

量子計測・センシング実施方針



PD

荒川 泰彦

(東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構特任生産技術研究所教授/JST・CREST 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)

(1) 概要

センサの世界市場は現在約5兆円(2015年)であり、小型化・低価格化を背景に今後も市場の拡大継続が予想(富士キメラ総研2017) されている。近年、計測・センシングに量子力学的な効果を利用することで、従来技術を凌駕する感度や空間分解能を得る量子計測・センシングが発展 しているが、量子計測・センシング、その計測対象は、磁場、電場、温度、光、慣性力(加速度・角速度等)など多岐にわたり、その計測方法も多様 である。 よってこのため、これら各技術の研究フェーズを把握し、社会への応用を明確にすることが重要 である。

そこで本プログラムでは、基礎研究から具体的な社会実装を適切に見据えた応用研究まで一貫通貫で行うこと による でプロトタイプ*開発を目指すFlagshipプロジェクトと、Flagshipプロジェクトと相補的かつ相乗的な効果が期待される基礎基盤研究を、ネットワーク型研究拠点にて実施する研究開発を行う。

※ 導入環境に近い環境で実証できるプロトタイプ(TRL6)

(2) Flagshipプロジェクトについて

○固体量子センサ(主にダイヤモンドセンサ)

①達成目標

室温動作の高感度計測を実現する固体量子センサ(主にダイヤモンドセンサ)を用いて、以下の(A)又は(B)、あるいは(A)及び(B)を実現する。

(A) 高い感度と高い空間分解能を持つ脳磁場計測システムに関するプロトタイプの開発

(B) 蓄電池やパワーエレクトロニクスデバイス など、エネルギーデバイスの電流・温度をモニタリングするシステムに関するプロトタイプの開発

②具体的な研究開発事項

高密度・高配向率のスピンを有するダイヤモンドセンサ作製技術の研究開発、量子スピン制御技術の研究開発、実機開発に適したシステムの最適化、など

③マイルストーン

【4年後】

(A) 感度 5 ピコテスラの固体量子センサの実現

(B) 電池やパワーデバイス内部への固体量子センサの実装と動作実証

【5年後】

(A) 神経組織および小動物の脳磁場計測の実現

(B) 電池やパワーデバイス内部における局所的な電流・温度の同時計測の実現

【7年後】

(A) 感度 100 フェムトテスラの固体量子センサの実現

(B) 電池やパワーデバイス内部における局所的な電流・温度の高感度同時計測の実現

~~(A) 小動物の神経電流と行動との対応を検証可能とする、5ピコテスラレベルの磁場ベクトルイメージングを実現するためのダイヤモンドセンサの開発~~

~~(B) 安全安心なデバイスやパワーエレクトロニクス設計に反映可能な、パワーデバイス内部の局所的な電流・温度を同時計測する固体量子センサ技術の実証~~

【10年後】

(A) 感度 10 フェムトテスラの固体量子センサ、およびヒトの脳磁場を計測するプロトタイプの実現

(B) 電池やパワーデバイス内部における局所的な電流・温度をダイナミカルに同時計測する小型プロトタイプの実現

~~(A) 上記(A)技術を発展させ、運転者の意識レベルモニタリングや未病検出などのヘルスケアシステムへの適用を見据えた、人間の脳磁(10フェムトテスラオーダー)に関する磁場ベクトル情報を非侵襲で計測するシステムに関するプロトタイプの開発~~

~~(B) 上記(B)技術を発展させ、パワーエレクトロニクスや蓄電池等における電流や温度のダイナミカルな状態をモニタリングする、高ダイナミックレンジを有する固体量子センサの小型(10×10×10cm)プロトタイプの開発~~

注 1：上記③マイルストーンにおける(A)、(B)は、①達成目標における(A)、(B)に対応するものとする

○量子もつれ光センサ

①達成目標

~~高分解能計測を実現する量子もつれ光センサを用いて、以下の(A)又は(B)、あるいは(A)及び(B)を実現する。~~

~~(A) 生体組織やデバイスにおける超精密観察に資する、群速度分散の影響を回避し深さ方向分解能を極限まで高めた量子 OCT のプロトタイプ開発~~

~~(B) 量子相関を用いた高感度吸収計測に関するプロトタイプの開発~~

~~②具体的な研究開発事項~~

~~広帯域量子もつれ光を効率よく活用するための高透過率集光光学系の研究開発、量子もつれ光の波面制御技術の研究開発、実機開発に適したシステムの最適化、など~~

~~③マイルストーン~~

~~【5年後】~~

~~(A) 1 μ m の垂直方向分解能を持つ量子 OCT と市販 OCT とのハイブリッド型のプロトタイプの開発~~

~~(B) 周波数量子もつれにより、可視光の光源・検出器を用いた、波長 2.5~10 μ m 域における高感度赤外分光装置のプロトタイプの開発~~

~~【10年後】~~

~~(A) 垂直方向分解能のさらなる高分解能化 (0.75 μ m) による、細胞内組織観察や眼科疾患の早期検出などを見据えた、3次元超高分解能量子 OCT 装置の開発~~

~~(B) 波長 2.5~10 μ m 域の高感度赤外分光装置の波長域拡大 (テラヘルツ等を含む波長域 (10~300 μ m 程度)) と、小型化 (現行の分光装置と同程度のサイズ (40×40×40cm))~~

~~注：上記③マイルストーンにおける(A)、(B)は、①達成目標における(A)、(B)に対応するものとする~~

~~④研究開発マネジメントについて (固体量子センサ、量子もつれ光センサ共通)~~

・ 協調領域と競争領域の設定について

【協調領域】

固体量子センサの材料・デバイス開発やセンサを用いた製品システム開発に関心の高い企業によるコンソーシアムを形成し、共通基盤技術に関して共同開発を行う。具体的には、超高感度量子アルゴリズムの原理実証やセンサデバイスの高性能化、プロトタイプの実証などを実施する。

【競争領域】

固有のアプリケーションを念頭にしたシステム開発など、必要に応じて個別の共同研究を実施し、製品化を加速する。また、センサ材料・デバイスの工業的製造技術開発についても、企業との個別の共同研究開発を実施し、産業化に結び付ける。

・ 出口戦略について

社会ニーズとセンサの共通基盤技術研究が常に接点を持ち、積極的にフィードバックし合いながら開発を進める。前述の協調領域と競争領域を区別した開発連携を進め、世界のニーズ、関連技術や市場動向を常に把握し、バックキャスト的に開発目標・時期を検証しながら社会実装を目指す。加えて、知財化や国際標準化にも重点的に取り組み、コンソーシアムの協調領域の技術をコアとしたベンチャーを展開する可能性を検討すると共に、世界への普及等も念頭に日本発の国際標準を実現し、社会実装を推進する。

・ 研究開発マネジメント体制について

アプリケーションの社会実装を戦略的に推進するため、国内外の量子計測・センシングに関する最新の動向を把握し、出口戦略を見据えながら研究開発目標・計画の設定・見直しを的確に行うことができる研究開発マネージャーも含めた体制を構築する。

⑤人材育成について

- ・ 将来にわたり世界をリードする研究を推進するため、優れた若手研究者が活躍できる研究環境を構築し、量子計測・センシングにおける次世代のリーダーを育成する。
- 各グループを若手リーダーに牽引させ、各分野（基礎理論から応用まで）の世界第一人者に育成
- 優秀な博士後期学生を研究者として雇用し、各分野の次世代の若手リーダーを育成
- 海外の著名な研究グループと戦略的な国際共同研究を推進
- アカデミアと企業関係者との間で量子技術に関する最新技術と動向を共有する場を構築（産業界を対象としたセミナーなど）
- その他、量子センサ技術の連携拠点の設置、量子センサ教育講座の実施など
- ・ 事業期間中の適切な時期において、企業共通のニーズと個別のニーズで協調・競争領域を区別し、研究開発を実施すること。協調領域ではコンソーシアム形成などにより企業共通の基盤的研究開発を加速させ、競争領域では固有のアプリケーションを念頭にしたシステム開発を共同研究体制で実施するなど、Flagshipプロジェクトの達成目標へ向けた効率的な研究開発を実施すること。
- ・ Flagshipプロジェクトに係る研究開発課題は、いずれの場合も、事業期間内にTRL6を実現し、社会への実装を目指すこと。
- ・ 国内外の量子計測・センシングに関する最新の動向を把握し、出口戦略を見据えながら研究開発目標・計画の設定・見直しを的確に行っていくため、必要な研究開発マネジメントの専門家も含めた研究開発体制を構築すること。
- ・ 研究開発と並行して、専門外の知識の習得や新たな人的ネットワークの構築ができるような、特色ある人材育成に係る取組を行うこと。

(3) 基礎基盤研究

① 募集する研究テーマ

- ・ 重力センシングに関する基礎基盤研究で、量子計測・センシング全体の技術基盤の向上が期待されるもの
- ・ 量子スピントロニクスセンシングに関する基礎基盤研究で、固体量子センサや量子メカニカルセンサ等の他の量子計測・センサ技術の基盤技術の向上が期待されるもの
- ・ 新たな量子制御、計測手法に関する基礎基盤研究で、量子計測・センサ技術のパフォーマンス向上や多機能化などが期待されるもの

② 留意事項について

- ・ 量子計測・センシングに関するネットワーク型研究拠点に参画する研究グループとして研究を行うことを念頭にした研究提案とすること。
- ・ 特に、(2)の量子計測・センシングの Flagship プロジェクトと相補的かつ相乗的な効果が期待される研究提案とすること。

① 実施する研究テーマ

・ 高感度重力勾配センサ

大規模地震の断層破壊時の重力変化を高感度重力勾配計ネットワークで検知し、社会に対して早期アラートを流すシステムを構築する。

・ 高性能光子対光源・光子数識別検出器

光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測の高度化を行う。

・ 高感度量子原子磁力計

ボース・アインシュタイン凝縮体を用いた磁力計において、原子スピン量子雑音と光量子雑音の圧搾を同時に達成し、従来の限界を上回る磁場感度を実現する。

・ 多次元量子もつれ分光

2つの光子間の時間・周波数領域における量子もつれの情報を抽出する二次元量子分光法の提案と原理実証を行い、光合成など有用な複雑分子系の物理機能を解明する。

・ 量子もつれ光子対を利用した量子計測デバイス

周波数相関を持つ量子もつれ光子対を利用した赤外量子吸収分光装置の開発を実施し、可視光検出器による高感度赤外吸収分光測定を実現する。

・ 固体量子センサの高感度化のための複合欠陥材料科学

量子センシングに資するダイヤモンド単結晶作成法の開拓及び、複合欠陥を高濃度・高品質に形成するための欠陥形成学理を構築し、磁気感度の高いダイヤモンド NV センタを作製する。

・高性能量子慣性センサ

原子の運動状態や量子状態の高度な制御技術を用いて原子干渉計の検出感度大きく向上するための基盤技術を開発し、既存の量子慣性センサ装置の大幅な小型化を実現する。

②留意事項

・研究実施に当たっては量子計測・センシングに関するネットワーク型研究拠点に参画し、Flagship プロジェクトと相補的かつ相乗的な効果を出すこと。

(4) その他

~~・研究テーマの詳細については、科学技術・学術審議会量子科学技術委員会（第16回）資料3の別紙2を参考に検討すること。~~

~~http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/089/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/02/05/1401013_3_2.pdf~~

~~・(2)で挙げた具体的な研究開発事項やマイルストーンを踏まえて、経済・社会に対してより高いインパクトを与えることができる提案も歓迎する。~~

~~・審査の過程で、申請された研究プロジェクトの種類とは別の研究プロジェクトで採択される可能性がある（例：Flagship プロジェクトで申請したが、基礎基盤研究で採択）。~~

~~・目標・計画は最新の国内外の研究開発動向を踏まえたベンチマークのもと、出口戦略を見据えて、定期的に見直していくことが重要である。~~

・技術領域全体に対する人材育成・プロモーション方策については2019年度開始を目指して2018年度は準備を実施。

・マイルストーン、目標・計画は最新の国内外の研究開発動向を踏まえたベンチマークのもと、出口戦略を見据えて、定期的に見直しを行う。