

**第二十三回 量子コンピューティング実用化に向けた挑戦**  
**～量子デバイスから、基盤アルゴリズム、アプリケーションまで～**  
**佐藤 信太郎 富士通研究所**

2023年8月19日(土) 9:00～

モデレータ 中塚 理

概要

新しいコンピュータ技術の一つとして期待される、量子コンピューティングに関して、超伝導とダイヤモンドスピンを用いた方式、及び、量子にインスパイアされたコンピューティングとしてデジタルアニーラの実用化に向けた取り組みが紹介された。

量子コンピュータには、動作原理の異なる「量子ゲート方式」と「イジングマシン方式」の2種類がある。先に社会実装されたのは組合せ最適化問題を解くことに特化した、イジングマシン方式であるが、量子アニーリングにインスパイアされたデジタルアニーラもこのグループに入る。量子ゲート方式は汎用処理が可能で、量子力学的効果を利用し、同時計算により解をあぶり出すことで指数関数的高速化を実現する。超伝導、ダイヤモンドスピン、シリコン、イオントラップ、光など様々な方式が研究されているが、将来どの方式が生き残るのかは明らかではない。現状では、誤り耐性量子計算 (FTQC) を実現するには 100 万物理量子ビットの集積が必要だが、道筋は不明である。当面は、Noisy Intermediate Scale Quantum Computer (NISQ) と呼ばれる、少数の量子ビットを用いて特定の応用を狙う。量子ビット操作精度は 99% 超まで向上したが、エラーによる精度低下の改善にはソフトウェア技術が重要である。富士通では、デバイスから基盤ソフトウェア、アプリケーションまですべての領域に取り組み、各方式に共通するソフトウェア技術に注力する一方、ハードウェアは幅広く可能性を追求している。また、世界最大級の量子シミュレータを活用して、エンドユーザと早期からアプリケーション開拓に取り組む。

ハードウェアの研究では、超伝導量子ビットに関しては、理研量子コンピュータ研究センターと連携センターを設立し、量子ビットのチップ内ばらつき改善、三次元構造による高スケラブルのチップデザインなどの共同研究成果が示された。2023 年秋には、64 量子ビットの実機検証を開始する。ダイヤモンドスピン量子ビットに関しては、デルフト工科大と連携して基礎研究を進めている。材料、三次元集積 (オンチップ集積)、実装など各要素技術に関する研究開発の簡単な紹介があった。ソフトウェアに関しては、カナダの Quantum Benchmark 社 (現 キーサイト・テクノロジー社) との NISQ のエラー緩和技術、FTQC を実現するためのエラー訂正技術・アルゴリズムに関しては阪大と連携している。

講演では NISQ と本格的な FTQC との中間にあたる、物理量子ビットが 1 万程度の過渡期の量子コンピュータ時代 (Early-FTQC) で、性能を十分に発揮するための新しい量子計算アーキテクチャが必要であることも指摘された。多数の物理量子ビットと量子ゲート操作が必要だった位相回転操作を、高効率で実行する位相回転ゲートを導入し、少しのエラーを許容することで必要な物理量子ビット数を 1/10～1/20 に削減できる。1 万物理量子ビットで 64 論理量子ビットを表現できることが理論的に示され、現行コンピュータの性能を超える実用的な量子コンピュータの早期実現に期待が高まる。

デジタルアニーラは 2018 年より顧客提供開始。第四世代になり高速化がなされた。専門家に頼っていたパラメータチューニングに AI を導入するなど利用が広がり、講演ではロジスティックス、自動車生産順序最適化、創薬の事例が紹介された。まずは従来の HPC 技術とこのような量子にインスパイアされた技術を実問題解決に活用しつつ、将来の社会課題解決を目指した量子コンピューティングの実用化の取り組みが続く。(記：田中雅光)