

Research Insights

競争優位性獲得 につながる量子 コンピューティング・ アプリケーションの 峻別・優先順位 づけの施策とは

Quantum Readyに向けた
フレームワークと
ロードマップの施策



IBM Institute for
Business Value



IBM の量子コンピューティング について

全世界の企業が、ビジネスにおける成功を目指して量子コンピューティング・アプリケーションの評価・実験を進め、個々のケースごとにさまざまな傾向・段階がみられている。IBM Institute for Business Value の Research Insights である本レポートでは、量子コンピューティング・アプリケーション間の優先順位設定のための革新的なフレームワークとそれをを用いた施策について明らかにする。これにより、企業が、「量子技術による高速化・高精度化」や「価値創出までの時間短縮」を実現する能力などの観点に基づき、適切なアプリケーションについて把握・選択したりできるように支援する。

本レポートの想定読者は、量子コンピューティング関連の意思決定者・責任者、資金提供者、デザイナー、プログラマー、研究者、および量子コンピューティングの未来に深い関心を寄せているさまざまな関係者である。詳細については、ibm.com/quantum-computing をご覧いただきたい。

重要なポイント

量子コンピューティングによる破壊的変化

量子コンピューティングは、ビジネス・オペレーションや業界のバリュー・チェーンに破壊的変化をもたらす可能性があり、今こそ積極的な取り組みが必要となっている。初期の量子アプリケーションや量子アルゴリズムは、先行して取り組んだ各々の企業・エコシステムが占有しうるものとなるであろう。

量子コンピューティングの優先順位設定

量子コンピューティング導入の際、どのような量子コンピューティングのユースケースが自社のどのようなビジネス・ニーズに適合しうるのか、十分な情報に基づく判断から、これらのユースケースの優先順位を設定することが重要である。

ユースケースの選択

多様なユースケースの組み合わせをあらかじめ特定しておくことは、量子コンピューティング技術の急激な進化に企業がすばやく対応するための備えとして有用である。

加速する量子コンピューティングへの投資

今、量子テクノロジーへの投資が隆盛を極めつつある。そうそうたるテクノロジー企業が、量子コンピューター関連の研究開発に乗り出している。各国の政府も同様で、中国、米国、カナダ、英国、EU、イスラエル、オーストラリア、ロシアなどの国や連合地域では、数千万～数十億米ドルもの多額の投資が行われている。¹

ユニバーサル量子コンピューティングは、特定のアプリケーションに関しては、今後数年のうちに一部の企業に多大な競争優位性をもたらすものと考えられている。Gartnerによると、全体の90%、つまりほとんどすべての企業は、2023年までに、何らかの量子コンピューティング・プロジェクトに参加し、サービスとしての量子コンピューティングを利用するものと予測されている。²その結果、量子コンピューティングの全体市場規模は2025年までに2億4,000万米ドルに達し、年平均成長率(CAGR)は48%に上ると見込まれている。³初期のものを含む多くの量子アプリケーションは、さまざまな業界や企業に極めて破壊的な影響をもたらすとみられている。したがって、今日のビジネス・リーダーたちは、市場での生き残りに向けて、量子コンピューティングがもたらす優位性について十分な検討・調査を進めておいた方がよいだろう。

量子テクノロジーの商用化が近づくにつれ、化学モデリング、シナリオ・シミュレーション、最適化、人工知能や機械学習などの分野で個別のアプリケーションが生まれ始めている。例えば、一部の量子アルゴリズムは、従来のソリューションと比べ、理論上、大幅な高速化を実現する。これは、線形システムの解決、非構造化データの検索、モンテカルロ・シミュレーションの実施、組み合わせ突合、因数分解など、特に厄介な数学的問題に対して有効である。これらのアルゴリズムによってどのようなビジネス優位性が実現可能となるのかを特定するため、現在、評価が行われている。



急速な成長

量子コンピューティングの市場は、2025年まで、50%近くの年平均成長率で成長することが予測されている。⁴



本格的な実験

IBMが初のクラウド型量子コンピューティング・サービス (IBM Q Experience) を発表した2016年以来、世界的なユーザーのコミュニティが、システム上で数千億件もの試験的処理を実行してきた。⁵



収益への影響

仮に、フォールト・トレラントな量子コンピューティングが実現・導入された場合、さまざまな個別業界、例えば金融業界においては、導入の初年から100億米ドル以上もの事業収支を拡大させることができる。⁶

量子コンピューティング時代に向けた準備

量子コンピューターの商用化が現実味を帯びてくるにつれ、企業各社は、自社の競争環境に適した有望なアプリケーションを検討し、評価する必要に迫られるだろう。そして一部の量子アプリケーションは、その計算能力と速度によってビジネスモデルや業界のバリュー・チェーンに大きな影響を及ぼす、量子コンピューティングの優位性を活用できる状況、つまり「Quantum Advantage」を、早期かつ独自に実現できる可能性がある。量子は全く新しいタイプのコンピューティングであることから、テクノロジーの普及が可能になった際、迅速に導入できるようにするため、早期に習熟度を上げ、試験・評価しうる能力を獲得することが不可欠である。

プロトタイプの量子コンピューティング・システムはすでに存在しており、IBM Q Experience として無償で広く一般に利用できるようになっている。すでに2019年末時点で、20万人以上のユーザーが、IBM Cloud を通じ、このIBMの量子コンピューターおよびシミュレーター上で、数千億件もの試験的処理を実行していた。また、これらの実験に基づき、実用的な量子アプリケーションに関する第三者の研究論文が今までに200本以上も発表されている。⁷

量子コンピューティング・アプリケーションがビジネスに与える潜在的影響を評価するのは難しい。それはこの新たなテクノロジーの複雑さによるところが大きいだろう。したがって企業各社は、まずどの量子コンピューティング・アプリケーションが自社にとって最適なビジネス上のメリットをもたらしうるのか、評価する方法を見いだす必要があるだろう。

本稿で紹介する量子コンピューティングの「Quantum Prioritization Framework（優先順位設定マトリックス）」というフレームワークは、企業のこのようなニーズに対応する上で、鍵となるものだ。このマトリックスを使用することで、戦略、オペレーション、イノベーション、IT、リスクなどのさまざまな分野の経営層は、量子コンピューティングを早期導入してから本格的な活用へと移行することを念頭に、量子コンピューティングが自社ビジネスに与える影響を評価し、量子アプリケーションの優先順位を設定し、さらに Quantum Advantage を測定することが可能となる。

優先順位設定マトリックスにおいて、量子コンピューティング・アプリケーションは以下の4つの特徴的なカテゴリーに分類される。

- 「Early Boomer（早期結実）」は、直近でのテクニカル・フィージビリティが高く、実装を行うことが推奨される。
- 「Mature Industry（成熟業界）」は、直近でのテクニカル・フィージビリティが高く、またビジネス上での相応の規模での競争優位性が期待される。
- 「Late Boomer（大器晩成）」は、将来的に、大きな Quantum Advantage をもたらすことが期待される。
- 「Wild Card（ワイルド・カード）」は、将来的に、ビジネス優位性をもたらす可能性があるものの、その確証がまだ見いだされていない（大化けする可能性がある）ものである。

洞察：量子コンピューティングとは？

従来型コンピューターは、データをビットによって「1」か「0」のいずれかで表現する。一方、量子コンピューターは、データを量子ビットによって「1」か「0」のいずれか、または「1」と「0」の組み合わせとして表すことができる。これは、量子ビットの、いわゆる量子の重ね合わせと呼ばれる、同時に複数の状態を取ることができる性質によるものだ。また、量子もつれという特殊な性質もあり、2つまたはそれ以上の量子ビットは、このもつれによって物理的に離れていても、強い相関関係のある動きを示すことができる。これは従来型コンピューターでは実現できないものだ。そして最後に、量子状態に干渉し、波形振幅を追加したりキャンセルしたりすることができる性質も持っている。以上、3つの量子の技術的性質によって、量子ビットを使って計算速度を指数関数的に高められる可能性がある。⁸

洞察：Quantum Advantage

Quantum Advantage とは、ある特定の条件において特定の問題に対処する際、量子コンピューターが、現在の従来型コンピューターと比べて「飛躍的な差」で優れたパフォーマンスを発揮できるような状況を意味する。この「飛躍的な差」とは具体的には、従来型計算と量子計算との比較において、量子計算の方が数百倍（場合によっては数千倍）効率性の高い状態を指す。またその結果として、従来型コンピューターと比べてごくわずかなメモリのみで済んだり、今日の一般的なテクノロジーでは対処できないタスクを実行できたりする、といったことが期待されている。

洞察：自社ビジネスの成長に役立つ量子コンピューティング・アプリケーションの可能性を探る

以下に、量子コンピューティング早期活用の可能性を拓くためのステップを挙げておく。

- 今現在、自社の製品開発やオペレーションの関連領域などで、従来型コンピューターでは改善できない非効率的な部分を調査し、特定する。具体例としては、材料の分子のシミュレーション、医薬品開発、相互依存的な作業スケジュールの作成といった複雑な相互依存関係を伴う領域の課題が挙げられる。
- 差し迫った市場の需要に対応すべく、やむを得ず「近似」を利用せざるをえないようなケースを特定する。具体例として、物流、輸送、通信、ロジスティクスなどの複雑なネットワークに関連する問題が挙げられる。
- 自社において、大量の複雑なデータを包括的かつタイムリーに計算する処理が困難となっていないか、評価する。具体例としては、顧客やベンダーに適応したさまざまなコミュニケーション、経営層向けの先進的な意思決定サポート、対象を絞りこんだ従業員のトレーニング、そしてその他の AI アプリケーションなどが挙げられる。

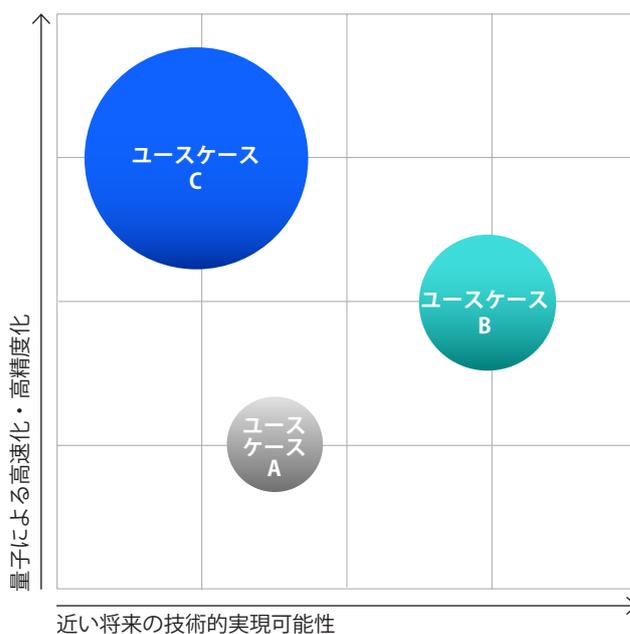
Quantum Prioritization Framework (量子優先順位設定フレームワーク)

図1の量子優先順位設定マトリックスは、経営層が以下の3つの視点から各アプリケーションを評価するのに役立つ。その3つの視点とは各々、量子コンピューティング・アプリケーションの、1)従来型コンピューティングに対しての当該量子コンピューティング・アプリケーションの技術的優位性の度合い (Y軸)、2)直近でのテクニカル・フィージビリティ (X軸)、そして3)特定企業向けに独自のビジネス価値を提供できる能力 (円の大きさ)、である。

この方法で量子アプリケーションの優先順位を設定することによって、完全な形でポートフォリオの俯瞰を提示し、自社の意思決定により発生するトレードオフを可視化することができる。その結果、経営層は、これまで以上に的確な情報に加え、早期商用化戦略やコスト最適化アプローチの実践、業界の創造的破壊者としてのふるまい方など、自社の戦略的優先事項に基づいた、量子コンピューティング導入に関する適切な意思決定が可能となる。

図1

Quantum Prioritization Framework (量子優先順位設定フレームワーク)



独自のビジネス価値を提供できる能力

低 ○ → 高 ○

Y 軸：量子による高速化・高精度化の度合い

Quantum Advantage とは何よりもまず、今日の従来型コンピューターの処理能力の限界により、現時点では解決不可能、または極めて高コストとなってしまうような、特定のビジネス課題に効率的に対処することを保証するものである。⁹したがって、そのような観点から、特定のアプリケーションが量子優先順位設定マトリックスの Y 軸上のどの位置に来るかは、量子アルゴリズムが従来型ソリューションと比べ、理論上どれほどの改善を実現できる見込みがあるかによって決まる。例えば、量子コンピューティングの技術的優位性は、多くのアルゴリズムの基盤となる 2 つの重要な機能要素である、「フーリエ変換」や「検索・推定」において、すでに理論的に効果が見込まれている。¹⁰結果として、このような要素を活用しているアプリケーションは、Y 軸上で高い位置を占めることになる。個別のアプリケーションの Quantum Advantage は、さまざまな形態で出現する。例えば、最適解を探し出すまでの実行時間の短縮や、より優れた問題解決アプローチによる精度の向上などが該当するだろう。

X 軸：近い将来のテクニカル・フィージビリティ（技術的実現可能性）の度合い

量子優先順位設定フレームワークの X 軸は、グラフ上に特定された各アプリケーションを適切に実行するために必要となる量子ハードウェアおよびソフトウェアなどの技術的要件を表す。特に重要な点は、想定される量子ビットとパフォーマンスの要件である。X 軸上での位置は、チップやアルゴリズムの設計、量子ビットの相互接続性、コード内で使われているゲートや量子ビットの数、またコンパイラの効率性といった、量子ハードウェアおよびソフトウェアに関するその他の検討項目によっても影響されるだろう。

円の大きさ：ビジネスへのインパクトの度合い

各アプリケーションは、特定の企業のビジネスに影響をもたらすことが期待されているのであるが、量子優先順位設定マトリックスの第 3 の視点は、そういった影響の規模に基づいて設定される。この視点には、各企業が独自に選定するビジネスの評価基準も組み込まれる。そのような各企業における選定プロセスにおいて、ビジネスへの影響を吟味することは、単なる経済的効果の測定にとどまらない面があることは認識しておくべきであろう。評価基準は、市場での成果や競争の結果、および当該企業（自社）の財務上の影響をブレンドしたものでなければならない。自社の戦略目標に応じて、例えば、バリュー・チェーンの強化、オペレーションの改善、市場の創造的破壊とイノベーション、市場シェアの拡大、収益の生成、コストの削減、リスクの緩和などの各指標の値をこの視点に含めることが考えられる。

高速化の実現

いくつかのアルゴリズムは、すでに量子による高速化・高精度化を実現している。Quantum Amplitude Estimator (QAE：量子振幅推定) は、ランダム分布を活用するアルゴリズムの成功確率を高める。また Quantum Support Vector Machines (QSVM：量子サポート・ベクター・マシン) は、従来型マシンでは効率的に処理できない量子カーネル法を使用し、一層大規模な領域にデータをマッピングする。

技術的実現可能性の評価

量子コンピューティング技術は黎明期にあるものの Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA：量子近似最適化アルゴリズム) や QSVM のような一部のアルゴリズムは、必要とされる量子コンピューター・ハードウェア、特に、回路の Depth (深さ) の要件が浅いことから、近い将来の実システムで力を発揮することが期待されている。その一方で、これ以外のアルゴリズムは、より高度な問題に対応するため、より成熟したシステムを必要とするだろう。¹¹

ビジネスへの影響

量子コンピューターは、設計・研究・開発・生産・流通・顧客のターゲティングおよびエンゲージメントにかかわる、ミッション・クリティカルなアクティビティなどのビジネス・バリュー・チェーンを変革することができる。

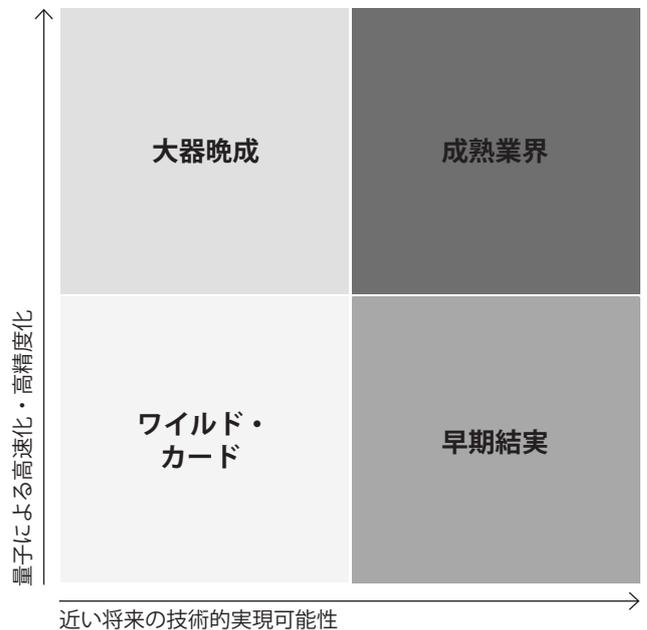
量子アプリケーションの分類

Quantum Prioritization Framework（量子優先順位設定マトリックス）を利用することで、4つの量子アプリケーションの 카테고リーを浮き彫りにすることができる。すなわち、「Early Boomer（早期結実）」、「Late Boomer（大器晩成）」、「Wild Card（ワイルド・カード）」、および「Mature Industry（成熟業界）」アプリケーションである（図2参照）。これらのアプリケーションの多様な組み合わせをあらかじめ特定しておくことは、本テクノロジー領域の急激な進化に対し企業がすばやく対応するための備えとして有用である。

—

図2

量子アプリケーションの 카테고リー



「Early Bloomer（早期結実）」

「早期結実」に相当するアプリケーションには、極めて明白な効果がある。「早期結実」アプリケーションは、既存テクノロジーを利用しつつ運用されることから、その導入は、量子コンピューティングの活用方法を習熟する段階にある企業にとっては有意義なプロセスとなる。これらのアプリケーションを使用することは、企業が、量子コンピューティングを現在のビジネス・プロセスに統合し、さらなる量子コンピューティングの導入に向けては、さすみをつける方法を理解するのにも役立つ。市場での地位を維持するためには、「早期結実」アプリケーションを他社に先駆けて最初に導入することが重要である。これらに属するアプリケーションは、競争力を保つ最低限の要件を満たすために有効だからである。

「Late Bloomer（大器晩成）」

「大器晩成」に相当するアプリケーションには、「イノベータのジレンマ」問題が伴う。これらのアプリケーションは大なる Quantum Advantage を保証はするが、同時に重要なビジネス課題を解決するためにさらに高度な量子テクノロジーをも要求する。「大器晩成」アプリケーションは、将来のビジネス価値に大幅な影響を及ぼすことで、特定の業界における競争を変革できる可能性がある。「大器晩成」アプリケーションが技術的に実現できる時期の見込みは相対的に不透明なため、企業は常に量子コンピューティング開発の進展を注視し続けなければならない。新たな量子アルゴリズムやハードウェア・アプローチを利用できれば、「大器晩成」アプリケーションの技術的実現可能性は一気に高まるだろう。企業のバリュー・チェーンに多大な影響をもたらすことが想定されるため、「大器晩成」の量子コンピューティング・アプリケーションを最初に見いだし、実装した企業は、競争において圧倒的な成功を収める可能性がある。

「Wild Card（ワイルド・カード）」

「ワイルド・カード」に相当するアプリケーションは、現時点において、「大器晩成」アプリケーションほどの革新的な影響、Quantum Advantage をシンプルに実現できる見込みがあるわけでも、「早期結実」アプリケーションほど早期の技術的実現可能性が高いわけでもない。「ワイルド・カード」アプリケーションはうまくいく可能性もあるが、その保証はない。だが、これらを評価することは、量子コンピューティングの持つ属性が自社の将来的な成功に有用であるかどうかを把握するためには役立つ。これらのアプリケーションはいわゆる「大穴」のようなものであると言えるが、可能性を完全に排除するべきではない。今後、量子テクノロジーの進化とともに、「ワイルド・カード」アプリケーションは「早期結実」アプリケーションや「大器晩成」アプリケーションに変化する可能性もあるからだ。

「Maturity Industry（成熟業界）」

「成熟業界」に相当するアプリケーションは、量子コンピューティングを活用する企業にとって究極の目標である。確かにいまだ、どのアプリケーションについても実際のビジネス上の観点から Quantum Advantage に到達したわけではない。しかし、例えば、量子コンピューターが十分なスケールを達成し、量子アプリケーションが競争上の価値を示すことができれば、将来的に一部のアプリケーションはビジネス優位性をもたらし、企業の業務モデルや業界のバリュー・チェーンを変革することができる。目下開発中のアプリケーションによって、当の開発企業が将来、市場で覇権を握るかもしれないという想定も、あながち夢物語とは言えない。

「量子優先順位設定マトリックスの適用」：金融サービス機関の例

量子優先順位設定マトリックスの仕組みを説明するため、ある金融サービス取引機関によって実施された実際の量子アプリケーションの調査の例を見てみよう。この金融機関は、従来型マシンで対応することが難しく量子コンピューティングによる改善が期待されている、以下の6つの用途を特定した。

1. 取引決済：所要時間の短縮など、資産取引における証券譲渡のプロセスを改善する。
2. ポートフォリオ管理：リターン最適化やリスク軽減のために投資の意思決定を強化する。
3. バリュースコア・リスク分析：より正確なリスク・シミュレーション・モデルの開発により、リスク緩和策を強化する。
4. デリバティブの価格設定：市場シナリオ・シミュレーションにより、金融資産の価格設定を改善する。
5. 不正検知：不正取引や詐欺行為にフラグをつけ、異常パターンの検知を強化する。
6. 信用・資産スコアリング：顧客の支払能力や債券格付けのセグメンテーションに必要な、統計分析を強化する。

これらの有望なアプリケーションが持つ課題は、それぞれ対応する量子コンピューティング・アルゴリズムによって解決可能となるが、この各アルゴリズムによって、量子による高速化・高精度化のレベルや技術的実現可能性のレベルも特定できるようにするのである(図3参照)。

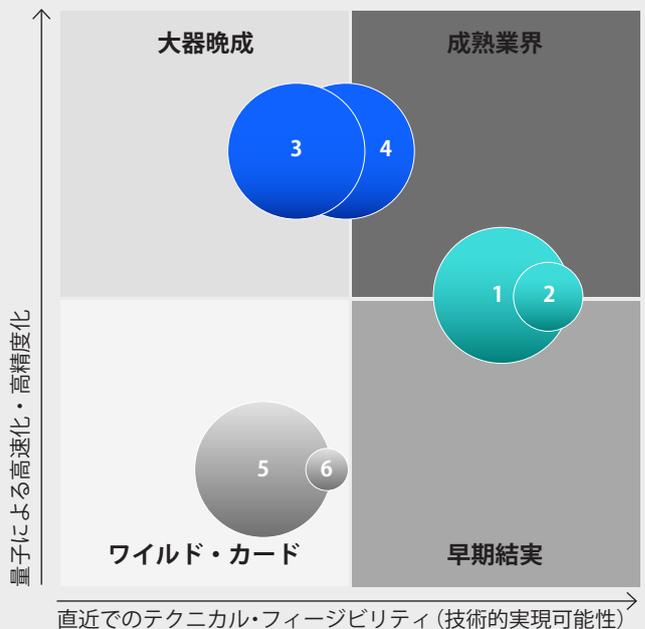
- 取引決済およびポートフォリオ管理の課題は、最適化アルゴリズムの QAOA によって解決可能である。この種のアルゴリズムは、ヒューリスティックに実行時間を改善してソリューションの質を向上させ、近い将来の量子システム上で稼働し、「早期結実」のカテゴリーに関連するアプリケーションとして位置づけられる。
- バリュースコア・リスク分析とデリバティブの価格設定は、量子振幅推定ツール (QAE) というシミュレーション・アルゴリズムを使うことで解決したり、シナリオを推定したりすることが可能である。この種のアルゴリズムは、二次関数的高速化を実現してソリューションの質を改善するのだが、そのために成熟した量子システムを必要とする。このアルゴリズムと関連するアプリケーションは通常、「大器晩成」のカテゴリーとして位置づけられる。

- 不正検知および信用・資産スコアリングは、分類および予測用の機械学習アルゴリズム (QSVM) によって解決可能である。この種のアルゴリズムは、近い将来の量子システム上で実行したり、精度を高めたりすることができる。ただし、これらのアプリケーションは通常「ワイルド・カード」として位置づけられるため、量子システムの能力の拡大に伴い、都度メリットを検証する必要がある。

これらの一連のアプリケーションが全体として金融サービス業界にもたらすビジネス価値は、導入初年度から100億米ドルを超える可能性がある。¹² そしてそのうち半分以上が不正検知の強化とマネー・ロンダリングによる資金損失の削減によってもたらされ、残りは取引決済、ポートフォリオ管理、デリバティブの価格設定、リスク分析、および信用スコアリングなどによってもたらされるものと見込まれている。

図 3

金融サービス取引機関に対する量子優先順位設定マトリックスの適用



6つの量子アプリケーション

- | | |
|------------------|----------------|
| 1. 取引決済 | 4. デリバティブの価格設定 |
| 2. ポートフォリオ管理 | 5. 不正検知 |
| 3. バリュースコア・リスク分析 | 6. 信用・資産スコアリング |

関連アルゴリズム

- QAOA
- QAE
- QSVM

アクション・ガイド

Quantum Ready（量子コンピューティング適用が整った段階）に向けたロードマップの策定

この方法論を利用して、自社の量子ポートフォリオを開発するための5つのステップを以下のとおり特定した。

1. 量子コンピューティング能力を獲得する

自社に必要な量子コンピューティングのスキルを特定し、その人材を直接獲得するか、コンサルタントを雇用するか、なおかつ、既存の量子エコシステムに参加し、そのスキルにアクセスする方法を取るか、決定する。

2. 有望な量子アプリケーションを特定する

リソースの制約、あるいは最適化のための大規模計算の必要性から、量子コンピューティング独自の能力に基づいてメリットを得られる可能性の高い、ビジネス課題・機会を選定する。

3. 各アプリケーションを

量子優先順位設定マトリックス上に位置づける

提案されている各アプリケーションのテクノロジー特性を評価する。その際、最先端の量子ハードウェアおよびアルゴリズムを使用して、量子による高速化・高精度化の可能性（Y軸）、および近い将来のテクニカル・フィージビリティ（X軸）の両方を考慮する。

4. 期待されるビジネスへの影響を見定める

各々のアプリケーションによってもたらされる可能性がある競争優位性と、自社において期待される財務上のメリットとを分析することで、予測されるビジネスへの影響度を検証する。

5. 量子コンピューティングの導入を計画する

量子コンピューターへのアクセス権利を獲得するか、あるいはパートナーシップを通じて最新の量子テクノロジーを利用するかを決定する。プロセスの再設計やリソースの割り当て調整が必要になる可能性を含め、社内ワークフローに対する量子コンピューティングのインパクト・プランを策定する。

著者紹介



Elena Yndurain 博士

linkedin.com/in/elenayndurain/
Elena.Yndurain@ibm.com
@yndurain
www.yndurain.com

Elena Yndurain 博士は、顧客の量子コンピューティング導入を支援する IBM Q コンサルティング・チームにおいて、金融サービス領域の中心的役割を担っている。



Lynn Kesterson-Townes

linkedin.com/in/lynnkesterson/
lkt@us.ibm.com
@LynnKesterson

Lynn Kesterson-Townes は、IBM Institute for Business Value のグローバル・クラウドおよび量子コンピューティング担当リサーチ・リーダーである。

日本語翻訳監修

西林泰如

日本アイ・ビー・エム株式会社戦略コンサルティング&デザイン統括アソシエイト・パートナー
IBM Quantum Senior Ambassador / IBM Quantum CoC Japan Lead

総合電機メーカー R&D、米国系戦略コンサルティングファーム・グローバル戦略部門を経て、IBM へ参画。専門はビジネスと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、シンガポールでの5年超の駐在経験）、情報通信・インターネット技術（日米120件超の特許筆頭発明）。IBM では、Global Enterprise Strategy Group、および、Global Quantum CoC（Center of Competency）に所属。量子コンピューティングを中心に、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

橋本光弘

日本アイ・ビー・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 Quantum Senior Ambassador / IBM Quantum CoC Japan Co-Lead

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

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、業界知識と洞察力、高度な研究成果とテクノロジーの専門知識を組み合わせることにより、急速な変化を遂げ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。

IBM Institute for Business Value

IBM グローバル・ビジネス・サービスの 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 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。IBM の Twitter は [@IBMIBV](https://twitter.com/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。

注釈および出典

- 1 Deagon, Brian. "Quantum Computing Companies Aim To Go Where No Computer Has Gone Before." Investor's Business Daily. February 2019. <https://www.investors.com/news/technology/quantum-computing-companies-aim-technology-higher/>
- 2 Brisse, Matthew. "The CIO's guide to quantum computing." Tech Radar Pro. September 06, 2019. <https://www.techradar.com/news/the-cios-guide-to-quantum-computing>
- 3 "Quantum technologies: a jump to a commercial state." Yole Développement. February 2020. <https://s3.i-micronews.com/uploads/2020/01/YDR20062-Quantum-Technologies-2020-Yole-Développement-Sample.pdf>
- 4 Dr. Mounier, Eric. "Quantum technologies: a jump to a commercial state." Yole Développement. February 2020. <https://s3.i-micronews.com/uploads/2020/01/YDR20062-Quantum-Technologies-2020-Yole-Développement-Sample.pdf>
- 5 "IBM Working with Over 100 Organizations to Advance Practical Quantum Computing." IBM. January 2020. <https://newsroom.ibm.com/2020-01-08-IBM-Working-with-Over-100-Organizations-to-Advance-Practical-Quantum-Computing-Signs-New-Collaborations-with-Anthem-Delta-Airlines-Goldman-Sachs-Wells-Fargo-Woodside-Energy-Los-alamos-National-Laboratory-Stanford-University-Georgia-Tech-and-Sta>
- 6 "Exploring quantum computing use cases for financial services." IBM Institute for Business Value. September 2019. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/exploring-quantum-financial>
邦訳：「量子コンピューティングの活用に向けた布石 - 金融サービス業におけるユースケース探索」
<https://www.ibm.com/downloads/cas/0WZNWEBX>
- 7 "IBM Working with Over 100 Organizations to Advance Practical Quantum Computing." IBM. January 2020. <https://newsroom.ibm.com/2020-01-08-IBM-Working-with-Over-100-Organizations-to-Advance-Practical-Quantum-Computing-Signs-New-Collaborations-with-Anthem-Delta-Airlines-Goldman-Sachs-Wells-Fargo-Woodside-Energy-Los-alamos-National-Laboratory-Stanford-University-Georgia-Tech-and-Sta>
- 8 "Part One: Quantum Properties." IBM. Accessed January 2020. <https://www.ibm.com/quantum-computing/learn/what-is-quantum-computing/>
- 9 Sutor, Bob. "Scientists Prove a Quantum Computing Advantage over Classical." IBM. October 2018. <https://www.ibm.com/blogs/research/2018/10/quantum-advantage-2/>
- 10 Nielsen, Michael, Isaac Chuang. "Computation and Quantum Information – 10th Anniversary Edition." Cambridge University Press. 2011. ISBN 978-1-107-00217-3 2010.
邦訳：「量子コンピュータと量子通信 I- 量子力学とコンピュータ科学」「量子コンピュータと量子通信 II- 量子コンピュータとアルゴリズム」「量子コンピュータと量子通信 III- 量子通信・情報処理と誤り訂正」
ミカエル・ニールセン、アイザック・チャン著、オーム社、2004-2005年(上記10周年復刻版の原著2000年版の訳、内容同じ)

- 11 Moll, Nikolaj, Panagiotis Barkoutsos, Lev S. Bishop, Jerry M. Chow, Andrew Cross, Daniel J. Egger, Stefan Filipp, Andreas Fuhrer, Jay M. Gambetta, Marc Ganzhorn, Abhinav Kandala, Antonio Mezzacapo, Peter Müller, Walter Riess, Gian Salis, John Smolin, Ivano Tavernelli and Kristan Temme. "Quantum optimization using variational algorithms on near-term quantum devices." *Quantum Science and Technology*. June 2018. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-9565/aab822>; Havlicek, Vojtech, Antonio D. Córcoles, Kristan Temme, Aram W. Harrow, Jerry M. Chow, Jay M. Gambetta. "Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces." *Nature*. 2019. <https://arxiv.org/pdf/1804.11326.pdf>
- 12 "Exploring quantum computing use cases for financial services." IBM Institute for Business Value. September 2019. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/exploring-quantum-financial>
邦訳：「量子コンピューティングの活用に向けた布石 - 金融サービス業におけるユースケース探索」
<https://www.ibm.com/downloads/cas/0WZNWEBX>

Research Insights について

Research Insightsは、公共部門および民間部門の重要な課題について事実に基づく戦略的洞察を、企業の経営層向けに提供します。独自の一次調査の分析結果が、これらの洞察のベースとなっています。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。

© Copyright IBM Corporation 2020

IBM Corporation
New Orchard Road
Armonk, NY 10504
Produced in the United States of America
June 2020

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 [ibm.com/legal/copytrade.shtml](https://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「Prioritizing quantum computing applications for business advantage - Charting a path to quantum readiness」の日本語訳として提供されるものです。

