページからダウンロード可能

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2016/SP/CRDS-FY2016-SP-02.pdf>

CRDSナノテクノロジー・材料ユニット

宮下 哲(フェロー)

塚崎 敦(特任フェロー、東北大学金属材料研究所・教授)



- 将来の超スマート社会実現には、膨大なデータから高付加価値の知見を生み出す**コンピュータの能力増大は必須**
- 既存デバイス・技術では限界が見えており、**新しいパラダイムシフト**が求められている
- トポロジーの概念を用いた**新しい量子力学が勃興**しつつあり、現在、物性物理学を中心に世界で研究が活発化
- 物質が持つトポロジカルな性質を利用することで、**従来のエレクトロニクスの技術的枠組みを超える新規な概念を導入**、超低消費電力デバイス、新概念に基づくロバスト量子コンピューティングデバイス、光デバイスなどの**デバイス革新を提示**
- この実現には、**工学応用技術開発と学術基盤の一層の強化が必須**であり、**新しい研究開発のステージへのギアチェンジ**が必要
- 大きなイノベーションに繋がる新しい技術を実現するためには**産業界を巻き込む仕掛け**が必要

## 工学

### 新しい技術的枠組みによるデバイス革新

- ◆ トポロジカルスピントロニクス(超小型/超高速磁気メモリ/センサ)
- ◆ トポロジカル量子計算(擾乱に頑健な演算)
- ◆ トポロジカルフォトンクス(ボード間・チップ間的高速・大容量化)
- ◆ フォノンクス、メカニクス、化学反応などへの応用展開

## 数学

### 新しい物質相の創出・制御

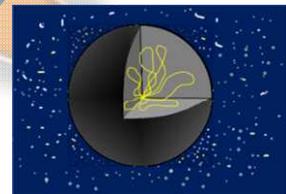
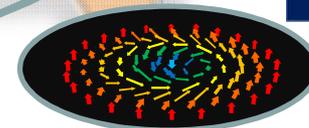
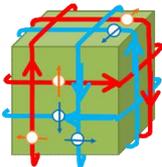
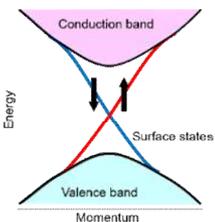
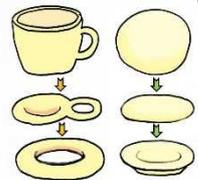
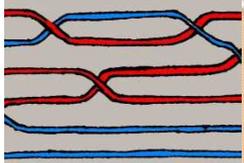
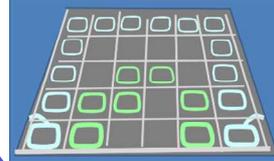
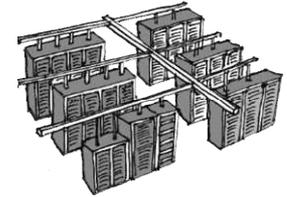
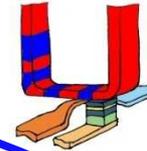
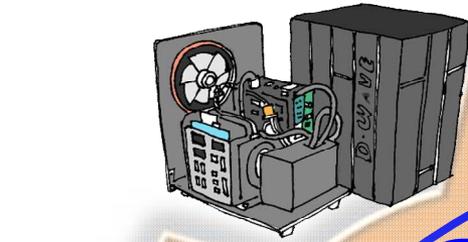
- ◆ トポロジカル絶縁体、マヨラナ超伝導体、ワイル半金属、量子スピン液体、スキルミオン、etc

### 量子力学の新展開

- ◆ 非相対論的量子力学と相対論的量子力学の融合
- ◆ 数学のトポロジーの概念による物質相の新たな理解

## 物性物理学

## 素粒子物理学



- 学術的背景
- 現状認識と問題点
- 具体的な研究課題
- 実施する意義
- 推進方法と時間軸
- 国内外の動向
- 参考資料

1900~1930  
量子力学

相対論的効果

素粒子物理

マヨラナ粒子、ワイル粒子、ディラック粒子などの概念を導入

相対論的効果  
(スピン軌道相互作用)

1980  
量子ホール効果  
(極低温・強磁場)

2005  
量子スピンホール効果  
(室温・ゼロ磁場)

トポロジカル物質

新しい量子力学  
への展開

物性物理

フェルミ粒子

バンド理論  
(金属・半導体・絶縁体)

半導体  
エレクトロニクス  
↓  
電子産業

ボース粒子

1911  
Hg超伝導

1957  
BCS理論  
(クーパー対)

1986  
高温超伝導

電力応用  
超高感度計測

強相関物理

ワイル半金属、トポロジカル強相関系、  
量子スピン液体、電荷・スピンの分數化

- ①超低消費コンピューティング  
チップ／熱電変換素子
- ②新概念に基づくロバスト量子  
コンピューティングデバイス
- ③通信用光集積回路

数学  
位相幾何学  
(トポロジー)

## ■ トポロジーとは？

- トポロジーは、位相幾何学という数学の一分野であり、何らかの形を連続変形(伸ばしたり曲げたりはするが切ったり貼ったりはしないこと)しても保たれる性質に焦点を当てたもの

特徴量(トポロジカル数): 穴の数

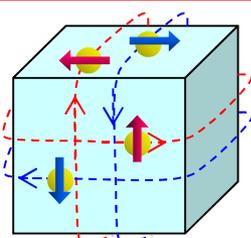


## ■ トポロジカル絶縁体(物質内部: 絶縁体、表面: 金属)

トポ絶縁体内部: 電子の波動関数の位相のねじれ1回(=穴が1個)⇒ トポロジカル数=1  
表面(境界)

トポ絶縁体外部(真空、通常物質): 位相のねじれ無し(=穴が0個)⇒ トポロジカル数=0

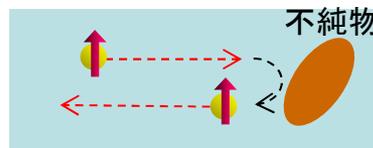
- 外界からの擾乱(例: 不純物)にロバストな電子



3次元トポロジカル絶縁体

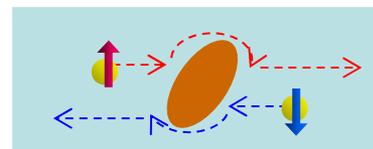
↑ スピン電子は右向きのみ進む  
↓ スピン電子は左向きのみ進む

位相: 磁場により変調



一般的な物質

一般的な物質では、不純物があると電子の進行方向が逆転して散乱を受け易い

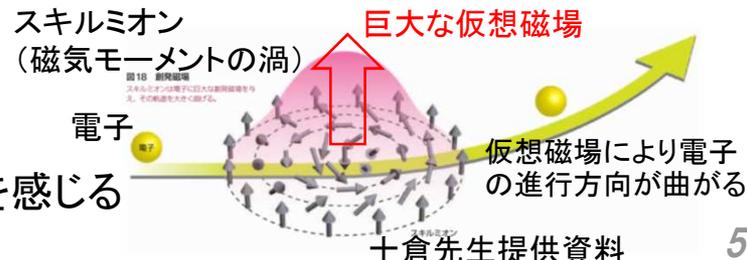


トポロジカル絶縁体

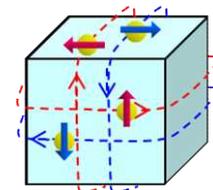
トポ絶縁体では、あたかも電子が不純物をよけて進む

- 仮想磁場 電子の波動関数:  $\Psi = Ae^{i\theta}$

トポ物質中では既に位相にねじれが生じている  
→ 外部磁場が存在しなくても数百テスラ級の**仮想磁場**を感じる  
(物理的起源: スピンと軌道の強い相互作用)



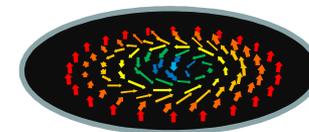
- トポロジカル絶縁体 (  $\text{HgTe/CdTe}$ ,  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , etc )



- トポロジカル超伝導 (  $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , 候補:  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ,  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  )

- ニュートリノの物理として登場したマヨラナ粒子(エニオン)が固体中に存在することが確認されつつある(ノーベル賞級の発見)

- スキルミオン (  $\text{MnSi}$ ,  $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ ,  $\text{Co}_8\text{Zn}_8\text{Mn}_4$ , etc )



- ワイル半金属 (  $\text{TaAs}$ , 候補:  $\text{TaP}$ ,  $\text{NbAs}$ ,  $\text{NbP}$  )

- 2015年、ワイル粒子で支配された物質( $\text{TaAs}$ )が発見された
- ワイル粒子も素粒子物理で探索されている粒子の一つ

- トポロジカル強相関物質、量子スピン液体 ( 候補:  $\text{Na}_2\text{IrO}_3$ ,  $\beta\text{-Li}_2\text{IrO}_3$ ,  $\alpha\text{-RuCl}_3$  )

- スピン磁性相として、気相(常磁性)、固相(磁気秩序)に加え、液相の存在可能性を示唆

- 物理学は「普遍性」を追求する学問
- ニュートン力学(19世紀) → 量子力学(20世紀)
  - ニュートン力学では理解できない現象(黒体輻射、水素原子スペクトル、光電効果など)に対する新しい理論体系の必要性
  - 量子力学の確立は、結果的に(当初は予想もしていない)半導体エレクトロニクスの発展へ繋がった
- 1970年代頃から、従来の量子力学では個別に理解されてきた複雑な現象(Kosterlitz-Thouless転移状態、量子ホール効果等)

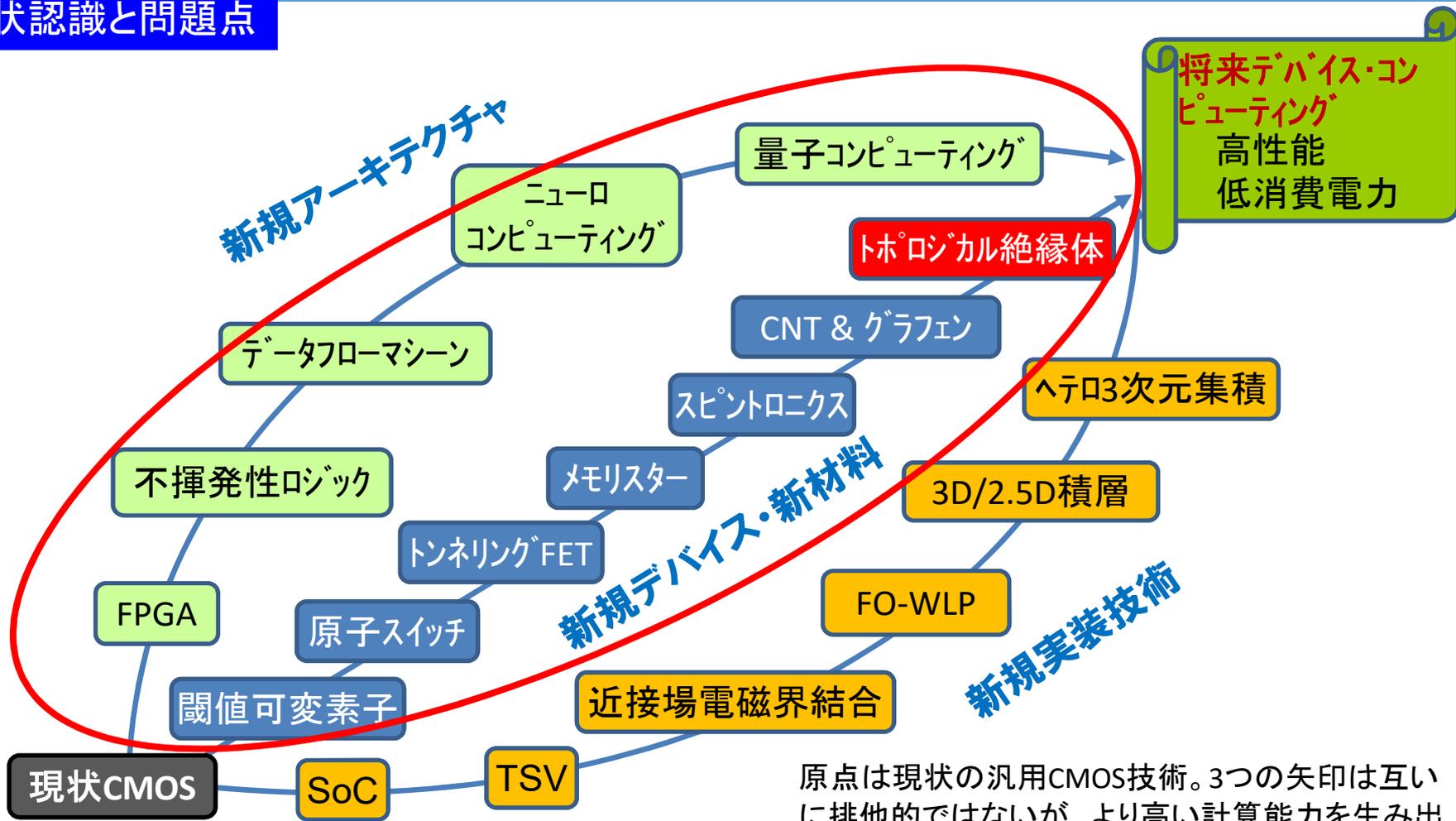


トポロジーの概念を導入することで統一的理解が可能  
新しい物理学への扉を開いた

- 新しい物質観の登場 → 新しい技術的概念の誕生
- (歴史は繰り返すとしたら)想定外の応用領域へ広がる可能性



## 現状認識と問題点



原点は現状の汎用CMOS技術。3つの矢印は互いに排他的ではないが、より高い計算能力を生み出すための研究開発の方向性を示している。

FPGA: Field Programmable Gate Array, FET: Field Effect Transistor, SoC: Silicon on Chip, TSV: Through Silicon Via, FO-WLP: Fan-Out Wafer Level Package

**本提言ではこの2つの潮流に焦点**

## ■ 超低消費電力デバイス

次世代メモリ市場: 370億ドル@2020  
(MarketsandMarkets社、2015年)

**“不揮発(無電力で情報保持)磁気素子利用でコンピュータを超低消費電力化”**

- 従来の磁気素子は磁気ストレージのトリレンマ(※)や素子間の磁気干渉のため、高密度化・大容量化が困難
  - 従来の磁気素子は半導体素子と同等の速度が得られず、高速動作応用に難
- (※)トリレンマ: 記憶セル微小化、熱安定性、書込み容易性の同時満足が困難な事

## ■ 新概念に基づくロバスト量子コンピューティングデバイス

AI関連産業: 約87兆円@2030  
(EY総合研究所、2015年)

**“AIの中核的機能である組合せ最適化や機械学習を桁違いの速度で実行”**

- 有効性は証明されているが、エラー発生率が高く、誤り訂正が不可欠
- 誤り訂正のために膨大な数の素子(量子ビット)が必要

## ■ 通信用光集積回路・光メモリーデバイス

シリコンフォトニクス市場: 約11億ドル@2022  
(MarketsandMarkets社、2016年)

**“コンピュータのボード間, チップ間通信に高速・大容量化可能な光を利用”**

- 従来の光導波路は表面凹凸や欠陥のために光反射や光損失が起こる

## ■ 超低消費電力デバイス

“スピントロクス(磁気素子)不揮発動作のコンピューティングへの適用、新たな応用可能性追求”

### □ 現状の課題

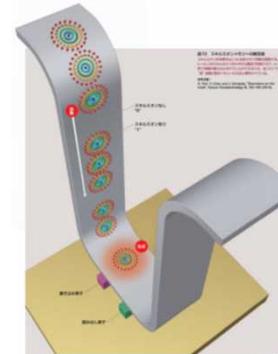
- ・磁気ストレージのトリレンマや磁気メモリの素子間磁気干渉で高密度化・大容量化が難
- ・半導体素子と同等の速度得られず、高速動作に難
- ・スピン流素子に期待大だが、低い生成効率

### □ トポロジカルスピントロクス

- ・漏れ磁場のないスキルミオンやトポロジカル反強磁性で素子の簡素化・高密度化・高速化
- ・スピン運動量ロッキングで高効率スピン流生成

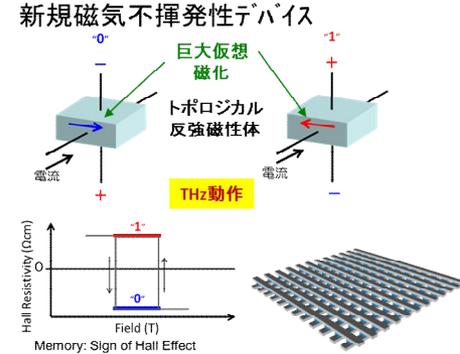
### □ 必要な技術開発課題

- ・トポロジカルスピントロクス素子の開発
- ・コンピュータ応用以外の可能性追求  
超高速磁気センサ(脳磁計等)、熱電素子



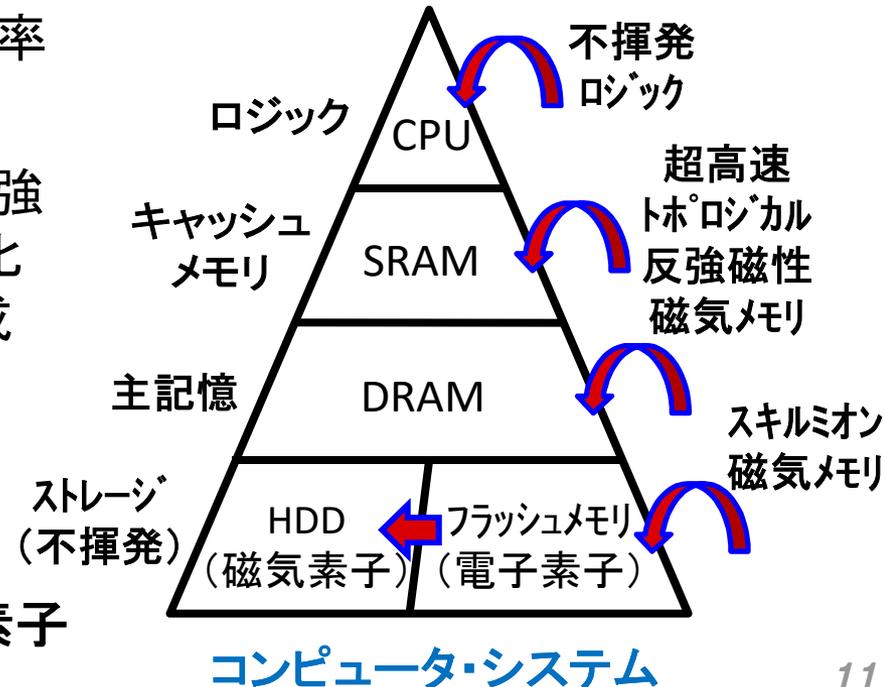
理研ニュース2015年2月

スキルミオン  
磁気メモリ



中辻先生提供資料

トポロジカル  
反強磁性メモリ



## ■ 新概念に基づくロバスト量子コンピューティング “トポロジカル物質特有のロバスト性を活用し、誤り訂正不要の量子コンピューティングを実現”

### □ 現状の課題

- 有効性は証明されているが、エラー発生率が高く、誤り訂正技術が不可欠
- 誤り訂正のために膨大な数の量子ビットが必要

### □ トポロジカル量子コンピューティング

- 外界からの擾乱にロバスト、かつ、特異な統計則に従うマヨラナ粒子を用いることで、誤り訂正が大幅低減可能な量子コンピューティングが実現

“一発逆転”を狙える  
可能性を秘めた技術

### □ 必要な技術開発課題

- 新しいアルゴリズム・アーキテクチャの開発
- マヨラナ粒子制御可能なデバイス開発

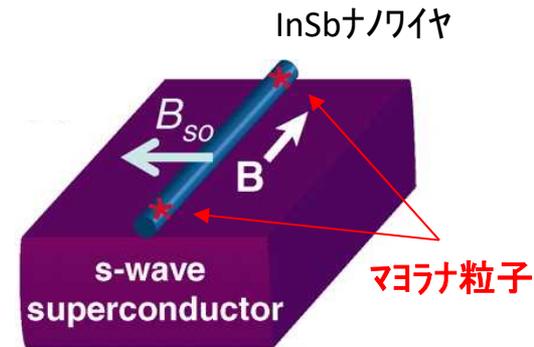


新概念に基づくゲート型デジタル量子コンピュータへ



©Scientific American (2006)

JST-CRDS科学技術未来戦略ワークショップ  
報告書「トポロジカル量子戦略」



デルフト工科大・Kouwenhoven Group.  
Science 336, 1003-1007 (2012)

## ■ 通信用光集積回路・光メモリーデバイス

“コンピュータのボード間, チップ間通信に高速・大容量化可能な光を利用、またそれ以外の新たなフォトニクス応用を追求“

電子系⇒光子系へ概念拡張

### □ 現状の課題

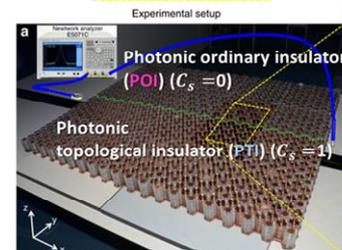
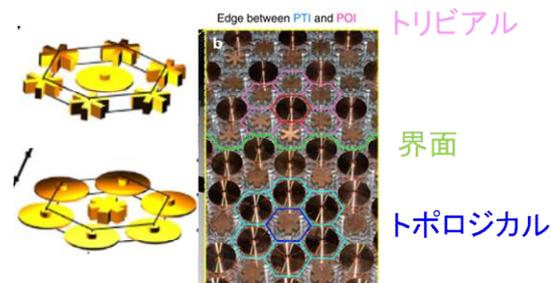
従来の光導波路では表面凹凸や欠陥のために光反射や光損失が発生

### □ トポロジカルフォトニクス

- ・トポロジカルな性質を持たせたフォトニック結晶を用いることで、無散逸光導波、特定空間への長時間光閉じ込め、大角度での偏光可能なビーム生成
- ・光子(ボソン)は電子系(フェルミオン)と異なる統計性が支配
- ・スピン軌道相互作用の大きな物質を必要とせず、材料選択の自由度大

### □ 必要な技術開発課題

- ・単一方向伝播光導波路を用いた光集積回路の開発 ➡ コンピュータのボード間、チップ間超高速光配線へ
- ・光遅延技術を用いた光メモリの開発 ➡ 光中継器の小型化、低消費電力化へ
- ・大出力単一モード・レーザの開発 ➡ 半導体レーザによるレーザ加工応用へ



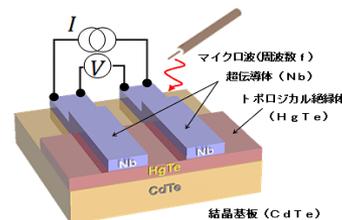
W. J. Chen et al., Nat. Commun. 5, 5782 (2014).

JST-CRDS科学技術未来戦略ワークショップ  
報告書「トポロジカル量子戦略」

## 理論体系の構築

### ■ 物性物理学・数学・素粒子物理学の協働による統合的理論体系の構築

- 予測可能なトポロジカル物質群の拡張
- 最適なデバイス構造の提案



トポ超伝導デバイス  
@JST&東大&理研&阪大プレス

## 物質創製・制御基盤技術開発

### ■ 物質創製・制御技術

- 新機能探索
- マヨラナ粒子の制御技術
- 異種界面制御技術・素子加工プロセス技術



試料作製技術  
(分子線エピタキシー装置)  
@TMS NEWS LETTER No.1

### ■ 計測・評価技術

- 計測手法の高度化
- 新規計測・評価手法の開発  
(表面の局所的/非局所的な電子の振る舞いを観測する技術)



高分解能スピン分解光電子分光装置  
@TMS NEWS LETTR No.1

## デバイス応用技術開発

## 新しい技術的枠組みによるデバイス革新

### 超低消費電力デバイス

- ◆ スキルミオンを用いたレーズトラックメモリ開発
- ◆ トポロジカル反強磁性体を用いたMRAM開発
- ◆ 高効率スピン流・電流変換技術開発

### 新概念に基づくロバスト量子コンピューティング

- ◆ マヨラナ粒子のブレイディング技術開発及びその代替技術開発
- ◆ 新しいアルゴリズム・アーキテクチャの開発

### 通信用光集積回路・光メモリデバイス

- ◆ 理論体系の構築
- ◆ 単一方向伝播光導波路を用いた光集積回路開発
- ◆ 光遅延技術を用いた光メモリデバイス開発
- ◆ 単一モード・レーザ、ベクトルビーム開発

フォニクス  
メカニクス  
化学反応  
...

## 物質創製・制御基盤技術開発

- ◆ 計測・評価技術
  - ・ 既存手法の高度化、新規手法の開発
- ◆ 物質創製・制御技術
  - ・ 新機能探索、マヨラナ粒子の制御技術
  - ・ 異種界面制御技術・素子加工プロセス技術

学術基盤  
強化

新しい物質相の創出・制御

## 理論体系の構築

- ・ 新規物質群の拡張、新概念提唱
- ・ 最適なデバイス構造の提案

量子力学の新展開

## ■ 学術の発展

### □ 新しい学術基盤融合領域の創成

#### ■ 数学・素粒子物理の融合が生み出す新展開

- これまで構築してきた理論体系を物性物理の新興領域へ展開することで、理論体系の枠組みを拡張、新興領域での想定外の新展開

#### 【参考】

- 数学: フィールズ賞の授賞内容の多くは物理から生じた問題を数学的に解明することで生まれている
- 素粒子: 超伝導の理論が南部理論や超弦理論に多大な影響

## ■ 技術の発展

### □ 従来の技術的枠組みを超える新しい概念の創出

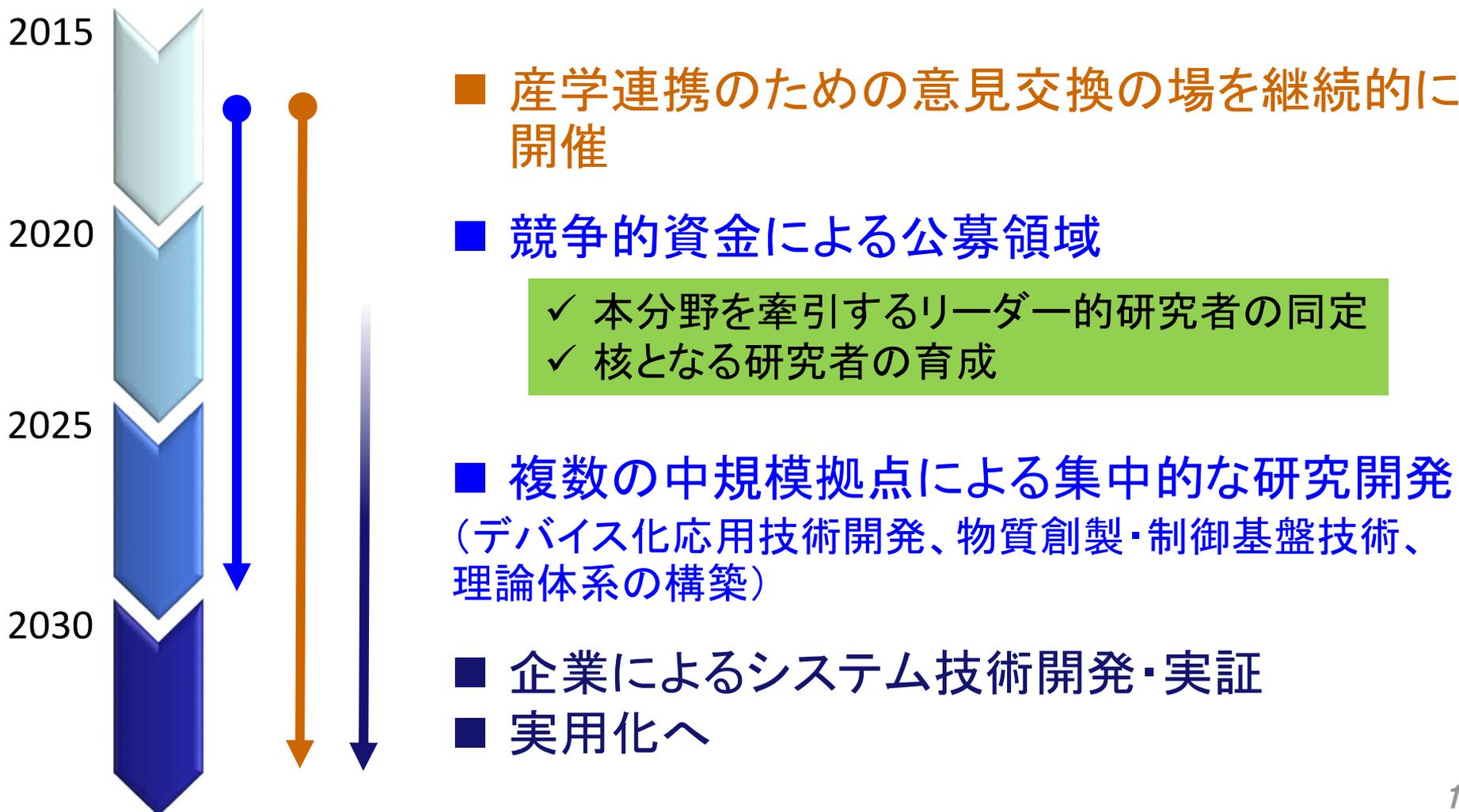
- 新しい概念によりエレクトロニクス、スピントロニクス、フォトニクスなどでのデバイス革新が実現、超スマート社会実現へ寄与

## ■ 人材育成

- 新学問領域へ参入する人材を誘導

## イニシアティブを獲るには向こう10年程度が境目

- ✓ Microsoft Station Qの動き（数学者がリーダー、世界中の頭脳を結集）
- ✓ EU「Quantum Technology Flagship」(1B€/10年)が2018年開始





- MEXT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現象」(2010–2014)
  - 領域代表: 前野悦輝@京大
  - 「トポロジカル量子物理学」という新たな学術領域形成を目指す
  
- MEXT新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」(2015–2019)
  - 領域代表: 川上則雄@京大
  - 物質に内在するトポロジーを基軸として、新奇物性開拓を行うとともに、「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」を開拓し、その基礎学理の構築と学問体系の樹立を目指す
  - Topo-Q International Networkを構築(p.21参照)
  
- 東北大学WPI-AIMR(2007–2016)
  - 機構長: 小谷元子@東北大
  - 3つのターゲットプロジェクトの一つに「トポロジカル機能材料」を取り上げ、環境の変化に対応できるようなロバストな性質を持つトポロジカル材料の創製を目指す
  
- FIRSTプロジェクト「強相関量子科学」(代表: 十倉好紀、2009–2013)、次世代FIRST(NEXT)「トポロジカル絶縁体による革新的デバイス」(代表: 安藤陽一、2010–2013)等において、世界を牽引する成果を創出



- National Science Foundation (NSF)
  - 2016年8月、「10 Big Idea for Future NSF Investments」における「6つの研究アイデア」の中の一つとして「The Quantum Leap: Leading the Next Quantum Revolution (量子飛躍: 次の量子革命をリード)」を発表 ([https://www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf\\_big\\_ideas.pdf](https://www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf))
  - トポロジカル物質の位置づけは明確には述べられていないが、今後の動向に注視が必要
- Microsoft Research Station Q (<https://www.microsoft.com/en-us/research/group/station-q/>)
  - プロジェクト最高責任者Todd Holmdahlの下、トポロジカル量子コンピュータ実用に向けた研究開発を推進
  - 全米 (Santa Barbara、Redmond、Purdue、Maryland) のみならず、オランダ (Delft)、デンマーク (Copenhagen)、スイス (Zurich)、オーストラリア (Sydney) にStation Qの拠点を設置
  - Station Q Santa Barbaraは数学者Michael Freedmanが率いている
- Gordon and Betty Moore Foundation (<https://epiqsinvestigators.fluidreview.com/>)
  - Emergent Phenomena in Quantum Systems (EPIQS) プログラムとして、量子システムにおける創発現象 (高温超伝導、重い電子系、トポロジカル物性など) に関する基礎研究を支援
  - 2014年11月から5年間で総額75億円
  - 米国内の物性物理学の強化および若手を含む質の高い研究者の育成



- Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR)
  - カナダ国内の基礎研究促進を目的に、天体物理学から経済学まで多岐にわたる12のプログラムからなる巨大プロジェクトを運営
  - 「Quantum Materials Program」において、トポロジカル物質の研究開発を推進 (<https://www.cifar.ca/research/quantum-materials/>)



## ■ European Commission

- Horizon2020の中で2018年より「Quantum Technology Flagship」(10億ユーロ/10年間)を計画中 ( <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-will-launch-eu1-billion-quantum-technologies-flagship> )
- トポロジカル物質の位置づけに注視が必要



- ビュルツブルク大学のMolenkamp教授、マックスプランク物理学研究所の高木英典教授、マックスプランク固体化学物理学研究所のMackenzie教授、ケルン大学の安藤陽一教授を中心に、トポロジカル絶縁体、量子スピン液体、トポロジカル超伝導などの研究が盛ん



## ■ Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)

- 研究プログラム「Topological Protection and Non-Equilibrium States in Strongly Correlated Electron Systems (TOPNES)」を推進 ( <https://www.st-andrews.ac.uk/~topnes/> )
- 2011年から6年間、総額680万ポンド
- セントアンドルーズ大学、エジンバラ大学、オックスフォード大学、ロンドン大学が中心



## ■ デルフト工科大学

- Station Qの支援を受け、トポロジカル量子コンピュータ実現に向けた研究開発を推進
- DirectorのLeo Kouwenhovenはデルフト工科大学の教授職を維持したまま、Microsoft社員でもある



- 上海大学SCCP (Shanghai Center for Complex Physics) や中国科学院物理研究所を中心に、トポロジカル物質の研究開発が盛ん

## ■ ネットワーク内での共同研究、人材交流を実施



□ TMS(新学術領域)

代表: Norio Kawakami



□ CIFAR-QM

代表: Louis Taillefer



□ Moore-EPiQS

代表: Dusan Pejakovic



□ SCCP (Shanghai Center for Complex Physics)

代表: Ying Liu



□ MPI Stuttgart

代表: Hidenori Takagi



□ MPI Dresden

代表: Andy Mackenzie



□ Univ. Koeln

代表: Yoichi Ando



□ SPIN-Salerno

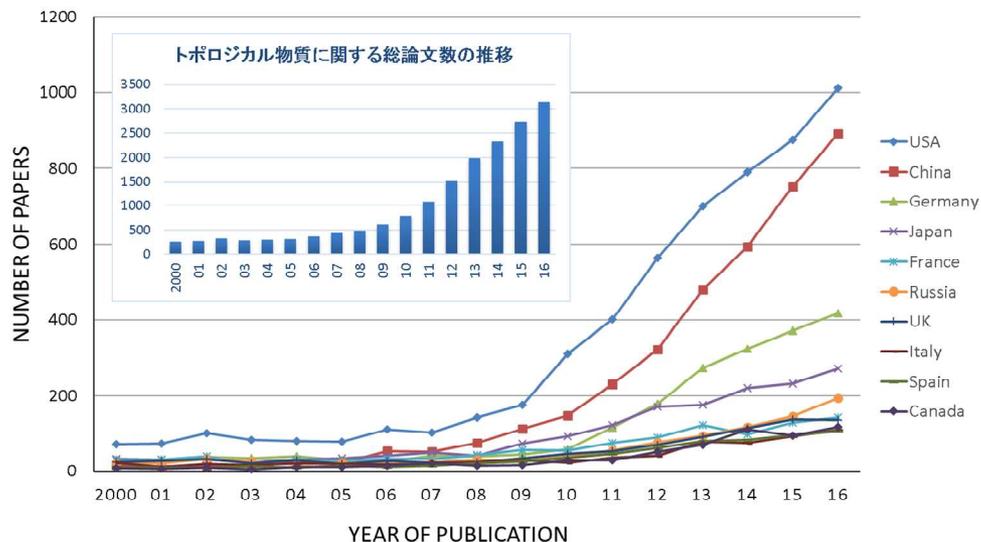
代表: Antonio Vecchione



□ Superconductivity TQP lab

代表: Alex Golubov

トポロジカル物質に関する国別論文数の推移

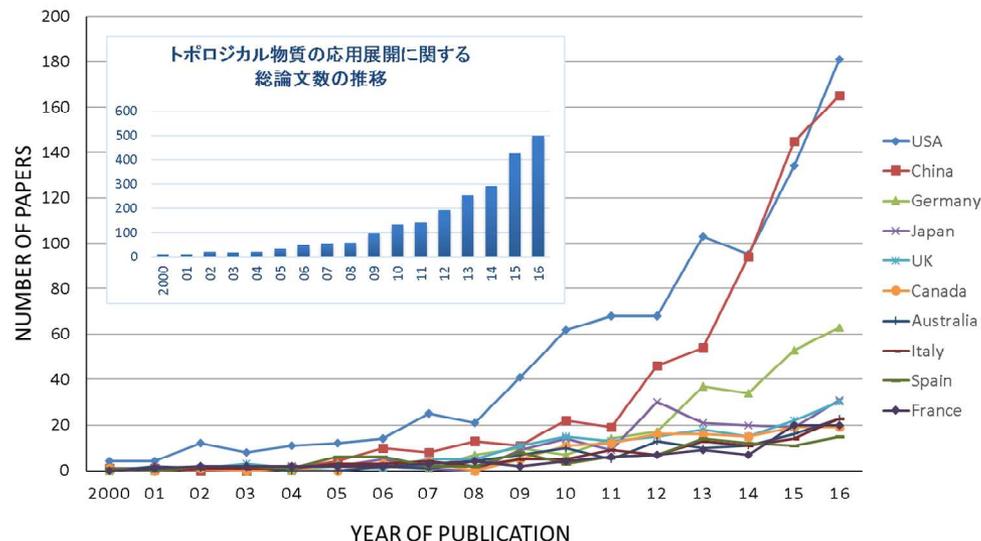


Web of Science, 2017.2.23時点

検索項目: トピック: (topological AND (material\* OR insulator\* OR superconduct\* OR semimetal\* OR skyrmion\* OR "strongly correlated" OR "spin liquid\*"))

- 2008年頃から論文数急増
- 2016年時点で、米、中、独、日の順
- 日本は超伝導、強相関係の物質開発、薄膜化技術などに強み

トポロジカル物質の応用展開に関する国別論文数の推移



Web of Science, 2017.2.23時点

検索項目: トピック: (topological AND ("quantum comput\*" OR spintronics OR photonic\*))

- 2014~2015年にかけて論文数1.5倍
- 2016年時点で、米、中、独、日の順

以下、参考資料

「トポロジカル量子戦略 ～量子力学の新展開がもたらすデバイスイノベーション～」

場所: JST東京本部別館2階セミナー室

日時: 平成28年12月19日(月) 10:00～18:00

セッション1「トポロジカル物質における研究の現状と将来展望」

川上 則雄氏(京都大)「新学術領域研究「トポ物質科学」の現状と将来展望」

十倉 好紀氏(理研)「磁性とトポロジー」

安藤 陽一(ケルン大)「トポロジカル絶縁体の将来デバイス展望」

村上 修一(東工大)「トポロジカル物質相に関する理論と材料探索への試み」

セッション2「数学、素粒子物理から見たトポロジカル物質」

小谷 元子氏(東北大)「数学による新しいトポロジカル相: 秩序系から無秩序系へ」

佐藤 昌利氏(京都大)「場の量子論とトポロジカル物理」

村山 齊氏(東京大)「自発的対称性の破れ、ソリトン、トポロジー」

セッション3「量子コンピューティングへの展開」

藤井 啓祐氏(東京大)「量子コンピュータとトポロジカル物理」

笹川 崇男氏(東工大)「トポロジカル物質を用いる量子計算への期待と課題」

セッション4「スピントロニクスへの展開」

大谷 義近氏(東京大)「トポロジカル磁性体のスピントロニクス機能」

鈴木 義茂氏(大阪大)「スピン軌道相互作用のデバイス応用」

セッション5「フォトンクスへの展開」

胡 暁氏(NIMS)「トポロジカルフォトンクスの新しい展開」

岩本 敏氏(東京大)「トポロジカルフォトンクスとトポロジカルフォノンクス

～実験の現状と課題～」

総合討論(ファシリテーター: 塚崎 敦氏(CRDS特任フェロー、東北大))

論点 提言の妥当性

世界をリードするための研究実施体制・産学連携の仕組み

具体的な研究課題と社会的・経済的インパクト

【コメンテーター】

齊藤 英治氏(東北大)

寒川 哲臣氏(NTT物性基礎研)

永長 直人氏(東京大)

橋本 幸士氏(大阪大)

村上 裕彦氏(アルバック)

【府省関係者】

内閣府: 1名

文科省: 5名

(量研室3名、ナノ材参事官付2名)

NEDO-TSC: 1名

産総研: 2名

NIMS: 2名

## 2016年ノーベル物理学賞

「トポロジカル相転移と物質のトポロジカル相の理論的発見」

### 授賞者

David J. Thouless (米ワシントン大学・教授)

F. Duncan M. Haldane (米ペンシルベニア大学・教授)

J. Michael Kosterlitz (米ブラウン大学・教授)

### 授賞内容

- Kosterlitz-Thouless転移の提唱
- 量子ホール効果の理論的解明 (TKNN数)
- 異常量子ホール効果の理論予測
- 量子スピン鎖におけるHaldane予想

## ■ CRDSのあるべき姿

- CRDSは我が国社会経済の持続的発展のため、科学技術イノベーション創出の先導役となるシンクタンクを目指します。

## ■ CRDSの任務

1. CRDSは国内外の社会や科学技術イノベーションの動向及びそれらに関する政策動向を把握し、**俯瞰し、分析**します。
2. **これに基づき、CRDSは課題を抽出し、**科学技術イノベーション政策や研究開発を提言し、その実現に向けた取組を行います。

## ■ 任務の実行にあたって

- CRDSは我が国産学官の関係者、社会のステークホルダー、更には外国関係機関と積極的に連携、情報・意見交換を行います。
- そして、得られた成果については、外部に積極的に発信します。

# CRDSの活動フローと成果の活用

## 【中長期目標】未来を共創する研究開発戦略の立案・提言

大変革時代において、科学技術の振興を通じて、我が国が将来にわたり競争力を維持・強化し、国際社会の持続発展に貢献していくため、先行きの見通しが立ちにくい中であっても国内外の潮流を見定め、社会との対話・協働や客観データの分析を通じ、科学への期待や解決すべき社会的課題を可視化して、先見性のある研究開発戦略を立案・提言する。

### JST/CRDS

科学技術分野の俯瞰

社会的期待の分析

国際動向等の  
調査・分析

### 情報提供

戦略プロポーザル  
俯瞰報告書  
調査・分析報告書  
など

継続的な情報交換、  
CRDS活動への参加など

### 政策立案の基礎資料等として活用

総合科学技術・  
イノベーション会議

科学技術基本計  
画、SIP等

文部科学省

戦略創造事業の  
戦略目標等

各府省  
日本学術会議  
研究者コミュニティ等

その他の施策

JST

各研究開発事業  
等

研究者コミュニティ、産業界、海外関連機関 など

年度	プロポーザルタイトル
FY2009	産業競争力強化のための材料研究開発戦略
	空間空隙制御材料の設計利用技術
	分子技術
FY2011	次々世代二次電池・蓄電デバイス基盤技術
	二次元機能性原子薄膜による新規材料・革新デバイスの開発
FY2012	デジタルデータの長期安定保存のための新規メモリ・システムの開発
FY2013	データ科学との連携・融合による新世代物質・材料設計研究の促進 ～マテリアルズインフォマティクス～
	インタラクティブバイオ界面の創製
FY2014	ナノスケール熱制御によるデバイス革新 — フォノンエンジニアリング —
FY2015	ナノ・IT・メカ統合によるロボット基盤秘術の革新～人に寄り添うスマートロボットを目指して～
	分離工学イノベーション～持続可能な社会を実現する分離の科学技術～
FY2016	トポロジカル量子戦略～量子力学の新展開がもたらすデバイスイノベーション～