

科学技術者フォーラム 2019年3月度（第201回）セミナー報告

「量子コンピュータの基礎と最新動向」

ー量子コンピュータで私たちの生活やビジネスはどう変わるかー

1. 日 時：2019年3月23日（土）14：00 ～16：50
2. 場 所：品川区立総合区民会館「きゅりあん」5F第3講習室
3. 参加者：48名
4. 題 目：「量子コンピュータの基礎と最新動向」
5. 講演者：産業技術総合研究所

ナノエレクトロニクス研究部門

ナノエレクトロインフォマティクスグループグループ長

川畑 史郎 氏

<講演要旨>

近年量子コンピュータを巡る動きが活発化しています。

最近では、IBM、マイクロソフト、インテル、グーグルといった巨大プレイヤーに加えて、IonQやRigetti Computingなどのスタートアップ企業も量子コンピュータ開発に続々と参入しています。

2018年末にアメリカ政府は量子イニシアチブ法案を成立させ、5年で1500億円規模の研究開発をスタートさせました。また、「量子テクノロジー・フラッグシップ」を立ち上げたEUや国家最重要研究課題として量子テクノロジーを掲げる中国に加えて、オーストラリア、ロシア、台湾、韓国などの国家間の研究開発競争も年々激化しています。そのような状況の中、日本では、2018年より量子テクノロジーに関する大型国家プロジェクト「光・量子飛躍フラッグシッププログラム Q-LEAP」がスタートしました。

量子コンピュータは従来のコンピュータとどう違い、何ができ、私たちの生活やビジネスにどのような影響を与えるのでしょうか？ また、研究開発はどこまで進んでいるのでしょうか？

本セミナーにおいては、量子コンピュータの基礎と最新動向について、一般の方向けに解説を行います。

1) 量子力学とは

電気電子など、ミクロな世界を記述することに特化した力学。

「量子コンピューター」と聞くと名前に踊らされ、何でもできると考えがちであるが、山のような技術課題がありある意味絶望的であるが、特化した領域では素晴らしい力を発揮する。

2) 量子コンピューター

・量子アニーリングマシン：カーナビなど最短経路探索など組み合わせ最適化専用で既に商用化

・ゲート型量子コンピューター：素因数分解、量子化学計算、機械学習など特化した問題では超高速に処理可能なことが数学的に証明されている。社会的インパクトが大

3) 超電導量子プロセッサ

1999年 NEC 基礎研究所にて中村、蔡らが超電導素子にて世界で初めてコヒーレンス振動の観測に成功(1量子ビット)以来2017年まで9量子ビットの集積度しか上がらな

かったのが、ここ1年間で72量子ビットを製造、しかし、動作確認をしたのはIBMの20量子ビットが最高。実用化が100万量子ビット/チップを考えればまだまだ。

4) コヒーレンス時間と量子体積

量子ビットが重ね合わせをどのぐらいの時間(μ S)保てるかが前者。後者はコヒーレンス時間に集積度を掛け合わせた数値。

5) イオントラップ方式量子プロセッサ

IonQが開発した方式、トラップしたイオンの各元素を量子ビットとして扱い、情報処理を行う。

6) コンピューターの世界

0と1の2ビット(2進法)で入力から演算、書き込みまで行う。演算スピードは素子の小型化。1/kになれば、速度はk倍になる。ムーアの法則により集積化が進んできたが、限界

7) シュレジンガーの波動方程式

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x)\Psi$$

美しい!?(講師)

7) 量子コンピューター

素粒子を対象としたミクロな世界でしかありえない現象(トンネル効果、重ね合わせ)など微視的な世界で生じる波の性質を利用したコンピューター。

並列計算ができることにより、N個の量子ビットの重ね合わせで、 2^N 個の状態を表現できることになり、たった300量子ビットで宇宙に存在する原子数に見合う大数に相当。

波の重ね合わせの原理を利用して、 2^N 個の状態を創り出し、波の干渉効果により、収束していく確率を求め、Nを大きくしたとき最も適した状態を解としてoutputするイメージ。

8) 量子コンピューターでなんでもできる?

指数関数的なスピードで解けるのはその数学的問題のごく1部で素因数分解とか機械学習、複雑な量子化学計算など暗号の解読や、ビッグデータ解析・検索システムそして創薬・新材料設計などに限られる。ただし、その実力は古典コンピューターを大きく凌駕する。

9) 量子アルゴリズム

量子計算、量子コンピューターを現実のものとするためには、量子アルゴリズムの開発が必要。ショアのアルゴリズムは、素因数分解問題を量子計算を通して高速に解くことができる計算仕様であり、グローバーのアルゴリズムは探索仕様に量子力学の法則を使用し、従来より高速に探索したい答えを求めることができる演算仕様。

量子計算を利用したアルゴリズムの開発が量子コンピューター利用を促進させる。

10) 量子アニーリング

量子計算の方式には、通常のコンピューターの上位互換機となる量子ゲート方式と量子アニーリング方式の2通りがあります。後者は対象が組み合わせ最適化問題とそれを少し一般化したサンプリングに限られている。

11) 量子ビットの本命

シリコン量子ビットはこれまでLSIなど大規模集積回路技術が使用できるため、本命と言われている。一方レーザーを使用するイオントラップ方式ではコヒーレンス時間が長いメリット。

12) 量子コンピューター開発プロジェクト

EU、アメリカなど100億円単位で予算を計上しているが、日本は昨年22億円、中国が数兆円単位で進めている不気味な存在で数年後には間違いなくトップか?

13) 商用化

量子コンピューターとしては未だ研究フェーズで商用化は成立していない。ハードウェアとしては、超電導、シリコン、イオントラップなど大規模化へすすむであろう。IBMQが近い将来運用が決まってきたそう。

14) IBM Q

量子ビット超電導コンピューターに世界中からアクセスでき、体験ができる。IBM Q Experience へログインし「Sign Up」から登録し、IDを取得すればシュミレーションが可能となる。演者が実際に操作を実施。

15) 量子コンピューターによる未来

化学計算:分子や化学反応の最適化など化学は量子コンピューターの利用最右翼。ニトロゲナーゼの酵素構造を明らかにし、常温窒素固定化技術、量子機械学習によるAIなど1億から100億量子ビットが必要とされる。現在、水素の分子状態を表現できるに過ぎない。

16) 現実

超電導ビットサイズは 0.1mm^2 、1臆ビットでは体育館サイズとなり、超電導を利用するにはそれを冷やす冷却装置が必要となり非現実的。また、量子ビット1つつつから入力、検出のためにケーブルの接続があり、そのケーブルを伝わって熱が流れ込む、ケーブルの配線先の回路冷却など問題は山積み。

実用化するためには100万量子ビットは必要のため実用化はまだまだ先となる。

質疑応答・意見交換)

1. 2ビットシステムでなく、多ビットシステムで量子アニーリングができればよいのではないかな?

→アニーリングアルゴリズムの中で、シュミレーションした量子アニーリングゆらぎをアルゴリズム化して安定域を探す方法

2. シリコンはなぜ2ビット?

→300mmウエハーでは超電導は確立されているが、Siの80%はSi28であるが、Si27と29はスピンをもっているから悪さをする。

3. Siの量子コンピューターで、トンネル効果などの現象を利用して電子を一つ一つ制御して様々な演算を行う単一電子トランジスタ(SET)が提案されている(日立)

4. 量子コンピューターを宇宙で動作させれば、作動環境、他の面からもプラスなのではないかな?(極低温、太陽光発電)

(報告者: 佐熊 範和)