

理化学研究所計算科学研究センターでの 量子コンピュータIBM Quantum System Twoの設置・稼働と JHPC-quantumプロジェクトについて

計算科学研究センター
量子HPC連携プラットフォーム部門

- **正式名称:** “計算可能領域の開拓のための量子・スパコン連携プラットフォームの研究開発”
- **メンバー:** 国立研究開発法人理化学研究所、ソフトバンク株式会社（共同実施） 東京大学、大阪大学
- **プロジェクト期間:** 2023年11月 – 2028年10月 (5年間)
 - 2026年5月ごろにステージゲート（中間評価）あり。
- **なぜ、量子・スパコン連携プラットフォームが必要になるのか？**
 - ◆ **（スパコン側からの必要性）** これから開拓される量子コンピュータの利用を考えると、量子コンピュータに期待されるアプリケーション領域の多くは、これまでスパコンでの計算能力を用いてサポートされてきたアプリケーション領域であり、スパコン側からは量子コンピュータはこの領域のアプリケーションを大幅に加速する装置として捉えることが適切。
 - ◆ **（量子コンピュータ側からの必要性）** 一方、現在、ハードウェアとして実現されている量子コンピュータの多くは、NISQ（Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer）であり、活用するためには、従来のデジタルコンピュータによる適切な制御、ノイズによるエラーの緩和（error mitigation）、回路分割・最適化を行う必要がある。100qubitを越え、実用に向かうためには、スパコンの計算能力を合わせて上記を行うことが有効である。量子コンピュータのアルゴリズムの研究開発には、量子計算シミュレータが不可欠。
- **ミッション:**
 - 量子コンピュータとスーパーコンピュータ（HPC）を連携するための量子HPCハイブリッドシステムソフトウェアの研究開発を行う。
 - このシステムソフトウェアを用いて、**2つの種類の量子コンピュータ（IBM超伝導型、Quantinuumイオントラップ型）をオンプレミスで導入し、「富岳」、GPUシステム、東大と阪大のスパコン**からなる量子スーパーコンピュータハイブリッド計算のためのプラットフォームを構築
 - 量子HPCハイブリッドアプリケーションの**優位性を実証**するとともに、**ポスト5G**時代に向けて、このプラットフォーム上で量子HPCハイブリッドアプリケーションをサービスとして展開する技術開発。

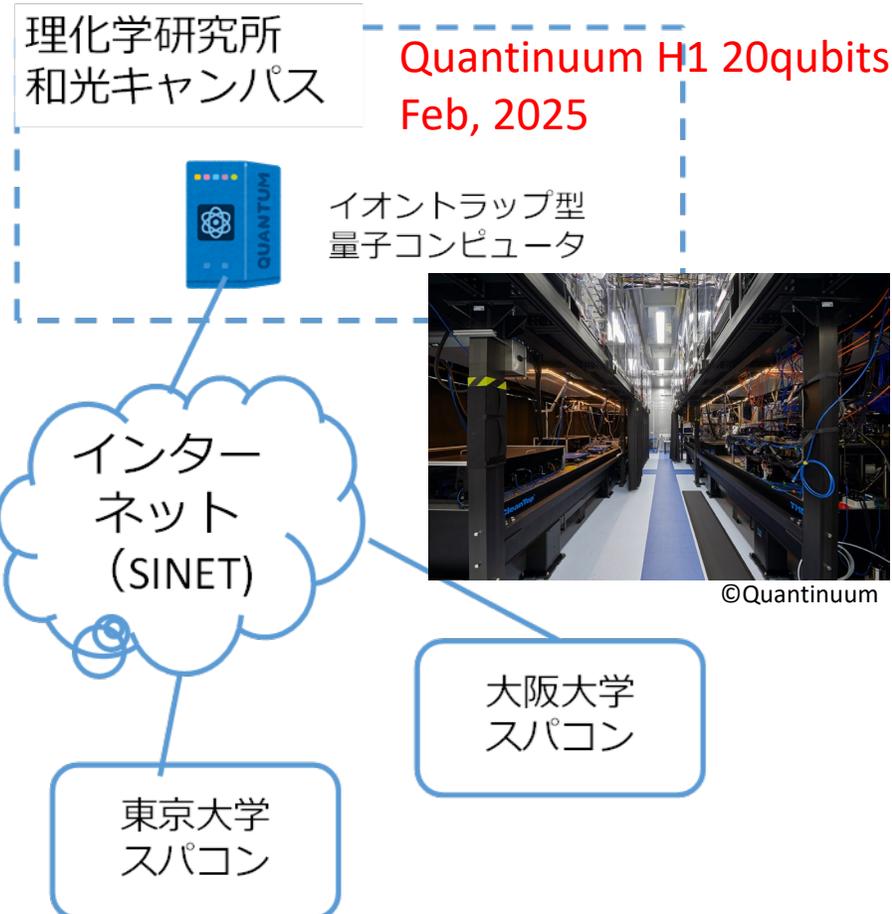
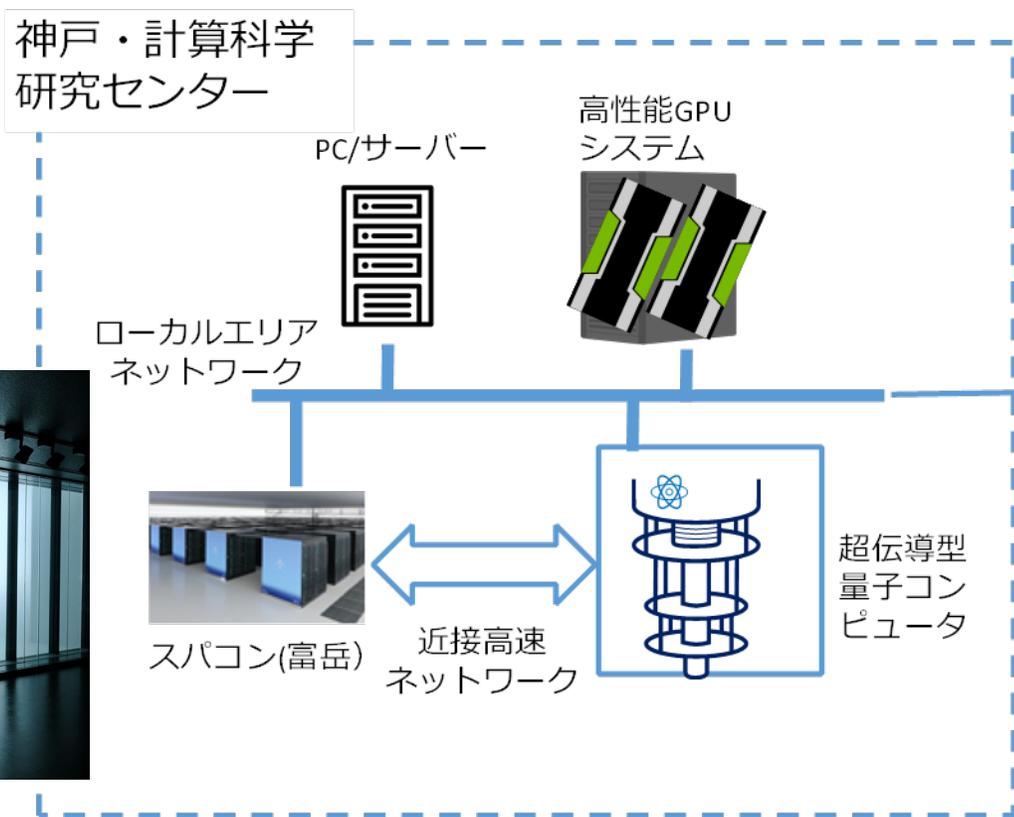
特性の異なる2種類の量子コンピュータを**オンプレミス**で整備(2025年2Qに整備)、理研及び東京大学、大阪大学のスパコンから利用可能な量子スパコン連携プラットフォームを構築し、**実際の量子・HPCアプリケーションで有効性を実証**。

量子・スパコン連携プラットフォームの構成

IBM Heron R2 156qubits
in System2 Rack
May-June 2025



©RIKEN & IBM



- 最近になって、多くの量子HPC（スパコン）ハイブリッド・アルゴリズムとアプリケーションが提案されている。
 - 変分アルゴリズム - VQE, QAOA, ...
- 実用に向けて、以下のアプリケーション領域に注目している。
 - **量子化学**
 - **理化学研究所とIBMとの取り組み：Quantum-centric Supercomputing (QCSC)**
 - Sample-based quantum diagonalization (SQD) アルゴリズムによる解決
 - 2025年6月19日プレス発表「量子-スパコン連携による量子化学計算に成功 – 古典的厳密計算可能領域を超える挑戦 –」 科学雑誌『Science Advances』オンライン版（6月18日付：日本時間6月19日）に掲載
 - 量子機械学習：Quantum Machine Learning (QML)

https://www.riken.jp/press/2025/20250619_1/index.html

Navigation bar with browser address bar (riken.jp/press/2025/20250619_1/index.html), search bar, and utility icons (IE bookmark, Google Calendar, Facebook, Yahoo! News, Box, Google Maps, Zoom).

Navigation menu: 交通アクセス, お問い合わせ, English Site, 理研寄附金, 報道関係者の方, 理研在籍者・OBの方, 小中高生向けコンテンツ



Social media icons (X, YouTube) and a search bar with 'RIKENメルマガ' and 'Google™カスタム検索'.

Main navigation menu: 理研について, 研究室紹介, 研究成果 (プレスリリース), 広報活動, 産学連携, 採用情報

Home > 研究成果 (プレスリリース) > 研究成果 (プレスリリース) 2025

いいね! 11 | × ポスト

2025年6月19日 | ← 前の記事 | ↑ 一覧へ戻る | → 次の記事

量子-スパコン連携による量子化学計算に成功

— 古典的厳密計算可能領域を超える挑戦 —

理化学研究所 (理研) 計算科学研究センター 量子系物質科学研究チームの白川 知功 上級研究員 (量子計算シミュレーション技術開発ユニット 上級研究員、開拓研究所 柚木計算物性物理研究室 上級研究員、数理創造研究センター 量子数理科学チーム 上級研究員、量子コンピュータ研究センター 量子計

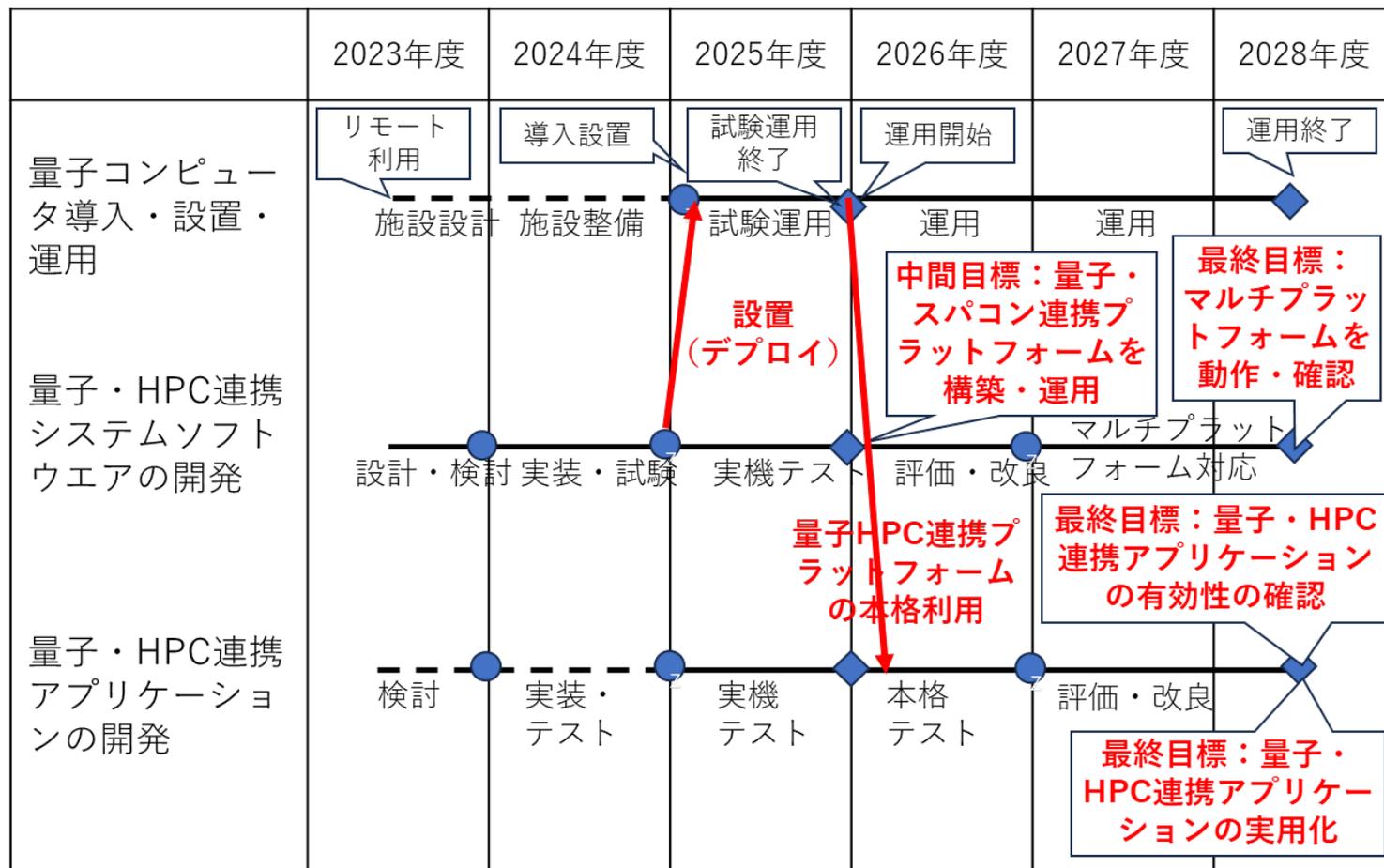
- 背景：いわゆる“汎用量子コンピュータ”は、様々な量子システムを予測することができるシミュレータとしてもちいることができることが知られている。
 - しかしながら、これらのユースケースを量子コンピュータにマッピングすると、深い回路が生成され、量子状態の保持の時間に制限がある、現在の量子コンピュータでは実行が難しく、まだ、フォールト・トレラントな量子でないNISQでは、分子エネルギーを推定するための測定回数が膨大になり、実行時間が法外になってしまう。
 - したがって、残念ながら、量子コンピュータ単体では、現在の量子コンピュータでは、手が届かない問題となる。



● HPCを活用したアルゴリズムSample-based quantum diagonalization (SQD) による解決

- 鉄硫黄クラスター[4Fe-4S]クラスターの計算では、77量子ビットを使用した量子回路の出力を基に、1億（ 1×10^8 の8乗）個規模の配置状態を用いた対角化（diagonalization）[4]計算を行い、その処理を「富岳」上で並列実行（最大6,400ノード）することにより、量子コンピュータだけを用いた従来の量子計算では取り扱えなかった、はるかに大きな分子の電子状態エネルギーを得ることに成功。
- “Quantum Utility” 量子有用性
どのように、現在の量子コンピュータを実用的な問題に適用するか。

- 2023年11月、プロジェクト開始
- 2025年2Q、実機設置完了
- 2026年1Q、量子・スパコン連携プラットフォーム運用開始
- (2026年2Q: ステージゲート)
- 後半は、量子・HPC連携アプリの有効性実証、実用化へ



- 実機導入し構築・運用する量子スパコン連携プラットフォームのテストユーザーとして評価・フィードバックを得ることを目的に、「JHPC-quantumプラットフォームテストユーザープログラム(仮称)」を実施し、ソフトウェアおよびシステムの高度化、当該プラットフォームのユーザーのコミュニティ醸成を図る。
- 応募に際しては、応募資料には以下を記載して頂く。
 - 実施課題: **トライアルする量子、HPC、ハイブリッドアルゴリズム/ソフトウェアの概要情報**
 - 必要とする量子計算機やHPCのリソース量
 - NEDOプロジェクトに協力頂くことへの同意。具体的には:
 - ハイブリッドシステムの統合テスト実施への協力
 - 知財や成果発表に対する考え方への同意
 - 審査: NEDOプロジェクトメンバの月例会議等で審査する。
 - **これまで、12件のプロジェクトを採択**



スーパーコンピュータとの連携と将来展望

- HPCと量子コンピュータとの連携に向けた研究開発は、世界的にもその必要性は指摘されており、欧州においてはスパコンの整備とともにHPCとQCの連携が検討されている。米国においてもDOEの研究所を中心に検討が進んでいる。
- 2030年までの動向を見ると、設置環境に制限がある超伝導型やイオントラップ型が有望であり、GPUのように計算ノードに直接接続されるものではなく、スパコンと量子コンピュータのシステム間の接続が主要な形態になると想定される。計算資源の一つとして、複数のスパコンからの共有利用も想定される。
- 我が国においては、HPC利用のスキームとしてHPCI（High Performance Computing Infrastructure）があり、今後、構築される量子HPC連携プラットフォームは、現状ではパイロットプラットフォームとしての位置づけであるが、プラットフォームの評価や利便性の向上に当たっては、HPCIで培ってきたノウハウが応用できるものと考えている。
- スーパーコンピュータ「富岳」を含めたHPCIの計算リソースの利用については、量子・HPC_システム・ソフトウェアの開発段階では、HPCIの計算リソースの活用は大きくない見込み。「富岳」との連携に当たっては、**システム・ソフトウェアの開発等においては理研に割り当てられている「高度化・利用拡大枠」を、その評価に当たっては「一般利用枠（有償）」を活用する予定。**また、東京大学、大阪大学におけるHPCとQCとの連携リソースは、各機関で手当する予定。
- なお、経産省/NEDOプロジェクトで開発される**“量子・HPC連携 システム・ソフトウェア”**は汎用であり、**この成果及び知見をTRIP事業に展開することで、TRIP事業で目指している理研の国産の量子コンピュータとのハイブリッドシステムの実現の加速に資することが期待される**ほか、経産省/NEDOプロジェクトの出口戦略として、**ソフトバンクによる事業展開**が想定されている。

参考資料

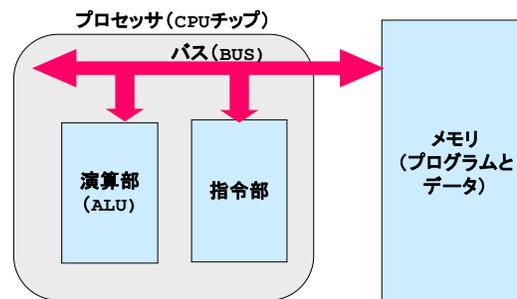
- **量子コンピュータと「古典」コンピュータの違い**
- **理化学研究所および
理研計算科学研究センター（R-CCS）
における量子コンピュータへの取り組み**

量子コンピュータと従来の（古典）コンピュータの違い

● 従来のデジタル・コンピュータは、0と1の信号を処理するデジタル回路で構成されるコンピュータ

- メモリに格納されたプログラムとデータをプロセッサが読み出し実行する（ノイマン型コンピュータと呼ばれる）。
- 0と1の信号を処理するデジタル論理回路は半導体（トランジスタ）の集積回路で作られている。
- プロセッサは演算器とそれを制御する部分からなる。
- プログラムは、データの加算や乗算の演算やメモリからのデータの読み書きの操作を行う命令を用いて手順を記述したもの、コンピュータはメモリに格納されたプログラムを読みだして実行する。

ノイマン型コンピュータ

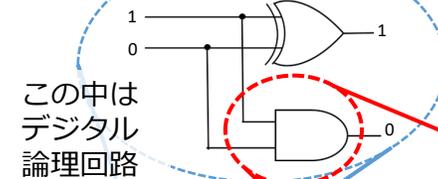


富岳に使われているプロセッサ
富士通A64FXのCPUチップ



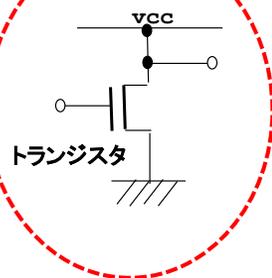
プロセッサチップの中には半導体の集積回路がある。

論理回路

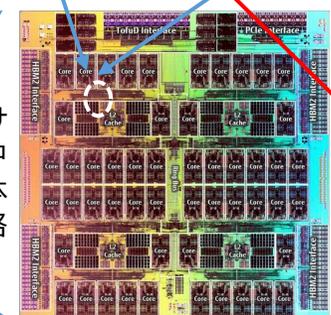


この中はデジタル論理回路

デジタル回路はトランジスタでできている



トランジスタ

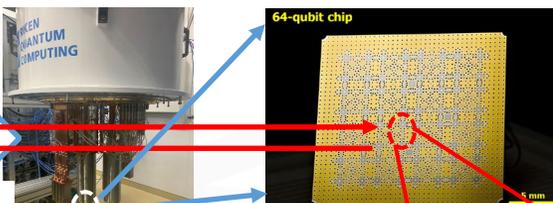


VLSI (超大規模集積回路)

● 量子コンピュータ（ゲート型）は、従来のコンピュータの制御により、量子ビットを操作することにより、量子力学の原理で「計算」を行うコンピュータ

- 量子ビットは、量子力学の原理により、物理量の1つである「スピン」により、0と1の両方の状態を同時に持つことができる（重ね合わせ）。また、量子ビット同士は「量子もつれ（エンタングルメント）」という量子の性質を用いて、複数の量子ビットを関連させることができる。
- 量子ビットは読みだした時点で、0か1かの値が確定し、それが読み出される。
- 量子コンピュータは量子ビットのみで動作するのではなく、従来のコンピュータが量子ビットの操作の制御および読み出しを行う。（従来のコンピュータの一部を実行する方式ともいえる）
- 量子コンピュータのプログラムは、各量子ビットの操作を順番に並べたもの。
- 量子ビットの実現方式には、超伝導型のほか、イオントラップ型、半導体量子ドット型、光量子型、などがある。
- 量子コンピュータの方式には、ゲート型のほか、最適化問題専用のアニーラ型がある。

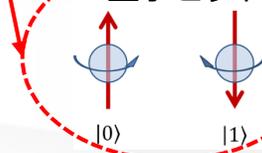
従来のコンピュータ



理研が開発した超伝導型の量子コンピュータのチップ

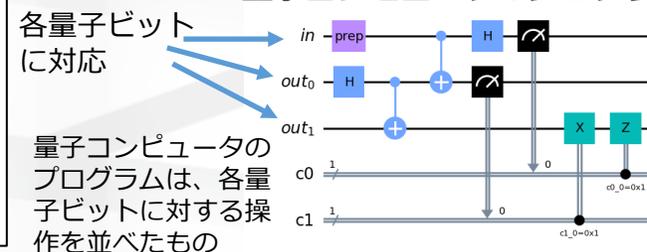
超伝導型量子コンピュータ

量子ビット



量子ビットは、量子力学の原理により、物理量の1つである「スピン」0と1の両方の状態を同時に持つ

量子コンピュータのプログラム



● 量子コンピュータの分類

- ゲート型：量子状態にある量子ビットを操作するプログラムにより、問題を解く方式。
- アニーラ型：量子の特性を利用して、最適化問題に特化したアルゴリズム（アニーリング：焼きなまし法）を実行する方式

● FTQC (Fault-tolerant Quantum Computer: 誤り耐性を持つ量子コンピュータ)

- 複数の量子ビットを用いて、エラーを検出・訂正できる量子ビットの回路を構成し、エラーのない量子コンピュータを構成する。

● NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum device : ノイズあり中規模量子デバイス)

- エラーありを前提で使う量子コンピュータ。現在、実用化されている量子コンピュータはこの方式である。
- ノイズによるエラーをあとで修正する技術（エラー緩和）が重要。

● ゲート型量子コンピュータの量子ビットの実現方式

- 超伝導方式：ジョセフソン接合というトンネル接合素子を用いて量子ビットを実現する。超極低温で動作させる必要があり、忠実度が中程度であるが、高速に動作。現在、最も大きい量子ビット数 133qubitを実現している(IBM)。
- イオントラップ方式：原子から1個の電子を取り去って生じるプラス電荷のイオンをレーザー冷却という手法によって熱運動できない状態にし、電圧によって真空中に閉じ込め、量子ビットとする方式。動作は遅いが、忠実度は高い。
- 半導体量子ドット方式：電子を半導体の中に閉じ込めた量子ドットを量子ビットとする方式。これまでの半導体の微細加工技術が利用できるために、高密度の量子コンピュータが実現可能とされる。
- 光量子方式：光の最小単位である「光子」に情報を載せて、その通り道となる光回路を作って計算する方式。光子は外乱に強いいため、室温や大気中でも壊れにくく、量子の性質を保つことができるため、冷却装置や真空装置が要らないメリットがある。

理化学研究所における量子コンピュータの研究開発の取り組み

- 量子コンピュータ研究センター (RQC)

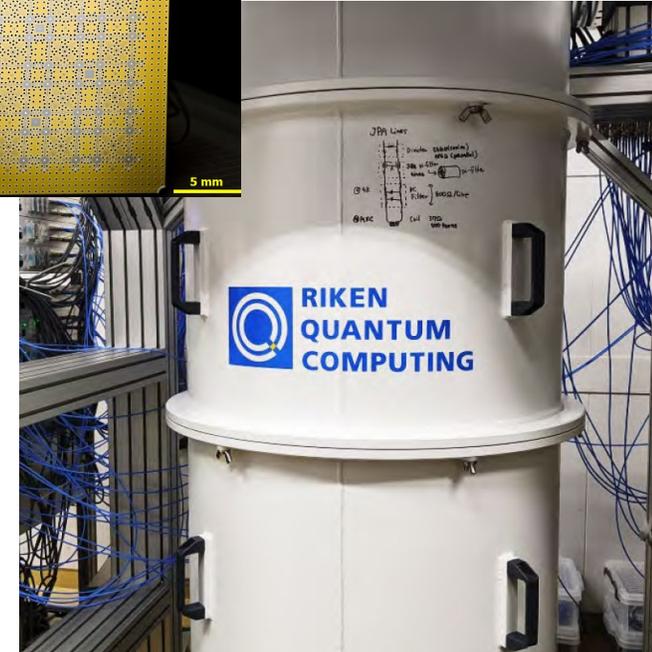
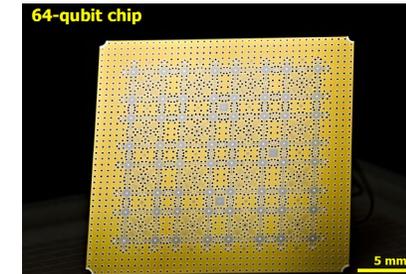
- 超伝導型ゲート型の量子コンピュータの研究開発
- 光量子コンピュータの研究
- 量子コンピューティングの理論研究

- 計算科学研究センター (R-CCS)

- 富岳を用いた大規模量子計算シミュレータの開発
- 富岳と量子コンピュータを連携したハイブリッドシステムの研究開発
- 「次世代計算基盤に係る調査研究」における量子コンピュータの接続検討

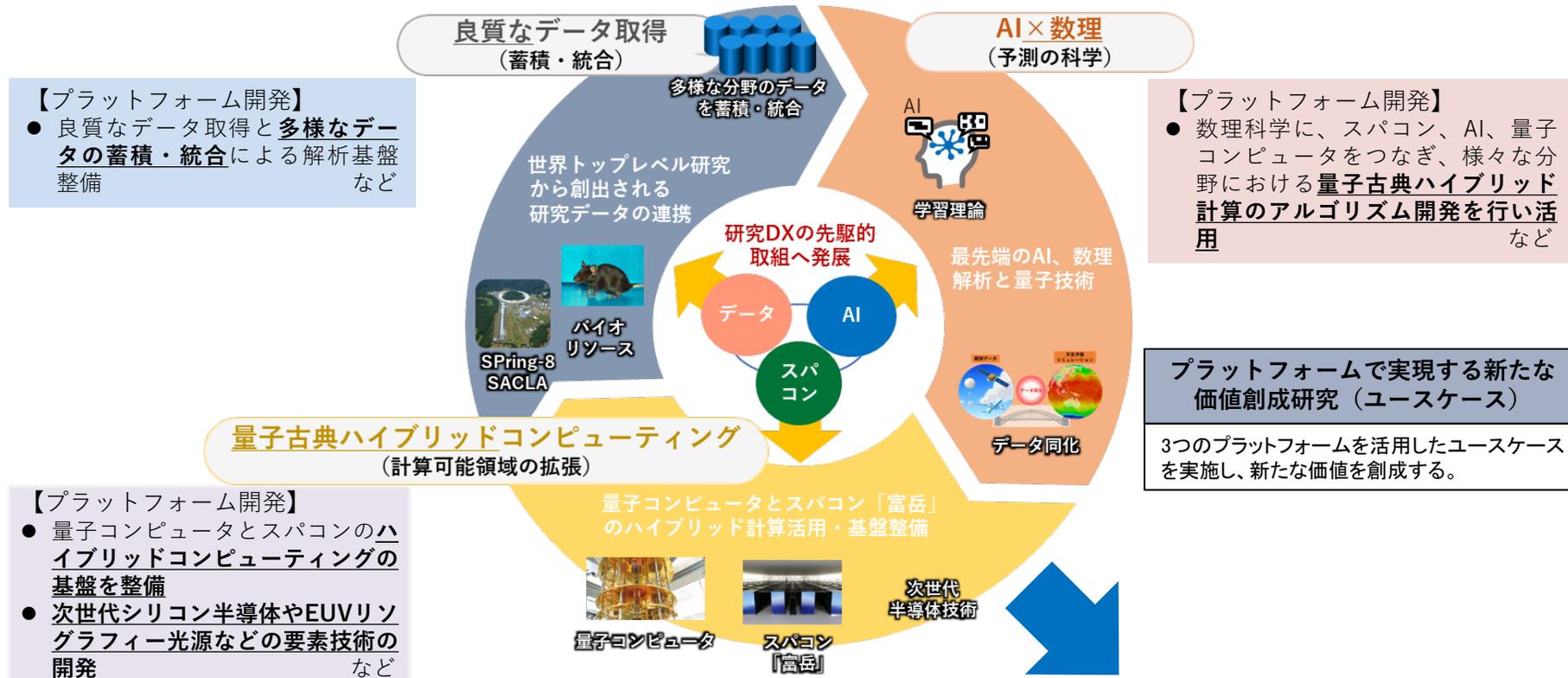
- iTHEMS (Interdisciplinary Theoretical and Mathematical Sciences Program), **RIKEN Quantum**

- 量子コンピュータの理論とアプリケーションの研究
- 量子計算アプリケーションの研究



～ 研究DXからのための量子古典Advanced Computingプラットフォームによる価値創成 ～

- ◆ 理研の最先端研究プラットフォーム（スパコン、放射光、バイオリソース等）をつなぐとともに、「AI×数理」、
「量子古典ハイブリッドコンピューティング」の導入により、先駆的に研究DXを加速・発展
- ◆ 「未来の予測制御の科学」を開拓し、社会変革のエンジンを国内・国際社会へ提供



【プラットフォーム開発】
● 良質なデータ取得と多様なデータの蓄積・統合による解析基盤整備 など

【プラットフォーム開発】
● 数理科学に、スパコン、AI、量子コンピュータをつなぎ、様々な分野における量子古典ハイブリッド計算のアルゴリズム開発を行い活用 など

【プラットフォーム開発】
● 量子コンピュータとスパコンのハイブリッドコンピューティングの基盤を整備
● 次世代シリコン半導体やEUVリソグラフィー光源などの要素技術の開発 など

国家的・社会的に重要な先端技術を集中的に研究できる運営体制の整備

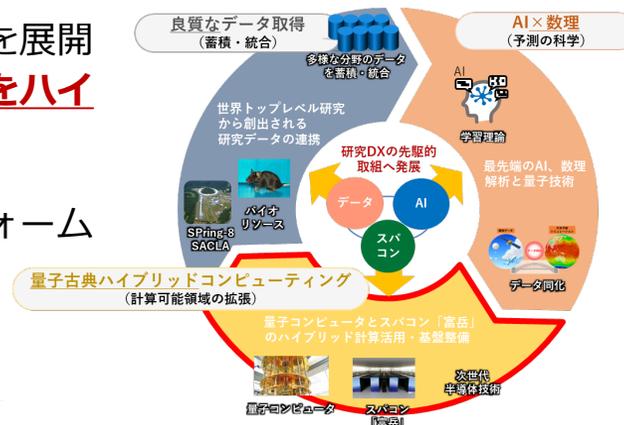
- 国内の大学・研究機関等の優れた研究者を結集（クロアボ等）
- 技術安全保障や研究インテグリティの管理体制を強化し、セキュアな研究環境で整備
- 新たに研究DXを推進する職を設け、研究DX人材を育成

**「未来の予測制御の科学」を
分野の枠を超えて開拓**
(社会や地球規模の課題の予測と介入による制御を実現)

「量子古典ハイブリッドコンピューティング」の実現

達成目標

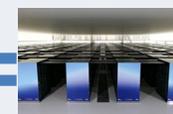
- ◆ビッグデータの量子機械学習や複雑現象の予測と制御の科学を展開するため、**古典の弱点の組合せ爆発と量子の弱点の誤り訂正をハイブリッド化で克服するための計算基盤を構築**
- ◆人類が**計算可能な領域を飛躍的に拡張**する新たなプラットフォームを実現し、超複雑現象の解明から持続可能な社会を実現に導く



高度化の取組



量子古典ハイブリッドコンピューティングの実現



量子古典ハイブリッドコンピューティングの基盤となるプログラミング言語、コンパイラ等の開発

量子・古典コンピュータを直結型で統合

量子古典ハイブリッドを高度化する先端半導体の要素技術（次世代シリコン半導体、EUVリソグラフィー光源など）の開発

TRIP 3

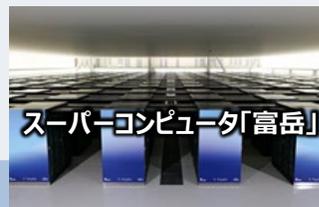
【高度化】従来の活動を基に、量子古典ハイブリッド計算に向けたハードウェアの基盤構築に向けた高度化に取り組む

従来の活動

- 超伝導量子コンピュータの大規模化、利用法の開発、**国産量子コンピュータの利用環境整備**



- 「富岳」の共用による利用者拡大、計算資源の高度化研究を推進

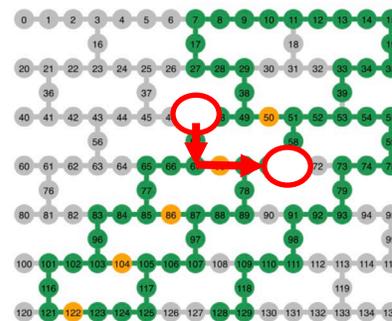


- シリコン量子ビットの基盤的研究、レーザー光源の技術開発を推進



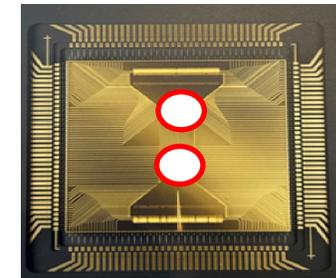
既存の理研プラットフォーム

- 量子コンピュータはそのノイズ特性等が動作原理によって異なり、その一つとしてイオントラップ型の量子コンピュータを導入して、**特性が異なる様々な量子コンピュータに適応**しつつ、最良な環境での実行を支援する**量子・HPC連携 基盤システムソフトウェアを検討**する必要がある。
- また、超伝導型量子コンピュータは数百qubitの規模に達しつつあり、NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer) マシンとして古典・スパコンとの連携により、**実用的な利用が可能な段階に進むため**には多様なタイプを揃えた実際のハードウェア群を用いて開発に取り組む必要がある。



超伝導の場合は、回路のつながり(IBM Qは、heavy hex)によって量子ビットの操作が制限される

イオントラップの場合は、量子ビットのイオンを磁場で移動させる。



量子コンピュータ	特徴	用途
IBM 超伝導方式 量子コンピュータ	中規模のqubit数 (Heron 156qubits) 動作速度が速い。中程度の忠実度 (ノイズに対する対処が必要) 回路の深さは200-300 ステップ。量子ビット間の操作は、量子コンピュータの量子ビットの物理配置に制限される。	大中規模のNISQマシンの活用・実用的な利用を見据えた利用技術・システムソフトウェアの開発。実行が早いため、多数の回路実行を活用したアルゴリズムの開発。量子ビットの操作が物理的な配置に制限される場合の量子回路技術の開発。
Quantinuum イオントラップ方式 量子コンピュータ	小規模のqubit数 (20qubit) であるが、忠実度が高い。1000-2000ステップの回路の深さが可能。但し、動作が遅い。量子ビット間の操作は、量子ビット (イオン) を移動して行うために、制限がすくない。	小規模であるが、高い忠実度を利用したソフトウェア開発。実行が遅いが、量子回路の実行の深さが長いために、繰り返し計算が可能。量子ビットの操作に制限がないことを活用したアルゴリズムの開発。
超伝導方式 理研RQC	理研内で開発。国産。現在、64qubitsである。 ※2024年度に研究的な接続を開始	デバイスの内部の立ち上がった制御ソフトウェアの開発。FTQCを見据えた利用。

JHPC
Quantum
/NEDO

理研
TRIP