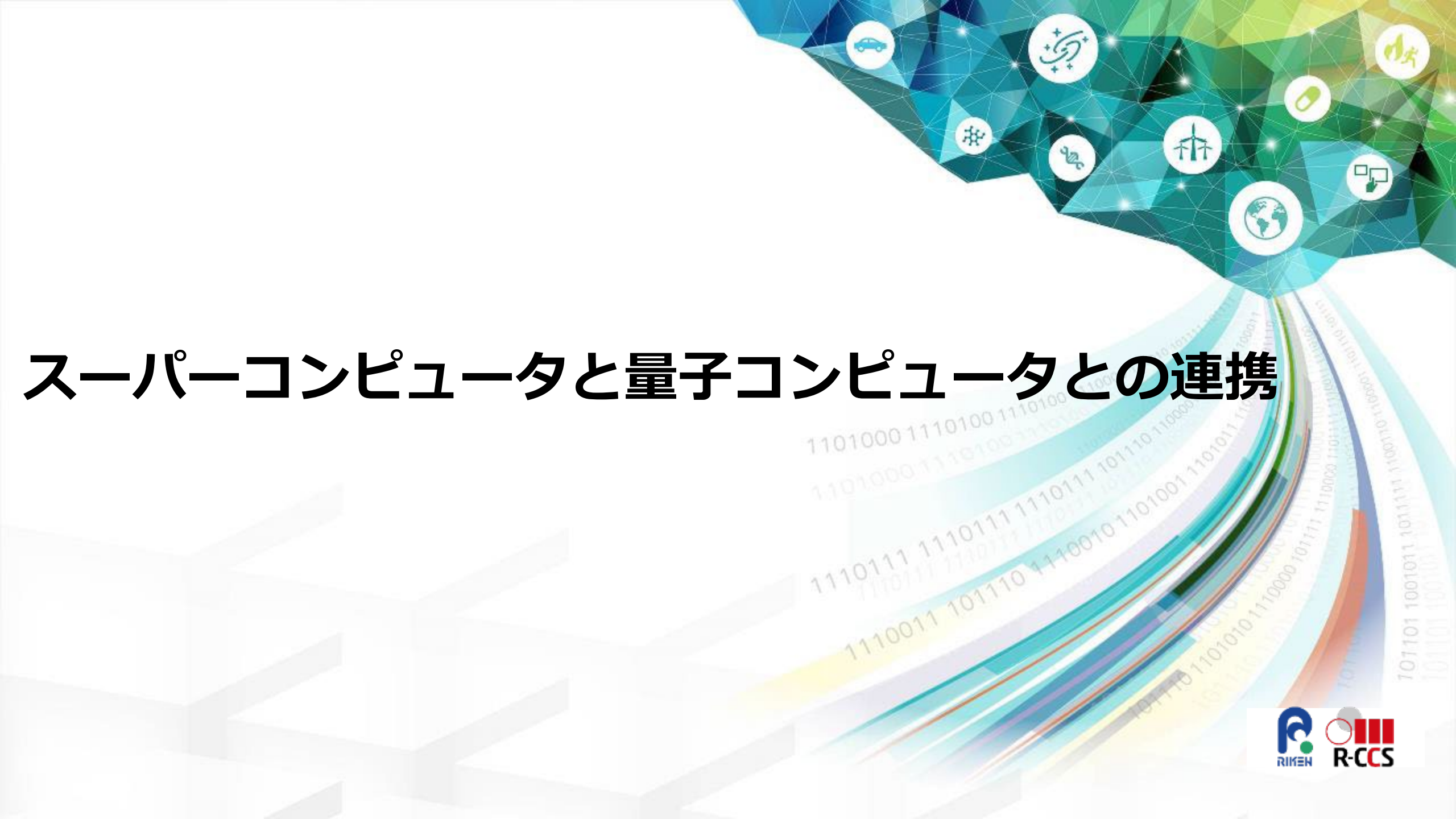


量子HPC連携プラットフォームの構築

計算科学研究センター 副センター長

量子HPC連携プラットフォーム部門長 佐藤三久

2023年10月16日

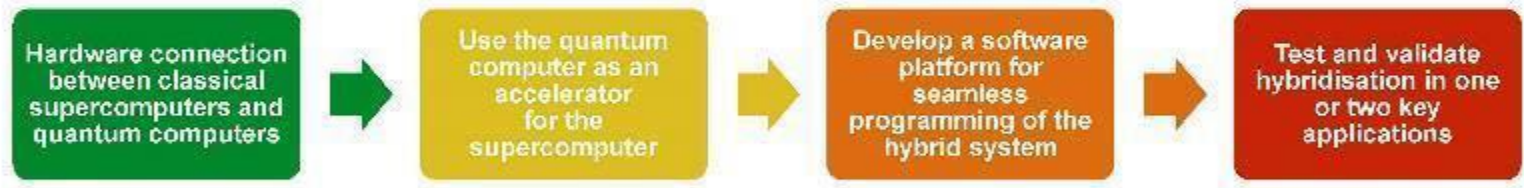


スーパーコンピュータと量子コンピュータとの連携

欧州でのHPC-QC連携の動向

	2019 & 2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Quantum Infrastructure	1st round 2 quantum simulators interfacing with HPC systems	2nd round 6 quantum computers + quantum simulators interfacing with HPC systems (17 participating states and € 100 M+ procurement budget)			3rd round new generation of quantum computers + quantum simulators most advanced platforms (€ 300 M)			

2023 → 1st EuroHPC Call for tender – to be published
 2023 → 2nd EuroHPC Call for Expression of Interest – to be published
 2024 → 2nd EuroHPC Call for tender



2025 → EU will have its first HPC with quantum acceleration

2030 → EU will have a stand-alone quantum computer with quantum advantage



Supercomputer LUMI+HELMI, LUMI-Q, QAL9000 ...

- Supercomputer LUMI

- at CSC data center, Kajaani, Finland
- #3 of TOP500 (Jun 2023)

- HELMI

- 5 qubit(20 qubitsにアップデート予定)
- developed by IQM and VTT
- at VTT Technical Research Centre, Espoo, Finland

⇒ トップクラスのスーパーコンピュータと量子コンピュータを物理的に接続した最初の事例

- QAL9000

- at Chalmers, Sweden, LUMIと接続
- 5 qubits (20 qubitsにアップデート予定)

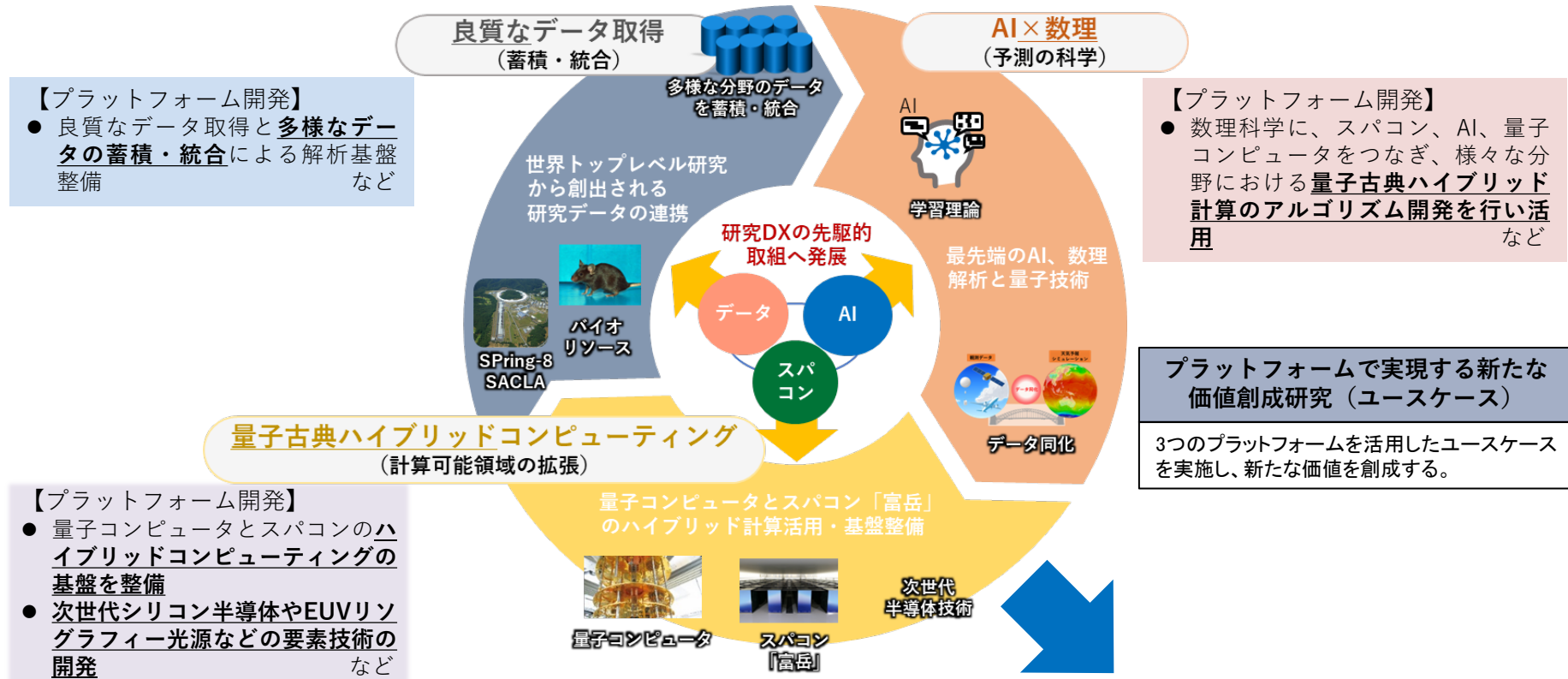
- LUMI-Q (開発中)

- at IT4Innovations National Supercomputing Centre
- Czechia, Czech Republic
- LUMIほか欧州スパコンと接続予定



～ 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

プラットフォームで実現する新たな価値創成研究（ユースケース）
3つのプラットフォームを活用したユースケースを実施し、新たな価値を創成する。

【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

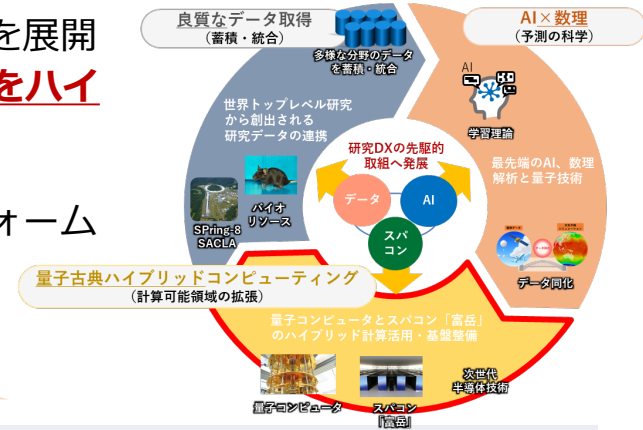
- 国内の大学・研究機関等の優れた研究者を結集（クロアボ等）
- 技術安全保障や研究インテグリティの管理体制を強化し、セキュアな研究環境を整備
- 新たに研究DXを推進する職を設け、研究DX人材を育成

「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

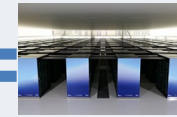
- ◆ビッグデータの量子機械学習や複雑現象の予測と制御の科学を展開するため、**古典の弱点の組合せ爆発と量子の弱点の誤り訂正をハイブリッド化で克服するための計算基盤を構築**
- ◆人類が**計算可能な領域を飛躍的に拡張**する新たなプラットフォームを実現し、超複雑現象の解明から持続可能な社会を実現に導く



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

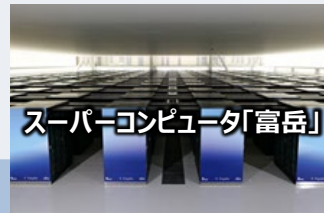
従来の活動

- 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**



国産超伝導量子コンピュータ

- 「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



スーパーコンピュータ「富岳」

- 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



シリコン量子ビット・レーザー研究

既存の理研プラットフォーム

量子HPC連携プラットフォーム

量子HPC連携プラットフォームの構築

- 量子コンピュータ (QC) とスーパーコンピュータ (HPC) とを高度に連携させることで計算可能領域を拡張。
- QCとHPCを連携させるシステムソフトウェア (Software Stack) の開発を加速させ、アドバンスド・コンピューティングを推進。
- 「量子-HPCハイブリッド環境」を世界に先駆けて整備し、提供することで、QCの本格利用に向けた研究開発環境を確保。



研究開発体制の整備

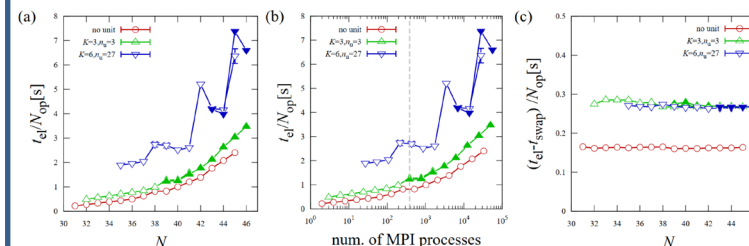


計算科学研究センター(R-CCS)に「量子HPC連携プラットフォーム部門」を2023年4月1日設置、プラットフォーム構築に向けた研究開発を加速。TRIP2で進める「RIKEN Quantum」との協業を強力に推進。

ユニット名	研究開発概要
量子HPCソフトウェア環境開発ユニット	量子HPCハイブリッドを実現するためのソフトウェア環境の開発 量子コンピュータとスーパーコンピュータを高度に連携させるため、ソフトウェアスタック (ハイブリッド・プログラミング・システム) 等の開発を行う。
量子計算シミュレーション技術開発ユニット	スーパーコンピュータ上で稼働する量子計算シミュレーション技術開発 量子コンピュータ及び量子アルゴリズム等の開発を加速させるため、「富岳」をはじめとするスーパーコンピュータや、高性能GPUシステム上で稼働する量子計算シミュレーション技術開発及び高度化等を行う。
量子HPCプラットフォーム運用技術ユニット	量子HPCプラットフォームの環境整備及び運用 量子コンピュータ及びスーパーコンピュータによるプラットフォームの環境整備及び運用を行う。また、ユーザーに対して両者の共通利用を推進するための利用環境の開発・高度化等を行う。

(先行的) 研究開発実績

R-CCSで開発した量子計算シミュレータ“braket”をスーパーコンピュータ「富岳」に実装し、「富岳」のlargeキューで、倍精度46qubitsのシミュレーションを実現。また、40qubitsのシミュレーションは1000ノード以下で手軽に実行できるようになり、ワークステーションやGPUにより進められている30qubits程度での量子アルゴリズムの研究開発をスケールアップする環境を整えた。





量子HPC連携プラットフォームの構築を加速

経産省/NEDOプロジェクト

- 経済産業省（経産省）「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業」の一環として、量子コンピュータ（QC）とスーパーコンピュータ（HPC）が連携して動作する環境（ソフトウェア開発等）を整備し、我が国の産業基盤の高度化（計算資源の拡張）に資するために、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公募を実施。
- 理化学研究所としては、TRIP事業の一環として、当該事業を加速するプロジェクトとして、ソフトバンク、東京大学、大阪大学とともに推進することとし、経産省/NEDOプロジェクトに応募し、採択が決定。
- プロジェクトの推進に当たっては、特性の異なる量子コンピュータ（2台）を理化学研究所内に導入（2025年度稼働）する予定。設置が完了するまでの間は、クラウドを通じて導入予定のQCの計算資源を活用し、QCとHPCとの連携に向けたソフトウェアスタックの開発を行う。
- 研究開発期間は5年間を予定している（ステージゲートあり）。

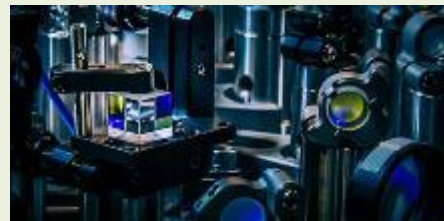
理化学研究所 和光地区

量子コンピュータ
(超伝導・シリコン量子ビット方式-理研独自開発)



運営費交付金・外部資金

量子コンピュータ
(イオントラップ方式)



<https://quantinum.co.jp/business/h-series/>

経産省/NEDOに採択されたプロジェクト

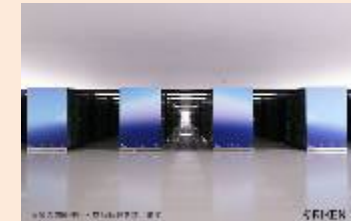
理化学研究所 神戸地区

量子コンピュータ
(超伝導方式)



https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/features/z1304_00120.html

スーパーコンピュータ
「富岳」
(HPC)



特定先端補助金

計算資源の多様化・ソフトウェア開発を通じた計算資源・計算可能領域の拡張

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

実施者	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
概要	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連携システムソフトウェアを研究開発し、これを用いてこれまでのスパコンのみでは困難だった領域の計算を可能とする量子・スパコン連携プラットフォームを構築する。既存のスパコンのみの計算に対し量子・HPC連携アプリの優位性を実証するとともに、この計算プラットフォームで実行される量子・HPC連携ソフトウェアをポスト5G時代のネットワークで提供されるサービスとして展開する技術を開発する。

1. 開発目的

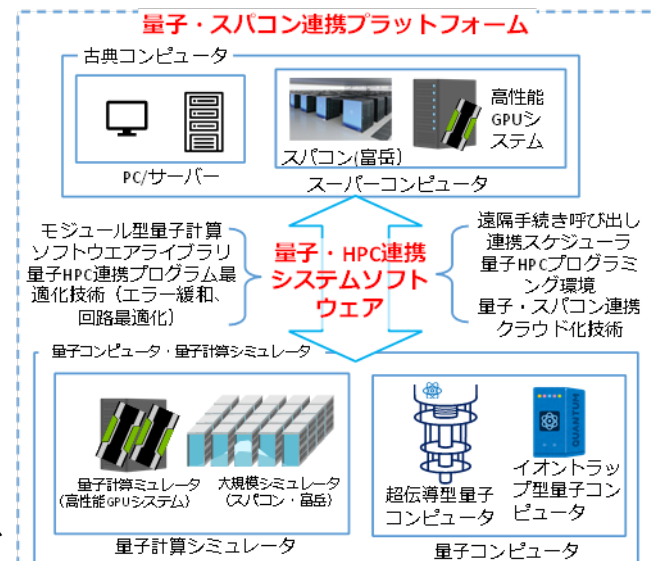
- 量子コンピュータは、従来のコンピュータと全く異なる原理で動作し、情報処理速度の劇的な高速化が期待されるが、現時点では、規模拡大と計算結果の誤り訂正の両立が困難であり、量子コンピュータ単独での実用化には時間を要する見込み。
- 一方で、デジタル化の進展により、情報処理能力の向上が急務であり、量子コンピュータの活用がいち早く求められているところ、古典コンピュータを組み合わせることで活用することが有望視されている。
- 本事業では、世界に先駆けて、量子コンピュータとスパコンを連携利用するためのソフトウェアやプラットフォーム、アプリケーションを開発・構築し、ポスト5G時代で提供されるサービスとして展開する技術としての有効性を実証していく。

2. 開発内容

- 量子・HPC連携ソフトウェア**：スパコンと量子コンピュータを連携させ、最適な計算資源をシームレスかつ効率的に利用するためのシステムソフトウェアを開発。
- モジュール型量子ソフトウェアライブラリ**：アプリ分野に合わせたモジュール型のソフトウェアを整備、量子コンピュータの特性に合わせたエラー緩和処理、回路最適化処理を実現する上位ソフトウェアライブラリを開発。モジュールとして組み合わせることで高度な量子アプリケーションを開発可能とする。
- 量子・スパコン連携PFのクラウド化技術**：事業展開を見据えて、量子アプリケーションの利用を支援するクラウド基盤ソフトウェアを開発。

3. 構築する量子・スパコン連携プラットフォームの構成

- 理研・計算科学研究センター（神戸）及び（和光）に特性の異なる2種類の量子コンピュータを整備。これらと富岳、及び東大・阪大スパコンと連携したプラットフォームを構築。



- ◆ 2026年度に量子・スパコン連携プラットフォームを運用開始し、これを用いて量子・HPC連携アプリケーションの有効性の実証に取り組む
- ◆ 2028年度下期、量子・スパコン連携プラットフォームのプレリリースを計画



スーパーコンピュータとの連携の将来展望

スーパーコンピュータとの連携の将来展望

- **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HPCの整備とともにHPCとQCの連携が検討されている。米国においてもエネルギー省（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、**HPC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。また、計算資源の一つとして、複数のHPC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、**量子・HPC連携システム・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。