

超伝導量子回路を用いた量子アニーリングマシンと量子シミュレータ ： 動向・展望・課題

Superconducting quantum annealing machines and quantum simulators ： trends, perspectives, and challenges

川畑 史郎 (産総研ナノエレクトロニクス研究部門)

Shiro Kawabata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

E-mail: s-kawabata@aist.go.jp

現在世界規模で量子コンピュータや量子アニーリングマシンの開発が急ピッチですすすめられている。その主要なプレーヤーは Google, IBM, Intel, Microsoft といった世界的 IT 大手企業及び D-Wave Systems, Rigetti Computing などのベンチャー企業である。特に超伝導量子回路を利用した量子コンピュータの研究開発が急速に進展している [1,2]。世界初の超伝導量子ビットは 1999 年に NEC の中村と蔡によって生み出された。しかし超伝導量子ビットの集積度は 2017 年になってもわずか 9 量子ビットであった。ところが驚くべき事に、この 1 年間で、その集積度は 9 から 72 量子ビットへと急成長をとげてきた。また、量子コヒーレンス時間も、この 20 年間でナノ秒から数百マイクロ秒まで飛躍的に伸びてきた。極めて楽観的な予測ではあるが、もしこのトレンドが順調に続けば、2030 年頃には 100 万量子ビット級の実用的量子コンピュータが実現することになる。

量子コンピュータのキラーアプリケーションは量子化学計算などの量子シミュレーションであると考えられている。そもそも、量子シミュレーションの概念は、1984 年にリチャード・ファインマンによって提唱された。長い年月を経て、現在多くの企業が超伝導、光、冷却原子を利用したデジタル量子シミュレータの開発を行っている。実際、Google や IBM は超伝導量子コンピュータを利用して、LiH や BeH₂ などの小規模分子の量子化学計算デモに成功している。しかしながら、実用的な量子化学シミュレーションを行うためには、表面符号の実装が必要なため、最低でも 100 万～1 億量子ビット程度の集積化が必要であると考えられている。

一方、2011 年に D-Wave Systems 社が組合せ最適化問題専用ハードウェア「超伝導量子アニーリングマシン」を商用化した。現在では 2048 量子ビットの D-Wave 2000Q が販売されている。また同社の提供するクラウドサービスを利用して、様々な企業が量子アニーリングマシンのビジネス利用に向けた取り組みを行うようになってきた。しかしながら、実際のハードウェアに対して、量子性の有無など多くの問題点が指摘されている。また、古典ベストアルゴリズムに対する量子アニーリングの優位性も未だに不明である。

本講演では、現在急成長を遂げている量子アニーリングマシンと量子シミュレータの最新研究開発動向について解説を行う [3,4]。特に、超伝導量子回路に基づいた量子アニーリングマシンとデジタル量子シミュレータの最近の研究の進展、そして、大規模化・実用化のための技術的課題や展望について述べる。また、我々は三次元実装技術と独自アーキテクチャに基づいた大規模超伝導量子アニーリングマシンの開発を行っている。そこで、産総研や国内外グループにおける超伝導量子アニーリングマシンのハードウェア開発状況についても紹介を行う。

[1] 阿部英介, 伊藤公平, ”固体量子情報デバイスの現状と将来展望”, 応用物理学会誌 **86** (2017) 453.

[2] 田淵豊, 杉山太香典, 中村泰信, ”超伝導技術を用いた量子コンピュータの開発動向と展望”, 電子情報通信学会誌 **101** (2018) 400.

[3] 川畑史郎, ”量子アニーリングのためのハードウェア技術”, オペレーションズ・リサーチ **63** (2018) 335.

[4] 川畑史郎, ”量子コンピュータと量子アニーリングの最新研究開発動向”, 低温工学 **53** (2018) 印刷中.