

量子科学技術に関する JSTの取組み概況について

平成30年8月9日

量子科学技術委員会

理事 後藤吉正



科学技術振興機構

アジェンダ：

1. 量子科学技術の基礎基盤研究

(1) 戦略的創造研究推進事業

戦略目標と事業領域：さきがけ、CREST
ERATO

(2) 未来社会創造事業（大型プロジェクト型）

2. 量子技術外交

3. 量子技術動向の調査・分析状況

4. 今後

光・量子技術：戦略目標と研究領域

戦略目標／研究領域

光の極限制御・積極利用と新分野開拓(H27年度)

さきがけ [光極限] 光の極限制御・積極利用と新分野開拓
(研究総括：植田憲一 電気通信大学)

新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓(H27年度)

CREST[次世代フォトニクス] 新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術 (研究総括：北山研一 光産業創成大学)

量子状態の高度制御による新たな物性・情報科学フロンティアの開拓 (H28年度)

さきがけ [量子機能] 量子の状態制御と機能化
(研究総括：伊藤公平 慶応大学)

CREST[量子技術] 量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
(研究総括：荒川泰彦 東京大学)

量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明 (H29年度)

さきがけ [量子生体] 量子技術を適用した生命科学基盤の創出
(研究総括：瀬藤光利 国際マスメーキングセンター)

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 (H30年度)

さきがけ [トポロジー] トポロジカル材料科学と革新的機能創出
(研究総括：村上 修一 東京工業大学)

CREST [トポロジー] 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 (研究総括：上田正仁 東京大学)

戦略的創造研究推進事業 さきがけ

国が定めた戦略目標の達成に向けた独創的・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

研究領域	概要／今後の計画	研究総括
【光極限】 光の極限制御・積極利用と新分野開拓 (H27年度～)	①環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療等において将来の様々な社会的要請に応える新たな光利用を創成しようとする研究、②光の存在・介在によって出現する現象を利用して、従来の物理学・化学・生物学・工学等の分野に大きな革新をもたらす、これらの壁を打破しようとする研究、③高エネルギー密度科学や高強度光物理、極限物性研究などを通じて、より普遍的な原理及び現象を光科学技術の視点から確立しようとする研究、④上記の①～③を実現するための光源、受光、計測、イメージング機能を極限まで追究する。	植田 憲一（電気通信大学 名誉教授）
【量子機能】 量子の状態制御と機能化 (H28年度～)	様々な原子、分子、物質、ナノ構造、電磁波、生命体や、それらが相互作用する系に潜む量子現象の本質を紐解き、挑戦的な量子状態の操作・制御・測定をととして新概念、新機軸、新技術の創成に大きく寄与する。	伊藤 公平（慶應義塾大学 教授）
【量子生体】 量子技術を適用した生命科学基盤の創出 (H29年度～)	量子科学・量子技術を生体や生体分子の計測に応用することで、量子と生体の研究の交流と融合を促進し、生命科学を革新的に発展させることを目的とする。	瀬藤光利（浜松医科大学 国際マスイメージングセンター／センター長）
【トポロジー】 トポジカル材料科学と革新的機能創出 (H30年度～) 現在公募中	「トポジカル絶縁体」に代表される様々なトポジカル量子材料に加え、磁性、光学、メカニクス、ソフトマター（高分子材料・ゲル材料など）分野など、広範な領域における「トポジカル材料科学」の探求を通して、原理的にその性能向上の限界が顕在化してきているエレクトロニクスデバイス分野等において新たなパラダイムを築くことを目指す。今年度から採択開始	村上 修一（東京工業大学 教授）

戦略的創造研究推進事業 CREST

国が定める戦略目標の達成に向けて研究総括の運営の下、独創的で国際的に高い水準の目的基礎研究を推進

研究領域	概要／今後の計画	研究総括
[次世代フォトニクス] 新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術 (H27～)	新たな光機能物質の人工生成や革新的な光制御技術による通信・ネットワーク技術の開発、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出を目指す	北山研一 (大阪大学教授)
[量子技術] 量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出 (H28～)	光科学、物性科学、ナノ構造・材料科学、情報科学に立脚して量子状態の高度制御の物理と技術の探求するとともに、社会の発展に資する革新的量子技術基盤の創出を目指す。	荒川泰彦 (東京大学教授)
[トポロジー] 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(H30～) 現在公募中	「Mooreの法則」の限界を打破するため、トポロジカル材料に着目し、新たな機能を有する革新的デバイスを創出することで、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していく。	上田正仁 (東京大学教授)

究極の大規模光量子コンピュータ実現法を発明

東京大学古澤チーム 平成29年9月22日

情報を乗せた多数の光パルスは、
一列に並んでループを周回

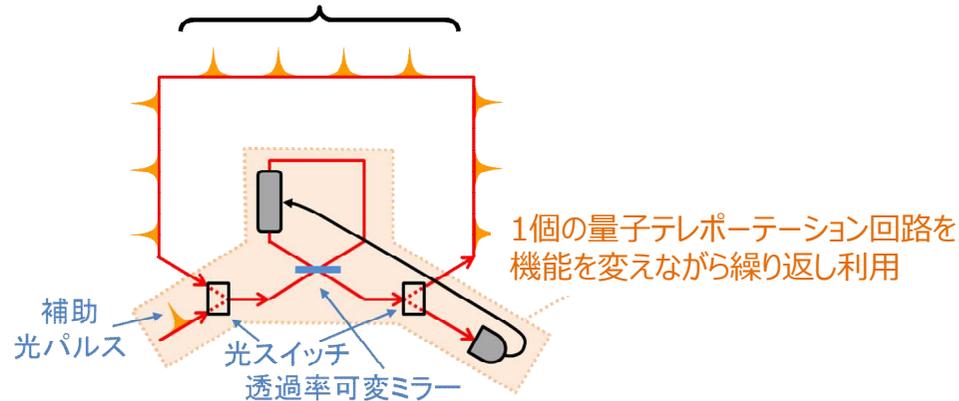


図1 今回発明した光量子コンピュータ方式

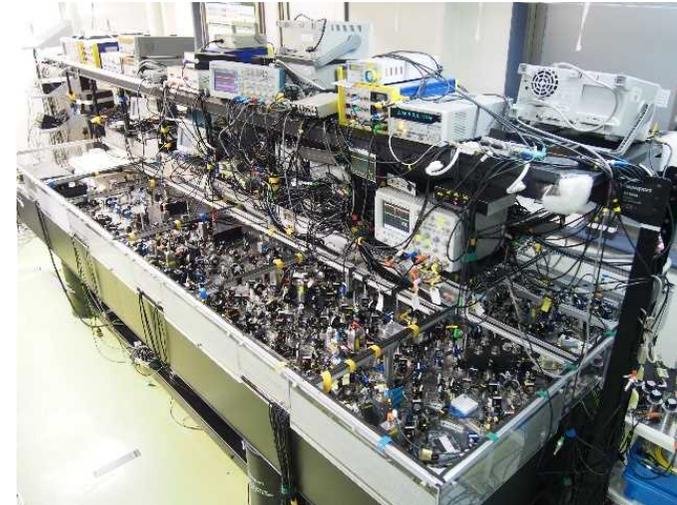


図2 実際の量子テレポーション装置の全体像
(4.2m x 1.5m 光学テーブル上に500枚以上の
ミラーやレンズを配置)

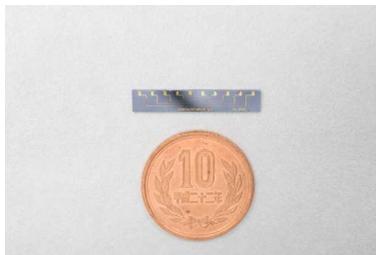


図3 光導波路チップ

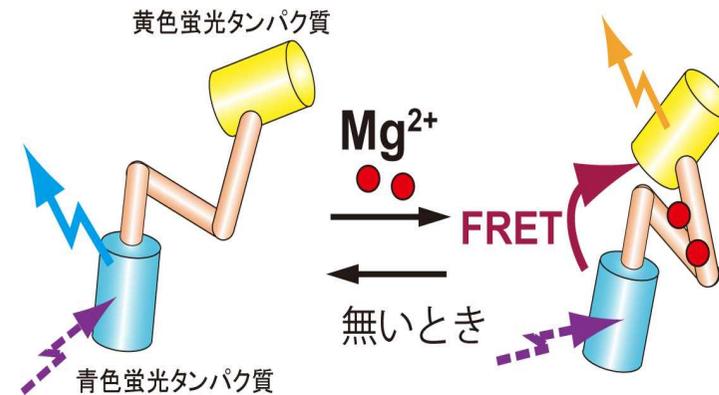
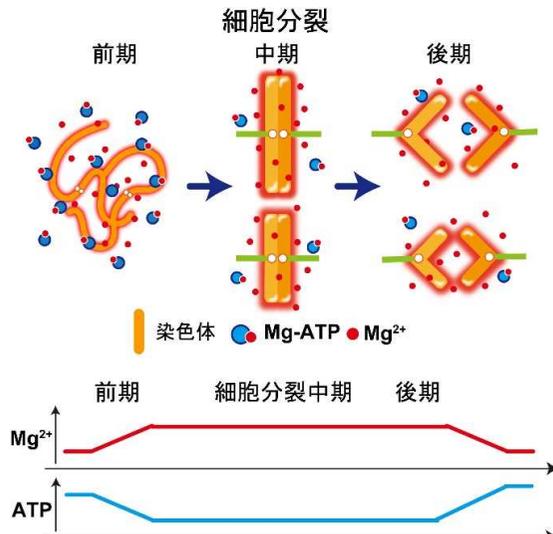
平成27年に量子テレポーション回路の一部を光チップに
置き換える実験に成功。図3はそのときに用いた光チップ

今回発明した光量子コンピュータ方式（図1）を光チップ上で実現できれば、極めて小型の量子
コンピュータ実現へ期待が高まる

参考：<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170922/index.html>

生細胞イメージングにより新たなメカニズムを検証

大阪大学 永井チーム 平成30年1月19日



蛍光タンパク質技術を駆使してMg²⁺濃度の変化を高感度で感知できる蛍光センサー MARIO を開発し、生細胞内のMg²⁺濃度を蛍光イメージングにより可視化することに成功しました。胞分裂の際にMg²⁺濃度が一過的に上昇することを示すとともに、負の電気を帯びているDNA同士の間を弱め、染色体の凝縮を促進していることを明らかにしました。本研究によって、実際にMg²⁺が細胞のなかで染色体の凝縮にかかわっていることが初めて証明されました。今回の蛍光センサー開発と生物学的知見の発見は、このような細胞の異常が起こるしくみの解明につながると期待されます。

新しい蛍光Mg²⁺センサーMARIOの検出原理 青色と黄色の2種類の蛍光タンパク質が、検出タンパク質(肌色)でつながれている。Mg²⁺が検出タンパク質に結合すると、2種類の蛍光タンパク質が引き寄せられ、FRETと呼ばれるエネルギーの移動が起こり、紫の光を照射したときに放射される蛍光の色が青から黄にシフトする。

参考 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180119/index.html>

シリコン量子ドット構造で超高精度量子ビットを実現

理化学研究所 樽茶研究グループ 平成29年12月19日

量子ビット演算精度 \propto 演算速度 \times 量子情報保持時間

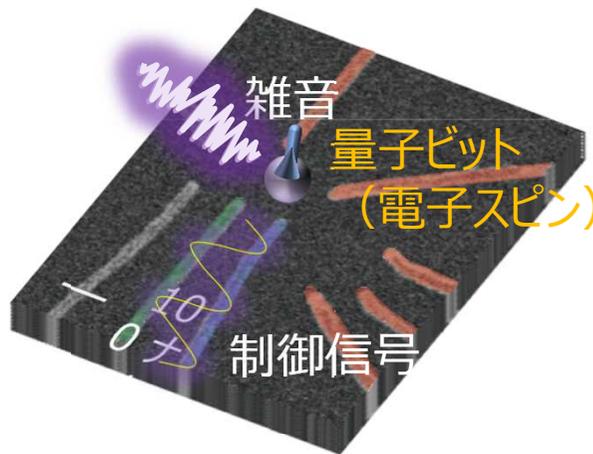
»99%

従来の問題点：

外部環境に
敏感な方が有利

外部環境に
鈍感な方が有利

⇒ 両立が難しい

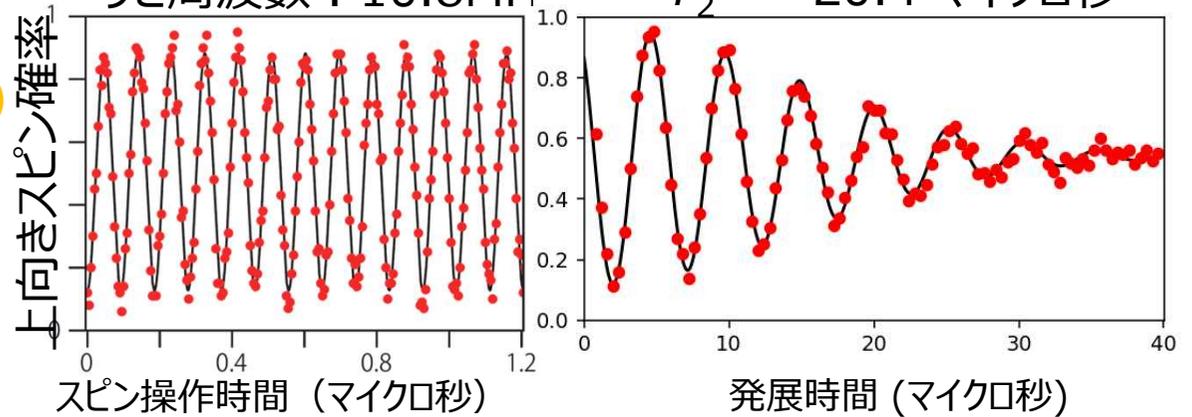


シリコン量子ドット試料構造

微小磁石 + 同位体制御法

ラビ周波数：10.8MHz

$T_2^* = 20.4$ マイクロ秒



スピンの操作時間 (マイクロ秒)

発展時間 (マイクロ秒)

100倍の演算速度

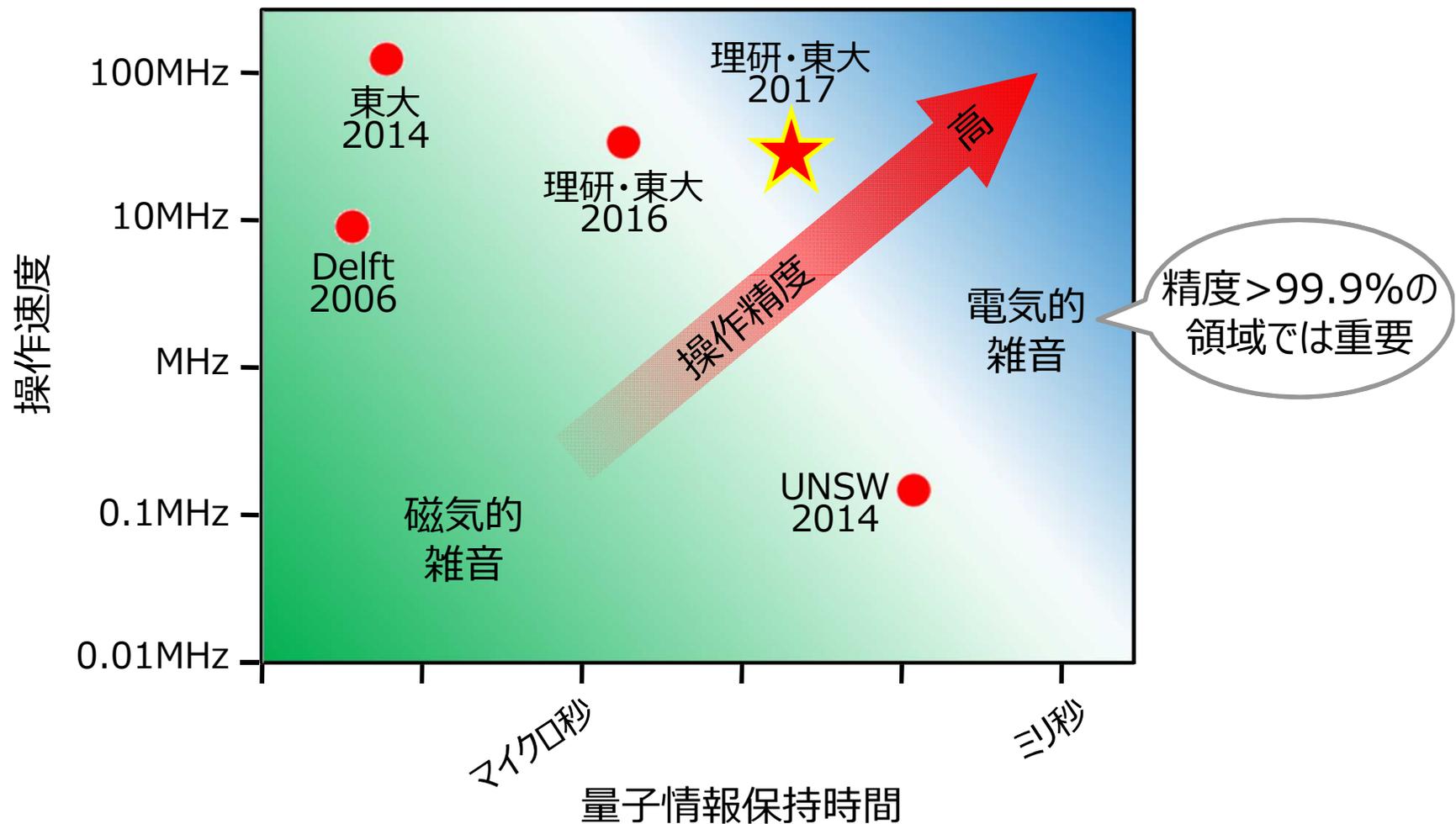
10倍の演算速度

1000倍の演算精度を実現

CREST「量子状態の制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」樽茶チーム・H29年度成果

参考：<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20171219/index.html>

量子ビット性能ベンチマーク



UNSW: University of New South Wales, Australia

戦略的創造研究推進事業 ERATO

新たな科学技術分野へと展開し、新産業の創出へ貢献
 既存の研究の延長ではなく新たな視点からの挑戦する研究

研究領域	概要／今後の計画	研究総括
美濃島知的光シンセサイザプロジェクト (H25～H30) 光周波数コム	周波数軸上においてスペクトル強度が櫛状に精密かつ等間隔に並んだ先端光源「光コム」を、エレクトロニクスと光技術との融合により、光の有している多面的・多元的性質を目的に応じて取り出して使うことのできる基盤的かつ革新的な技術：「知的光シンセサイザ」へと進化させ、先端計測への応用を拓く。	美濃島薫 (電気通信大学教授)
齊藤スピン量子整流プロジェクト (H26～H31) スピン量子整流	スピンの整流作用を用いた力学的・電氣的・熱的エネルギーの流れの制御を目指す。また、ミクロなスピン現象を物体そのものの運動に拡張し、物質の物理理論における新しいパラダイム創世に挑戦する。これに立脚したスピン流に基づく科学技術、スピンを用いた新たなエネルギー変換方法を開拓する。	齊藤英治 (東京大学教授)
百生量子ビーム位相イメージングプロジェクト (H26～H31) 位相イメージング	高エネルギー光子(X線)や中性子、電子などの量子ビームの波としての性質を利用して、量子ビームが物体を透過する際に生じる位相の変化(位相情報)を活用する、「位相イメージング」技術の飛躍的な展開を目指す。	百生敦 (東北大学教授)
中村巨視的量子機械プロジェクト (H28～H33) 超電導電子回路	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導量子回路を用いた高精度な量子状態制御・観測技術、ハイブリッド量子系の構築により、複雑かつ柔軟な「量子機械」を実現し、誤り量子耐性量子計算を目指した基盤技術確立する。 超伝導量子回路を用いた量子状態制御技術・量子情報処理技術の飛躍的な向上、量子コンピュータの早期実現、量子中継技術やクラウド量子技術等の量子通信応用への展開と急速な発展が期待される。 	中村泰信 (東京大学教授)

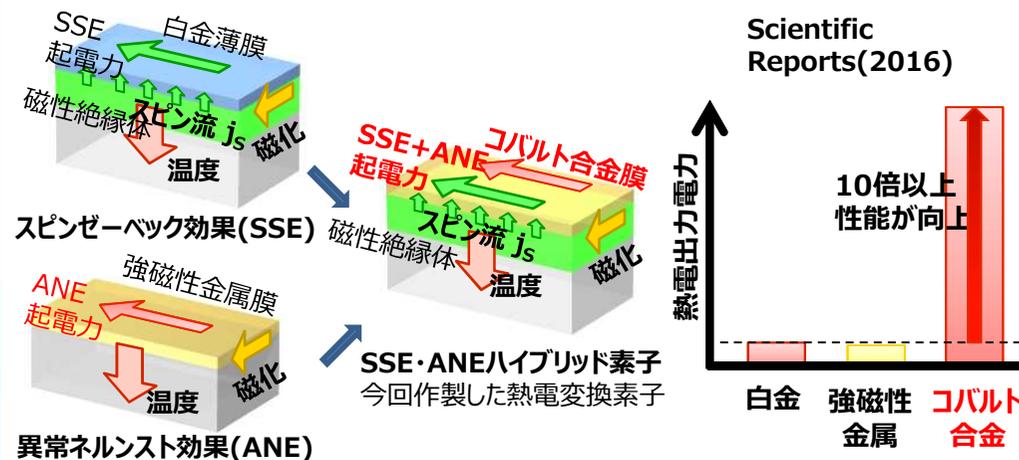
ERATO 齊藤スピン量子整流プロジェクト

研究総括： 齊藤 英治（東京大学 教授）



スピンの量子力学的な整流作用を活用し、自然界の様々な揺らぎを仕事に変換するという、**全く新しいエネルギー技術**を開拓する

10倍以上の効率向上を実現したスピントラック熱電変換素子



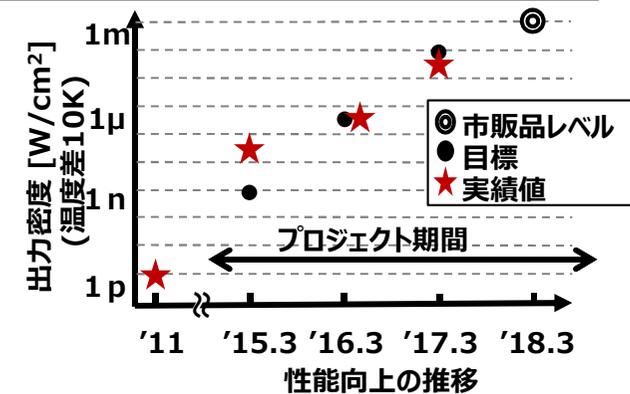
- ① より安価で高性能な強磁性合金を開発し、「異常ネルンスト効果」と呼ばれる熱電効果を「スピントラック効果」と併用し、熱電変換効率を大きく向上。
- ② 環境発電への応用など実用化に目処。

課題

- ・Materials Informatics等による材料開発による高効率化。
 - ・光¹、振動²、環境の様々な揺らぎ（トランススケール揺らぎ³）からの発電・最適化。
1. Nature Communications(2015), 2. Natur Materials(2011), 3. J. High Energy Phys.(2018)

	本技術	従来技術
変換原理	スピントラック効果 熱流と電流が垂直	ゼーバック効果 熱流と電流が平行
構造	 金属電極 磁性体 熱流	 n-型 p-型半導体 素子の外観 熱流
特徴	・シンプルな構造 ・コスト、耐久性に利点	・構造が複雑 ・半導体製造工程で作製

スピントラック素子の熱電変換効率年次推移



想定応用：IoT・センサネットワークの端末の自立電源

- ・電池交換不要による新たなサービス展開の可能性。
- ・環境発電によりCO2削減に大きく貢献。
- ・2020年にはIoT世界市場は3兆ドルを超えると予測¹⁵

ERATO 齊藤 量子整流プロジェクト 主なトピックス

06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

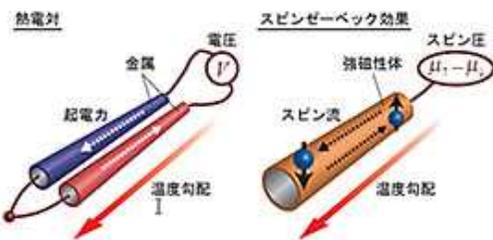
さきがけ次世代D

CREST ナノシステム

ERATO

スピントラック効果の発見
(Nature 2008)

電流や磁界を用いず、磁石の両端に温度差を付けるだけで電子スピンの流れを作り出す

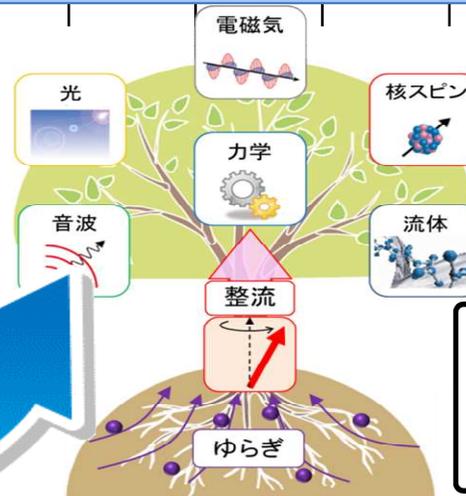
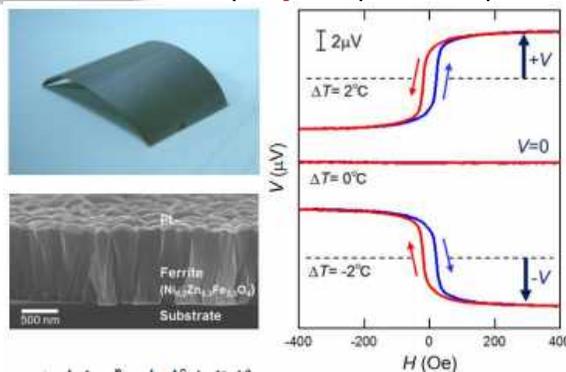


スピントラック熱電素子
Nature Materials 2012

絶縁体における
スピントラック効果の発見



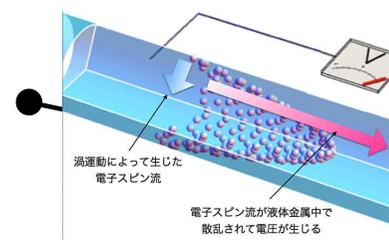
Nature Materials 2010



ERATOの基本構想
(新たな領域の開拓)

「スピンの整流性を使えば、材料内部でエネルギー変換・情報処理を行える」

スピントラック量子整流



スピントラック発電：
流れる液体金属中に生じる渦運動によって生成されたスピントラックにより電圧が発生 (Nature Physics 2015)

スピントラック熱電素子性能向上
Scientific Reports 2016

未来社会創造事業-大規模プロジェクト型

将来の基盤技術となる「技術テーマ」を文部科学省が特定し、その技術テーマに係る研究開発課題に集中的に投資。実用化が可能であることを見極められる段階（概念実証：POC）まで研究開発を行う。

技術テーマ	概要／今後の計画	PM
粒子加速器の革新的な小型化及び高エネルギー化につながるレーザープラズマ加速技術 (H28年度～) レーザープラズマ加速	放射光計測装置や粒子線治療装置といった、粒子加速器を用いる装置の革新的な小型化を可能にするレーザープラズマ加速技術について、実用化が可能であることを見極められる段階（概念実証：POC）まで研究開発し、幅広い分野における汎用基盤技術に発展させることを目指す。	熊谷教孝 (JASRI 名誉フェロー)
自己位置推定機器の革新的な高精度化及び小型化につながる量子慣性センサー技術 (H29年度～) 量子慣性センサー	量子効果を用いた角速度センサーについて、原子干渉やレーザー冷却といった要素技術の向上とともに、機器の大きさを抑えつつ高感度を得るためのシステム化技術について、実用化が可能であることを見極められる段階（概念実証：POC）まで研究開発し、幅広い分野における汎用基盤技術に発展させることを目指す。	上妻幹旺 (東工大教授)
通信・タイムビジネスの市場獲得等につながる超高精度時間計測 (H30年度～) 時間計測	超高精度の時間に係る計測機器の小型化、軽量化、安定動作、及びネットワーク化等を実現し、新たに拓かれる通信・タイムビジネス、例えば通信の高速化・安定化や自然災害等の的確な予測・対応等を通して、より快適な情報化社会の実現を目指す。	公募中

欧州 QT Flagshipプロジェクト

QT領域	研究期間		
	0-3 years (Ramp-Up Phase)	3-6 years	In 10 years
量子通信	<ul style="list-style-type: none"> ・乱数発生器 ・通信プロトコル ・量子中継器 ・小規模ネットワーク (10Mbps) 	<ul style="list-style-type: none"> ・中規模量子インターネット(200-300km, 100Mbps) 	<ul style="list-style-type: none"> グローバル量子インターネット(>1000km, >100Mbps) ・衛星利用通信
量子計算	<ul style="list-style-type: none"> ・量子プロセッサ(50qbit) ・コンパイラ、 ・高級言語 	<ul style="list-style-type: none"> ・量子プロセッサ(数100qbit、誤り耐性) ・データセンターでのフィールドテスト 	<ul style="list-style-type: none"> ・量子計算センター
量子シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・50processors, 500lattices ・量子化学計算 	<ul style="list-style-type: none"> 科学の重要な問題解決における量子優位性の実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料科学計算 (スパコン代替)
量子計測	<ul style="list-style-type: none"> ・量子センサー(単一qbit)商用化 	<ul style="list-style-type: none"> ・量子イメージング計測標準 ・医療イメージング 	<ul style="list-style-type: none"> ・エンタングルメント量子センサー
基礎研究	量子技術の限界に関する研究。他科学技術分野への量子技術の適用		

連携で進める

“Quantum technologies flagship final report “(High-Level Steering Committee, 2017); ec.europa.eu/newsroom/document.cfm?doc_id=46979

量子技術外交

■ 日仏CREST荒川領域

量子状態の高度制御によりこれまでの限界に挑むことで、新たな量子情報処理技術の開発や、従来技術を超えたセンサーやデバイスの実現をはじめとする様々な量子技術の社会実装に向けた基盤構築のための研究開発であることを期待。現在公募中の段階。

■ SICORP 日本–ドイツ「オプティクス・フォトニクス」国際産学連携共同研究

テーマ名	体制
高性能電気光学ポリマーを使った高効率シリコン光デバイス 超高速光デバイス	日本：横山 士吉 教授（九州大学 先導物質化学研究所） 日本側チーム：【学】九州大学、【産】日産化学工業株式会社 ドイツ：コース・クリスチャン 教授（カールスルーエ工科大学、光量子エレクトロニクス研究所） ドイツ側チーム：【学】カールスルーエ工科大学 【産】ブァンガード オートメーション有限会社
ダイナミックインタラクションに向けた高速マルチスペクトルプロジェクタ・センシングの開発 次世代プロジェクション	日本：渡辺 義浩 准教授（東京工業大学 工学院情報通信系） 日本側チーム：【学】東京工業大学、【産】東京エレクトロ デバイス株式会社 ドイツ：ペトロ・アシュエンド CEO（ヴィアラックス） ドイツ側チーム：【学】フ라운ホーファー応用光学・精密機械工学研究所 【産】ヴィアラックス
超解像X線位相イメージングの開発 X線位相イメージング	日本：百生 敦 教授（東北大学 多元物質科学研究所） 日本側チーム：【学】東北大学、【産】浜松ホトニクス株式会社 ドイツ：ユルゲン・モーア グループ長（カールスルーエ工科大学 微小構造研究所） ドイツ側チーム：【学】カールスルーエ工科大学 【産】有限会社マイクロワークス

■ 日–EUワークショップ

(<https://premc.org/conferences/qttech-quantum-technology/japan-eu-workshop/>)

テーマ：Advanced Quantum Technology for Future Innovation

日時：2018年9月3日、4日

会場：ソルボンヌ大学（パリ）

量子技術動向の調査・分析状況

CRDSにより量子技術動向の調査分析が行われ、以下のとおり戦略プロポーザルとしてまとめられている

- 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～
急速に発展しているトポロジカル物質群及びトポロジに付随して発現する多彩な物性に関する研究開発に着目し、そこで生じている量子力学の新たな展開を加速すると共に工学応用の実現を目指すための研究開発戦略 [平成29年3月発行：CRDS-FY2016-SP-02]
- 革新的コンピューティング～計算ドメイン志向による基盤技術の創出～
物理的な世界（フィジカル空間）とコンピュータやネットワーク上のサイバー空間とが融合したサイバーフィジカルシステム（Cyber Physical System：CPS）の実現に必要な高度情報処理が可能なコンピューティング技術の研究開発課題と推進方法に関する提案 [平成30年3月発行：CRDS-FY2017-SP-02]
- みんなの量子コンピューター
量子コンピューター・量子シミュレーターをどのように開発し、どのような応用に使うのか、計算機科学・電子工学の視点からアプローチする研究開発戦略の提案 [今年秋頃発行予定]

今後にむけて

■ 工学的挑戦

- 理論を形にし、実際の使える物に仕立てあげるためには、エンジニアの出番が必要。

■ プラットフォーマーを目指して

- 一般の人が使って試せる基盤を作る。
ハードウェアだけでなく、ソフトウェア開発基盤やAPIなども必要となってくると考える。