



## 量子時代の要衝を築く

「エコシステム」への参画がもたらす果実とは

## 日本語翻訳監修

### 橋本光弘

日本アイ・ピー・エム株式会社 戦略コンサルティング  
& デザイン統括 マネージング・コンサルタント

IBM Q Ambassador

日本学術振興会特別研究員 (DC1)、国内大手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、米系戦略コンサルティング・ファームおよび IBM にて、電機・機械・エネルギー・金融業界のコンサルティング・プロジェクトに参画。専門領域は全社戦略 (中期経営計画、ポートフォリオ戦略、シナリオ・プランニング)、新規事業戦略、M&A (ビジネス・デューデリジェンス、PMI)、オペレーション改革、組織再編。近年は特に IoT・AI・ブロックチェーン等のテクノロジーを活用した新規事業戦略策定やオペレーション改革をテーマにしたプロジェクトを多数手掛けている。博士 (工学)。  
連絡先: [hashimit@jp.ibm.com](mailto:hashimit@jp.ibm.com)

### 西林泰如

日本アイ・ピー・エム株式会社 戦略コンサルティング  
& デザイン統括 シニア・マネージング・コンサルタント

IBM Q Ambassador

総合電機メーカー、米系戦略コンサルティング・ファームを経て、IBM に参画。専門はビジネス・テクノロジー両輪に関する、経営企画・経営戦略、事業開発・事業戦略、提携・投資 / M&A、海外進出 (米国シリコンバレー、シンガポール等での海外駐在経験)、情報通信・インターネット技術 (日米 120 件を超える特許の筆頭発明者)。IBM では、Global Digital Strategy Group に所属。IBM がリードする破壊的テクノロジーによる革新をテーマに、経営戦略・事業戦略、デジタル戦略、オペレーション戦略、組織チェンジ・マネージメント、テクノロジー・データ戦略の戦略業務に従事している。工学修士 (MEng)、および経営管理修士 (MBA)。  
連絡先: [yasuyuki.nishibayashi@ibm.com](mailto:yasuyuki.nishibayashi@ibm.com)

# 量子のコラボレーション

量子コンピューティングは、従来型コンピューターでは手に負えないビジネス上の難問を解決できる可能性がある。アナリストの推定によれば、5年以内に組織の20%が量子コンピューティング・プロジェクトのための予算を確保し、10年以内に量子コンピューティング市場規模は150億米ドルに達するという。<sup>1,2</sup> この変革の最前線に立つためには、今すぐ量子コンピューティングのエコシステムへの参加を検討すべきである。実際、量子コンピューティングのエコシステム構築はすでに始まっており、参加団体・企業はそれぞれが目標とする科学・ビジネスの問題解決に重点を置いた取り組みを進めている。今、目的に合った量子エコシステムに参加することは、将来における競争優位性の獲得につながるだろう。

## 量子の現在地

量子コンピューティングの趨勢が明らかとなってきた。現在、大手テクノロジー企業が大規模な研究開発プログラムを支援し、ベンチャー・キャピタル資金が3億ドル以上に増大する中、何十ものスタートアップ企業が設立され、量子関連の会議や研究論文は増加の一途を辿っている。さらに、1,500もの学校で学生たちがオンライン上で量子コンピューティングを利用し、中国やEUをはじめとする政府による数十億ドル規模の投資プログラムの発表も相次いでいる。<sup>3,4,5</sup>

この潮流に乗るにはどうすべきか。すでに、今まで解決困難とされてきたビジネス上の問題を解決すべく、世界屈指の量子コンピューティング・ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション開発企業と提携を結んだ企業もある。このような迅速な初動は、サプライチェーン・コストの大幅な削減など、思いがけない財務上のメリットをもたらす可能性もある。また、長期的にはより変換効率のよい太陽電池やより収益性の高い金融取引アルゴリズムの開発など、企業間のゲーム・ルールを変える競争優位性を獲得できる可能性すらある。

急成長を遂げる量子コンピューティングのエコシステムに参加することで、幸先の良いスタートを切り得る。

量子エコシステムでは、産業・アカデミア・エンジニアリング・物理学（ハードウェア）・プログラミング（ソフトウェア）など量子の全技術領域にまたがる専門家と、ビジネス領域の専門家が総力を結集して、従来型コンピューターでは対処できない科学・ビジネスの問題を解決する量子ソリューションの開発が進められている。事実、IBM Institute for Business Value の調査対象となった経営層の55%が、「パートナー・エコシステムを通じて獲得したいくつもの新たな能力は、自社の将来を築く上で不可欠なものである」と回答している。このことは、エコシステム全体の発展と参加している個々の企業の発展との間に、密接なつながりがあることを示唆している。<sup>6</sup> エコシステムでは、参加者全員が価値の創出に貢献し、またその価値が共有されることによって成り立っているのである。そして、事業機会の獲得につながる道を切り開くべく、さまざまな組織が量子コンピューティングのエコシステム構築を急ピッチで進めている。

### 量子コンピューティングとは

従来型（または「古典」）コンピューターとは異なり、量子コンピューターは、複数の状態を重ね合わせとして同時に持つことができる。この特性を利用することで、医薬品や材料の開発、ロジスティクス、人工知能などの特定の複雑な科学・ビジネスの問題に対して、従来よりもはるかに効率的なソリューションの獲得が可能になると期待されている。詳細については、「Taking the quantum leap: Why now? (邦訳:「量子コンピューティングによる飛躍の時 - なぜ今始めるのか」)」および「Coming soon to your business: Quantum computing - Five strategies to prepare for the paradigm-shifting technology (邦訳:「量子コンピューティングによるビジネス革命の時、来たる - パラダイム・シフトをもたらすテクノロジーを使いこなすための5つの戦略」)」をご覧ください。<sup>7,8</sup>

## 今こそ量子エコシステムに参加すべき理由

企業によっては、現在は量子コンピューターにアクセスできない、あるいは量子コンピューティング・ソリューションを独力で検討するための深い専門知識が不足しているなどの事情があるかもしれない。しかし、これらは量子コンピューティングへの取り組みを遅らせてもよい理由にはならない。たとえ企業が自力で量子インフラの構築が可能なスキルと莫大な予算を確保できたとしても、適切な量子エコシステムに参加するほうが有益なことは明らかである。今、量子エコシステムに参加すべき合理的な理由が、次の3点である。

1. 量子技術の進展が速すぎて個別の企業では追従できない。量子コンピューティングは、イノベーションを促す母胎である。量子産業は現在、政府、ベンチャー・キャピタル、大手テクノロジー企業などの資金援助を受けて、知的財産の爆発的増加を引き起こしている。IBMのQ Experienceの場合、量子コンピューターとして世界で初めて無償で一般公開されてから、2年間で650万件以上もの量子実験を受け付けている。<sup>9</sup> IBM以外にも、Rigetti社やGoogle社、Microsoft社などが、シミュレーターをはじめ

とする量子コンピューティング・リソースを提供していることも、量子開発の活性化に一層拍車をかけている。このように量子開発が世界的規模で急激な盛り上がりを見せる中、自社産業に関係がある研究開発やビジネスへの影響を常時監視・追跡するのは困難である。

2. 量子関連のスキルを持った希少な人材をめぐって、獲得競争が激化している。大手テクノロジー企業が量子の専門知識を求めて大学やスタートアップ企業、ベンダーなどを熱心に勧誘する中、この競争に太刀打ちできる企業がどれくらいあるだろうか。自社内に「量子コンピューター・センター」が設立可能なレベルまで量子スキルが整うまでは量子エコシステムにすでに結集している人材を活用するほうが効率的ではないだろうか。
3. 大半の企業では量子コンピューティング・スタックの全領域にわたる投資ができるほどの潤沢な資金を確保することは難しい。量子コンピューターを利用して、従来型コンピューターでは対処できない特定の科学・ビジネスの問題を解決する、いわゆる「量子アドバンテージ」を実現するためには、量子コンピューティング・スタック（図1参照）の全域にわたる深

い専門知識と、投資の実践が必要となる。<sup>10</sup> したがって、無理にエンド・ツー・エンドの量子コンピューティング技術の開発企業になることを目指すのではなく、他社の量子インフラを活用して、自社固有のビジネス問題を解決できるような量子コンピューティング・アプリケーションの開発に注力することのほうが重要であろう。

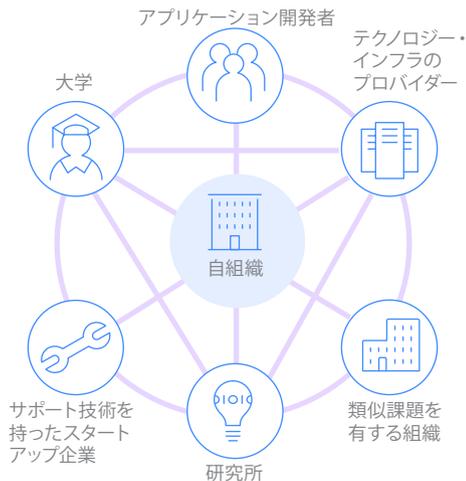
図1  
量子コンピューティングのスタック構造

量子スタックの構成要素	必要なスキル
● 技術的サービス	テクノロジー全般にわたる専門知識
● アプリケーション	アプリケーションのアーキテクチャーと開発力
● ユースケースごとのライブラリー	業界や分野に関する知識
● パフォーマンス・ライブラリー	量子アルゴリズムに関する知識
● コンパイラー、オプティマイザー、シミュレーター	高等数学や量子システムに関する専門知識
● アセンブリー言語およびドライバー	量子力学と量子システムに関する専門知識
● 量子ハードウェア	量子力学の理解とエンジニアリング力

## 自社に相応しい量子エコシステムを見つける

量子コンピューティング技術が成熟するにつれ、多様な量子エコシステムが形成されていくだろう。しかし、組織にあった量子コンピューティング・エコシステムは、組織の目標やビジネス課題を軸に形成されるものでなければならない。即ち、図2の通り、量子コンピューティング・エコシステムの中には自組織を位置付けるべきである。

図2  
量子コンピューティング・エコシステムのメンバー



IBM は組織に相応しい量子コンピューティング・エコシステムを評価する一助となる5つの基準を特定した。貴組織の量子エコシステムが以下の条件を満たすかどうか確認してほしい。

1. 量子ハードウェアを実際に利用できること。  
初期段階ではシミュレーターで十分かもしれないが、ビジネス課題の解決に本格的に量子コンピューティングを適用しようとするれば、最終的には能力不足が露呈するだろう。量子アドバンテージは、対象とする業務に対し、実際の量子ハードウェアおよびソフトウェアを用いて最適化を行うことによるのみ実現される。したがって、実際の量子ハードウェアに関する知識や経験がなければ、量子アプリケーション開発は頓挫する恐れがある。
2. フォールト・トレラントなユニバーサル量子コンピューターに進化する可能性のあるシステムがベースとなっていること。フォールト・トレラントな量子コンピューターであれば、科学やビジネスにおける多様かつ重要な問題に対し、多くの場合、従来型コンピューターよりもはるかに高速に対応できるはずである。フォールト・

トレラントな量子コンピューターが実現されるまでには時間がかかるが、それまでの間、短期的には、NISQ コンピューティング (Noisy Intermediate-Scale Quantum Computing) として知られる近似ユニバーサル量子コンピューターが、最も量子アドバンテージをもたらしやすいと期待されている。<sup>11</sup>

3. 貴組織のビジネス課題に注力していること。  
どのエコシステムが貴組織に固有の課題と関連性の高いユースケースへの取り組みを始めているか特定することが重要である。例えば、化学分野におけるシミュレーションの問題なのか。あるいは、輸送経路のスケジューリングのような最適化の問題なのか。それとも、機械学習を強化する量子アルゴリズムを見つけようとしているのか。はたまた、量子時代におけるセキュリティが最大の懸念事項なのか。また、エコシステムに、貴組織のビジネス上の課題に詳しい業界専門家が含まれているかどうかを確認することも大切なポイントである。

4. 世界屈指の企業やソートリーダーが関与していること。量子イノベーションは急速に進展しているため、パートナーには科学の革新的進化とその商用利用によって問題解決をリードできることが求められる。例えば、提携先のパートナーが Tier 1、Tier 2 のどちらに属するかによって、「勝者総取り」のシナリオになるか、置き去りにされるかの分かれ道になる場合もある。

5. バランスの取れたメンバー構成となっていること。最適な量子エコシステムは、貴組織の業界・技術の専門家と共にビジネス課題に取り組んでくれるメンバーで構成されている必要がある。その中には、次のような例が含まれるだろう。

- 「量子テクノロジー・プロバイダー」：量子コンピューター、オープン・ソースのプログラミング・フレームワーク、チュートリアルや研究論文などの教育リソース、量子研究者、量子コンサルタント、技術サポート、量子問題に積極的に取り組んでいる協働的なコミュニティ等に対する容易なアクセスを包括的に提供するプロバイダー。

- 「量子デベロッパー・プログラマー」：オープン・ソース・コードやアプリケーション開発ライブラリーを利用した量子アプリケーション開発の手法に精通し、実際に量子ハードウェアにアクセスできるデベロッパー・プログラマー。

- 「学術的なパートナーや大学」：関連する量子技術の研究開発を実施するとともに、いつかは貴組織で採用する可能性のある新進の量子専門家を育成する学術的なパートナーや大学。

量子コンピューティングの商用化は、まだ緒に就いたばかりであることを念頭に置くべきである。また、新たな革新的進化は、テクノロジー企業 of 先頭集団に変化をもたらし、いずれはエコシステム・パートナーの変更も余儀なくされる可能性があることを肝に銘じておくべきだろう。

### 量子エコシステムに参加する前に自問すべき3つの問い

1. 量子コンピューティングによって解決できる可能性のある業界内で最も困難な問題が何であるか、その最新情報・動向を把握しているか。
2. 発展途上の量子エコシステムのうち、どのエコシステムが自組織のビジネスにおける最重要課題の解決にすでに取り組んでいるか。
3. 量子コンピューティングの可能性を最大限活用するために必要となる量子関連の専門知識やインフラの構築・獲得方法などを含めた量子ロードマップをすでに構築しているか。

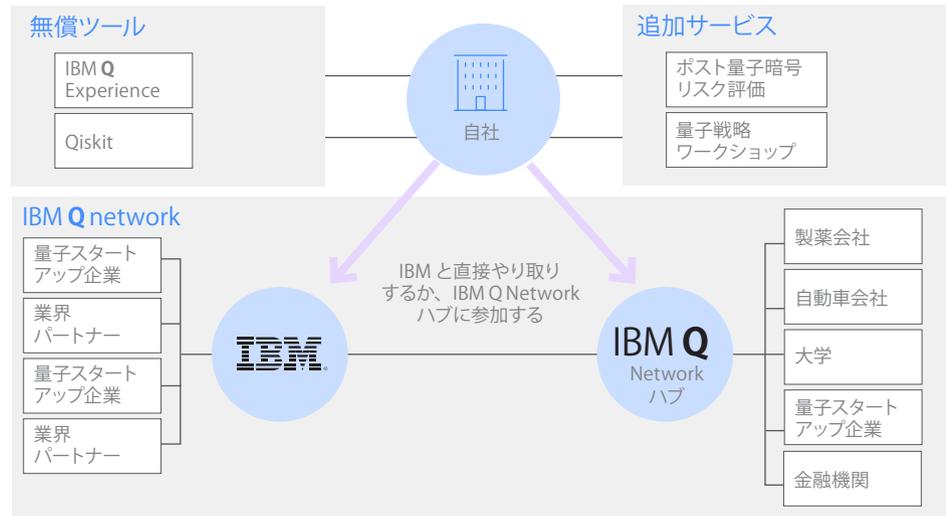
#### Expert Insights レポートについて

Expert Insights は、ニュース価値の高いビジネスや関連テクノロジーのトピックについて、ソートリーダーの見解を伝えるレポートです。世界中の該当分野の優れた専門家との対話をもとに作成されます。詳細については、IBM Institute for Business Value ([iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com)) までお問い合わせください。

## IBM の量子コンピューティング・エコシステム

IBM の量子コンピューティング・エコシステムは、参加が推奨されるエコシステムの典型の1つである(図3参照)。IBM Q Network は、量子スタック全体にわたるグローバルなエコシステムであり、Fortune 500 企業や世界有数の学術機関、スタートアップ企業、国立研究所などから構成されており、IBM の量子コンピューター、研究者、エンジニアおよびコンサルタントともつながっている。参加者はすでに、エコシステムとのコラボレーションを

通じ、初期の商用アプリケーションの開発を実施している。<sup>12</sup> また、IBM Q Network のほか、IBM Q Experience と Qiskit を通じて、IBM の量子コンピューターやシミュレーター、教育リソースに無償でアクセスできる。<sup>13</sup> IBM Q Industry Consulting は、クライアントによる量子ロードマップの作成や、業界固有のアプリケーションの特定を支援する。<sup>14</sup> なお、IBM では、量子時代に対応した暗号化戦略の策定も支援している。



## 専門家

### Robert Sutor

バイス・プレジデント  
IBM Q 戦略およびエコシステム  
IBM Research  
<https://www.linkedin.com/in/bobsutor/sutor@us.ibm.com>

### Scott Crowder

量子コンピューティング担当  
最高技術責任者兼バイス・プレジデント  
技術戦略およびトランスフォーメーション  
IBM Systems  
<https://www.linkedin.com/in/scott-crowder-03650324/scrowder@us.ibm.com>

### Frederik Flöther

グローバル・ライフサイエンス・リーダー  
IBM Q コンサルティング  
IBM Services  
<https://www.linkedin.com/in/frederikfloether/frederik.floether@ch.ibm.com>

### 協力者

Luuk Ament 博士

© Copyright IBM Corporation 2018

New Orchard Road  
Armonk, NY 10504  
Produced in the United States of America  
January 2019

IBM、IBM ロゴ、ibm.com 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](http://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「Building your quantum capability - The case for joining an "ecosystem"」の日本語訳として提供されるものです。

88022388JPJA-01



## 注釈および出典

- Eide, Naomi. "Gartner's 10 technology trends for 2019 and beyond." CIO.DIVE. October 22, 2018. <https://www.ciodive.com/news/gartners-10-technology-trends-for-2019-and-beyond/540267/>
- Mouncer, Ben. "Quantum computing to generate \$15bn revenues by 2028, says ABI." Gigabit. July 24, 2018. <https://www.gigabitmapagazine.com/cloud-computing/quantum-computing-generate-15bn-revenues-2028-says-abi>
- Martin, James, A. "What's quantum computing [and why enterprises need to care]." NetworkWorld. May 23, 2018. <https://www.networkworld.com/article/3275367/data-center/what-s-quantum-computing-and-why-enterprises-need-to-care.html>
- "WHY DON'T MORE VENTURE CAPITALISTS INVEST IN QUANTUM COMPUTING?" Superposition. October 12, 2017. <https://superposition.com/2017/10/12/dont-venture-capitalists-invest-quantum-computing/>
- Stanley, Aaron. "Is The U.S. Getting Its Act Together On Quantum Computing?" Forbes. June 26, 2018. <https://www.forbes.com/sites/aStanley/2018/06/26/is-the-u-s-getting-its-act-together-on-quantum-computing/#3d888f6704f>
- Davidson, Steven, Edward Giesen, Martin Harmer and Anthony Marshall. "In or out: Succeeding in the ecosystem economy." IBM Institute for Business Value. July 2017. <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=GBE03850USEN>  
邦訳:「合従連衡のエコシステム - エコシステム構築によって高められる3つの重要な価値」  
<https://www.ibm.com/downloads/cas/XAPM5POR>
- Sutor, Dr. Robert, Terry Hickey, Lori Feller. "Taking the quantum leap: Why now?" IBM Institute for Business Value. February 2018. <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=07012907USEN>  
邦訳:「量子コンピューティングによる飛躍の時 - なぜ今始めるのか」  
<https://www.ibm.com/downloads/cas/LMAPW78R>
- Gil, Dr. Dario, Jesus Mantas, Dr. Frederik Flöther, Lynn Kesterson-Townes, Dr. Robert Sutor, Christopher Schnabel. "Coming soon to your business - Quantum computing: Five strategies to prepare for the paradigm-shifting technology." IBM Institute for Business Value. November 2018. <https://www-935.ibm.com/services/us/gbs/thoughtleadership/quantumstrategy/>  
邦訳:「量子コンピューティングによるビジネス革命の時、来たる - パラダイム・シフトをもたらすテクノロジーを使いこなすための5つの戦略」
- IBM Research 内部の測定による
- Bravyi, Sergey, David Gosset and Robert König. "Quantum advantage with shallow circuits." Science. October 19, 2018. <http://science.sciencemag.org/content/362/6412/308>
- Preskill, John. "Quantum Computing in the NISQ era and beyond." Cornell University Library. July 31, 2018. <https://arxiv.org/abs/1801.00862>
- "IBM Q Network: Bringing quantum out of the lab and into the world." IBM. <https://www.research.ibm.com/ibm-q/network/#/>
- 同上
- Hickey, Terry. "Let's Talk Quantum Computing for Business." IBM. December 13, 2017. <https://www.ibm.com/blogs/insights-on-business/gbs-strategy/lets-talk-quantum-computing-for-business/>