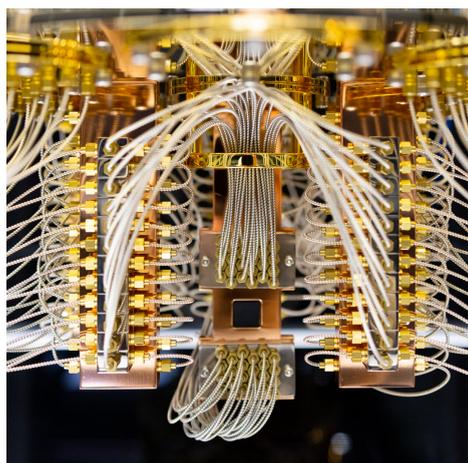


来るべき 量子コンピューティングの 時代に利益を享受するための 必要な備え

実用化への鍵は「エコシステム」
「イノベーション」「人材」

IBM の量子コンピューティング について

最先端の技術を提供する機関と一部の先進的な企業との間で、量子コンピューティングに関するパートナーシップ締結がトレンドになりつつあります。その狙いは、量子コンピューティングのユースケースおよびアプリケーションを開発することで、これまでの技術では解決できないとされてきた問題を解決するためです。この分野において市場を牽引する最先端企業である IBM は、量子コンピューターに関する自社人材（研究者、エンジニア、コンサルタント）を活用した IBM Quantum Network を立ち上げました。このグローバルなエコシステムには、現在、Fortune 500 の企業や、主要な学術機関、スタートアップ、国立研究所などの 210 以上の組織がメンバーとして参画しています。多様な組織から構成される IBM Quantum Network のメンバーは協業し、先進的な商用アプリケーションの実現を目的に量子コンピューティングの研究開発に取り組んでいます。IBM Quantum Network の参画メンバーは、自社が抱える主要な課題を解決するために、実際に量子コンピューターを活用して実験を繰り返すことができます。また、さまざまな業界の重要課題を解決するために、100 量子ビットを超える IBM 量子プロセッサを利用することも可能です。詳細については、<https://www.ibm.com/jp-ja/quantum> をご覧ください。



2023年に企業は研究開発予算の7%を量子コンピューティングに投じた。21年からは29%増え、25年までにさらに25%増加するとみられている。

量子コンピューティングに対応可能な組織（QRO*）に共通する特徴とは

■ エコシステムを重視する

QROの60%以上が量子技術関連のエコシステムに積極的に参加し、ユースケースや教育プログラムを取り入れたり、ハードウェアを活用したりしている。一方、最も対応が遅れている組織の93%は、エコシステムの重要性を否定しているわけではないが、参加は一切していない。

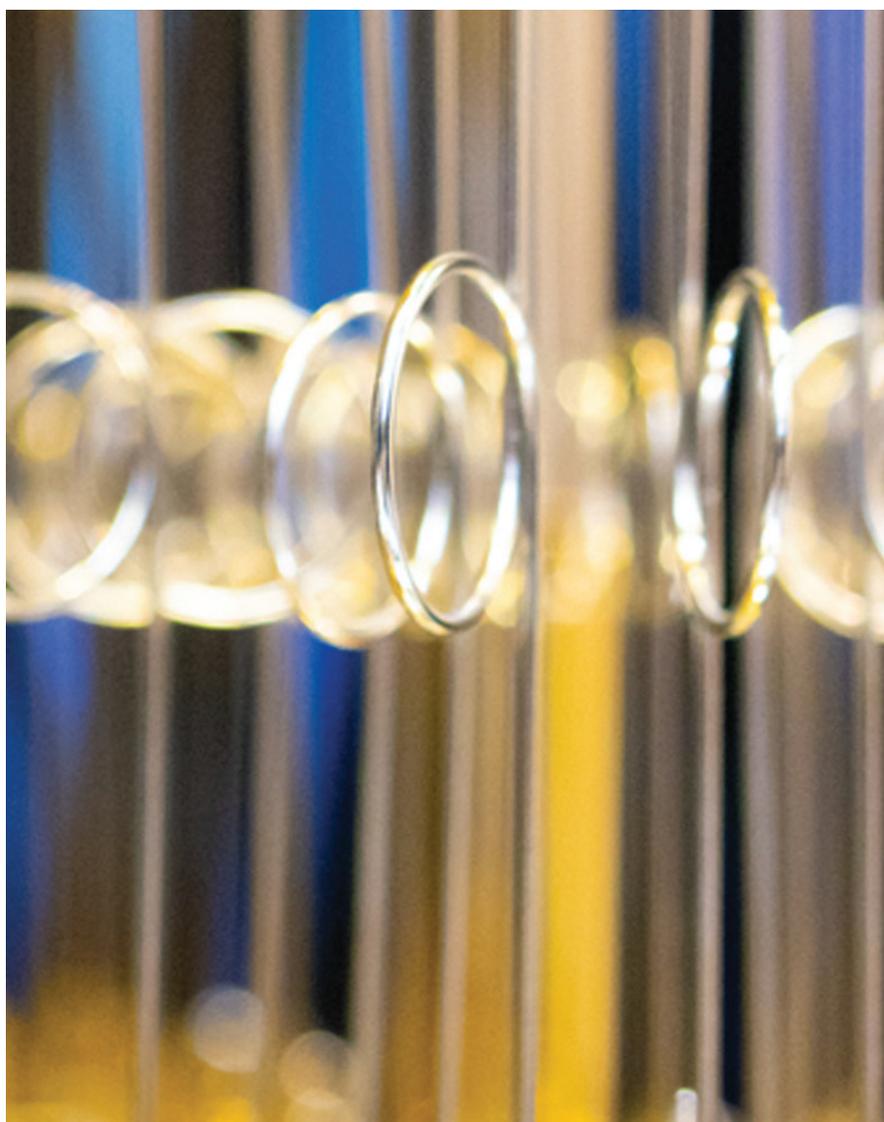
■ イノベーターとして周囲にも影響を広げる

QROは量子技術以外の革新技术の導入にも積極的な傾向にある。実際、最も対応が遅れている組織と比べて、実行しているAIワークロードの量が48%多い。

■ 人材育成を推進する

QROは量子コンピューティング導入の最大の障壁とされるスキル・ギャップをよりの確に把握し、人材開発の取り組みで3倍近くの効果を発揮している。この中には、社内における量子人材の育成や、STEM（科学・技術・工学・数学）人材の誘引、学術・研究機関との提携などが含まれる。

* QRO : Quantum-Ready Organization



はじめに

量子技術の実用化という 新時代に備えて

量子システムは最近まで「学者のおもちゃ」程度に考えられてきた。¹ そうした見方は時代遅れになりつつある。量子コンピューティングの開発が十分に進み、実用性が示されるまで来たためだ。古典システムでは対処できない問題に、量子システムを活用し得る段階にまで到達している。機敏な組織は着々と態勢を整えている。リーダーが現状を理解し、適応できなければ、競合他社に大きく後れを取ることになりかねないだろう。²

量子システムは量子力学を利用することで、古典コンピューターでは長年、対応が難しかった課題に取り組むことができる。この潜在能力が多くの企業の背中を押し、量子技術を巡って他社との提携に踏み切ったり、投資戦略を策定したりする動きが進んでいる。

2023年に企業は研究開発予算の7%を量子コンピューティングに投じた。21年からは29%増え、25年までにさらに25%増加するとみられている。別の調査によると、世界の量子コンピューティング市場の規模は23年では8億6,600万ドルだったが、28年までには43億7,500万ドルに達する見込みで、年平均成長率（CAGR）は38.3%となる。³

企業が量子コンピューティングへの対応を急ぐ理由は他にもある。先行企業ほど、その恩恵を受けやすいということだ。アナリストの予測によると、量子コンピューティングはコスト削減と収益創出の効果を通じて、35年までに4,500億～8,500億ドルの純利益をエンド・ユーザーにもたらす可能性がある。ここで見逃せない重要なポイントは、そうして得られた価値の90%程度は、ほとんどの業界で先行企業が手にするだろう、ということだ。⁴

量子コンピューティングを取り巻く、こうした大きな環境変化を目の当たりにしたとき、本調査を通じて私たちは次のことを問いかけたかった。「今の企業は現実のビジネスにおいて、具体的な用途で量子コンピューティングを実用化できる準備がどれほど整っているのだろうか」

「IBM Institute for Business Value (IBM IBV)」は調査内容をより深く理解するため、量子コンピューティングの実ビジネス活用に向けた準備状況を示す「Quantum Readiness Index (QRI)」を開発した。この指標は、年間収益が2億5,000万ドル以上の企業565社を対象とする詳細な調査で、最高責任者（チーフ・オフィサー、CxO）から提出された独自データを利用している。QRIによって、以下のことが分かる。

- 量子コンピューティングに対する企業の準備はどの程度進んでいるか
- 現在のQROに共通する特徴は何か
- 企業が量子コンピューティングに対応する上で必要となる行動目標は何か

(詳細については、5ページの「視点：Quantum Readiness Index (QRI)」と30ページの「調査方法」を参照)

調査対象企業のうち、QRIスコアが最も高い層（上位10%）をQROと呼ぶことにした。この層の企業は所在国や業種はさまざまだが、共通点が多い。

いずれの企業もそれぞれの業界で高い業績を上げており、10社中8社は効率性と収益性で世界の同業他社を上回っている（図1参照）。量子技術の投資回収はまだ先だが、QROは同業他社の5倍近い価値創出を投資から見込んでいる。投資の過半数（55%）は、研究・実験（24%）、エコシステム参加（16%）、ワークフローの再設計（15%）に向けられている。

本調査は量子コンピューティングへの準備に付随する効果も明らかにしている。QROは現在、今ある量子コンピューティング技術を使ってビジネス上の難題の解決へすぐに取り組むことよりも、「イノベーションを加速したい」という意欲が3.5倍高く、「新規特許を取得したい」という意欲も2.5倍高い。「イノベーションの加速や特許取得が将来、ビジネス上の難題解決につながる可能性がある」という考えは、1つの推測にとどまるが、確かに理屈にかなっている。調査回答者が総じて、「量子コンピューティングの準備に伴う効果で、投資利益率（ROI）が今後10年間に300%以上高まる」と予想する背景には、将来に対するこうした前向きな見方がある。言い換えれば、こうした企業は量子コンピューティングのタイム・トゥー・バリュー*を認識しているということだ。

以下、量子コンピューティングに対応可能な企業に際立った3つの特徴について考察する。第1章では、量子エコシステムへの取り組みについて掘り下げる。第2章では、量子コンピューティングの実ビジネス活用に向けた準備につながる技術・イノベーション能力について探る。第3章では、人材のスキル・ギャップを解消するための戦略を示す。このほか、実際の量子コンピューティングの導入事例や検討課題を適宜織り込んだ。最後に、どの段階にある企業でも、今後の取り組みの一助となるアクション・ガイドを提示した。

*タイム・トゥー・バリューは顧客が製品・サービスの利用開始後、その価値を実感するまでの時間

図1

QRO

同業他社をしのぐQRO



視点

Quantum Readiness Index (QRI)

「Quantum Readiness Index (QRI)」は、量子コンピューティングの実ビジネス活用に向けた準備状況を示す加重平均指標で、評価基準は戦略、オペレーション、テクノロジーの3要素から成る。それぞれの顧客に関わった当社の経験を基に指標のスコアを加重処理し、そのデータを基に100ポイント満点で計算した。企業や業界、地域ごとに量子コンピューティングへの準備状況の変化を経時的に追跡できるように作られている。

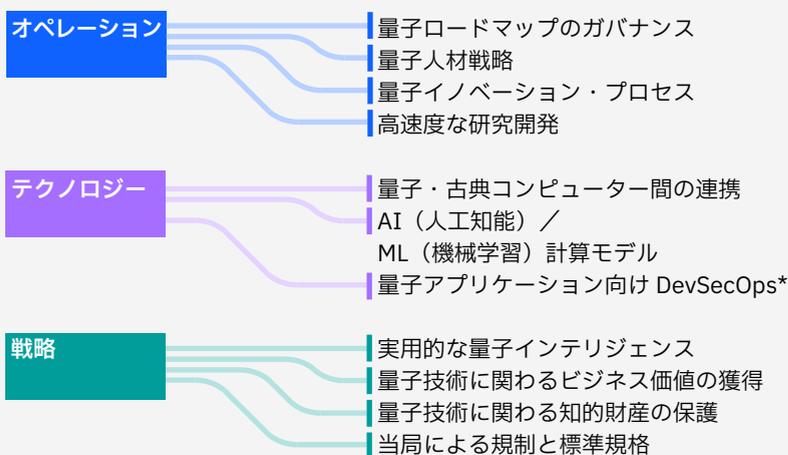
現在、QRIのスコアに最も大きく影響するのは、オペレーティング・モデルである。このため、同業他社の投資がテクノロジー投資に偏り、人材とイノベーション・プロセスに同程度投資していない場合、量子イノベーション担当チームや管理プロセスに投資を振り向ければ、他社より優位な立場になれるだろう。

しかし、QRIの全体スコアは100ポイント満点で22ポイントにとどまり、全業種・全地域で量子コンピューティングへの準備度合いが低いことを示している。

量子コンピューティングの実用性が急速に高まるに従い、組織的に対応準備を進める上で、戦略およびテクノロジーの能力が重みを増してくると予想される（QRIの詳細については、30ページの「調査方法」を参照）。

QRI

オペレーションやテクノロジー、戦略にわたる包括的な指標



* DevSecOps は「開発 (Development)」「セキュリティ (Security)」「運用 (Operation)」の略。ソフトウェア開発の初期設計から統合、テスト、実装、デリバリーまですべてのフェーズでセキュリティの統合を自動化すること

視点

日本の産業応用・社会実装に向けた産官学の取り組み (世界的なモデル・ケース)

量子コンピューティングに関して言えば、日本には優れた成功の方程式がある。IBM の調査では、日本は世界各国の中で QRO の割合が最も高く、20% 近くの企業が基準を満たしている。成功の鍵は何だろうか。

戦略的政策

2020 年、日本は「量子技術イノベーション戦略」を策定し、その中で重点を置く「主要技術領域」の概要を示した。ここには、量子コンピューター・量子シミュレーション、量子計測・センシング、量子通信・暗号、量子マテリアル（量子物性・材料）が含まれている。

日本政府は抽象的な意欲の表明にとどまらず、非常にテクニカルで具体的な計画を策定した。ここには、国際協力の展開や量子技術の産業イノベーション推進、量子技術関連の知的財産（IP）管理の強化、量子人材の育成・確保、超高齢化社会の到来を踏まえた革新的な医療の実現などを盛り込んだ。⁵

共同研究

20 年 7 月、「量子イノベーションイニシアティブ協議会」が発足した。東京大学が主導し、慶應義塾大学のほか、IBM や東芝、日立製作所などの企業数社が参加する。同協議会は産学連携を実現し、量子コンピューティングに関する学生のスキルと専門知識の向上を目指している。さらに、日本における量子技術分野のビジネス機会の拡大と研究開発活動を促すことが目的だ。⁶

政府の継続的な資金拠出

さらに、日本政府はクラウド基盤の量子コンピューティング・プラットフォームの開発に3,170万ドル（42億円）の助成を決定した。経済産業省は東京大学が主導する量子コンピューティングの協議会に今後5年間にわたって資金を拠出する。現在、東大は27量子ビットの「Falconプロセッサ」を搭載したIBMの量子システムを使用している。経産省は最終的に、その資金を基に127量子ビットの高性能システムを導入する計画だ。⁷

ブレイクスルーとパートナーシップ

重要なパートナーシップとして次の事例を挙げたい。IBMと東京大学、シカゴ大学は23年5月、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て、今後10年間で1億ドルを投じて取り組むと発表した。この10万量子ビットのシステムは、現在最先端のスーパーコンピューターでも解決できそうにない課題に取り組む基盤として機能することになる。⁸

同様の例として、ITサービス・プロバイダーの富士通と科学研究機関の理化学研究所（理研）は23年10月、「理研RQC-富士通連携センター」で64量子ビットの超伝導量子コンピューターを新たに開発したと発表した。この量子システムがベースとする技術は、理研が23年3月に公開した国産初号機の超伝導量子コンピューター向けに、理研と富士通などの共同研究パートナーのコンソーシアムが開発した。

富士通と理研は併せて、ハイブリッド量子コンピューティング・プラットフォームを開発したことも発表した。今回開発した64量子ビット超伝導量子システムのコンピューティング能力と、富士通が開発した世界最大級の40量子ビット量子システム・シミュレーターを組み合わせたものだ。⁹

東京エレクトロンのフェローである関口章久博士は、こうしたパートナーシップ全般について次のように話す。「例えば、スーパーコンピューターやサーバー、クラウド、シミュレーション関連コンピューティング・リソース、ハイブリッドクラウド・ソリューションの一部。このうち、どのサービスを利用するにしても、シームレスに提供されることが前提である。必要なことは、適切な大学や組織と組むことだ」

量子コンピューティングを 活用した細胞中心の治療

ヘルスケアと ライフサイエンス 分野における 先駆的研究¹⁰

ヘルスケアおよびライフサイエンス（HCLS）は、IBM の調査で QRO の割合が 18% と最も高かった業種だ。以下、HCLS 業界がどのような点で際立っているのかを示す。

ワーキング・グループ

効果的な量子コンピューティングの活用を加速させるために、産業界や学界のトップランナーを結び付けるには、ワーキング・グループが有効な手法である。

IBM Quantum はクリーブランド・クリニック（Cleveland Clinic）やシカゴ大学、トロント大学と共に、こうしたワーキング・グループを HCLS 分野に設置した。このグループが研究している量子アルゴリズムは、従来と大きく異なるコンピューティング・パラダイムを利用しており、より効率的に生物学データを表現できたり、そのデータから学習できたりする。これによって、生物学研究の新たなフロンティアが拓かれ、生物医学の分野での新発見につながる可能性がある。

研究開発イノベーション

治療の設計と発見は、伝統的に薬剤の特定と薬物相互作用の最適化に重点を置いてきた。量子アルゴリズムが存在するにもかかわらず、研究者は古典的なアプローチをとるのが一般的だ。このアプローチを通じて、広範囲の疾患で新規治療法が数多く承認された（小分子阻害剤や化学療法、抗体療法など）。

しかし、1950年代以降、新規承認薬1件当たりの研究開発費は9年ごとに倍増してきた。¹¹ その一方で、効果的な治療法がまだ見つからない疾患は多い。現実として、ターゲット中心のアプローチは収獲逓減点（コストに比例した成果が増加から減少に転じる限界点）に達しつつあるのかもしれない。

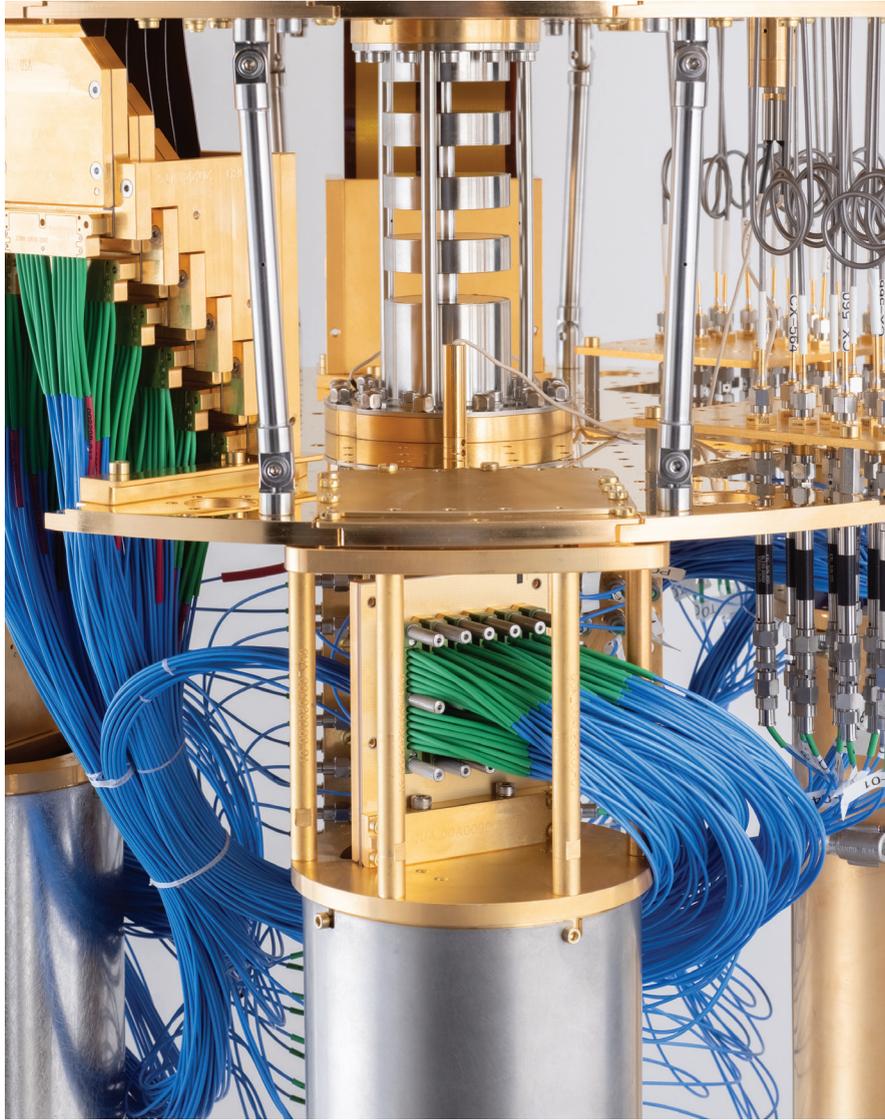
ただ、希望もある。量子コンピューティングを活用した細胞中心の治療で、研究者は著しい進展を遂げている。細胞挙動のさまざまな側面を捕捉可能な4種類の量子コンピューティング技術を用いて、単一細胞や細胞株、画像、薬剤プロファイル、および臨床データの時空間解析が行われている。

インサイト（洞察）の統合

各研究分野から得られるインサイトは、それ自体貴重なものと考えてよいだろうが、さらに、研究者はそうしたインサイトをさまざまに組み合わせることで、細胞文脈（細胞生存に関わるシステムの多様性）を最適化して治療効果を高める選択肢を提供できる。

例えば、がん細胞の挙動に関する包括的な理解を深め、そうした挙動を個体および集団レベルでモデル化することにより、適切な治療計画が見えてくる可能性がある。そうした治療を発展させていけば、悪性腫瘍とその腫瘍内微小環境を治療効果の高い状態にできるかもしれない。あるいは、腫瘍をインドレント（進行の遅い）段階に移行させて、慢性的に経過する管理可能な状態に変えることも考えられる。

量子コンピューティングは治療設計に対するこうした細胞中心のアプローチの推進源となり得る。この例を見るだけでも、量子コンピューティングの活用を多様な領域に広げていく上で、ワーキング・グループの果たす役割がいかに大きいか分かる。



第1章

「数の力」を活かす： エコシステムや量子技術関連 企業と連携する

量子技術に関心を寄せる組織は、対応への準備を進めたいと考えるだろうが、量子技術関連の幅広いノウハウを持ち合わせていなければ、どう着手し、発展させていくべきか分からないだろう。仮に対応への準備が整っていたとしても、量子コンピューティングの急速な進歩に遅れずについていくことは簡単ではない。

ここで有用なのがエコシステムを活用することだ。量子コンピューティングのエコシステムは、共同イノベーションの機会をもたらし、量子コンピューティングを現実の問題に活用するためのトレーニングの場として急速に成果を上げつつある。¹² IBM Quantum Network がその一例だ。世界規模のコミュニティーであり、「Fortune 500」企業や学術機関、スタートアップ、国家研究機関など 210 以上が参加し、IBM と共に量子コンピューティングの進歩に取り組んでいる。¹³

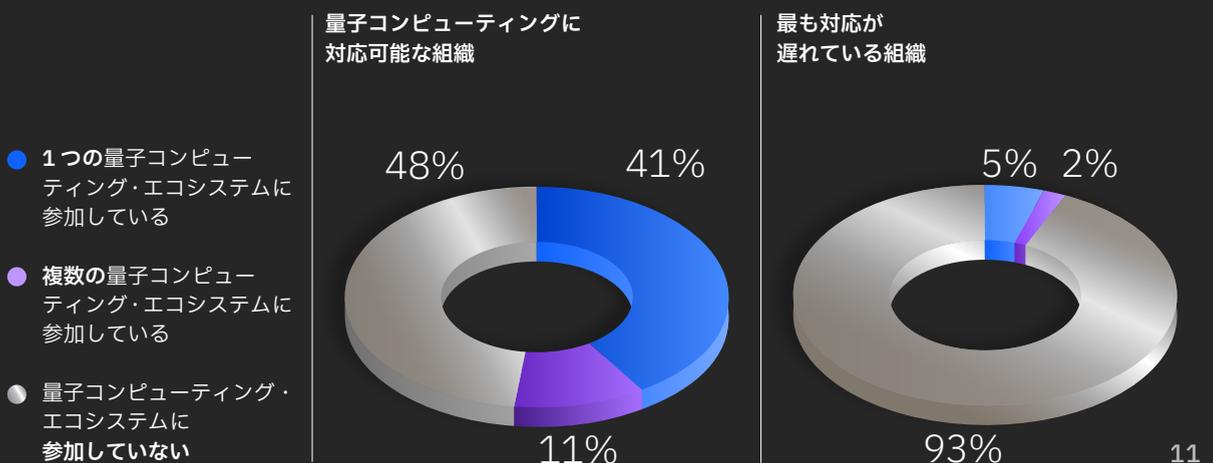
調査では、QRO の過半数が量子コンピューティングのエコシステムに参加していると答えており、11% の企業が複数のエコシステムに属していた (図 2 参照)。一方、量子技術への対応が最も遅れている組織の 93% は、エコシステムの重要性は否定していないが、参加は一切していない。

図 2

QRO の基盤

エコシステムとの
活発な連携

量子エコシステムは QRO が量子プログラムを効率化するためのプラットフォームになり得る。実際、ビジネス価値の実現に近づいていると答えた QRO の回答者の割合は、他の回答者の 5 倍近くに上っている。



有効な 量子エコシステムとは

量子エコシステムに参加する際の最も一般的な動機は何だろうか。QROの10社中7社はコースケースを一番の理由に挙げている。代数問題に関する取り組みは活動が最も盛んなコースケースであり、QROの63%がこの分野の検証を行っている。またQROの38%がシミュレーションを最も重要な投資対象に挙げている。

さらに、QROの3社中2社は教育プログラムへのアクセスを目的にエコシステムへの参加を検討し、ハードウェアへのアクセスを目的とするQROも同程度存在する。Robert Bosch社の計算材料設計チーフ・エキスパートであるThomas Eckl博士はこう説明する。「量子コンピューティングの活用を成功に導く要因の1つは、理論的に検証されたアルゴリズムの有効性をハードウェアで物理的に確認することだ。そうしなければ、初期段階で実際のハードウェア上でアルゴリズムの性能を把握することは難しく、ソフトウェアとハードウェア両面での開発をさらに進めることもできない」

資金調達面でも、エコシステムへの参加がメリットとなることがある。調査によると、量子コンピューティング向け社内資金の25%は、エコシステムや技術関連のパートナーから提供を受けている。

ポイント

- 自社の業界における量子コンピューティングのコースケースについて、現時点でどの程度把握しているか
- 量子コンピューティングによって業界がどう進化する可能性があるかについて、複数シナリオを評価しているか
- 市場動向の情報分析から、量子技術の現状や競合状況に関するインサイトは得られているか

エコシステムに参加したり、立ち上げたりする際に、判断基準として欠かせないのは外部リソースと社内能力の最適な組み合わせだ。テクノロジーやワークフローを強化しようとするとき、エコシステム参加者に求められるのは、自社事業および業界の課題に関連した経験と専門性である。次に具体例を挙げる。¹⁴

1. 以下を提供する量子技術関連企業：

- クラウド基盤の量子コンピューティング・システムへの容易なアクセス
- オープンソース・プログラミング・フレームワーク
- チュートリアルや研究論文などの教育素材
- 量子コンピューティング研究者
- 業界分野や技術に関する専門知識を備えた量子コンピューティング・コンサルタント
- 技術サポート
- 量子コンピューティングの課題に積極的に取り組んでいる協働的なコミュニティ

図3

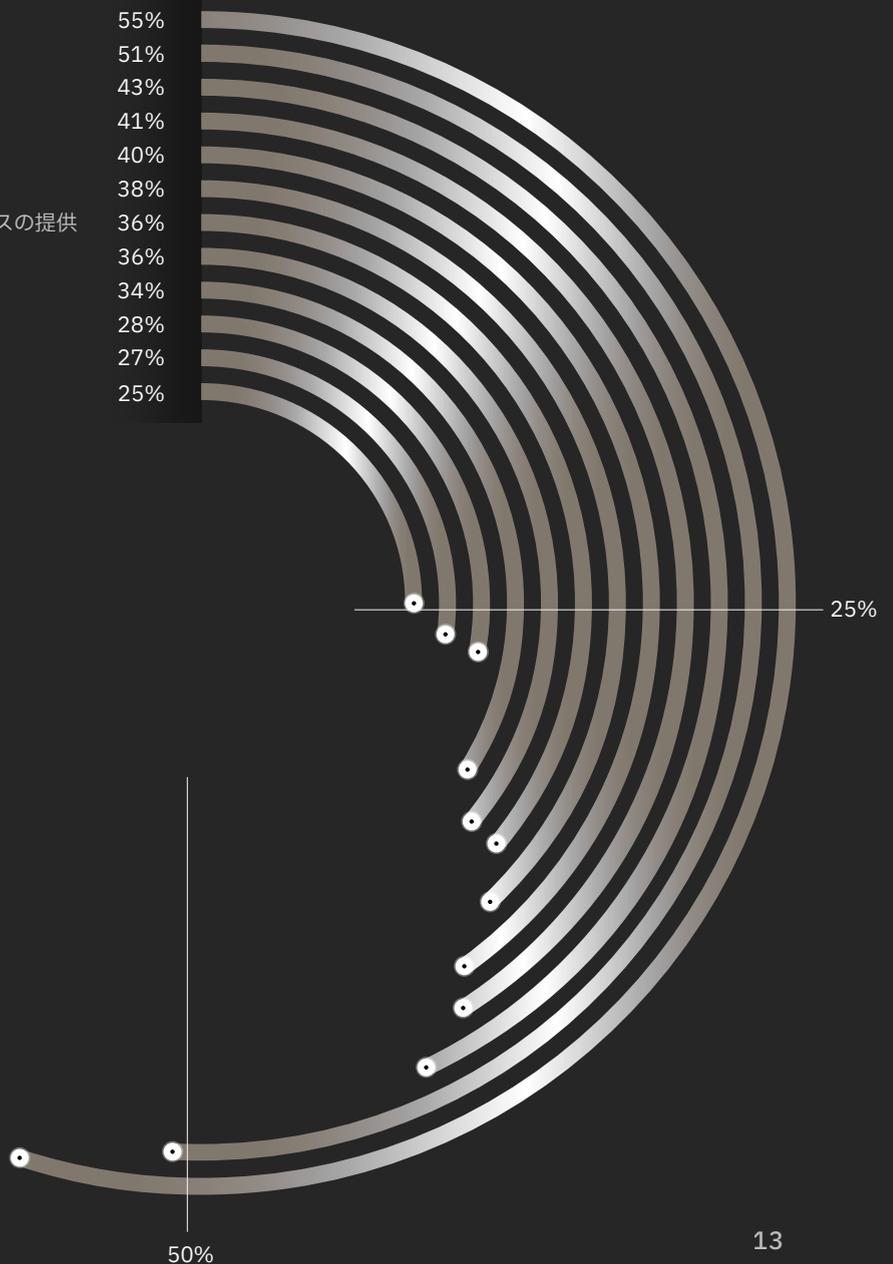
エコシステムの “ウィッシュ（願い事） リスト”

量子技術関連企業に求めていること

量子技術関連企業と連携する上で、回答者が最も重視しているのは、ビジネス価値を理解していることと、円滑に立ち上げられるかどうかということである。併せて、先進的な量子技術研究やハード面にも重きを置いている（図3参照）。

エーオン（E.ON）社のエネルギー・インテリジェンス部門でデータ、アナリティクス、およびIoTの責任者を務める Giorgio Cortiana 博士によると、同社は欧州量子産業コンソーシアム（QuIC）に参加している。同組織は欧州全域における量子技術業界の経済成長と競争力の強化を図り、価値創造を高めることを目指している。¹⁵

| | |
|-------------------------|-----|
| 潜在的なビジネス価値 | 55% |
| 円滑な立ち上がり | 51% |
| 関連ユースケース | 43% |
| 数多くの量子技術研究の実施 | 41% |
| 最先端ハードウェア | 40% |
| 信頼できるフル・サービスの提供 | 38% |
| クラウド基盤上での優れたエクスペリエンスの提供 | 36% |
| 実践的で優れたケース・スタディー | 36% |
| 統合の容易性 | 34% |
| 先行した量子優位性 | 28% |
| 適切なエンゲージメント・モデル | 27% |
| 最大規模の開発者基盤 | 25% |



2. 量子コンピューティングの開発者。オープンソースコードやライブラリーを利用したアプリケーション開発を理解し、量子コンピューティングの実機にアクセスできること。東京エレクトロンの関口博士は、次のように助言する。「全体像をしっかりと示すことができるプロバイダーを探すことだ。現在のプログラミングはハードウェアに非常に依存することにも留意が必要だ。ただ、5年もすれば自動化されるだろう」
3. 学術機関や大学。量子コンピューティングの重要な研究に取り組んでいるほか、同分野で将来的に研究者として採用することも念頭に、若手の専門家を育成していること。

エーオン社は、量子コンピューティングのユースケースについて修士論文を作成できる大学院生とも連携している。同社の Cortiana 博士は「当社は公的助成金の獲得を目指しているほか、IBM と緊密な協力関係をしっかりと築き、それによって社員のスキルアップを図っている」

「全体像をしっかりと示すことができる
プロバイダーを探すことだ。
現在のプログラミングはハードウェアに
非常に依存することにも留意が必要だ。
ただ、5年もすれば自動化されるだろう」

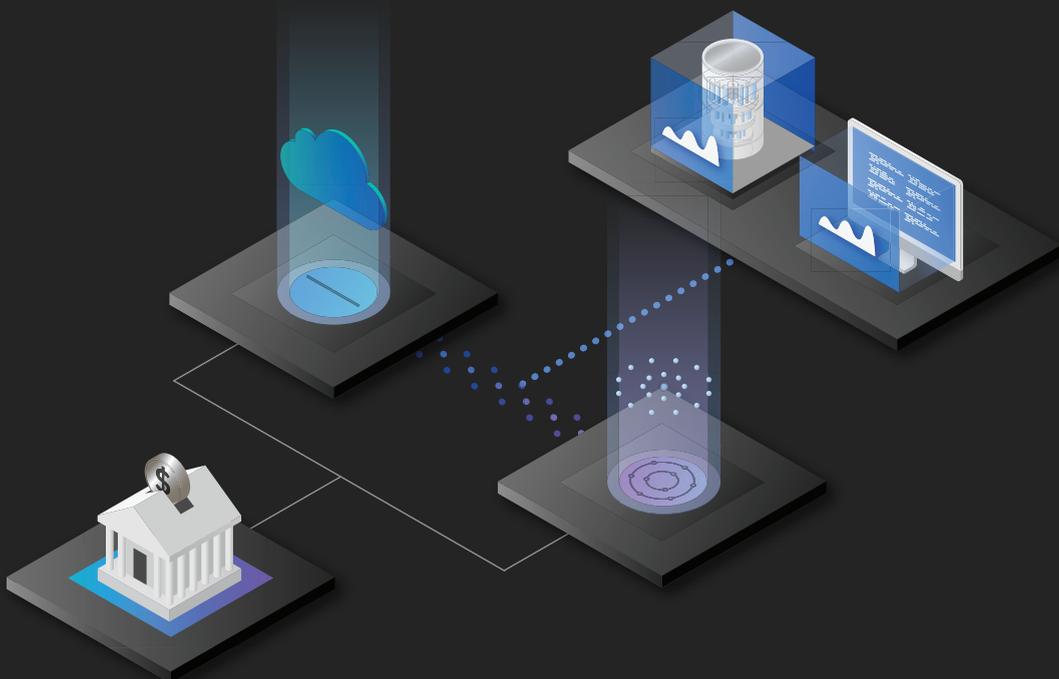
東京エレクトロン
フェロー
関口章久博士

第2章

量子対応に向けた取り組み： 技術革新を軸に据える

量子コンピューティング技術は従来の常識では測れないことが多い。例えば、古典コンピューティングではビットは「0」と「1」のいずれかで表される。ところが、量子コンピューティングでは、量子ビットは同時に複数の状態で存在することができる。¹⁶

だが、量子コンピューティングへの準備そのものは一本道だ。まずは資金が必要となり、相応のスキルがなければ、資金を有効に活用することもできない（この点については次章で詳しく取り上げる）。資金調達とスキルの両方がイノベーションには欠かせないが、組織に求められるのは事業戦略に沿った現実的かつ定量化可能なイノベーションだ。イノベーションの実現のために、手始めに資金調達から取り上げてみよう。



まずは資金調達から 始めよう

量子コンピューティング・プログラム向けに資金を調達しようとする、1つの明らかな課題に直面する。Robert Bosch 社の Thomas Eckl 博士は「量子コンピューティングがどういった問題に有効なのかはよく分かっているが、問題解決に力を発揮するまで、どのくらい時間がかかるのかを正確に見積もることができない」と指摘する。「(量子は) ハードとソフトの両面でさらなる開発が必要となる」ためだ。

それでも、量子コンピューティングの潜在能力は非常に魅力的であり、実用可能性もますます高まってきている。¹⁷ このことから、社内外ともに、資金要請に応えようとする動きが出ている。IBM の調査によると、回答企業全体での量子コンピューティング向け投資額を見ると、中央値は年 360 万ドルに達し、着実に増えている。

では、資金の調達先はどこだろうか。最も多いのは社内 (31%) で、以下、エコシステムおよび技術パートナー (25%)、ベンチャー・キャピタル (23%)、政府の助成 (21%) と続く (図 4 参照)。量子コンピューティング開発と事業戦略との連携が進むにつれ、社内で資金調達の訴求に必要なデータが今後、詳細に得られるようになるだろう。

Eckl 博士は「このような長期プロジェクトには社内経営陣の強力な後押しが必要だ」と話す。「Bosch のケースがまさにそうだ。経営陣は量子コンピューティングの可能性を高く評価し、研究開発を戦略的に支援している」

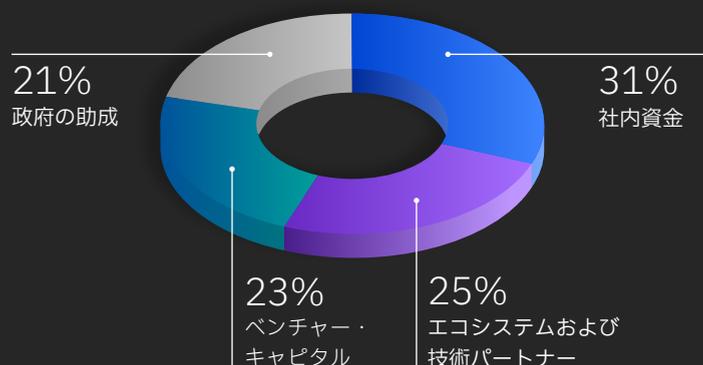
ポイント

- 自社の量子イノベーションに対して必要な役員の支援は得られているか
- 量子プロジェクト向けの資金やリソースを得るに当たって、どのようなプロセスが必要か
- ビジネスでの価値が創出できるか明確でない、リスクの高い長期的な取り組みに関して、どのように投資管理を社内で行っているか
- 自社の戦略的重点分野はどこか。そこに量子コンピューティングをどう活用できるか

図 4

量子関連資金の 調達

社内最大の
資金調達先



AI とクラウドを活用して QRO はイノベーションを推進

量子コンピューティングが最先端技術であることを踏まえると、QRO は全体として非常にアジャイル（俊敏）な技術イノベーターだと言えるだろう。この点は IBM の調査でも裏付けられている。QRO の 10 社中 9 社は「アジリティー（俊敏性）」で、10 社中 7 社が「イノベーション」で、それぞれ同業他社を上回ると考えていることが分かった（図 5 参照）。

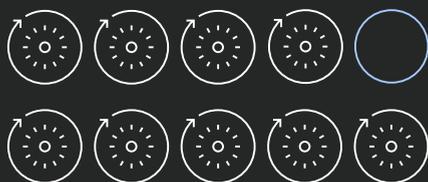
QRO は AI イノベーションにも積極的で、量子対応が最も遅れている組織に比べ、実行している AI の処理量が 48% 多い。また、現在のクラウド投資は今後 10 年にわたって、量子技術活用の準備に大きく影響し続けるが、QRO は現在、ワークロードの 28% をハイブリッドクラウド上で実行している。

クラウド基盤での処理は、同基盤でサービスを行う量子技術関連企業と連携するための土台ともなり得る。例えば、オープンソースのクラウド型量子コンピューティングのエコシステムは、量子コンピューティングへのアクセスをユーザーが扱いやすい規模で提供し、古典・量子の両コンピューティングを比較実験するための手間のかからない「研究室」を提供する。

図 5

QRO を世界の同業他社と 比べた際の優位性

アジリティーとイノベーションで
先行している



10 社中 9 社

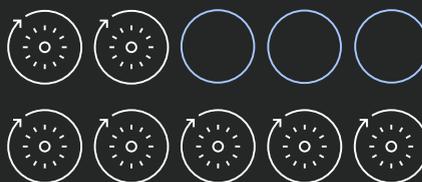
の QRO が
アジリティーで
同業他社を上回る

古典的計算機機能を量子コンピューティングに効果的に拡張するには、古典・量子の両コンピューティングに振り付け（コレオグラフィー）を施す必要がある。つまり、量子コンピューティングの作業を加速する上で最適なサブワークフローを評価する必要があるということだ。

モデルナ（Moderna）社の計算科学担当バイス・プレジデントである Wade Davis 博士は「当社は純粋な量子コンピューティングではなく、ハイブリッド・アプローチをとっている」と語る。「解く問題によって、古典と量子両コンポーネントの比率が 10 対 1 になることもあるだろうし、その逆もあるだろう。こうした見直しは適宜必要になる」

ポイント

- AI 駆動型ワークフローの中で量子コンピューティングが対処できるコンポーネントをどのように特定しているか
- モジュール性に基づいた量子コンピューティングの強化に対応するために、ビジネス・ワークフローはどの程度迅速に変更できるか
- パブリッククラウドとプライベートクラウド、ハイブリッドクラウドのそれぞれで実行している主要なワークフローは何か



10 社中 7 社

の QRO が
イノベーションで
同業他社を上回る

時間をかけ粘り強く： 量子コンピューティングと 事業戦略の連携

量子コンピューティングをはじめ、あらゆるイノベーションに取り組む意味は、企業の事業戦略を推進することにある。実際、CxO は長い時間がかかったとしても、技術革新や実験が最終的に利益を生むことを期待する。

ところが、当社調査では予想とは異なる結果が明らかになった。経営層の回答によると、量子と事業の両戦略の整合性は 28% にとどまっている。経営層が強力な支援を惜まず、明確な量子戦略のビジョンがある組織でさえ、整合性の水準は低い。ただ、量子コンピューティングと事業戦略の完全統合には 13 年かかると回答していることを考えると、こうした結果はさほど驚くことではないのかもしれない。要するに、企業はテクノロジーの進歩に追いつく必要があり、そのためには従来の常識にとらわれない考え方が必要だということだろう。

東京エレクトロンの関口博士は「10 年後には状況は変わっているはずだ」と期待する。「例えば、AI と誤り耐性のある量子コンピューティングの組み合わせを考えてほしい。そのためには次世代の人材を、単なる事実を伝える観察者ではなく、自ら考える人間に育てなければならない」

エーオン社の Giorgio Cortiana 博士は、「事業の現状を理解した上で、今から 5 ～ 10 年後の姿を思い描いてほしい。主要アプリケーションのビジネス面ばかりに時間を費やし、古典的なリソースに固執した場合にどんな危険があるのか、想像力を働かせる必要がある。今こそ新たなビジネスモデルを生み出す機会だ」と創造性の価値について説明する。

しかし、たとえ QRO がエコシステム内で存在感を増し、他社に先んじて量子という画期的テクノロジーを導入し、量子コンピューティングと事業戦略の連携を進めたとしても、両分野の成功には「基盤」が重要な意味を持つ。基盤が不安定であれば、量子コンピューティング戦略がどんなにしっかりしていても、崩壊を免れない。では、量子コンピューティングの未来を最も左右するものとは何か。それは「スキル」である。詳しくは次章で取り上げたい。

ポイント

- 量子コンピューティング戦略を支えるイノベーションをどのように生み出しているか
- 量子コンピューティングがもたらす機会や機能によって、将来の成長や収益をどの程度見込んでいるか
- リスクのあるプロジェクトへの投資について、優先順位をどう決めているか
- 量子コンピューティング能力や価値創造力をどうやって伸ばそうとしているか。自社の力で対応していくのか、あるいは社外のリソースも活用するのか

第3章

対応が急がれる重要課題： スキル・ギャップの解消

驚くべき数字がある。アナリストの予測では、2025年までに量子関連業務の50%以上は人材不足に陥るといふ。そうならないためには、人材プールを大幅に拡充するか、同業務の新規創出がスローダウンすることが必要だが、後者が現実になることはなさそうである。¹⁸

世界経済フォーラムによると、いずれの大陸でも量子コンピューティングのスタートアップが生まれ、数も増加している。同時に量子関連企業の過半数が雇用を拡大している。¹⁹



「3年以内に着手するのでは遅すぎる。
人材とノウハウは奪い合いで、手に入りにくくなるだろう。走行中の列車に飛び乗ることが無理であるように、量子技術開発の急速な流れに途中から飛び込むことは難しい」

エーオン社、エネルギー・インテリジェンス部門
データ、アナリティクスおよびIoT 責任者
Giorgio Cortiana 博士

このジレンマは当社調査でも確認されており、回答者は量子コンピューティング技術の導入を阻む最大の障壁として、スキルを持った人材の不足を挙げている（図6参照）。業種を問わず、高等数学（84%）、量子物理学・量子化学（72%）、量子アルゴリズム（70%）の分野で主に人材が不足すると認識されている。

実際、調査対象の全業種における技術系人材の23%が、今後3年間で量子技術関連の専門知識習得のリスクリング（学び直し）を行うことが見込まれる。リスクリングの取り組みを促進するために、IBMは量子開発者向けのコード開発ツールやライブラリーを作るコミュニティとして「Qiskit」を立ち上げた。量子力学専攻の学生数千人に対するスキル開発も支援しており、IBM Quantum Servicesを通じて、量子コンピューターの実機を使った、20億個以上の量子回路が1日に実行されている。²⁰

図6

課題の克服

量子コンピューティングの
導入障壁は乗り越えられる

| | |
|--------------------|-----|
| 量子スキルを持った人材不足 | 51% |
| 未成熟な量子技術 | 48% |
| 高額な量子ハードウェア | 47% |
| 量子技術の統合の難しさ | 46% |
| 長期に及ぶ量子アプリケーション開発 | 36% |
| 不十分な量子ハードウェアへのアクセス | 34% |
| 不十分な量子エコシステムへのアクセス | 28% |
| ビジネス価値の見極めが困難 | 25% |
| 経営層による支援の欠如 | 18% |



QRO はどのようにして スキル・ギャップを埋めているのか

量子コンピューティングのスキル・ギャップの解消に努め、最終的に実現すれば、量子分野で輝きを放つ、優れた組織をつくり上げることができるだろう。人材確保に苦戦している他の組織とは比較できないほどの高みに達することができる。QRO はスキル・ギャップをよりの確に把握し、従業員のスキル開発や人材育成の取り組みで約 3 倍の効果を発揮しており、すでに上記の予想を証明しつつある。

例えば、最も対応が遅れている組織に比べて、QRO は社内の量子スキル開発で成果を生む可能性が約 5 倍高い。さらに、約 2 倍効果的に、STEM 人材の誘引や学術・研究機関との連携を行える可能性があり、3 倍効果的にインターンシップ制度を活用できる可能性がある（図 7 およびケース・スタディー「IBM Quantum のインターンシップ・プログラム」を参照）。

図 7

強みが併存

人材面における
QRO の優位性

エーオン社の Giorgio Cortiana 博士は、取り組みを開始するタイミングがすべてだと警告する。「組織として知的財産（IP）を生み出すべく、専門性を高める必要がある。3 年以内に着手するのでは遅すぎる。人材とノウハウは奪い合いで、手に入りにくくなるだろう。走行中の列車に飛び乗ることが無理であるように、量子技術開発の急速な流れに途中から飛び込むことは難しい」

約 5 倍
効果的に社内の
量子スキルを向上



約 2 倍
効果的に
STEM 人材を誘引



2 倍以上
効果的に
学術機関と提携



1.5 倍
効果的に
研究機関と提携



約 3 倍
効果的に
インターンシップ
制度を活用



ケース・スタディー

IBM Quantum の インターンシップ・プログラム： 量子コンピューティング人材を 育成する²¹

IBM Quantum は 2020 年から、あらゆるレベルの高等教育機関から 400 人を超えるインターン生を受け入れている。このインターンシップは、学生が量子コンピューティング分野でキャリアを積む上で必要なスキルや人脈、キャリア・パスに関する教育を行っている。実際、インターン生の多くが卒業後、IBM Quantum を含む量子分野で職を得ている。

サマー・インターンシップは特に学びが多い。ソフトウェア開発者やハードウェア・エンジニア、計算科学者の各職能に応じたインターンシップが用意されている。インターン生は IBM Quantum Development Roadmap の作成に多大な貢献を果たし、ひいては量子コンピューティング分野全体の進歩に寄与している。どのインターン生も期間中はメンターの直接指導を受ける。

インターンシップではここ数年、「Qiskit Global Summer School」や、成果をポスターにまとめて発表する「ポスター・セッション」を開催してきた。さらに、IBM フェロー兼 IBM Quantum バイス・プレジデントである Jay Gambetta とのカジュアルな対話セッションもインターン生主催で行った。

ウィスコンシン大学の大学院生 Arian Noori さんは、量子ハードウェア・エンジニアリングのインターン生として、極低温量子ビットの制御伝送回線を最適化し、量子チップへの信号伝送を改善する研究に取り組んだ。今回のインターン体験について次のように話している。

「世界最高レベルの知識を持つ方々と協業し、自分の知見をプロジェクトで共有することに誰もが喜びを感じていた。この機会を通じて、量子コンピューティング・エコシステムの全体像をさらに把握できたとし、この分野で切迫している課題についても理解を深められた」

量子リテラシーを通じた コミュニティと創造性の構築

量子コンピューティング事業のために人材を採用する場合、どのような人材が最適だろうか。第一に、企業が求めているのは量子分野に「高い認識」を持つ候補者だ。この中には、量子コンピューティング概念に関する幅広い理解や、その概念を深掘りし、応用する能力が含まれる。いわゆる量子リテラシーだ。ただし、必ずしも候補者に方程式や理論に関する深い知識は必要ない。²²

IBMの専門家によると、こうした量子リテラシーはリスクリングによって身に付くことが多い。特定分野の専門性を高めるのに十分な量子コンピューティングの知識を学んだり、その分野に量子コンピューティングを取り入れる方法を見いだそうとしたりする場合はこれに当たる。チーム・メンバーには博士号レベルの量子コンピューティングの専門知識は必要ないが、業界や社内のニーズに対する量子コンピューティングの適用可能性を評価できるだけのリテラシーが求められる。²³

東京エレクトロンの関口博士は「(候補者が)活躍するには、工学や科学の基礎をしっかりと身に付けているだけでなく、古典的なAIや機械学習などの経験も必要だ」と指摘する。「そうでなければ、この分野で専門性や能力を高めていくことは非常に難しい」

リテラシーを持つ人材がそろると、少人数のチームを編成して、量子コンピューティングが有用となりそうな課題を特定するための検討ができるようになる。例えば、業界を変えるブレイクスルーや、ワークフローを高速化する手段として利用できるかといったことだ。手始めに、ハイブリッド・ワークフローの大規模プロトタイプ（試作品）を開発し、テストする。それによって、量子コンピューティングが事業やシステム成熟度にどう影響するのかを理解し、学習や成長、革新的な思考のための機会として活かすことができる。

チーム・メンバーには必ずしも博士号レベルの
量子コンピューティングの専門知識は必要ないが、
業界や社内のニーズに対する量子コンピューティングの
適用可能性を評価できるだけのリテラシーが求められる。

実践的な スキルの不足

第二に、実践的な研究スキルを備えた候補者の方が選考では有利だ。²⁴「当社が必要としているのは、入社してすぐ量子アプリケーションに取り組める即戦力だ」とモデルナ社の Wade Davis 博士は話す。しかし、IBM のある業界専門家は 2021 年のインタビューで、量子コンピューティングに関する高度なスキルを持つ人材は現在 3,000 人程度しか存在しないとの試算を示しており、今後この数を 2 倍、3 倍に増やすことが必要だ。²⁵

こうした高度専門スキルを備えた人材の獲得は非常に難しい。特に、大学やスタートアップ、ベンダーとの人材獲得競争は厳しさを増している。「誰もが量子技術研究者を欲しがっている」と東京エレクトロンの関口博士は語る。この「人材枯渇」を背景に、優秀な量子チームを抱える既存のエコシステムは、連携先としての魅力を高める可能性がある。

Davis 博士は「(候補者に) 量子物理学や量子化学の経験があっても、量子コンピューティングは未経験というケースもあるだろう。量子関連の経験があるからといって、適格者とは限らない」と指摘する。

「(候補者に) 量子物理学や量子化学の
経験があっても、量子コンピューティングは
未経験というケースもあるだろう。
量子関連の経験があるからといって、
適格者とは限らない」

モデルナ社
計算科学担当バイス・プレジデント
Wade Davis 博士

量子技術開発の終着点： 量子を「知る」から 「意識しない」へ

皮肉な話を伝えたい。ここまで「量子リテラシーや量子認識を高めるべきであり、実践的な量子コンピューティング・スキルの向上も当然、必要だ」と説明してきた。引き続きこうした課題への取り組みは欠かせない。だが、少なくともエンド・ユーザーは、ゆくゆくは量子技術の存在を意識しなくなるだろう。

Robert Bosch 社の Eckl 博士は「人々は今後も問題解決のために何らかのツールを使用するだろうが、どの部分が量子技術で、どの部分が古典コンピューティングを使っているのかなど、誰も気にしなくなる」と予測している。「エンド・ユーザーが量子次元にすら気づかないところまで、内部でコンポーネントを融合させるのがワークフロー設計者の仕事だ」

個々のユーザーと組織の双方にそうしたシームレスな環境を実現する上で、量子技術とその多様なメリットを活用するには入念に構築されたスキル基盤が必要となる。

こうした専門スキルを持った人材の確保は引き続き、量子コンピューティングへの準備を進めていく上で最大の課題となる。

ポイント

- 量子技術および AI 関連のスキルのうち、社外連携やリスキリングを通じて獲得・開発・アクセスする部分はどこか
- 量子・古典のハイブリッド・ワークフローについて初期プロトタイプ統合を支援するために、どのような人材戦略を立てているか
- 量子ソリューションを既存システムに統合するのか、新規アプリケーションを設計するのかについて、複数の役割ごとに検討を行っているか
- 量子・AI 分野の進歩に着実に対応していくために、両分野のスキルを持った人材を継続的に育成する計画はあるか

「人々は今後も問題解決のために何らかのツールを利用するだろうが、どの部分が量子技術で、どの部分が古典コンピューティングを使っているのかなど、誰も気にしなくなる」

Robert Bosch 社
計算材料設計担当チーフ・エキスパート
Thomas Eckl 博士

量子技術の実ビジネス活用促進

以下に示すアクション・ガイドは、量子研究に着手したばかりの組織にも、すでに量子ビットなどの実験を進めている組織にも有効である。これらは組織的に準備を進める上で不備の解消に役立つはずだ。QRO であっても、量子技術を実ビジネスで活用するための準備を一段と加速させることが可能だ。そのためには引き続き、戦略の精緻化に努めたり、オペレーションを最適化したりするほか、技術能力の向上を図ることが必要だ。

01

オペレーション

- **イノベーションのロードマップを評価する**
先端技術の資金調達につながるイノベーション・プロセスを構築する。研究開発予算のどの程度を量子コンピューティングへ割り当てるかを検討する。
- **人材戦略を策定し、それに沿って取り組みを進める**
量子リテラシーを備えた従業員とマネージャーを育成する。現従業員のスキルセットを強化すると同時に、量子技術関連の専門家を自組織またはエコシステムに呼び込むためのアプローチを具体化する。
- **量子技術に関する習熟度を高め続ける**
技術チームに、プロトタイプの継続的な作成指導を通じた、量子アルゴリズムの実践的アプリケーションの経験学習を提供する。既存スタッフが高度なトレーニングを受け、量子コンピューティングへの適用可能性が向上するほど、新たな人材を呼び込む上で組織の魅力が高まる。
- **エコシステムを立ち上げる、もしくは参加する**
量子エコシステムや業界のワーキング・グループ、政府、大学との連携を強化する。パートナーシップを成功させるためには、組織の実績、エンゲージメント・モデル、ロードマップを考慮することが必要である。

エーオン社の Giorgio Cortiana 博士は「他組織との関係づくりやエコシステム構築には非常に長い時間がかかる。量子技術分野は極めて広大であり、1つの業界だけで発展させるには無理がある。シナジーを高め、相互に連携することが成功には欠かせない」と述べている。
- **責任を共有する**
量子技術導入のロードマップをイノベーション・アジェンダに統合し、事業・技術両部門の経営層が共同で責任を負う体制をつくる。
- **アジャイルなイノベーションに投資する**
研究開発を加速させるため、構想から統合に至るまでワークフローを見直す。イノベーションを推進する上で、リスクを積極的に取るよう促し、成果に対して適切に処遇する。

02

戦略

- **量子コンピューティングがビジネスに及ぼし得る影響について最新情報を入手する**
市場情報の収集・分析に量子コンピューティング関連の情報を取り込み、進展状況を継続的にモニターする。それによって、量子コンピューティングのイノベーションを通じて業界に新たな変化が起こる可能性を見極める（当社発行の「The Quantum Decade」を未読の方は、まずこちらをご覧くださいいただくことをお薦めする）。
- **取り組みを阻む要因を把握する**
業界にとって困難な障壁が何かを明確にする。次に仮説を立て、そうした障壁に量子技術を活用して新たなビジネスをもたらすことができるユースケースを特定する。
- **技術・事業両部門の責任者同士の対話を促進する**
経営層によると、量子戦略と事業戦略の整合性は28%しかない。事業部門のリーダーから量子ビジョンへの理解を得るために、「量子技術への投資は高リスクだが、長期的にメリットが大きい」ことを示す。
- **長期展望に立って備えを進める**
量子コンピューティングのタイム・トゥー・バリュー（価値を実感できるまでの時間）を認識し、それに応じて投資やリスク、期待価値を設定する。

03

テクノロジー

- **高度な古典コンピューティング技術を活用する**
AIやハイブリッドクラウド、その他先進的な計算モデルを組み合わせることで、量子コンピューティングにより対処できるワークフローのサポートを強化できる。
- **量子コンピューティングの取り組みにクラウドを活用する**
量子・古典ワークロードの連携と相互運用を可能にするハイブリッドクラウド・アーキテクチャーを構築する。量子コンピューティングに最適なワークフロー・サブセクションを特定する。
- **量子と古典を併用するアプローチを試みる**
量子・古典の両コンピューティングを組み合わせることで活用する。量子技術のために必要な古典技術があること、量子・古典の両アプローチは相互に異なる半面、補完し合う関係にあることを理解する。
- **技術ギャップを特定し、解消する**
ユースケースを選び、既存の量子アルゴリズムの応用を試みる。ビジョンを発展させ、仮説を検証するために共同モデルを構築する。
- **実験とイテレーション（短期の開発サイクル）を繰り返す**
アジャイル開発の手法を取り入れて、研究開発の高速化と反復型ソリューションの設計を実現する。DevSecOps フレームワークを構築し、量子コンピューティングのアプリケーションについて構築からテスト、展開、更新までを行う。戦略と実験を継続的に精緻化する。

監訳にあたって日本チームからのメッセージ

～日本市場における量子コンピューティング技術の実ビジネスでの活用に向けて～

量子コンピューティングは、日々、技術革新が進み、さらなる発展や実用化に向け、ビジネスへの適用検証や業界を超えたエコシステム形成による市場創出の取り組みが活発化している。今後、量子コンピューターの性能向上や利用機会の拡大が期待される中、各業界におけるテクノロジーの特性を理解した上での実問題（ユースケース）探求と実装に関する取り組みは、科学的進歩との相乗効果により、社会的にインパクトのある価値を創出する可能性を飛躍的に広げていくだろう。しかし、テクノロジー単体では、新しい市場創出やビジネス成果につながる真のイノベーションは生まれない。社会や企業の実在意義や問題が時代とともに変化する中、先進テクノロジーのもたらす価値や脅威を正しく理解し、自社のビジネス戦略に結合させて自己変革を続けることが重要である。

本レポートにて世界的なモデル・ケースとして紹介してきたように、日本でも数多くの先進的な取り組み（以下参照）が進んでいる。特に、日本市場で我々が直面し、この1、2年で見られる注目すべき点は、製造や金融を中心に業界・企業が、技術動向の探索のフェーズから、自社にとって重要なユースケースの見極めや技術検証へとフェーズを進め、市場の潮流が変化していることである。

- ① 業界のコア・コンピタンスに直結する明確なユースケースに対して、研究開発の観点で技術検証を推進する（例：金融業界、化学業界）
- ② 量子コンピューティング技術の動向把握を足掛かりに、自社固有の事業課題・技術課題を洗い出し、量子コンピューティングでの解決可能性を机上評価し、特に重要と判断される課題に関して量子コンピューティング技術検証を推進する（例：自動車を中心とした製造業等）
- ③ 量子コンピューターの実機を設置し、産官学ハブとして取り組みを推進する（例：研究機関）

日本においても我々は、さまざまな業界・企業における取り組み・変革の伴走をしている。取り組みの初期段階にある日本の企業からは「なぜ今から本腰を入れて取り組むべきなのか」という主旨の質問をもらうケースもある。しかし我々との会話を通じ、以下に見られる重要観点に気づくと、量子コンピューティング技術活用への取り組みを着手・本格化される企業が数多くある。

- 量子コンピューティング技術における技術獲得（オープン/クローズ）の差に関する観点。量子アプリケーションは汎用化されない。企業固有でのユースケース開発・知財の専有化が進み、最初にユースケースを確立した組織が差別化した技術を確認し、多数のメリットを享受する「勝者総取り」の図式が成立する
- 特に、日本市場固有の特徴として、コア・コンピタンスの源泉がテクノロジーにある R&D 型の製造業や研究機関が多く、その大半は自社で長年開発した基盤技術を有する。現在の計算技術が直面する速度・精度・リソースなどの課題の解決可能性を高める技術は、事業戦略/技術戦略の中でも重要と位置付けられており、量子コンピューティングはそのコア要素となり得る

また、「どのように取り組みを推進するのか」という点も、量子コンピューティング技術活用の中で重要な観点と位置付けられる。

欧米のような海外企業と比較した際の日本企業固有の特徴として、量子コンピューティング技術も含めた先進テクノロジーへの一定規模以上の投資に際し、経営的観点から取り組みの意義や自社事業領域への将来的な展開による価値を初期段階から明確化することが重視されている。

そのため日本では、戦略（競合・市場環境を踏まえた経営課題の特定、経営／事業／技術の各戦略と投資計画の策定）とビジネス（業務・組織・人材：日本の業界・顧客ごとに事業部門を巻き込んだ業務課題の特定、あるべき将来像定義、実現計画策定）を明確化した上で、具体的な技術投資の実行を伴走するアプローチを提供しており、多くの業界・企業から高く評価されている。

また日本においては、以下に示すアプローチ例、動向把握を足掛かりに自社固有の事業・技術課題を洗い出し、量子コンピューティングでの解決可能性を評価した上で、特に重要と判断される課題に関して技術検証を推進する戦略俯瞰から意思決定につなげていくことの期待や重要性も高まっている。

- I. 技術動向や業界へのインパクト（機会・脅威）の把握
- II. 有効な事業機会と有望ユースケース領域の把握
- III. 実機を用いた課題解決の可能性や優位性の検証
- IV. 事業戦略ロードマップへの組み込みや実行施策の設定
- V. 顧客の事業領域におけるユースケースの共同開発

監訳に際しての日本チームからの結びとして、IBMは量子コンピューティングや半導体、AIなど、テクノロジー企業として培った世界最先端の知見を有している。日本においても、量子技術を含めた先進テクノロジーのバックグラウンドを持つ戦略コンサルタントが中心となって、テクノロジー起点のイノベーション創出を常実践している。量子コンピューティング技術の革新に当事者として取り組んでいることに加え、お客様の経営的視点に立って、これらの活きた知識と経験から得られた示唆に基づき、テクノロジーの専門家や業界エキスパートと有機的に連携し、先進テクノロジーを活用したビジネス変革、イノベーション創造、実行性の高い競争戦略を策定して、その実現を牽引している。最新の調査と知見に基づき執筆した本レポートを、量子コンピューティング技術活用に向けた取り組みを推進する一助としていただければ幸甚である。

調査方法

「IBM Institute for Business Value (IBM IBV)」は、オックスフォード・エコノミクス (Oxford Economics) 社の協力を得て、テクノロジーおよびイノベーション戦略に主な責任を有する最高責任者 (チーフ・オフィサー、CxO) 565 人にインタビューを実施した。うち 100 人以上は社内の量子コンピューティング戦略の主要責任者だった。

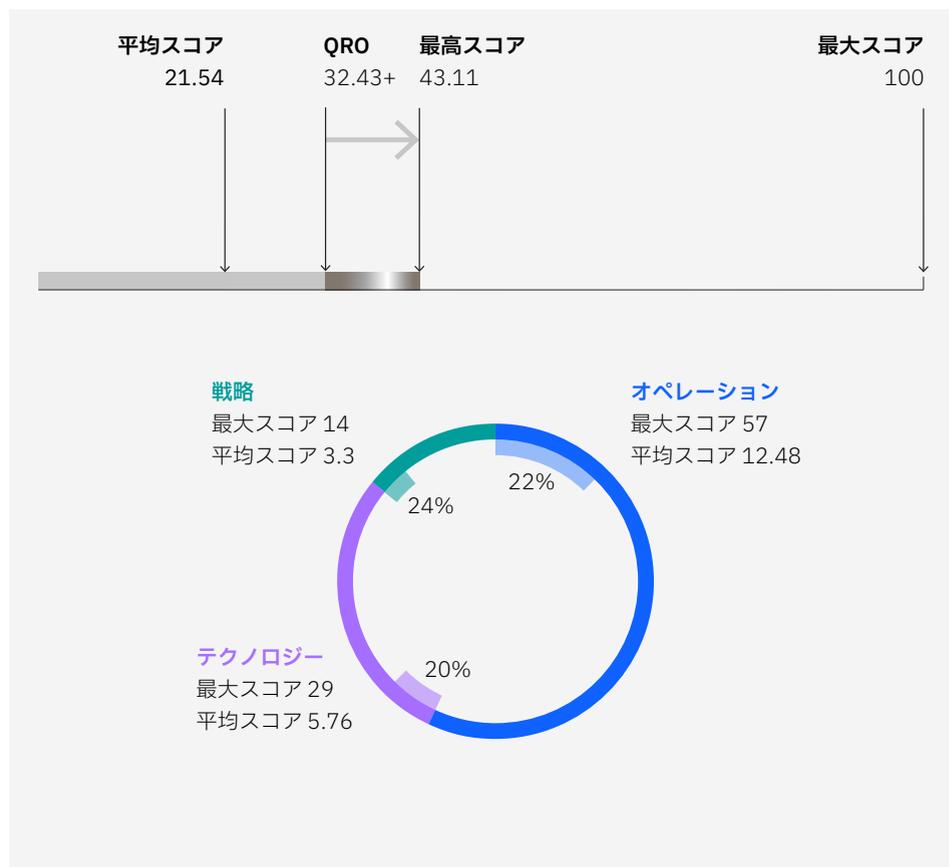
調査では、各国の多様な取り組みや方針が量子コンピューティングへの対応を準備する上で、どのように影響しているかを検討するため、世界全体に偏りがないう、地域を代表する 15 カ国を選んだ。同様に、調査対象の 13 業種は、量子コンピューティング活動や投資行動、エコシステムとの連携の観点から選定している。

総じて、量子コンピューティングの実ビジネス活用に向けた準備状況を示す「Quantum Readiness Index (QRI)」スコアは、すべての業種・地域において低い水準にあり、100 ポイント満点中 22 ポイントである (図 8 参照)。なお、QRI はオペレーションやテクノロジー、戦略に関わる 45 の指標から算出している (図 9 参照)。

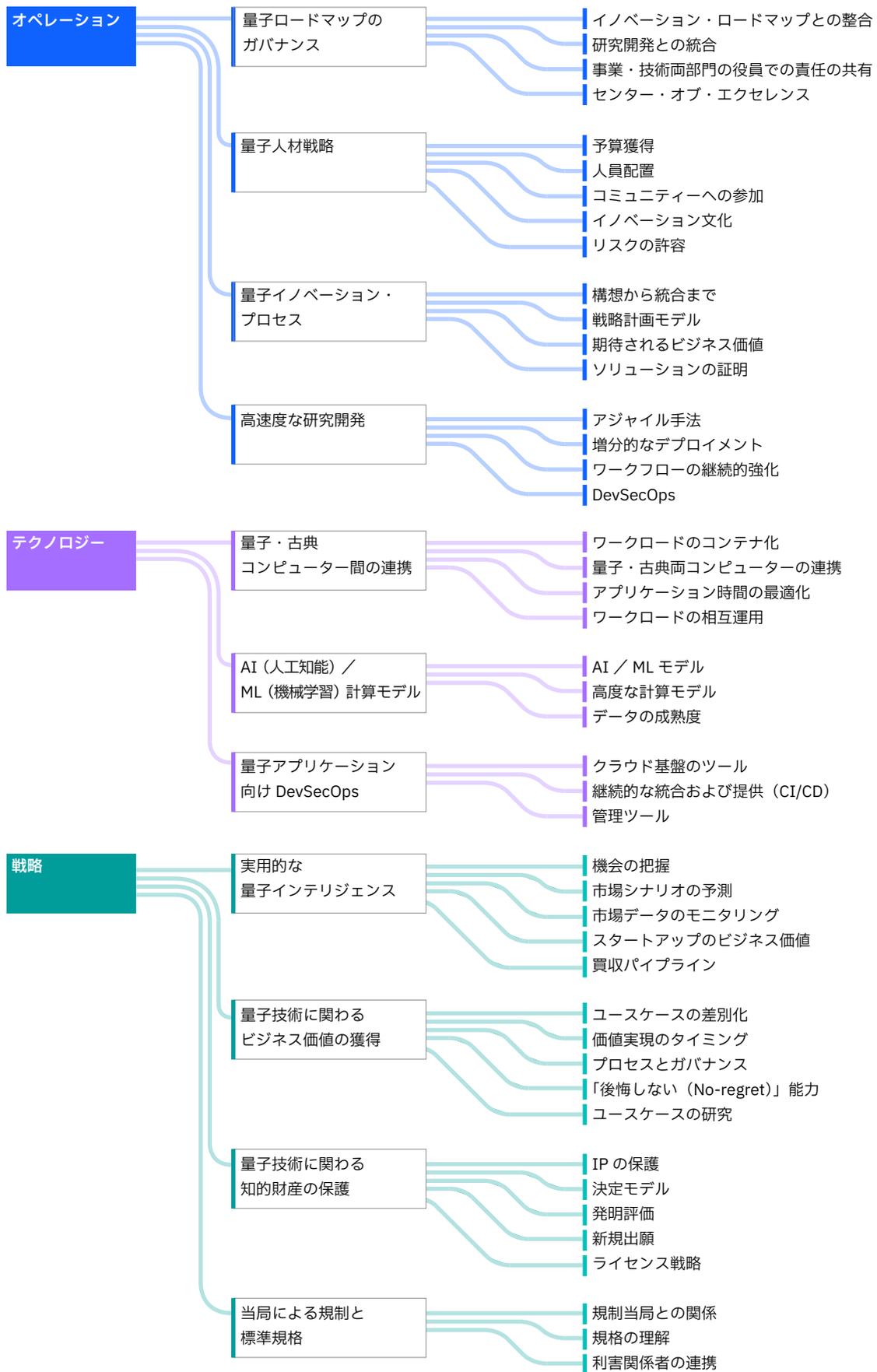
図 8

QRI の結果

準備状況は
全指標にわたって低い



QRI



著者



Heather Higgins

Partner
IBM Quantum Industry & Technical Services
(IBM Quantum Industry & Technical Services,
パートナー)
hhiggs@us.ibm.com
<https://www.linkedin.com/in/heatherhiggs/>

Heather Higgins は成長志向の起業家精神を持ち、発想力に満ちた IBM のパートナーである。現在は、グローバルな量子関連業界を担当するワールドクラスのチームの責任者を務めるほか、技術専門家を率いて、量子技術の商業利用について評価・導入を進める先駆的企業と連携している。IBM に 30 年在籍し、ビジネスと先端技術の双方に高度な専門性を有する。さらに、クライアント企業に対してテクノロジーの導入による価値創造の支援実績も持つ。

Gaylen Bennett

Strategy Consultant
IBM Quantum Industry & Technical Services
(IBM Quantum Industry & Technical Services,
戦略コンサルタント)
pryorg@us.ibm.com
<https://www.linkedin.com/in/gaylen-bennett-2291545/>

Gaylen Bennett は IBM Quantum Industry & Technical Services で、IBM Quantum Accelerator のオファリング・マネージャーを務める。IBM Quantum のサービス戦略およびオファリングの責任者であり、お客様や IBM の社内組織にビジネス成果をもたらす手法を開発し、提供している。

Veena Pureswaran

Research Director
IBM Institute for Business Value
(IBM Institute for Business Value,
リサーチ・ディレクター)
vpures@us.ibm.com
<https://www.linkedin.com/in/veenapureswaran/>

Veena Pureswaran は「IBM Institute for Business Value」のリサーチ・ディレクターであり、量子コンピューティングおよび新規技術担当のグローバル・リーダーも兼務している。これまでに、半導体製品開発やテクノロジー戦略、イノベーション管理のリーダーを務めた経験を有する。リサーチの成果を通じて、電機から金融に至る業界のクライアント 50 社超を支援してきた。このほか、アジアや欧州、北米で開催された 40 カ所以上の主要カンファレンスでの講演実績を持つ。



西林泰如

パートナー 兼 Quantum Industry & Technical Services Japan Lead
先進テクノロジー事業戦略コンサルティング

経営層アジェンダに対するビジネス戦略と先進テクノロジー融合のイノベーション創造と実行に強みを持つ。総合電機 R&D・戦略企画、米国系戦略コンサルティングファーム・グローバル戦略グループを経て、IBM へ参画。IBM では、理事・パートナーとして、先進テクノロジー（量子、耐量子暗号セキュリティ、AI、半導体等）に関わる戦略コンサルティング組織（Advanced Technology Business）のリーダーを務め、量子コンピューター専門組織（Quantum Industry & Technical Services）のリーダーを兼任する。米国、シンガポール等で6年超の駐在経験あり。工学修士（MEng）および経営管理修士（MBA）。

橋本光弘

アソシエイト・パートナー 兼 IBM Quantum Ambassador Japan Lead
先進テクノロジー事業戦略コンサルティング

日本学術振興会特別研究員（DC1）、国内大手総合電機メーカー研究員（中央研究所、米国研究所他）としてストレージ・デバイスの研究開発に従事。その後、米国系戦略コンサルティング・ファームおよび IBM にて、電機・化学・機械・金融業界のコンサルティング・プロジェクトに参画。専門領域は全社経営改革、M&A / PMI、IT / DX 戦略策定・変革推進、オペレーション改革。近年は、特に量子コンピューター・IoT・AI などのテクノロジーを活用した新規事業戦略策定、営業 / IT 領域のオペレーション改革、大規模 M&A / PMI 案件を多数手掛けている。博士（工学）。

櫻井亮

シニア・コンサルタント
先進テクノロジー事業戦略コンサルティング

自動車や製造業を中心に、量子技術（量子コンピューティング、耐量子暗号対応など）に代表される先進テクノロジーを活用した事業戦略策定および新規事業構想・開発のプロジェクトを、プロジェクト・マネージャーとして多数経験。特に、クライアントとの量子コンピューティング・アプリケーションの共同検討成果を国際学会（SC23）に査読付きで投稿の実績も有し、先進テクノロジーの正しい技術理解に基づくクライアント視点での事業開発を強みとする。また、IBM Quantum Ambassador として、量子技術を中心とする先進テクノロジーに関する社外向け講演活動についても豊富な経験を持つ。

竹折光晴

Principal Quantum Computational Scientist, Certified Expert Data Scientist, Quantum Industry & Technical Services Japan Tech Lead
IBM Research

国内大手鉄鋼グループの研究開発部門で数理・数値解析、数理最適化、CAE 分野における研究開発を担当した後、IBM に参画。現在は、IBM Research が直轄する量子コンピューター技術を専門とするグローバル部門に属し、日本の技術チームのリーダーとして活動している。特に、量子最適化、量子機械学習および量子 CAE を活用し、実際のビジネスや産業問題の解決に向けたグローバル・プロジェクトを指揮・推進している。

Research Insights について

Research Insights は企業経営者の方々に、各業界の重要課題および業界を超えた課題に関して、事実に基づく戦略的な洞察をご提供するものです。この洞察は、IBV の一次調査研究を分析して得られた結果に基づいています。詳細については、IBM Institute for Business Value (iibv@us.ibm.com) までお問い合わせください。

変化する世界に対応するためのパートナー

IBM はお客様と協力して、ビジネス・インサイト、高度な研究成果、およびテクノロジーの専門知識を組み合わせることにより、急速に変化し続ける今日の環境における卓越した優位性の確立を可能にします。

協力者

本調査に貴重なインサイト、専門知識、支援を提供していただいた以下の諸氏に感謝の意を表す。

Steve Ballou、Genya Crossman、Raja Hebbar、Bradley Holt、Kirsten Main、Kathy Martin、Heba Nashaat、Gerry Parham、Lily Patel、Lucy Sieger、Anne Marie Lowin Weber

IBM Institute for Business Value

IBM コンサルティングの IBM Institute for Business Value は企業経営者の方々に、各業界の重要課題および業界を超えた課題に関して、事実に基づく戦略的な洞察をご提供しています。

詳細について

IBM Institute for Business Value (IBV) の調査結果の詳細については iibv@us.ibm.com までご連絡ください。IBV の X [旧 Twitter] は @IBMIBV からフォローいただけます。発行レポートの一覧または月刊ニュースレターの購読をご希望の場合は、ibm.com/ibv よりお申し込みください。

関連レポート

The Quantum Decade

The Quantum Decade: A playbook for achieving awareness, readiness, and advantage. Fourth edition. IBM Institute for Business Value. December 2023. 邦訳「The Quantum Decade 第四版（翻訳版）予告編：Quantum Advantage への旅が、あなたを待っている」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-decade>

Security in the quantum computing era

Security in the quantum computing era: The risk is real, the need is now.

IBM Institute for Business Value. May 2023. 邦訳「来るべき量子コンピューティングの時代におけるセキュリティの要諦」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-safe-encryption>

The CEO Global C-suite Study

CEO decision-making in the age of AI: Act with intention.

IBM Institute for Business Value. June 2023. 邦訳「AI 時代の到来で変わる CEO の意思決定」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/c-suite-study/ceo>

- 1 Kaku, Michio. Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution Will Change Everything. Doubleday: New York, 2023.
- 2 The Quantum Decade. IBM Institute for Business Value. November 2022. 邦訳「The Quantum Decade 第四版（翻訳版）予告編：Quantum Advantage への旅が、あなたを待っている」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-decade>
- 3 “Quantum Computing Market by Offering, Deployment (on-Premises and Cloud), Application (Optimization, Simulation, Machine Learning), Technology (Trapped Ions, Quantum Annealing, Superconducting Qubits), End User and Region- Global Forecast to 2028.” Research and Markets. March 2023. https://www.researchandmarkets.com/reports/5749398/quantum-computing-market-offering-deployment?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=n67mlx&utm_campaign=1831101+++Quantum+Computing+Market+Report+2023%3a+Rising+Adoption+of+Quantum+Computing+Technology+in+Various+Industries+and+Sectors+Bolsters+Growth&utm_exec=como322prd
- 4 Langjone, Matt, et al. “Quantum Computing is Becoming Business Ready.” May 4, 2023. Boston Consulting Group (BCG). <https://www.bcg.com/publications/2023/enterprise-grade-quantum-computing-almost-ready>
- 5 Quantum States: A comparison of National Quantum Strategies. Oxford Insights. 2023. https://static1.squarespace.com/static/58b2e92c1e5b6c828058484e/t/64956d2f80454d64ef15920a/1687514428771/Final+V1+Quantum+States_+A+comparison+of+National+Quantum+Strategies+%281%29.pdf
- 6 “IBM and the University of Tokyo Unveil the Quantum Innovation Initiative Consortium to Accelerate Japan’s Quantum Research and Development Leadership.” IBM Newsroom. July 30, 2020. <https://newsroom.ibm.com/2020-07-30-IBM-and-the-University-of-Tokyo-Unveil-the-Quantum-Innovation-Initiative-Consortium-to-Accelerate-Japans-Quantum-Research-and-Development-Leadership>
- 7 Potter, John. “Japan Invests \$30M in Quantum Cloud Computing for Industry.” Enter Quantum. April 18, 2023. <https://www.quantumbusinessnews.com/infrastructure/japan-invests-30m-in-quantum-cloud-computing-for-industry>
- 8 “IBM Launches \$100 Million Partnership with Global Universities to Develop Novel Technologies Towards a 100,000-Qubit Quantum-Centric Supercomputer.” IBM Newsroom. May 21, 2023. <https://newsroom.ibm.com/2023-05-21-IBM-Launches-100-Million-Partnership-with-Global-Universities-to-Develop-Novel-Technologies-Towards-a-100,000-Qubit-Quantum-Centric-Supercomputer>
- 9 “Fujitsu and RIKEN develop superconducting quantum computer at the RIKEN RQC-Fujitsu Collaboration Center, paving the way for platform for hybrid quantum computing.” Fujitsu. October 5, 2023. <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2023/1005-01.html>
- 10 Basu, Saugata et al. “Towards quantum-enabled cell-centric therapeutics.” Cornell University arXiv platform. August 1, 2023. <https://arxiv.org/abs/2307.05734>
- 11 Scannell, Jack W., et al. “Diagnosing the decline in pharmaceutical R&D efficiency.” Nature Reviews Drug Discovery. March 1, 2012. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22378269/>
- 12 The Quantum Decade. IBM Institute for Business Value. November 2022. 邦訳「The Quantum Decade 第四版（翻訳版）予告編：Quantum Advantage への旅が、あなたを待っている」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-decade>
- 13 “IBM Quantum Network: A worldwide collective shaping the future of quantum computing.” IBM Quantum. 2023年11月3日閲覧。 <https://www.ibm.com/quantum/network>
- 14 The Quantum Decade. IBM Institute for Business Value. November 2022. 邦訳「The Quantum Decade 第四版（翻訳版）予告編：Quantum Advantage への旅が、あなたを待っている」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-decade>
- 15 European Quantum Industry Consortium. euroquic.org. 2023年11月3日閲覧。 <https://www.euroquic.org/>
- 16 The Quantum Decade. IBM Institute for Business Value. November 2022. 邦訳「The Quantum Decade 第四版（翻訳版）予告編：Quantum Advantage への旅が、あなたを待っている」<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/jp-ja/report/quantum-decade>
- 17 “IBM Quantum Computer Demonstrates Next Step Towards Moving Beyond Classical Supercomputing.” IBM Newsroom. June 14, 2023. <https://newsroom.ibm.com/2023-06-14-IBM-Quantum-Computer-Demonstrates-Next-Step-Towards-Moving-Beyond-Classical-Supercomputing>
- 18 “What is quantum computing?” McKinsey and Company. May 1, 2023. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-quantum-computing>
- 19 State of Quantum Computing: Building a Quantum Economy. World Economic Forum. Insight Report. September 2022. <https://www.weforum.org/publications/state-of-quantum-computing-building-a-quantum-economy/>
- 20 IBM 社内情報に基づく。
- 21 “Applications are now open to intern with IBM Quantum for summer 2024.” IBM Research Blog. 2023年11月3日閲覧。 <https://research.ibm.com/blog/2024-quantum-internships>
- 22 Shein, Esther. “A more quantum-literate workforce is needed.” TechRepublic. November 18, 2020. <https://www.techrepublic.com/article/a-more-quantum-literate-workforce-is-needed/>
- 23 社内インタビュー。
- 24 Shein, Esther. “A more quantum-literate workforce is needed.” TechRepublic. November 18, 2020. <https://www.techrepublic.com/article/a-more-quantum-literate-workforce-is-needed/>
- 25 社内インタビュー。

© Copyright IBM Corporation 2023

IBM Corporation
New Orchard Road
Armonk, NY 10504

Produced in the United States of America | December 2023

IBM、IBM ロゴ、ibm.com、Watson は、世界の多くの国で登録された International Business Machines Corporation の商標です。他の製品名およびサービス名等は、それぞれ IBM または各社の商標である場合があります。現時点での IBM の商標リストについては www.ibm.com/legal/copytrade.shtml (US) をご覧ください。

本書の情報は最初の発行日の時点で得られるものであり、予告なしに変更される場合があります。すべての製品が、IBM が営業を行っているすべての国において利用可能なわけではありません。

本書に掲載されている情報は特定物として現存するままの状態を提供され、第三者の権利の不侵害の保証、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任なしで提供されています。IBM 製品は、IBM 所定の契約書の条項に基づき保証されます。

本レポートは、一般的なガイダンスの提供のみを目的としており、詳細な調査や専門的な判断の実行の代用とされることを意図したものではありません。IBM は、本書を信頼した結果として組織または個人が被ったいかなる損失についても、一切責任を負わないものとします。

本レポートの中で使用されているデータは、第三者のソースから得られている場合があり、IBM はかかるデータに対する独自の検証、妥当性確認、または監査は行っていません。かかるデータを使用して得られた結果は「そのままの状態」で提供されており、IBM は明示的にも黙示的にも、それを明言したり保証したりするものではありません。

本書は英語版「Make quantum readiness real - Driving business utility with ecosystems, innovation, and talent」の日本語訳として提供されるものです。

