

Mizuho Short Industry Focus

革新的技術シリーズ¹ 日本の量子コンピュータへの期待と戦略の方向性 ～コンピューティング領域のプレゼンス復活に向けて～

足立 裕之

【要約】

- ◆ 量子コンピュータは次世代コンピューティング実現のための技術として期待されており、Amazon、Microsoft、Google 等のハイパースケーラーを中心とした大手テック企業も量子コンピュータの研究開発に注力している。足下の生成 AI の様に、IT 含む全産業に大きなインパクトを与えることが予想され、量子コンピュータの将来的な市場規模は 100 兆円程度 (2040 年以降) と見積もられている。
- ◆ 汎用的な量子コンピュータ実現に向けては一般的に 100 万量子ビット必要と言われているが、現時点でトップ水準は IBM の 433 量子ビットであり、同社が 2025 年に 4,158 量子ビット実現を目指す予定であることを踏まえると、有用なハードウェアの実現に向けては時間とイノベーションが必要だと考えられる。
- ◆ 一方、グローバルで量子コンピュータへの注目が高まってきており、特に米国においては大手テック企業を中心に特許数が増加し、中国においては政府を中心に量子技術の設備に 1 兆円程度の投資が行われた。日本企業は、従来特許数で優位に位置していたが、足下は米中対比劣後している状況となっている。ヒト・モノ・カネの観点で日本の量子コンピュータの課題を整理すると、米中と最も大きな差となっているのがカネであり、米国大手テック企業や中国政府の研究開発費・投資金額に匹敵する資金を調達・活用することはハードルが高く容易ではない。
- ◆ IT 産業における従来のコンピューティングの動向を踏まえると、付加価値領域としてアーキテクチャとチップの 2 つの領域が挙げられる。将来の量子コンピュータ時代においても、アーキテクチャとチップが重要である可能性が高く、足下の Amazon や NVIDIA 等の状況に鑑みても、アーキテクチャの変革者または量子コンピュータのチップ製造領域の先行者が市場を制する可能性が高いと考える。量子コンピュータは非連続なコンピュータであることを踏まえて、まずはチップ製造領域に注力するべきであろう。
- ◆ 日本においては、中期的かつ継続的な資金供給を前提としつつ、ヒト・モノの観点を中心に競争優位性を確保して行く必要がある。具体的な打ち手としては、産官学連携によりチップに特化した製造拠点を持つファウンドリー機関の設立が考えられる。その機関が産学の設計に基づく量子チップの製造の受注や安価な汎用量子チップの販売を行うことで、コスト負担の減少による産学のハード領域への参入障壁の低下、技術習得負担の減少を実現し、イノベーションの加速の後押しとなることを期待したい。

1. はじめに

2050 年に向けたカーボンニュートラル対応や経済安全保障、生成 AI 等を背景に量子コンピュータに注目が集まる

2018 年から欧米を中心にグローバルでは量子技術の研究開発が戦略的かつ積極的に展開されていた中で、日本においても 2020 年 1 月に内閣府が「量子技術イノベーション」を国家戦略として、明確に位置付け、重点的な研究開発や産業化・事業化を促進することを目指して、「量子技術イノベーション戦略」が策定された。その後、日本国内においても量子技術に更に注目が集まるとともに、2050 年カーボンニュートラル実現に向けた対応や経済安全保障確保、生成 AI による計算リソース需要の大幅増加等、急激に変化する社会のニーズ及び課題について、量子技術への役割期待が増大している。更

¹ 日本産業の競争力強化や社会課題の解決に寄与しうる技術・イノベーション領域をとり上げるレポート。

に 2023 年においては、より具体的な実用化・産業化戦略である「量子未来産業創出戦略」が策定され、産業的な注目も集まっている。量子技術は、①量子コンピュータ、②量子暗号通信、③量子センシングの 3 つに大別され、本稿ではその中でも最も社会に影響があると予想する①量子コンピュータについて、概要・課題・競争環境を踏まえた上で日本の戦略の方向性を述べる。

2. 量子コンピュータとは

次世代コンピューティング実現のための技術として期待されている

量子コンピュータの役割期待は大きく 2 つあり、①従来コンピュータを上回るコンピューティング、②省エネへの貢献がある。①のコンピューティングについて、トランジスタがベースとなる従来の古典コンピュータは情報の基本単位をビットで表し、0 か 1 の状態をとる 2 進数を用いて演算を行うことで情報処理を行っている。一方の量子コンピュータは、情報の基本単位を量子ビットで表すが、量子力学の重ね合わせの原理を用いることにより、1 量子ビットで 0 と 1 の両方の状態を表現することが可能であり、特定のタスクにおいては計算能力が 2 の指数乗で向上する。加えて、量子の性質を利用して従来コンピュータでは表現できなかったことも表現可能になり、量子力学の原理に基づいた素材の反応等のシミュレーションを容易に行える。これにより従来の古典コンピュータであれば、計算リソース不足で解くことができなかった問題もわずかな時間で解ける可能性がある。更に、古典コンピュータのコンピューティングは半導体チップの性能に依存しているが、約 1 年半で集積度が 2 倍になるというムーアの法則が限界に近づいていると足下言われる中で次世代コンピューティング実現のための技術として期待されている。

ハイパースケーラーも量子コンピュータの研究開発に注力

②の省エネについて、量子コンピュータは理論的に従来のコンピュータよりも省エネになる可能性があると言われている²。グローバルでパブリッククラウド市場を寡占する Amazon (AWS)、Microsoft、Google 等のハイパースケーラーも、更なるクラウド活用・データ処理がグローバルで見込まれる中でカーボンニュートラルに対応する観点からも、量子コンピュータの研究開発に力を入れている。

市場規模は 100 兆円程度との予想も

量子コンピュータの役割期待がコンピューティングであることが示すように、量子コンピュータは IT 産業に大きく関わる将来の技術であり、現時点では足下の IT 産業の主要プレイヤーを中心にプレゼンスを有する分野である。量子コンピュータの将来的な市場規模は 100 兆円程度³(2040 年以降)と見積もられており、世界におけるパブリッククラウドサービス市場が 35 兆円程度⁴(2020 年時点)であることを踏まえても巨大な分野になる可能性がある。

汎用型と特化型に分類が可能

量子コンピュータは、汎用的な課題が解ける汎用型と特定の課題を解くことに特化した特化型に分類することができ、汎用型は量子ゲート方式、特化型では組み合わせ最適問題の解決に適した量子アニーリング方式が主な計算方式として挙げられる(【図表 1】)。

² (出所) 講談社、リケラボ(<https://www.rikelab.jp/post/3223.html>) (2023 年 12 月 7 日)

³ (出所) Boston Consulting Group, *What Happens When 'If' Turns to 'When' in Quantum Computing?* (2023 年 12 月 7 日)

⁴ (出所) 総務省「情報通信白書」(2022 年 7 月)

【図表 1】量子コンピュータ等の分類

分類	量子コンピュータ		古典コンピュータ
サブ分類	汎用型	特化型	
主な方式	量子ゲート方式	量子アニーリング方式	量子Inspired方式
用途	汎用型 (多様な課題解決)	特化型 (組合せ最適化)	特化型 (組合せ最適化)
素子	量子ビット (複数の技術方式あり)	量子ビット (超電導のみ)	ビット (古典コンピュータ)
動作温度	超低温(≒絶対零度)～室温	超低温(≒絶対零度)	常温
現時点の 最大ビット数	433ビット (IBM)	5,000ビット (D-Wave systems)	1,000,000ビット (富士通)
主な企業	IBM / Google / Microsoft / Intel IonQ / PsiQuantum / 富士通 / NTT / NEC / 日立 (California大学 / MIT / Meryland大学 / 中国科学技術大学等)	D-Wave Systems / NEC (MIT / 東京工業大学 / 産総研等)	富士通 / 日立 / 東芝 / NEC

(注) カッコ内はアカデミア関連の機関を記載

(出所) 各社開示資料より、みずほ銀行産業調査部作成

汎用型は米 IBM、
特化型は加 D-
Wave 等の海外企
業が先行

汎用型の量子コンピュータは、エラーの割合を考慮する必要があるものの、単純な量子ビット数の大きさでは IBM が他社より先行している状況であり(足下 433 量子ビット)、量子コンピュータを用いたコンピューティングサービスを提供している。量子アニーリング方式の量子コンピュータについては、量子ビットの大きさの観点では D-Wave(カナダ)が先行している。また、正確には量子コンピュータでは無いが、従来型の古典コンピュータを用いて量子アニーリング方式と同様の組み合わせ最適化問題を解く量子 Inspired 方式と呼ばれる技術も存在し、日本企業を中心に研究開発が進められており、日本は特化型では相応のプレゼンスがある。

日本も汎用型で
よりグローバルプ
レゼンスを出して
いく必要

特化型の方が量子ビット数の観点で先行しているため、実社会での貢献が早く実現する可能性はあるが、①長期的に見ると多様な課題解決ができる汎用型の方がスケールする可能性が高いこと、②汎用型と特化型の互換性が不明確であり現時点ではシナジーの実現可能性が低いこと、③米国テック企業が汎用型に注力しており汎用型のみがグローバルスタンダードになる可能性があることを踏まえると、日本も汎用型により注力していく必要がある。

現時点では実現
方式は複数あり、
どの方式が優位
かは不明

更に汎用型の量子コンピュータの実現方式は複数あり、汎用型においては IBM も採用している「超電導方式」と呼ばれるものが現時点では先行しているものの、「超電導方式」以外にも「イオントラップ方式」「光方式」「半導体方式」「冷却原子方式」等があり(【図表 2】)、実用化の段階でどの方式が優位になるかは現時点では見通しづらい。日本においては、内閣府のムーンショット型研究開発制度の下、複数の開発方式をアカデミア中心に網羅的にカバーしている。

【図表 2】量子コンピュータの主要な製造方式一覧

	超電導方式	イオントラップ方式	光方式	半導体方式	冷却原子方式
動作環境	■ 極低温(マイナス273度)、超高真空	■ 常温、超高真空	■ 常温	■ 極低温(マイナス272度)、超高真空	■ 常温、超高真空
メリット	■ 研究が先行し、参入企業も多い ■ 量子ビットの動作が早い	■ 量子ビットの精度が高い	■ 常温、大気中で動作 ■ 量子ビットの精度が高い	■ 半導体技術が応用可能で大規模化に期待	■ イオントラップ方式よりも量子ビット数を増やしやすい
デメリット	■ 量子ビット数の大規模化が困難	■ 量子ビット数の大規模化が困難	■ 量子ビットの動作が遅い	■ 研究段階で、計算も2量子ビット程度が中心	■ 量子ビットの動作が遅く、計算精度が悪い
主要企業・機関	米IBM、米Google、米Rigetti、米Amazon、中本量子、 理化学研究所、富士通	米IonQ、米Quantinuum (Honeywell)、 米AQT、沖縄科学技術大学院	加Xanadu、米サイクオンタム、中国科学技術大学、 NTT、東京大学	米Intel、 米シリコンクオンタムコンピューティング、日立製作所、理化学研究所	米アトムコンピューティング、 米コールドクアンタ、仏バスケル、米QuEra、分子科学研究所
ムーンショット目標6 2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現					

(出所) 各社開示資料より、みずほ銀行産業調査部作成

3. 量子コンピュータの課題

量子コンピュータを産業としてレイヤー構造で捉えると、ハードウェア(以下、ハード)、アプリケーション(以下、アプリ)の大きく2つに分類することができる。本章では量子コンピュータの活用拡大に向けた課題をそれぞれのレイヤー毎に述べる。

(1)ハードの主要課題

ハードの主要課題は①高量子ビット実現、②実現方式が不確かな中での投資、③有用なアルゴリズムとそれを実行できるアーキテクチャの構築である

まずハードの主要課題は、①高量子ビット実現、②実現方式が不確かな中での投資、③有用なアルゴリズムとそれを実行できるアーキテクチャの構築である。課題①について、実用的な量子コンピュータの実現においては、一般的に100万量子ビットが必要と言われている⁵。量子ビットの大きさで足下トップ水準にあるIBMでも433量子ビットであり、同社が2025年に4,158量子ビットを目指す予定であることを踏まえると、有用なハード実現に向けては相応の時間とイノベーションが必要である。課題②については、既述の通り、実用化の段階でどの方式が優位になるかは現時点では見通しづらく、また現時点の技術ベースによる量子コンピュータ(100万量子ビット)の製造コストが1兆円と見積もられている中で、ハードベンダーにとって研究開発投資へのリスクの高さが挙げられる⁶。そして課題③については、現在、量子コンピュータ向けの有用なアルゴリズムは模索中であり、また、それを実行するためのアーキテクチャが未完成であることが挙げられる。アルゴリズムの開発が進まない理由として、「重ね合わせの原理」等の量子力学の法則を踏まえたアルゴリズムの開発が難しいことや、量子ビットのエラーが多いため、エラーを補正するアルゴリズムの開発が必要であることなどが挙げられる。また、アーキテクチャ構築については、量子アルゴリズムの実行に必要なゲート操作や量子状態の制御を行うためのデバイスや回路が未開発であるため、これらの開発も必要となる。以上のような課題がハードのレイヤーには存在するため、実用的な量子コンピュータの実現にはまだ時間が必要である。

⁵ (出所) 産総研、産総研マガジン(https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20220518.html) (2023年12月7日)

⁶ (出所) インプレス、PC WATCH(<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1413732.html>) (2023年12月7日)

(2) アプリの主要課題

アプリの主要課題は①量子人材の育成、②実用的なアプリの開発・ユースケースの模索、③ユーザー企業の巻き込みである

当面はハードでのイノベーションが待たれる

次にアプリの主要課題は、①量子人材の育成、②実用的なアプリの開発・ユースケースの模索、③ユーザー企業の巻き込みである。課題①について、量子コンピュータを現在のコンピュータの様に活用していくためには、量子技術への理解に加えて量子ソフトウェアを開発できるエンジニアや、程度の大小はあるものの、量子アプリのユーザーとなり得る個人においても量子知見を高めていく必要がある。足下はグローバル全体で高度な専門性が必要な量子人材が不足していると指摘されており、競争力向上に向けては量子人材を早急に育てていく必要がある⁷。課題②については、足下の量子コンピュータは黎明期の中で明確に従来コンピュータよりも実用的な問題解決への貢献が証明されていないということが挙げられる。例えば、量子コンピュータは最適化や機械学習、化学反応等のシミュレーション等で役に立つ可能性があるといわれているが、まだまだ幅広い分野への応用を模索中である。課題③について、量子コンピュータの産業化にあたっては、マネタイズの観点からもユーザーニーズを顕在化していく必要がある。ただし、黎明期の現時点においては、量子コンピュータへの理解や実用度の観点からユーザーニーズが限定的であるため、産業化に向けてはユーザーを巻き込むためユーザーの量子コンピュータに対する理解を高めていくとともにより有用なアプリ開発に向けてユーザーと共創していく必要がある。

総論としてはハード・アプリのそれぞれで進展が望まれるが、アプリ側では従来コンピュータ対比、優れたユースケースの創出が必要である。そのためにはハード側が一定のスペックを実現する必要がある、ハード側のイノベーションが待たれる。

4. グローバル動向と日本の現状整理

本章では、量子コンピュータに関するグローバル及び日本の動向と投資状況を整理し、その上で日本の強みと課題を整理する。グローバルの量子コンピュータの動向としては量子技術に最も注力している米中の動向を中心に述べる。

(1) グローバル動向

① 民間主導の米国の動向

米国は民間主導で開発が進む。Googleは2019年に量子超越の論文を公開し注目を集め、2021年には2029年には100万量子ビット実現を発表

IBMは日本でもビジネスを展開。2025年に4,158量子ビットを目指す

米国では、民間主導で開発が進んでおり、汎用型の量子コンピュータの開発に注力している Google と IBM について米国企業の代表として述べる。テック企業の代表格である Google は、2014 年 9 月に米カリフォルニア大学サンタバーバラ校の John Martinis 教授のチームと提携し、量子コンピュータのハードの開発を始めることを発表し、本格的に量子コンピュータ事業に参入した。この Google の参入の発表は、環境制約や技術的ハードルが大きく、実用的に活用できるかの懸念が大きいことを背景に下火になっていた量子コンピュータに再び注目が集まるきっかけとなった。また、2019 年 10 月にも、Google は量子超越（量子コンピュータが従来の古典コンピュータでは実行不可能な、あるいは完了するのに長時間かかるタスクを実行できる能力を持っていること）を実現したという論文を公開し、更に注目を集めた。「量子超越」は、量子コンピュータの歴史における大きな一歩であり、Google の研究チームは、スーパーコンピュータを使って 1 万年かかる問題を、53 量子ビットの量子コンピュータを用いて 200 秒で解けることを示した。加えて、2021 年 5 月に Google は量子コンピュータに関するロードマップを公表しており、2029 年までに 100 万量子ビットの量子コンピュータを開発すると発表している。

メインフレーム等の従来のコンピューティングをけん引してきた IBM も量子コンピュータに最も注力している企業の一つである。2016 年 5 月に 5 量子ビットからなる量子コンピュータを操作できるクラウドサービス「IBM Quantum Experience」を無償提供、2021 年 7 月には川崎市で IBM の量子コンピュータの実機が稼働し、日本で初めて量子コンピュータの実機稼働になった。更に IBM も足下、量子コンピュータの開発ロードマップを公表

⁷ (出所)朝日インタラクティブ、ZDNET Japan (<https://japan.zdnet.com/article/35196738/>) (2023 年 12 月 7 日)

しており、2023 年はグローバルでトップ水準である 433 量子ビットの量子コンピュータを開発、2025 年に「Kookaburra」という 4,158 量子ビットの量子コンピュータと量子アプリケーションを発表する予定としている。

②政府主導の中国の動向

中国は政府主導で開発が進んでおり、既に量子技術に関して 1 兆円を投資

次に中国の動向について述べる。中国においても大手テック企業であるアリババ⁸が2018 年から量子コンピュータのクラウドサービスを提供するなど、民間企業での研究開発も進むが、量子技術の研究開発を主導しているのは政府であり、量子技術の拠点整備へ2020 年までに既に1 兆円の投資を行っている⁹。中国は特に安全保障の観点での関心も高く、本稿では取り上げていないが理論上解読することができない量子暗号通信にも注力している。2017 年 9 月に衛星を用いて世界で初めて北京とウィーン間の大陸間量子暗号通信を成功させる等、量子暗号通信インフラの整備を行っており、民間での活用も進んできている。

③日本の動向

日本は量子技術イノベーション会議を中心にユーザー含む産官学の連携を深めるべく様々な取り組みがある

ここからは日本の動向として、まずは日本の官を中心とした取り組み状況を述べる。日本の取り組み・方針については量子技術の実用化・産業化に向けて、内閣府の量子技術イノベーション会議を中心に重点的・優先的に取り組むべき課題を取りまとめている(【図表 3】)。また、産官学及びハード・アプリ・ユーザーのそれぞれの連携を深めるべく、量子技術イノベーション会議に加えて、量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR)や量子イノベーションイニシアティブ協議会(Q-II)等の様々な枠組みがある。そのほか、日本発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究を支援する内閣府のムーンショット型研究開発制度において、「2050 年までに誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現」を目標の一つに掲げ、アカデミアを中心とした量子コンピュータの様々な実現方式の技術開発を網羅的に支援している。

【図表 3】日本の主な枠組みと量子技術イノベーション会議が纏めた重点的・優先的に取り組む課題一覧

主な枠組み	概要	メンバー	管轄官庁
量子技術イノベーション会議	■ イノベーション政策強化推進のための有識者会議	■ 民間・アカデミア	■ 内閣府
ムーンショット型研究開発制度 目標6	■ 2050年までに誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現のための研究プログラム ■ 複数の開発方式をカバー	■ アカデミアメインで一部民間と協業	■ 内閣府
量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR)	■ 産業界が主体となり「量子産業の創出」を目指す	■ 民間中心(ユーザー含む84社(2023年9月時点))	■ -
量子イノベーションイニシアティブ協議会(Q-II)	■ 東京大学がゲートウェイとしてIBM商用量子コンピューターを使用する、量子エコシステムの構築等に貢献	■ 民間(ユーザー中心に15社(2023年11月時点))・アカデミア	■ 文部科学省
量子技術イノベーション拠点(QIH)	■ 理研を中心としたアカデミアの量子技術の日本拠点 ■ 富士通と理研による国産量子コンピュータの開発	■ アカデミアメインで一部民間と協業	■ 文部科学省
量子ICTフォーラム	■ 最新の研究開発成果や技術動向に関する情報交換、産学官連携と人材交流の促進、研究開発推進戦略の討議と提言を目指す団体	■ 民間(ユーザー含む78社(2023年5月時点))・アカデミア	■ 総務省

重点的・優先的に取り組む課題一覧

ユースケースづくり支援

- 経営者視点等で魅力のあるユースケースづくり支援
- 量子技術の利活用による効果・性能指標設定

利用環境整備

- 量子コンピュータ等の利用環境整備
- 産業界への各種支援(教育、技術支援等)
- 新規参入に関する情報提供 等

事業リスク対応

- 複数の企業が共有できる設備整備
- 協調領域での複数社の共創(共通部品等)
- 基礎研究支援 等

スタートアップ等創出

- スタートアップ・新事業等の創出・支援(長期支援)
- 起業人材育成
- エコシステム形成等

産業人材育成

- 産業等人材向けの教育プログラム
- 産学官の人材交流・流動
- 若年層向けの教育プログラム 等

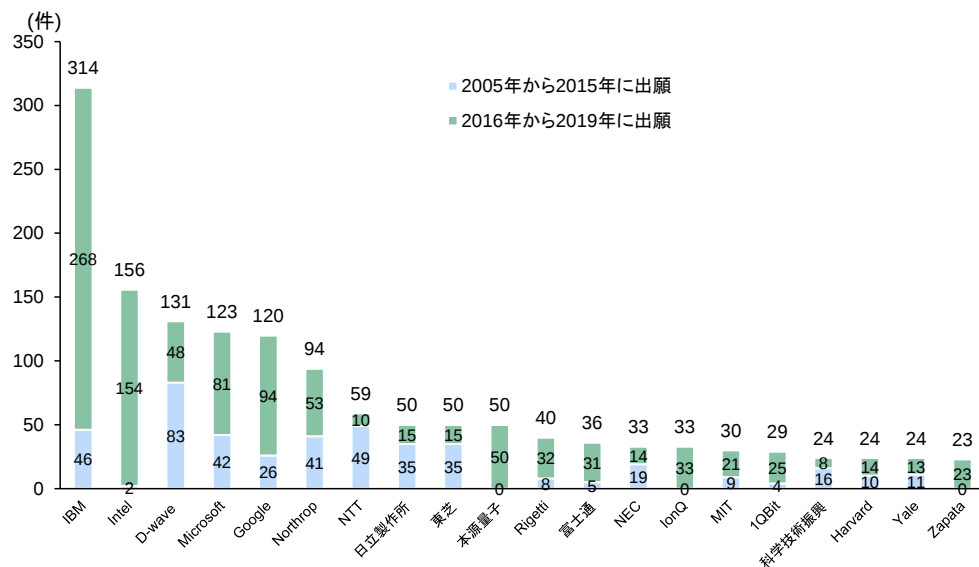
(出所)内閣府資料より、みずほ銀行産業調査部作成

⁸ 2023 年 11 月 27 日にアリババは量子コンピューティング研究所の閉鎖を発表
⁹ (出所)経済産業省「事務局説明資料(イノベーション創出に向けた先端基盤技術(量子・AI)戦略について)」(2022 年 2 月)

足下の日本の特許数は劣勢になりつつある

日本の民間企業においては、富士通、日本電信電話（以下、NTT）、日立製作所、東芝、日本電気（以下、NEC）等の大企業を中心に量子コンピュータの研究が行われている。そもそも 1 量子ビットの動作制御に世界で初めて成功したのは NEC であり、従来、量子コンピュータは日本が強い分野と言われていた¹⁰。足下は米国大手テック企業が本腰を入れて量子コンピュータに取り組んだことにより、特許数の観点ではやや劣勢になってきている（【図表 4】）。日本企業の個社の動向については、量子コンピュータのサービスを 2023 年から提供することを発表した富士通と、特許数で国内トップの NTT の動向について紹介する。

【図表 4】企業別量子コンピュータ関連特許数（2005 年から 2019 年）



（注）主要国又は地域への出願、及び、PCT 国際特許出願がカウント対象

（出所）国立国会図書館「社会実装（実用化）と社会への影響及び課題」より、みずほ銀行産業調査部作成

富士通は日本企業で初めて量子コンピュータのサービスを提供

富士通においては、オランダのデルフト工科大学や日本の理化学研究所（以下、理研）と共同で量子コンピュータの研究開発を行っている。2023 年には富士通が理研と共同で、64 量子ビットの超電導方式の量子コンピュータのサービス提供を日本企業で初めて開始した。今後のロードマップとしては、2026 年度以降に 1,000 量子ビット超の超伝導量子コンピュータ公開を目指している。

NTT の IOWN 構想においても量子コンピュータが重要要素となる可能性

NTT については、2020 年に先述の「ムーンショット型研究開発事業」に東京大学と開発を行っている光方式の量子コンピュータが採択された。更に NTT は IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) という大きな構想を掲げており、IOWN 構想を「革新的な技術によりこれまでのインフラの限界を超え、あらゆる情報を基に個と全体との最適化を図り、多様性を受容できる豊かな社会を創るため、光を中心とした革新的技術を活用した高速大容量通信、膨大な計算リソース等を提供可能な、端末を含むネットワーク・情報処理基盤の構想」としており、光方式の量子コンピュータも IOWN の重要な要素の一つとなる可能性がある。

（2）各国の投資状況

中国や米国大手テック企業と同水準の投資を実行することは容易ではない

官による投資の観点では、日本は従来量子コンピュータへの投資が主要国対比、金額で劣後していた中で、足下では量子コンピュータ以外にも含む複数の政策に跨る予算の合計ではあるものの、日本も量子コンピュータ関連への予算を増額してきており、主要国レベルになっている（【図表 5】）。ただし、中国においては、既述の通り、主要国を遥かに上回る投資を実行しており、その投資水準に追従することは容易ではない。民間による投資の観点では、各社の量子コンピュータへの投資額は不明であるが、既述の量子コ

¹⁰ 1999 年にゲート型の量子コンピュータに用いる超伝導量子ビットを開発。

ンピュータの特許数の推移に加えて、足下の米国テック企業の研究開発費と比較すると、日本の大手 IT 企業の研究開発費は 10 分の 1 程度となっており、量子コンピュータへの投資余力は米国大手テック企業対比限定的と言わざるをえない(【図表 6】)。官民の量子コンピュータへの投資動向をまとめると、官においては中国、民においては米国が優位にある状況であり、日本においてはこの現状を踏まえながら、効率的かつ効果的で彼らとは異なる戦略展開を先んじて実行していくことが必須となる。

【図表 5】主要国の国家予算

主要国	概要
米国	■ 国家量子イニシアティブ法(2018年)により、政府は、6年間で約1,400億円の支援プログラムを開始(2022年の量子関連予算要求額は約1,000億円)
中国	■ 中国科学技術大学は合肥市に1兆円規模を投じて量子関連の研究開発拠点を整備
欧州	■ 約1,300億円のFlagshipプロジェクトを開始(2018年から10年間)
英国	■ 研究開発投資約4,500億円(2024年から10年間)
日本	■ 政府全体の予算額: 342億円(2021年度237億円+2020年度補正105億円)→ 859億円(2023年度421億円+2022年度補正438億円)

(出所) 経済産業省資料より、みずほ銀行産業調査部作成

日本の強みは①研究実績、②裾野の広さに加えて、素材・装置等でのプレゼンス

課題は、①量子人材、②ハードのパフォーマンス、③予算

ここまでの現状を踏まえると、日本の量子コンピュータにおける強みとしては、理研の実績、アカデミアを中心としたムーンショット型研究開発制度での複数方式への取り組みおよび日本企業の技術力(特許数)等から「①アカデミア及び民間における研究領域での実績」、産官学連携強化を目指した複数の枠組み等の成果としての「②量子コンピュータに関わる機関の裾野の広さによるイノベーション創出の期待」の 2 つが挙げられる。加えて、量子コンピュータの半導体方式等では日本の半導体の素材・装置の強みを生かすことが期待でき、量子コンピュータのハード製造に向けてはエレクトロニクス知見も不可欠なことから、日本の強みである素材・装置・エレクトロニクス領域でのグローバルプレゼンスも強みとなる可能性がある。

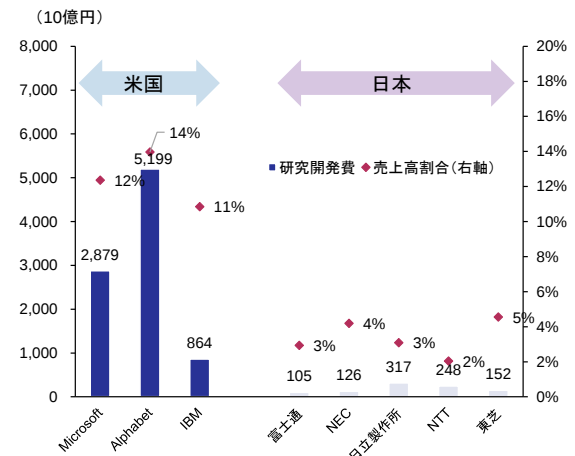
一方で日本の課題としては、ヒト・モノ・カネの観点で整理することができ、①量子人材不足・育成(ヒト)、②IBM等のグローバルプレイヤーと比較したときの量子コンピュータのパフォーマンス(モノ)、③米中対比、産官を合わせた比較における限定的な予算(カネ)となる。

上記の現状を踏まえて、日本の戦略方向性を考察する前に、次の章では日本の量子コンピュータへの取り組み意義を考えるために IT 産業の現状を整理したい。

5. IT 産業の現状整理を踏まえた日本の量子コンピュータへの取り組み意義

2 章で述べた通り、量子コンピュータは、IT 産業に大きく関わるコンピューティングの将来の技術である。更に、足下の生成 AI の様に量子コンピュータも IT 産業を含む全産業に大きなインパクトを与えることが予想される。本章では、IT 産業の中でも量子コンピュータの役割期待として最も大きいコンピューティングにフォーカスを当てて、コンピューティングの付加価値領域でのグローバル・日本の動向について整理を行うことで、日本の量子コンピュータへの取り組み意義を説明する。

【図表 6】日米 IT 企業の研究開発費用比較(単年度)



(出所) 各社公開資料より、みずほ銀行産業調査部作成

(1)コンピューティング領域の変遷

アーキテクチャとチップの領域が、量子コンピュータにおいても重要となる可能性

チップの発展とアーキテクチャの変更は相互に影響がある

量子コンピュータ時代においても、アーキテクチャとチップが重要となる可能性

まずグローバルでのコンピューティング領域の変遷及び共通的な価値を振り返る。今までのコンピューティング領域の変遷は、①メインフレーム時代(～1990 年代)、②クライアントサーバー時代(1990 年～2010 年)、③パブリッククラウド時代(2010 年代～)の大きく3つの時代に整理することができる(【図表 7】)。各時代での共通点としては、ソフトウェアによりアーキテクチャ変更を主導したプレイヤーと各時代のニーズに合ったチップ製造領域のプレイヤーが先行者メリットによりプレゼンスを大きく向上させてきたことが分かる(パブリッククラウド時代においても CPU 等の従前のチップは引き続き重要である)。プレゼンス向上を実現できた背景には、コンピューティングを革新するアプローチがあった。アーキテクチャ変更によりコンピュータの効率的な活用・仕組みを実現する方法とチップ開発により処理速度等のコンピュータのパフォーマンスを高める方法の 2 つに整理ができ、コンピューティングの付加価値向上はこの 2 つにより実現されている。

また各時代の変化点を振り返ると、クライアントサーバー時代にはチップ性能向上及びネットワーク発展により分散コンピューティングを実現し、パブリッククラウド時代でも更なるチップ性能向上及びネットワーク発展により中央処理であるクラウドコンピューティングが実現したことで、アーキテクチャの変革に繋がった。更に、パブリッククラウド時代の新たなアーキテクチャの下で、AI という特定ニーズに応じたコンピューティングを効率的に供給する観点からチップ開発が進展し、GPU の付加価値が高まった。これらより、コンピューティングの進化において、チップの発展とアーキテクチャの変更は相互に影響しているといえる。

これらの状況を踏まえると、将来の量子コンピュータ時代においても、コンピューティングを革新するアプローチとして、アーキテクチャとチップが重要であり、アーキテクチャの変革者または量子コンピュータのチップ製造領域の先行者が市場を制する可能性が高いと考える。ただし、量子コンピュータは、従来とは非連続のコンピュータであり、また実現方式が定まっていないことから、実用的な性能を持つ量子チップが開発されるまでは、アーキテクチャは確定しないと考えられる。つまり量子コンピュータ時代においては、ある程度の量子チップの発展が実現した上でアーキテクチャの変更が行われると予想する。

【図表 7】 グローバルのコンピューティング領域の変遷

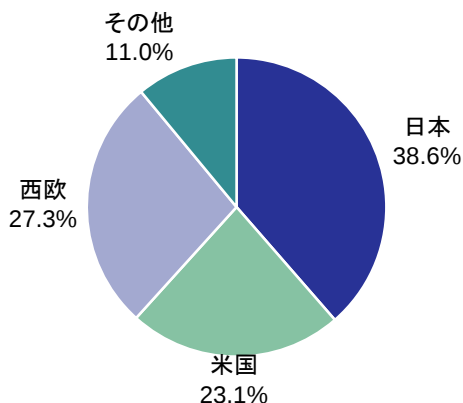
		メインフレーム時代 (～1990年)	クライアントサーバー時代 (1990年～2010年)	パブリッククラウド時代 (2010年代～)
変化		■ アーキテクチャの概念と集積回路が誕生	■ 半導体の向上・ネット普及により、オープン化と水平分業が促進	■ 集約化による柔軟性かつ高コスト効率の実現・所有から利用へ
アーキテクチャ	概要	汎用化 ■ 業務と機器の一对一対応から一台で広範な業務に対応	オープン化 ■ 標準化された技術・製品の組み合わせが可能(水平分業化)	仮想化 ■ ハードウェアを抽象化し、必要に応じたサービスを提供
	注目プレイヤー・製品	IBM: System/360	Microsoft: Windows	Amazon: AWS
チップ	注目領域	DRAM ■ メインフレームの大量データを集中的に処理する必要性	CPU ■ PCとサーバー構造による分散処理能力向上の必要性	GPU ■ 莫大な計算資源が必要なAI用の効率の良いチップの必要性
	注目プレイヤー	日本企業(日立、日本電気、東芝)	Intel	NVIDIA
その他コメント		■ 当初は先行者IBMが圧勝 ■ 1980年代に日本はDRAM市場シェアの80%を獲得し、その後メインフレームでもトップシェア	■ 「Wintel」と呼ばれたWindowsとIntelの強大な影響力 ■ 日本勢及びIBM等のハード製造企業はシステムインテグレーション及び運用保守に活路	■ 日本企業もクラウド事業に参入も、ハイパースケーラーが寡占 ■ チップ領域においても日本のプレゼンスは限定的

(注)それぞれのコンピューティングが最も注目を集めた時期を記載しており、足下もメインフレームやクライアントサーバーは利用されている
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

かつては日本勢もコンピューティング領域でプレゼンスが高い領域もあった

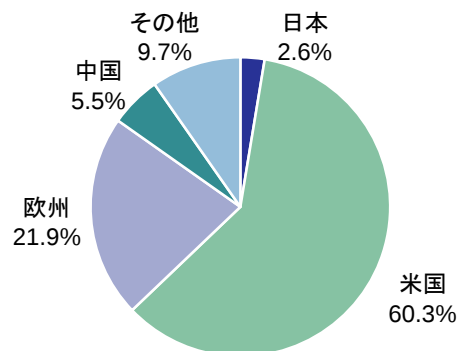
日本のコンピューティングにおいては、過去を振り返ると、メインフレームの製造でグローバルのトップシェアを獲得し、コンピューティングの付加価値が半導体に移行したクライアントサーバー時代には製造での知見を活かし、ハードの運用・保守というコンピューティング関連サービスでプレゼンスを獲得してきた（【図表 8】）。2010 年代に入り、パブリッククラウドの普及が進み、コンピューティング領域におけるビジネスモデルが利用者によるリソースの所有から利用に移り変わる中で、Amazon、Microsoft、Google 等の外資系ハイパースケーラーは、その業界構造の変化を上手く捉えてグローバルでプレゼンスを拡大した。彼らはグローバルのクラウド市場において 6 割程度のシェアを占める一方で、コンピューティング領域における日本勢のプレゼンスは低下していった（【図表 9】）。

【図表 8】 2001 年メインフレーム市場の国別シェア
（世界/出荷台数ベース）



（出所）経済産業省資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【図表 9】 2020 年クラウド(IaaS/PaaS)市場国別シェア
（世界/売上高ベース）



（出所）経済産業省資料より、みずほ銀行産業調査部作成

(2)ハイパースケーラーとパブリッククラウドにおける日本の状況

ハイパースケーラーはクラウドの設計・開発を行い、製造は OEM に委託

現状のコンピューティングにおける日本のプレゼンス向上の可能性を考えるべく、更にパブリッククラウド及びそれを展開しているハイパースケーラーの現状を整理したい。パブリッククラウドの業界構造としては、ハイパースケーラーがクラウドのためのサーバー／ストレージを設計・開発し、製造は OEM に外部委託する形となっている。グローバルのサーバー／ストレージ製造のトップシェアを有する Dell Technologies や Hewlett Packard Enterprise の過去 3 期平均の営業利益率はそれぞれ 4.8%、7.0%と、両社とも営業利益率で 40%を超える Microsoft のパブリッククラウド事業対比低位となっており、製造自体の付加価値は限定的となっている。

ハイパースケーラーの強みは、①資本力、②スケール、③オープン化

足下のハイパースケーラーの強みは、①資本力（高額な研究開発や人材投資の継続）、②スケール（グローバル展開及びスケールメリットの享受が可能）、③オープン化（エコシステム）である。一方で国内大手 IT プレイヤーのプレゼンスが限定的な理由としては、上記の 3 点で優位にはないことに加えて、従来強みを持っていたコンピューティング領域のハードの製造販売という売切り型のビジネスモデルとパブリッククラウドのサブスク型ビジネスモデルでカニバリゼーションが起きていたことにより、パブリッククラウド一本にフォーカスできるハイパースケーラーに劣後してしまったと考えられる。

日本のコンピュータ関連サービスの国際収支の赤字が拡大する可能性

パブリッククラウド市場における外資系ハイパースケーラーの寡占化は日本経済にも大きな影響がある。経済産業省によると、日本の国際収支のうち、「通信・コンピューター・情報サービス」は、2021 年時点で約 1.4 兆円の赤字であったが、コンピューティング需要の更なる拡大による国内パブリッククラウドサービス市場の成長に伴い、2030 年時点で約 8 兆円の赤字になる可能性がある¹¹と指摘されている。

¹¹ （出所）経済産業省「次世代の情報処理基盤の構築に向けて」（2022 年 7 月）

コンピューティングは各産業におけるコアレイヤーとなる可能性

足下、AI モデル等も含む全てのソフトウェア開発・利用にはコンピューティングリソースが必要であり、各産業においてクラウドの活用進展が予想される。日本がコンピューティング領域でプレゼンスを発揮できない場合、日本産業の利益が海外のハイパースケーラーに流れ、「通信・コンピューター・情報サービス」に関する国際収支の赤字が拡大し続けるリスクがある。

日本のコンピューティングの競争力の更なる低下の可能性

日本勢によるパブリッククラウドでの巻き返しが期待されるものの、デジタル庁は 2022 年 10 月に日本の行政機関が共同利用する「ガバメントクラウド」の調達先として、Amazon、Google、Microsoft、Oracle の米国企業 4 社を発表しており、国内勢については技術要件等の基準を満たせない事を理由に応募ができなかったと言われている(2023 年度は複数の日本企業が参入を表明)。仮に日本勢のパブリッククラウドが日本においてですら使われない状況が続けば、海外と日本産業のコンピューティングの競争力の差が更に拡大し、知見や技術力が低下していくことが予想される。

将来的にゲームチェンジの可能性を秘める量子コンピュータに日本は取り組むべき

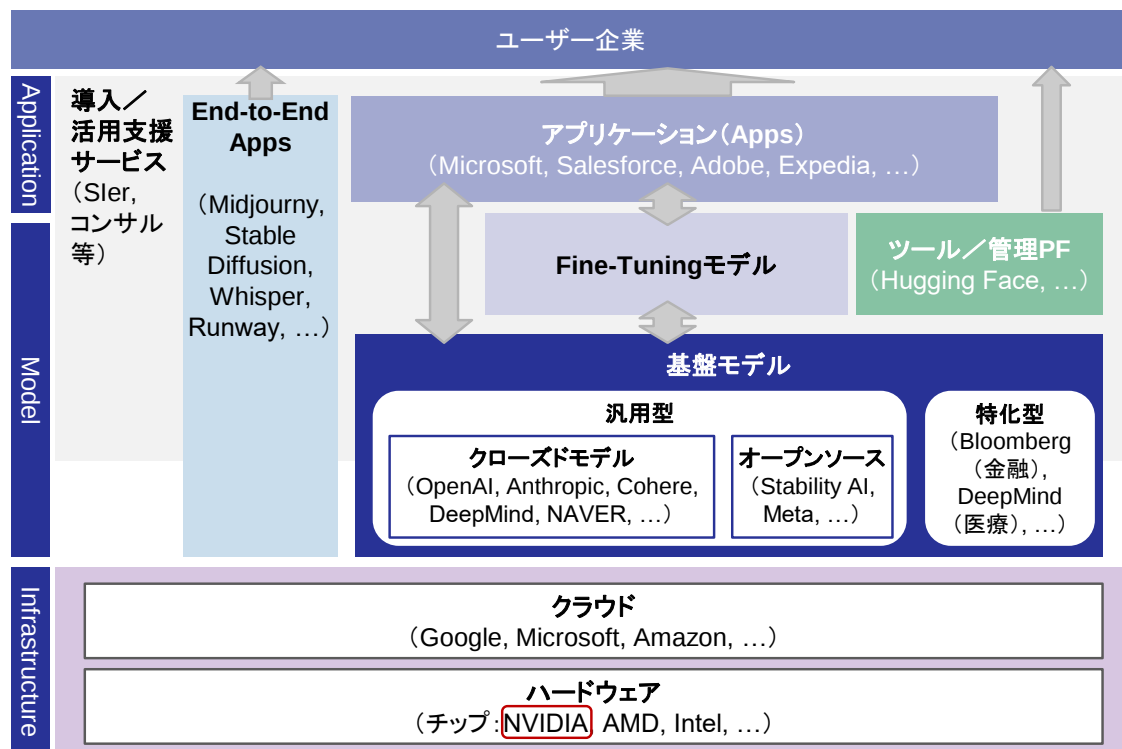
現在の IT 産業の状況を踏まえて、①資本力、②スケール、③オープン化で劣る日本勢がコンピューティング領域で巻き返しを図るためには、従来コンピュータとは非連続の新しい領域からのゲームチェンジが必要であり、次世代のコンピューティング技術として期待がかかる量子コンピュータに集中して勝負を挑むべきではないだろうか。既述の通り、量子コンピュータにおいては、まずは量子チップの発展が必要であることを踏まえて、当面はアーキテクチャ領域ではなくチップ領域に注力するべきではないだろうか。そこでチップ領域での可能性を探るべく足下の AI ブームを捉えてハイパースケーラーに並ぶ程のプレゼンス向上を実現した AI チップの代表的な先行者である NVIDIA の動向を次節にて取り上げる。

(3)NVIDIA の動向を踏まえた日本の機会

生成 AI の勃興により、GPU に特化している NVIDIA のプレゼンスが大幅に上昇

足下、ChatGPT を契機に生成 AI で盛り上がる IT 産業を AI の切り口で見ると、大きくインフラ(コンピューティング)、モデル、アプリケーションの 3 レイヤー構造となっている(【図表 10】)。モデルレイヤーでは、モデル単体でマネタイズするビジネスモデルがまだ確立できておらず、モデルを開発・運用するにあたり著しくコンピューティングリソースが必要なため、コンピューティングサービスを提供するハイパースケーラーがプレゼンスを高めている。加えて、このハイパースケーラーに並ぶ評価を資本市場から受けているプレイヤーが GPU の半導体設計・開発に特化している NVIDIA である(製造は外部に委託)。

【図表 10】グローバル AI 市場の業界構造



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

NVIDIA は AI の中で必要不可欠なコンピューティング領域のコア技術である GPU を押さえ圧倒的なシェアを持つ

NVIDIA はコンピュータゲームに代表されるリアルタイム画像処理に特化した GPU を従来から手掛けており、グローバルで 8 割程度の GPU のシェアを占めている¹²。NVIDIA がハイパースケーラーに並ぶ資本市場からの評価を獲得した背景としては、GPU が AI の並列計算処理に向いており、足下の生成 AI 等による AI 需要の高まりにより AI の中で必要不可欠なコンピューティング領域のコア技術になったことが大きい。NVIDIA の AI 向けのチップである GPU「H100」の原価に対して販売価格は 10 倍程度¹³と推測されていることや、パブリッククラウド最大手の AWS の幹部が「GPU 不足は 2～3 年続く」¹⁴と足下予想しているように、GPU 需要が供給を大幅に上回っている現状を踏まえても、足下のコンピューティング領域において GPU が最も価値がある領域と考えてよいのではないだろうか。また足下、NVIDIA は 2023 年に DGX Cloud という生成 AI 開発用のソフトウェア込みの GPU サーバーでのクラウドサービスを展開し、クラウド領域での事業展開強化も行っている。

日本については従来の実績と強みを踏まえて、チップ製造を優先領域として注力していくべきではないか

日本においては、過去にナンバーワンの実績があることや日本の今の強み(素材・製造装置・エレクトロニクス等)の活用・連携の容易さを踏まえると、新たなチップ領域で覇権をとる可能性があると考ええる。量子コンピュータ領域におけるアカデミア・民間の研究実績や関係する機関の裾野の広さの強みを有することから、グローバルに先駆けてハードを開発し、その中で量子コンピュータのチップ製造領域のコア技術を押さえることができれば、NVIDIA の様にコンピューティング領域においてグローバルでプレゼンスを高めることができる可能性があるのではないだろうか。加えて、量子チップを制することで、DRAM を梃にメインフレームを制した日本企業や足下 GPU を梃にクラウドレイヤーに進出している NVIDIA の様に、量子チップを梃にコンピューティング領域の上流レイヤー領域への進出、場合によっては、新しいアーキテクチャの変更を主導できる可能性もあると考える。更に、既述の通り、量子コンピュータの半導体方式等では日本の半導体の素材・装置の強みを生かすことが期待でき、量子コンピュータのハード製造に向けては

¹² (出所)ダイヤモンド社、ダイヤモンドオンライン(<https://diamond.jp/articles/-/323643>) (2023 年 12 月 7 日)

¹³ (出所) Ziff Davis, ExtremeTech(<https://www.extremetech.com/computing/report-nvidia-is-raking-in-1000-profit-on-every-h100-ai-accelerator>) (2023 年 12 月 7 日)

¹⁴ (出所)「日本経済新聞」(2023 年 10 月 31 日電子版)

エレクトロニクス知見も不可欠なことから、日本の強みである素材・製造装置・エレクトロニクス等の知見活用ができると考える。

量子コンピュータ
は日本が全力で
取り組むべき領
域

量子コンピュータを他国に先駆けて開発することはハードルが高いものの、量子コンピュータはコンピューティング領域でプレゼンスを失った日本が挽回を図る大きなチャンスであり、先行者になることを目指して全力で取り組むべき領域と言えるのではないだろうか。これらを踏まえて、日本が量子コンピュータにおいてグローバルで戦うための戦略方向性と打ち手を次の章で述べる。

6. 日本の産官学の戦略的方向性

ヒト・モノの観点
を中心に競争優
位性を確保して
いく必要性

前章までの内容を踏まえて、(1)日本が取るべき量子コンピュータの戦略的方向性と(2)考えられる打ち手を考察したい。4章にてヒト・モノ・カネの観点で日本の量子コンピュータの課題を整理したが、その中でも最も大きな差となっているのがカネであり、単純なカネの絶対量だけで考えるとGAFAMを中心とする米国テックや中国政府の研究開発費・投資金額に匹敵する資金を日本の産官学が現時点で調達・活用することはハードルが高く容易ではない。量子コンピュータの黎明期が今後も当面は続くことが予想される中で、産官による長期的かつ継続的な資金供給を前提としつつ、日本においてはヒト・モノの観点を中心に競争優位性を確保していく必要がある。

(1)日本が取るべき量子コンピュータの戦略的方向性

ヒトにおいては、
当面は実績のあ
るアカデミアを中
心に育成

まず日本のヒトに関する方向性であるが、量子コンピュータの産業化に向けては、絶対的な量子人材の量と質へのコミットメントが必要不可欠である。日本はアカデミアで、特に理研が64量子ビットの量子コンピュータのハード開発に成功する等、諸外国対比、実績がある中で、当面はアカデミアを中心に人材を育成していくことが良いと考える。人材育成の具体的な施策例としては、アカデミアにて欧米の様に量子プログラムや量子コンピュータの大学・大学院の学科等を作ることが挙げられる。具体例としてはスイスのチューリヒ大学のMaster in Quantum Engineeringやアメリカのシカゴ大学での学部生含む量子コンピュータのプログラム提供等がある。これらは研究室が中心となる小規模な枠組みと異なり、一定の教育の質を担保しながら量子人材をより効率的に増やすことができると考える。加えてMBAや社会人博士課程の様に社会人のリカレント教育のための仕組みを設けて、他業種人材の量子知見獲得や産学での人材交流を活性化させることも重要と考える。量子コンピュータのイノベーションやニーズ拡大に向けては、量子と各業界の課題や技術の知見を持つ量子×他分野の人材の母数を増やすことが重要である。特に素材・製造装置・エレクトロニクス等の人材が量子知見を持つことで、量子コンピュータのハード開発でのイノベーション実現への貢献が期待でき、民間企業においても自社における量子人材育成への後押しを期待したい。

モノについては、
汎用型の量子コ
ンピュータの量子
チップを最重要
領域とするべき

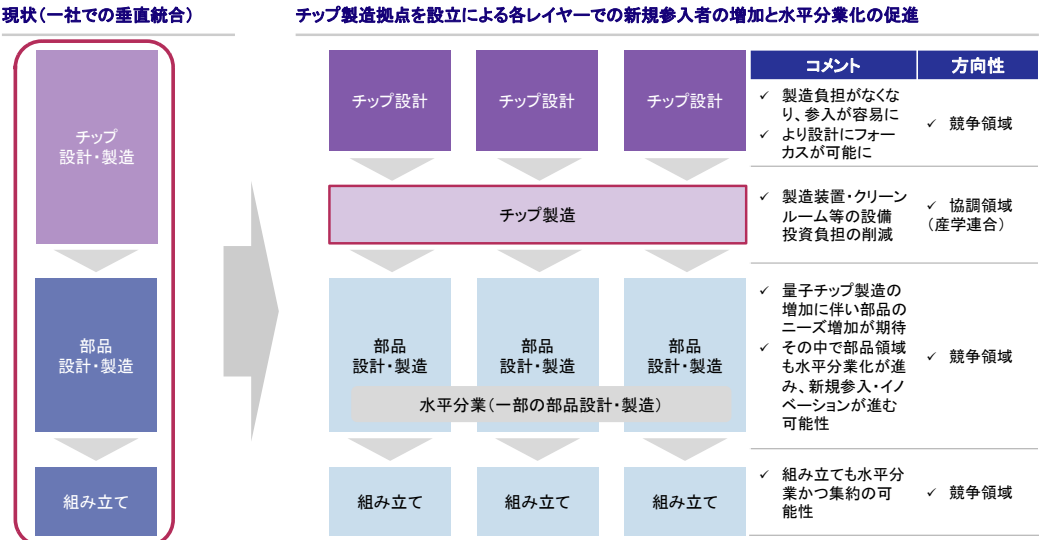
次にモノの方向性に関してだが、量子コンピュータがハードとアプリと大別できる中で、5章で述べた通り、日本は資金及びイノベーションが必要な汎用型のハード、特に量子チップで勝つことを目標にすることが重要だと考える。加えて、量子コンピュータの主要国・主要企業が汎用型の量子コンピュータのハード開発に注力する中で、2章で述べた通り、日本も汎用型の量子コンピュータでの覇権を目指すべきである。また繰り返しになるが、量子コンピュータは日本がコンピューティング領域でのプレゼンスを挽回する大きな機会であり、素材や製造装置等に強みを持つ日本にとって量子チップは大きな可能性があると考えられる。アプリについては必要となる投資額が少ないことに加えて、既に政策的な支援や様々な枠組みがある。ハードでのブレイクスルーが待たれる当面の間においては、ユーザー数を増やす観点からもアプリの開発基盤の共通化等を中心に対策を行いユーザーが利用しやすい環境を整えていく必要がある。

(2)考えられる打ち手

量子チップのファウンドリー機関の設立により、イノベーションを加速

ヒト・モノについての方向性が前節の前提の下、カネが限定的な日本が人材育成及びハード領域でのイノベーションを加速化させていくための打ち手として量子チップ製造における水平分業の活用を挙げたい。半導体製造においては、①設計と製造の両方に高度な専門性、②初期的かつ継続的に相応の製造設備投資が必要になることを背景に水平分業的な構造が主流となった。量子チップ製造においても同様に上記 2 つが求められると考えられることから、複数の製造方式に対応できる量子チップに特化した製造拠点を持つファウンドリー機関の設立により、量子チップの設計と製造を分け、両面でのイノベーションを目指したい(【図表 11】)¹⁵。

【図表 11】量子チップに特化した製造拠点をを持つファウンドリー機関の設立のイメージ



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

ハード製造においては量子チップ製造に最も投資が必要

より詳細を述べる前に、量子コンピュータのハードの構成要素について少し補足すると、足下の量子コンピュータは制御機器、検出機器、量子チップ等の部品から成り立つ。その中で現時点のコスト構造を見ると、古典コンピュータと同じように量子チップの製造に最もコストが必要(8~9割程度)となっている¹⁶。量子チップの製造のコストとしては、量子チップの素材や製造装置の調達に加えて、クリーンルーム等の設備投資が必要になるが、これらの準備をビジネス化の可能性が見通しづらい現時点でベンチャー企業や新規参入企業が準備するのは時間軸及び投資規模の観点から難しい。

参入障壁の低下、技術者の負担の減少を実現

上記を踏まえ、量子チップ製造に特化した拠点をを持つファウンドリー機関を産官学連携により設立することで課題に対応したい。研究開発負担については、現時点では垂直統合的なカバーを行う機関が多いが、設備投資・技術習得の観点で大きな負担となる量子チップの製造領域の負担がこの打ち手により軽減すれば、ハードへの参入障壁が低下し、ベンチャーを中心とした民間企業の参入が容易となる。更に戦略的に当機関と海外企業・アカデミア等との提携により、グローバルでのプレゼンスも拡大させることで、海外企業・海外投資家からの日本への投資の呼び込みも期待できよう。また、研究資金が限定的なアカデミアにおいても新たな研究分野の領域として量子コンピュータをカバーしやすくなりアカデミアでの量子コンピュータの研究の活性化も期待でき、そしてそれが人材育成にも繋がると考える。

¹⁵ (出所) 日経 BP、日経 XTech (<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/column/15/101800135/012200010/>) (2023 年 12 月 7 日)
¹⁶ (出所) ダイヤモンド社「量子コンピュータは 1 台いくら? 巨額部品ビジネスで「勝てる日本企業」8 社リスト」(2022 年 7 月)

更に各レイヤーにおける水平分業化の促進や産学連携強化への貢献も期待

論点は①技術的な互換性や規格の乱立、②限定的な製造機関の数、③量子チップに関するニーズの変化

更に民間企業においては、量子チップ製造が増えることによって、量子チップ製造以降の工程で、特定領域での強みを活かした新規参入者が水平分業的に各レイヤーで増え、それぞれの領域でイノベーションが加速化する可能性があるとともに、アカデミアにおいては産官学連携や民間企業の参入増による接点機会の増加を機に資金援助・調達機会・協業が増える可能性があると考ええる。また量子チップ製造機関としても、量子チップ製造に特化させることで技術者の生産技術力向上や生産コストの削減に加えて、日本の産学を代表する製造機関とすることで、素材や装置等に強みを持つ企業にとっても取引における注力先が明確化され、製造機関と素材・装置企業との連携・マッチングが容易になると考える(【図表 12】)。

一方で、本件を実行した場合の論点としては①参入者の増加による技術的な互換性や規格の乱立等の課題が生じる可能性、②製造領域を担うことができる機関の数が限定的となる可能性、③アーキテクチャ変更に伴う量子チップに関するニーズの変化の可能性が挙げられる。論点①については、標準化団体の立ち上げ、もしくは既述の国内の量子技術にかかる枠組みを活かして、製品の標準化・規格の統一化にも注力すべきである。そして国内のみならず、グローバルでの量子チップ領域の製品の標準化・規格の統一化に関しても日本のリーダーシップ発揮を期待したい。論点②については、現状の基礎研究フェーズから前進し、よりビジネスの可能性が高まったタイミングにおいて、米国でNASAが民間企業に技術や知見を開放して民間の参入を促した様に、量子チップ製造機関の技術や知見を一部の企業に開放することで、参入者を呼び込み競争力を強化していくことも考えられる。論点③については、アーキテクチャの変更に伴う特定領域や用途に特化した量子チップのニーズの変化は起こりえるが、現時点で予想を行うことは難しいため、ユーザーニーズやテクノロジーのトレンドを常に意識しながら、柔軟性とアジリティを持ち合わせた戦略展開・研究開発を実行していくことが求められる。

【図表 12】量子チップ製造特化拠点のメリット

	民間企業	アカデミア	チップ製造機関
メリット①	■ ハード領域への参入障壁の低下 — ベンチャー企業等の参入が可能に	■ ハード領域への参入障壁の低下 — ハード分野の研究がより盛んになり、人材育成へ	■ 生産技術力の向上 — 集中生産による製造技術者の技術力向上
メリット②	■ 研究負担の減少 — 製造の自前化が不要に	■ 研究負担の減少 — 製造の自前化が不要に	■ 生産コストの削減 — 生産を集中させることでコスト効率が向上
メリット③	■ チップ製造以降の領域の活性化 — 水平分業的な新規参入者の増加	■ 民間との連携強化 — 産学拠点とすることで民間との接点も増加	■ 素材・装置企業との連携 — 素材・装置企業にとって注力先が明確化
論点	■ 参入者の増加による技術的な互換性や量子チップの規格の乱立等の課題が生じる可能性 ■ 製造領域を担うことが出来る機関の数が限定的となる可能性 ■ アーキテクチャ変更に伴う量子チップに関するニーズの変化の可能性		

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

以上を踏まえて、量子チップ製造に特化した機関を立ち上げることが、日本の量子コンピュータのヒト・モノの両面にプラスな影響を与えると考える。そしてヒト・モノの観点で日本がグローバルプレゼンスを発揮することができれば、日本の量子コンピュータへの投資機会への期待が高まり、カネという日本の課題解決貢献にも繋がる。

7. おわりに

諸外国含めて量子コンピュータへの注目度が増す中で、今後の量子コンピュータの競争はより厳しいものになることが予想される。ただし、量子コンピュータの勝負はある意味ではまだまだ始まったばかりであり、コンピューティング領域でプレゼンスを失った日本にとっては大きな失地回復の機会となり得る。量子コンピュータにより、日本の IT 産業が再び存在感を高めるとともに、DX と同様に日本のユーザー企業と共創を行うことで、既存ビジネスの強化及び新たなビジネス創出に貢献し、日本全体の産業力の強化に繋がることを期待したい。

みずほ銀行産業調査部
テレコム・メディア・テクノロジーチーム 足立 裕之
Hiroyuki.Adachi@mizuhoemea.com

[アンケートに
ご協力をお願いします](#)



Mizuho Short Industry Focus／218 2023 No.19

2023 年 12 月 14 日発行

© 2023 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。
本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

編集／発行 みずほ銀行産業調査部

東京都千代田区丸の内 1-3-3 ird.info@mizuho-bk.co.jp