

○戦略目標「量子フロンティア開拓のための共創型研究」の下の研究領域

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

研究総括：井元 信之 （東京大学 特命教授室 特命教授）

研究領域の概要

本研究領域は、量子コンピュータ・量子通信・量子センサー等の量子情報技術を単独または組み合わせて、ハードを造る・システム化する・ソルバーとして使う・ソフトを開発する・新しい使い方を開拓するにあたり、他の分野（素粒子・宇宙、物性物理、化学、材料工学、電気電子、情報処理、機械工学、計算科学、最適制御、AI、基礎数理など）の既存成果や考え方を積極的に取り入れたり、逆にこれらの分野に共創的に融合したりして分野の変化をもたらすことにより、新たな「量子フロンティア」の開拓を目指します。

これまでに培ってきた量子技術は、量子の特性を活かすために必要な従来型（古典）技術の蓄積を十分活用したとは言い切れなため、大規模化や実用化、新利用法開拓も十分とは言えません。このため量子と異分野との融合や、古典の蓄積をはじめとする異なる階層での融合を積極的に進めることでこれまでの状況を打破し、真の量子・古典ハイブリッドの超越性実現を目指します。そのために、周辺装置・エレクトロニクス・システムアーキテクチャ・アルゴリズム等での様々な協調・融合を推進します。また、原子・分子・イオン・光、超伝導材料、半導体材料、プロセス技術、レーザー技術などとの連携により、高いポテンシャルを持った新奇量子系、異なる量子系のハイブリッド方式、量子の制御方法や基盤となる基礎学理の拡大を探索します。

これらの新しい量子科学技術を追求することにより、従来不可能であったことを計算・予測・診断・制御することが可能となり、今後の経済・社会の発展や、より安全かつ安心な暮らしに繋がることが期待されます。

募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

「量子ゆらぎ」、「量子もつれ」、「量子ビット」などの基礎研究が始まって数十年が経過し、現在では量子暗号通信、量子計測、数百ビットの量子コンピュータ、数千ビットの量子アニーラなどが一部で実装されるようになっており、量子科学技術は将来の社会に大変革をもたらす革命的な技術として国内外での研究開発競争が激化しています。しかしながら、現状の量子技術では本格的な実用化に向けて、依然として大きな隔たりが存在します。

現状の量子コンピュータでは、誤り訂正ができていない、特定の問題にしか適用できていない、超伝導量子ビットは極低温の環境でしか動作しないためビット数の増大や高密度配線にブレイクスルーが必要であるなど多くの課題が山積しています。また、量子コンピュータの量子ビットには、超伝導・イオン・光・原子・半導体などがありますが、どれが本命となるか予断を許しません。エラーの問題にしても、量子誤り訂正の実用化に向けて成すべきことは山積みであり、既に使われているノイズ緩和 (mitigation)、early FTQC (Fault-Tolerant Quantum Computation)、そして最終的な FTQC との組合せの方向も自明ではありません。使い方の研究は物流や金融まで様々な分野への応用が開拓されるようになりましたが、まだ見ぬ応用の開拓に向けて、事は始まったばかりと考えられます。AI などは、量子に支援された AI から AI による量子の能力向上まで研究されるようになりました。最近では素粒子・宇宙と物性物理の協力の機運も見られ、新しい可能性の探索が進んでいます。

量子通信も量子暗号一辺倒でなく、上記の高密度配線の問題と絡んで、量子通信を介した量子コンピュータの大規模化が今日の課題として検討されています。さらに先は「現在の古典クラウド経由の量子計算」でなく「量子インターネット経由の量子計算」の時代が来るでしょう。現在の「各家庭に光ファイバ (FTTH: Fiber To The Home)」から「各家庭に量子接続 (QTH: Quantum To The Home)」の時代になるのもそう遠くありません。

量子センサーや量子生体も今は量子コンピュータに比べるとまだイメージ固めの時期かもしれませんが、これも徐々にできてくるでしょう。今から考えないと発展は望めません。

このような中、JST の戦略的創造研究推進事業においても量子に関する CREST「量子技術」、さきがけ「量子機能」「量子生体」「量子情報処理」領域などに加え、光や電子（「次世代フォトニクス」「ナノエレクトロニクス」）、材料・デバイス（「二次元」「トポロジ」）、コンピュータ・情報処理（「革新的コンピューティング」）などで多くの CREST・さきがけ領域が展開されてきました。これ以外のプロジェクトもそうですが、時期が来たらストップするというより、その結果が相互に影響し合って新たな展開を図る場の設定も重要と思われます。そのため本領域では、量子の異なるレイヤー間の共創を促し、関連する異分野との融合を中心に進めながら、尖った要素技術の探索・育成も含めて、新たな量子フロンティア領域を開拓します。

2. 募集・選考の方針

(1) 領域の基本方針と実施体制

本研究領域は、将来的な量子科学技術の実現に向けて、数理科学・情報工学・AI・電気電子工学・機械工学・材料工学・化学・生命科学などの幅広い分野で共創的な融合をし、材料・デバイス・システム・アプリケーションなど全てのレイヤーでのブレイクスルーを目指しています。このため、多くの分野や階層が有機的に融合し、新たな要素技術が大きく育つように、ネットワーク型の CREST 研究と個人型のさきがけ研究を一体運営したハイブリッド型の領域です。

ア CREST 領域では、チーム型の研究であることから量子と異なる技術分野や学問分野、量子の中での異なる原理・手法・技術、異なるレイヤーが連携・融合することで新たな量子フロンティア領域に繋がるような共創的な提案を期待します。

イ さきがけ領域では、個人型の研究であることから新しい量子系・制御系・原理など、単独の分野であっても提案者自身の新奇で尖った提案を期待します。

(2) 想定される研究分野

ア AI と量子技術の融合

本分野は今後重要になると思われますが、今まで提案は多くはありませんでした。融合の形態がイメージしにくいからだと思いますが、例えば①古典 AI の力を借りて新しい量子技術を展開する（一部下記ウともオーバーラップする）、②量子技術を組み込んだ AI すなわち「量子 AI」を概念あるいは実装面で追求する、③それ以外の融合形態など、多々考えられると思います。漠然とした AI でなく具体的な機械学習でもかまいません。

イ システム化を目指した技術分野の融合例と基礎学理の融合例

量子コンピュータ、量子センサー、量子通信・暗号等の実現に向けて、量子技術とシステムアーキテクチャ、コンパイラ、低温 CMOS、三次元実装、マイクロ波制御、冷却技術、レーザー制御技術、超伝導技術、材料・プロセス技術、極限計測技術の融合等。

素粒子・宇宙と物性物理の融合、生命科学と量子計算・量子計測との融合、量子情報処理と古典情報処理の融合、原子・分子・イオン・光、超伝導などの異なる量子系の融合、巨視的な量子系とミクロな量子系の融合等。

ウ 新たな量子系や制御方式の探求例

先行する量子系にはない高いポテンシャルを持った新奇量子系の発掘や作製。量子のコヒーレント時間を大幅に改善する制御方法。量子計算での誤り訂正の方法。機械学習・AI 等のアルゴリズムを駆使し大規模化された量子系においても安定した制御方法。量子・古典ハイブリッド系でのスムーズな制御方法、異なる量子系の間を繋ぐ新しい制御方式など。

エ 量子を「使う側」の研究例

mitigation、誤り訂正、early FTQC、full FTQC など、量子コンピュータの能力を最大限に発揮させるための研究。変分量子固有値ソルバー (VQE)、量子近似

最適化アルゴリズム (QAOA) に相当する「問題を量子コンピュータで解くための手法」の開拓など。

オ 上記に本研究領域で募集する具体的なテーマ例を挙げましたが、これらにこだわらず、新たな発想による独創的な提案も歓迎します。ただし、これまでに誰かが大型プロジェクト等で取り組んできた既存技術を深掘りするだけ、もしくは実装するだけの研究提案は対象外とします。

3. 研究期間と研究費

CREST での研究期間は採択年度から 5 年半以内とし、異なる技術や階層の連携・融合においてシステム化まで含める場合には、1 課題あたりの当初研究費の上限を 3 億円（直接経費）とし、チャレンジ的な連携・融合のため原理検証までを主とする場合には上限を 1.5 億円とします。

さきがけでの研究期間は採択年度から 3 年半以内とし、1 課題あたりの当初研究費の上限を 4 千万円（直接経費）とします。

4. 運営方針

本研究領域は、CREST とさきがけのハイブリッド領域であり、領域内の異分野融合を推進するため、さきがけ研究者間での連携をサポートするだけでなく、状況により CREST チーム間での連携、さきがけ研究者と CREST 研究者間の連携もサポートできるようにします。また、研究領域内外の研究者との情報交換や連携等のネットワーク形成もはかります。研究開始時には、研究環境の確認や円滑な研究推進のため、各研究課題へのサイトビジットを行います。CREST は年 1 回、さきがけは年 2 回の領域内での研究進捗報告会を開催します。CREST、さきがけとも課題終了時の最終年度に課題事後評価を行い、CREST は研究開始後約 3 年目に中間評価を行います。さらに、研究領域における成果を発信するためのワークショップ、公開シンポジウムを開催する予定です。