

# 量子技術イノベーション戦略の見直しの方向性 中間とりまとめ（案）

令和 3 年 12 月 22 日

## 1. はじめに

- ✓ 昨年 1 月の戦略策定時以降、海外では民間企業を中心に、野心的な目標を掲げて量子コンピュータの研究開発・事業化等の取組を加速しており、我が国の産業界も戦略的に取り組んでいくことが期待される。
- ✓ コロナ禍を契機に DX 化が進展し、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させた Society5.0 に向けた動きが加速し、高速計算・暗号通信に優れる量子技術は DX 化 / Society5.0 実現において重要性が増している。
- ✓ また、深刻化する気候変動問題に対応して、カーボンニュートラル社会の実現に向けた取組も本格化しており、生産性向上 / 低炭素化等に貢献する量子技術は、カーボンニュートラル社会の実現に向けても大きく貢献することが期待される。
- ✓ 量子技術は経済安全保障上でも極めて重要な技術であり、部品・コンポーネントのサプライチェーンの確保も含めて、高度な量子技術を自国で保有するとともに、このために安定的かつ継続的な人材育成をしていくことが重要である。
- ✓ これらを踏まえ、大きな社会インパクト・市場ポテンシャルを有し、Society5.0 や持続可能な発展の基盤となる量子技術によって、産業・社会全体をトランスフォーメーション（「QX（Quantum Transformation）」）していくことを目指して、半導体戦略、Beyond5G 推進戦略、デジタル田園都市構想等も踏まえながら、産学官が一体となって、量子技術の社会実装・産業化に向けて取り組むための戦略をまとめる。

## 2. 量子技術を取り巻く環境変化や社会での役割

### (1) 量子産業の国際競争の激化

- ✓ 昨年 1 月の戦略策定時以降、海外では民間企業を中心に、野心的な目標を掲げて量子コンピュータの研究開発を加速するとともに、クラウドでの計算機リソース提供 / アプリケーション開発支援 / コンサルティング等も行うなど、いわば、“Quantum Computing as a service”としてのサービス事業も進展しており、我が国の産業界も戦略的に取り組んでいくことが期待される。
- ✓ こうした産業界の事業活動を後押しするためにも、政府が産業界と連携して、研究開発ならびに社会実装の加速や、民間事業活動を後押しする取組やビジネス環境づくりを推進していく必要がある。
- ✓ また、量子通信においても、地上通信網、宇宙アセットを活用して、長距離の量子暗号通信のテ

ストベッド整備／実証／標準化の動きが加速し、その先の量子インターネットの実現に向けた研究開発も活発化するなど、量子通信においても国際競争が進展。我が国においても、Beyond5G 推進戦略も踏まえながら、官民が一体となって、量子通信の国際競争力強化に向けて取組を加速する必要がある。

## (2) コロナ禍により加速する DX 社会における量子技術の役割の増大

- ✓ 昨年 1 月の戦略策定時以降、コロナ禍を契機に、暮らし、医療、教育、娯楽、移動などのあらゆる人類社会の活動において DX 化が進展し、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させた Society5.0 に向けた動きが加速しつつある。
- ✓ 将来の DX が進展するポストコロナ社会では、Beyond5G の次世代通信システムの発展も相まって、データ量・通信量が爆発的に増大することが見込まれ、DX の先には、計算量・秘匿性に優れた量子コンピュータ／量子通信を活用していくことが不可欠である。

## (3) カーボンニュートラル社会／SDGs への貢献

- ✓ 深刻な気候変動問題を踏まえて、世界各国でカーボンニュートラル／ビヨンドゼロ（マイナスエミッション）の環境の取組が加速している。
- ✓ そのほか、SDGs を実現するためには、健康・医療、食糧、貧困など解決すべき問題は多い。
- ✓ 優れた計算能力を誇る量子コンピュータは、生産性向上や新素材開発による脱炭素化や SDGs など複雑な社会課題の解決等に大きく貢献していくことが期待される。

## (4) 少子高齢化社会における経済成長のエンジンとしての期待

- ✓ 少子高齢化により生産年齢人口が減少する我が国において、生産性革命は今後の成長のために必要不可欠の条件である。
- ✓ また、カーボンニュートラル社会の実現に向けて取組が加速する中、高濃度／大量の炭素を排出する非効率な生産活動は大きな事業リスクとなりつつある。
- ✓ DX の進展により知識集約型社会に急速にパラダイムシフトする中、材料、化学、金融、輸送等の全ての分野において、量子技術を、経済活動の生産性革命／低炭素化を飛躍的に高めるツールとして事業活動において活用していくことが重要である。

## (5) 安全保障上の量子技術の重要性

- ✓ 量子技術は安全保障上でも極めて重要な技術であり、高度な量子技術を自国で保有するとともに、このための継続的かつ安定的な人材育成・確保が必要である。
- ✓ また、経済安全保障の観点からも、量子コンピュータ／量子センサに必要な部品・コンポーネントのサプライチェーンの確保に向けて戦略的に取り組んでいくことが重要である。

### 3. 課題と対応策

#### (1) 量子コンピュータの産業・研究開発の在り方について

##### <産業化／標準化>

- ✓ 将来、量子コンピュータの事業戦略を描く際には、量子コンピュータにアクセスできる環境づくりも視野に入れることが重要である。また、垂直統合のみならず、水平分業も含めて、バランスをとってビジネス戦略を策定すべき。
- ✓ ハードウェアの方式が固まっていないため、標準化には時間を要するものの、上層のレイヤなど可能なところから標準化の取組をしていくことが必要である。
- ✓ 量子コンピュータ／量子センサに必要な基盤材料、半導体素子、制御・計測装置、周辺機器、製造装置などを含めて、部品・コンポーネントのサプライチェーンの確保に向けて戦略的に取り組んでいくことが重要である。
- ✓ 今後、数千、数万規模の量子ビットの大規模チップを量産化する場合には、産業界の試作・製造を支援する施設（ベルギーの IMEC をイメージ）を整備することが期待される。
- ✓ 日本各地に分散しているリソースを集中させるため、複数の企業等による技術研究組合のような組織をつくり、そこに集中的に補助金を投入して開発を進めるということも考えられる。

##### <産学連携／人材育成>

- ✓ 長期的な視点で、企業・大学の人材が交流・連携し、多くの企業がかかわるオープンイノベーションの枠組み作り、社会人の人材育成の環境整備、周辺領域からの研究者の参加促進、海外との人材交流が重要である。
- ✓ ユーザの利用までを考えるとメンテナンス等の研究以外の部分が多く、量子の専門家でなくても役立つ分野は多くあることから、量子コンピュータの実機をつくる場合には、企業もしっかりとコミットする仕組みとする必要がある。
- ✓ 産学ともに人材不足であることから、大学を中心とした人材育成の取組の強化や社会人への技術協力のための環境整備をすべき。（佐藤構成員）
- ✓ 産業界が将来の投資ができるようにユースケースの探索、その経済・社会効果を定量的に示していくことが重要である。

##### <研究開発>

- ✓ 戦略策定時以降、海外企業が次々と野心的な目標を打ち出し、国際競争は激化し、我が国は研究開発の取組を戦略的に強化・加速していく必要である。NISQ 研究開発・応用へのプラットフォーム提供を着実に進め、古典コンピュータとの連携も視野に入れて、将来の誤り耐性量子コンピュータの実現に向けて研究開発に取り組むことが必要である。
- ✓ 量子コンピュータは方式も含めて勝ちパターンは決まっておらず、勝負は始まったばかりの状況であり、

大規模化に向けては課題も多く、何らかのブレークスルーが必要である。このため、技術のブレークスルーに重点を置きつつ研究開発を進めるとともに、これを支える地道な研究開発の積み重ねも重要である。この際には、国際動向も踏まえて戦略的に研究開発を加速・充実・変更するとともに、人的・資金的な資源が限られていることから、我が国が強みを有する技術に重点化するなど戦略的な視点も重要である。

- ✓ 量子コンピュータ実機を実現していくためには、スパコンや周辺機器等の古典制御エレクトロニクス・ミドルウェアの研究開発との連携も必須である。

## (2) 量子ソフトウェアの産業・研究開発の在り方について

### <産業化／標準化>

- ✓ ユーザ企業にとっては、不確実性の高い技術に取り組むことが、投資家への説明責任という観点からも難しいケースが多いため、まずは小さな成果（活用事例）を創出・蓄積していくことが重要である。特に、潜在的なユーザが多いところで実装の敷居の低いユーザアプリ／市場性・インパクトの大きいキラーアプリを同定し、研究開発していくことも重要となる。（松岡構成員、小松構成員）
- ✓ これらの成果（活用事例）を社会に広く発信し、必要に応じて、国によるオーソライズや企業価値になる仕組みづくりも期待される。
- ✓ アプリの主役として若手、スタートアップが期待されることから、門戸を広げ、裾野広くアイデアを取り入れるためにも、「●●チャレンジ」などアイデアコンテストや優れたアイデアを支援する仕組みの導入が期待される。例えば、ユースケース毎にオープンイシューを開示して賞金を出すような仕組み、顧客価値のためのユースケースの PoC など考えられる。また、柔軟で自由な発想を生かして、これまでにないアイデアを創出してためにも、研究者・開発者の遊び心や創意工夫を尊重する環境づくりが必要である。

### <産学連携／人材育成>

- ✓ 量子アプリケーションの研究開発に当たっては、企業が大学に常駐し、顔を突き合わせて研究者同士が交流する環境が極めて重要である。（慶應・山本氏）
- ✓ 産学ともに人材の育成・確保は深刻な課題であることから、研究組織はポストを拡充し、産業界も受け入れを積極的に行うなど、産学ともに体制の充実・拡大を図っていくことが必要である。
- ✓ 量子アルゴリズムだけでは価値が生まれないため、その応用先があって初めて価値が生まれるので、ユーザに価値を提供していくためには、両方の知見を持つニーズとシーズの架け橋となる人材の育成が重要である。
- ✓ 将来の量子コンピュータの活用シーンをイラストや絵、ストーリー、物語にするカスタマージャーニーを表現するなどして、量子と非量子の関係者の共通言語をつくり、社会需要や民間投資を喚起していくことが重要である。さらに、ユーザのリテラシーを上げていくためには、活用事例の情報発信や相談窓口の設定も期待される。

- ✓ 我が国の得意分野など分野を特定して重点的にクラウドサービスの担い手となるスタートアップや企業を育成していく取組も重要である。

#### ＜研究開発／利用環境整備＞

- ✓ 量子コンピュータは最先端の科学技術のデパートであり、多くの技術的な波及の可能性があり、国産実機をあきらめることは日本が科学技術を捨てることに等しい。量子コンピュータ／基盤ソフトウェアの開発者にとって、実機が抱える問題を把握する必要があるという観点から、中身をチューニングできる実機は必須であり、また、要素技術でデファクトスタンダードを取っていくためにも、テストベッドも必要である。
- ✓ 量子アプリケーションの研究において、実機の必要性は立場や目的、用途によって大きく異なることから、国内・国外の実機の活用を含めた柔軟な戦略と多様な人材が集まる環境整備が必要である。
- ✓ 量子ソフトウェアに関する国内の研究開発のプロジェクトが少ないことから、国の量子ソフトウェアに関するプロジェクトの充実・強化を図るべきである。

### （３）量子セキュリティ／量子ネットワークの産業・研究開発の在り方について

#### ＜産業化／標準化＞

- ✓ 産業化のためには技術視点ではなく、ユーザ視点が重要で、ユーザが簡単に量子暗号通信を利用できるサービス提供が重要である。このため、ユーザとのインターフェースが変わることなく、徐々に量子鍵配送（QKD）ネットワークに新規技術が適用されていくサービスの仕組みが期待される。
- ✓ 社会実装がはじまりつつある状況で、長距離化・小型化といったコアコンポーネントの改良だけでなく、周辺技術を含めた実用化技術（アーキテクチャ、フレームワーク、インターフェース等）の確立や標準化、デバイスの低コスト化を進めて、実用化技術においても世界のリーダとなることが重要である。
- ✓ 標準化の獲得に向けては、大規模オープンテストベッドにより、ベンダ、オペレータ、ユーザが一体となって実装実証を行い、実用化技術を成長させることが必要である。
- ✓ 量子通信は特に安全保障上重要な技術であることから、部品・コンポーネントのサプライチェーンの確保に向けた取組を強化していくことが重要。特に、海外に依存度が高い単一光子検出器については国産化に向けて取り組む必要がある。
- ✓ セキュリティ対策は強制力がないと後回しになる傾向にあることから、民間企業は投資しづらく、ユーザも導入しにくいことから、将来的には、量子セキュリティの利用インセンティブを高めるためのガイドラインや制度整備などの仕組みも期待される。また、安全性確保のための量子セキュリティ手法の評価・認証制度を導入することも期待される。
- ✓ 量子暗号通信の早期利用を促進することで、新たな量子技術の活用に関する知財化を進めると

ともに、国際的な知財プールの創設と主体的な運営組織を立ち上げることが重要である。

- ✓ 量子インターネットは、光／原子で情報処理・通信するため、超省エネルギーデバイス・通信、セキュリティ対策コスト削減などカーボンニュートラルにも大きく貢献する副産物が期待される。
- ✓ オープン・クローズ戦略は社会実装、普及のために極めて重要である。

### <産学連携>

- ✓ 官民が緊密に連携して、QKD ネットワークのオープンテストベッドの拡張・充実を図り、商用化に不可欠な東京－大阪間や地方への延伸といった将来的な整備についても検討するなど、幅広いユーザが参加できる利用実証の場を拡大していくことが重要である。
- ✓ 官民のユーザ、ベンダ、オペレータ事業者、通信・クラウド事業者等が密に連携・協議し、技術実証を重ねて標準化も進めつつ、耐量子計算機暗号（PQC）、秘密分散技術等の活用も含めて、総合的な量子セキュリティ技術の利用事例の創出・蓄積を進めていくべきである。
- ✓ ユーザー、アカデミア、エンジニアといったステークホルダー間で共通理解の醸成と課題への対処に向けた協力を行える体制を整えることが重要である。

### <研究開発／利用環境整備>

- ✓ 究極的に現在のインターネットの量子版を目指す量子インターネットに関する研究開発が海外において活発化していることを受けて、我が国においても量子インターネットを主として組織的に研究開発を進める国プロジェクトを立ち上げることが必要である。量子インターネットにおいては量子中継器と呼ばれる量子特有の中継技術が特に重要である。
- ✓ 量子中継技術については、現状のトラステッドノード技術に基づき中継を行う量子ネットワークから、量子もつれを提供し論理量子ビットに対する誤り耐性量子ゲート操作までを含む究極的な形態の量子インターネットの開発までの技術ロードマップが必要である。
- ✓ 通信ネットワークは万人に使われることで機能性が充実し、意味があるものになることから、国家レベルで官民が連携し、Beyond5G の次世代通信システムとの連携も含めて、将来の拡張性も踏まえてグランドデザインを描き、テストベッドを構築・拡大し、ノウハウを蓄積していくことが重要である。