

次世代計算基盤に係る調査研究 新計算原理調査研究チーム報告会

- 13:00-13:05 文科省よりご挨拶
文部科学省 研究振興局参事官（情報担当）付 計算科学技術推進室長 栗原 潔 様
- 13:05-13:20 全体の概要 天野英晴（慶應チーム）
- 13:20-14:00 NISQアルゴリズムの最新動向
柚木清司（理研RQCチーム）
- 14:00-14:40 量子コンピュータとスパコンの連携
佐藤三久（理研R-CCSチーム）
- 休憩
- 14:50-15:30 FTQC最新動向 谷本輝夫（九州大学チーム）
- 15:30-16:10 量子アニーラの現状
小松一彦, 百瀬真太郎（東北大・NECチーム）
- 16:10-16:50 量子コンピュータシミュレータの現状
近藤正雄（富士通株式会社、慶應チーム）
- 16:50-17:00 2024年度の活動 渡辺宙志（慶應チーム）

次世代計算基盤に係る調査研究 全体概要

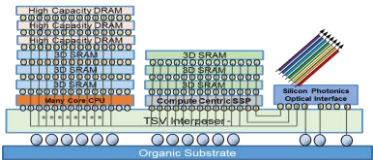
- ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の開発にあたり、我が国として独自に開発・維持すべき技術を特定しつつ、要素技術の研究開発等を実施し、具体的な性能・機能等について検討を行う。
- システム、新計算原理、運用技術を対象に調査研究を実施。サイエンス・産業・社会のニーズを明確化し、それを実現可能なシステム等の選択肢を提案する。

システムチーム 次世代計算基盤として想定されるアーキテクチャ（プロセッサ、メモリ、ストレージ等）、システムソフトウェア、アプリケーションを提案

代表機関：理化学研究所（近藤 正章）

国内外のベンダーを含めたオールジャパン体制のもと、高度なデジタルツイン実現の基盤として、電力制約の下で大規模なデータの移動を高度化・効率化するシステム構築を目指す。

- (例)
- ・システム全体や構成要素について技術的可能性や総合性能の調査（3D積層メモリ、チップ間光通信等）
 - ・国内で開発すべきソフトウェアを明らかにしつつ、今後の開発ロードマップを策定
 - ・アプリ分野において、ポスト富岳時代に必要とされる計算機資源の調査、ベンチマーク構築 等



代表機関：神戸大学（牧野 淳一郎）

世界最高の電力当たり性能を実現している国産アクセラレータ技術、AI応用技術を活用し、従来分野の計算性能とAI利用の両方において高い実行効率を実現できるシステム構築を目指す。

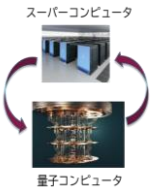
- (例)
- ・神戸大学・PFNが開発するMN-Core Xとそれに適合したCPUによる省電力化、効率改善
 - ・ソフトウェア制御による実行効率の高度化、高効率コードの自動生成の実現
 - ・商用を含めたアプリ性能の調査 等



新計算原理チーム 代表機関：慶應義塾大学（天野 英晴）

量子コンピューティング（ゲート型、アニーラ型）とスーパーコンピューティングの融合計算を行うための「量子スーパーコンピューティング」の実現可能性を評価する。

- (例)
- ・量子コンピュータの現状調査
 - ・スパコンを用いた量子コンピュータのシミュレーション
 - ・量子アルゴリズムとスパコンとの融合
 - ・量子/疑似量子アニーリングマシンと高性能計算との連携に関する調査 等



運用技術チーム 代表機関：東京大学（塙 敏博）

大学情報基盤センターが多数参画した体制のもと、フラッグシップ、HPCI第二階層システム群や、mdxなどの多様なシステムが有機的に結合し、持続可能な次世代計算基盤の実現に向け、運用関連技術を調査する。

- (例)
- ・複数のスパコン間のデータ連携、クラウド連携、セキュリティ等の連携技術検討
 - ・再エネ活用、蓄電技術、廃熱再利用技術等のカーボンニュートラル実現に資する技術検討
 - ・大規模データを効果的・効率的に活用するための仕組みの検討
 - ・仮想化技術など、運用に向けた環境整備のための調査検討 等

	2022年度	2023年度
理化学研究所	テクノロジ・アーキ技術の調査・検討 既存ツールや利用動向調査、ベンチマーク設計 等	ベンチマーク性能解析/予測、新規開発ソフト項目検討・定量的評価、ベンチマーク評価に基づく性能分析、要素技術開発 等
神戸大学	独自アーキテクチャ暫定版、フレームワーク仕様検討、アプリ調査 等	グループ共同の性能評価・改良、要素技術開発 等
慶應義塾大学	量子コン、量子アルゴリズム、アニーリング関係の調査 等	スーパーコンピュータとの融合に関する技術実証 等
東京大学	技術調査、要件・課題抽出、ポリシー調査 等	プロトタイプ試作検討、技術要件の詳細化、要素技術の実現可能性検討 等

量子コンピュータにはアニーラ型と量子ゲート型があり、両方が調査対象

東北大 + NEC

アニーラ型(イジングマシン)



イジングモデル、QUBOモデルによる最適化専用
擬似量子アニーラーは、量子現象を利用していない
現在、実際の役に立っている

慶應 + 富士通
理研
九州大

ゲート型

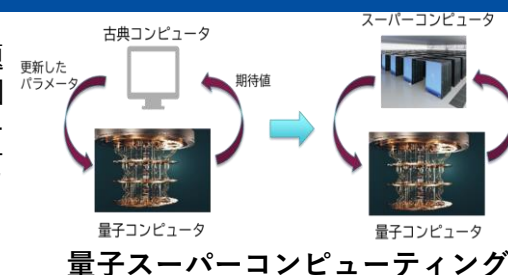


量子力学的な現象を利用して、様々な問題を解くことができる汎用コンピュータ
ノイズ、量子操作の精度、コヒーレンス時間などにより、まだ実際の問題では役に立っていない

調査研究の全体概要（慶應義塾大学：新計算原理）

取組概要

量子コンピュータは、量子力学的な現象を用いて、従来のコンピュータでは現実的な時間や規模で解けなかった問題を解くことのできる新しい計算原理に基づくコンピュータで、日本ではすでにアニーリングマシンが各社出そろう一方、国際的には量子ゲート方式が急激に発達を遂げている。本調査研究では、量子コンピューティングとスーパーコンピューティングの融合計算を行う「量子スーパーコンピューティング」のアーキテクチャ、システムソフトウェア、アルゴリズムについて調査し、その実現可能性を評価する。



調査内容

現在の量子コンピュータ、アニーリングマシンのアーキテクチャ、システムソフトウェア、アルゴリズム、利用法、NISQアルゴリズム、量子コンピューティングのシミュレーション技術についてその現状を調査し、スーパーコンピューティングとの融合の方法について検討する。

量子コンピュータの現状調査（慶應義塾大学、富士通、他）

- クラウドを通じた利用調査、ヒアリング調査、実機調査により現在の各種量子コンピュータの現状を調査し、スーパーコンピュータとの融合アーキテクチャを探索

量子アルゴリズムの現状調査とスーパーコンピューティングとの融合（理研RQC）

- 量子変分アルゴリズムを中心に現在の量子アルゴリズムを調査し、変分法を超えたアルゴリズムについて検討する。

量子システムソフトウェアと量子コンピュータのシミュレーション（理研R-CCS）

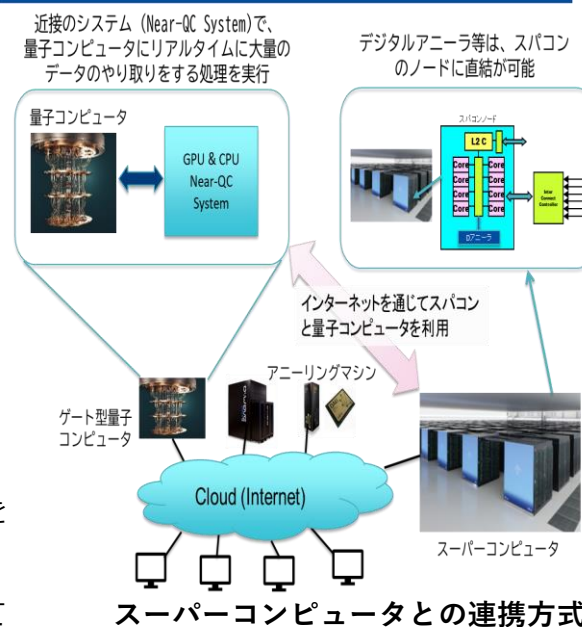
- 量子コンピュータのプログラミング環境、システムソフトウェアを調査し、スーパーコンピュータとの統合環境について検討する。また、スーパーコンピュータによる量子コンピュータのシミュレーションについて調査し、将来の可能性を検討する。

NISQアルゴリズムの調査とスーパーコンピュータとの融合（九州大学）

- 多少のノイズがあっても有用な答えを導き出すNISQアルゴリズムを調査し、スーパーコンピュータの利用技術を検討する。

量子アニーリング、疑似量子アニーリングマシンについての調査（東北大学、NEC）

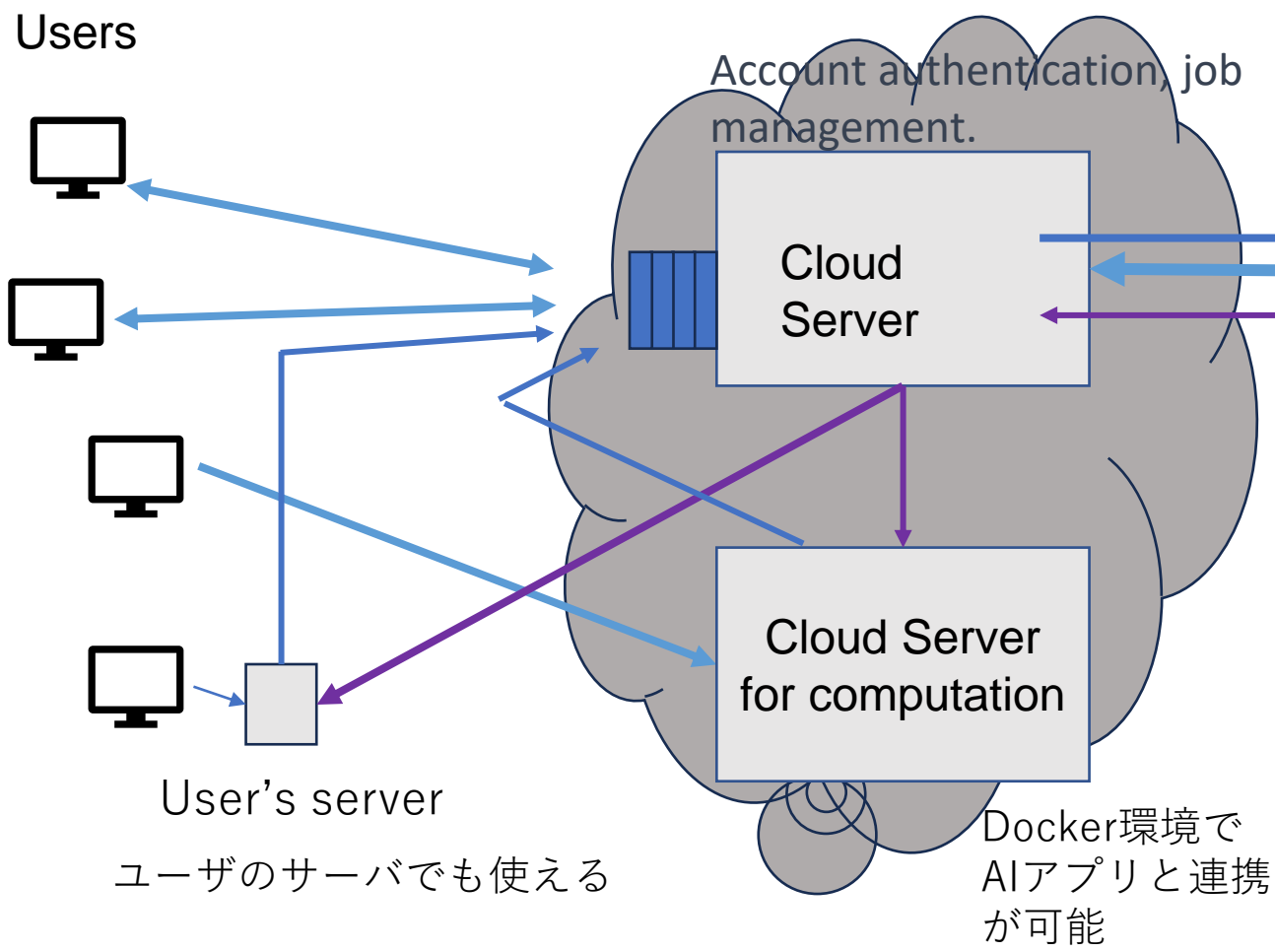
- 性能評価・性能分析を通じて、アニーリングマシンや高性能計算との連携における課題や実現の制約について評価、研究する



スケジュール

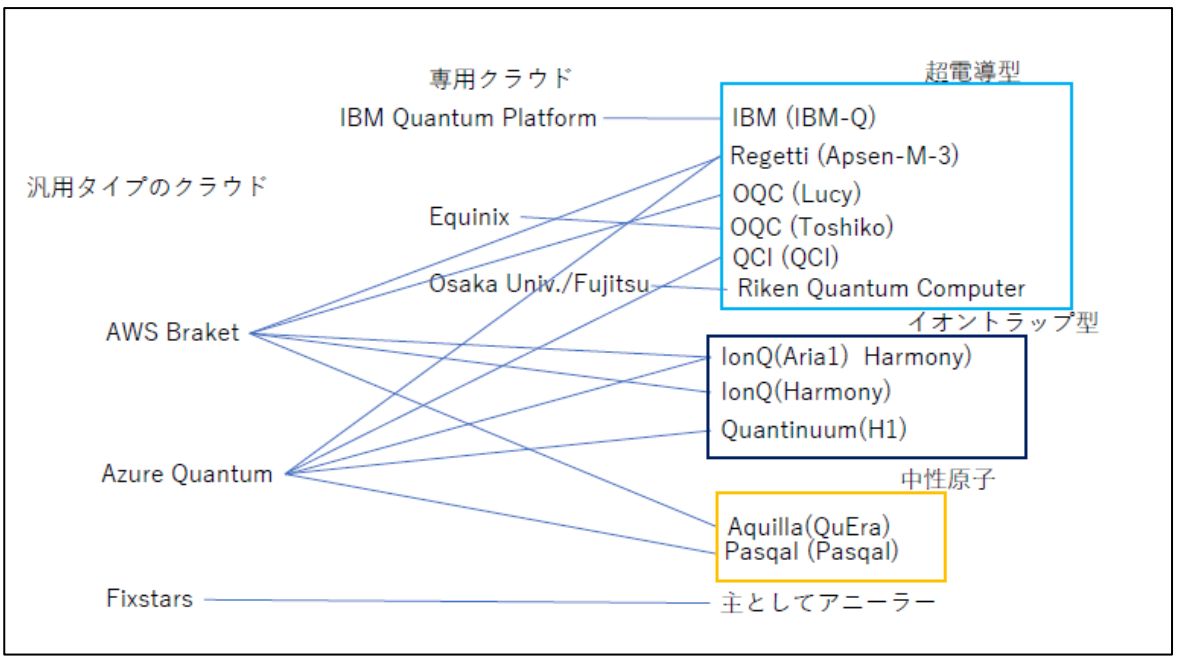
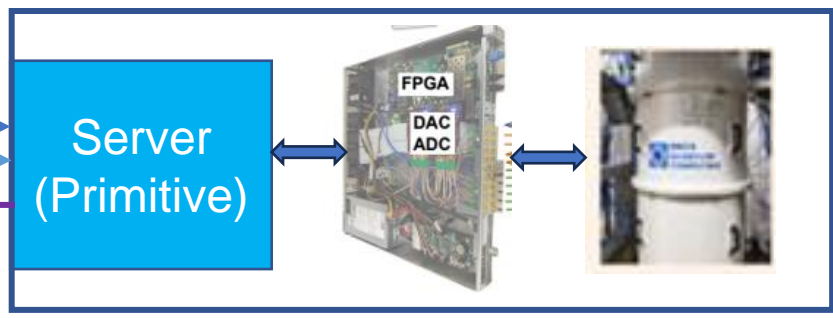
初年度（2022年8月～2023年3月）は現状調査中心、2023年度はスーパーコンピュータとの融合に関する調査研究センター

クラウド上でのハイブリッドジョブの実行

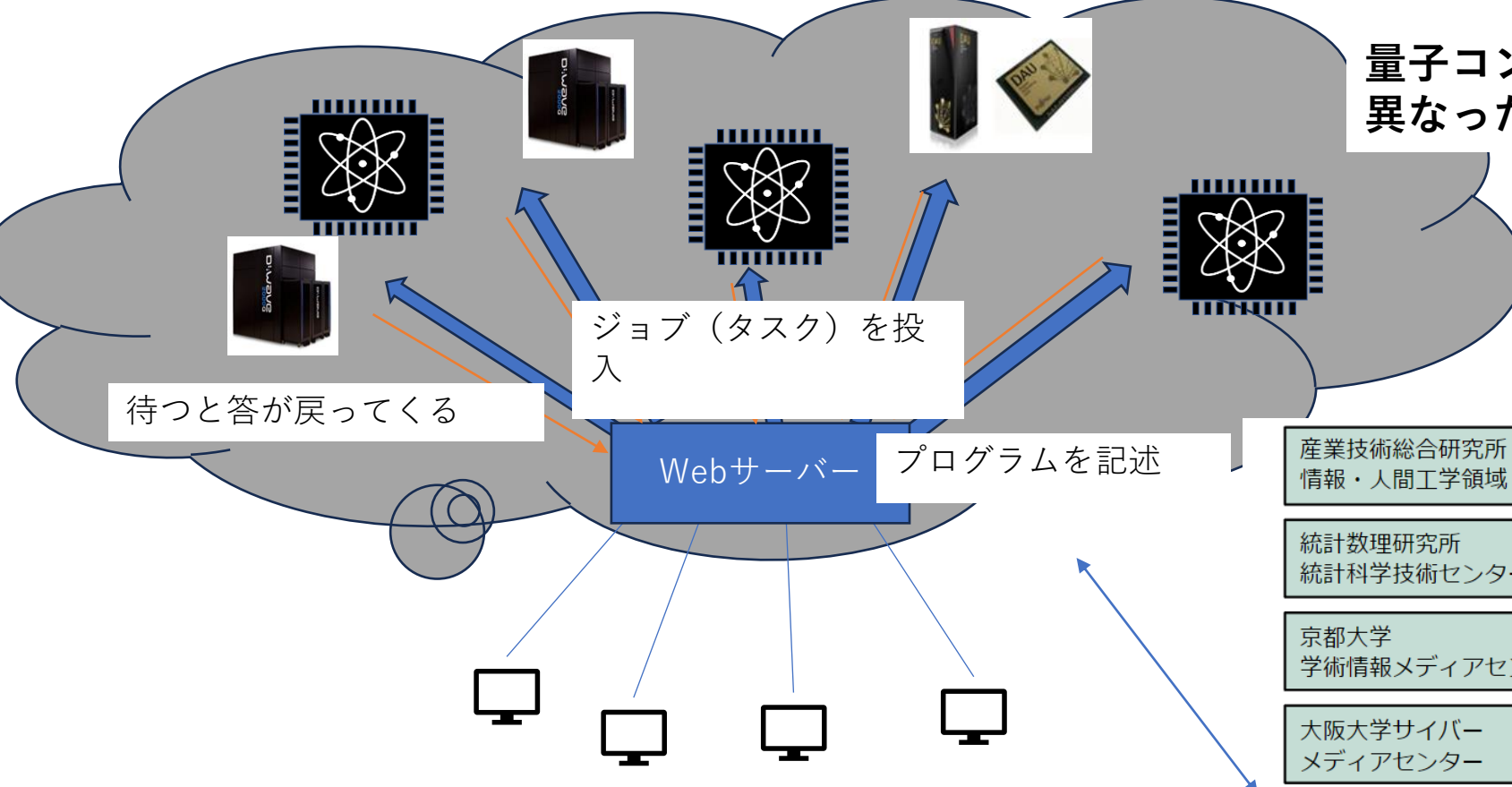


クラウド上では量子コンピュータとクラウド上のサーバーは、交互に自動的にジョブを実行可能（ハイブリッド実行）

The same site/Tightly coupled



現在、量子ゲート型はクラウドで利用可能

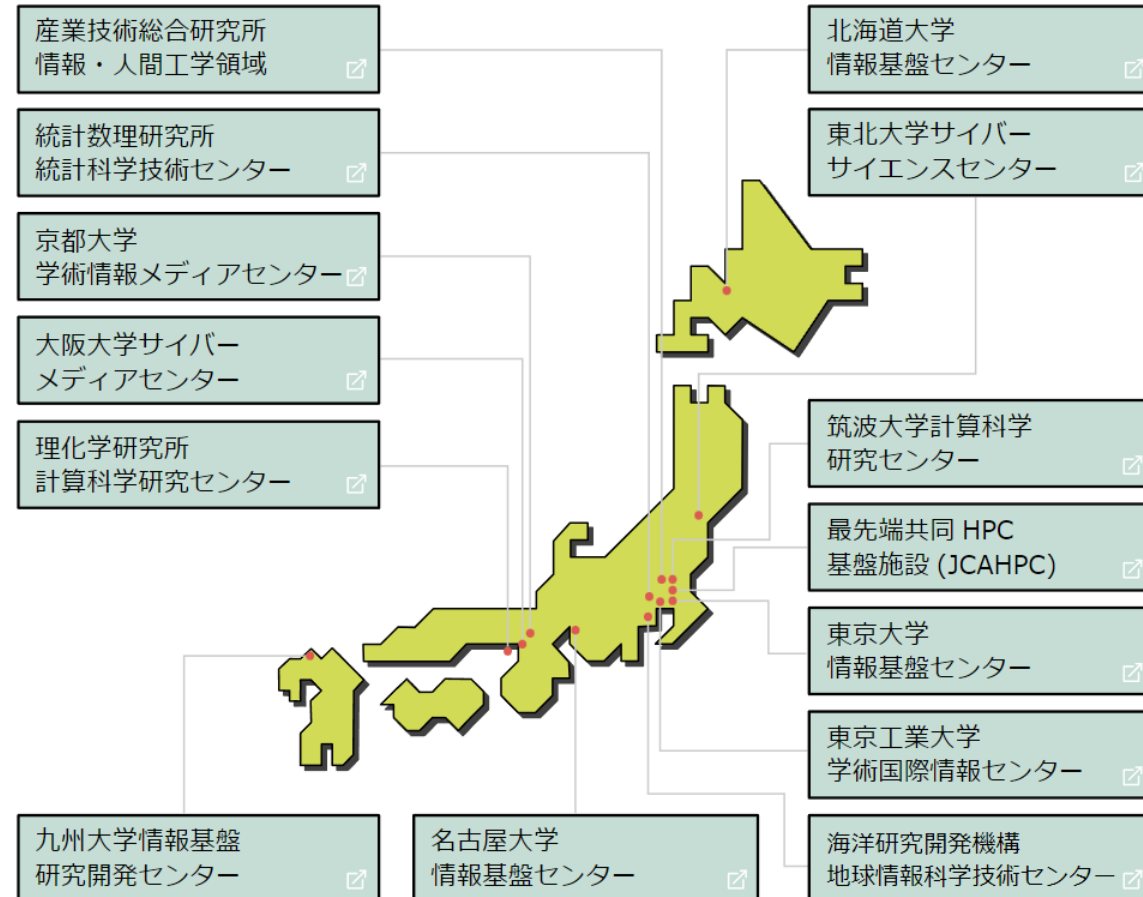


量子コンピュータとスーパーコンピュータは
異なった世界で使われている

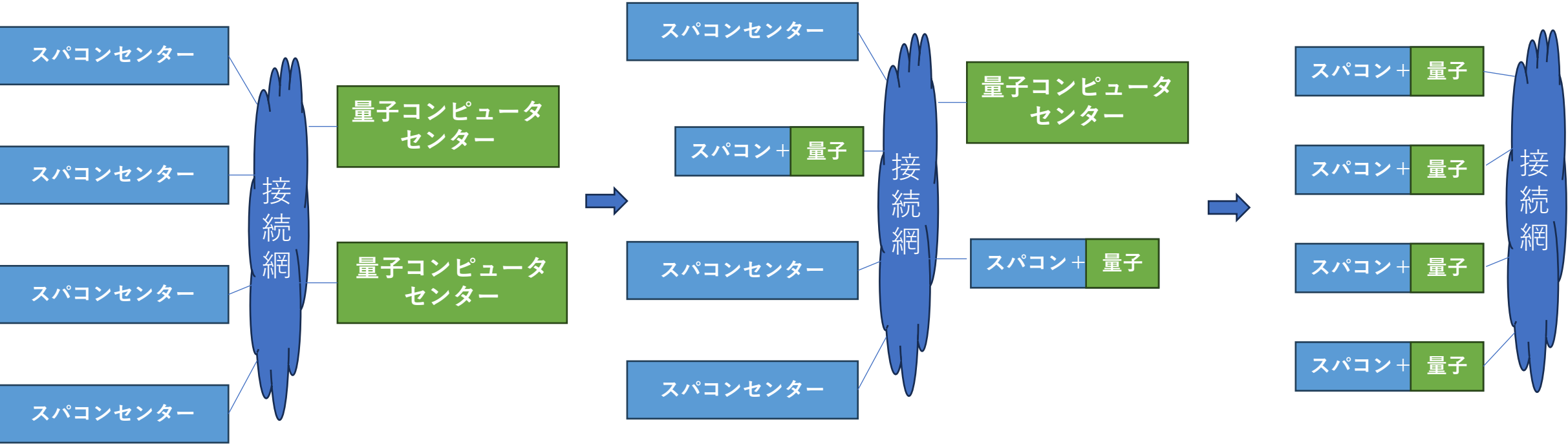
スーパーコンピュータは国の支援する
計算センターで運用し、HPCIなどで
利用する

量子コンピュータはIBM、AWS、Microsoft、Fixstarsなどの
一般のクラウドで利用する

現状ではスーパーコンピュータと量子コンピュータの
融合は困難



将来の国の計算基盤（スーパーコンピュータ、量子コンピュータを含む）整備の方向性についての提言
量子コンピュータを計算基盤の一つとして位置づけ、申請、認証、ジョブ管理、APIの方法を統一する



a)独立したセンターを接続
スパコンはスパコン、量子は量子
申請や認証を統一、ジョブ管理、
APIを統一

b)様々な構成のセンターを接続

c)統合センター
全ての（多くの）スパコン
センターは計算リソースとして
量子コンピュータを装備

量子インターネットの利用はさらに未来の話
→複数量子コンピュータの接続に限られる

スパコン＋量子融合クラウドの利点

- 今のままではなぜ良くないか？
 - 量子コンピュータの研究が制約される
 - 量子コンピュータクラウドがなし崩しに実現されていく
- スパコン方式の申請、アカウント管理
 - 量子コンピュータの商用クラウド利用は超混雑が予想されるので資金がモノを言うようになる（混雑は今でも結構ひどい）
 - 広く研究を行うためには現在のスパコン方式は優れている
- スパコンにログインして用いることで、ユーザ環境の整備や量子コンピュータの柔軟な利用が可能
 - 実はクラウドでもdocker環境でAIプラットフォームと連携できたりして割と進んでいる。しかし、スパコンログイン方式の方がより柔軟にできる可能性がある
- 大規模高速なシミュレーションが可能。実機と簡単に入れ替えることができるのが魅力
 - 現在、クラウドでも量子コンピュータシミュレータは使えるが、脆弱
 - 例) AWS 状態ベクトル型 34qubitまで、テンソルネットワーク型50qubitまで
 - 富岳ならば状態ベクトル型 40qubit (46qubit)、テンソルネットワーク型100以上は可能
 - 例) スパコン不老を使っている量子化学計算の専門家杉崎さん (SQAI)のインタビュー (6・30)
- スパコンを既に利用している物理学者、量子化学、天文学等の研究者が自然に量子コンピュータに研究を展開できる
- 本当に量子コンピュータが計算資源として役に立つようになればスパコンセンターに入れるのは自然
- 実験的な量子コンピュータ（ムーンショットG6の成果など）を簡単にクラウドに導入可能
 - 量子コンピュータの研究者にはクラウドへの投入が困難で壁になっている
 - 統一したジョブ管理で、複数量子コンピュータ間の連携も可能になる

今まで天野はあっちこっちで発表してきた
→調査研究の各Gの成果発表の機会がなかった

- HPCIシンポジウム 2022.10.27
- PCCC22 (第22回PCクラスタシンポジウム) 2022.12.6
- HPCI意見交換会 2023.1.15
- Moonshot G6永山プロジェクトKick Offシンポジウム 2023.1.23
- 次世代計算基盤に係る調査研究事業ワークショップ 2023.2.22
- Supercomputing Now! 2023.3.26
- HPCI調査検討WG 2023.7.25
- 川崎市経営者向きセミナー 2023.9.1
- Qstar ワーキンググループ 2023.9.12
- アクセラレータワークショップ 2023.9.28
- 次世代計算基盤に係る調査研究事業ワークショップ 2023.12.19
- HPCIAsia 2024.1.26
- 理研NEDOプロジェクトKick Off シンポジウム 2024.3.25

本日のスケジュール

- 13:00-13:05 文科省よりご挨拶
文部科学省 研究振興局参事官（情報担当）付 計算科学技術推進室長 栗原 潔 様
- 13:05-13:20 全体の概要 天野英晴（慶應チーム）
- 13:20-14:00 NISQアルゴリズムの最新動向
柚木清司（理研RQCチーム）
- 14:00-14:40 量子コンピュータとスパコンの連携
佐藤三久（理研R-CCSチーム）
- 休憩
- 14:50-15:30 FTQC最新動向 谷本輝夫（九州大学チーム）
- 15:30-16:10 量子アニーラの現状
小松一彦, 百瀬真太郎（東北大・NECチーム）
- 16:10-16:50 量子コンピュータシミュレータの現状
近藤正雄（富士通株式会社、慶應チーム）
- 16:50-17:00 2024年度の活動 渡辺宙志（慶應チーム）