

量子計測・デバイス・マテリアル等の 産業の今後について

2022年 2月 24日

日本電信電話株式会社 先端技術総合研究所

そうがわ てつおみ

寒川 哲臣

Q-STARにおける量子計測・デバイス・マテリアル等の位置づけ

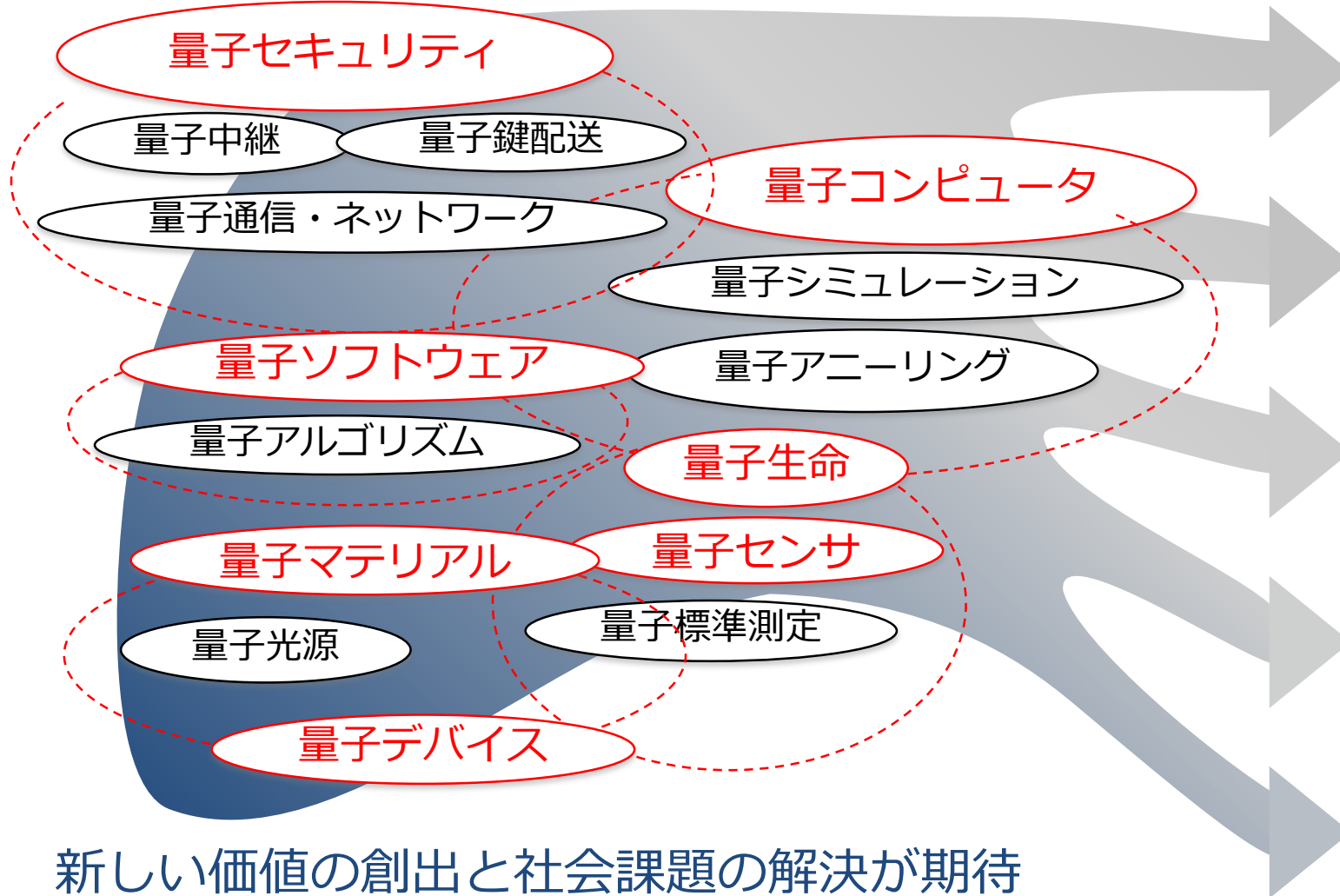
量子技術の発展を支える量子マテリアル、量子デバイス、量子センサ、量子生命といった分野は、研究から社会実装まで長期間にわたるものもある。

これらは、日本の産業界の大きな発展を促すポテンシャルを持っていることから、アカデミアとの連携を通じて早い段階から社会実装に向けた準備を産業界として進めていくことが重要。

Q-STAR 設立趣意書より抜粋

量子技術の研究分野と、今後期待される産業応用

量子技術に対する開発イメージ



代表的な応用分野

1. 通信・セキュリティ

2. 情報処理

3. ライフサイエンス

4. センシング

5. 環境・エネルギー

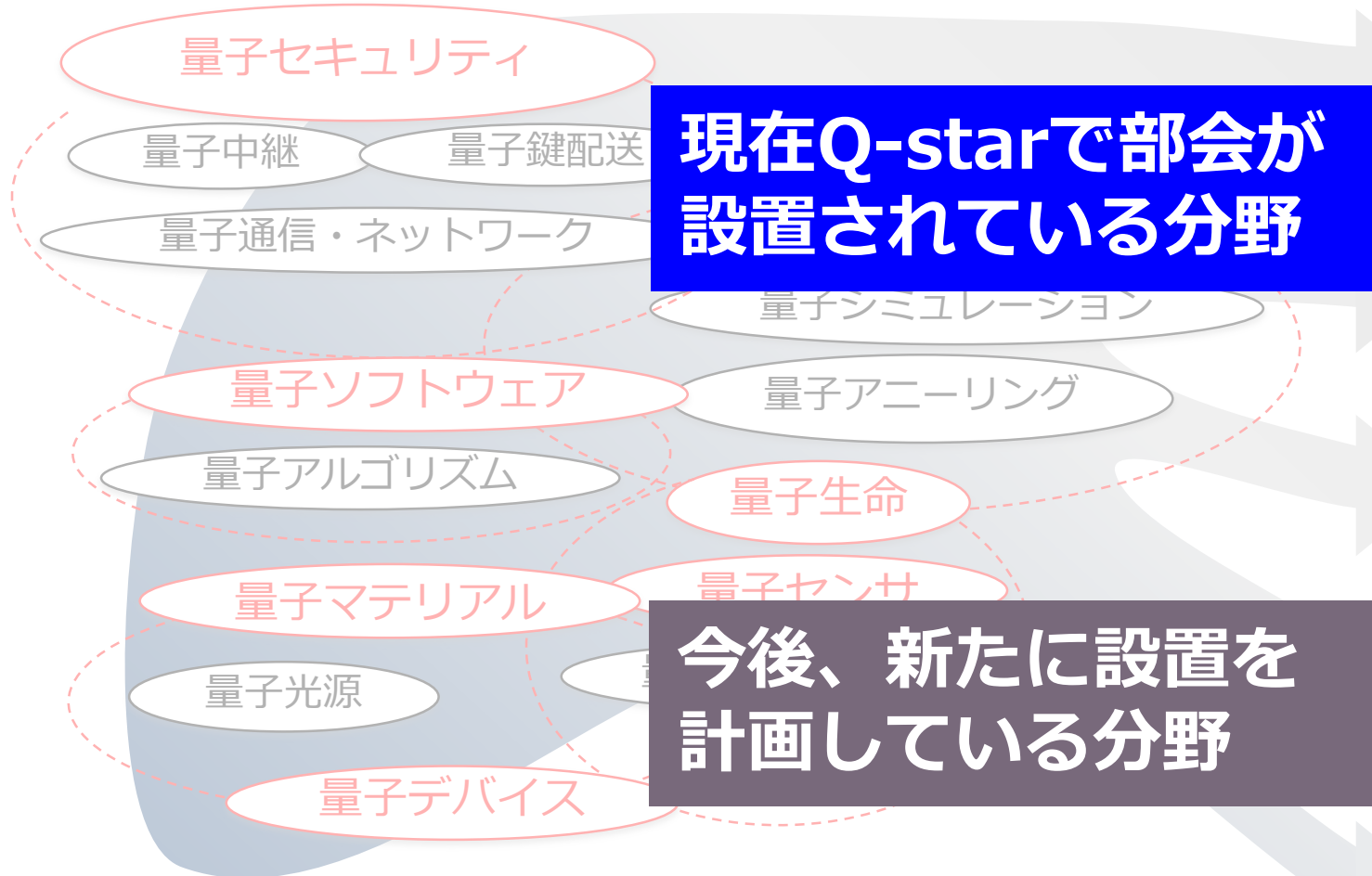
新しい価値の創出と社会課題の解決が期待

量子マテリアル・センサ・デバイスは全ての分野に関連する重要分野

量子技術の研究分野と、今後期待される産業応用

量子技術に対する開発イメージ

代表的な応用分野



1. 通信・セキュリティ

2. 情報処理

3. ライフサイエンス

4. センシング

5. 環境・エネルギー

新しい価値の創出と社会課題の解決が期待

量子材料・センサ・デバイスは全ての分野に関連する重要分野

1. 通信・セキュリティ

量子グローバルネットワークの構築による無条件安全通信

量子デバイス（On demandもつれ光源、高感度検出器、量子メモリ、リピータなど）の開発が必要

● 政治・行政

- ・ 安全なオンライン選挙、首脳会談
- ・ 行政機関へのハッキング防止

● 経済・金融

- ・ なりすまし/ハッキング防止による安全かつ公正な電子商取引の拡大

● 医療

- ・ 安全な遺伝情報や医療情報のやり取り

● インフラ

- ・ 重要インフラへのハッキング防止
- ・ GNSSの高精度化と高セキュリティ化



2. 情報処理

量子コンピュータ、量子の特徴を活かした専用マシンによる、現在コンピュータが苦手とする問題の解決

量子マテリアルによるQubitの特性改善（コヒーレンス、動作温度、集積化）が必要
光量子情報処理デバイス（スクイーズ、光子数識別器、低損失光集積機能回路）の開発

●情報分析・解析

- ・データベース検索、素因数分解、量子化学計算

●交通・物流

- ・交通量、輸送ダイヤ、ネットワーク最適化

●ものづくり

- ・工場での無人搬送車の配送効率最適化
- ・最適な在庫割り当て

●経済・金融

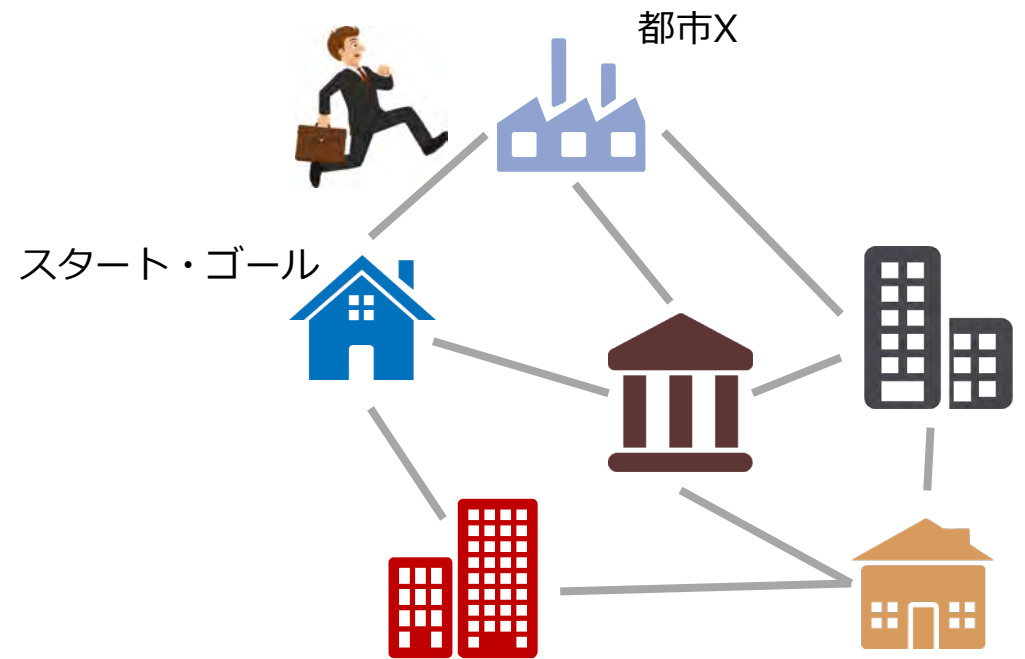
- ・最適な資産ポートフォリオ形成

●電力

- ・送電網/発電所の位置の最適化

●通信

- ・通信リソース(光/電波の波長、パス)の最適化



3. ライフサイエンス

量子化学計算による創薬の効率化、量子センサや量子AIによる医療の革新

量子センサーの高感度化、アレー化が必要

ナノ物質中での反応からサブミリでの画像センシングまでの高速・高感度検出

●創薬

- ・タンパク質の立体構造予測による医薬候補の高速・高精度探索

●医療・生命

- ・NVセンタ、ナノ量子センサーの医療応用
- ・超高感度MRIによるがん治療効果の高速判定
- ・脳磁/心磁計測による脳疾患/心疾患の早期発見
- ・細胞診断による疾病の予測/早期発見
- ・脳/免疫/疾病のメカニズムの解明
- ・光合成の解明

●飲料・食品・衣料

- ・感情/脳の働き検知による新しい生活様式の提案



4. センシング

量子センサーによる超高感度の環境計測と自動航法の発展

量子センサー(光格子時計や量子ジャイロ)の社会実装に向け、
小型化・高信頼化・低廉化が必要

●地球環境

- ・高度/地磁気計測による災害予測

●極限環境

- ・無人機による地下/海底鉱脈の資源探査
- ・ジャイロ、磁場センサ

●物理標準

- ・電圧基準/電流基準

●生命・医療

- ・超高感度MRIによるがん治療効果の高速判定
- ・脳磁/心磁計測による脳疾患/心疾患の早期発見
- ・細胞診断による疾病の予測/早期発見



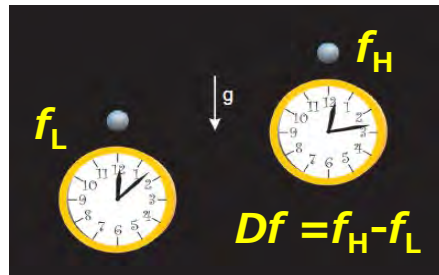
JAMSTEC HPより引用

<https://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/urashima.html>

4.1 センシング（地殻変動計測）

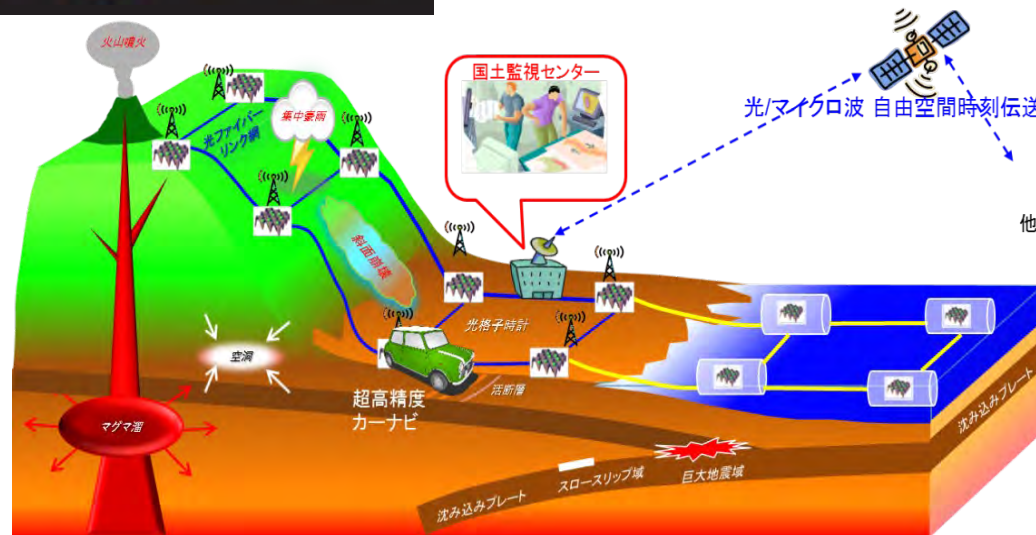
光格子時計（東大香取教授）を商用光ファイバにより遠隔接続することで、高精度のセンシングネットワークの実現が期待

測地学・地震学・火山学等への応用による、安心・安全な生活環境の実現



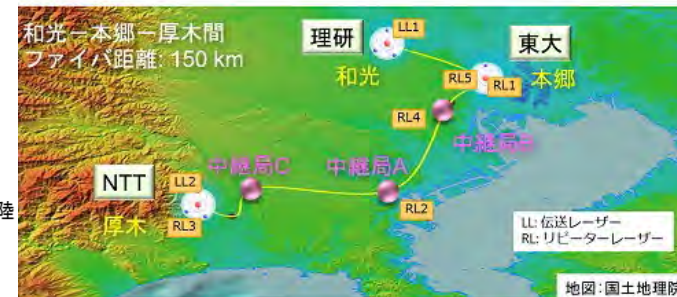
広範な応用

- ・ 周波数・時間基準配信
- ・ 測地学(量子水準点)
- ・ 地震学、火山学 (国土監視NW)
- ・ 資源探査
- ・ 物理定数の恒常性
- ・ ダークマター
- ・ 現在のGPS応用すべて (GNSSを補完or無力化)



東大香取教授資料より抜粋

光/マイクロ波 自由空間時刻伝送



- ・ リピーターシステム一式 (19インチラック1つサイズ)
- ・ 別ネットで遠隔操作可能

NTT東の厚木-本郷間ファイバ網と、既存の和光-本郷ファイバ網を接続し、遠隔運用可能な150 km級ファイバリンクを構築

NTT, 東京大学, NTT東の共同研究による報道発表 (2020/3/18)

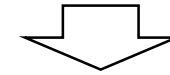
4.2 センシング（精密電圧標準・電流標準）

ジョセフソン効果を利用した量子電圧標準（国家標準）

AIST提供資料から

ジョセフソン接合（NbN/TiNx/NbN）集積素子を作製し、動作温度を上昇

NbN ($T_c = 16$ K) を利用し、小型化に成功

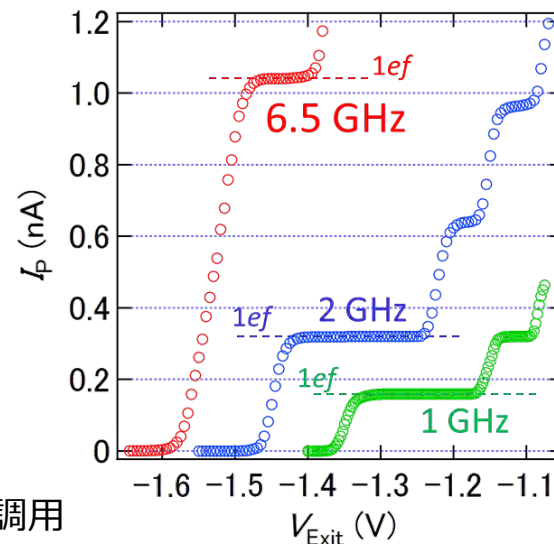
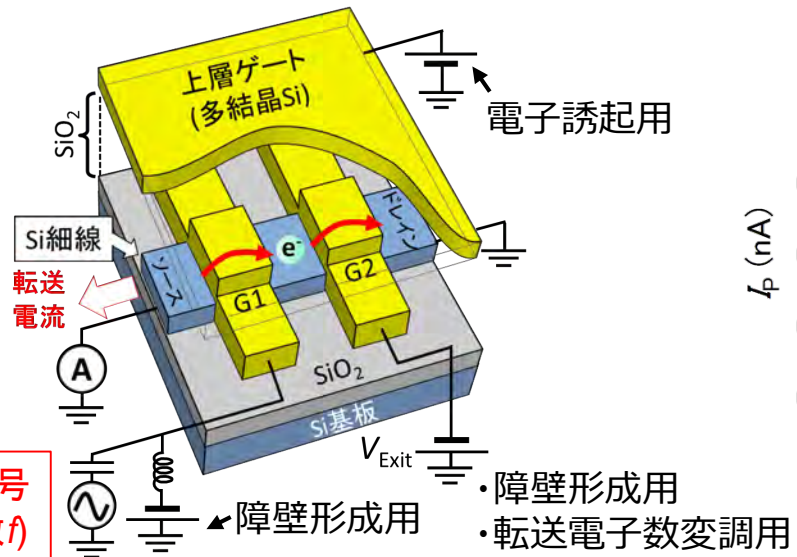


コンパクトな超精密電圧標準の実現が期待

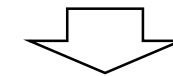
単電子素子を利用した量子電流標準

NTT, 英国国立物理学研究所よる報道発表 (2016/7/5)

独自のシリコン単電子トランジスタで、世界最高精度かつ高速な単電子転送を実証



高速動作時の高精度な電流プラトーを確認



高感度・高速な電磁場センサや、
バイオ（血液）センサ等への応用が期待

入力信号
(周波数 f)

5. 環境・エネルギー

環境負荷を低減できる新材料とエネルギーハーベストデバイス

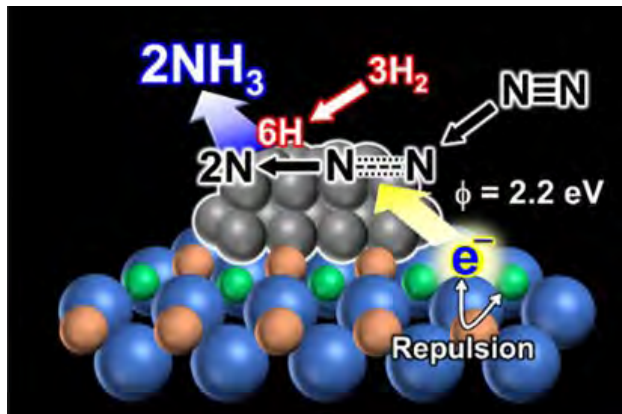
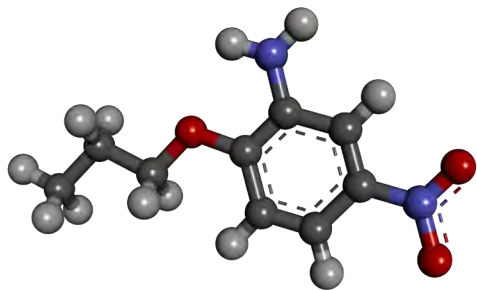
低環境負荷デバイスの高効率化や高機能化に資する量子マテリアルの開発が必要

●環境

- 革新的な触媒/触媒担体の開発によるNH₃合成、工場などからの排出ガスの高効率な無害化
- 高効率な化学肥料設計による農業の高効率化
- 自然環境にやさしいプラスチック開発による環境負荷低減
- 高効率人工光合成の実現

●エネルギー

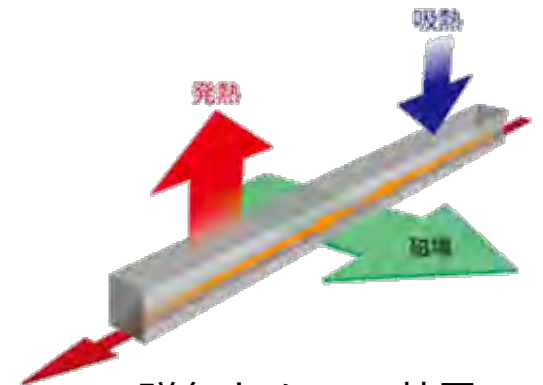
- 量子マテリアルによる省電力デバイスの実現
- エネルギー変換材料を使った無電源デバイスの普及



低温NH₃合成 (Ru/CaFH)
水素化フッ素化カルシウムに
ルテニウムナノ粒子を担持

東工大 細野研究室HPより引用

<https://www.titech.ac.jp/news/2020/046682>



磁気トムソン効果
(熱・電気変換を磁場で制御)

NIMS, AISTのプレスリリースより引用

<https://www.nims.go.jp/news/press/2020/09/202009010.html>

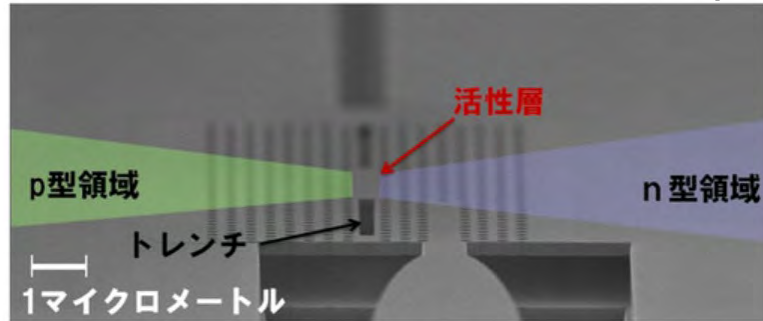
5.1 環境・エネルギー（量子マテリアルによる高効率化）

フォトニック結晶を利用した光トランジスタ

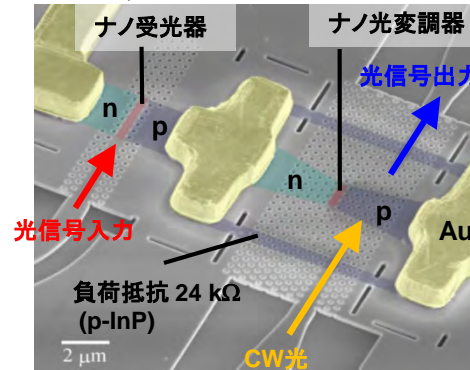
NTTによる報道発表 (2019/4/16, 2013/5/24)

フォトニック結晶技術により超低消費電力で動作するレーザおよび光トランジスタを実現

超小型半導体レーザ（LEAPレーザ）

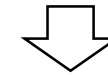


光トランジスタ



CMOSと同等のfFレベルの
キャパシタンス

波長スケールのレーザと、
光電変換を利用した光の変調を実証



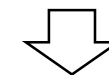
小型かつ省電力の光デバイスの
実現が期待

スピンを用いたエネルギー変換

磁石中で熱でスピンの流れを作るスピンゼーベック効果を実証

内閣府資料より引用

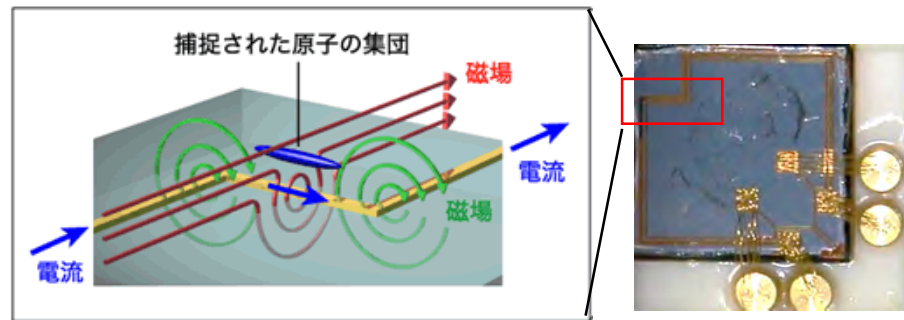
温度差を発生させた磁性体において、
スピン流が長距離伝搬し、起電力が発生



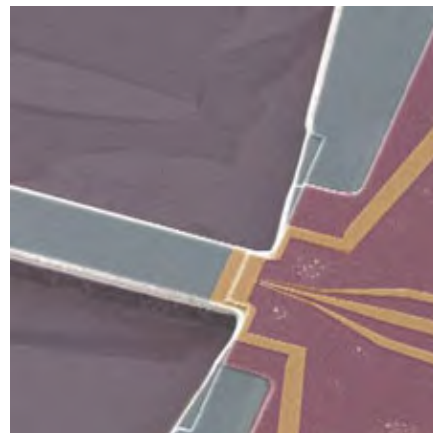
スピン流を利用した熱流制御デバイスの
実現が期待

熱によって発生するスピン流

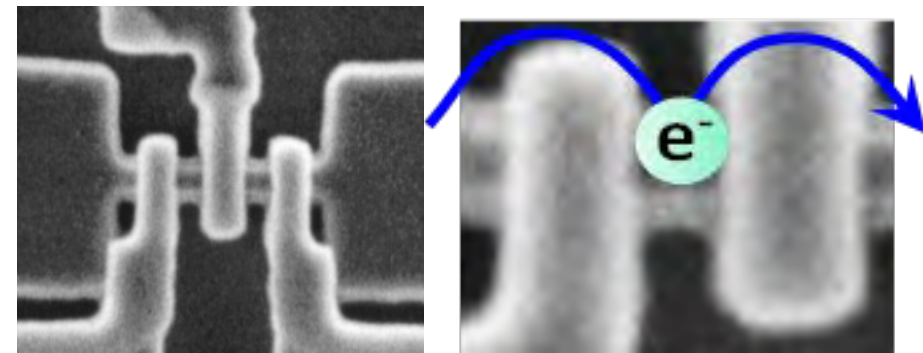
NTTで取り組んでいる量子デバイス



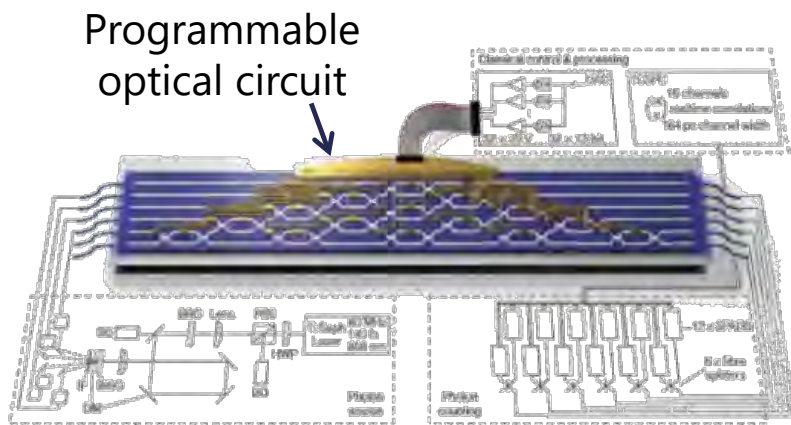
超伝導永久電流アトムチップ
→ 中性原子を使った量子演算システム



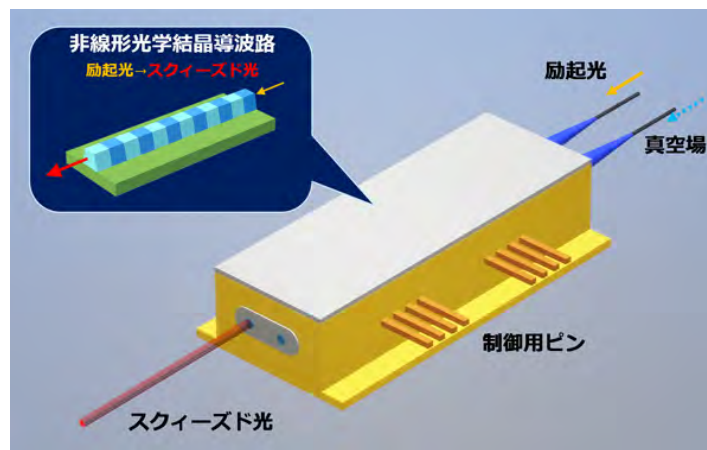
ナノメカニクス素子 (MEMS/NEMS)
→ 振動による核スピンの制御/量子メモリ操作、
超低消費電力演算



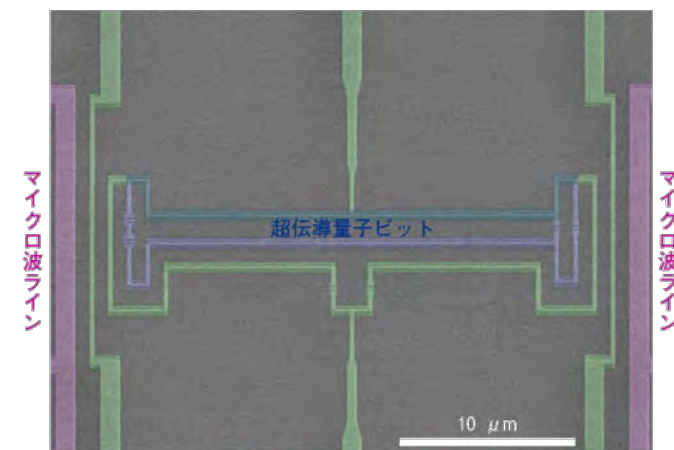
単電子トランジスタ
→ 高感度電磁場センサ、
バイオ(血液)センサ



PLC光集積回路
→ 小型かつ大規模の量子情報処理システム

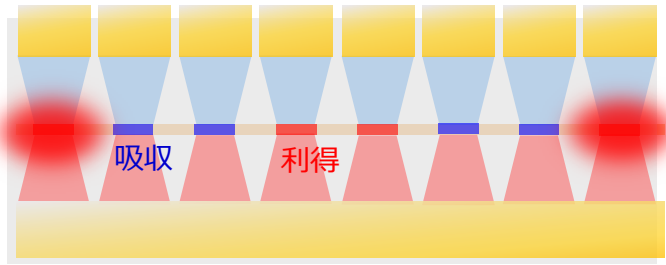
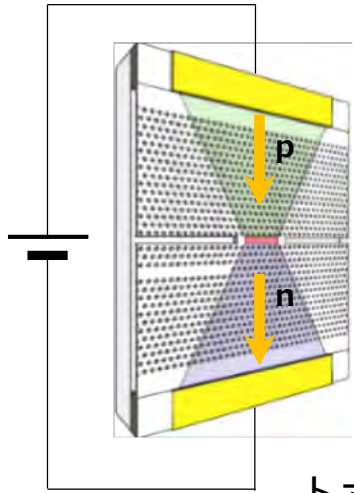


高性能量子光源 (スクイーズ)
→ 室温動作可能な高速・汎用光量子計算

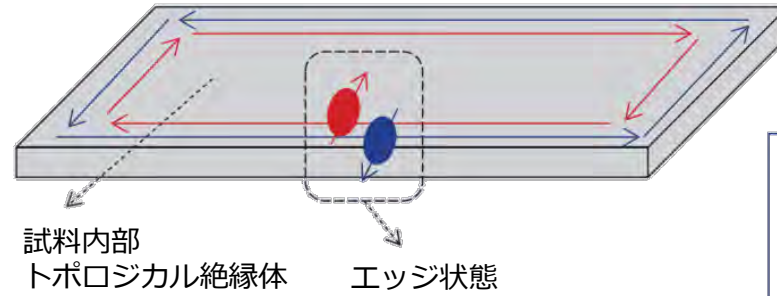


超伝導磁束量子ビット
→ 量子演算、超高感度磁場センサ

NTTで取り組んでいる量子マテリアル



トポロジカルフォトニクス材料
→ 高効率・高機能光信号処理



トポロジカル物質
→ 高効率スピン-電荷変換、ロバストな量子ビット

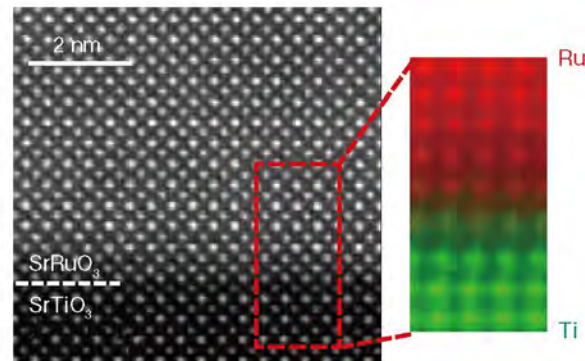
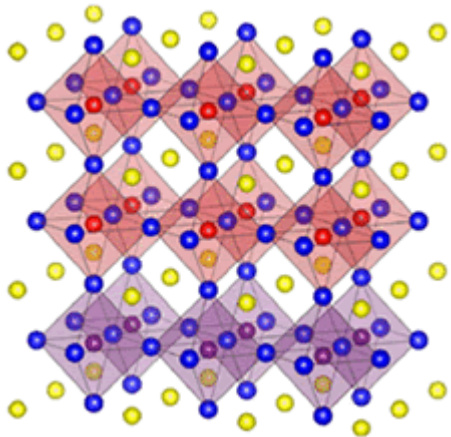
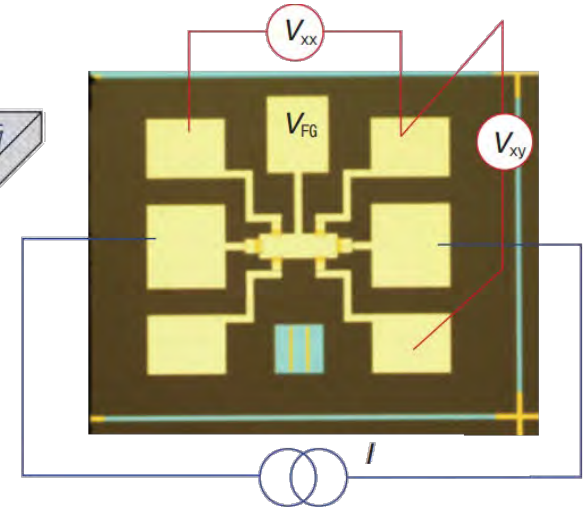
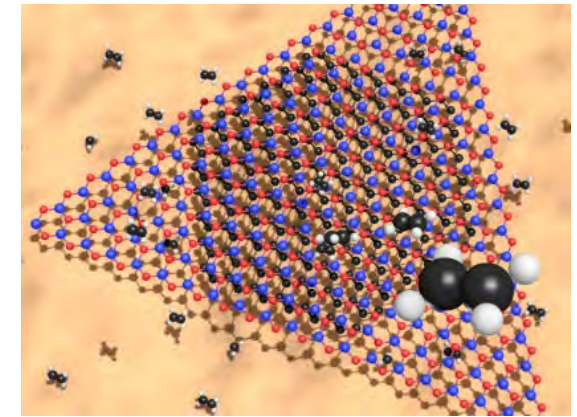
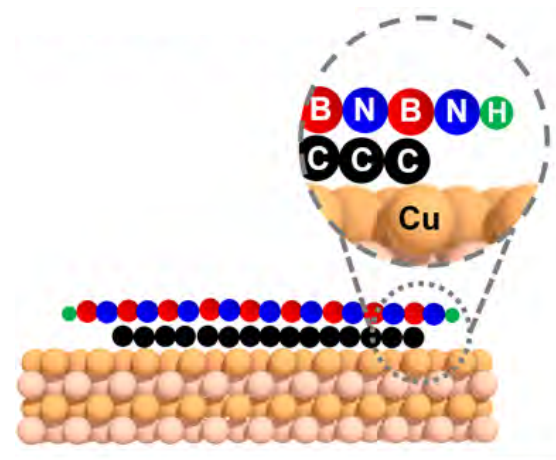


図1 超高品質SrRuO₃の原子分解能電子顕微鏡像



高品質薄膜作製技術とプロセスインフォマティクスの組み合わせ
→ 磁性ワイル半金属状態の存在を実証

低次元材料 (二次元層状材料, 1次元ナノワイヤ)
→ エネルギー変換材料、フレキシブルデバイス

状況分析のまとめと部会設立に向けての検討事項

状況分析

- 量子マテリアル・デバイス等の研究分野は広範で、量子技術のほぼすべてに関連
- 社会実装への議論が先行しているセキュリティ、情報処理分野の発展にも貢献
- ライフサイエンス、エネルギー、環境などでも重要な社会課題の解決に期待

産業化に向けての課題

- 様々な研究分野に量子技術の種があるため分野横断型の研究動向が整理されておらず、産業界が拾い上げて応用開発することが困難
- リスクの多い関連する基礎研究に対する国からのサポートが十分でない

部会設立に向けての取り組み方針

- 状況分析（研究開発、関連産業分野の俯瞰、特許動向の調査、重要技術相関図の作成）から着手
- 上記をベースとして、量子マテリアル・量子デバイス版のQRAMI・ロードマップを作成
 - エコシステム形成に向けたアカデミアと産業界(Q-STARメンバ以外を含む)の密な議論の開始
- テーマを絞った上で特定の機関間で実用化に向けた共同研究を実施
- 国プロ/アカデミアの研究成果を民間が利用実証するための仕組みの要請
 - PRISM運用拡大、公的ファンドの予算の一部の社会実装への適用を義務化