

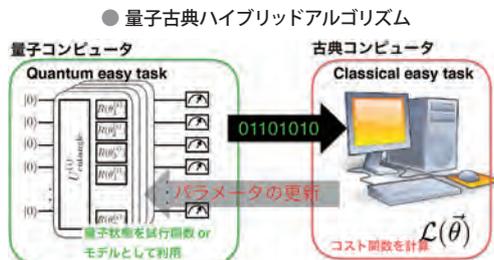
プログラムディレクター **北川 勝浩** 大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授

元施策: 光・量子飛躍フラッグシッププログラム(文部科学省)

課題・目標

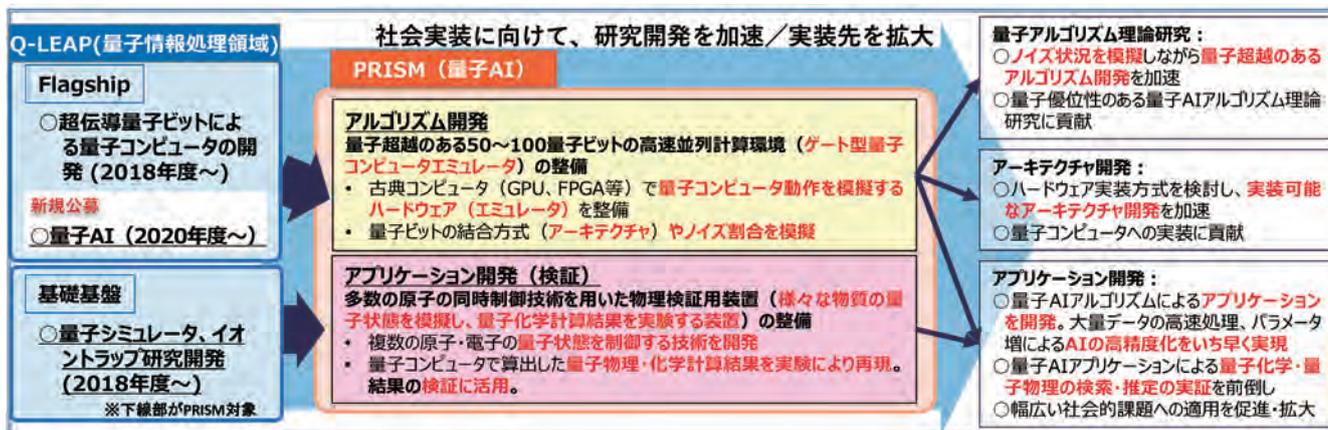
■ゲート型量子コンピュータエミュレータおよび量子シミュレータの開発

汎用的な問題をシミュレーション可能なゲート型量子コンピュータの研究開発は、世界各国において急速に進められている。近未来において、～数百量子ビット程度のNISQ(Noisy-Intermediate Scale Quantum)量子コンピュータの実現が目標となっており、ハードウェアの開発とともに、ソフトウェアの開発の促進が重要となっている。本課題では、古典コンピュータ(既存のコンピュータ)上で量子コンピュータを模擬して動作するエミュレータを整備し、ハードの完成を待たずして、先行してゲート型量子コンピュータに最適化したアルゴリズム等の開発を推進する。さらに、量子状態を模擬して、量子化学計算の結果を実験的に再現する装置を整備し、量子ソフトウェアの計算結果を検証に活用し、量子アプリケーションの開発を加速させる。



全体概要

■全体像



■量子AIを活用した量子ソフトウェアの研究開発、量子シミュレータ

Q-LEAPで研究開発を行っている量子AIを活用した量子ソフトウェアの研究開発を加速させるために、PRISMにおいて、「アルゴリズム開発(数値的検証)」における、ゲート型量子コンピュータエミュレータの開発を行う。また、量子ソフトウェア等の研究を加速させるために「アプリケーション開発(実験的検証)」における、検証用実験装置(シミュレータ)整備を行う。これらによりゲート型量子コンピュータ等のプロトタイプを開発し、クラウドサービスによる提供等を目指した研究開発を行うことで量子AIを実現させ、社会実装に向けた取組を進める。

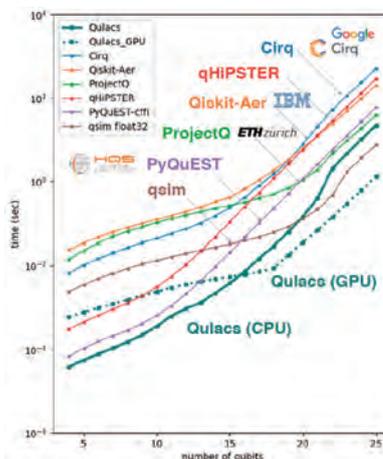
これまでの成果・期待される波及効果

■これまでの成果

4000コアのCPUを超える高性能並列計算機を整備するとともに、世界最高クラスの動作速度(右図)を持つ量子コンピュータのシミュレータ qulacs(オープンソース)をベースに qulacs-osaka を開発し、MPI 並列コードを実装することができた。その結果、100量子ビットを超える計算シミュレーションの実行、ノイズのシミュレーションの並列高速化、並びに変分量子アルゴリズムの勾配計算の高速化などを実現することができた。また、イオンを制御し量子シミュレーション実験を行うためのシステム(レーザー、波長計)を整備し、0.1 MHz 程度の精度で安定化を目指し開発を推進している。従来(10 MHz 程度)よりも安定度を向上させることで、量子化学計算の結果の検証を行うことを可能とする。

■出口戦略

量子技術とAIを組み合わせた量子AIにより、量子コンピュータの桁違いの処理能力を生かしたAIの機械学習の高速化が期待されている。本研究成果により、実機の開発を待たずして、100量子ビットを超えるNISQ量子コンピュータ用計算シミュレーションを用いて量子AIの開発を促進するとともに、材料・化学計算への応用のユースケース探索などをユーザー企業と早期に展開し、社会実装を加速する。量子AIは、従来AI技術では困難なビックデータの高精度化が可能であり、さらに大きな民間研究開発投資の誘発が期待される。



● 世界で開発されている量子コンピュータシミュレーションライブラリの量子ビット数に対する計算速度

プログラムディレクター **北川 勝浩** 大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授

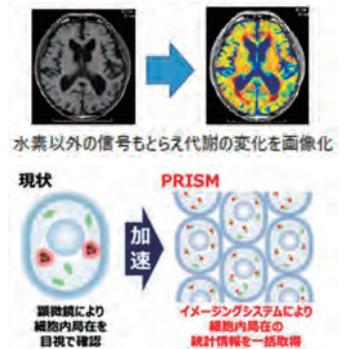
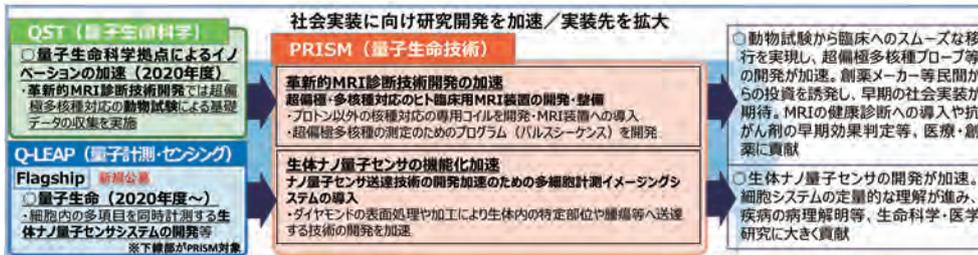
元施策:量子生命科学拠点によるイノベーションの加速/光・量子飛躍フラッグシッププログラム(文部科学省)

課題・目標

■革新的MRI診断技術開発の加速および生体ナノ量子センサの機能化加速

- 【課題】
- 革新的MRI診断技術開発の加速では、高感度かつ代謝情報を含んだ画像情報の取得を可能にするためには、水素を含む複数の原子を計測する回路やコイル、信号の検出器等を搭載したMRIの開発が必須。
 - 生体ナノ量子センサの機能化加速では、目的の組織や細胞における物理パラメータを適切に計測するため、ナノダイヤモンドの表面処理や加工により生体内の特定部位や腫瘍等へ送達する技術の開発が必須。
- 【目標】
- 革新的MRI診断技術開発の加速では、多核種・超偏極対応の臨床用MRI装置の開発・整備により、臨床MRIの実装・ヒトでのデータ取得を目的とする。革新的MRI装置の開発により新たながんの早期診断や抗がん剤の早期効果判定法の速やかな社会実装に繋がることが期待される。
 - 生体ナノ量子センサの機能化加速では、多数細胞計測イメージングシステムの導入により、全身レベルでのセンサの特異的送達技術を開発する。その結果、脳神経科学、免疫学、がん科学、再生医療や細胞生物学へ応用し病態検出や治療効果の早期判定を推進する。

全体概要



■多核種・超偏極臨床用MRI装置の開発、生体ナノ量子センサシステム

元施策では、量子生命科学に関するオープン・プラットフォーム型の量子技術イノベーション拠点を整備し、社会実装を見据えた、量子技術を用いた超高感度センサを開発することを目的とし、量子技術を医学・生命科学に適用し、疾患の早期発見等への活用を目指している。特に、多核種・超偏極臨床用MRI装置の開発では、超偏極多核種に対応した動物実験により基礎データの収集を実施し、生体ナノ量子センサシステムの開発では、医療・生命分野での社会実装に向け、細胞内の温度、pH等の多項目を同時に計測するための技術開発を実施する。PRISMにより、超偏極・多核種対応の臨床用MRIの開発を行い、従来用いられている水素以外の核種の信号を捕えることにより、代謝情報を可視化することで超早期のがんの診断や抗がん剤の早期効果判定等を目指す。また、多細胞計測イメージングシステムを導入し、生体ナノ量子センサを特定の組織(病巣、脳など)に特異的に送達する技術開発を加速することにより、細胞システムの定量的な理解の促進や眼疾患・動脈硬化診断など医療・生命分野での実装の加速を目指す。以上により、高齢化の進展や医療費の高騰など、わが国が抱える課題を解決し健康長寿社会を実現する上で極めて大きな波及効果が期待される量子生命技術の生命・医学研究への応用を通じて、医療・創業に貢献する。

これまでの成果・期待される波及効果

■これまでの成果

- 超偏極・多核種技術は早期の臨床応用が期待されているが、その整備には長い年月が必要であるにもかかわらず、その準備は極めて不十分であった。超偏極・多核種対応のヒト臨床用MRI装置の開発にはそのベースとなる多核種対応MRI装置が必要であり、今回のプログラムによりその導入が加速された意義はとて大きい。これにより、多核種MRIの最初の成果を創出できるロードマップを作成することが可能となった。
- 細胞内での特異的な送達や生物個体内での高い安定性を有する高品位な生体ナノ量子センサを開発するためには、ナノダイヤモンドの細胞での導入効率や送達効率を定量的に議論する必要がある。これを実現するためには、細胞内の蛍光ナノダイヤモンドの個数計数を多数の細胞に対してハイスループットで実施するイメージングシステムの実装が不可欠であることから、多数細胞計測イメージングシステムを導入し、定量計測に向けた調整を実施した。これにより多数細胞計測イメージングシステムの基本設計の検証を行った。

■出口戦略

- QST(量子生命科学)では、多核種・超偏極対応の臨床用MRI装置の開発・整備により、臨床MRIの実装・ヒトでのデータ取得を目的とする。出口戦略として革新的MRI診断技術について、早期の社会実装を目指す。
- 光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)量子計測・センシングでは、多数細胞計測イメージングシステムの導入により、全身レベルでのセンサの特異的送達技術を開発する。出口戦略として生体ナノ量子センサシステムの社会実装の早期化を目指す。



●製品化や医療現場における実装の加速

<p>光源</p> <ul style="list-style-type: none"> ・405 nm, 488 nm, 532 nm, 561 nm, 640 nmのレーザー光源 	<p>PC</p> <ul style="list-style-type: none"> ・細胞数とナノダイヤモンド数の自動計数 ・ボリュウムアナリシス ・ODMR計測ソフトも将来的に実装
<p>共焦点システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・レゾナントスキャナによる高速スキャン ・GaAsPフォトマル検出 ・APD用の拡張ポート (将来的に実装) 	<p>顕微鏡システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・40x N.A.1.15 水浸対物レンズ(70h給水) ・温度・CO₂・O₂制御 ・マルチウェル多点観察 (最大384ウェル)
<p>視野観察システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有効画素数2000ピクセルx2000ピクセル ・視野数25mm ・量子収率 80%@700nm 	

●多数細胞計測イメージングシステムの基本設計方針