

量子技術の実用化推進ワーキンググループ（第八回）議事要旨【公開用】

1. 日時 令和5年2月20日（月）10:00~12:00
2. 場所 Web会議（Teams）
3. 出席者（敬称略、順不同）

<構成員および有識者> ◎主査、○主査代理

- ◎伊藤 公平 慶應義塾塾長
- 岡田 俊輔 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会実行委員長
- 川畑 史郎 産業技術総合研究所新原理コンピューティング研究センター副研究センター長
- 佐藤 信太郎 富士通株式会社富士通研究所量子研究所長
- 嶋田 義皓 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センターフェロー
- 鈴木 教洋 株式会社日立製作所執行役常務CTO兼研究開発グループ長
- 寒川 哲臣 日本電信電話株式会社先端技術総合研究所基礎・先端研究プリンシパル
- 松岡 智代 株式会社QunaSysCOO
- 山田 昭雄 日本電気株式会社執行役員
- 萬 伸一 国立研究開発法人理化学研究所量子コンピュータ研究センター副センター長

- 安藤 悠太 スキルアップAI 株式会社 マネジャー（量子分野担当）
- 小縣 信也 スキルアップAI 株式会社 取締役 CTO
- 金子 晋久 産業技術総合研究所物理計測標準研究部門首席研究員
- 崔 熙元 JellyWare 株式会社 代表取締役

<政府関係者（関係行政機関の職員）>

- 高原 勇 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官
- 増田 幸一郎 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局政策企画調査官
- 犬塚 誠也 金融庁総合政策課総合政策企画室長
- 武馬 慎 総務省国際戦略局技術政策課研究推進室長
- 石川 勝利 外務省総合外交政策局軍縮不拡散・科学部国際科学協力室長
- 迫田 健吉 文部科学省研究振興局量子研究推進室長
- 高江 慎一 厚生労働省大臣官房厚生科学課研究企画官
- 羽子田 知子 農林水産省農林水産技術会議事務局研究開発官室
- 堀部 雅弘 経済産業省産業技術環境局研究開発課研究開発調整官
- 川村 竜児 国土交通省総合政策局技術政策課技術開発推進室長
- 大崎 馨 防衛装備庁技術戦略部技術戦略課技術企画室長

<事務局>

内閣府科学技術・イノベーション推進事務局

4. 議事次第

1. イノベーション創出基盤の論点等

2. イノベーション創出基盤の有識者ヒアリング

(1) 産業人材の確保・育成について

○崔 熙元 JellyWare 株式会社 代表取締役

○小縣 信也 スキルアップ AI 株式会社 取締役 CTO

安藤 悠太 スキルアップ AI 株式会社 マネジャー（量子分野担当）

(2) 新産業／スタートアップ等を支援するイノベーション基盤の整備について

○松岡 智代 株式会社 QunaSys COO

(3) 標準化・知財化・ベンチマーク設定について

○金子 晋久 産業技術総合研究所物理計測標準研究部門首席研究員

(4) 総合議論

○岡田 俊輔 量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR) 実行委員長

○構成員による総合議論

3. その他

5. 配布資料

資料 1 イノベーション創出基盤の論点等

資料 2-1 有識者資料（JellyWare 崔代表取締役資料）

資料 2-2 有識者資料（スキルアップ AI 小縣取締役 CTO 安藤マネージャ）

資料 2-3 有識者資料（QunaSys 松岡 COO）

資料 2-4 有識者資料（産総研金子首席研究員）

資料 2-5 有識者資料（Q-STAR 岡田実行委員長）

資料 3 量子技術の実用化推進ワーキンググループのスケジュール

参考資料 1 量子技術の実用化推進ワーキンググループの設置

参考資料 2 量子技術の実用化推進ワーキンググループの概要

参考資料 3 量子技術の実用化推進ワーキンググループの論点

参考資料 4 量子技術の実用化推進ワーキンググループの進め方

参考資料 5 実用化推進 WG の中間取りまとめの報告について

参考資料 6 イノベーション創出基盤等の国内外動向（CRDS 資料）

参考資料 7 量子技術の実用化推進ワーキンググループ（第五回）の議事要旨案

参考資料 8 量子技術の実用化推進ワーキンググループ（第六回）の議事要旨案

参考資料 9 有識者資料（東海国立大学機構、トヨタ自動車）

6. 議事要旨

(注 1) 議事要旨を簡潔にするため、「質問・回答」をまとめて記載しているところがあります。

議事 1 イノベーション創出基盤の論点等について

事務局が、資料 1 を用いて、イノベーション創出基盤の論点等を説明した。

議事 2 イノベーション創出基盤についての有識者ヒアリング

(1) 産業人材の確保・育成について

崔氏が、資料 2-1 を用いて説明した。主な意見や質疑は以下のとおり。

【崔氏からの説明】

- 量子業界で今課題となっているのは、技術研究はとても盛り上がっているが、なかなかビジネスにつながる成果が少ないこと。
- 量子技術をビジネス創出につなげるためには、量子技術のスペシャリストのみならず、量子技術を理解している他分野のエンジニアやゼネラリストが必要である。
- 他分野のエンジニアやゼネラリストの人材育成・事業創出のために、インプットとアウトプットを繰り返しながら、彼らがチームを組んで自分たちでソリューションのアイデアを考え、プロトタイプを作り、ユーザーにも試しながらビジネスにつなげていけるようなプログラムを提供することが必要である。
- また、他分野のエンジニア向けには、最初の数学や基礎的なプログラミング言語から学べるような、基礎から勉強できるステップ・バイ・ステップの方式をしっかりと提供することが有効である。
- ビジネス創出にあたっては、出口戦略の多様化にあたり、起業支援だけではなくてジョブマッチング支援、社内起業家支援、融資活動等への支援も必要である。

【質疑】

- 量子技術に関する一般人の理解と認知度がとても低い。分かりやすいユースケースを一般人に広めることで、様々なゼネラリストに、量子分野に興味を持ち、参入してもらえるのではないかと。
- 長期的な量子技術の普及や人材育成の実施は、量子技術を維持していくために非常に重要。資格等の認定制度の実施によって、資格等取得者が社会で活躍できる道の提供と、認定制度の実施者側の収益化が図れるのではないかと。実施者側の収益化の観点では、教育用のプログラムの有償化や、ビジネス創出を目的としたジョブマッチング支援等の取組も考えられる。
- 他分野の人材が量子分野に参加するためのコミュニティ等の基盤づくりや、量子技術を用いたユースケース創出には、全国的なネットワークが必要。量子技術イノベーション拠点や Q-STAR 等の活用を検討するとともに、国からの支援も必要である。
- 量子技術だけでできることは、結構限られている。DXのAIも含めたコンピューテーションサービス全体の中で、ほかの分野との融合したような、プログラムづくり、資格認定制度を設けるべき。
- ゼネラリスト向けのプログラムについて、テクノロジーを教えるほか、量子技術で何ができて何ができないか、といったビジネス的な要素をしっかりと学ばせることも必要である。

小縣氏が、資料 2-2 を用いて説明した。主な意見や質疑は以下のとおり。

【小縣氏からの説明】

- 量子産業に関する多様な職務に対応できる体系的な人材育成プログラムが整備されていない。
- 産業界では、量子技術を活用した多様なユースケース作りや、量子人材が起業、就職しやすい環境の整備、産業化に必要な人材育成プログラムや人材交流国際プログラムの提供が必要である。
- 量子産業人材の育成には、実際に量子技術に触れる環境や、資格試験制度の整備が必要。
- 量子技術者の海外流出対策、そして高度な技術を持った技術者を海外から招聘できるようなプログラムの整備が必要。国際フレームワークに資する拠点及び人材交流プログラム、奨学金制度について、Q-STAR で取り組もうとしているが、政府にも支援いただきたい。
- OSTP では、Entanglement Exchange が 2022 年の 5 月に提唱、11 月に最終決定された。今年度にはワークショップが開催される予定。日本は、量子技術イノベーション拠点を紹介しており、今後は人材交流の受皿として大学などの機関のリードも必要となってくる。
- 個別のプログラムは次第に整備されていこう。産業界には、これをとりまとめる枠組みが必要である。

【質疑】

- 産業界では、例えば大学等の高等教育で行われている技術面の教育のほか、技術的な知見を活用し、個々の会社の課題への活用方法を検討できるような、ビジネス視点の教育が必要である。
- 例えば、慶應義塾で行っている I B M Q ハブでは、企業の人材とポスドク、学生が一緒になって、実際の量子コンピュータを試用している。AI やスパコン、量子といった計算資源や、自分たちが作ったアルゴリズムやソフトウェアの活用方法を考えるとともに、学生はビジネス視点を学ぶことができている。
- 議論のみで必要なことを決めてしまうと、それが数年後に必要でなくなる可能性がある。実際に量子コンピュータにふれ、ハードの発展がどのように伸びていくか分かる人を育てることも必要である。
- ビジネス観点では、ビジネスユースが進んでいる A I が参考になるのでは。これまで経営層にどう説明してきたか。量子にも参考になる知見が得られるのではないか。
- 大学と産業界がプラットフォームとして一緒に、例えば大学での活動に企業がお金を払って、人を送り込んで、そこで学生たちと一緒にやることによって、大学の知が本当の意味で使える。
- それぞれの役割分担を考えている限りは、日本では役割をこうやってできましたという美しいストーリーだけができて、中身が進まないのではないか。

(2) 新産業／スタートアップ等を支援するイノベーション基盤の整備について

松岡氏が、資料 2-3 を用いて説明した。主な意見や質疑は以下のとおり。

【松岡氏からの説明】

- スタートアップの継続性は非常に低い。スタートアップの評価は数字。最初は期待感だけで投資

を得られても、その後は成長を担保する数字が挙げられているかという観点でシビアに評価される。

- 研究開発だけではなくて事業側も顧客の評価の高まりや顧客基盤の広がりを示し続けないと、高い時価総額を維持することはできない。
- 量子技術に対して、現状ではまだ多くのユーザー企業が様子見の段階である。
- 通常の技術開発は、What が明確な中での How。ある技術開発が成功したら、何ができて、あるいはどのような市場が立ち上がるというようなことが明確。各技術の有望性の判断がしやすい。
- 量子は完全に How。What に結びつくところの明確なストーリーがなく、ストーリーづくりにも高度な専門性が必要。ユーザーはゲームチェンジの期待感だけで意思決定をしなくてははいけない。量子コンピュータが貢献可能な領域を明確にして、企業の経営課題に結びつける必要がある。
- 例えば、E S G 経営と量子コンピュータがどう結びつくかをストーリーにすることが考えられる。一社では説得力を持って産業に受け入れられないため、産学一体となってやる必要がある。

【質疑】

- 量子コンピューティングは、ツールにすぎないため、それだけでは市場にならない。EV やカーボンニュートラル、物流、交通、材料開発等の下に組み込まれるものではないか。
- What を考える際のロジックを整理した方が良いのでは。既存分野の ROI が必要となる可能性があるが、社会的な課題として、CO₂ 削減効果等の付随的な指標も出てくるのではないか。
- 各出口分野における量子や古典のあるべき姿は結構大事かと。出口分野にフォーカスしたスタートアップが伸びてくるのが想定される。
- シーズアウトの技術開発もある。最初はシーズからスタートするものだと思うが、最終的には E V に効くとか、カーボンニュートラルに効くとか、出口はそちらから考えるのかと思う。
- 今のハードの現状は、本当にユーザーにとって役に立つ情報を出すのに、時間がかかる可能性がある。スタートアップそのものを支援するというよりは、ユーザー側の動機づけが必要である。
- 国内でやっているとしてもニッチ市場で広がりにくい。海外に展開していくところ、例えば拠点をつくる場所は、どうしてもお金がかかるので、国に支援いただきたい。

(3) 標準化・知財化・ベンチマーク設定について

金子氏が、資料 2-4 を用いて説明した。主な意見や質疑は以下のとおり。

【金子氏からの説明】

- 社会実装においては、安全性や社会受容性等の確保のために多様な側面からの議論が必要である。標準化は、その実現のツールの一つ。官民一丸となった戦略的な標準活動の推進が望まれる。
- 産総研では、政策や産業界のニーズに基づき、ステークホルダーと協働しながら業界や領域横断的な分野の標準化を指導している。日本からの国際提案のうち約 7 件に 1 件に関わっている。
- 1 つの事例として、通信や伝送専用のマイクロ波の受動部品の規格を作っているIECのTC46は、低温の超伝導量子コンピュータに関わる。
- 規格について、例えば高周波ケーブルの常温下での測定方法や精度評価の方法に関連するも

のがある。量子コンピュータにおいては、まさに高周波で測られることが多いので、それを低温環境下へ持ち込むことで、標準化を行うことが可能である。

- 標準化は、量子コンピュータのサプライチェーンのチョークポイントの確保にもつながる。
- 低温の冷凍機を作って、例えば長尺の超伝導ケーブルなどの大きなものから、小さなチップ部品に至るまで、統一的に標準化をし、規格を作成することが可能である。
- 希釈冷凍機温度などに関しても同じようなワークベンチを構築して、極低温から300 Kに至るまで、様々な場所で使える部品の標準化を行うことが可能である。
- ISOは用語統一の段階であって、一部中国がコンビナーポストを獲得していて米中の主導権争いがある。日本の技術がガラパゴス化しないように積極的に関与することが必要。
- IEEEにおいては、様々なアルゴリズムやハードウェア等々の規格に関する活動が進んでいる。ポスト量子暗号の話も進んでいる。特にQED-C等が非常に大きな関心を持っている。
- 日本の強みは、部品や部材の評価方法に関する標準化である。フォーラム標準、デファクト標準、デジュール標準に幅広く対応していくことが期待される。
- 欧州では、ETSIでQKDに関して標準化の活動が実施されている。国際電気通信連合においても、QKDに関して活動している。英国や中国、韓国においても国際的な取組が進んでいる。

【質疑】

- 部素材等のハードウェアのほかに、データエクスチェンジのフォーマットやプロトコルといったソフトウェアのレイヤーが重要かと思う。暗号に関しては、ソフトウェアの標準化が、国際的には少し先行して進んでいるところがある。しかし、耐量子暗号に関してはまだ案が募集されている段階。
- ソフトウェアのレイヤーは、比較的ISOとかITUのようなデジュールというよりはデファクト系の活動が強いようだが、量子に関しては、まだ基本的なニーズやシーズを探っている状況。
- IEEEやIECにおいて、既存の古典コンピューティングアーキテクチャ、アルゴリズム等のフレームの中に、量子の新たなワーキングが立っている。かなりの参加者が古典コンピューティング分野である。
- 量子分野の標準化に関して、官だけでなく、産業界、アカデミア、そのほかのレイヤーからの協力が必要ではないか。
- 産総研は電気関係の標準化活動が非常に強い。室温に関しては技術がかなり広範に使われている。今後、量子コンピュータの研究開発用に、低温評価可能な設備の整備を検討している。
- 企業に関しても、ケーブルやチップ部品等まで日本は海外と比較して非常に強い。例えばメーカーの実際のシーズやニーズを巻き込み、日本の産業の底上げにつながるように標準化活動をしていくことが期待される。その辺は産業界から技術や人材の面での貢献が必要である。
- 産総研の研究者のみならず、産業界からのそれぞれのレイヤーにおいての貢献が必須。大学からも詳しい者が関わっていくことが非常に重要。IECやIEEEの活動に関しても、一部の活動を産総研で実施しているが、より目に見える形で、政府も含めて関わっていただきたい。

- Q-STARもこういう役割を担わなければならないと思う。
- QED-Cで標準化やガイドラインづくりに該当するものは2つある。1つは量子コンピューティングに関するベンチマーキングについて、IEEEの7131等に関わるような話が進んでいる。QED-CはNISTのファンデーションで動いているが、もう1つはそのNIST側でも、特に量子デバイスや材料の評価について、まだ標準化までは至っていないようだが、活動が進んでいる。

(2) 総合議論

岡田氏が、資料 2-5 を用いて説明した。主な意見や質疑は以下のとおり。

【岡田氏からの説明】

- 量子人材の観点では、既存のデジタル人材からの転換というアプローチが重要である。
- 継続的な体制維持のために、中長期にわたるサポートプログラムの提供が必要である。
- スタートアップ支援のため、知財権の取扱いや、企業同士のマッチングに関する制度等を決める必要がある。輸出規制や各国の法規制に対するガイドは、なかなか情報がない。
- 既存の企業からのスピアウトという形も活かしていきたい。企業の短期の収益のサイクルと中長期の量子技術とのからみ合いは一つの課題。
- 海外について、フランスのQuantonationが、量子に特化したファンド。動向調査をしながら、量子の特性を生かしたファンディングの集め方について、議論が必要である。
- 各国の大使館を通したマッチングもより活性化していきたい。特に民間と政府間の取組との整合性、サプライチェーンのマッピング、経済安全保障が観点となる。
- M O Uに関しては、1月31日以降に4者（QED-C・米国、QIC・カナダ、QuIC・欧州拠点）で結んだところ。このM O Uでは、マップや体系図を作って各団体が、官民企業のやっていることを整理していくことで合意した。
- プラットフォーム戦略について、ゲート式においては方式が確定していない折だが、日本としての強みを有するような部品、部材は使われうる程度分かってきている。
- アニーリング式については、実利用が始まっている。Q-STARでは、みんなで触れるのみならず、それぞれのアニーラーの特性を勉強し、実課題を提供する取組を進めている。
- 方式が違うものを高級言語、ミドルウェア層でラッピングして使いやすくしようという議論もある。日本が強みを生かせる道筋として、モジュールを複数組み合わせたプラットフォーム、ここがあればどの量子コンピュータでも使えるといったような部品を作っていきたい。そして、中間層、吸収層としてのソフトウェアを一つのプラットフォームにしたい。

構成員による総合議論を実施した。主な意見や質疑は以下の通り。

- 英語で当たり前のように内容を議論できる人がいないと話にならない。アメリカからのみならず、海外からどんどん人材を大学に連れてくるような教育体制を作る必要がある。
- 大企業とスタートアップとの関係についてCVC的な形で大企業から投資するような手段もある。
- 産業界からは、非常に幅広く情報交換できるコミュニティを作って、その中でファンドしたいという要求がある。そこでお金を循環させるというのが一つ大きなポイントかと思う。
- スタートアップと大企業との関わり方について、事業として一緒にやることは、顧客がついていることを示す一番の指標。大企業からもぜひ最優先でスタートアップに対してアウトソースいただきたい。
- 他方、スタートアップへの出資という観点だと、VCだとファンド期限があるなかで、長期目線を持てる大企業から出資してもらおうと、特に量子技術の場合はエコシステムとして回るのではないか。
- まずは量子を使う人を増やして、量子が関連することによってビジネスをブーストとする。そのためにQ-STARやその他企業が何をしていくべきか、大学や国研がどう寄与していくかということ。
- 数学や化学等、様々な学術分野の知見が必要。大学の深い知識や知見を活用してほしい。
- 生産額50兆円の達成に向け、製造業での量子の活用が期待される。現在、実利用可能なデジタルのイジングマシンを使い、実工場における業務の効率化等に活用してもらうことが大事。
- 半導体にしても超伝導にいても、あるいはイジングにしてもアニーリングにしても、低温の部品が必要だろうということはかなり共通認識としてある。
- 産総研主導で企業と協力し、約100にわたる実際の部品について、現状どのような部品が存在し、今後更にビット数を増やすために必要な開発方針をつまびらかにまとめつつある。
- そのようなものを基準として今後どのように低温関係の量子コンピュータ、場合によってセンサも含めて開発が進められるかということを規定していくべき。ロードマップを活用した詳細な開発が必要である。
- 人材育成について、どう裾野を広げるかという議論は大賛成。教える側の人材もそれほどいない。
- ゲート式の超伝導量子コンピュータをAIにより最適化するミドルウェアを開発する会社が出てきている。AIがかなり重要な位置を占めていくのではないか。AI分野の方にも量子技術の必要性を理解してもらうことが重要ではないか。
- 慶應義塾大学では、学部1年生からAIやプログラミングを教え、また量子コンピューティングの講習会も実施している。学生同士あるいは先輩が後輩に教えるという形で学生が育っている。
- AI分野の人材やユーザーには、量子コンピューティングでできることと現状というものがきちんと整理された状態で情報が入っていないため、彼らの理解を阻害しているのではないか。