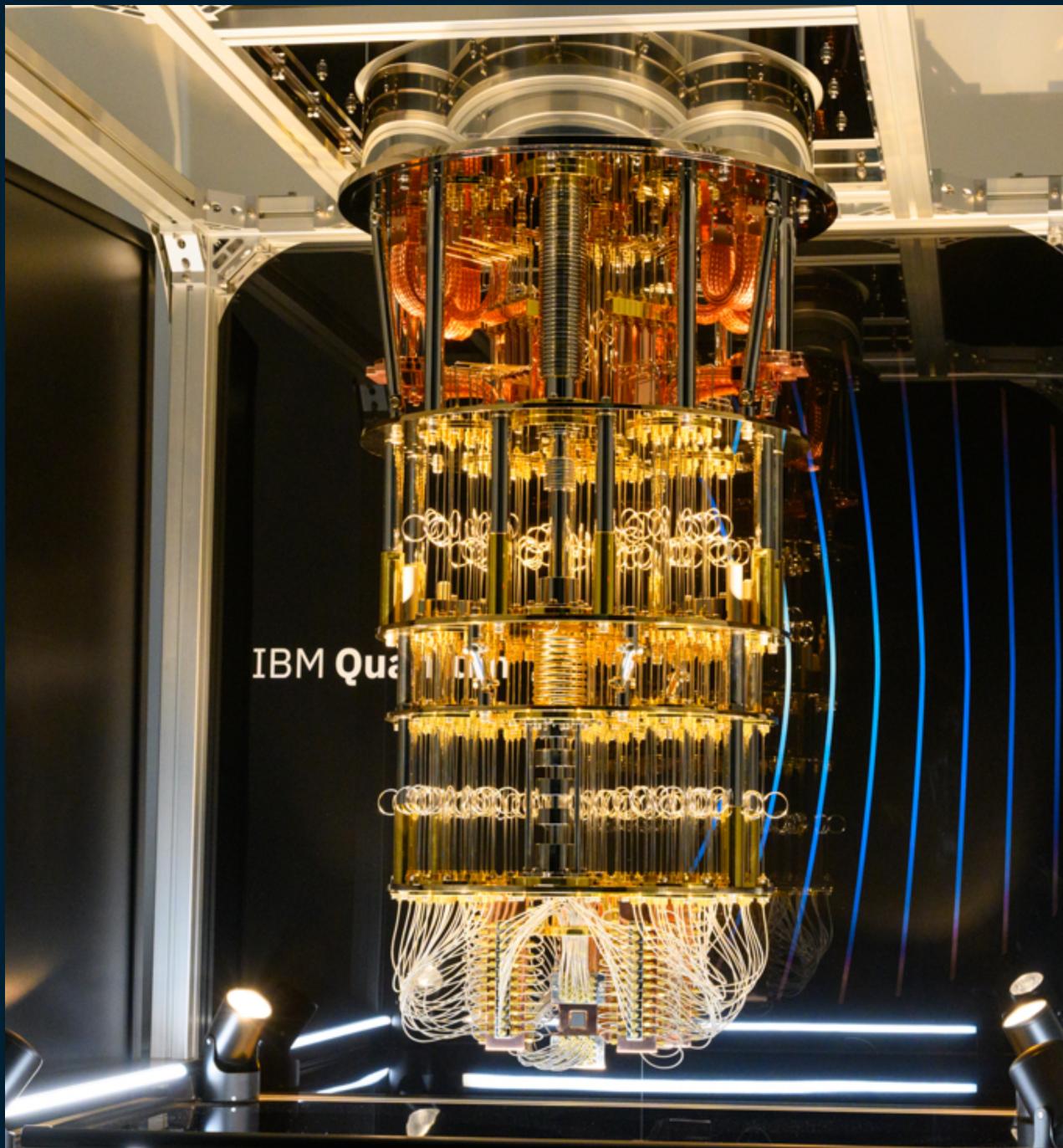


量子コンピューター最前線 ～開発状況と応用～



AKKODiS

@2024 AKKODiS Consulting Ltd.

はじめに

従来型のコンピューターでできない計算を高速に行う量子コンピュータ。2019年にGoogleが発表したSycamoreによる量子超越のニュースで暗号資産(仮想通貨)が暴落した。これは、量子コンピュータによって暗号が解読され、暗号をベースにしている暗号資産が無価値化するのでは、という恐れによるものであった。2024年現在の量子コンピュータでも現実的にまだ暗号解読は不可能であるものの、大規模な量子コンピュータが導入される2040～2050年頃には、現在の暗号は解読されてしまうであろう。こうした暗号解読以外でも、量子コンピュータは量子化学計算、物流、金融などの領域での飛躍的な進歩が期待されている。

本稿では、量子コンピュータ開発で世界最先端企業である日本IBMと、日本における量子アニーリングコンピュータ活用の第一人者である東北大学教授兼(株)シグマアイ代表取締役の大関氏にお話を伺った。

これらのインタビューを通し、量子コンピュータの開発状況と活用方法と、活用のための教育の方向性について明らかにしていきたい。

AKKODiS Tech Reportについて

AKKODiS Tech Reportは、クライアントが直面する現在と未来の課題に対し新たな視点を提供することを目的に、社会課題と技術動向を深く洞察し、その解釈としてホワイトペーパーやインタビュー、対談記事を発行するものです。

量子コンピュータの基礎知識

量子戦略

量子技術、特に量子コンピュータの開発は、米中2か国を先頭に、国際競争が激化している。米中デカップリングが継続している中、経済安全保障上において量子技術は極めて重要な技術であり、高度な技術の自国保有や人材育成が急務となっている。このような環境変化の中、日本政府は2020年1月に作成した「量子技術イノベーション戦略」以降、矢継ぎ早に「量子未来社会ビジョン」、「量子未来産業創出戦略」という合わせて3つの戦略を策定した。これら3つは、それぞれ研究開発、ビジョン、産業に係る戦略と位置付けられている。



図1 量子各戦略の位置づけ 出典：内閣府

「量子未来産業創出戦略」は、2023年4月に制定された。量子未来社会ビジョンで掲げられた目標を実現していくため、産学官の連携の下、量子技術の実用化・産業化に向けて目指すべき方針や、当面の間、重点的・優先的に

取り組むべき具体的な取組を示した戦略、いわば“量子技術の実用化・産業化に向けた方針や実行計画を示した戦略”として策定された。対応方針として、ユースケースづくり支援、利用環境整備、事業リスク対応、スタートアップ等創出、産業人材育成の5つを据えており、量子技術の産業展開を後押しする。

量子技術分野としては、①量子コンピュータ、②量子ソフトウェア、③量子セキュリティ・ネットワーク、④量子計測・センシング/量子材料等があり、それぞれに戦略が策定されているが、本稿では量子コンピュータにフォーカスする。

量子コンピュータとは

量子コンピュータは、重ね合わせ※1や量子もつれ※2など、量子力学的な現象を用いて従来のコンピュータでは現実的な時間や規模で解けなかった問題を解くことが期待されるコンピュータであり、大きく分けて量子ゲートコンピュータと量子アニーリングコンピュータに分類される。「量子ゲート」を用いて量子計算を行うチューリングマシンは、3種類の論理ゲートにより汎用計算が可能であるのに対し、アナログ型である量子アニーリングを原理とするコンピュータでは、最適化問題に特化した計算しかできないものの、実用化が始まっている量子イジングマシンもさかんに検討されている。



図2 量子コンピューターの分類 出典：各社公開資料

※1 量子の振る舞いを計算する際に、定常状態と呼ばれるシンプルな性質を持つ複数の波動関数を重ね合わせたものとして書き表すことをいう

※2 2つ以上の量子が、古典力学では説明できない強い相関関係にあることをいう

量子ゲートコンピュータでは従来の一般的なコンピュータ（古典コンピュータ）の素子は、情報について、「0か1」の2値をあらわすいざれかの状態しか持ち得ない「ビット」で扱う。量子コンピュータは「量子ビット」(qubit; quantum bit)により、重ね合わせ状態によって情報を扱う。qubitは、色々な物理法則や原理によって構成されており、現時点ではそれぞれ長所短所があるため、確定的な技術はない。それぞれの企業、研究機関がそれぞれの選択をしているが、現時点では超伝導量子ビットとイオントラップが進んでいる。

2019年10月、Googleが、中国の九章も2020年12月に「量子超越性(Quantum Supremacy)※3」を達成したとアナウンスするなど、めざましい発展があるものの、量子コンピュータはまだ始まったばかりであり、その優位性を発揮するためには更なる高性能化、高集積化が必要である。

量子超越が確認されたものの、計算の精度は大変低い。例えば2桁の自然数の素因数分解でさえ、50 qubitの量子

コンピュータでは計算誤差が出る程度である。現時点では、IBMが発表している1,121 qubitが最高であるが、これはノイズを含むコンピュータ、NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer)と呼ばれている。誤り補正されたqubit(論理qubit)を形成するには、超電導方式の場合1,000物理qubit程度が必要※4と言われている。現在、RSAなどで用いられている暗号(SHA256)の解読ため、量子コンピュータで高速に解く方法(Shorのアルゴリズム)を使った場合、誤り耐性型量子コンピュータ(FTQC: Fault-Tolerant Quantum Computer)である20Mqubitで8時間で解析されるとされている。現在の開発スピードで集積化が進んでいったと仮定した場合、これを達成できるのは2040年前後になりそう※5である。それまでの間は、例えば量子化学や機械学習への応用など、誤差があることを前提に進められる計算(NISQ)、及び量子計算に必要なアルゴリズムの開発が進む。一方暗号分野では、20Mqubitクラスの量子コンピュータが確立された段階で、それ以前の暗号が全て解読されてしまうリスクがあるため、それ以前に量子耐性暗号を確立、普及させる必要がある。

量子ビット数

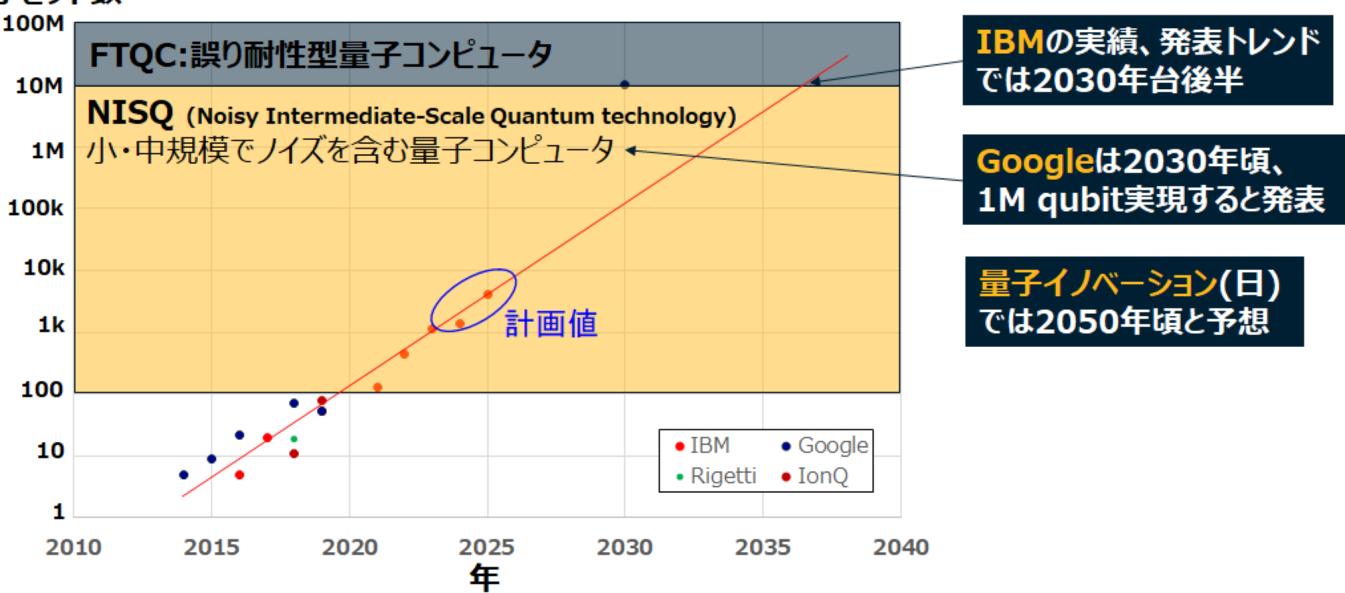


図3 量子コンピュータシナリオ 出典：各社公開情報

量子アニーリングコンピュータ

量子アニーリングでは、1998年に東京工業大学の西森教授らが理論を提唱、2011年にカナダのD-Wave社が超伝導量子ビットを使った世界初の商用コンピュータを発表して以来、先進的な企業・研究機関が導入・利用を開始している。2020年には5,000 qubitのコンピュータをリ

リースしている。D-Waveの方式の場合、ニオブ(Nb)を超電導材料として、Nb/AIx/Nbをジョセフソン接合材料としており、動作温度は0.015K (-273.135°C) という極低温となる。従って、マルチステージの希釈冷却装置が必要となるため、大集積化が困難で、かつ大型設備が必要となる。

※3 スーパーコンピュータを始めとする現在の計算機ではとても長い時間かかる何らかの計算を、量子コンピュータが圧倒的に高速に実行できることを指す。重要なポイントは、高速であることを示せる計算であれば、何の役にも立たない問題設定でもよい

※4 量子ビットのゲート忠実度やコヒーレンスによって異なる。近年、GoogleやIBMなどは、単なる高集積化だけでなく、少ない物理ビット数で論理ビットを構成する取組を進めている

※5 政府量子イノベーション戦略の見通しでは2050年頃と予測している。現段階は技術開発の黎明期であり、明確にはわからない

量子アニーリングコンピュータの用途は、最適化問題に限定されるが、最適化問題の応用先は多い。応用の一つとして、所謂巡回セールスマン問題（いくつかの訪問先を1度だけ訪問して出発点に戻る、一筆書きの移動距離が最小になる経路を求める）があるが、例えば30地点を訪問する場合、スーパーコンピュータ富岳で1,900万年以上かかるものが、数秒でみつかる他、画像認識、実験や勤務シフトなどのスケジュール最適化、たんぱく質解析といった応用に適用が進んでいる。

量子コンピュータの応用では、量子アニーリングが先行している。現時点では、主として量子アニーリングコンピュータを活用したいくつかの論理検証やPoC(Proof of Concept)が行われている段階であり、今後本格的な社会実装が期待されている。量子ゲートコンピュータの活用は、科学技術研究に活用が始まっているものの、産業応用適用例は少ない。FTQCが実現されれば、暗号解読や金融、創薬、新素材開発などの応用が期待されるため、早期実現が期待されている。

表1 量子コンピュータ活用例

コンピューター分類	主な応用	実施例
誤り訂正 量子ゲートコンピュータ (FTQC)	素因数分解・暗号解読 期待値計算・金融工学 量子化学計算 有限要素法・流体計算等	N/A
小～中規模 量子ゲートコンピュータ (NISQ)	量子化学計算・最適化 機械学習	材料開発：分子構造予測(OTI Lumionics Inc) 量子ダイナミクスシミュレーション(豊田中央研究所、Qunasys)
量子アニーリング コンピュータ	最適化問題	無人搬送車経路最適化(DENSO) 工場内ピックアップルート最適化(富士通) 生産計画最適化(NEC) ホテルリコメンド最適化(リクルートコミュニケーションズ) バンコクの交通量最適化(DENSO、豊田通商) スタジアム座席販売最適化(富士通) 倉庫内配置最適化(高速、シグマアイ)

量子耐性暗号と量子暗号通信

前述のように、現在のRSA暗号のような公開鍵暗号通信では、素因数分解の困難さを安全性の根拠とした暗号化、復号化が用いられている。SHA256の場合、256ビットの整数の素因数分解難しさを利用しているが、このレベルの素因数分解は、現行のスーパーコンピュータを用いても、現実的な時間で解を見つけることができないため、安全であるとされている。しかしながら、Shorによれば20Mqubitの量子コンピュータがあれば8時間程度で解析されるとあり、量子コンピュータが本格的に活用されるようになれば、現在の暗号化された文書、通信は早晚解読されることになる。こうした背景のもと、量子暗号・通信分野では、量子コンピュータでも解読できない（されにくい）暗号方式（量子耐性暗号）、及び量子技術を用いることで、盗聴・解読できない通信方式という2つの方向で検討が進んでいる。

量子耐性暗号分野において、米国のNIST(米国立標準技術研究所)が中心となってPost Quantum Cryptography (PQC)と呼ばれる、量子計算機に耐性のある公開鍵暗号である次世代の公開鍵暗号を開発・標準化するプロジェクトが進められている。PQCのプロジェクトにおいて、

“Selected Algorithms 2022”として鍵合意アルゴリズムで“CRYSTALS-Kyber”、デジタル署名アルゴリズムでは“CRYSTALS-Dilithium”, “FALCON”, “SPHINCS+”(スフィンクスプラス)の3つのアルゴリズムが選定された。ここで、CRYSTALS-Kyberに用いた格子問題の難しさは、多次元のベクトル空間では最短距離のベクトルを効率よく探すのは難しいというものであり、FTQCを用いても実用的な時間で解けないと考えられている。FTQCが現れると考えられている2030年代後半に向けて、PQCの急速な適用が始まると考えられている。

暗号通信分野でも様々な検討がなされている。量子通信技術では、暗号鍵の伝達に量子鍵配達(QKD)を用いるが、盗聴者が盗聴した場合は送信された信号が壊れるなどで盗聴された事実が受信者側にわかるため、速やかに対処できる。量子通信は、量子現象である重ね合わせ状態や量子もつれ状態などの伝送・制御により、超高効率の通信や長距離化のための量子中継を実現する技術である。多数の量子情報処理ノードを光ファイバ等の量子通信路でつなないだ量子ネットワークにより、広域量子暗号ネットワークだけでなく、クラウド量子コンピューティングなどの革新的情報通信技術の実現が期待されている。



小野寺 民也 博士(理学)

日本アイ・ビー・エム株式会社
東京基礎研究所 副所長

IBMが描く量子コンピュータの進化と未来

1988年東京大学大学院理学系研究科情報科学専門課程博士課程修了。理学博士。同年日本アイ・ビー・エム(株)入社。以来、同社東京基礎研究所にて、基盤ソフトウェア等の研究開発に従事。現在、同研究所副所長、量子コンピューティング担当部長、同社技術理事。情報処理学会第41回(平成2年後期)全国大会学術奨励賞、同平成7年度山下記念研究賞、同平成16年度論文賞、同平成16年度業績賞、同2023年度コンピュータサイエンス領域功績賞、日本ソフトウェア科学会2022年度基礎研究賞、各受賞。ACM (Association of Computing Machinery) Distinguished Scientist、日本ソフトウェア科学会フェロー。

物質と波の性質を併せ持った「量子」の性質を利用して高速な情報処理を行える量子コンピュータ。日本においても、内閣府が「量子技術イノベーション戦略」など三つの戦略を打ち出している。中でも汎用ゲート型量子コンピュータの開発は米中で熾烈な競争が行われており、その中でも開発をリードしている企業がIBMだ。今回は、IBMにおいて量子コンピュータがどのような方針で開発されているのか、そして量子コンピュータの未来像をどのように思い描いているのかについて、IBM東京基礎研究所 副所長である小野寺民也氏にお話をうかがった。

■量子コンピュータが社会に与える恩恵

一まず量子コンピュータとはどういうものなののか教えてください。

現在、我々が一般的に使っているコンピュータを便宜上「古典コンピュータ」と呼んでいますが、古典コンピュータと量子コンピュータでは、動作原理もソフトウェアの構造もまったく違うものです。

一言で言えば、量子の重ね合わせともつれで並列計算を行うコンピュータです。古典コンピュータでは答えの導出に膨大な時間がかかる問題を、量子コンピュータでは短時間に解ける可能性があります。ただし、計算した結果は測定により取り出しますが1個しか取れません。そこで同じ回路で何千回と計算し、その結果の分布の高いところが答えになるようにプログラムを組む必要があります。

IBMで作っている量子コンピュータはゲート方式というもので、私は2017年頃からこの世界に携わっています。

一量子コンピュータにはいろいろな方式がありますが、そのなかでもゲート方式は万能型と言われています。いろいろなアプリケーションがあると思いますが、エラー訂正の精度が高まり計算結果の信頼性が高くなつたFTQC (Fault-Tolerant Quantum Computing) が実現した場合、社会にどのような恩恵があるのでしょうか。

量子コンピュータはまだ黎明期です。いざれはエラー訂正がきちんと行われ、数千万くらいの量子ビットをもつものができます、いわゆるFTQCが実現されるだろうと言われていますが、それはまだまだ先の話です。

現在は、エラー訂正ができず、ノイズがあり、量子ビットが100から数百という、NISQ(Noisy Intermediate-Scale Quantum)の世界です。いざれFTQCが実現されれば、ShorのアルゴリズムやGroverのアルゴリズム、HHLアルゴリズムなどを活用することで社会に役立つ計算が行えるようになります。分野としては、FTQCが実現できれば、量子化学、機械学習、最適化といった分野で活用できると考えていますが、これらを含むさまざまな分野で活用できることは間違ひありません。

量子に携わる立場として、現時点ではNISQをどう使いこなすかというのが大きな問題となっています。IBMとしてはこの点にも大変力を入れています。

エラーコレクションはまだ実現できていませんが、上手い具合にノイズモデルを作り上げ、その逆のことをしてノイズキャンセルができるようになるエラーミティグション※6 (エラー低減、エラー緩和) というテクノロジーが世界中で盛んに研究されています。FTQCにたどり着くまでの間は、このエラーミティグションのテクノロジーを進化させていって、今のノイズがある状態で動かせるような量子アルゴリズムを考え、結果を出していく。そういういた研究を進めています。

現時点の量子コンピュータで役に立つアプリケーションを実際に動かすことがまだできていませんが、量子に関わる研究者たちは、いわゆるカンタム・アドバンテージを実現すべく、日々奮闘しています。

■2033年に10万量子ビットの実現を目指す

一量子コンピュータが実用的なレベルになるには、量子ビット数が10Mqubitと言われています。これが実現するのは量子戦略では2050年くらいではないかと予想されています。一方、ここ最近のIBMの開発ペースで行くと、2030年代の後半には実現できるのではないかと見受けられるのですが、実際にはどのくらいだと推測されていますか。

2023年5月に、IBMとシカゴ大学、東京大学とで、10万量子ビットを搭載した量子を中心としたスーパーコンピューターの開発に向け、今後10年間で1億ドルの投資を伴うパートナーシップを発表しました。また、最新のロードマップを見ていただくと、途中からエラーコレクションが入ってきていて、一番右側の2つはエラーコレクションを動かせるような状態になっています。2033年開発予定のBlueJayでは、論理量子ビットとして2000量子ビットで10億個のゲートを実行可能にすることを目指しています。

先ほど2050年というお話がありましたが、あれは2019年頃に予想したもののようにです。その時点では2050年というのが妥当なラインだったということなのでしょう。それでもチャレンジングな目標だったと思うのですが、ここ1、2年にエラーコレクションのアルゴリズムや量子ビットの物理実装などが急激に進展しているので、前倒しで実現できる可能性が高くなっているのではないかでしょうか。

※6 今道貴司「フォールト・トレランスを最終的な目標とし、エラー緩和は実用的な量子計算を実現するために通る道筋」IBM Think Blog Japan : <https://www.ibm.com/blogs/think/jp-ja/gammabar-for-quantum-advantage/>

■量子コンピュータが抱える課題

—2033年までのロードマップが公開されていますが、量子コンピュータを実用化する上で、現在抱えている技術的な課題や取り組みについて教えてください。

IBMは、量子ビットの数を増やすだけが量子コンピュータの進化ではないと思っています。現在のノイズが多い状態では、コヒーレンスタイムが短かったり、ゲート操作にエラーが伴ったりするという問題があります。そこで、コヒーレンスタイムをできるだけ長くしつつゲート操作エラーを減らしていくというのが大きなテーマです。

特に量子ビットのもつれを作るゲートのエラー率が比較的高くなっているので、これを減らしていくというのがハードウェアチームの大きな課題となっています。

IBMは当初、もつれを実現するために、固定周波数の量子ゲート間を固定周波数のカプラーで接続する方法を用いていました。しかし、量子ビットの周波数は製造時にばらつきがでてしまい、ちょっとしたチューニングはできるのですが、それでももつれのカプラーの周波数が衝突する、あるいはかなり近くなってしまい、クロストークが生じてしまいます。

固定周波数で性能をアップしていくという方針を進めていましたが、1,000qubit超を実現したコンドルの1世代

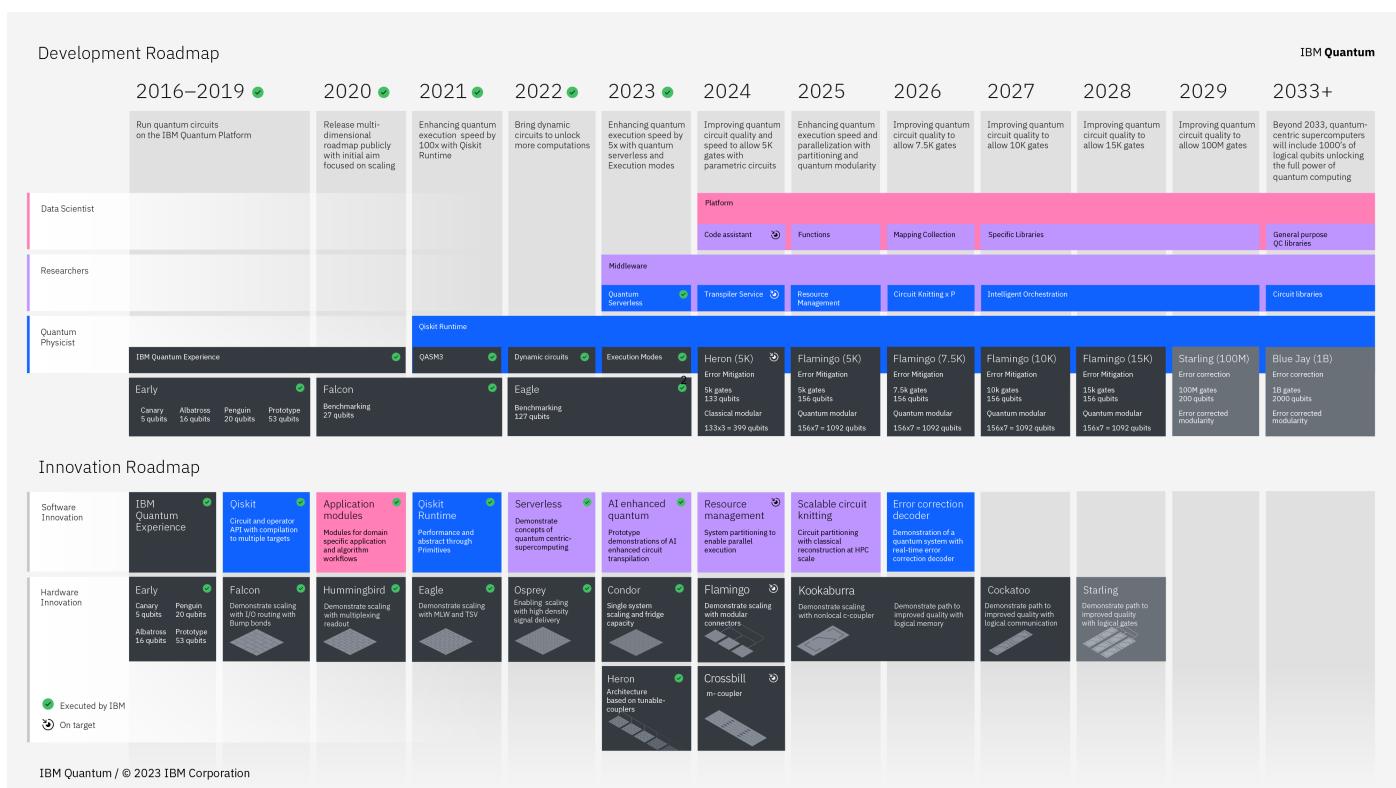
前にあたるオスプレイから、固定周波数では今後のスケーリングが厳しいのではないかと考えるようになりました。

そこで、2023年末に完成したヘロンというプロセッサーから、周波数を変えられるチューナブル・カプラーになっています。これは一例で、何も最初に決めた方針ですと突き進むというわけではなく、必要があれば大きな変更も行い進化させています。

—1論理ビットを形成するためのエラー訂正は、1,000物理ビットのオーダーが必要だったと思いますが、今回のロードマップを見ると同一年でのエラー補正前後のチップのqubitの桁があまり変わっていない印象でした。その辺りの論理量子ビットに対しての考え方というのはどのようなものなのでしょうか。

エラー訂正では、質のいい物理量子ビットがあればそれだけ少ない数で論理量子ビットが組めるということになります。物理量子ビットのエラー率を少しでも下げるこことは大事です。

エラー訂正は2023年にブレイクスルー※7がありました。エラー訂正のアルゴリズムに必要な物理ビットの数が従来より一桁少なくすることができるアルゴリズムを、IBMチームのSergey Bravyiが中心になって考えたものです。このブレイクスルーがあったことで、ロードマップにエラー訂正という文字を入れられるようになりました。



IBM Quantumロードマップ 出典：IBM Newsroom

※7 Sergey Bravyi, et al, "High-threshold and low-overhead fault-tolerant quantum memory", arXiv(2023)
DOI: 10.48550/arxiv.2308.07915

そのようなことがあり、2019年に作成したロードマップと比べると、いろいろと変わっているのかなと思います。

ただし、エラー訂正にブレイクスルーがあったとしても、まだまだやるべきことは山積みです。たとえば、エラー訂正を実装するために必要なカプラーも、ハードウェアのチームと一緒に考えています。ハードウェアチームは、エラー訂正ができるようなハードウェアの仕組みに何が必要かということを一緒に考えていました。

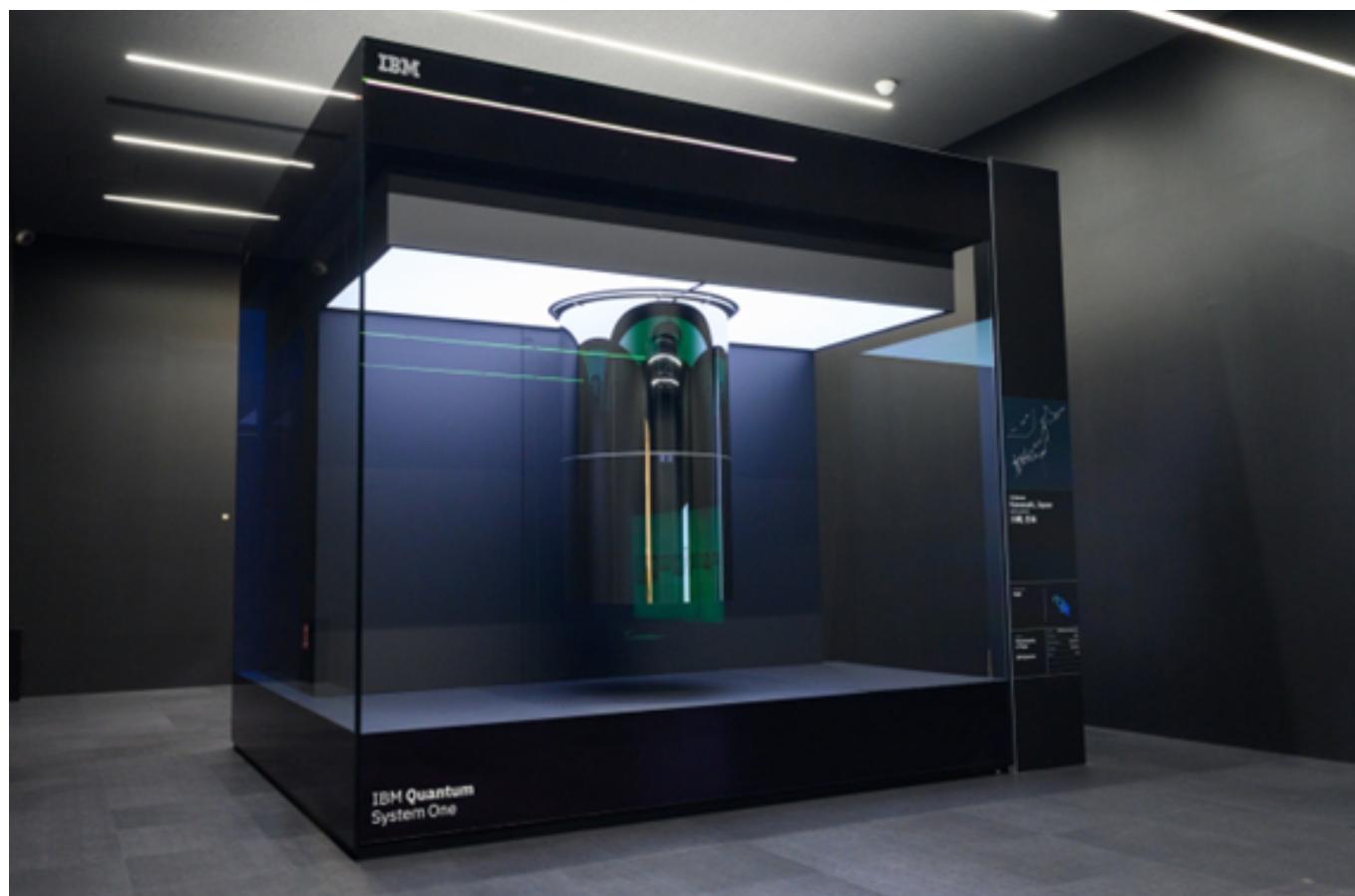
■量子コンピュータの進化を阻むボトルネックとは

—今後、10万量子ビットクラスの量子コンピュータを実現するにあたり、どういうところがボトルネックになる

と考えられますか。

一番大事なことは、スケーラビリティです。いずれ1個のフリッジ(希釈冷凍機)のなかには入らなくなり、複数のフリッジ間をつながらなければならなくなると思います。そのときに、距離の長いロングレンジのカプラーをどうやって作るかというところでブレイクスルーが必要だと思います。

新川崎に設置されているIBMの量子コンピュータは、メインの筒の中の機械と背面にある制御エレクトロニクスが二大コンポーネントとなっています。制御装置のほうから高精細なパルスを送って量子状態を操作し、読み出すときは読み出し用パルスを送信してその結果を受けて0か1かを判定する仕組みになっています。



新川崎・創造のもり かわさき新産業創造センターに設置された【IBM Quantum System One】外観
出典：日本IBM

この制御装置にはFPGAを多数使用しています。使用枚数は公開していませんが、仮に1量子ビットあたり1枚使用するとした場合、1,000qubitになれば、FPGAを1,000枚使用することになります。

制御装置自体もいくつか変遷を経ています。外部から調達した制御装置を使っていた当初は、1qubitあたり引き出しひとつくらいの大きさが必要でした。途中からIBM製造の装置に切り替えることで、ダウンサイズを実現し

てきました。しかし、そろそろ次元の違うテクノロジーの必要性がでてきたと感じています。

筒の中にある本体は、一度低温にしてしまえば発熱はほとんどないため、電力はほぼ使用しない超低消費電力なのですが、制御装置のFPGAが1,000枚クラスになると多くのすごく電力を消費します。これはなんとかしなければならない。将来的にはFPGAを使用しない方向が求められるでしょう。

IBMではCryo-CMOSを採用する方向で、4ケルビンくらいのところでさまざまなデジタルなロジックを動かせないかと研究をしている段階です。

■超伝導にこだわる理由

一御社は超伝導の量子ビットを使用しておられます。どうして超伝導を選ばれたのでしょうか。

IBMは2016年、最初に5qubitの量子コンピュータを公開しましたが、それ以前から研究はしておりました。超伝導方式の量子ビットの研究である程度目処が立った時に投資額を増やし、2016年、無償でクラウド上の量子コンピュータを使っていただけるIBM Quantum Experienceの公開に至ったという経緯があります。

超伝導方式でここまで進化を達成していますし、この先も2033年までロードマップを描けています。

現在超伝導と並んで研究が進んでいるのはイオントラップ型と言われていますが、両者の一番の違いは、速度です。イオントラップ型はエラー率が低いという特徴がありますが、ゲート操作の時間は超伝導のほうが10倍くらい速いので、その辺に大きな利得があると感じています。

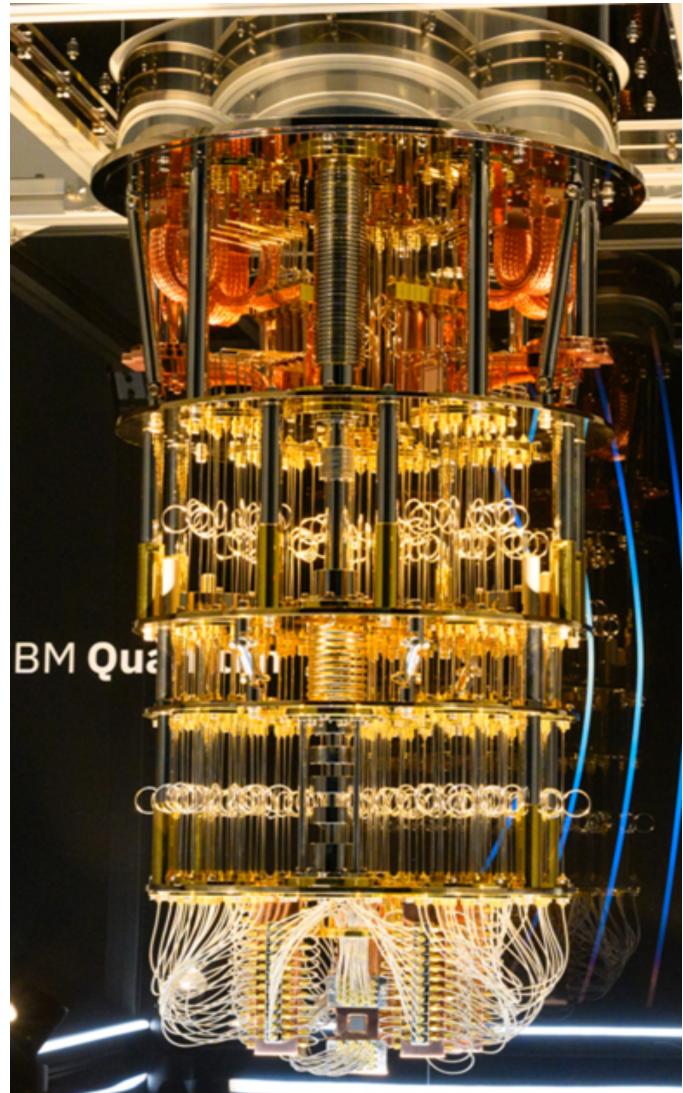
IBMの超伝導型量子コンピュータは、信頼性を高め、お客様に常時使っていただける状態で現在20台以上がネットワーク上で稼働しています。研究室で研究のために動かすとのとはまったく次元の違う話で、これからも、実用化に向けて鋭意取り組んでいきます。

■エコシステムの構築はIBMのDNA

一この新川崎のサイトや東大キャンパスなどに、かなり早い段階で量子コンピュータのハードウェアを導入されています。日本の大学や企業とも提携されていますが、御社が日本の企業や大学と協力するメリットや、将来的な展望についてどのように考えているのでしょうか。

IBMは、基本的にお客様とエコシステムを構築していくDNAがあります。20年以上前には、ニューヨークの北にあるオルバニーで半導体のエコシステムをニューヨーク州と一緒に作りました。当時はまったく何もないところでしたが、現在では巨大なナノテク・コンプレックスができています。

IBMだけで何かをやるのではなく、必ずお客様とエコシステムを組んで推進するというのがIBMのDNAです。量



IBM Quantum Oneのフレッジ模型 出典：日本IBM

子コンピュータに関する同様で、2017年にIBM Quantum Networkを立ち上げました。このエコシステムにはフォーチューン500の企業の方々や、国の研究機関や有力な大学、スタートアップというところが参加しており、協力して研究・開発を進めています。

日本では、慶應義塾大学がいち早くIBM Quantum Networkへの参画を表明していただきました。2018年5月に慶應Quantumハブが立ち上がり、そこに銀行2社と化学メーカー2社が参画されました。当時、全世界に6つ設立されたハブの中でも設立時点で企業4社に参画いただいたハブは日本をおいて例がありません。現在では9社が参画されていますが、産学の分野の異なるメンバーがお互いに刺激し合い切磋琢磨しながら成果を積み重ね続けている、本当の意味でエコシステムがうまく機能した世界でもっとも成功しているハブと言われています。わずか5-6年という短期間でここまで成長したこと、特筆すべき成果だと思います。



IBM Researchの半導体研究拠点、オルバニー・ナノテク・コンプレックス（出典：IBM Newsroom）

日本に実機を設置したのは 2021年7月です。新川崎に1台、そして東大キャンパスに1台です。新川崎にあるIBM Quantum System Oneは、2021年6月にドイツ、フランホーファー協会に次いで、米国以外に設置された世界で2番目の実機になります。東京大学様が専有使用権を持ちQIIC (Quantum Innovation Initiative Consortium : 量子イノベーションイニシアチブ協議会)のメンバー・企業・大学・研究機関が黎明期のテクノロジーをIBMと一緒に追究されています。

東大キャンパスにある量子コンピュータはアプリケーションを動かす目的のものではありません。周辺機器の動作確認のためのもので、ハードウェアテストセンターと呼んでいます。これは米国以外では日本だけにしかありません。世界的な日本の周辺機器メーカーと量子コンピュータのサプライチェーンを共創していくためのものです。

こうした点を鑑みても、日本では量子コンピュータの推進が成功していると思います。

■量子コンピュータ人材の育成

—IBMでも量子コンピュータに関する教育を始めたところなのですが、巷ではいつ頃実用化されるのか、または今はまだ早いのではないかという声もあります。そのようななか、ユーザーの裾野を広げる活動というのも重要な

だと思うのですが、御社ではどのような取り組みをされているでしょうか。

量子関連の人材育成は、ハードウェアの進化と同じくらい重要だと認識しており、たとえば、QiskitというIBMのソフトウェアスタックを使いながら学習できる教材を開発しています。本国だけではなく日本にもチームがあり、英語の教材を日本語にローカライズしたり日本独自のものを作成するなど積極的に活動しています。

IBM Researchの公式YouTubeチャンネル（<https://www.youtube.com/@ibmresearch>）に、IBM Quantum のコンテンツが多数ありますが、日本チームが日本語で解説するQuantum Tokyo（<https://www.youtube.com/@QuantumTokyoo>）というチャンネルも存在します。そのほかにも、セミナーなども随時実施しています。

IBMでの活動以外にも、NICTがNICT Quantum Campというものを開催していますが、IBMもその実行委員として参加しQiskitを使ったハンズオンなどを行っています。

それ以外でも、東京大学や慶應大学の授業にも積極的に関わらせていただくなど、非常に力を入れています。

■テクノロジーへの投資はIBMの使命

—量子コンピュータの人材育成の取り組みなどで、企業や大学との連携を通じて、人材交流や教育プログラムにどのような影響があるのでしょうか。また、日本の顧客に対してどのようなサービスの向上や価値が提供できるのか、展望をお聞かせください。

先ほど話に出ましたIBM Quantum Networkは、ビジネス的な価値を生み出し、追求していく大きな母体で、日本ではQIICとそれに参画している企業メンバーとともに、まずは先陣を切って市場を切り開いていくという形になっています。

アプリケーションの面では、2023年から高エネルギー物理、マテリアル、最適化、ヘルスケアという、量子コンピュータを活用することで役立つアプリケーションが生まれることが期待される4分野に関するワーキンググループを作っています。メンバーはIBMだけではなく、大学の先生方や、企業の方々で構成されています。最初の成果として、それぞれのワーキンググループが、量子コン

ピュータの応用についてのホワイトペーパーを作成し公開しています。

—2033年までのロードマップを達成するためには、今後10年20年に渡って研究を続けていく必要があると思いますが、その予算を確保していく仕組みはどのようになっているのでしょうか。

会社の投資計画について言及はできませんが、現時点では量子コンピュータは将来重要なテクノロジーとして投資されています。

—これまで不景気で研究開発費が厳しくなったということはありましたか。

IBMでは、ほぼ一定の割合で研究開発費用が計上されています。これは決算報告書を見ていただければわかります。テクノロジーを追究し、新しく価値を生み出していくことはIBMの、特にIBM Research（リサーチ部門）の使命であり、IBMのイノベーションの源泉であるからと思います。

従来のコンピュータ、いわゆる古典コンピュータに比べ超高速で並列情報処理が行える量子コンピュータ。既に商用化が始まっているが、その多くはまだ研究段階にあるのが現状だ。

IBMは、世界でも早い段階から量子コンピュータの研究を始めており、現在の量子コンピュータ界を牽引する企業のひとつ。自社で量子コンピュータを開発し、すでに世界で常時20台以上稼働させている。

IBMはその研究開発力を活かし、順調に高量子ビットのコンピュータを開発。ここ数年でロードマップも大幅に短縮されている通り、革新的な技術の開発により、量子コンピュータの実用化までのスピードが大幅にアップしている。

一方、ハードウェアの進化だけでは量子コンピュータは本来の力を発揮しない。それを使いこなせる人材が必要となる。この点に関してIBMは、独自の学習プログラムを提供することで、ハードウェア・ソフトウェア両面からの量子コンピュータの発展に寄与している。

現在の量子コンピュータ界は、ハードウェアの進化と同じくらい、またはそれ以上のスピードで人材育成も行っていかなければならない段階に入っている。最先端の技術を学びたいという方は、有志メンバーが運営するQiskit勉強会YouTubeチャンネル「Quantum Tokyo」を参考にしたり、IBMが開催しているセミナーや無料で量子コンピュータを利用できる機会などを活用するといいだろう。



大関 真之 博士(理学)

東北大學 教授
(株)シグマアイ 代表取締役

パーソナルコンピュータのその先へ。 社会問題解決への活用が期待される量子コンピュータの現在と未来

1982年東京生まれ。2008年東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻博士課程早期修了。東京工業大学産学官連携研究員、ローマ大学物理学科研究員、京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻助教を経て2016年10月から東北大學大学院情報科学研究科応用情報科学専攻准教授。非常に複雑な多数の要素間の関係や集団としての性質を明らかにする統計力学と呼ばれる学問体系を切り口として、機械学習を始めとする現代のキーテクノロジーを独自の表現で理解して、広く社会に普及させることを目指している。大量の情報から本質的な部分を抽出する、または少数の情報から満足のいく精度で背後にある構造を明らかにことができる「スペースモデリング」や、次世代コンピュータとして期待される量子コンピュータ、とりわけ「量子アニーリング」形式に関する研究活動を展開している。平成28年度文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。近著に「機械学習入門-ボルツマン機械学習から深層学習まで-」、「量子コンピュータが人工知能を加速する」(共著)がある。

物質を構成する原子や電子といったミクロな世界の「量子」の性能を利用して、高速な情報処理を実現する量子コンピュータが、次世代のコンピュータとして注目されている。内閣府も統合イノベーション戦略推進会議のなかで「AI戦略」「バイオ戦略」「量子技術イノベーション戦略」という3つの戦略を打ち出している。

量子コンピュータは一般に馴染みがなく、いったいどういうものなのか、何ができるのかということをイメージするのは難しいだろう。そこで、東北大學や東京工業大学で教授を務める傍ら、量子コンピュータを用いた事業を展開するスタートアップ企業「株式会社シグマアイ」を設立した大関真之教授に、量子コンピュータの現在と未来についてお話をうかがった。

■量子アニーリングマシンの性能が産業分野の課題解決にマッチしていた

—2019年に設立されたシグマアイは、どのような経緯でスタートしたのでしょうか。

東北大大学で、量子コンピュータ、もしくは量子アニーリングマシンを使って、民間企業の課題にどうやってアプローチできるかというところからスタートしています。

最先端の技術があるのに活かしきれていないという漠然とした思いがありました。それは量子コンピュータに限らず、機械学習、人工知能にも通じるものがあります。これらを活用しようとして、つまずいているのが現状です。

一方、大学内では院生や学生が、最先端の研究を行っていて、そのような課題に応用できる技術を持っています。これを社会に活かしてみようという気持ちがありました。

シグマアイは民間企業なので、事業を行って収益を得る手段が必要です。そこで注目の集まる量子コンピュータ、量子アニーリングマシンを中核に据えました。

一数ある最先端技術のなかで、量子アニーリングマシンに注目されたのはなぜでしょうか？

応用範囲が広かつたというのが一番ですね。量子コンピュータは大きく分けて、ゲート型とアニーリング型があります。

ゲート型は万能タイプと言われています。いわゆる素因数分解を高速で解いたり、量子化学と呼ばれている材料のシミュレーションなどの計算に威力を発揮します。たとえば創薬の現場で活躍するものです。

ただ、素因数分解が得意といつても、暗号解読の用途以外にパツと思いつく使い道は見当たりません。

一方、アニーリング型は「組合せ最適化問題」に特化しています。その組合せ最適化問題は、産業分野が抱える課題と密接にリンクしています。つまり、実用的な応用範囲が広いんです。そこに注目して、事業として扱っています。

一主に、どのような課題解決に量子アニーリングマシンを使用しているのでしょうか。

最近では倉庫の最適化ですね。あの商品とこの商品を入れ替えるとピッキングの距離が短くなるということを、



量子アニーリングで答えを導いてもらう。実際に仙台の株式会社高速という会社の倉庫の商品入れ替え作業を担当しました。

たとえば、AとBとCという商品は連續でピックすることが多いので並べておきましょうとか。DとEは季節外れの商品なので棚の隅に配置しましょうとか。商品のPOSデータを基に、最適な配置を導き出すという感じです。

ただ、これはどの倉庫でも通用するのかというとそうでもありません。Amazonのように、ロボットが自走して商品をピッキングするような倉庫では、商品がどこにあってもロボットがタグ付けされた商品を自動的にピックアップしてくれるので、商品を整理整頓する必要はありません。一番効果が出るのは、人間がピッキングをしている倉庫です。

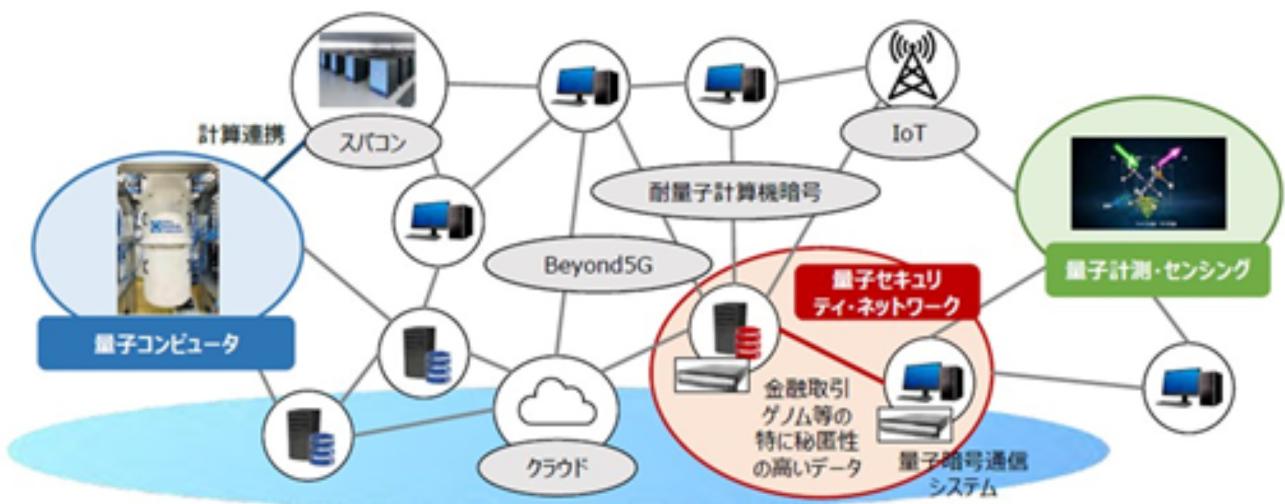
—そのほかにも最適化を行っている事例はありますか？

鉄道会社の勤務シフトの最適化も事業化しています。鉄道会社は勤務上のルールがたくさんあるので、それをクリアにして最適な勤務シフトを出すということを、量子アニーリング技術を用いて実施しています。

勤務シフトなどは、交渉や調整が煩雑になりがちで、担当者にとってはかなりストレスになります。それを量子アニーリングで最適化すると、お金だけではない価値が出てきます。マネージャーサイドの手間が軽減や、従業員もアプリから気軽に有休申請などが行えるようになるので、お互い働きやすくなつたというメリットもあったようです。

■古典コンピュータと量子コンピュータのハイブリッドがもっとも成果が出やすい

—今、政府主体で量子技術イノベーション戦略（<https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshigijutsu.html>）を推進しています。



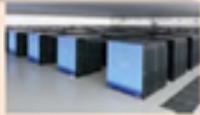
コンピューティング

従来型技術

スーパーコンピュータ
HPC
AI・ビッグデータ 等

量子技術

量子コンピュータ



革新的計算サービスの実現

通信・セキュリティ

従来型技術

情報セキュリティ
耐量子計算機暗号
Beyond5G
クラウド 等

量子技術

量子セキュリティ
量子ネットワーク



セキュアで高度な通信の実現

計測・センシング

従来型技術

各種センサ
医療診断装置
(NMR・MRI等)
IoT 等

量子技術

量子計測・センシング



超高精度センシングの実現

量子と古典のハイブリッド化イメージ 出典：量子未来社会ビジョン

量子コンピュータが既存のコンピュータ、（古典コンピュータ）とから部分的に置き換わるのでないかと言われています。この領域は古典コンピュータ、ここからの領域は量子コンピュータというような境目はどこあたりにあるのでしょうか。

量子アニーリングマシンは、制約条件に従った解答を出すことが得意ではありません。逆に、古典コンピュータは、プログラミングでifやelseといった条件分岐させることができて条件に従った答えに制限することがやりやすい。つまり両者の得意分野は異なっているんです。

たとえば、AさんとBさんのどちらがこの仕事をしたらいかというような問題は、量子アニーリングの得意領域です。

一方、5月30日までに1,000個商品を作らなければならぬ場合はどうすればいいのかという問題は、古典コンピュータの領域になります。きっちりした条件が提示されていますからね。

産業分野の課題は、そのほとんどが古典コンピュータで解決するのではという話になりがちですが、実は両方組み合わせると効率が上がります。

製品の製造を例に挙げると、最初に量子アニーリングでどこの製造ラインで作れば最適なのかを決め、納期などに関しては古典コンピュータで細かい調整をするという風にすれば効率が上がります。そうしたいわゆるハイブリッドアルゴリズムにすると、両者が共存しますし、計算時間が飛躍的に短くなるということがわかりました。とで、10万量子ビットを搭載した量子を中心としたスーパーコンピューターの開発に向け、今後10年間で1億ドルの投資を伴うパートナーシップを発表しました。また、最新のロードマップを見ていただくと、途中からエラーコレクションが入ってきていて、一番右側の2つはエラーコレクションを動かせるような状態になっています。2033年のBlueJayでは、論理量子ビットとして2,000量子ビットで10億個のゲートを実行可能にすることを目指しています。

■量子コンピュータのコスト

一コスト的には、倉庫にロボットを導入する場合と、量子アニーリングマシンで正解を出してもらうのでは、どれくらい違うものなのでしょうか。

量子コンピュータは従量課金制なのですが、問題を解くのは一瞬です。スーパーコンピュータの場合についても従量課金制である程度計算して料金を支払うというものもありますし、同様の感覚で良いかと思います。とりわけ組合せ最適化についてすぐに答えが出ます。そのワンショットだけならわずかな金額です。そう考えると、大規模な問題で良い答えを出してください、という使い方であればコスト的には安いという話になります。

一量子コンピュータは、極低温で動作させなければなりません。すると、稼働させるのに電気代などのコストが相当かかるのではないかという意見が見受けられます。量子コンピュータを稼働・維持するためのコスト面に関しては、どのように考えていらっしゃいますか。

確かに、今の量子コンピュータは超伝導状態にある金属を使うため、極低温の環境で動作させる必要があります。ただし、冷凍技術も徐々にレベルアップしてきていますし、高温超伝導という技術も段々と賑やかになり開発が続いているです。

現在は液体ヘリウムを利用した希釈冷凍機で冷やしていますが、もっと安価な液体窒素でも十分となれば、飛躍的にコストは下がります。

超伝導を使った量子ビットは極低温での動作が必要ですが、レーザーを利用した量子コンピュータも出てきています。レーザーの素晴らしいところは、常温で動作するところでしょう。

現在は超伝導が主流になっていますが、他の方式の量子ビットの作り方もいろいろあるので、それぞれがこなれてきた段階で、どの技術の量子ビット構成が一番コストメリットがあるのか議論されて行き、利用されるシーンによって使い分けるという風になっていくんだろうと思います。



古典コンピュータで使われているシリコン基板のコンピュータチップでは、集積化するとどうしても熱が発生してしまいます。そのため、クロック数を下げて制限をかけたり、冷却したりしています。

一方、超伝導量子ビットの関しては、チップをいくら稼働させても熱が発生しないので、同じ冷却機のなかでマルチプロセッサー化がしやすいという側面があります。

冷却機の中にいくつものチップを並べて、いろいろなタスクを割り振って計算を高速化したり、同時に複数の計算をさせるマルチタスクもできるようになれば、エネルギーメリットは大きくなるのではないかと思います。

D-Wave Systems社のチップは、1枚が1cm四方で、ビット数は5,000。そして今7,000のものを作っているそうです。おそらく、1万ビットくらいまではその基板と冷却装置でできると思うので、そのサイズなら8個くらいは並べられるでしょう。

現在でもチップの性能評価のために、1台の冷却装置のなかに複数のチップを並べるということはやっているようです。

■ 民間企業の量子コンピュータ利用はまだPoCレベル

一各企業によって違うと思いますが、量子コンピューティング自体は、まだ実証実験レベルなのか、実用段階に入っているのか、どのようなフェーズになっているのでしょうか。

各企業レベルでいいたら、まだPoCの段階ではないでしょうか。ただし、我々シグマアイは量子アニーリングマシンで事業展開をしているので、その意味では実用レベルに入っています。

量子アニーリングを利用した意外な事業としてあげられるのは、フォトモザイクアートです。モザイクアートの1ピクセルに色ではなく写真を割り当てるというものです。フォトモザイクアートでは、隣同士に同じ写真がこないようにしなければならないという組み合わせ問題があります。その組み合わせ最適化問題を解決するために、量子アニーリングを使ったのですが、毎回答えが変わるんですよ（笑）。だけど、それがアートという側面ではよかったです。毎回違うものができるので、唯一無二の作品ができるわけです。



フォトモザイクアート 出典：シグマアイHP

一ランダム性がアートとマッチしたわけですね。

そうです。NFT的な価値も生まれてくるわけです。そういうアート方面でも事業になっていったりするので、どんな分野で使えるのか予想がつきませんね。

一量子コンピュータが実証実験レベルを超えるためには、どのような課題があるのでしょうか。

事業化できるかというところでしょう。実証実験はうまくいっていて、論文や学術発表はたくさんありますが、それを事業化するというときに、費用対効果の面で、大きく利益をもたらすような分野が限られている。すでにある程度最適化された世界にあるというのも障壁としてありますね。

これは量子コンピュータだからというわけではないと思います。日本の企業の多くが、新規事業を興すことが不得手だということも関係しているのかもしれません。

スマートビジネスとして始めようとしても、上司を説得するときに「100億円の売上にしろ」というように、結果が大きくないとビジネスとして着手しない傾向があります。そのような、技術とは必ずしも直接関係しないような課題というのありますね。

今は、スタートアップや小さな企業が、年間1億円の売上

レベルで始めて、それが10億円、100億円というように成長していくというのが望ましいとは思います。

■量子コンピュータの事業化は技術職のコミュニケーション能力獲得が近道

一量子アニーリングマシンを使った最適化ビジネスのコツはどんなところでしょうか。

シグマアイで事業を展開していて思ったことが、事業開発に携わるビジネス側の人間よりも、実際に数式を操って作業をする技術職の人たちが、きちんと言葉を使ってコミュニケーションを取ることで、早く事業化が進むということです。要は、技術職の人たちがそのままお客様のところに行けるようにするのが一番ということです。コミュニケーション能力を高めたほうが、ビジネスにしやすくなります。量子コンピュータの使い所を見出すにしても、やはりその素養があった方が良いです。

一技術者がコミュニケーション能力を身につけるのと、営業職が技術を身につけるのでは、前者のほうが早いのでしょうか。

はい。やはり量子アニーリングマシンの技術を身につけるのは、一朝一夕でできることではありません。語学で言えば、ネイティブであるかないかということです。学べばそれなりに話すことができますが、感覚的なものや引き出しの多さなどは、元々やっていた人には敵わない部分があると思います。それに、営業に向かないコミュニケーション能力のない人が多いと思われがちですが、人によるところと、訓練次第と、意外とやらせてみるとハマったりして。これら辺の発見がシグマアイの設立経緯ともリンクしています。

■量子コンピュータに足りないものはデータ

一量子コンピュータと古典コンピュータでは、プログラミングの違いというのはあるのでしょうか。

量子コンピュータは、プログラミング言語としてPythonを使います。プログラミングといっても、非常にシンプルなもので、D-Wave Systemsを呼び出します、その関数はすでに用意されています。答えを出してほしいときは、解いてほしい最適化問題を、定められた形式に基づき入力すれば答えが出てきます。量子コンピュータの根幹に関わる言語というものもありますが、それはメーカー側の話であって、利用者側はそこまで難しい言語を扱う必要はありません。

ですから、機械学習のエンジニアの方が、量子コンピュータのプログラムを学ぼうとしたら、1週間もあれば十分です。

一でも、量子コンピュータのプログラムをやっているという人はあまり見かけません。

ネタがないからですね。量子コンピュータを使って何か最適化をしてみようとなつても、例題がないんです。これは機械学習でもそうだと思います。オープンデータを利用して、触ることはできたとしても、そのあとはじゅあ何をしようか。そうなつて興味を失い、続かない。

機械学習の場合には、まだこうしたオープンデータが用意されているから救われます。画像から犬か猫かを判別しましようというようなことは、いくらでもできます。でも最適化には、その試す課題となるデータが少ない。たとえば、今日の夕飯の献立を最適化しましようとしても、その献立のデータから作らなければならないのです。ベンチマークテスト用のデータはありますが、それを見ても何が何だかという結果になつたり、結果を可視化するのに一苦労だったり。まだそこら辺の整備は、多くの人が関わるようになるためには必要だと思います。

つまりは最適化の練習をしたいと思っても、練習問題、例題がないことが大きな問題です。

さらに量子アニーリングマシンで100万変数の最適化ができれば大きなメリットにはなりますが、その100万変数の組み合わせ最適化問題をインプットするのに時間がかかるんです。準備に莫大な時間が必要です。最適化 자체は0.1秒で終わりますが、100万変数のデータを読んで加工すると10分くらいかかるときがあります。ちょっとアンバランスなんですよね。なので、今はデータを入れる方法や加工する方法をブラッシュアップするということのほうが重要になっています。

■量子コンピュータで何がしたいのかを考える

一これから量子コンピュータや機械学習の分野を目指す学生や若いエンジニアにアドバイスがあればお願ひします。

躊躇しないでほしいということですかね。最近の学生たちはとても優秀で、世の中の役に立ちたいという気持ちがとても大きい。考え方がとても大人なんです。ただ経験が浅いために、大人がいる場所に出て行くのが怖いと感じているようです。

ですから、経験さえ身につければ大丈夫ということは、うちの学生にも言っていますし、世の中の若い人たちに言いたいですね。

今の大学生は、すごく熱心に勉強をするので、能力レベルはかなり高水準です。ただ、実地経験が足りていない。僕が東北大学で企業と共同研究をやろうと思ったのも、自分たちのためでもあります。学生たちに現場経験を積ませることと、コミュニケーション能力を身につけさせるという目的がありました。

その結果、経験を活かして自信を持って、研究発表や論文執筆などを行つてはいるので、やはり彼らに足りなかつたのは実務経験だったと確信しました。

実務経験の不足を企業への就職で代替するという考え方もあるかもしれません。しかし、我々研究職の場合は、専門的知識と先進的知識をアップデートし続けることができる、実務経験を持った人間が学生や教員として所属していると、民間企業など、世の中に対しての技術の供給元として使命を果たせるのではないかと考えています。

だから、もっと学生さんに来てほしいですね。必要なものはすべて大学側に揃っているから、躊躇せずに安心してきてください。

もっと若い世代の人たちには、早くからコンピュータに触れてほしいなと思います。小学校でプログラミング教育が始まりましたし、生徒たちにタブレットを渡している学校も増えています。それがあまねく人々に届くようになればいいですね。

そして、量子コンピュータでも、機械学習でも人工知能でも興味を持って、教科書に書いてある情報以外のものに自らアクセスして、自分の思うままに貪欲に勉強していただきたいと思います。

もうひとつ必要なものは、量子コンピュータに何をさせたいのかというモチベーションです。量子コンピュータで何がしたいのかと、量子コンピュータのエンジニアに聞いても、答えられないのではないかでしょうか。自分で問題を見つけて解決していくという、ある意味起業家のような精神がなければいけないと思っています。

一いくら技術を身につけても、それを活かすことができなければ意味がありません。

たとえば、とてもハイスペックなコンピュータがあったら何がしたい？と質問したときに、3DCGを作りたい、いいゲームを作りたいと思えれば、楽しいですよね。でも、それすら考えつかないというのが、今の量子コンピュータの状況だと思います。

■量子コンピュータを学ぶ仲間が見つかる場所

一そのなかから、量子コンピュータに興味を持って、始めてみようという人や、量子コンピュータを活用してみようと思っている企業などが、まず何から始めたらいいのでしょうか。

僕のYouTubeを見ることですね（笑）。『Quantum Annealing for You』や『Quantum Computing for You』といった、高校生以上ならば無料で参加できるイベントをYouTubeでやっています。



そのイベントを通じて思ったことが、コンピュータや量子力学の勉強は、一人では辛いということです。学ぼうと思ったときに、大学や会社などで仲間を作るという方法もありますが、僕のイベントはまったく見知らぬ人と一緒に勉強できます。

自分の物差しだけでは理解できなかったことも、他人の言葉や表現で教えてもらうことで「こういう考え方をする人もいるんだな」というように、気付くこともあるので、一緒に学ぶ人を見つけることがいいと思っています。

僕のイベントでは、強制的にそういうことをしているので、ぜひ見てください。12時間生配信とかしていますから（笑）。最初は1時間半の講義をオンラインでやればいいだろうと思っていたのが、全然終わらなくて。質問がたくさん飛んでくるんですよ。それに対して全部答えていたら12時間になっていました。

プログラム講座なので、こういうプログラムを作るとこ

ういう反応が来るということを説明します。でも視聴者から「反応が返ってきません」とコメントがある。そこでエラーコードを聞いて、僕の経験から間違っている部分を指摘して確認してくださいというようなことをやっています。

また、グループ制にして、どんな量子アプリを作るのかというディスカッションも行います。その結果をプレゼンテーションしてもらうので、全部やつたら12時間でギリギリという感じですね。

■量子コンピュータの一般化にはパーソナルなものになることが重要

一これから量子コンピュータが一般化するにあたって、必要となるものはなんでしょうか。

パーソナルであることが重要です。ただし、僕らは自分のパソコンからクラウド経由で量子アニーリングマシンにアクセスできるので、パーソナルという要件はクリアできている状態です。

その次に必要なものは、パソコンで言うところのExcelのようなアプリケーションです。コンピュータを利用するのはある種の専門家という状態から、このExcelが登場してから、会計作業を始め、さまざまな業務上で必要な書類作成を楽にしてくれたということで、コンピュータが広く普及し始めました。

その後は、グラフィックですね。ペイントツールができる、まさかのコンピュータの利用法となり、CGが身近になり、一般の人たちが作品を作るようになっていきました。写真に関しても同様です。

そういうホビーカテゴリーに普及すれば、量子コンピュータも一般的になるのかもしれません。でも、量子コンピュータを使ったゲームってなんだろうとは思いますけどね（笑）。先述したとおり、アートに関するアプリケーションがありましたから、それを広げていくというのもひとつの筋道だと思います。

生成AIが世に出てきたというのも喜ばしいことで、量子コンピュータでもっとおもしろいことができるのであれば、そのときはブレイクすると思います。

生成AIの爆発的ヒットは消費電力の増大を招くという世界的な課題が浮き彫りになりましたが、量子ビットのように省電力なコンピュータチップが今のCPUやGPUに替わっていけば、世界的なエネルギー問題の解決の1つの筋道になるでしょうし、量子コンピュータは役に立つんだということで、世間的にも受けいれられるでしょう。

—量子コンピュータをホビーやエンターテイメントに活用するのしたら、どのようなことができるのでしょうか。

たとえばCGの表現の幅が広がったり、キャラクターの動きのシミュレーション方法が簡単になる、もしくはドラマチックになるというのならば、使われていく可能性はあるでしょう。ただし、そういう志を持っている人が必要になります。今の研究者の人たちでそのようなアイデアを持っている人は少ないんじゃないかな。だから、僕がやるしかないのかなと（笑）。

たとえばCGの表現の幅が広がったり、キャラクターの動

きのシミュレーション方法が簡単になる、もしくはドラマチックになるというのならば、使われていく可能性はあるでしょう。ただし、そういう志を持っている人が必要になります。今の研究者の人たちでそのようなアイデアを持っている人は少ないんじゃないかな。だから、僕がやるしかないのかなと（笑）。

—量子コンピュータが映画やアニメに使われたとしても、視聴者にはわからないですよね。

そういうところに量子コンピュータが日常的に使われていき、喜んでくれる人が増えれば、それでいいんだろうなと思います。コンピュータは所詮裏方です。だけど、なくてはならないものです。

スマートフォンも、昔では考えられないくらい小型化されたコンピュータです。量子コンピュータもそのような存在になる可能性はあります。

量子コンピュータは、その高い性能だけがクローズアップされているが、実際に使ったことがあるという人はそれほど多くはない。現時点では極低温の環境で動作させる必要もあり、世界でも数えるほどしか稼働していない状況だ。

量子コンピュータの利用に関しては、クラウド経由で使用することができるためそこまで障壁が高いわけではない。プログラミングに関しても、Pythonがわかれば1週間程度で理解できるものだ。では、なぜそれほど活用されていないのだろうか。

シグマアイのように、実際に量子コンピュータを活用して事業を展開している企業は、世界でもそれほど多くない。日本において、専門企業としてはおそらくシグマアイだけだ。それはなぜか。それは、量子コンピュータに何をやらせればいいのかわからないからだ。

とんでもなく高性能なコンピュータが目の前にあるのに、その使い道がわからず、ただ眺めているだけ。量子コンピュータを作っているメーカーも、ハードウェアの性能アップは行うものの、その使い道までは考えていない。

量子コンピュータを活用するにあたり、必要なのは何のために量子コンピュータを活用するのかを考えられる人財の育成だ。

編集後記

AKKODiSコンサルティングでは、量子コンピュータの開発状況及び応用を手掛けている2つの会社にヒアリングした。

日本IBM

量子コンピュータ開発において、Googleとしのぎを削る世界最先端企業であるIBMをKBIC川崎の量子コンピュータ施設にて訪問し、開発の取組み、応用と今後の展開について伺った。現時点では2033年までのロードマップのみの公開ながら、2040年前後にもFTQCを実現する勢いがあり、暗号対策、活用の準備が急がれる。

(株)シグマアイ

日本における量子アニーリングコンピュータ活用の第一人者である東北大学教授兼(株)シグマアイ代表取締役の大関氏にお話を伺った。工場レイアウト最適化やアートなどへの適用に加え、事業化へのポイントを伺った。

量子コンピュータを活用するにあたって、今必要なもの。それは「量子コンピュータでどんな社会問題が解決できるのか」を考えられる人材の育成だ。いくら量子コンピュータの性能が上がっても、それを使いこなせる人間がいなければ意味がない。

今後必要になるのは、量子コンピュータを動かせるだけではなく、問題を見つけて解決するためのコンサルティング的な要素を兼ね備えたエンジニアだ。ハードウェアとソフトウェアの両面をサポートできる人材こそが、量子コンピュータの未来を明るく照らす。

AKKODiS

@2024 AKKODiS Consulting Ltd.



AKKODiS Tech Report 2024 Vol.1

量子コンピューター最前線 ～開発状況と応用～

2024年3月12日発行

AKKODiSコンサルティング株式会社
テクノロジー統括 アカデミー本部

谷本琢磨 小酒井亮太 山崎翔平

AKKODiSコンサルティング株式会社

〒108-0023 東京都港区芝浦3丁目4番1号

グランパークタワー3F

<https://www.akkodis.com/ja>