

Technology Business Research, Inc. (TBR)

TBRイベント・レビュー

「量子コンピューティング最前線 –しのぎを削る主導権争い–」

Fujitsu Laboratories Advanced Technology Symposium 2017

2017年10月11日 米カリフォルニア州マウンテンビュー

著者： Geoff Woollacott (geoff.woollacott@tbri.com) シニア・ストラテジー・コンサルタント/首席アナリスト

量子コンピューティングは、古典的コンピューティングの1億倍の速度で複雑なアルゴリズムを実行する力を秘めているが、この潜在能力は、一夜にして実現できるものではない。Technology Business Research, Inc.は、商用化された量子コンピューティングが古典的コンピューティングの能力を超え、信頼できる実績を上げるまでに、まだ5年から7年はかかると予想している。世界中が、量子コンピュータが主流となる時代を待ち望む中、「量子超越性 (quantum supremacy : 伝統的なコンピュータで解けない問題を量子デバイスなら解決できる潜在的能力を持つとの考え方)」の実現に先立ち、IBM、Atos、富士通などの企業が、量子コンピュータに至る中間製品を発表し、開発やテストの促進、あるいは、製品開発、商用化推進のための人材育成を目指している。たとえば、富士通は新しいカテゴリーとして、量子現象に着目し、それを応用したシステム (Quantum-Inspired System) を発表した。これは、富士通独自のデジタル・アニーリング(DA)技術を用い、現実が発生している複雑な社会問題を解く技術である。従来 of コンピュータ・ベンダーやスタートアップたちは、ハードウェアの問題の解決に挑むとともに、最新のソフトウェアの開発も進め、量子時代に備えた設備、ツール、アルゴリズムの基盤確立に励む有望企業への支援も行っている。量子への方向転換は、産業間のパートナーシップによっても推進されている。富士通が最近発表した、トロント大や1QBitとの提携もその例である。

大学、技術、ビジネス界のリーダーたちが口をそろえ、量子コンピューティングはやがて世界を変えると提言しており、新しいアルゴリズムが次々と確立されることで、私たちは量子コンピューティングが商用化される時代の夜明けに近いことを感じている。

イベント概要

Fujitsu Laboratories Advanced Technology Symposium 2017では、量子コンピューティングの現状、商用化の障害、短期的な技術の適用例等について幅広い議論が行われた。

富士通はカリフォルニア州マウンテンビュー（コンピュータ歴史・ミュージアム）で、約400人が出席したこの非常に興味深い会議を終日に渡り開催し、量子技術に関する多数の優れた専門家たちと、量子ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション領域の課題に関し、ハイレベルな意見交換をする場を設けた。

富士通は現在、デジタルアニーラ（DA）をベースにしたQuantum-Inspired Computingという量子コンピューティング応用技術で、量子技術領域に挑戦

富士通は本技術開発を推進する根本的理由として、ムーアの法則による現在のコンピューティング技術の物理的限界が近づいていることを挙げ、世界は、量子がもたらす潜在的な計算力を期待していると述べた。量子コンピューティングの確立に向け、富士通は「ハイパーコネクテッド・クラウド」と呼ばれる、「人間のコラボレーションや意思決定を強力に支援し、人工知能（AI）やビッグ・データとその分析によって発展するデジタル技術を推進する基盤」を含む、コンピューティング・インフラストラクチャの更なる強化を目指している。

富士通は、彼らが確立した量子ソリューションをQuantum-Inspired technology infrastructure、すなわち、量子現象から発想を得て開発した技術基盤と説明している。DAは組合せ最適化問題を現実的な時間で解決するアーキテクチャを支えるものだ。富士通は、トロント大学およびソフトウェア・スタートアップである1QBitと密接に連携しており、この3者は共同で開発した知的財産を共有することとなる。富士通のDA技術の主要な利点は以下の通りである。

- DAアーキテクチャは、現在のCMOS技術をベースにした高並列アーキテクチャを基本にしており、現在開発が進められている他のいくつかの汎用製品に求められるような高性能冷却システムを必要としない。
- DAアーキテクチャは複雑なアルゴリズムを取り扱う際のスケーリングが容易なため、アプリケーション群をこの基盤上に移行する際に柔軟に拡張できる。
- 量子コンピューティング技術を応用したアーキテクチャの使用によってDAは、問題解決における計算速度と正確性の点で最適な解を提供し、従来システムでは不可能と言われていた組合せ最適化問題を迅速に解決できる。

様々な量子アーキテクチャに根強く残る信頼性と正確性の問題

量子コンピュータは、重ね合わせの概念、あるいは、原子が一度に二つの状態を持つ能力を利用している。この概念は、原子レベルで動作するコンピュータ処理への劇的なシフトを意味する。午前の基調講演者、南カリフォルニア大のDaniel Lidar教授は、今日の技術課題は重ね合わせの影響、あるいはデコヒーレンス（外的要因で量子上の情報が失われる現象）による計算ミスの削減に重点が置かれていると述べている。量子コンピュータを1ケルビンまで冷やせば、これらの分子の動きを遅くし、処理の正確性をある程度高めることができるが、ベンダー達はさらに動作する分子数を増やし、この構造で発生するエラー数あるいはデコヒーレンスを削減しなければならない。

量子コンピューティングの性能を向上させることや、これによって迅速に確率論的結果を得ることで、エラー数を削減できる点についてはコンセンサスが形成されている。短期的視点では、各企業は量子シミュレーション分野の技術向上を図り、未だ従来コンピューティング技術に劣る量子処理の信頼性を高めようとしている。同時に、各社は量子超越性を実現するため、ハードウェアでの問題解決手段を模索し続けている。

量子ハードウェア・ベンダーたちは、量子超越性実現に向けて、それぞれの異なるアーキテクチャ的手法や直面している問題について議論

量子コンピューティングをめぐり、各社がアーキテクチャでしのぎを削っている。より汎用性を重視し、ゲート量子プロセッサが最も有力であると訴える企業がある一方で、別の企業は単一機能で優れた性能を発揮するアニーリング技術を使用している。D-Waveはアニーラーを用いて、複雑で容易に計算できないアルゴリズムを実際の事例に適用している。また、富士通は独創的な固有の手法を使用している。

IBMやGoogleあるいはRigettiは、一般的、あるいは汎用的なアーキテクチャ開発に力を入れている。これらのアーキテクチャは実際のマシンを約1ケルビンまで冷やさなければならないため、コンピューティング環境を安定させる低温化の分野での技術革新も同時に必要とする。また、量子ビット数を増加させるには、高周波発生装置やそれに関連する多重化技術が必要となる。

D-Waveは彼らとは異なり、アニーリング技術をベースとする単一機能・単一目的に特化した技術的アプローチを採っている。アニーリング・コンピュータは量子プロセッサの一種で、取り扱う問題数には制約がある。

富士通は、従来の半導体技術を使用し、柔軟性の高い回路構成を実現したDAアーキテクチャという画期的な手法を開発した。複数の計算回路が、最適化計算を行うために並列構造で実行され、最適化問題の複雑性に応じたスケーラビリティと処理速度を実現している。この構造は、最小構成要素となる基本最適化回路間のデータ移動量を最小化し、従来の半導体技術を用いて高密度に並列実装できる。さらに、信号が最適化回路内外を自由に移動できる全結合構造を採用することにより、様々な最適化問題を扱うことができる。

ソフトウェア開発は、量子超越性の実現を待てないため、量子クラウドや量子PaaS層が必要

クラウド・デリバリー・サービスは、特定機能に特化した量子コンピューティング・アクセラレータモジュールを用いたハイブリッド・アーキテクチャを使用することで、早期の量子採用技術を支えており、短期間での量子コンピューティングの商用化を実現できる可能性を秘めている。1QBitは、最適化問題を抽象化するレイヤとAPIを提供し、ユーザーによる量子コンピューティングの早期利用を促進している。

短期的に見ると、量子ソフトウェア市場では、量子アーキテクチャの開発・商用化と、1950年代、1960年代、1970年代に古典的コンピューティングが採用していた手法との間で根本的違いが見られる。IP（知的財産）開発をソフトウェアレイヤで抽象化し、オープン標準に基づいてIPを共有するソフトウェア開発者のエコシステムの利点を活用し、ユーティリティやツールを開発できるプラットフォームを構築することによって、古典的コンピューティングで実現したよりも迅速に量子技術の商用化が加速すると期待できる。

1QBitは、同社の製品および富士通やAccenture Labsのような相手と提携しているという二つの面で、業界の注目を浴びており、量子技術における基礎的なオープン・プラットフォーム・ソフトウェア層の構築において、早々と業界をリードすると見られている。量子技術の発展を促進するソフトウェア製品の開発を加速させようとする1QBitにとって、富士通との提携は1QBitにおいて代表的なものとなっている。

量子技術使用事例：量子コンピュータの実現を待望する需要が現在すでに多くある

産業界が量子超越性を実現すれば、「キラーアプリケーション」の領域は指数関数的に拡大するだろう。それらには以下が含まれる。

- 新しい画期的な材料や医薬品の発見および第一原理計算による設計を可能にする、量子

力学に基づいて指数関数的に高速化するシミュレーション： 医学、医療、化学分野の研究は全て、量子コンピュータによる開発のスピードアップを必要としている。

- サイバーセキュリティ、あるいは公開鍵暗号の解読を防ぐセキュアな暗号化： これは、政府による国家安全保障政策、産業規制、およびそれらの規制に対処しようとする産業界に直接適用が可能である（たとえば、金融サービスや医療など）。
- 最適化のスピードアップにより、機械学習やサプライチェーンにおける取引の正当性の検証の高速化（例えばブロックチェーンの実現なども可能）、ならびに金融取引アルゴリズムや金融規制のための健全性審査アルゴリズムなどの高速化が実現する。

古典的コンピューティング技術を採用したハイブリッドな計算方式を提供する富士通のDAIに見られるような短期的なアプローチは、量子コンピュータによって解決できる問題を予め絞り込むことができる。このハイブリッド型アプローチには以下のような例がある。

- 化学分野における分子類似性検索や創薬においては、DAIによって分子構造全体の高速かつ正確な検索が可能になる。
- 金融サービスでは、階層型リスク・パリティ方程式をコンピュータで一気にスピーディーに解くことで、密接に関連し合う株を見つけ、リスクを最小限に抑え、利益を最大化する多様な投資手段を明らかにする。
- 化学分野では、伝統的なモデルを使用し、現在使用可能な量子ビット内に問題を絞り込むことが可能である。
- 癌治療では、モンテカルロ法と量子コンピューティングを融合した分析を用い、治療で用いる放射線量の正確性を飛躍的に向上させることができる。

富士通のDAIは、新材料や化合物をより迅速に発見する性能を有しており、従来からあるこれらの分野において数十億ドル規模の価値を生み出すことができる。これは、古典的コンピューティングに大きな変化を強いることがないビジネスモデルであり、量子コンピューティングの商用化と同様に、世界規模のイノベーションを加速するモデルである。

量子技術の採用： 同様のプロセスをより早く商用化

ムーアの法則に基づく経済曲線に沿って50年に渡り進められた高性能コンピューティングの開発は、量子コンピュータがどのように発展していくか評価する上で多くの教訓を提示する。既知の知見は、政府、金融サービス企業、医療機関が暗号、取引アルゴリズム、医学研究に量子技術を展開する上で大いに役立つものである。量子技術の商用化を速める要素には次のようなものがある。

量子コンピュータの投資利益率： 商用の量子ハードウェアやソフトウェアの実現にはまだ数年かかるため、市場の関心を維持するためには、現在の量子コンピューティングの性能を実証することが重要である。量子に着想を得た富士通のDAIは、独創的で画期的な技術であり、今日我々が直面している社会問題を解くアプリケーション開発に拍車をかけるとともに、将来の量子技術の発展を約束するものである。

クラウド・エコノミクス： 量子超越性が現実のものとなる日を睨み、早期導入者達は量子の計算パワーをどのようにして競争優位に繋げるかを考えている。クラウド・エコノミクスは、試行錯誤を繰り返すプロジェクトあるいはサンドボックス型プロジェクトを遂行しようとする早期導入者達に、費用対効果を生じやすい導入手段を提供する。クラウドを介して量子コンピュータや量子シミュレーションを使用することは、困難な問題に対処し、量子コンピュータを操作するために必要な新しいツールやプログラミングについて従業員に教育を施さなければならない企業が、量子コンピューティング分野において先行者利益を獲得する上で極めて画期的な方法と言える。

FANG (Facebook, Amazon, Netflix, Google)： FANG による量子コンピュータの利用には、1950年代、1960年代、1970年代における古典的なコンピューティング開発の黎明期では経済的に不可能だった全く新しい要素が見て取れる。Googleは、量子技術開発においてNASAやD-Waveと提携し、検索最適化への量子技術の適用でリーダー的な役割を担っている。再三価格を下げることで利用が膨らんでいる古典的なコンピューティング用の消費者向けアプリケーションを多く抱えるFANGにとって、この検索最適化問題への量子技術の適用は最大の関心事でもある。

オープンコミュニティのパワー： オープンコミュニティとIPの貢献は、古典的コンピューティングの世界と量子コンピューティングの世界を橋渡しするレイヤを創り出し、量子コンピューティングの採用を促進するだろう。IBM、Atos、富士通のような企業が、トロント大学等、一流大学の研究と提携しながら、製品あるいはクラウド・サービスとして量子シミュレータを提供することは、企業や開発者が、量子技術の圧倒的な性能を制御し、世界の難題を解く上で、最も実用的かつ効果的な方法と言えるだろう。

1940年代後半における古典的コンピューティングの出現以来、地球規模で知識創造が急速に発展しているが、ついに、1つのアルゴリズムを時間単位で分解するレベルまで辿り着こうとしている。量子コンピュータがまさにこれに当たり、量子コンピューティング

は、アルゴリズムをこれまでの1億倍の速度で処理できる技術である。量子コンピューティングに照準を合わせた企業は、商用化の初期のステージにおいて、富士通のDAのようにテストベッドやプラットフォームを開発し始めているが、こうした企業が、先行者として独自のアドバンテージを獲得していくであろう。

コンテンツの再利用、メディア利用につきましては、TBR の利用規約をご参照ください。

Technology Business Research, Inc. (TBR)は、ハードウェア、ソフトウェア、プロフェッショナル・サービス、テレコムベンダー、通信事業関連のビジネスおよび財務分析に特化した独立系の技術マーケット・リサーチおよびコンサルティングの主要企業です。TBRは世界中のお客様に、タイムリーで実利的なマーケット・リサーチ・サービスとビジネス情報をお客様のニーズに合わせた特別なフォーマットでご提供します。わが社のアナリストたちが、お客様特有の問題に対応し、お問い合わせ、あるいは専用のコンサルティング・ベースで必要な情報をご提供します。

TBRは1996年の創業以来、各企業的意思決定者の皆様にご協力させていただいております。詳細につきましてはWebをご覧ください。 www.tbri.com.

©2017 Technology Business Research, Inc. 本レポートはベンダーその他の公的な情報源より許可された情報を元に公開しております。本情報の正確性、完全性につきましては言及していません。Technology Business Researchは本情報に基づく決定に対し、いかなる責任も負いません。本レポートおよびその他全てのTBR製品に記載されている情報は投資に関するアドバイスではありません。TBRは、数値、売買、株式の保有に関し、いかなる推薦もアドバイスもいたしません。本レポートは著作権で保護され、受信者のみが利用できます。再生許可につきましてはTechnology Business Research, Inc. にお問い合わせください。