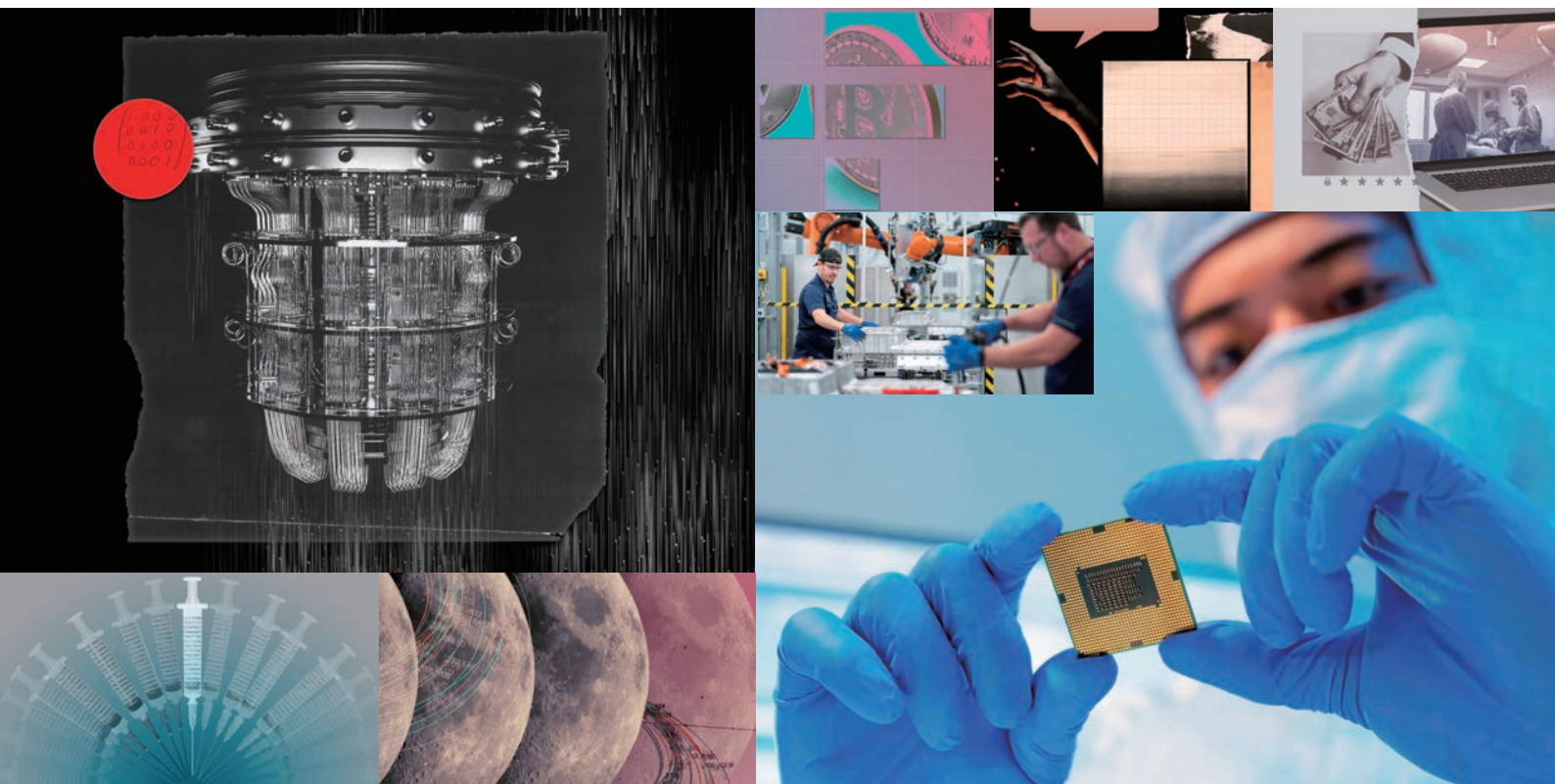


MIT Technology Review

Published by KADOKAWA / ASCII

What's Next 2023

2023 年のテクノロジー大予測

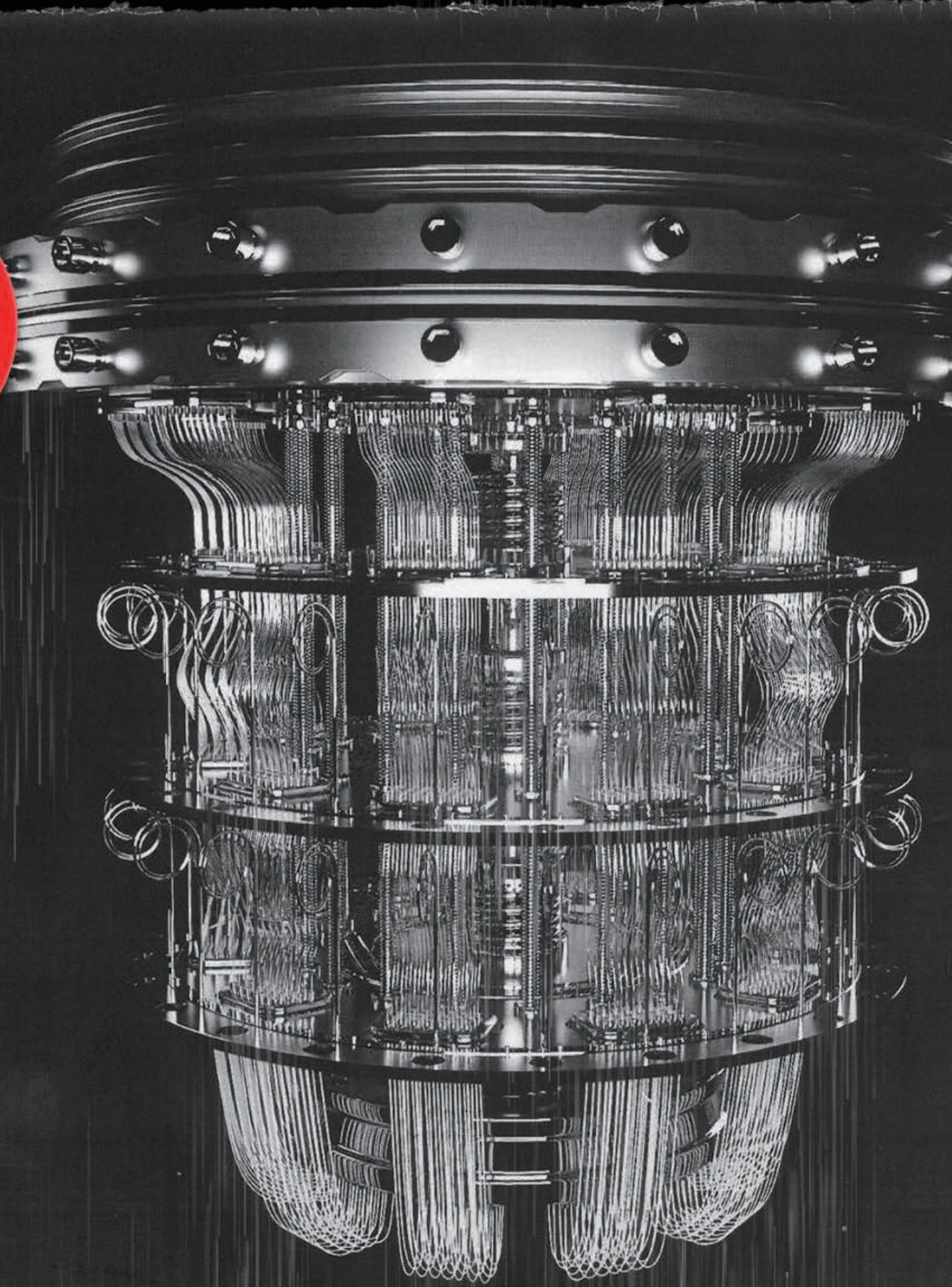


CONTENTS

- 001 キュービット競争から脱却、
量子コンピューティングは23年、どこに向かうのか？
- 010 2023年のAIはこうなる
本誌が予測する4大トレンド
- 018 パンデミックの流れを変えた mRNA ワクチンの登場
2023年の展開は？
- 026 米中対立はどう影響？
チップ産業の23年を予測
- 034 露ウクライナ侵攻で激動、
サイバーセキュリティは2023年こうなる
- 041 日本企業の月面着陸も
注目計画が目白押しの2023年の宇宙開発
- 048 FTX 破綻で業界に激震、
23年の暗号通貨はこうなる
- 056 リチウムイオン以外の選択肢は台頭するか？
23年の電池業界を占う

2023年のテクノロジーはどう動くのか？ AIから量子コンピューター、宇宙開発、mRNA ワクチンまで、重要トレンドを MIT テクノロジーレビューが徹底予測。各分野の専門家や有力プレイヤーへの取材をもとに、技術・資金・政策などの多角的な視点で解説する。

1000
1010
0100
0001



キュービット競争から脱却、量子コンピューティングは23年、どこに向かうのか？

by Michael Brooks

量子コンピューティング分野における2023年は、量子ビット数の新記録を樹立する競争から脱却して、実用的なハードウェアと長期的な目標を優先する年となるだろう。

量子コンピューティング分野の研究がますます国際的になるなか、2023年における同分野の進歩は、大型ハードウェアの発表によって定義付けされることは少なくなるだろう。何年にもわたる懸命な努力を結集し、相互に通信するチップを開発し、ノイズを何とかしようとすることから方向転換した研究者によって定義付けされるようになるはずだ。

何年もの間、量子コンピューティングのニュースの見出しは、新記録を定期的に樹立するハードウェア・システムによって占められていた。グーグルとIBMの研究者は、誰が何を達成したか、さらにそれがかけられた労力に値するかどうかについて、論争を繰り広げてきた。しかし、誰が最

大のプロセッサを持っているのかと議論する時期は過ぎ去ったようだ。企業は現実世界での生活に向けて準備をしている。いつの間にか、誰もが大人のような振る舞いになっている。

熱狂から抜け出したいという研究者の思いを裏付けるかのように、IBMは2023年に、「これまで以上に多くの量子ビット（キュービット）を搭載する」というトレンドに逆らうプロセッサの発表を予定している。量子コンピューターの処理単位であるキュービットは、超伝導回路、イオントラップ、光の量子粒子である光子など、さまざまなテクノロジーを使って構築されている。

IBMは長期間にわたって超伝導キュービットを探索してきており、年月をかけて着実に進歩を

遂げ、チップに搭載できるキュービットの個数を増やしてきた。例えば、2021年には127キュービットの量子プロセッサを発表してこれまでの記録を更新。さらに2022年11月には、433キュービットのオスプレイ (Osprey) プロセッサを発表し、2023年にはコンドル (Condor) という1121キュービットのプロセッサの発表を目指している。

その一方で、IBMは2023年に、わずか133キュービットのヘロン (Helon) プロセッサも発表する予定となっている。一步後退のように思えるかもしれないが、同社が熱心に指摘しているように、ヘロンのキュービットは品質面で最高水準のものとなる。そしてなんとといっても、ヘロンではチップを他のヘロン・プロセッサに直接つなぐことができる。単一の量子コンピューティングチップから、複数のプロセッサをつなげて構築された「モジュール型」量子コンピューターへの移行の先駆けだ。この動きは、量子コンピューターの大幅なスケールアップに寄与することが期待されている。

ヘロンは、量子コンピューティング業界において大きな変化が起こる前触れである。最近の複数のブレークスルーや積極的なロードマップ、多額の資金提供のおかげで、ほんの数年前に多くの人々が予想していた時期よりも早く、汎用量子コンピューターが登場する可能性があるとは指摘する専門家もいる。「全体としては、間違いなく速いペースで物事が進歩しています」と、ウォータールー大学量子コンピューティング研究所のミケーレ・モスカ副所長は言う。

専門家が進歩を期待する領域をいくつか紹介しよう。

量子コンピューターの連結

IBMのヘロン・プロジェクトは、モジュール型量子コンピューティングの世界に向けた第一歩にすぎない。チップは従来の電子技術で接続されるため、プロセッサからプロセッサへと移動する情報の「量子性」を維持することはできない。しかし、それらのチップが、最終的に量子対応の

光ファイバーまたはマイクロ波接続によって一緒につながれることで、合わせて100万キュービットもの大規模分散型量子コンピューター実現に向けた道が開かれることが期待されている。これにより、エラー訂正された実用的な量子アルゴリズムの実行が可能になるかもしれない。「規模とコストの両面でスケーリング可能なテクノロジーが必要です。モジュール方式は鍵になります」と、IBM量子ハードウェアシステム開発の責任者を務めるジェリー・チョウ博士は話す。

他の企業も似たような実験を始めている。「つなげるということが、いきなり大きなテーマになっています」と、光子をキュービットとして使用するサイクオンタム (PsiQuantum) のピーター・シャドボルト最高科学責任者 (CSO) はいう。サイクオンタムは、シリコンベースのモジュラーチップに最後の仕上げをしている。シャドボルト CSO は、チップに必要な最後のアイテムである、超高速かつ低損失の光スイッチについて、2023年末までに十分に実証されると述べている。「これにより、機能が完全なチップを手に入れることに

なります」。その後、倉庫規模のシステムの構築を開始し、「製造するすべてのシリコンチップを集めて、ビルのような大きさの高性能コンピューターのようなシステムを構築します」と言う。

2022年にアルファベット (グーグル) からスピンアウトした量子テクノロジー企業、サンドボックス AQ (SandboxAQ) のジャック・ヒダリー最高経営責任者 (CEO) によると、プロセッサ間でキュービットを行き来させたいという欲求は、ややなおざりにされてきた量子テクノロジーが、今注目され始めていることを意味する。コヒーレントなキュービットを数百キロもの距離にわたって伝送する量子通信は、2023年の量子コンピューティング界において、重要なストーリーの一部になるだろうとヒダリー CEO は述べている。

「量子コンピューティングをスケーリングする唯一の方法は、数千キュービットのモジュールを作成し、それらをリンクさせてコヒーレントなつながりを確立することです」と、ヒダリー CEO は MIT テクノロジーレビューに語った。「それ

は同じ部屋の中かもしれませんし、キャンパス全体、あるいは都市全体にまたがるものかもしれません。私たちはこれまでの経験から、分散型コンピューティングの力を分かっていますが、量子に関してはコヒーレントなつながりが必要です。量子リピーターを備えた光ファイバーネットワーク、または地上局や衛星ネットワークとのつながりがある何らかのファイバーのいずれかです」。

これら通信コンポーネントの多くは、近年実用性が証明されている。例えば、2017年に中国の「墨子 (Micius)」衛星は、1200 キロメートル離れたノード間でコヒーレントな量子通信を実現できることを証明した。2022年3月には、学术界と産業界の研究者からなる国際的なグループが、量子リピーターの実証実験を実施し、600 キロメートルの光ファイバーを介して、効果的に量子情報を中継できることを証明した。

ノイズへの対処

業界は、キュービットのリンクに取り組むのと

同じくして、過去5年間で台頭するようになった考えから脱却しつつある。その考えとは、ほんの数百キュービットのチップは、ノイズによってオペレーションが簡単に妨害されたとしても、有用なコンピューティングを実行できる可能性があるというものだ。

「ノイズ混じりの中規模量子コンピューター (NISQ)」と呼ばれるこの考えは、数十万キュービットがエラーの訂正に専念する大規模量子コンピューターという理想に到達するよりも何年も前に、量子コンピューティングによる短期的なメリットを実現する方法になるとされてきた。しかし、NISQをめぐる楽観論は薄れつつあるようだ。シンガポールに本拠を置くホライズン・クオンタム・コンピューティング (Horizon Quantum Computing) のジョー・フィッツシモンズ CEO は、「NISQは、エラー訂正ができるようになる前に十分に使えるようになる」と期待されていましたが、重点はそこから離れつつあります」と話す。

企業の中には、一部のキュービットを使用し、他のキュービットのエラーを訂正するという、

古典的な形式のエラー訂正を目指しているところがある。2022年、グーグル・クオンタム AI (Google Quantum AI) とクオンティニウム (Quantinuum、ハネウェルとケンブリッジ・クオンタム・コンピューティングが設立した新会社) がそれぞれ、論理キュービットは、根本となる物理キュービットよりも優れたエラー訂正集団に組み込めることを示す論文を発表した。

少ないオーバーヘッドで量子コンピューターを「フォールト・トレラント」にする方法を見いだせないだろうかと試みている研究チームもいる。例えば、IBM はマシンのエラーを誘発するノイズを明らかにし、ヘッドフォンのノイズキャンセリングと同じような仕組みでそのノイズを差し引いてプログラミングをすることを研究してきた。これは完璧なシステムとはほど遠い。アルゴリズムは、実際に発生するノイズではなく、発生する可能性のあるノイズを予測して動くからだ。とはいえ、チョウ博士は、その仕組みはうまく機能し、「はるかに低いリソースコストでエラー訂正コードを構築できるため、近いうちにエラー訂正がよ

り身近なものになります」と話す。

メリーランド州を拠点とし、イオントラップ型量子コンピューターを構築するアイオンキュー (IonQ) も、似たような研究をしている。「エラーの大部分は、イオンをつついてプログラムを実行する過程で、私たちのせいでは起こっています」と、アイオンキューで主任科学者を務めるクリス・モンロー博士は話す。「そのノイズは知り得るので、さまざまな種類の低減策によって、実際に精度を押し上げることが可能になっています」。

ソフトウェアに対する真剣な取り組み

ハードウェア分野におけるさまざまな進歩とは裏腹に、多くの研究者はプログラミングにもっと注意が払われる必要があると感じている。「私たちのツールボックスは、10年後に必要なものから考えて、現状では明らかに貧弱です」と、ボストンに本拠を置く量子ソフトウェア企業、ザパタ・コンピューティング (Zapata Computing) のミハル・シュテヒリーは語る。

クラウドで利用可能な量子コンピューターでコードを実行する方法は、一般的に「回路ベース」である。つまり、データを特定の事前定義された一連の量子演算にかけてから、最終的な量子測定によってアウトプットを得る。これはアルゴリズムの設計者にとって厄介であると、フィッツシモンズ CEO は言う。従来のプログラミングルーチンでは、望ましいアウトプットに到達するまで、複数のステップをループしてから、別のサブルーチンに移るといった傾向がある。だが一般的に、回路ベースの量子コンピューティングでは、アウトプットが得られたら計算は終了だ。もう一度やり直すという選択肢は存在しない。

ホライズン・クオンタム・コンピューティングは、このような柔軟な計算ルーチンを可能にするプログラミングツールを構築している企業の1つだ。「このツールが構築されれば、実行できるものの種類という点で新たな可能性が広がります。2023年には早期アクセスの展開を開始する予定です」とフィッツシモンズ CEO は話す。

ヘルシンキを拠点とするアルゴリズムミック

(Algorithmiq) も、プログラミング分野で革新を進めている。「現在の量子デバイスをプログラミングするには、非標準のフレームワークが必要です」と、サブリーナ・マニスカルコ CEO は言う。アルゴリズムミックが新たに立ち上げた創薬プラットフォーム「オーロラ (Aurora)」では、量子計算の結果と従来のアルゴリズムが組み合わせられている。このような「ハイブリッド」量子コンピューティングは成長領域であり、この分野が長期的に機能するやり方として広く認識されている。同社は2023年には、量子システムが現実世界における創薬関連の計算で、従来のコンピューターよりも優れた性能を発揮できることを実証して、有用な量子コンピューティングの優位性が現実のものとなることを期待していると話す。

世界の競争

政策面でも変化が起こりそうだ。アラン・エステベス産業安全保障担当商務次官をはじめとする米国政府代表者は、量子テクノロジーをめぐる買

易制限の実施をほのめかしている。

クオンティニウムのトニー・アトリー最高執行責任者（COO）は、貿易制限がまだ未熟な業界にマイナスの影響を及ぼさないよう、米国政府と積極的に対話していると話す。「当社のシステムの約80%は、米国外から購入したコンポーネントまたはサブシステムです」とアトリー COO は言う。「そのような品目の取引に制約を設けることは助けになりません。世界中の国の他の企業と競争するうえで、自分たちを不利な立場に置きたくはありません」。

そして競合企業も多い。中国の検索エンジン会社であるバイドゥ（Baidu）は2022年に、研究者による材料設計や医薬品開発などの分野への量子コンピューティング採用の足掛かりとして役立つように、10超伝導キュービット・プロセッサへのアクセスを公開した。同社は、36キュービットの超伝導量子チップの設計を最近完了したとも発表している。「バイドゥは、量子ソフトウェアとハードウェアの統合においてブレークスルーを続け、量子コンピューティングの産業

化を促進します」と、同社の広報担当者はMITテクノロジーレビューに語った。テック大手のアリババ（Alibaba）にも、超伝導キュービットを使用した量子コンピューティングに取り組む研究者が在籍する。

日本では、富士通が理化学研究所と協力して、2023年4月から始まる会計年度に、国内で初めて開発された量子コンピューターへのアクセスを他の企業に提供する。このコンピューターには、64超伝導キュービットが搭載される。「最初の焦点は、材料開発、創薬、金融への応用になります」と、富士通研究所量子研究所の佐藤信太郎所長は話す。

しかし、誰もが超伝導の同じような道をたどっているわけではない。2020年、インド政府は量子テクノロジーに800億ルピー（発表当時で11億2000万ドル）投入することを約束した。そのかなりの部分が、衛星ベースの量子通信や革新的な「キューディット（qudit）」フォトニクス・コンピューティングなどのフォトニクス・テクノロジーに割り当てられる。

キューディットは、キュービットのデータ・エンコーディング・スコープを拡張したものだ。従来の「0」と「1」という二進法に対して、3、4、またはそれ以上の次元を提供するが、必ずしもエラー発生範囲は拡大しない。「他の場所で数十年にわたってすでに実施されてきたことと競合せずに、ニッチの誕生を可能にするような研究です」と、インドのバンガロールにあるラマン研究所（Raman Research Institute）で量子情報・コンピューティング研究部門を率いるウルバシ・シンハ教授は言う。

シリアスな状況になり、国際競争が激しくなっている量子テクノロジーであるが、今のところは大方、協力的な状態が続いている。「この分野の良い点は、競争が激しいものの、協力が必要であることを全員が認識しているところです」とモンロー博士は話す。「私たちはゼロサムゲームという考え方はしていません。この分野にはさまざまなテクノロジー、さまざまな成熟度があり、現在は、みんな一緒になってなんとかしようとしています。ある時点で何らかの統合があるでしょうが、

それはまだ先の話です」。

**eムックは、MITテクノロジーレビュー
有料会員限定サービスです。**

**有料会員はすべてのページ（残り54ページ）を
ダウンロードできます。**

ご購入はこちら



<https://www.technologyreview.jp/insider/pricing/>

No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of a phonographic recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of KADOKAWA ASCII Research Laboratories, Inc.

本書のいかなる部分も、法令または利用規約に定めのある場合あるいは株式会社 角川アスキー総合研究所 の書面による許可がある場合を除いて、電子的、光学的、機械的処理によって、あるいは口述記録の形態によっても、製品にしたり、公衆向けか個人用かに関わらず送信したり複製したりすることはできません。