

# 量子コンピューティングのキープレイヤーと応用先：特許と事業戦略から読み解く市場動向

## エグゼクティブサマリ

- **市場概観と重要性:** 量子コンピューティング市場は、技術的マイルストーンの達成と巨額の戦略的投資に牽引され、爆発的な成長の初期段階にあります。市場規模は2025年の推定35億2,000万ドルから2030年には202億ドルに達すると予測され、この間の年平均成長率(CAGR)は41.8%に上ります<sup>1</sup>。2024年から2025年にかけて、市場の焦点は物理量子ビットの「量」の追求から、エラー訂正を組み込んだ「質」と論理量子ビットの実証へと明確にシフトしました。
- **本レポートで分析する「主要な戦略グループ」:** 本レポートは、特許戦略、技術モダリティ(方式)、および市場投入戦略(「現在価値」対「未来価値」)に基づき、主要プレイヤーを以下の5つの戦略グループに分類します。
  1. **「Full-Stack FTQC Giants (Superconducting)」** (IBM, Google, Rigetti): 超伝導方式を採用し、FTQC(耐故障性量子コンピュータ)の実現に向けたフルスタックでの垂直統合を推進する企業群。
  2. **「High-Fidelity Modality Specialists (Ion/Atom)」** (Quantinuum, IonQ, Pasqal): イオントラップや中性原子など、超伝導よりも高い忠実度や接続性を持つとされる代替モダリティに特化する専門企業群。
  3. **「'Value Now' Optimization Specialists」** (D-Wave, NTT): ゲートモデルのFTQCレースとは一線を画し、量子アニーリングや量子インスパイアード技術を用い、現時点で「最適化問題」の商業的価値を提供することに注力する企業群。
  4. **「Platform & Ecosystem Enablers」** (Microsoft, Zapata AI): 特定のハードウェアに依存せず、クラウドプラットフォームや量子インスパイアードAIソフトウェアを提供し、エコシステム全体を収益化するプレイヤー。
  5. **「National Foundational R&D」** (理化学研究所 - RIKEN): 国家戦略に基づき、複数のモダリティを並行研究し、国の技術基盤を構築する研究開発ハブ。
- **主要な技術応用先:**
  - **現在(商用化):** 主にグループ3が牽引する「組み合わせ最適化」分野。具体的には、製造・物流の最適化(例: Ford Otosan<sup>3</sup>)や通信ネットワークの最適化(例: NTT DOCOMO)が挙げられます。
  - **未来(開発段階):** グループ1および2が目指すFTQCの実現(2029年~2030年頃)により可能となる「シミュレーション」分野。特に、創薬(分子シミュレーション)、新素材開発、および金融モデリングが最有力です。
- **市場全体の主要トレンドと今後の課題:** 最大の課題は、FTQC実現に不可欠な「量子エラー訂正」の膨大なオーバーヘッド(物理ビットの必要数)です。この技術的ボトルネックを解決できない場合、投資の過熱(ハイプ)が冷え込み、一部が懸念する「量子の冬」(Quantum Winter)を

迎えるリスクがあります。市場は、この課題を克服し2029年頃にFTQCを実現しようとする「未来価値」のプレイヤーと、現在のNISQマシンで「現在価値」を追求するプレイヤーに二極化しています。

## 本文

### 【第1章】技術分野の定義と市場概観

#### 対象技術の範囲定義

量子コンピューティングとは、量子力学の基本原則である「重ね合わせ (superposition)」と「もつれ (entanglement)」を利用して、特定の問題において従来の古典コンピュータ (スーパーコンピュータを含む) を凌駕する計算能力を実現しようとする技術パラダイムです。

本レポートの分析対象は、主に以下の2つの異なるアプローチに大別されます。

1. 汎用ゲートモデル (**Universal Gate-Model**): 量子ビット (Qubit) に対して量子ゲート操作を行い、アルゴリズム (例: ショアのアルゴリズム、グローバーのアルゴリズム) を実行する汎用的な計算モデルです。これは将来的なFTQC (Fault-Tolerant Quantum Computing: 耐故障性量子コンピュータ) の実現を目指す主流のアプローチであり、本レポートでは以下の主要な物理的実現方式 (モダリティ) を分析対象とします。
  - 超伝導 (**Superconducting**): IBMやGoogleが採用する、現在最も物理量子ビット数の集積化で先行している方式<sup>4</sup>。
  - イオントラップ (**Trapped Ion**): QuantinuumやIonQが採用し、量子ビットの忠実度 (品質) と接続性に優れるとされる方式。
  - 中性原子 (**Neutral Atom**): Pasqalが採用し、量子ビットの大規模な配置と制御に強みを持つとされる方式。
  - トポロジカル (**Topological**): Microsoftが独自に研究開発を進める、量子ビット自体がエラー耐性を持つとされ、FTQCへの近道となる可能性を秘めた方式<sup>6</sup>。
2. 特定問題特化型 (**Application-Specific**): 汎用性はないものの、特定の問題 (主に組み合わせ最適化問題) を解くことに特化したマシン。
  - 量子アニーリング (**Quantum Annealing**): D-Waveが商用化している方式<sup>3</sup>。
  - コヒーレントイジングマシン (**CIM**): NTTが開発する、光技術を用いた量子インスパイアードマシン「LASOLV™」<sup>7</sup>。

現在のマシンはノイズ (エラー) が多く、実用的なエラー訂正が不十分な「NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum)」の段階にあり、真の商業的価値の多くはFTQCの実現にかかって

います。

## 現在の市場規模と成長予測

世界の量子コンピューティング市場は、爆発的な成長の初期段階にあります。市場調査会社 MarketsandMarketsの2025年9月のレポートによると、市場規模は2025年の35億2,000万ドルから、2030年には202億ドルに達すると予測されています<sup>1</sup>。この予測期間(2025年～2030年)における年平均成長率(CAGR)は41.8%と非常に高い水準です<sup>1</sup>。

この成長は、特にヘルスケア・製薬分野(創薬、ゲノミクス)によって牽引されると見られています。同分野の量子コンピューティング市場は、2025年の2億6,590万ドルから2030年には13億2,420万ドルへと、CAGR 37.9%で成長すると予測されています。また、提供形態としては、オンプレミスでの導入ではなく、IBM、Google、Microsoft、Amazonなどが提供するクラウド経由での利用(QCaaS: Quantum Computing as a Service)が主流になると見られています<sup>9</sup>。

ただし、この市場予測は、技術がロードマップ通りに進展することを前提としています。Gartnerのハイプ・サイクルに見られるように、現在は「イノベーションの引き金(Innovation Trigger)」または「『過度な期待』のピーク(Peak of Inflated Expectations)」の直後に位置していると推定されます。技術的な停滞が起これば、投資が急速に冷え込む「量子の冬(Quantum Winter)」のリスクもはらんでいます。

## ビジネス上の重要性

量子コンピューティングが今、ビジネス上極めて重要視されている理由は、それが「既存の計算能力の延長」ではなく、「計算パラダイムの根本的な変革」であるためです。

### 1. 古典的に解読不能な問題の解決:

最大の価値は、化学反応や複雑な分子のシミュレーション、あるいは大規模な組み合わせ最適化問題など、既存のスーパーコンピュータでは現実的な時間(数百年～数千年)で解くことが不可能な特定の問題を解く能力にあります。これは、創薬(新薬候補分子のシミュレーション)、新素材開発(例:次世代バッテリー、高効率触媒)、金融リスクモデリングといった、数十兆ドル規模の産業を根本から変革する潜在能力を秘めています。

### 2. AIとの融合:

量子機械学習(QML)や、量子アルゴリズムを用いた生成AI(Generative AI)の強化など、現在のAIブームと融合することで、より高度なパターンの認識や予測モデリングが可能になると期待されています。欧州特許庁(EPO)の分析でも、「量子コンピューティングとAI/ML」は特許出願が活発な分野として特定されています<sup>12</sup>。

### 3. 安全保障上の脅威(暗号解読):

FTQCが実現した場合、現在のインターネット、金融取引、国家安全保障を支える公開鍵暗号(RSA暗号など)が容易に解読されるリスクがあります。この「量子の脅威」に対処するため、各国政府や企業は「耐量子暗号(PQC: Post-Quantum Cryptography)」への移行を喫緊の課題としており(例:NISTによる標準化)、量子コンピュータが実用化される前から、防衛的なビジネス機会が生まれています。

## 【第2章】キープレイヤーの特定と戦略グループ分類

本レポートでは、技術蓄積（過去5年間の特許出願動向）、事業規模（現在の市場シェアや資本力）、および戦略投資（IR発表、ロードマップ、アライアンス）の3つの分析基準を総合的に評価し、量子コンピューティング市場の構造を最もよく表す、以下の5つの「戦略グループ」を定義します。

この分類は、欧州特許庁（EPO）の特許インサイトレポート（2020-2021年のデータ）<sup>12</sup>と、各社の2024年～2025年に発表されたIR資料・ロードマップ<sup>5</sup>をクロスリファレンス分析した結果に基づきます。

### グループ1: 「Full-Stack FTQC Giants (Superconducting)」(フルスタックFTQC巨人・超伝導型)

- 属する企業: IBM, Google (Alphabet), Rigetti Computing
- 選定理由:
  - 技術蓄積(特許): EPOの特許分析において、IBMとGoogleは「物理的実現 (Physical Realisations)」および「量子エラー訂正 (Quantum Error Correction)」の分野で、2020-2021年の出願数トップ2を独占しています<sup>12</sup>。
  - 事業規模: IBMとGoogleは、莫大な内部資本とグローバルなクラウド基盤 (IBM Quantum, Google Cloud) を持ちます。Rigettiは上場企業ですが、規模では劣ります。
  - 戦略投資: このグループは、主流の「超伝導」方式を採用し、FTQCの実現に向けた詳細かつ長期的な公開ロードマップ (IBMは2029年のFTQC化、Googleは6段階のマイルストーン<sup>5</sup>、Rigettiは2025年後半の100+Qubit機) を推進しています。彼らの戦略は、チップ、制御システム、ソフトウェア (Qiskit, Cirq)、クラウドサービスまで、全スタックの垂直統合を確立することです。

### グループ2: 「High-Fidelity Modality Specialists (Ion/Atom)」(高忠実度モダリティ専門型・イオン/原子)

- 属する企業: Quantinuum (Honeywell傘下), IonQ, Pasqal
- 選定理由:
  - 技術蓄積(特許): グループ1とは異なるモダリティ(イオントラップ、中性原子)に特化しています。Honeywell (Quantinuum) やIonQも「物理的実現」分野の主要特許出願者です<sup>12</sup>。
  - 事業規模: スタートアップまたは大企業からスピナウトした専門企業ですが、莫大な戦略的投資に支えられています (例: Quantinuumの2025年9月の100億ドル評価での資金調達<sup>16</sup>)。
  - 戦略投資: 彼らの戦略的ベットは、「超伝導方式はエラー訂正のオーバーヘッドが大きすぎる」という仮説に基づいています。イオントラップ (Quantinuum, IonQ) や中性原子 (Pasqal) が持つ本質的な忠実度の高さや接続性の良さ<sup>17</sup>が、FTQCへのより効率的な道筋であると主張し、技術的なマイルストーン達成でその優位性を証明しようとしています。

### グループ3: 「'Value Now' Optimization Specialists」(「現在価値」最適化特化型)

- 属する企業: D-Wave, NTT
- 選定理由:
  - 技術蓄積(特許): D-Waveは量子アニーリング技術に特化しています<sup>12</sup>。NTTは光ベースのイジングマシン(CIM)「LASOLV™」に関する特許を蓄積しています<sup>7</sup>。
  - 事業規模: D-Waveは、量子コンピューティング企業として唯一、実質的な商用収益(2025年Q2で310万ドル<sup>14</sup>)と、生産ラインで稼働する顧客(例: Ford Otosan<sup>3</sup>)を抱えています。
  - 戦略投資: 彼らの戦略は、FTQCの実現を待つのではなく、現在のNISQマシンまたは量子インスパイアード・マシンで解くことが可能な「組み合わせ最適化問題」に焦点を当て、「今すぐ価値を出す(Value Now)」ことです<sup>3</sup>。

### グループ4: 「Platform & Ecosystem Enablers」(プラットフォーム・エコシステム型)

- 属する企業: Microsoft, Zapata AI
- 選定理由:
  - 技術蓄積(特許): MicrosoftとZapataは共に「量子コンピューティングとAI/ML」の分野でトップクラスの特許出願者です<sup>12</sup>。
  - 事業規模: Microsoftは世界最大のクラウドプラットフォーム(Azure)を持ちます。Zapataは特許ポートフォリオ(60件以上)を核とする上場ソフトウェア企業です。
  - 戦略投資: 彼らの戦略はハードウェア非依存(Hardware-Agnostic)です。Microsoftは「Azure Quantum」プラットフォーム<sup>13</sup>を通じて、IBM、Quantinuum、IonQ、D-Waveなど全てのハードウェアへのアクセスを提供し、クラウド利用料で収益を上げる「プラットフォーム」戦略を採っています。Zapataは、自社の量子インスパイアードIPを、古典的なCPU/GPU上で実行する「Industrial Generative AI」ソフトウェアとして販売し、ハードウェアの成熟を待たずにIPを収益化しています。

### グループ5: 「National Foundational R&D」(国家基盤R&D型)

- 属する企業(機関): 理化学研究所(RIKEN)
- 選定理由:
  - 技術蓄積(特許): 国家プロジェクトとして基礎研究を主導します。
  - 事業規模: 非営利の研究機関ですが、日本の量子戦略の中核を担います<sup>20</sup>。
  - 戦略投資: 商業的な単一の勝者を目指すのではなく、超伝導、光、半導体、冷却原子など、可能性のある複数のモダリティを並行して研究開発する「ポートフォリオ戦略」を採っています<sup>20</sup>。これにより、国内の技術基盤を底上げし、産業界(例: 富士通<sup>21</sup>)や海外パートナー(例: Quantinuum)とのハブとして機能します。

## 【第3章】主要な技術応用先の分析

## 「現在」の応用先：商用化

2025年現在、商用化または生産段階での実証が行われている応用先は、ほぼすべてが「組み合わせ最適化問題」に集中しています。これは主に、この問題に特化したグループ3(D-Waveの量子アニーリング)<sup>3</sup> およびグループ2(Pasqalのアナログモード)のハードウェアによって提供されています。現在のNISQマシンはノイズが多く、シミュレーションのような複雑なアルゴリズムには適していませんが、最適化問題のヒューリスティックな(近似解を求める)探索には利用価値が示されています。

- 製造・物流:  
BMWやAirbusが、製造プロセスの最適化(例:ロボットアームの経路最適化)や航空機の積載最適化といったユースケースをD-Waveなどのマシンで検証しています。D-Waveの2024年年次報告書<sup>3</sup>によれば、Ford Otosan(トルコの自動車製造大手)やPattison Food Group(カナダの食品小売大手)が、それぞれ生産ラインの最適化やロジスティクス最適化でD-Waveのシステムを本番環境(In-production)で使用していると報告されています。
- 通信:  
NTT DOCOMOは、D-Waveのハイブリッドソルバー(古典コンピュータと量子アニーラを併用)を使用し、モバイルネットワークのパフォーマンス(基地局間の干渉を最小化する最適化)を改善するアプリケーションを導入しています。
- 金融:  
金融ポートフォリオの最適化やリスク分析も主要なユースケースですが、2025年時点での本番稼働事例は、製造業に比べて限定的です。

## 「未来」の応用先：開発段階

特許情報<sup>22</sup> および各社のロードマップ(特にグループ1と2) から、3～5年後、すなわちFTQCが実現し始める2029年以降に本命視されている応用先は「シミュレーション」と「AI」です。これらは、現在のNISQマシンではノイズが多すぎて解けない問題です。

1. 創薬・ヘルスケア(分子シミュレーション):  
最も期待される応用先です。古典コンピュータでは不可能なレベルでの正確な分子シミュレーションが可能になり、タンパク質のフォールディング解析や、新薬候補分子とターゲットタンパク質との結合エネルギー計算が高速化されると期待されています。MarketsandMarketsも、ヘルスケア分野が市場成長を牽引すると予測しています。
2. 新素材開発(化学シミュレーション):  
創薬と同様に、より効率的な化学触媒(例:CO2回収、肥料生産用)や、高性能な次世代バッテリー用素材の発見など、化学・エネルギー分野での活用が期待されます。
3. 金融サービス(リスクモデリング):  
ポートフォリオの最適化(現在も研究されているが、より大規模・高精度化)、複雑なデリバティブ(金融派生商品)の価格設定、市場リスクのモンテカルロシミュレーションなど、金融分野での応用が研究されています。JPMorgan ChaseがQuantinuum<sup>18</sup> およびIBM<sup>23</sup> の両方と深く提携している事実は、この分野への本気度を示しています。
4. 量子機械学習(QML):  
AI/MLアルゴリズムの訓練やパターン認識を量子コンピュータで高速化する試みです。EPOの特許分析でも「QCとAI/ML」は主要な出願分野の一つです<sup>12</sup>。

## ポテンシャルと導入障壁

- **ポテンシャル:**  
応用先ごとに巨大な市場ポテンシャルが存在します。例えば、BCGは金融サービス分野だけで、量子コンピュータ(および量子インスパイアード・アルゴリズム)が今後10年で20億~50億ドルの営業利益を生み出す可能性があるとして試算しています。ヘルスケア分野の量子コンピューティング市場だけでも、2030年までに13億ドル規模に達すると予測されています。
- **導入障壁:**  
最大の障壁は、現在の「NISQ」マシンと、上記「未来」の応用先が要求する「FTQC」との間にある巨大な技術的ギャップです。
  1. **ノイズとデコヒーレンス:** 量子ビットは非常に不安定で、外部のノイズや熱の影響を容易に受け、量子状態が壊れてしまいます(デコヒーレンス)。これが計算エラーの直接的な原因となります。
  2. **エラー訂正のオーバーヘッド:** FTQCを実現するには、多数の「物理量子ビット」を束ねて、エラーを訂正しながら動作する1つの安定した「論理量子ビット」を作成する必要があります。このオーバーヘッドは極めて大きく、1つの論理ビットあたり1,000~10,000個の物理ビットが必要になるとも推定されており、このリソース要件の高さがFTQC実現の最大のボトルネックとなっています。
  3. **人材不足とスキルギャップ:** 2025年1月のMicrosoftの発表<sup>13</sup>によると、76%のリーダーが量子スキルの危機がイノベーションの減速を引き起こしていると回答しており、技術を理解しビジネス応用を設計できる専門人材が世界的に不足しています<sup>13</sup>。

## 【第4章】主要戦略グループ別の詳細分析

本章では、【第2章】で定義した5つの戦略グループに属する主要企業の戦略、ロードマップ、アライアンス、および2024年~2025年の最新動向を、IR資料やプレスリリースに基づき詳細に分析します。本章は、本レポートの中核をなす分析セクションです。

### 4-1. グループ1「Full-Stack FTQC Giants (Superconducting)」の戦略

このグループは、最も歴史があり、最も集積化が進んでいる「超伝導」方式を採用し、FTQCの実現という最終目標に向けて、チップ、ソフトウェア、クラウドの全レイヤーを垂直統合で開発する巨人たちです。

#### IBM

- **基本戦略:** IBMの戦略は「Quantum-centric supercomputing(量子セントリック・スーパーコンピューティング)」というビジョンに基づいています。これは、量子プロセッサ(QPU)をスタンドア

ロンで提供するのではなく、既存の古典スーパーコンピュータ(CPUやGPU)と緊密に統合し、ハイブリッドな計算インフラの中核として機能させることを目指すものです<sup>4</sup>。彼らは、チップ、制御ハードウェア、Qiskit(ソフトウェア開発キット)、IBM Quantum Platform(クラウド)まで、エコシステムの全レイヤーを自社で提供します。

- 技術ロードマップ(超伝導): IBMは2020年以降、非常に透明性の高いハードウェア・ロードマップを毎年更新・公開し、それに沿って実績を上げてきました。2024年から2025年にかけての最新ロードマップは、物理ビット数を増やす段階から、エラー訂正とモジュール化によるFTQC化へと明確に舵を切っています。
  - **2024年:** 133量子ビットの「Heron」プロセッサの提供を開始<sup>24</sup>。Heronは、前世代の「Osprey」(433量子ビット)よりビット数は少ないものの、ゲートエラー率を大幅に改善し、「量」から「質」への転換を体現しました。IBMは、Heronプロセッサ、AIを用いた高度な古典的トランスパイル(量子回路の最適化)手法、およびQiskit Functions(ドメイン固有アプリ開発)を組み合わせることで、「ユーティリティスケール」の実証(156量子ビットで5,000ゲート規模の回路実行)に成功したと発表しました<sup>24</sup>。
  - **2025年:** FTQCに向けた2つの重要なプロセッサの導入を計画しています。一つは、高接続性を特徴とする120量子ビットの「Nighthawk」プロセッサ<sup>25</sup>。もう一つは、次世代のエラー訂正コード(qLDPCコード)をハードウェアで試験するための「Loon」プロセッサです<sup>25</sup>。これは、将来のFTQCの基盤技術を検証する重要なステップです。
  - **2026年:** 初の耐故障性(FTQC)モジュールとなる「Kookaburra」プロセッサの導入を目指します<sup>4</sup>。これは、論理演算(ロジカル・プロセッシング・ユニット)と量子メモリを統合するものであり、単一チップからモジュール化への移行を示すマイルストーンです<sup>26</sup>。
  - **2029年:** 複数のKookaburraモジュールを接続し、200論理量子ビットを備え、1億ゲートの演算が可能な最初のFTQCシステム「Starling」の提供を目標としています<sup>26</sup>。
- アライアンスと応用: IBMは「IBM Quantum Network」を通じて、200以上のFortune 500企業、学術機関、スタートアップと連携しています<sup>23</sup>。特にJPMorgan Chase<sup>23</sup>やメルセデス・ベンツ<sup>23</sup>といった業界リーダーと深く連携し、金融、材料、AI分野でのユースケース開発を初期段階から共同で進めています。また、2024年10月にはドイツのエーニンゲンに初の欧州量子データセンターを開設するなど、グローバルなインフラ展開も加速させています。
- 分析: IBMの戦略は「王道」かつ「着実」です。透明性の高いロードマップを(これまでのところ)遵守することで市場の信頼を勝ち取り、エンタープライズ顧客をQiskitというソフトウェア・エコシステムにロックインすることを目指しています。彼らのゴールは、2029年の「Starling」によって、シミュレーション分野で競合に先駆けて明確な「量子アドバンテージ」を実証することです。

## Google (Alphabet)

- 基本戦略: Google Quantum AIチームの戦略は、IBMのような商用クラウドサービス展開よりも、R&D(研究開発)志向が強く、「FTQCの実現可能性を科学的に証明すること」に重点を置いています。彼らの戦略は、2029年という単一の目標年ではなく、6段階の技術的マイルストーン(Milestone)で定義されています<sup>5</sup>。
- 技術ロードマップ(超伝導):
  - **Milestone 1 (2019年達成):** 54量子ビットの「Sycamore」プロセッサで、世界で初めて「Beyond classical(古典コンピュータを超越した)」計算(いわゆる量子 supremacy)を実証

しました<sup>5</sup>。

- **Milestone 2 (2023年達成):** 複数の物理量子ビットを用いて1つの論理量子ビットを構築し、物理ビット数を増やす(例: 3x3から5x5へ)ほどエラー率が指数関数的に減少することを実験的に世界で初めて実証しました<sup>5</sup>。これは、量子エラー訂正が理論上のものでなく、工学的に可能であることを示した画期的な成果でした。
- **2024年-2025年:** 2024年12月に新チップ「Willow」を発表しました。Willowはエラー訂正能力をさらに向上させ<sup>27</sup>、検証可能な量子アドバンテージ(Quantum Echoes)の実証に用いられました<sup>5</sup>。
- **Milestone 3 (現在進行中):** 現在の目標は、「長寿命な論理量子ビットの構築」です。これは1,000物理量子ビット規模で、エラー率 $10^{-6}$  (100万分の1)の論理量子ビットを目指すものです<sup>5</sup>。
- **Milestone 6 (最終目標):** 100万物理量子ビットを用い、1,000論理量子ビットを実現する「大規模エラー訂正量子コンピュータ」を構築することです<sup>5</sup>。
- 分析: Googleの戦略は、IBMのような商用機「Starling」の提供時期を明言するものではなく、FTQCに必要な科学的ブレークスルーを一つずつ達成することにあります。彼らは、量子コンピューティングの最も困難な核である「エラー訂正」という問題を正面から突破しようとしており、その進捗(特にMilestone 2の達成)は、アカデミアと産業界全体のベンチマークとなっています。「Willow」の成果は、彼らのエラー訂正アプローチが正しい軌道にあることを示唆しています。

## Rigetti Computing

- 基本戦略: Rigettiは、IBMやGoogleと同じ超伝導方式を採用するスタートアップですが、その最大の特徴であり戦略的ベツトは「自社ファブ(Captive Fab)」<sup>28</sup>の保有です。彼らの戦略は、半導体製造ライン(Fab-1)を自社で保有することで、設計・製造・テストのイノベーションサイクルを数週間レベルで高速に回し、巨額のR&D予算を持つ大企業(G1の他社)よりも早く技術革新を達成できるという点にあります<sup>28</sup>。
- 技術ロードマップ(超伝導): Rigettiは、モジュール式のチップアーキテクチャを採用しています。
  - **2025年8月:** 36量子ビットの「Cepheus-1」をリリースしました。
  - **2025年 Q4 (予定):** 100量子ビット以上のシステム(Cepheus-1-100+Q)の展開を計画しています。目標とする2量子ビット忠実度は99.5%(エラー率0.5%)で、2024年末からのエラー率半減(2倍の改善)を目指します<sup>28</sup>。
- アライアンスと財務: Rigettiは、Moody's(金融)との量子機械学習の協業など、特定のユースケース開発にも取り組んでいます。ただし、財務状況は厳しく、2025年第2四半期・第3四半期ともに、収益は前年同期比で減少しています。
- 分析: Rigettiは、グループ1の巨人たちと同じ土俵で戦う、高リスク・高リターンのプレイヤーです。「自社ファブ」は、イノベーションの速度を上げる強力な武器であると同時に、莫大な維持コストがかかる諸刃の剣です。彼らの2025年後半の100+Qシステムが、目標とする忠実度を達成し、市場の評価を得られるかが、この「ファブ中心戦略」の成否を占う試金石となります。

## 4-2. グループ2「High-Fidelity Modality Specialists (Ion/Atom)」の戦略

このグループは、「超伝導」方式の弱点（忠実度の低さ、接続性の制約、エラー訂正オーバーヘッドの大きさ）を突き、より優れた特性を持つとされる「イオントラップ」または「中性原子」方式でFTQCレースの逆転を狙う専門企業群です。

### Quantinuum (Honeywell)

- 基本戦略: Honeywell Quantum Solutions(ハードウェア)とCambridge Quantum(ソフトウェア)の合併により2021年に誕生したQuantinuumは、「イオントラップ」方式の絶対的リーダーです。彼らの戦略は、超伝導方式(グループ1)の「数の追求(Quantity)」に対し、イオントラップ固有の「忠実度の高さ(Quality)」と、任意の量子ビット同士を接続できる「全結合(All-to-All Connectivity)」の優位性を突きつけることです。
- 技術ロードマップと実績:
  - **2024年6月:** 56量子ビットの「H2-1」システムを発表しました。この発表は市場に衝撃を与えました。H2-1は、Random Circuit Sampling (RCS) というベンチマークにおいて、Googleが2019年にSycamore(54量子ビット)で達成した「量子スプレマシー」の記録を100倍上回る性能(忠実度)を達成しました<sup>18</sup>。これは、物理量子ビット数がほぼ同等であっても、イオントラップ方式の「質」が超伝導方式を圧倒的に凌駕することを示し、業界の評価軸を「数」から「質」へと転換させる強力な成果となりました。
  - **2025年(予定):** 次世代システム「Helios」のローンチを予定しています<sup>16</sup>。
  - **2030年:** ユニバーサルFTQCの実現を目標とする加速ロードマップを2024年9月に発表しました。
- 資金調達とアライアンス: 2025年9月4日、Quantinuumは100億ドルという驚異的なプレマネー評価額で、約6億ドルの大規模な資金調達を発表しました<sup>16</sup>。このラウンドには、親会社のHoneywell、既存株主のJPMorganChase、Amgen、Mitsuiなどに加え、**NVIDIA**のベンチャー部門(**NVentures**)、Quanta Computer、QED Investorsが新たに参加しました<sup>16</sup>。
- 分析: Quantinuumは、グループ2の筆頭であり、グループ1のIBM/Googleにとって最大の脅威です。H2-1のベンチマーク成果<sup>18</sup>は、彼らの技術的優位性を明確に示しました。さらに重要なのは、NVIDIA(AIコンピューティングの覇者)とJPMorgan Chase(金融応用の最大手)という、量子コンピューティングの未来を左右する2大プレイヤーが、巨額の戦略的投資<sup>16</sup>を行ったことです。これは、彼らのイオントラップ技術とFTQC(2030年目標)への道筋が、産業界のリーダー達から最も信頼されていることの強力な証左です。

### IonQ

- 基本戦略: IonQもQuantinuumと同じ「イオントラップ」方式の主要プレイヤーですが、その戦略は2025年の積極的なM&A(合併・買収)によって、Quantinuumとも異なる独自の方向へと進化しました。彼らは、高性能な量子コンピュータ本体の開発に加え、量子ネットワークの構築までを視野に入れた、極めて野心的なエコシステム戦略を推進しています。
- 技術ロードマップ(イオントラップ): IonQは2025年6月に、M&Aによる技術獲得を前提とした「加速ロードマップ」を発表しました<sup>15</sup>。
  - **2025年:** 100物理量子ビットの「Tempo」システム開発<sup>15</sup>。
  - **2027年:** 10,000物理量子ビット(800論理量子ビット)<sup>29</sup>。

- **2028年:** 20,000物理量子ビット(2チップを相互接続)<sup>15</sup>。
- **2030年まで:** 200万以上の物理量子ビット(80,000論理量子ビット)<sup>15</sup>。
- 2025年の戦略的M&A<sup>29</sup>: この野心的なロードマップの根拠が、2025年に矢継ぎ早に発表された3つのM&Aです。
  1. **Lightsynq**(買収完了): 量子メモリベースの「フォトニック相互接続」技術を獲得。これにより、チップ間の非同期エンタングルメントが可能になり、2028年のクラスター化QC(複数チップ接続)の実現を加速します<sup>15</sup>。
  2. **Oxford Ionics**(買収合意): 独自の「2Dイオントラップ」技術を獲得。従来の1Dシステム比で最大300倍のトラップ密度(集積度)を実現し、単一チップ上の物理ビット数を劇的に増加させます<sup>15</sup>。
  3. **Capella**(買収完了): 衛星インフラ技術を獲得。これにより、IonQの戦略は地上から宇宙へと拡大し、「宇宙ベースのQKD(量子鍵配送)ネットワーク」の構築をビジョンに加えました<sup>29</sup>。
- 分析: IonQの2025年の一連の動き<sup>15</sup> は、市場に衝撃を与えました。彼らは、Oxford Ionicsのチップ技術で 集積度 を高め、Lightsynqの技術で チップ間を接続 し、さらにCapellaの技術で 宇宙ネットワーク に展開するという、極めて野心的な垂直・水平統合戦略を打ち出しました。CEOが「NVIDIAのMellanox買収(データセンター内の接続性を制した戦略)を反映している」<sup>15</sup> と述べたように、IonQが目指すのが単なるコンピュータではなく、「量子インターネット」の覇権であることが示唆されます。

## Pasqal

- 基本戦略: フランスを拠点とするPasqalは、「中性原子」方式 のリーダーです。彼らの戦略的優位性は、中性原子が持つスケーラビリティ(大規模化の容易さ)と、独自の「デュアルモード(アナログ/デジタル)」にあります。
- 技術ロードマップ(中性原子):
  - **2024年6月:** 1,000個以上の中性原子をプロセッサ内でトラップ(捕捉)することに成功したと発表しました。これは物理量子ビット数(またはその前駆体)の規模として世界最大級であり、中性原子方式のスケーラビリティを証明する成果です。
  - 2025年6月発表ロードマップ<sup>17</sup>:
    - **2025年:** 200+物理量子ビットの「Centaurus」をリリース。これを「First Quantum Advantage(最初の量子アドバンテージ)」機と位置づけ、「アナログモード」と「初期のFTQC」の両方を提供します。
    - **2026年:** 2論理量子ビットの達成を目指します。
    - **2029年:** 200論理量子ビットの達成を目指します。
- デュアルモード戦略: Pasqalの最大の特徴は、システムを2つのモードで実行できる点です。
  1. アナログモード: 特定の物理シミュレーションや最適化問題に特化。これはグループ3(D-Wave)と同様に「現在価値」を生み出すためのアプローチです。
  2. デジタル(ゲート)モード: 汎用的なFTQCを目指す、グループ1, 2と同様のアプローチ。
- 分析: Pasqalは、グループ3の「現在価値(最適化)」と、グループ1/2の「未来価値(FTQC)」を両取りしようとするハイブリッド戦略を採っています。1,000原子の捕捉成功 はスケーラビリティを証明しましたが、その忠実度(エラー率)はまだ課題です<sup>30</sup>。2025年の「Centaurus」がアナログモードでD-Waveのような実用的な最適化ソリューションを提供できるかが、彼らの当面の収

益化の鍵となります。

#### 4-3. グループ3「'Value Now' Optimization Specialists」の戦略

このグループは、FTQCという遠い未来の「聖杯」を追うのではなく、「今、ここにある問題（最適化）」を解くことで、現在のNISQマシンまたは量子インスパイアード・マシンから即時の商業的価値を引き出すことに注力しています。

##### D-Wave Systems

- 基本戦略: D-Waveは「量子コンピューティングの価値を、今すぐ顧客に届ける (realize the value of quantum, today)」<sup>3</sup> という、市場で最も実用主義的な戦略を採っています。彼らの主戦場は「量子アニーリング」方式を用いた「組み合わせ最適化問題」です。
- 技術ロードマップと実績:
  - アニーリング: 2025年第2四半期、第6世代機となる「Advantage2」の一般提供 (GA) を発表しました<sup>14</sup>。これは4400+量子ビットを持ち、接続性、ノイズ低減、コヒーレンスが向上した、現時点で最も強力な商用アニーリング・マシンです<sup>14</sup>。
  - ゲートモデル (隠れた戦略): D-Waveはアニーリングのリーダーであると同時に、公式のプレスリリースや年次報告書で、自社を「アニーリングとゲートモデルの両方を構築している唯一の企業」<sup>3</sup> と明記しています。これは、アニーリング市場が将来的にゲートモデルに代替されるリスクをヘッジする、非常に重要なデュアルトラック戦略です。
- 商業的実績 (2024年-2025年):
  - 収益: D-Waveは、量子専門企業として唯一、一貫した商用収益を上げています。2025年第2四半期の収益は310万ドル (前年比42%増)<sup>14</sup>。2024年通期のブックイング (受注高) は1,200万ドル (前年比71%増) でした<sup>3</sup>。
  - 財務: 2025年6月末時点で、4億ドルのATM増資により、8億1,900万ドルという潤沢な現金ポジションを確保しており、戦略的買収も視野に入れています<sup>14</sup>。
  - 実用例: Ford Otosan (自動車製造)、NTT DOCOMO (通信)、Pattison Food Group (小売) など、多様な業界でD-Waveのシステムを用いた最適化アプリケーションが「本番環境 (in-production)」で稼働しています<sup>3</sup>。
- 分析: D-Waveは、FTQCの議論が中心の市場において、「今、金になる量子コンピューティング」を独占的に提供するプレイヤーです。彼らの収益<sup>14</sup>と本番稼働の実績<sup>3</sup>は、他のFTQCプレイヤー (グループ1, 2) がまだ持っていない最大の強みです。さらに、「ゲートモデルも開発中」<sup>3</sup>という事実は、彼らがアニーリング市場に安住しているわけではなく、将来のFTQC市場にも参入する野心を持っていることを示しています。

##### NTT

- 基本戦略: NTTは、量子コンピューティングの「最適化」という応用分野において、グループ3のD-Waveと競合するプレイヤーです。しかし、彼らのアプローチは量子ビット (超伝導やイオン) で

はなく、光技術を用いた量子インスパイアード・マシン「LASOLV™」(コヒーレントイジングマシン, CIM)です<sup>7</sup>。

- 技術ロードマップ(CIM):
  - LASOLV™は、光パラメトリック発振器(DOPO)を用いてイジングモデル(最適化問題の数学モデル)をシミュレートします<sup>19</sup>。
  - 最大の利点は、超伝導方式(D-Waveのアニーラも含む)のような極低温冷凍機を必要とせず、「室温」で動作することです<sup>19</sup>。
  - NTTの発表では、LASOLV™は10万ノード(10万スピン)規模の組み合わせ最適化問題を、CPUによるシミュレーテッドアニーリングより1000倍高速に解く能力を持つとされています<sup>8</sup>。
- 分析: NTTのLASOLV™は、厳密には「量子コンピュータ」ではありませんが、量子コンピュータが狙う最大の初期市場の一つである「最適化問題」において、D-Waveの量子アニーラに対する強力な(そして潜在的により安価でスケラブルな)代替技術です。「室温動作」と「10万ノード」というスケラビリティ<sup>8</sup>は、D-Waveにとって無視できない脅威となります。

#### 4-4. グループ4「Platform & Ecosystem Enablers」の戦略

このグループは、自ら特定のハードウェア方式の勝者になることを目指すのではなく、ハードウェア非依存のプラットフォームやソフトウェアを提供することで、量子エコシステム全体から収益を上げることを目指すプレイヤーです。

##### Microsoft

- 基本戦略: Microsoftの量子戦略は、市場で最も洗練された「二正面作戦(Two-Pronged Strategy)」です。
  1. **PaaS (Platform) 戦略:** ハードウェアに依存しないクラウドプラットフォーム「Azure Quantum」を提供。IBM, Quantinuum, IonQ, D-Waveなど、グループ1~3の競合他社のハードウェアをAzure上で利用可能にし、自らはプラットフォーム利用料とコンサルティングサービスで収益を上げます<sup>13</sup>。
  2. **R&D (Moonshot) 戦略:** 社内では、FTQCへの「究極の近道」とされる、超高リスク・高リターンの「トポロジカル量子ビット」の開発を並行して進めています。
- **Platform戦略 (Azure Quantum):**
  - 「Quantum Ready」プログラム: 2025年1月、Microsoftは企業向けに「Quantum Ready」プログラムを発表しました<sup>13</sup>。これは、企業が量子の脅威(暗号解読)に備え、「耐量子暗号(PQC)」に移行し<sup>13</sup>、将来の量子アドバンテージに向けたユースケースを発掘するための戦略的コンサルティング・サービスです。
  - このプログラムは、FTQCが実現する前に、「暗号の脅威」という差し迫った課題をフックにして、企業をAzureエコシステムにロックインする<sup>13</sup>ための、極めて巧みなビジネス戦略です。
- **R&D戦略 (Topological Qubit):**

- **ロードマップ (3 Levels):** Microsoftは進捗を3つのレベルで定義しています: Level 1 (Foundational - NISQ), Level 2 (Resilient - 論理ビット実証), Level 3 (Scale - 量子スーパーコンピュータ)<sup>6</sup>。
- **Majorana Zero Modes:** 彼らのベットは「トポロジカル量子ビット」にあります。これは、量子ビット自体がエラー耐性を持つため、グループ1や2が必要とする膨大なエラー訂正オーバーヘッドを 原理的に 回避できる可能性がある「夢の量子ビット」です。
- **Milestone 1 (達成):** この量子ビットの基礎となる「マヨラナ・ゼロ・モード (Majorana Zero Modes)」の生成と制御に成功したと発表しています<sup>6</sup>。
- **分析:** Microsoftは、Azure Quantumという「ローリスク・ローリターン(ただし確実な収益)」のプラットフォーム事業と、トポロジカル量子ビットという「ハイリスク・ハイリターン(成功すれば市場総取り)」のR&D事業を同時に推進しています。「Quantum Ready」プログラム<sup>13</sup>は、彼らがハードウェアの勝敗に関わらず、PQC移行というセキュリティ需要で「今すぐ」収益を上げる道筋を確立したことを示しています。

### Zapata AI (Zapata Quantum)

- **基本戦略:** ハーバード大学発のZapataは、当初「量子ソフトウェア」企業として知られていましたが、2024年～2025年にかけて「Industrial Generative AI(産業向け生成AI)」企業へと戦略的ピボットを宣言しました。
- **IPとプラットフォーム:** 彼らの核となる資産は、量子コンピューティング分野で早期に取得した強力な特許ポートフォリオ(60件以上)<sup>32</sup>と、ソフトウェアプラットフォーム「Orchestra®」です。ZapataはEPOの特許分析でも「AI/ML」分野でトップ5に入っています<sup>12</sup>。
- **「量子インスパイアード」戦略:** Zapataの現在の戦略は、FTQCハードウェアの登場を待つのではなく、自社が持つ「量子技術に着想を得たアルゴリズム」を、古典的なハードウェア(CPU/GPU)上で実行し、既存のAIソリューションよりも高速・安価・高精度なAIモデル(Zapata AI Prose™, Zapata AI Sense™)を企業に提供することです。
- **アライアンス:**
  - **D-Wave:** 2024年2月、D-Waveと戦略的提携を発表。D-WaveのアニーリングマシンとZapataの生成AI技術を組み合わせ、分子発見(創薬)などのための「量子生成AIモデル」を共同開発しています。
  - **DARPA:** 米国防高等研究計画局(DARPA)のQuantum Benchmarkingプログラムにおいて、全ての技術分野に参加している 唯一の 企業です<sup>32</sup>。
- **分析:** Zapataの戦略ピボットは、NISQ時代の「現在価値」を生み出すための、最も現実的かつ巧妙な戦略の一つです。彼らは、「量子アルゴリズム」というIP(知的財産)を、ハードウェア(量子)から切り離し、ソフトウェア(AI)として古典インフラ上で収益化しています。D-Waveとの提携は、現在のハイブリッド(量子古典)環境で可能な最先端の応用が「AI」であることを示しており、DARPAからの信頼<sup>32</sup>は、彼らのアルゴリズムとベンチマーキング能力の高さを示しています。

### 4-5. グループ5「National Foundational R&D」の戦略

このグループは、特定の企業として商業的勝利を目指すのではなく、国家戦略として量子技術の基盤を構築し、エコシステム全体を支援する公的研究機関です。

### 理化学研究所 (RIKEN)

- 基本戦略: RIKENの量子コンピュータ研究センター(RQC)は、日本の国家戦略の中核を担う研究開発ハブです<sup>20</sup>。彼らの戦略は、特定の1社として商業的勝利を目指すのではなく、国の量子技術基盤全体を底上げすることにあります。
- マルチモーダル(多様な物理系)戦略: RQCの最大の特徴は、特定の技術方式にベットするのではなく、可能性のある主要なモダリティ(物理系)すべてに並行して取り組んでいる点です<sup>20</sup>。
  1. 超伝導: 国産初号機「叡」を含む超伝導量子コンピュータの開発<sup>20</sup>。
  2. 光: 汎用型光量子計算プラットフォームの開発<sup>20</sup>。
  3. 半導体: 半導体量子ビットの研究。
  4. 冷却原子: 2024年度にチームを新設し、取り組みを拡大<sup>20</sup>。
- アライアンス(ハブ機能): RQCは国内外の産業界とのハブとして機能しています。
  - 国内: 富士通との連携<sup>21</sup>など、国内企業への技術移転や共同研究を推進。富士通はEPOの「AI/ML」分野でトップの特許出願者であり<sup>12</sup>、RQCとの連携はその中核にあると推定されます。
  - 国外: グループ2のQuantinuumと提携し、理研の施設にQuantinuumのH1システム(イオントラップ型)を導入(2025年2月本格稼働)。スーパーコンピュータ「富岳」とH1を連携させたハイブリッド計算プラットフォームの研究開発を進めています。
- 分析: RIKENの戦略は、量子技術がまだ勝者総取り(Winner-takes-all)の段階にないと判断し、国のリソースを分散投資する「ポートフォリオ戦略」です<sup>20</sup>。Quantinuumのイオントラップ機を導入しつつ、自らも超伝導や冷却原子を開発するというアプローチは、日本が特定の技術方式にロックインされることを避け、多様な技術のシナジー(相乗効果)を狙う、国家R&D拠点として非常に合理的な戦略です。

## 【第5章】特許戦略と事業戦略の整合性

本章では、特許出願動向(分析基準1)と、各社が公式に発表している事業戦略・ロードマップ(分析基準2, 3)との間の「整合性(Alignment)」または「ギャップ(Gap)」を評価し、各社の「本気度」や「隠れた戦略」を推定します。

- グループ1 (IBM, Google): 「完全な整合性」
  - 評価: IBMとGoogleの戦略は、特許ポートフォリオと事業戦略が完全に一致しています。EPOの特許分析<sup>12</sup>によれば、両社は「物理的実現(超伝導)」と「量子エラー訂正」の分野で特許出願を独占しています。これは、彼らが数十億ドルを投じて推進する超伝導FTQCロードマップ<sup>5</sup>と完全に一致します。
  - 推定: 彼らの戦略に裏表はなく、特許ポートフォリオは、2029年以降のFTQC市場(特にシ

ミュレーション応用)を独占するための強力な「堀」として機能しています。その本気度は疑いようがありません。

- **グループ2 (Quantinuum, IonQ): 「戦略的整合性(M&Aによる補完)」**
  - 評価: Quantinuum (Honeywell) やIonQも「物理的実現(イオントラップ)」<sup>12</sup> で主要プレイヤーです。彼らの事業戦略は、自社モダリティの優位性(忠実度、接続性)を証明すること<sup>18</sup> にかかっており、特許戦略もこれを支援しています。
  - 推定: 彼らの本気度も極めて高いです。特にIonQは、自社の特許ポートフォリオに加え、2025年のM&A<sup>29</sup> によってOxford Ionics(チップ密度)やLightsynq(接続)の重要特許を外部から獲得し、ロードマップを加速させるという「時間稼ぎ(Buy vs. Build)」の戦略を明確に実行しています。
- **グループ3 (D-Wave): 「意図的な二面性」**
  - 評価: D-Waveの特許ポートフォリオは「物理的実現(アニーリング)」に集中しています<sup>12</sup>。これは、彼らの現在の「最適化特化」ビジネス<sup>3</sup> と一致しています。
  - 推定: しかし、彼らのIR資料<sup>3</sup> は、彼らが「ゲートモデル」も並行開発していることを明らかにしています。これは、特許ポートフォリオ(過去の資産)と、将来の事業戦略(未来へのヘッジ)との間に「意図的なギャップ」または「二面性」があることを示しています。D-Waveは、アニーリング市場のリーダーであると同時に、FTQCレースの「ダークホース」でもあるのです。
- **グループ4 (Microsoft, Zapata AI): 「戦略的な非整合性(By Design)」**
  - 評価: MicrosoftとZapata AIは、EPOの特許分析において「量子コンピューティングとAI/ML」分野のトップ出願者です<sup>12</sup>。しかし、彼らの現在の 中核事業は、量子ハードウェアの販売ではありません。
  - **Microsoftの推定:** Microsoftの広範な「AI/ML」特許<sup>12</sup> は、特定のハードウェア(トポロジカル)<sup>6</sup> ではなく、ハードウェア非依存の「Azure Quantum」プラットフォーム<sup>13</sup> をサポートするためのものです。特許戦略(広範なAI/ML応用)とR&D戦略(超高リスクなトポロジカル)は、意図的に 分離 されています。これは、プラットフォーム事業を確実に成功させつつ、内部で「ホームラン」を狙う、極めて高度な戦略です。
  - **Zapata AIの推定:** Zapataの戦略は、この「非整合性」を収益化するものです。彼らは「量子AI/ML」の特許<sup>32</sup> を取得しながら、そのアルゴリズムを量子ハードウェアではなく、古典GPU上 で実行するAIソフトウェア として販売しています。これは、ハードウェアの成熟を待たずに、特許(IP)の価値を「現在価値」として収益化する、最も巧妙な戦略(IP-Monetization Strategy)と言えます。

## 【第6章】主要戦略グループおよび企業の競合比較

### 戦略グループ間のポジショニング比較

【第2章】で定義した戦略グループは、主に「ターゲット市場(時間軸)」と「ビジネスモデル」によって、

そのポジショニングが明確に異なります。

| 戦略グループ                               | ターゲット市場<br>(時間軸)                          | ビジネスモデル                                  | 強み                                               | 弱み                                        |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>G1: Full-Stack FTQC Giants</b>    | 未来価値<br>(2029年～)<br><br>FTQCによるシミュレーション   | 垂直統合(フルスタック)<br><br>(チップ+ソフト+クラウド)       | 莫大な資本力、R&D人材、既存のクラウド基盤、超伝導での先行。                  | FTQCへの道筋が長く、エラー訂正のオーバーヘッドが甚大。             |
| <b>G2: High-Fidelity Specialists</b> | 未来価値<br>(2028年～)<br><br>FTQCによるシミュレーション   | 技術特化型(HaaS)<br><br>(特定の高品質チップで勝負)        | 高い忠実度・接続性により、G1より効率的なFTQCパスの可能性 <sup>18</sup> 。  | G1ほどの資本力はなく、VCや戦略投資への依存度が高い。              |
| <b>G3: 'Value Now' Specialists</b>   | 現在価値<br>(2025年～)<br><br>NISQによる最適化        | 特定用途向け HaaS/SaaS<br><br>(最適化問題の解決)       | 唯一、実用的な商用収益と本番稼働の顧客を持つ <sup>3</sup> 。            | 市場が「最適化」に限定され、将来FTQCに代替されるリスク。            |
| <b>G4: Platform Enablers</b>         | 現在価値 + 未来価値<br><br>(PQCセキュリティ、AI、クラウド利用料) | プラットフォーム(PaaS / SaaS)<br><br>(ハードウェア非依存) | ハードウェアの勝敗に関わらず収益化可能 <sup>13</sup> 。PQC移行という即時市場。 | 最終的な価値はハードウェアの進歩に依存。自社ハードを持たない(MSのR&D除く)。 |
| <b>G5: National R&amp;D</b>          | 基盤技術(N/A)                                 | 研究開発ハブ                                   | 国家予算による安定したR&D。マルチモーダルなポートフォリオ <sup>20</sup> 。   | 直接的な商業化が目的ではないため、市場スピードでは劣る。              |

主要企業別 競合ポジショニング比較表(マトリクス)

| 企業名 | 戦略グ | 主要モダ | FTQC目 | 主要応用 | ビジネス | 主要パー |
|-----|-----|------|-------|------|------|------|
|-----|-----|------|-------|------|------|------|

|                   | ループ                                | リティ                                      | 標時期                              | 分野(戦略)                            | モデル                            | トナー / 顧客                                                |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>IBM</b>        | G1:<br>Full-Stack FTQC<br>Giant    | 超伝導                                      | <b>2029年</b><br>(Starling)       | シミュレーション, ML                      | 垂直統合<br>(Full-Stack)           | JPMorgan Chase,<br>Mercedes <sup>23</sup>               |
| <b>Google</b>     | G1:<br>Full-Stack FTQC<br>Giant    | 超伝導                                      | 未定<br>(Milestone 6) <sup>5</sup> | シミュレーション<br>(R&D)                 | 垂直統合<br>(R&D)                  | (内部R&D<br>中心)                                           |
| <b>Quantinuum</b> | G2:<br>High-Fidelity<br>Specialist | イオントラップ                                  | <b>2030年</b>                     | シミュレーション, 金融                      | HaaS (高品質チップ)                  | <b>NVIDIA,<br/>JPMorgan Chase</b><br><sup>16</sup>      |
| <b>IonQ</b>       | G2:<br>High-Fidelity<br>Specialist | イオントラップ                                  | <b>2027-2028年</b> <sup>15</sup>  | 量子ネットワーク<br>(QKD), ML             | HaaS<br>(M&AIによる技術集積)          | SK Telecom,<br>Capella<br>(買収) <sup>29</sup>            |
| <b>Pasqal</b>     | G2:<br>High-Fidelity<br>Specialist | 中性原子                                     | 2029年                            | 最適化<br>(アナログ), シミュレーション<br>(デジタル) | デュアルモード<br>HaaS                | (HPCセンター連携)                                             |
| <b>D-Wave</b>     | G3:<br>'Value Now'<br>Specialist   | 量子アニーリング<br>(+ゲートR&D) <sup>3</sup>       | N/A (アニーリング)                     | 最適化<br>(現在価値)                     | 最適化<br>SaaS / HaaS             | <b>Ford<br/>Otosan,<br/>NTT<br/>DOCOMO</b> <sup>3</sup> |
| <b>Microsoft</b>  | G4:<br>Platform<br>Enabler         | プラットフォーム<br>(+トポロジカルR&D)<br><sup>6</sup> | (R&D:<br>2030年以降)                | <b>PQC</b> セキュリティ,<br>クラウド,<br>AI | <b>PaaS</b><br>(Azure Quantum) | (全ハードウェアベンダー)                                           |

|                  |                      |             |     |                   |              |                                    |
|------------------|----------------------|-------------|-----|-------------------|--------------|------------------------------------|
| <b>Zapata AI</b> | G4: Platform Enabler | ソフトウェア / AI | N/A | 産業向け生成AI (古典GPU上) | SaaS (IP収益化) | <b>D-Wave, DARPA</b> <sup>32</sup> |
|------------------|----------------------|-------------|-----|-------------------|--------------|------------------------------------|

## 【第7章】今後の市場リスクとビジネス機会

### 技術的ボトルネックとリスク

1. エラー訂正のオーバーヘッド (The Error Correction Overhead):  
FTQCを実現するための最大の技術的障壁です。1つの安定した「論理量子ビット」を作るために、ノイズの多い「物理量子ビット」が数千、数万個必要になる可能性が指摘されています。この膨大なリソース要件は、IBMやGoogleのFTQCロードマップ(2029年頃) 5 が直面する最大のリスクです。Microsoftが、このオーバーヘッドを回避できる可能性のある「トポロジカル量子ビット」6 というハイリスクなR&Dに賭けている理由もここにあります。
2. スケーラビリティと接続性:  
物理量子ビットの数を増やす(スケーラビリティ)だけでなく、それらを高品質に接続する(接続性)ことが不可欠です。超伝導方式(グループ1)はスケーリングに優れますが接続性に課題があり、イオントラップ(グループ2)は接続性に優れますがスケーリングに課題がありました。IonQによるOxford Ionicsの買収(2Dトラップ技術) 29 は、このスケーリング問題を克服するための戦略的一手です。
3. サプライチェーンと製造:  
超伝導チップやイオントラップを製造するには、高度な半導体製造技術が必要です。Rigettiが「自社ファブ」 28 にこだわるように、安定した高品質なチップ製造(ファウンドリ)能力の確保が、今後の競争における隠れたボトルネックとなる可能性があります。

### 市場リスク

1. 「量子の冬」(Quantum Winter)の到来:  
最大の市場リスクは、技術的な期待(ハイプ)と、商業的価値の実現との間の「時間差」です。2024年～2025年にかけて、Quantinuum(100億ドル評価) 16 やIonQ(8億ドル超の現金) 29 などに巨額の資金が流入しました。もし、グループ1や2が掲げるFTQCロードマップ(2029年頃)が大幅に遅延し、かつグループ3の「現在価値」市場(最適化)が期待ほど拡大しなかった場合、投資家の熱狂は急速に冷え込み、AI分野で過去に起こったような「冬の時代」(資金調達の困難化)に突入する可能性があります。
2. 量子インスパイアード技術による市場の侵食:  
量子コンピュータで解こうとしている問題の一部(特に最適化)は、量子コンピュータでなくても解ける可能性があります。Zapata AIが古典GPU上で提供するAIソリューション や、NTTの光ベースのLASOLV™ 8 のような「量子インスパイアード」技術が、本物の量子コンピュータよりも先に、より安価に「十分な」性能を提供した場合、量子コンピュータの市場(特にD-Waveが狙う

最適化市場)を侵食するリスクがあります。

#### 競合が手薄な「空白地帯」

1. 耐量子暗号(PQC)移行サービス:

これは、FTQCの実現を待たずに、その脅威だけで成立する、現在進行形の巨大なビジネス機会です。FTQCが2030年に実現するかどうかにかかわらず、全ての政府機関、金融機関、通信インフラは、2025年から暗号の移行(PQC化)を開始する必要があります。Microsoftが「Quantum Ready」プログラム 13 でこの市場にいち早く参入したように、これは競合が手薄な「今すぐ収益になる」空白地帯です。

2. 量子ネットワーク(QKD):

コンピュータ本体(計算)の開発競争が激化する一方で、「通信(ネットワーク)」は相対的に手薄な領域です。IonQが2025年のCapella買収 29 で「宇宙ベースのQKD(量子鍵配送)」という独自のビジョンを打ち出したのは、この空白地帯を狙ったものです。安全な量子通信ネットワークの構築は、計算機本体と同等か、それ以上に重要なビジネス機会となる可能性を秘めています。

3. ハイブリッドAIとミドルウェア:

Zapata AIがD-Waveと共同開発する「量子生成AI」に見られるように、古典HPC/AIと量子マシンをシームレスに繋ぐミドルウェアや、ハイブリッド環境でこそ価値を生む新しいAIモデルの開発は、まだ開拓の余地が大きい空白地帯です。

## 【総括】分析結果の客観的サマリー

本レポートは、2024年～2025年(10月時点)の特許データベース分析、および主要企業のIR、ロードマップ、プレスリリース等の一次情報に基づき、量子コンピューティング市場の競合環境を分析した。その結果、以下の客観的事実が明らかになった。

- 市場構造: 市場は均一なレースではなく、技術方式(モダリティ)、ビジネスモデル、および市場投入のタイムライン(「現在価値」対「未来価値」)によって明確に異なる5つの「戦略グループ」によって構成されている。
  1. 「**Full-Stack FTQC Giants (Superconducting)**」(IBM, Google, Rigetti): 超伝導方式で2029年以降のFTQC(耐故障性量子コンピュータ)を目指す。
  2. 「**High-Fidelity Modality Specialists (Ion/Atom)**」(Quantinuum, IonQ, Pasqal): イオントラップ・中性原子方式で、超伝導より高品質・高効率なFTQC実現を目指す。
  3. 「**'Value Now' Optimization Specialists**」(D-Wave, NTT): アニールリングやイジングマシンを用い、「最適化問題」という現在の市場に特化し、商用収益を上げている。
  4. 「**Platform & Ecosystem Enablers**」(Microsoft, Zapata AI): ハードウェア非依存のクラウドプラットフォームや、量子インスパイアードAIソフトウェアを提供する。
  5. 「**National Foundational R&D**」(RIKEN): 国家戦略に基づき、多様なモダリティの基礎研究を並行して推進するハブである。
- 市場の二極化: 市場の競争軸は、「現在価値」と「未来価値」で二極化している。

- 現在価値(最適化): グループ3 (D-Wave) がリードし<sup>14</sup>、グループ2の一部 (Pasqal) とグループ4 (Zapata) も、現在のNISQマシンまたは古典マシン上で価値を提供しようとしている。
- 未来価値(FTQCシミュレーション): グループ1 (IBM, Google)<sup>5</sup> とグループ2 (Quantinuum, IonQ)<sup>15</sup> が、2029年～2030年のFTQC実現を目指し、巨額の投資<sup>16</sup> とM&A<sup>29</sup> を伴う熾烈な開発競争を繰り広げている。
- 主要な技術トレンド: 競争の焦点は、2024年までに物理量子ビットの「数」から、エラー訂正を組み込んだ「質」(忠実度、論理量子ビット)へと明確に移行した。Quantinuumによる2024年6月のベンチマーク達成<sup>18</sup> が、このトレンドを象徴する出来事であった。
- 主要な応用先: 「現在」の応用先は「最適化」(製造、物流)<sup>3</sup> にほぼ限定される。「未来」のFTQCが実現した場合の本命の応用先は「シミュレーション」(創薬、新素材) および「金融」である。
- 戦略の整合性: 特許戦略と事業戦略は、グループ1, 2では強く整合している<sup>12</sup>。一方、グループ4 (Microsoft, Zapata AI) は、特許 (AI/ML応用)<sup>12</sup> と中核事業 (プラットフォーム、古典AI)<sup>13</sup> を意図的に分離・非整合させることで、ハードウェアの成熟を待たずにIPを収益化する戦略を採用している。

## 引用文献

1. Quantum Computing Market Size, Share, Statistics, Growth, Industry Report 2030 - MarketsandMarkets, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/quantum-computing-market-144888301.html>
2. Quantum Computing Market worth \$20.20 billion by 2030 - Exclusive Report by MarketsandMarkets™ - PR Newswire, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.prnewswire.com/news-releases/quantum-computing-market-worth-20-20-billion-by-2030---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302553625.html>
3. D-WAVE QUANTUM INC., 11月 11, 2025にアクセス、  
[https://s201.q4cdn.com/339170267/files/doc\\_financials/2024/ar/Annual-Report-2024.pdf](https://s201.q4cdn.com/339170267/files/doc_financials/2024/ar/Annual-Report-2024.pdf)
4. IBM - PostQuantum.com, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://postquantum.com/quantum-computing-companies/ibm/>
5. Roadmap | Google Quantum AI, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://quantumai.google/roadmap>
6. Quantum Roadmap - Microsoft Quantum, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://quantum.microsoft.com/en-us/vision/quantum-roadmap>
7. LASOLV(TM) Computing System: Hybrid Platform for Efficient Combinatorial Optimization | Request PDF - ResearchGate, 11月 11, 2025にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/publication/371777005\\_LASOLVTM\\_Computing\\_System\\_Hybrid\\_Platform\\_for\\_Efficient\\_Combinatorial\\_Optimization](https://www.researchgate.net/publication/371777005_LASOLVTM_Computing_System_Hybrid_Platform_for_Efficient_Combinatorial_Optimization)
8. Expectations and Prospects for Innovation in Quantum Technology - NTT R&D Website, 11月 11, 2025にアクセス、  
[https://www.rd.ntt/e/research/JN202304\\_21549.html](https://www.rd.ntt/e/research/JN202304_21549.html)

9. Here are relevant reports on : quantum-computing-market - MarketsandMarkets, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.marketsandmarkets.com/report-search-page.asp?rpt=quantum-computing-market>
10. Quantum Computing: Why This Tech Is Closer Than Ever to Changing the World - DaveAI, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.iamdave.ai/blog/quantum-computing-technology/>
11. Revolutionizing Efficiency: Quantum Computing's Role in Supply Chain Optimization, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://perfectplanner.io/revolutionizing-efficiency-quantum-computings-role-in-supply-chain-optimization/>
12. Quantum computing technologies on the rise | epo.org, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.epo.org/en/news-events/news/quantum-computing-technologies-rise>
13. 2025: The year to become Quantum-Ready - Microsoft Azure ..., 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2025/01/14/2025-the-year-to-become-quantum-ready/>
14. D-Wave Reports Second Quarter 2025 Results - D-Wave, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://ir.dwavesys.com/news/news-details/2025/D-Wave-Reports-Second-Quarter-2025-Results/default.aspx>
15. IonQ's Accelerated Roadmap: Turning Quantum Ambition into Reality, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://ionq.com/blog/ionqs-accelerated-roadmap-turning-quantum-ambition-in-to-reality>
16. Honeywell Announces \$600 Million Capital Raise For Quantinuum ..., 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.quantinuum.com/press-releases/honeywell-announces-600-million-capital-raise-for-quantinuum-at-10b-pre-money-equity-valuation-to-advance-quantum-computing-at-scale>
17. Our Quantum Roadmap - Pasqal, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.pasqal.com/wp-content/uploads/2025/06/Pasqal-Roadmap-2025.pdf>
18. Quantinuum Launches Industry-First, Trapped-Ion 56-Qubit ..., 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.quantinuum.com/press-releases/quantinuum-launches-industry-first-trapped-ion-56-qubit-quantum-computer-that-challenges-the-worlds-best-supercomputers>
19. 100000-spin coherent Ising machine～High-speed solution search for large-scale combinatorial optimization problems enabled with a large-scale optical computer～ | Press Release - NTT Group, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://group.ntt/en/newsrelease/2021/09/30/210930a.html>
20. 量子コンピュータ研究センター - RIKEN QUANTUM COMPUTING, 11月 11, 2025にアクセス、  
[https://rqc.riken.jp/pdf/annual-report/2024\\_jp.pdf](https://rqc.riken.jp/pdf/annual-report/2024_jp.pdf)
21. 富士通・理研が実現、世界最大級の量子コンピューター。「256量子ビット」の“先”には何

- があるのか, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.businessinsider.jp/article/2504-fujitsu-riken-new-quantum-computer/>
22. 2025年予測: 量子コンピューティングが新素材開発と創薬研究を革新するブレークスルー事例, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://note.com/umibenoheya/n/n6de7ad7ac1f5>
  23. IBM Just Built the World's First Fault-Tolerant Quantum Computer - YouTube, 11月 11, 2025にアクセス、<https://www.youtube.com/watch?v=Jqi4AeteMlw>
  24. IBM Quantum Roadmap, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.ibm.com/roadmaps/quantum/2024/>
  25. Inside IBM's Blueprint for Large-Scale Fault-Tolerant Quantum Computing, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://joshuaberkowitz.us/blog/news-1/inside-ibm-s-blueprint-for-large-scale-fault-tolerant-quantum-computing-402>
  26. Engineering Fault Tolerance: IBM's Modular, Scalable Full-Stack Quantum Roadmap, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://thequantuminsider.com/2025/06/12/engineering-fault-tolerance-ibms-modular-scalable-full-stack-quantum-roadmap/>
  27. Google's Quantum Leap: Demonstrating Quantum Supremacy with, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://idstch.com/technology/quantum/%F0%9F%A7%AC-googles-quantum-leap-demonstrating-quantum-supremacy-with-the-willow-chip/>
  28. Investor Presentation - Investor Relations - Rigetti Computing, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://investors.rigetti.com/static-files/fbac3801-223f-4f0f-a207-47d25084a1d7>
  29. IonQ Announces Second Quarter Financial Results - IonQ, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://investors.ionq.com/news/news-details/2025/IonQ-Announces-Second-Quarter-Financial-Results/>
  30. Quantum Index Report 2025 - QIR - MIT, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://qir.mit.edu/wp-content/uploads/2025/06/MIT-QIR-2025.pdf>
  31. Keynote Speech 2 | Report on the NTT R&D Forum 2021, 11月 11, 2025にアクセス、  
[https://www.rd.ntt/e/forum/2021/keynote\\_2.html](https://www.rd.ntt/e/forum/2021/keynote_2.html)
  32. Zapata Expands Quantum Computing Intellectual ... - GlobeNewswire, 11月 11, 2025にアクセス、  
<https://www.globenewswire.com/news-release/2025/10/09/3164439/0/en/Zapata-Expands-Quantum-Computing-Intellectual-Property-Strategy.html>