

量子コンピュータ研究開発の現状と課題

- 量子技術イノベーション拠点として理研の現状
- 量子コンピュータ利用環境整備
- 産学官連携体制強化等に関する課題や提言

中村 泰信

理化学研究所量子コンピュータ研究センター



RIKEN
QUANTUM
COMPUTING

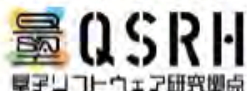
量子技術イノベーション拠点の全体像

2022年4月22日
量子未来社会ビジョン
内閣府資料

機能強化

新規追加

【量子ソフトウェア】



大阪大学

【グローバル産業支援（仮称）】



産業技術総合研究所

産業界への総合的な
支援機能の強化

【量子センサ】



東京工業
大学

量子マテリアル
の研究開発・
供給機能強化

【量子コンピュータ
利活用】



東京大学
企業連合

【量子コンピュータ】



ヘッドクォーター
（中核拠点）

理化学研究所

ヘッドクォーター機能の
抜本的な強化

【量子生命・
量子機能創製（仮称）】



量子科学
技術研究
開発機構

【量子セキュリティ】



情報通信
研究機構

【量子マテリアル】



物質・材料
研究機構

国際的な
研究開発・
教育

【国際教育研究（仮称）】



OIST
沖縄科学
技術大学
院大学

【量子ソリューション（仮称）】

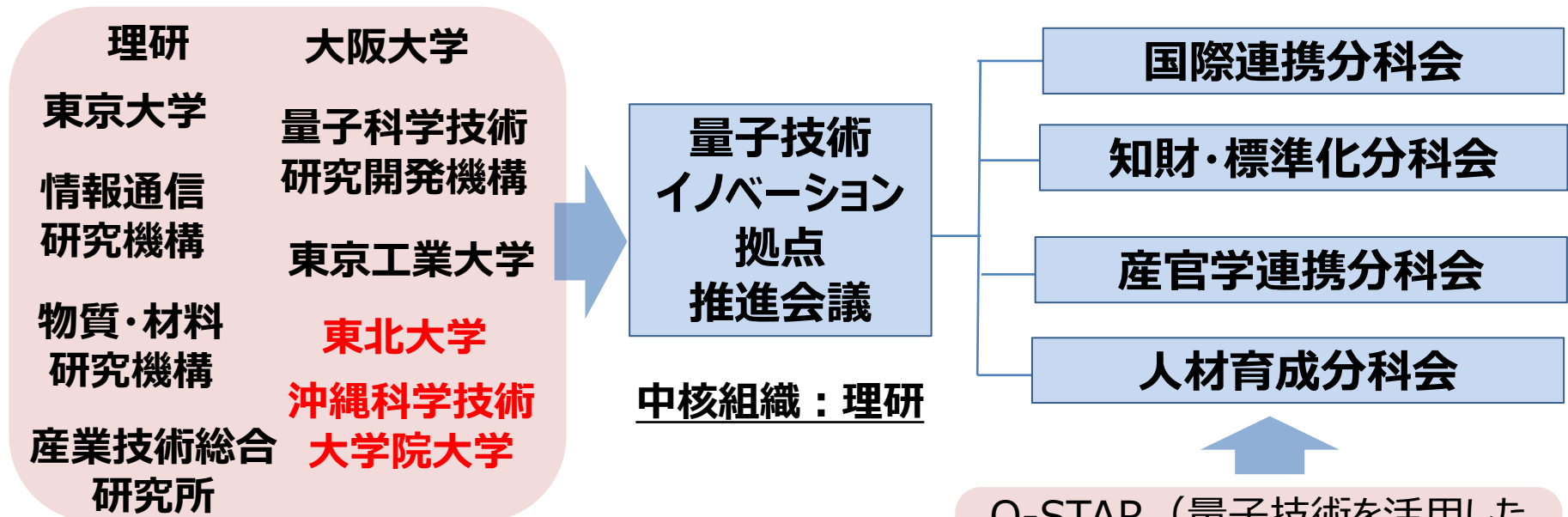


東北大学

産業界にとって価値
のあるソリューション
研究開発支援

中核組織として、拠点推進会議と分科会を運営、社会実装の加速へ

- 量子技術の社会実装に向け、共同提言や推進を行う会議体として量子技術イノベーション拠点推進会議を運営
- この下に設置した分科会（4課題について議論）の活動を推進



令和3年2月に8拠点が発足、令和4年に2拠点が加わり、10拠点で活動中

量子コンピュータ実現に向け、ハードウェア・ミドルウェア・ソフトウェア**すべての技術レイヤーを貫いた研究開発**を推進する。

ブレークスルーを目指して基礎から応用まで、実験から理論まで**多様な人材が協働**する。

開かれた拠点として、産官学・国内外にわたり広く連携しながら研究開発を進め、社会貢献を目指す。

研究開発を通じて、**次世代の量子技術を担う人材を育成**する。

センター長： 中村泰信
副センター長： 古澤明・萬伸一

2022年4月1日現在

量子コンピュータ研究センター

- 超伝導量子エレクトロニクス研究チーム：中村泰信TL
- 超伝導量子シミュレーション研究チーム：蔡兆申TL
- 超伝導量子エレクトロニクス連携研究ユニット：阿部英介UL
- 超伝導量子計算システム研究ユニット：田淵豊UL
- ハイブリッド量子回路研究チーム：野口篤史TL
- 光量子計算研究チーム：古澤明TL
- 量子多体ダイナミクス研究チーム：福原武TL
- 浮揚電子量子情報理研白眉研究チーム：川上恵里加TL
- 半導体量子情報デバイス研究チーム：樽茶清悟TL
- 半導体量子情報デバイス理論研究チーム：Daniel Loss TL
- 量子計算理論研究チーム：藤井啓祐TL
- 量子情報物理理論研究チーム：Franco Nori TL
- 量子計算科学研究チーム：柚木清司TL
- 量子複雑性解析理研白眉研究チーム：桑原知剛TL
- 理研RQC-富士通連携センター：中村泰信 連携センター長（兼務）
- センター長室：萬伸一 室長

超伝導

光

原子

電子

半導体

理論

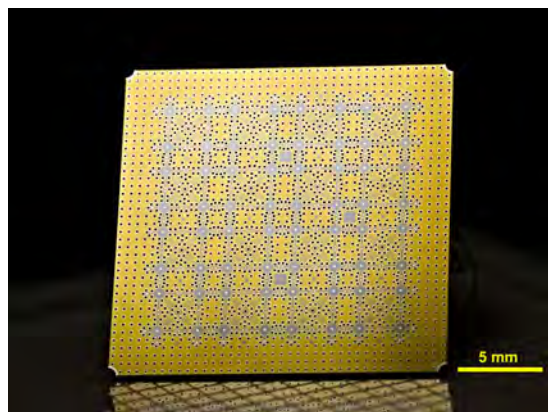
超伝導

マネジメント

量子コンピュータの研究開発

超伝導

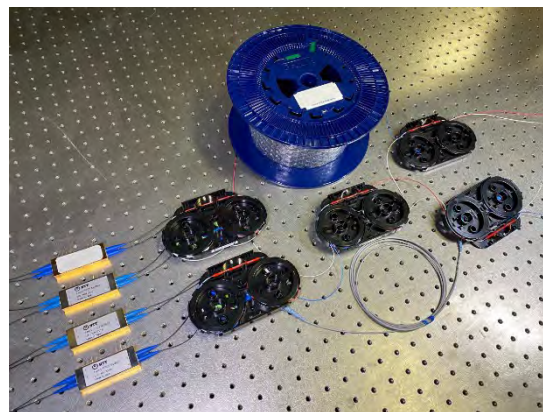
超伝導量子コンピュータ実機の立ち上げに向けたハードウェア・ミドルウェア・ソフトウェアを開発する。



- ・ 64量子ビット集積回路上での量子制御および評価技術向上
- ・ 量子ビット集積回路作製プロセスの改良による量子ビット均一性およびコヒーレンス向上
- ・ クラウド接続に向けたインフラの整備

光

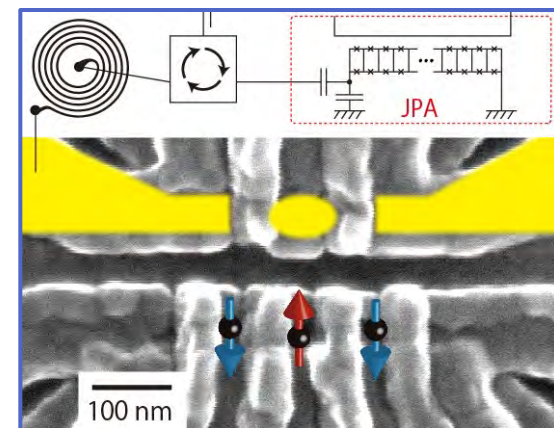
スクイザーモジュールと光ファイバー光学系を用いて光量子コンピュータ実機を開発する。



- ・ 広帯域導波路光パラメトリック増幅器・ビームスプリッター・遅延線路からなる光学系を用いた光量子コンピュータプロトタイプの構築
- ・ 誤り耐性量子計算に向けた誤り訂正符号実装方式の開発

半導体

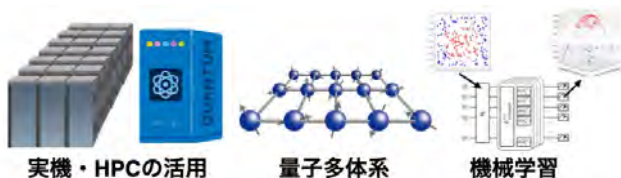
半導体スピン量子ビット回路の大規模化に向けて、10量子ビット以上に拡張性のある量子ビット配列の基盤技術を開発する。



- ・ 超伝導ジョセフソンパラメトリック増幅器を用いたスピン量子ビット測定感度向上
- ・ シリコンファウンドリーと共同で量子ビット集積回路開発
- ・ スピン量子ビット集積回路に適した量子誤り訂正手法の提案

量子計算理論・ 量子ソフトウェア研究

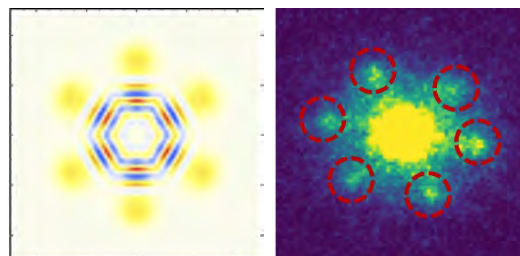
量子コンピュータハードウェア上で実行可能なNISQアルゴリズムの探求と、将来の誤り耐性量子計算の実現に向けた理論研究を行う。



- ・ 誤り耐性量子計算アーキテクチャの研究
- ・ アルゴリズム性能評価のためのHPCおよび量子コンピュータ実機の活用
- ・ NISQ応用（物性物理・量子化学など）のためのアルゴリズム研究
- ・ 機械学習やAIの量子情報科学研究への応用
- ・ 量子シミュレーション応用探求

量子情報処理のための 基盤技術開発

量子コンピュータ実現に必要不可欠な高精度量子制御および観測技術を様々な物理系において追求する。



マイクロ波共振器中 三角格子光格子中で超流動状態にある冷却原子気体
ボゾニック符号量子状態

- ・ 誤り訂正符号「ボゾニック符号」の実装を目指した共振器中のマイクロ波非古典状態の生成
- ・ 三角格子光格子中の冷却原子を用いた量子シミュレーションの実装
- ・ 高性能量子ビットとしてのヘリウム液面上の単一電子の捕獲・計測技術開発

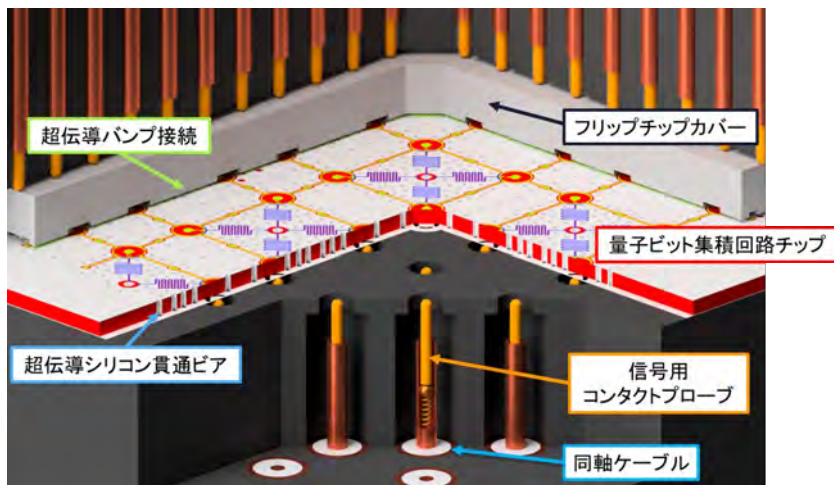
センター運営活動

量子コンピュータ研究に関する中心的組織として、センター内研究活動の強化拡大、及び理研内外との連携強化を推進する。量子技術イノベーション拠点中核組織として量子技術の横串課題の解決や情報発信によるビジビリティ向上に努める。



- ・ 広報機能の強化、国際シンポジウム、ワークショップの開催によるプレゼンスの向上
- ・ センター長室・推進室のサポートによる機動的な運営
- ・ 重要性・緊急性に応じたセンター裁量経費配分で研究の強化・推進へ

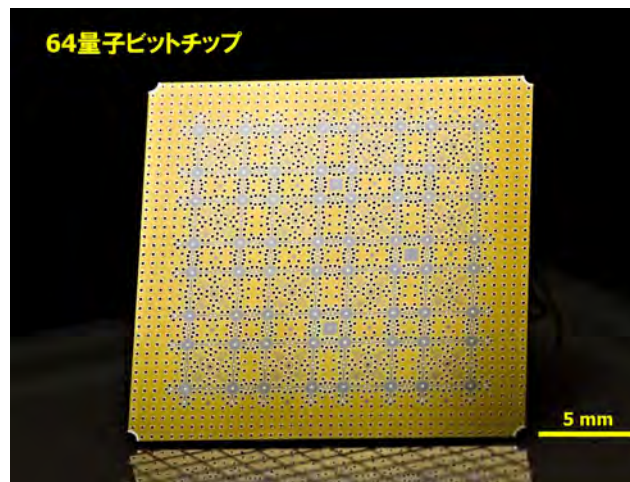
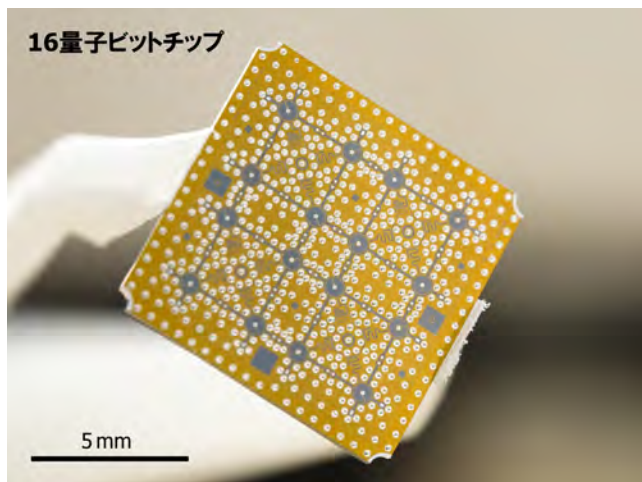
超伝導量子コンピュータに関する取り組み



Q-LEAP目標

50量子ビット以上の実装、高忠実度 (1量子ビットゲート>99.9%、2量子ビットゲート>99%、読み出し>99%)の制御および観測を実現 (FY2021)

実機クラウド接続予定 (FY2022)

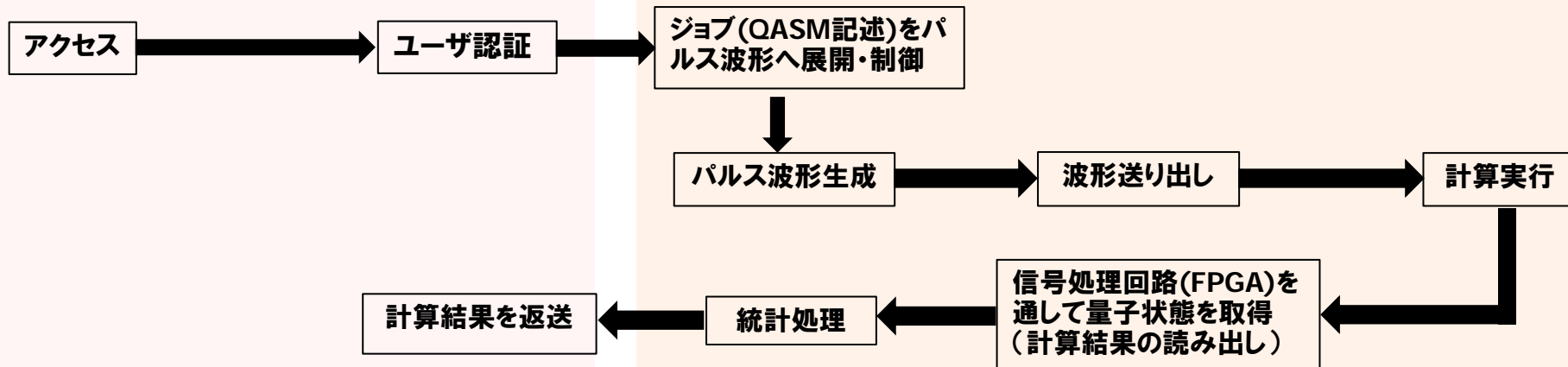
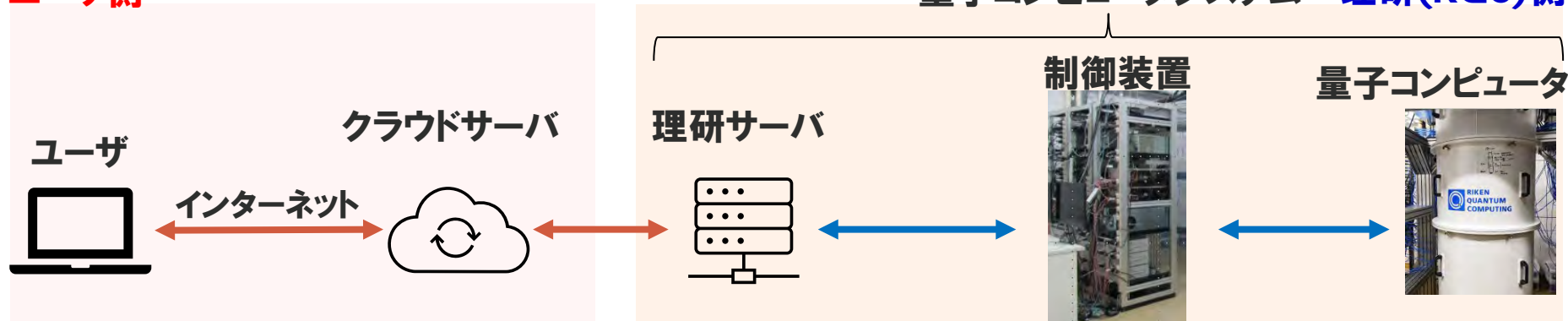


量子古典ハイブリッド
応用へのプラットフォーム
を提供しつつ、誤り
耐性量子計算実現へ
の道筋を探求

独自方式 超伝導量子ビット2次元集積回路+垂直配線パッケージ

ユーザ側

量子コンピュータシステム 理研(RQC)側



クラウド公開・運用・利用の方針

- 非商用利用とする
- 当面は共同研究契約をベースにした運用とする
- 当面は無償利用とする



Transformative Research Innovation Platform of RIKEN platforms (TRIP)

令和5年度要求・要望額 7,309百万円（新規）
※運営費交付金中の推計額

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

背景・課題

- ◆ マテリアル分野を中心に、AI・データ駆動型研究開発が進展し始めているが、分野を横断した研究DXの進展、研究DXの基盤の高度化が課題。
- ◆ 理化学研究所は、我が国最先端の国立研究開発法人として唯一、量子、AI、バイオテクノロジー・医療等の分野の研究開発をトップレベルで牽引。

【経済財政運営と改革の基本方針2022（令和4年6月7日閣議決定）】

特に、量子、AI、バイオものづくり、再生・細胞医療・遺伝子治療等のバイオテクノロジー・医療分野は我が国の国益に直結する科学技術分野である。このため、国が国家戦略を明示し、官民が連携して科学技術投資の抜本拡充を図り、科学技術立国を再興する。

【新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画（令和4年6月7日閣議決定）】

特に、量子、AI、バイオテクノロジー・医療分野は、我が国の国益に直結する科学技術分野である。このため、国が国家戦略・国家目標を提示するため、国家戦略を策定し、官民が連携して科学技術投資の抜本拡充を図り、科学技術立国を再興する。

事業概要

- ◆ 理化学研究所の最先端研究プラットフォーム（バイオリーフ、放射光施設等）をつなぐために、良質なデータを蓄積・統合するとともに「量子・スパコンのハイブリッドコンピューティング（量子古典ハイブリッドコンピューティング）」の導入、数理科学の融合により、これまでの研究DXの基盤を高度化すること、次世代の研究DXプラットフォームを構築する。
- ◆ 新たな取組により、「未来の予測制御の科学」を分野の枠を超えて開拓し、社会変革のエンジンを国内・国際社会へ広く提供する。

【実施内容】

- （1）良質なデータ取得（蓄積・統合）**
世界トップレベル研究から良質なデータを取得、多様な分野のデータを蓄積・統合し、研究DXを加速するためのデータ解析基盤を構築・公開（NIIとの連携）する。
- （2）AI×数理（予測の科学）**
数理科学により、スパコン、AI、量子コンピュータをつなぎ、多様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う。
- （3）量子古典ハイブリッドコンピューティング（計算可能領域の拡張）**
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開発する。
- （4）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。
 - ✓ 多電子集団における新機能発現の予測と制御
 - ✓ 元素変換の予測と制御
 - ✓ グリーンデジタルトランスフォーメーション
- （5）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**
 - ・ 理研各センターの成果・知見を基に、センター横断的な研究を実施するとともに、国内外の大学・研究機関等の優れた研究者を結集する。
 - ・ 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、高度な研究マネジメントのもとセキュアな研究環境を構築する。



【目指すべき姿】

- ◆ 「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
(計算可能領域の拡張)

量子コンピュータ実用化に向けて

- ブレークスルーのために長期的な視点に立つ
ハードウェア(含む古典部分)・理論に関する基礎研究が重要
- 基礎研究に立脚した技術開発をものにするために実機構築が必要
- スケールアップ・利用環境整備・応用開拓については、より産学官連携が重要

政策・施策に期待すること

- 長期的視点に基づいた研究開発人材の確保
 - アカデミアにおける人材育成への投資
 - 周辺領域からの研究者・技術者の参入促進
 - 国際連携・人材流動(特に流入)の促進
 - ← 研究者・技術者のポスト確保・待遇改善