

未定稿

令和4年3月24日版

2 - 2

**新たな量子技術に関する戦略
(量子未来社会ビジョン (仮))
最終取りまとめ (案)**

令和4年3月●日

量子技術イノベーション戦略の戦略見直し検討ワーキンググループ

1. はじめに

<量子技術イノベーション戦略の取組>

- ✓ 令和2年1月に政府は量子技術イノベーション戦略を策定し、量子技術の研究開発や産学官連携、国際連携等を担う拠点として、令和3年2月に8つの量子技術イノベーション拠点(QIH)を整備した。また、産業界側では、同年9月に量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR)が設立され、産学ともに組織的に量子技術分野の研究開発、産業化を推進するための新たな基盤の整備が進められた。
- ✓ また、同戦略の策定と同時に、将来を見据えた技術ロードマップも策定し、本ロードマップに基づき、量子コンピュータ・量子シミュレーション、量子計測・センシング、量子通信・暗号などの各分野において研究開発が着実に進められている。
- ✓ さらには、量子技術イノベーション拠点(QIH)と欧米等をはじめとする海外の研究拠点等との活発な国際共同研究や、国内外の産学官の関係者が集う「量子科学技術イノベーション国際シンポジウム(Quantum Innovation 2021)」の開催など国際協力も着実に進捗している。

<戦略策定以降の環境変化>

- ✓ 令和2年1月の量子技術イノベーション戦略の策定に基づき、着実に取組を推進してきたが、策定時以降、量子技術を取り巻く環境は目まぐるしく変化している。
- ✓ 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する動きを見せている。また、従来型(古典)計算システムと量子計算が融合したサービスも急速に発展している。
- ✓ また、欧米では民間企業が大学の研究室ごと買収して事業化するなど、基礎研究から一足飛びで事業化に直結するケースも見られる。また、大学発ベンチャー企業等のベンチャーキャピタルからの巨額な投資を背景とした上場、大企業による買収など、大学の基礎研究をベースとした大学発ベンチャー企業も急速に成長している。このように、従来の基礎・応用・実用のリニアモデルと比べると基礎研究から事業化までの間隔が狭まっており、世界的に量子コンピュータの実用化に向けて取組が加速している。
- ✓ このように国際競争が激化する中、我が国も量子コンピュータの研究開発の抜本的な加速・強化を進めるとともに、産学官の主体がより緊密に連携し、民間事業活動の後押しなど産業競争力強化に向けて本格的かつ戦略的に取り組んでいくことが期待される。
- ✓ コロナ禍を契機として、経済社会全体のDX化が急速に進展し、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に向けた取組が加速化している。これに伴い、取り扱うデータ量やネットワーク上の通信量が格段に上がるとともに、セキュリティの確保も求められる中、計算量・秘匿性に優れる量子技術の重要性がさらに増している。
- ✓ 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いる。生産性向上/低炭素化等に貢献すると期待される量子技術は、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。

- ✓ 近年、コロナ禍を契機とした世界的な半導体の供給不足に加え、地政学的な課題の顕在化など経済安全保障の重要性がますます高まっている。技術的優位性を確保するための先端技術の獲得、重要な基盤部品・材料等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。また、技術情報をはじめとして、産業や社会の基盤をなす重要なデータや情報システムについて、サイバー攻撃等から保全するための対応も重要である。
- ✓ 量子コンピュータの大規模化・実用化に向けては、安定した量子ビットの生成など多くのブレークスルー技術が必要とされている。近年、量子制御技術や計算機科学など、量子ビット等の物理現象を解明・制御する基盤技術が目覚ましく進展している。将来のブレークスルー技術に向けて、戦略的な研究開発とともに、多くの学問分野の知見を総動員し、このような物理現象を解明していくための裾野の広い基礎研究や若手を含む人材育成を強力に推進していくことが重要である。

<環境変化への対応>

- ✓ 量子技術を取り巻く環境が変化し、国際競争が激化するとともに、Society5.0／カーボンニュートラル社会が進展する中、これまで以上に、持続可能な発展の基盤としての量子技術に期待される役割が増大している。
- ✓ このため、これまで以上に、量子技術の研究開発・社会実装の取組を加速・強化し、国際競争力を確保するとともに、我が国産業の成長機会の創出、社会課題等に対応していくことは喫緊の課題と言える。
- ✓ また、量子技術は、材料、金融、エネルギー、創薬・医療、モビリティ、通信、安全・安心などの多様な分野で活用して、はじめて社会経済にとっての価値を創出できる。このため、量子技術に関する研究開発や産業化等の取組を推進する際には、社会経済システム全体に量子技術を取り入れていく俯瞰的な視点が重要である。
- ✓ さらに、量子技術は、AI等の計算科学技術、Beyond5G等の情報通信技術、半導体、計測・センシング技術等の従来（古典）技術システムとも密接に関連し、これらと融合・一体化させながら取組を推進していくことが重要である。
- ✓ このような背景を踏まえ、AI戦略、Beyond5G推進戦略、半導体戦略等とも連動しつつ、産学官が一体となって、我が国産業の成長機会の創出／社会課題解決等に向けて量子技術を活用し、社会全体をトランスフォーメーションしていくために本戦略を策定する。

<本戦略と量子技術イノベーション戦略との関係>

- ✓ 本戦略は、量子技術の研究開発や周辺領域を主とする「量子技術イノベーション戦略」（いわば“研究開発戦略”）に対して、生産性革命など我が国産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題解決のために量子技術を活用していくための新たな戦略、いわば“成長機会創

出／社会課題対応に向けた戦略”として策定するものである。このため、本戦略（成長機会の創出／社会課題対応）と「量子技術イノベーション戦略」（研究開発）と両輪で、政府の取組を推進することとする。

- ✓ したがって、今後は、令和2年1月に策定した「量子技術イノベーション戦略」（技術ロードマップは一部改訂）に基づき、引き続き研究開発等の取組を推進するとともに、本戦略に基づき、生産性革命など我が国産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題解決のために量子技術を活用し、社会全体をトランスフォーミングしていくための取組を推進する。

2. 量子技術を取り巻く環境変化等

(1) 量子産業の国際競争の激化

- ✓ 令和2年1月の戦略策定時以降、海外では Google や IBM など民間企業を中心に、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している。また、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・ソリューション提供等も行っており、従来（古典）計算システムと量子計算が融合した技術やサービスも発展している。
- ✓ こうした動きを受けて、我が国においても、量子コンピュータの研究開発の抜本的な加速・強化を進めるとともに、また、量子産業（ハードやソフトウェアのベンダー企業）や量子技術を活用する関連分野産業（材料、金融、エネルギー、創薬・医療、モビリティ、通信等）の振興も視野に入れて、民間事業活動の後押しなど産業競争力強化に向けて戦略的に取り組んでいくことが期待される。
- ✓ 産業界の事業活動を後押しするためにも、産学官が一体となって、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強力に推進していく必要がある。
- ✓ また、量子通信・暗号分野においても、海外において、地上通信網、衛星等の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を整備し、実証試験をする動きが加速している。さらに、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している。
- ✓ このように量子通信・暗号分野においても国際競争が進展している中、我が国においても、Beyond5G 推進戦略も踏まえながら、既存の情報通信システムと融合しつつ、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

- ✓ 令和2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 に向けた取組が急速に進展している。
- ✓ 今後、ポストコロナ社会では、テレワーク等の新しい生活様式が社会に定着するとともに、Beyond5G の次世代通信システムや、IoT、エッジコンピューティングの技術も発展することで、サ

バー空間とフィジカル空間を高度に融合させた Society5.0 に向けた動きがさらに進展していくことが見込まれる。

- ✓ このような DX 社会、Society5.0 社会では、データ量・通信量が爆発的に増大し、従来（古典）技術システムのみでは対応が困難となることから、計算量・秘匿性に優れる量子コンピュータ／量子通信・暗号技術も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。我が国は、2030 年度に温室効果ガス 46%削減（2013 年度比）を目指しており、この目標の達成のために、産業・民生・運輸等の各セクターにおいて低炭素化に向けて社会経済システムや諸活動の抜本的な変革が必要とされている。
- ✓ また、持続可能な開発目標（SDGs : Sustainable Development Goals）を実現するためにも、健康・医療、食糧、貧困など解決すべき複雑な社会課題も多い。
- ✓ 量子技術はこれらの社会課題の解決に向けて、優れた計算能力を誇る量子コンピュータによる生産性向上や新素材開発による脱炭素化、SDGs のような複雑な社会課題の解決など大きな役割を果たしていくことが期待される。

(4) 量子コンピュータを支える基盤技術の進展

- ✓ 量子コンピュータの大規模化や実用化に向けては、安定した量子ビットの生成やエラー訂正など技術的な課題も多く、何らかのブレークスルー技術が必要である。これらのブレークスルー技術の研究開発に向けては、戦略的な取組に加えて、学理的なアプローチに基づく、将来のブレークスルー技術につながる裾野広い基礎研究も必要となる。
- ✓ 例えば、安定した量子ビットを生成するためには、デコヒーレンスなど非平衡状態、散逸量子系の高度な理解が必要である。物理学の分野において、外部環境の影響を考慮したこれらの現象の理解は、一般的には難しい問題であったが、近年、AI 等の計算機科学による量子状態の分析やレーザー等の量子状態の制御技術など、これらの物理現象を制御・解明する基盤技術が目覚ましい進展を見せている。
- ✓ 将来の量子コンピュータの大規模化・実用化に不可欠なブレークスルー技術に向けて、戦略的な研究開発を進めるとともに、多くの学問分野の知見を総動員し、裾野の広い基礎研究や若手を含む人材育成を強力に推進していくことが重要である。

(5) 経済安全保障上の量子技術の重要性

- ✓ 近年、コロナ禍を契機とした世界的な半導体の供給不足に加え、地政学的な課題の顕在化など経済安全保障の重要性がますます高まっている。
- ✓ 量子技術は、将来、経済社会システムを支える基盤としての役割を果たすことはもとより、安全保

障上でも重要となる技術で、将来の国家間の覇権争いの中核となる重要技術とも言える。

- ✓ このため、経済安全保障の観点から、量子技術に関して技術的優位性を確保するための先端技術の獲得、重要な基盤部品・材料等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、このための継続的かつ安定的な人材の育成・確保が必要である。また、技術情報をはじめとして、産業や社会の基盤をなす重要な情報システム・データについて、サイバー攻撃等から保全するための対応も重要である。

3. 基本的考え方

量子技術を取り巻く環境変化等を踏まえて、量子技術を経済社会システムに取り込み、我が国産業の成長機会の創出や社会課題解決等に向けて量子技術を活用していくため、以下の3つの基本的考え方を踏まえて、産学官が一体となって取組を推進する。

- **量子技術を社会経済システムに取り込み、我が国産業の成長機会の創出／社会課題解決**
- **最先端の量子技術の利活用促進（量子コンピュータ・通信のテストベッド整備等）**
- **量子技術を活用した新産業／スタートアップ企業の創出・活性化**

(1) 量子技術を社会経済システムに取り込み、我が国産業の成長機会の創出／社会課題解決

- ✓ 量子技術は社会経済全体において利活用し、材料、金融、エネルギー、創薬・医療、モビリティ、通信、安全・安心などの幅広い分野において、産業の成長機会創出や社会課題解決の実現に貢献していくことが期待される。
- ✓ このことから、量子技術に関する研究開発や産業化を進める際には、様々な経済社会の分野と連携し、経済社会システム全体に量子技術を取り入れて利活用していく俯瞰的な視点が重要である。また、AI等の計算機科学、Beyond5G等の情報通信技術、半導体、計測・センシング技術等の従来（古典）技術システムとも融合して一体的に考えていく視点も重要となる。
- ✓ このように量子技術や研究成果を社会経済システムに取り込み、従来技術システムとも融合・一体化していくことで、生産性向上、新産業創出等の我が国産業の成長機会の創出や、カーボンニュートラル社会、SDGs等の社会課題解決を実現する。

(2) 最先端の量子技術の利活用促進（量子コンピュータ・量子通信・暗号のテストベッド整備等）

- ✓ 社会経済全体が量子技術を活用していくためには、多様なユーザが量子技術にアクセスできるオープンな環境づくりが重要である。また、こうした環境の下、ユーザが量子技術を活用してユースケースを探索・創出していく取組も重要である。
- ✓ このため、産学官の多様なユーザが容易にアクセスできる最先端の量子コンピュータ、量子通信・暗号、及び量子計測・センシングのテストベッド整備など量子技術の利用環境を整備していく。
- ✓ また、多様なユーザが、こうしたテストベッド等を存分に利活用し、我が国産業の成長機会の創出や社会課題解決等に大きく貢献する将来のキラーアプリケーションにつながる量子技術のユースケースの探索・創出や利用実証をしていく取組を支援する。さらに、量子技術の普及・拡大を図るため、好事例となるユースケースの情報発信・普及に向けた取組を強力に推進する。

(3) 量子技術を活用した新事業／スタートアップ企業の創出・活性化

- ✓ 量子技術は多岐にわたる産業分野で利活用されることが期待され、将来は量子コンピュータ・量

子ソフトウェアともに巨大な市場規模が見込まれている¹。しかし、現状では、量子コンピュータの技術方式や勝ち筋のビジネスモデル、主要プレイヤーも含めて勝負は決まっていない段階である。

- ✓ 量子分野の市場は、このように勝負が決まっていない黎明期の成長市場であるが、言い換えるならば、我が国の今後の対応次第では、国際競争に勝てる我が国の成長のチャンスのある市場とも言える。このため、量子分野への民間事業者の参入促進や投資喚起等を通じて、産業競争力強化に向けて強力に取り組を推進する。
- ✓ また、新たな市場を開拓していく領域においては、環境変化に強く、柔軟な発想やアイデアを持ち、新たなビジネスを生み出すことに長けているスタートアップ企業の活躍が期待される。既存企業からも新事業を創出し、例えば、スピノフ・スピアウトベンチャーを創出していくことも期待される。また、コーポレートベンチャーキャピタル（CVC）も活用してスタートアップに投資することも見込まれる。
- ✓ このため、産学官と一体となって、将来の経済成長のエンジンとなる量子技術を活用した新事業／スタートアップ企業等の創出・活性化に向けたビジネス環境整備等の取組を強力に促進する。

¹ 2040年の量子コンピュータ関連の世界市場規模は、ハードウェアで10兆円から19兆円、ソフトウェアで40兆円から75兆円の規模と予測されている。（出典：「What Happens When “If” Turns to “When” in Quantum Computing?」（BCG、2021年7月21日））

4. 未来社会像（ビジョン）

産学官が一体となって量子技術の研究開発や社会実装を推進し、社会経済全体で量子技術を活用していくためには、関係者において未来社会像（ビジョン）を共有しながら取組を推進していくことが重要である。

（1）量子技術が目指すべき未来社会像

近年、SDGs、ESG 投資をはじめとして、経済成長のみならず、持続可能性、人々の幸福も同時に達成する価値観がこれまで以上に重視され、経済・環境・社会が調和した社会像は現代の共通認識となりつつある。未来社会を見据えると、このような価値観やこれに基づく取組は今後ますます重要になっていくと考えられる。

このため、量子技術の利活用によって目指すべき究極の未来社会像として、経済・環境・社会が調和する未来社会像を設定する。具体的には、人類の共通価値である「経済成長 Innovation」、「人と環境の調和 Sustainability」、「心豊かな暮らし Well-being」を価値観として、経済・環境・社会が調和する未来社会像に向けて、産学官が一体となって取り組む。

- 経済成長 Innovation
- 人と環境の調和 Sustainability
- 心豊かな暮らし Well-being

（i）経済成長 Innovation

量子コンピュータと従来（古典）コンピューティングを組み合わせた次世代高速コンピューティングが仮説と検証のイノベーション創出サイクルを飛躍的に加速するなど、量子技術を活用して生産性革命や新産業創造等の経済成長を実現する。

（ii）人と環境の調和 Sustainability

量子コンピュータによる次世代環境材料の開発、エネルギーベストミックス等によりカーボンニュートラルやサーキュラーエコミーを実現するなど、量子技術を活用して人と環境が調和し、持続的に発展する社会を実現する。

（iii）心豊かな暮らし Well-being

量子暗号通信による安全・安心な暮らし、量子計測・センシングを活用した次世代医療による健康・長寿の実現、地震予測や避難誘導システムによるレジリエントな社会の実現など、社会全体の幸福や人々の心豊かな暮らしを実現する。

(2) 2030年の未来社会像

関係者が取組を推進するに当たっては、具体的な数値を設定して取り組んでいくことが重要である。このため、2030年の未来社会像として以下を想定して取組を進める。

- 国内の量子技術の利用者を1,000万人に
- 量子技術による付加価値額を1.3兆円、生産額を50兆円規模に
- 未来市場を切り拓く量子ユニコーンベンチャー企業を創出

(i) 国内の量子技術の利用者を1,000万人に

- ✓ 先進諸国においては、過去の事例から、インターネットの利用者率が5-10%を超えると普及が爆発的に加速するとされている。量子技術（量子アプリケーション・量子インスパイアード）の国内利用者（量子技術と知らずに利用している者も含む）についても、同様の比率である国内利用者1,000万人が想定される。
- ✓ これを支える取組として、前述したような多様なユーザがアクセスし、ユースケースを探索・創出していくことを可能とするために量子コンピュータのテストベッドなど利用環境の整備を強力に推進する。
- ✓ また、キラーアプリケーションにつながるユースケースの探索・創出の支援や、ユースケースの情報発信・普及に向けた取組を強力に推進する。

(ii) 量子技術による付加価値額を1.3兆円、生産額を50兆円規模に

- ✓ 2030年の国内付加価値額は約1.2兆円と予測（量子コンピュータ約2,940億円、量子シミュレーション480億円、量子センシング1,102億円、量子暗号通信653億円、量子生命323億円、量子物性1,350億円、量子材料3,710億円、量子AI1,098億円）（2022年2月 矢野経済研究所調べ）。これに海外獲得分（約0.1兆円）を加え、総付加価値額1.3兆円が想定される²。
- ✓ なお、2030年の人口（1億1,913万人³）に対する量子技術の利用者1,000万人の割合と、量子技術が寄与し得る産業の生産額（2030年）約615兆円⁴を考慮して、生産額を50兆円規模が想定される。
- ✓ これを支える取組として、量子技術イノベーション拠点（QIH）や量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）、関係府省といった、産学官の主体がより緊密に連携し、民間事業活動の後押しなど産業競争力強化に向けて本格的かつ戦略的に取り組んでいくとともに、官民が一体

² 平成27年産業連関表（総務省）の全産業の国内最終需要92.3%と輸出分7.7%の比率を参考に、海外市場分を約0.1兆円と想定。

³ 日本の将来推計人口（平成29年推計）（国立社会保障・人口問題研究所）

⁴ 産業連関表（平成27年度）のうち、製造業、電力、商業、金融・保険、運輸、情報通信、医療、広告の生産額の合計に対して、2022年度以降CAGR1%と仮定して算出（日本経済中期予測(2022~31年度)（大和総研、2022年01月24日）の実質GDP成長率年率+1.0%を参考）。

となった海外展開を目指す必要がある。

(iii) 未来市場を切り拓く量子ユニコーンベンチャー企業を創出

- ✓ 国内では、ユニコーン企業（評価額が 10 億ドル（約 1130 億円）を超える未上場のスタートアップテクノロジー企業）は年々増加し、2021 年 12 月時点で 5 社となっている⁵。また、この 5 社に続き、新興市場である宇宙ビジネスを手掛けるアストロスケールホールディングス（宇宙ごみ除去サービス）（818 億円）や ispace（月面着陸船・探査機の開発）（753 億円）もユニコーンベンチャー企業の評価額 10 億ドルに迫る勢いで急速に成長しつつある。
- ✓ 新興市場である量子ビジネスにおいても、2030 年までに量子主要 3 分野（量子コンピュータ、量子暗号通信、量子計測・センシング）で未来市場を切り拓くユニコーン企業（各分野数社以上）を創出し、ベンチャー企業の参入を活性化。。
- ✓ これを支える取組として、官民が一体となって、起業家育成、研究開発支援、投資家とのマッチング、政府系ファンド等を活用したリスクマネー供給など総合的な起業環境を整備する。

⁵ プリファード・ネットワークス（AI 開発）（3,561 億円）、スマートニュース（情報収集アプリ）（2,017 億円）、スマート HR（クラウド型人事労務ソフト）（1,731 億円）、TBM（プラスチック・紙代替素材）（1,336 億円）、スパイバー（次世代素材）（1,312 億円）、HIROTSU バイオサイエンス（がんの早期発見検査）（1,026 億円）（出典：日本経済新聞社「NEXT ユニコーン調査」、2021 年 12 月）

5. 今後の取組

これまで述べた基本的考え方や社会像を踏まえ、量子コンピュータ、量子ソフトウェア、量子セキュリティ・ネットワーク、量子計測・センシング／量子材料の各領域における産業振興や研究開発等に関する取組、イノベーション創出に向けた基盤的取組を以下のとおり推進する。

I. 各領域の取組

(1) 量子コンピュータの産業振興・研究開発に関する取組

<ポイント>

- 従来（古典）計算システム（半導体等も含む）と量子技術のハイブリッド計算サービス実現、海外に比肩する量子コンピュータの研究開発の強化
- 複数の企業等によるグローバル連携拠点の形成や活動の支援
- 量子コンピュータの大規模化に向けたブレークスルー技術の戦略的な研究開発や基礎研究の推進

(i) 従来（古典）計算システム（半導体等も含む）と量子技術のハイブリッド計算サービス実現、海外に比肩する量子コンピュータの研究開発の強化

- ✓ 海外においては、従来型（古典）計算システムと量子計算が融合したサービスが急速に発展している。例えば、AWSにおいては、複数の量子コンピュータをクラウドにつなぎ、量子コンピュータと従来型（古典）計算システムを組み合わせたハイブリッド量子古典アルゴリズムを高速に実行するサービスを提供している。これを踏まえ、我が国においても、産学の連携（共創）の下、スパコン等の従来（古典）計算システムと量子コンピュータの融合によるハイブリッド計算機システムやアプリケーションサービスに関する研究開発を推進する。
- ✓ 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我が国が科学技術を捨てることに等しい。また、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、ハードウェアやミドルウェアなど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。このため、我が国初の国産量子コンピュータの研究開発を強力に進めて、幅広く応用できるテストベッド整備に向けた取組を着実に進める（令和4年度に初号機を整備予定）。
- ✓ 海外企業が次々と野心的な目標を打ち出し、国際競争が激化する中、我が国においても海外に比肩する野心的な目標を掲げて、従来型（古典）計算機との連携も視野に入れて、将来の誤り耐性のある国産量子コンピュータの実現に向けた研究開発の取組を戦略的かつ抜本的に強化・加速していく。

(ii) 複数の企業等によるグローバル連携拠点の形成や活動の支援

- ✓ 民間企業において、量子コンピュータを研究開発していくためには長期間かつ巨額の投資を必要とする。今後、数千、数万規模の量子ビットの大規模チップの試作・製造技術の研究開発、さらには事業化に向けた装置化等を進めるに当たっては、我が国の企業や研究機関等のみ研究開発リソースのみでは対応することは困難でリスクも高いとの指摘もある。
- ✓ 海外では、ベルギーの IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) のように、世界最先端の半導体製造プロセス技術の研究基盤を擁し、国内外の企業と共同研究の形で、半導体の研究開発・試作・製造の面で産業支援の中核拠点となっている好事例もある。
- ✓ これらを踏まえ、産業技術総合研究所が国内外の企業と連携して、グローバルな視点で、量子チップや周辺機器の試作・製造、装置化、新たなユーザ市場の創出に加え、標準化など、事業化を見据えた産業活動を総合的に支援する「グローバル産業支援拠点」を形成する。また、この際には、半導体試作・製造施設や半導体技術、計測技術との連携による量子コンピュータのチップや周辺制御デバイスの製造・評価、中小企業の有する優れた部品・室温エレクトロニクス技術の導入、ユーザ市場の創出に向けたマテリアルズ・インフォマティクスやエネルギーマネジメントなどの他分野の取組との融合を図るなど、量子技術と半導体、エネルギー等の多様な技術の相互の連携・高度化を見据えて取組を推進する。

(iii) 量子コンピュータの大規模化に向けたブレークスルー技術の戦略的な研究開発や基礎研究の推進

- ✓ 量子コンピュータの大規模化や実用化に向けては、安定した量子ビットの生成やエラー訂正など技術的な課題も多く、何らかのブレークスルー技術が必要である。また、超電導、イオントラップ、光、シリコンなど現時点で有望であると考えられている量子コンピュータの技術方式以外に、これまででない新たな技術方式が発案されるといったブレークスルー技術も期待される。
- ✓ これらのブレークスルー技術に向けては、戦略的な研究開発とともに、学理的なアプローチに基づく、ブレークスルー技術につながる裾野広い基礎研究が重要である。
- ✓ このため、将来の量子コンピュータの大規模化・実用化に不可欠なブレークスルー技術に向けて、戦略的な研究開発を進めるとともに、多くの学問分野の知見を総動員し、裾野の広い基礎研究や若手を含む人材育成を強力に推進していく。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 量子コンピュータの研究開発に当たっては、国際動向も踏まえて戦略的かつ柔軟に研究開発を加速・充実・変更していく視点が重要である。
- ✓ 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、我が国の強みを生かしつつ海外との連携も想定した水平分業も含めて、バランスをとってビジネス戦略を策定することも期待される。

- ✓ 量子コンピュータの研究開発に当たっては、短期的には量子アニーリング（イジングマシン）を活用したサービス提供を着実に推進し、長期的には、ここで培った知見を将来のゲート型量子コンピュータのサービス提供に活用していくことが期待される。
- ✓ 量子コンピュータの研究開発に当たっては、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、量子技術以外の周辺領域からの研究者・技術者の参加促進、海外との人材交流の一層の促進が重要である。
- ✓ ユーザにおける量子技術の利用において必要となる装置化、事業化、運用段階でのメンテナンス等は、周辺機器技術も含めて量子技術ではなく従来技術を基本とした取組が必要であることから、量子コンピュータの実用化や事業化においては、企業からのコミットメントや、企業と量子技術の専門家が連携する体制を構築する必要がある。
- ✓ 将来、産業界からの投資を拡大・促進するためには、ユースケースを探索するとともに、その経済・社会効果を定量的に示していくことも重要である。

(2) 量子ソフトウェアの産業振興・研究開発に関する取組

<ポイント>

- **多様なユーザがアクセスし、ユースケースを探索・創出するための量子コンピュータの利用環境整備（テストベッド整備等）**
- **量子・古典のハイブリッドサービスも見据えた他分野の産業・技術との融合によるソフトウェアの開発（産学共創）**
- **量子ソフトウェアに関する国プロジェクトの抜本的な充実・強化、優れたアイデアを発掘・支援する仕組み**

(i) 多様なユーザがアクセスし、ユースケースを探索・創出するための量子コンピュータの利用環境整備（テストベッド整備等）

- ✓ 社会経済全体において量子技術を活かしていくため、産学官の多様なユーザがアクセスし、ユースケースを探索・創出していくことを可能とする量子コンピュータのテストベッドなど利用環境を整備していく。
- ✓ さらに、多様なユーザが、こうしたテストベッド等を存分に利活用し、我が国産業の成長機会の創出や社会課題解決等に大きく貢献する将来のキラアプリケーションにつながる量子技術のユースケースの探索・創出や利用実証をしていく取組を支援する。
- ✓ また、ユーザのリテラシー向上やユーザ企業の参入・利活用を促進していくため、好事例となるユースケースの情報発信・普及に向けた取組を強力に推進する。

(ii) 量子・古典のハイブリッドサービスも見据えた他分野の産業・技術との融合によるソフトウェアの開発（産学共創）

- ✓ 量子アプリケーションは、材料、金融、エネルギー、創薬・医療、モビリティ、通信などの幅広い分野の産業の成長機会の創出や社会課題解決の実現に貢献していくことが期待される。また、AI 等の計算科学、Beyond5G 等の情報通信技術など従来（古典）技術システムとも融合したハイブリッドサービスとして顧客価値を生み出していく視点も重要となる。
- ✓ 量子アプリケーションの研究開発に当たっては、量子アルゴリズムといった量子情報科学に関する高度な専門的知見を有している大学、研究機関等が、様々な企業（ソフトウェアベンダー、ユーザー企業）と密接に連携しながら、アプリケーション開発（＝共創）していくことが不可欠である。
- ✓ このため、量子情報科学分野の大学、研究機関等が、多くの分野の産業の関係者と一体となって、産学の共創（オープンイノベーション）の体制の下、量子・従来（古典）が融合したハイブリッドサービスを見据えて、アプリケーション・アルゴリズムなどのソフトウェアを研究開発・実証していく取組を強力に推進していく。

(iii) 量子ソフトウェアに関する国プロジェクトの抜本的な充実・強化、優れたアイデアを発掘・支援する仕組み

- ✓ 量子コンピュータの研究開発においては、ハードウェアのみならず、アプリケーション・アルゴリズムなどのソフトウェアの研究開発も行い、ユーザに顧客価値としてサービスを提供することで直接・間接的な収益を確保し、これを次世代の技術開発への投資に充てる資金の好循環を実現していくことが重要である。また、ソフトウェアの知見をハードにフィードバックして相互に高度化を図る上でも、ハードウェア・ソフトウェアを両輪として研究開発していくことが重要である。
- ✓ 現状として、量子コンピュータのようなハードウェアの研究開発に関する国プロジェクトに対して、量子ソフトウェアの研究開発に関する国プロジェクトは予算規模の面でも少ないことから、今後、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。
- ✓ 量子ソフトウェアの研究開発の担い手としては、柔軟かつ斬新なアイデアを有する若手人材、スタートアップ、また AI 等の他分野からの参入も期待されることから、可能な限り門戸を広げ、裾野広くアイデアを取り入れるためにも、アイデアコンテストなどを通じて優れたアイデアを発掘・支援する仕組みを検討・実施する。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 量子ソフトウェアの研究開発においては、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量子コンピュータの利用環境整備が必要である。
- ✓ ユーザ企業にとっては、将来の不確実性の高い量子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分野や、実装の敷居の低い分野や、市場性・インパクトの大きい分野、我が国が強みを有す分野など特定して、量子アプリケーションの研究開発していく視点も重要となる。

- ✓ 将来の量子コンピュータのユースケースの情報発信・普及に当たっては、イラストや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。
- ✓ 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。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いくためにも、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重要である。
- ✓ アイデアコンテスト実施の際には、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自体の PoC も価値あるアイデアとなることから、これらのアイデアを創出・発掘する仕組みも効果的である。

(3) 量子セキュリティ・量子ネットワークの産業振興・研究開発に関する取組

<ポイント>

- **量子暗号通信テストベッドや利用実証の拡大・充実、耐量子計算機暗号も含め量子・従来（古典）技術が一体となった総合的なセキュリティの実現**
- **量子暗号通信技術の導入を後押しするための評価・認証制度などの支援**
- **量子インターネット研究開発の国プロジェクトの立ち上げ、量子インターネットの技術ロードマップの作成**

(i) 量子暗号通信テストベッドや利用実証の拡大・充実、耐量子計算機暗号も含め量子・従来（古典）技術が一体となった総合的なセキュリティの実現

- ✓ 海外において、地上通信網、衛星等の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を整備し、実証試験をする動きが加速するなど量子暗号通信に関する国際競争が激化している。経済安全保障の観点からも、我が国において量子暗号通信の社会実装を加速化していくことが必要である。
- ✓ このため、量子暗号通信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、商用化に向けて幅広いユーザが参加できる利用実証を拡大するとともに、都市間を結ぶネットワークの将来的な整備等についても検討していく。
- ✓ 官民のユーザ、ベンダー、サービス事業者、通信・クラウド事業者等が密に連携・協議し、利用実証を重ねて標準化も進めつつ、耐量子計算機暗号、秘密分散技術等の活用も含めて、量子・古典

のシステムが一体となった総合的な量子セキュリティ技術の利用事例の創出・蓄積を進める。

(ii) 量子暗号通信技術の導入を後押しするための評価・認証制度などの支援

- ✓ 国内においては一部の民間企業において量子セキュリティ技術を活用したサービスが既に開始されており、将来、複数の事業者が量子セキュリティ技術によるサービスを提供することが想定される。
- ✓ この際に、ユーザがサービスの導入を検討する場合には、これらのサービスがどの程度セキュリティを確保できるのかどうか、あるいはユーザニーズを満たしているのかどうかについて客観的かつ統一的な指標で理解・評価できることが重要となる。
- ✓ このため、量子セキュリティ技術を活用したサービスの導入を後押しするため、実用化が進みつつある量子暗号通信装置等の評価・認証制度の導入などの取組について検討する。

(iii) 量子インターネット研究開発の国プロジェクトの立ち上げ、量子インターネットの技術ロードマップの作成

- ✓ 将来、量子状態を維持したまま通信を可能とする量子ネットワークの究極の形である量子インターネットは、セキュアな通信や複数の量子コンピュータの接続による量子ビット数の大規模化・分散コンピューティングの実現、量子センサのネットワーク接続など様々な量子技術の基盤をなす技術として期待されている。
- ✓ 近年、海外において、量子状態の中継を可能とする量子中継器（量子リピータ）や、量子状態の保存が可能な量子メモリ、それらの実証を行うためのテストベッドの整備をはじめとして、量子インターネットの実現に向けた要素技術の研究開発が活発化している。
- ✓ 我が国においても、将来の量子コンピュータの大規模化や高度な量子暗号通信等に向けて量子インターネットの要素技術の研究開発に着手する。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 通信ネットワークは万人に使われることで機能が充実し、意味があるものになることから、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、将来のセキュリティ・ネットワークのグランドデザインや量子技術の貢献や位置づけを見据えて取組を進めていくことが重要である。
- ✓ 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。
- ✓ 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り、ベンダー企業は投資しづらく、ユーザ企業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。
- ✓ 量子暗号通信の普及に向けては、ユーザ、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ていくことが重要である。

(4) 量子計測・センシング／量子材料等の産業振興・研究開発に関する取組

<ポイント>

- 量子計測・センシング技術の応用分野・活用事例の拡大、利用環境整備
- 将来のビジネス戦略を睨んだ企業（ユーザー・ベンダー）の発掘・事業化支援
- 世界最先端の量子機能を発揮する量子材料の研究開発・供給基盤の整備

(i) 量子計測・センシング技術の応用分野・活用事例の拡大、利用環境整備

- ✓ 量子計測・センシング技術は、従来よりも格段に高精度・高感度の計測・センシングを実現し、生命科学・医学、モビリティ、エネルギー、防災などの分野において幅広く活用されることが期待されている。さらに、今後、AI・ビックデータ、IoT などとも組み合わせながら発展していくことが期待される。
- ✓ 一方で、このような潜在的なニーズに対して、現時点で想定されている応用分野・活用事例は未だ少ないことから、さらに多くの応用分野を拡大し、活用事例を創出していくことが重要である。
- ✓ このため、多くの分野の産学のユーザが量子計測・センシング技術を理解し、利活用できるようにするための環境整備を進めるとともに、将来のキラーアプリケーションとなる活用事例の創出や利用実証を支援する。

(ii) 将来のビジネス戦略を睨んだ企業（ユーザー・ベンダー）の発掘・事業化支援

- ✓ 量子計測・センシングは様々な応用の可能性があるものの、多くの民間企業にとっては技術的なハードルが高く、新規参入が容易ではない。
- ✓ また、量子計測・センシング技術の特徴を生かすことで新規用途の潜在的なニーズが見込まれるが、ニーズとシーズが出会う場が十分でなく、また一般的に認知度も低いことから、ユーザ企業を発掘し切れしていないのが現状である。
- ✓ このため、量子計測・センシング技術に関心のある潜在的なベンダー・ユーザ企業に対して、大学等が技術的な支援や情報提供を積極的に行うとともに、ユーザ企業（ニーズ）と大学等（シーズ）がマッチングする仕組みを構築する。また、アイデアコンテストの実施などを通じて、新たなアイデアを発掘・支援する仕組みを構築する。

(iii) 世界最先端の量子機能を発揮する量子材料の研究開発・供給基盤の整備

- ✓ 量子コンピュータ、量子・計測センシング、量子ネットワーク・量子インターネット、その他量子材料を用いた次世代デバイスの研究開発・実用化や、基礎的な研究を推進するに当たっては、最先端の量子機能を発揮する量子材料が不可欠となる。
- ✓ 経済安全保障の観点からも、最先端の量子材料の製造技術を自国で保有し、供給基盤を構築していくことは極めて重要である。

- ✓ このため、量子機能の創製・高度化をはじめとして量子材料の研究開発を強化するとともに、最先端の量子機能を発揮する量子材料の研究開発や供給基盤の中核となる量子機能創製拠点を整備する。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 量子計測・センシングは技術的なハードルも高く、認知度も低いことから、アプリケーションとしてどう使えるかをうまく咀嚼して語れるインタープリター、またはビジネスの担い手となる人材を確保していく視点が重要である。
- ✓ キラーアプリケーションを選定して、ビジネスとして成立させるためには、ベンダー企業とユーザー企業が連携し、ユーザ企業がビジネスを企画し、リードしていく形が有効であると考えられる。

Ⅱ. イノベーション創出に向けた基盤的取組

(1) スタートアップ創出・活性化

<ポイント>

- アイデアコンテスト／ピッチコンテストなど新たなビジネスの発掘・支援、起業家育成、事業化支援、投資家とのマッチング、政府系ファンド等の活用を含めた総合的な起業環境整備
- スタートアップ向けの量子コンピュータ利用支援やアプリケーション研究開発等支援
- スタートアップ企業をはじめとする中小企業の製品・サービスの調達改善（例えば、研究プロジェクトで実績・価格以外も重視する調達、単なる物買いではなく技術高度化も含む調達等）

(i) アイデアコンテスト／ピッチコンテストなど新たなビジネスの発掘・支援、起業家育成、事業化支援、投資家とのマッチング、政府系ファンド等の活用を含めた総合的な起業環境整備

- ✓ 新たな市場を開拓していく領域においては、環境変化に強く、柔軟な発想やアイデアを持ち、新たなビジネスを生み出すことに長けているスタートアップ企業の活躍が期待される。
- ✓ 量子分野のスタートアップの創出・活性化に向けて、起業家育成、事業化支援、投資家とのマッチング支援、政府系ファンド等を活用したリスクマネー供給、研究開発支援、量子コンピュータ利用環境提供、インキュベーション拠点との連携など、量子技術を活用したスタートアップ企業の創出・活性化のための総合的な起業環境を整備する。
- ✓ また、量子技術を活用した新たなビジネスを創出するため、スタートアップ企業や若手人材を対象として、アイデアコンテスト／ピッチコンテストを開催し、新たなビジネスの発掘・支援を行う。

(ii) スタートアップ向けの量子コンピュータ利用支援やアプリケーション研究開発等支援

- ✓ アプリケーション研究開発は、知識集約型で大規模投資を必要とせず、時には顧客毎にサービスをカスタマイズ・ローカライズする柔軟性が必要とされることから、小回りが利く柔軟な対応が可能なスタートアップにとって有望な事業領域と言える。
- ✓ 量子アプリケーションを事業として展開することを考えている、または既に事業として展開しているスタートアップ企業にとっては、資本力が十分ではないため、量子コンピュータ利用や量子アプリケーション研究開発の障壁が高い場合がある。
- ✓ このようなスタートアップの事業活動を後押しするため、将来有望なスタートアップ企業を対象として、量子コンピュータの利用支援や量子アプリケーションの研究開発、実証試験の支援を行う。

(iii) スタートアップ企業をはじめとする中小企業の製品・サービスの調達改善（例えば、研究プロジェクトで実績・価格以外も重視する調達、単なる物買いではなく技術高度化も含む調達等）

- ✓ 量子ビジネスは長期的な投資を必要とし、さらに黎明期の小さな市場においては市場原理だけで

はビジネスとして成立し難いおそれもあることから、長期的な視野でスタートアップ企業をはじめとする中小企業を育成していくことが重要である。また、中小企業にとっては、国内市場のみならず国外市場も対象として、一定の市場規模を確保して、ビジネス成立性を高めていくことも有効である。

- ✓ 一方で、国や研究機関等におけるプロジェクトにおいては、機器・デバイス等の調達において、実績・価格を重視する調達を実施することが多く、スタートアップ企業をはじめとする中小企業においては不利になる場合が多い。また、単なる物買いにとどまり、国際競争力の確保・向上につながらない場合もある。
- ✓ このため、国や研究機関等がアーリーアダプターとしての需要喚起の役割を果たすべく、スタートアップ企業をはじめとする中小企業を育成していく観点から、実績・価格以外の将来の成長性も重視した調達の実施に努める。また、機器・デバイス等を中小企業から調達する際は、国際競争力強化や海外市場への展開も見据えて、単なる物買いではなく、必要に応じて高度化に向けた研究開発も盛り込むなど戦略的に取り組む。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 海外のスタートアップは、研究者が何らかの形で技術的に支えているケースが多いことから、我が国においてもスタートアップを増やしていくためには、連動して、量子分野の研究者、学生を増やしていくことが重要である。また、大学発スタートアップを支援するための総合的な支援（知財戦略、法務、ビジネス戦略等）も重要である。

(2) 量子技術イノベーション拠点の体制強化

<ポイント>

- **産業競争力強化、経済安全保障、量子技術利活用、国際競争力強化等のための新たな拠点形成・機能強化**
- **我が国の量子技術イノベーション拠点を代表するヘッドクォーター機能の抜本的な強化**

(i) 産業競争力強化、経済安全保障、量子技術利活用、国際競争力強化等のための新たな拠点形成・機能強化

- ✓ 量子技術イノベーション拠点については、8つの拠点⁶が令和3年2月に発足し、各拠点において、それぞれの強みを生かした役割を担って、研究開発、国際連携、産学官連携等の取組を推進している。

⁶ 超伝導量子コンピュータ開発／全ての拠点のヘッドクォーター（理化学研究所）、超電導量子コンピュータ利活用（東京大学－企業連合）、量子デバイス開発（産業総合研究所）、量子ソフトウェア（大阪大学）、量子セキュリティ（情報通信研究機構）、量子生命（バイオ）（量子科学技術研究開発機構）、量子マテリアル（物質・材料研究機構）、量子センサ（東京工業大学）

- ✓ 今後、産業界の事業活動が活発化・本格化していく中、量子チップ等の試作・製造や標準化等の産業界の活動を総合的かつシームレスに支援していく必要がある。また、経済安全保障の視点から、量子デバイスの研究開発・産業化に不可欠な量子材料の高度やサプライチェーン基盤の整備・強化も必要となる。
- ✓ また、社会経済システムで量子技術を活用していくためには、量子技術によるソリューションの創出支援や担い手となる産業人材育成も必要である。さらに、国際競争に劣後していかないためにも、海外の最新の技術を取り込むための国際的な研究開発や教育等を強化していくことも必要である。
- ✓ このため、産業競争力強化、経済安全保障、量子技術利活用、国際競争力強化等を図る観点から、以下のとおり、新たな拠点形成・機能強化等の体制強化を行う。

➤ **「グローバル産業支援拠点（仮称）」（産業技術総合研究所（AIST））**

国内外の企業等と連携し、量子・古典ハイブリッドコンピュータの利用環境を整備するとともに、民間企業に対して量子チップや周辺機器等の試作・製造・評価等、中小企業の有する優れた部品・室温エレクトロニクス技術の導入、マテリアルズ・インフォマティクスやエネルギーマネジメントなどの他分野の取組との融合によるユーザ市場開拓等を支援する環境整備や標準化支援をはじめとして、グローバル視点での産業界への総合的な支援を担う拠点を形成する。

➤ **「量子機能創製拠点（仮称）」（量子科学技術研究開発機構（QST））**

高精度な量子ビーム技術による新たな量子機能の創製・高度化を通じて、世界最先端の量子機能を発揮する量子材料の研究開発、量子材料の供給基盤の整備・強化をはじめとして、新たな量子機能の創製等を通じた世界先端の量子材料の研究開発や安定的な供給を担う拠点を形成する。

➤ **「量子ソリューション拠点（仮称）」（東北大学）**

多くのユーザ企業・ベンダー企業と協働し、量子コンピュータの利活用支援、企業ニーズに合致した価値のあるソリューションの研究開発の支援、これらを通じた産業人材育成を行うなど、量子技術の利活用支援や産業界にとって価値のあるソリューション研究開発支援、産業人材育成を担う拠点を形成する。

➤ **「国際教育研究拠点（仮称）」（沖縄科学技術大学院大学（OIST））**

国内外から優秀な量子研究者が集い、最先端の国際共同研究を推進するとともに、量子技術に関する国際的な教育を実施するなど、世界最先端の国際的な研究開発・教育を担う拠点を形成する。

(ii) 量子技術イノベーション拠点のヘッドクォーター拠点の機能強化（理化学研究所）

- ✓ 理化学研究所は、我が国の全ての量子技術イノベーション拠点を統括・代表するヘッドクォーター拠点として位置付けられている。

- ✓ 今後、国際社会に見える形でプレゼンスをさらに示していくためにも、国内外のトップ研究者が集い、世界に伍する最先端研究を推進する環境を整備・強化するとともに、産学官連携や国際連携、国内外への情報発信、複数拠点の連携・調整等のヘッドクォーター機能を抜本的に強化していく。

(iii) その他（留意点等）

- ✓ 量子技術イノベーション拠点が、国内外の産業界や研究者にとってより魅力的で訴求力のあるものとなるように、国際的に強みのある研究開発を推進するとともに、産学連携や国際連携などの機能の一層の充実、各拠点の体制の強化（ポストや待遇の充実も含む）をしていくことが重要である。
- ✓ 量子技術イノベーション拠点がそれぞれの強みを生かしながら相互に連携して、産学連携や国際連携の機能を最大限に発揮し、国内外に対してプレゼンスを高めるべく積極的な情報発信をしていくことも重要である。

(3) 人材の育成・確保

<ポイント>

- 民間事業も活用した産業界も含めた幅広い層への教育プログラムの提供、関連情報の一元的な提供
- 材料、金融、AI 等の他分野と融合した人材育成（例：量子を第二言語とする「●●×量子」のハイブリッド人材等）
- 将来のブレークスルー技術を担う裾野広い若手研究人材の育成、科学館や動画コンテンツ等も活用した量子ネイティブの育成（幼少期から量子に触れる環境づくり等）

(i) 民間事業者も活用した産業界も含めた幅広い層への教育プログラムの提供（リカレント教育等）、関連情報の一元的な提供

- ✓ 近年、大学等や研究機関の研究者を中心に量子分野の教育プログラムを開発・提供する動きが活発になりつつある。しかし、提供主体となる大学等のリソースには限りがあることから、今後、より一層幅広い層に教育プログラムを提供していくためには、民間事業者を活用して実施していくことが有効である。
- ✓ このため、民間事業者を活用して、他分野、産業界を含めた幅広い層に教育プログラムを提供するとともに、若手人材が将来の魅力的なキャリアパスとして円滑に量子分野を進路選択できるようにするための産学の人材をマッチングする仕組みを構築する。将来的には、技術習熟度を認証（見える化）する検定制度の導入も視野に入れて取り組む。
- ✓ さらには、複数の機関によって提供している教育プログラムに関する情報を一元的かつ体系的に提

供する仕組みを構築する。

(ii) 他分野や従来（古典）技術分野と融合した人材育成（例：量子を第二言語とする「●●×量子」のハイブリッド人材等）

- ✓ 量子技術は、多岐にわたる分野や従来（古典）技術分野と一体となって、はじめてユーザ価値を提供できることから、人材育成においても、他分野・従来（古典）技術分野と連携しながら行っていく視点が重要である。
- ✓ また、量子分野の人材の層・幅を厚くしていく観点や、シーズとユーザの架け橋となる人材を育成する観点からも、量子技術と他分野・従来（古典）技術分野の両方の知見を持つ人材育成は重要である。将来、量子技術を活用することが当たり前になる時代においては、他分野を主な専門としつつ、量子技術を使いこなすことができる、いわば量子を第二言語とする「●●×量子」なハイブリッド人材も期待される。
- ✓ このようなハイブリッドな人材を育成していくため、他分野・従来（古典）技術分野と連携して統合的な教育プログラムを提供する仕組みを構築する。また、研究開発プロジェクトにおいても、他分野との融合した研究開発テーマを積極的に導入することを通じて人材育成を促進する。

(iii) 将来のブレークスルー技術を担う裾野広い若手研究人材の育成、科学館や動画コンテンツ等も活用した量子ネイティブの育成（幼少期から量子に触れる環境づくり等）

- ✓ 量子コンピュータの大規模化・実用化に向けては、安定した量子ビットの生成やエラー訂正など多くのブレークスルー技術が必要とされている。
- ✓ 将来のブレークスルー技術に向けて裾野の広い基礎研究を推進し、若手を含む人材育成を強力に推進していく。この際には、量子拠点以外を含む、多くの大学においてすそ野の広い人材育成ができる環境づくりをしていく。
- ✓ さらに、科学館や動画コンテンツ等も活用し、幼少期から量子に触れる環境づくりを行い、量子ネイティブの育成にも努める。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 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、大学・研究機関等は積極的にポストを拡充し、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期待される。

(4) 量子技術の知財・標準化

<ポイント>

- オープン・クローズ戦略も踏まえた複数の知的財産を一括してライセンスする民間主導パテントプールの形成と民間運営組織の立ち上げ
- 量子コンピュータ・量子暗号通信等の量子技術の知財化・標準化、国際的なルールづくりを主導していく体制づくりや仕組み構築
- 量子暗号通信の周辺技術を含めた実用化技術の確立や標準化

(i) 量子技術に関する知財の確保と共有すべき特許を関係者間で検討・特定しつつ、複数の知的財産を一括してライセンスする民間主導パテントプールの形成と民間運営組織の立ち上げ

- ✓ 量子コンピュータや量子暗号通信は、量子技術や従来（古典）技術などに多様な技術が集積する総合システムであり、今後、多様な知的財産・権利が複雑に関連することが見込まれる。
- ✓ 今後、民間企業や大学等が事業活動や研究開発において、これらの知的財産を円滑に活用するために、複数の知的財産を一括してライセンスする民間主導による国際的なパテントプールの創設が期待される。この際には、量子技術に関する知財の確保と共有すべき特許を関係者間で検討・特定するオープン・クローズ戦略も重要である。
- ✓ このため、官民が一体となって、このようなオープン・クローズ戦略を推進し、民間主導によるパテントプールの創設及びこれを運営する組織の立ち上げを支援する。

(ii) 量子コンピュータ・量子暗号通信等の量子技術の知財化・標準化、国際的なルールづくりを主導していく体制づくりや仕組み構築

- ✓ 量子技術の知財化については、我が国は特許取得数が、中国・米国に続き第3位であり、国際的には比較的高い水準にある。しかし、この 10 年間で中国・米国が急速な伸びを見せており、我が国としても知財化に向けた取組を強化していくことが重要である。
- ✓ また、標準化については、国際電気通信連合-電気通信標準化部門(ITU-T)、国際電気標準(IEC)等のデジュール標準に加え、米国電気学会(IEEE)などフォーラム標準の議論の場において、我が国も積極的に参画しており、今後、我が国が主導的役割を果たしていくことが期待される。
- ✓ このため、我が国においても、将来の計算機・通信システムを見据えて、量子コンピュータ・量子暗号通信の知財化・標準化を引き続き進めるとともに、このための官民が一体となった体制の整備や民間の標準化活動の支援も含めて、国際的なルールづくりを主導していく体制や仕組みを構築していく。

(iii) 量子暗号通信の周辺技術を含めた実用化技術の確立や知財化・標準化

- ✓ 量子技術については、研究開発と同時並行で、なるべく早期にユーザによって技術の利用実証を行い、利用実証の知見を研究開発にフィードバックして実用化技術を確立・高度化し、知財・標準化を進めていくことが重要である。
- ✓ 特に、実用化が進展している量子暗号通信については、QKD ネットワークのオープンテストベッドを活用し、多くのユーザが利用実証することで実用化技術を高度化し、世界に先駆けて知財・標準化を進めていく。
- ✓ また、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はなく、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）を確立し、知財・標準化を進める。

(iv) その他（留意点等）

- ✓ 量子分野の市場の多くは黎明期であることから、場合によってはオープンイノベーション形式で社会実装を先に目指し、一定程度の市場が形成された後にクローズドにするなど、市場の成長段階の視点でも、オープン・クローズ戦略を検討していくことが重要となる。

(5) 国際連携／産学官連携

<ポイント>

- **戦略的な国際的共同研究の強化、若手研究者の国際交流の充実**
- **産業界の国際交流・協力の活性化や、産業界の海外展開の支援**
- **産業界と量子技術イノベーション拠点、関係府省との連携・協力体制の構築（意見交換の場、共同研究、産学人材交流等）**

(i) 戦略的な国際的共同研究の強化、若手研究者の国際交流の充実

- ✓ 近年、研究者の若手研究者を中心として国際的な研究人材交流が低調になっているとの課題が多くの研究者から指摘されている。コロナ禍による影響で、本課題はさらに深刻化しつつある。
- ✓ このため、基礎から応用研究まで幅広い分野で、若手人材を中心とする研究者の国際交流を積極的に支援する。
- ✓ また、量子技術イノベーション拠点が中心となり、最先端の技術を有する海外企業、研究機関と連携し、海外の最新の技術を取り込むべく国際共同研究を強力に推進する。

(ii) 産業界の国際交流・協力の活性化や、産業界の海外展開の支援

- ✓ 民間企業が量子コンピュータや量子暗号通信システムを開発・製造していくためには、国際的なサプライチェーンや国際共同開発体制を構築していくことが重要で、このためにも産業界同士の国際

交流・協力が欠かせない。

- ✓ このため、国は、必要に応じて国家間協力の場も活用しながら、量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）を中心とする産業界の国際交流・協力を積極的に後押し・支援する。
- ✓ また、海外にも通用する我が国の強みも見出しながら、官民が一体となって量子技術を活用した商品・サービスの海外展開を推進する。

（iii）産業界と量子技術イノベーション拠点、関係府省との連携・協力体制の構築（意見交換の場、共同研究、人材交流等）

- ✓ 令和3年2月に8つの量子技術イノベーション拠点（QIH）が発足するとともに、産業界側においても、同年9月には量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）が設立されるなど新たな基盤が整備された。
- ✓ 今後、産学官が一体となって研究開発や産業化に取り組むためにも、量子技術イノベーション拠点（QIH）と新産業創出協議会（Q-STAR）、関係府省が組織的に連携・協力する体制を構築していく。
- ✓ こうした連携・協力の体制の下、例えば、産学官の意見交換、共同研究、人材交流、各種イベント開催など、関係者の相互ニーズに応じて積極的に取組を推進する。

（6）アウトリーチ活動の推進

<ポイント>

- SNS、動画等のメディア・コンテンツによる広報活動の充実・強化、科学館展示等による量子技術に触れる環境づくり
- 量子に関する情報を一元的に提供する仕組み（ポータルサイト等）など情報提供の強化
- 量子と社会をつなぐ人材（エバンジェリスト・アンバサダー等）、起業家・研究者等のフロントランナー人材のプレイアアップ（若者キャリア形成にも寄与）等

（i）科学館展示、SNS、動画等のメディア・コンテンツによる広報活動の充実・強化、量子技術に触れる環境づくり

- ✓ 量子技術は一般には分かりにくく敷居が高いことから、幅広い層に対して量子技術を分かりやすく伝えるための広報活動の一層の充実・強化を図ることが重要である。
- ✓ このため、SNS、YouTube等のメディア、動画等のコンテンツを活用して、量子技術が何に役立つのかも含めて量子技術を分かりやすく伝える。
- ✓ 科学館展示や量子技術を体験できる教材づくり等を通じて、児童・生徒・学生の若年層が量子技術に触れることのできる環境づくりも行う。

(ii) 量子に関する情報を一元的に提供する仕組み（ポータルサイト等）など情報提供の強化

- ✓ 現状として、量子技術イノベーション拠点（QIH）や量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）量子技術イノベーション拠点の活動状況、関係機関から提供されている教育プログラムなど関係プロジェクトなどについては、個別のウェブサイト等を通じて情報提供されている。
- ✓ しかし、ユーザにとっては、個別にアクセスする必要があり、利便性が低く、分かりにくいとの課題がある。今後もステークホルダーが増えていけばさらに複雑化していく恐れもある。
- ✓ これを踏まえ、量子技術に関する情報を社会経済に見える化していくため、当該情報を一元的に提供するポータルサイトの創設など情報提供を強化する。

(iii) 量子と社会をつなぐ人材（エバンジェリスト・アンバサダー等）、起業家・研究者等のフロントランナー人材のプレイアップ（若者キャリア形成にも寄与）等

- ✓ 量子技術は一般に分かりにくいことから、量子技術の内容や何ができるのかを社会に分かりやすく翻訳し、伝えていく仕組みや担い手が必要となる。
- ✓ このため、量子と社会をつなぐ人材（エバンジェリスト・アンバサダー等）を起用して、SNS、YouTube等のメディアも活用しながら社会の認知度を上げていく。
- ✓ また、若手のキャリア形成に寄与するためにも、起業家・研究者・技術者等のフロントランナー人材のプレイアップする仕組み（情報提供や表彰制度等）も検討する。

(7) その他（経済安全保障／ビジネス環境整備等）

<ポイント>

- **経済安全保障の確保・強化（技術的優位性を確保するための先端技術の獲得、重要な基盤部品・材料等のサプライチェーンの確保、サイバー攻撃等への対応）**
- **政府系ファンド等の活用によるリスクマネー供給やアーリーアダプタによる需要喚起促進（政府調達）**
- **長期的投資を可能とする基金制度の活用など政府プロジェクトの運用改善**

(i) 経済安全保障の確保・強化（技術的優位性を確保するための先端技術の獲得、重要な基盤部品・材料等のサプライチェーンの確保、サイバー攻撃等への対応）

- ✓ 量子コンピュータ／量子通信／量子計測・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、技術的優位性を確保するための先端技術の獲得、重要な基盤部品・材料等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。

- ✓ 特に、量子通信に不可欠な単一光子検出器については、海外への依存度が高いことから、国産化に向けて取り組む。
- ✓ また、技術情報をはじめとして、産業や社会の基盤をなす重要な情報システム・データについて、サイバー攻撃等から保全するなど対応する。

(ii) 政府系ファンド等の活用によるリスクマネー供給やアーリーアダプタによる需要喚起促進（政府調達）

- ✓ 量子コンピュータをはじめとして、量子技術の実用化までには解決すべき技術的な課題も多く、長期間の投資を必要とする。
- ✓ 我が国の企業や金融機関において、このような将来の市場が不透明で、かつ投資が長期におよぶ場合の民間投資は低調な傾向にある。このため、リスクを低減し、民間投資を喚起する観点から、政府系ファンド等を活用してリスクマネーを供給する。
- ✓ また、民間企業が量子技術を活用した新たな商品・サービス（プロトタイプを含む）を開発・リリースした場合には、政府や関係機関が積極的にアーリーアダプタとして調達し、需要喚起することに努める。

(iii) 長期的投資を可能とする基金制度の活用など政府プロジェクトの運用改善

- ✓ 量子技術は長期的でチャレンジングな研究開発投資が必要とされるため、国際競争の状況も踏まえながら、研究開発を戦略的かつ持続的に推進できるようにするためには、ムーンショット型研究開発制度のような基金制度を政府プロジェクトにおいて活用するなどプロジェクトの運用改善を図っていくことが期待される。

6. さいごに

量子技術が誕生した 20 世紀は、もっぱら量子という物理現象の「観測」の歴史であったが、今世紀に入ってから、量子技術は「観測」から「制御」へと急速に発展している。例えば、量子コンピュータでは、一つ一つの原子や電子を思い通りに制御して、計算に利用するという一昔前は不可能だと思われていた夢の技術が実現しようとしている。

これからは、量子現象を制御して、情報処理や通信、センシングなどに本格的に利活用をしていく時代となる。本戦略は、こうした新たな時代において、量子技術を有効に利用していくための基本的考え方や取組の方向性を示したものである。

人類が手にしたことのない新たな技術は、将来、社会経済にこれまでにない恩恵をもたらすだろう。逆に悪意をもって利用した場合には害悪をもたらすおそれもある。したがって、我々は、経済成長のみならず、環境との調和、人々の幸福も見据えて、量子技術を人類の共有財産として利活用していくべきである。

これまでの量子技術の発展は、研究者の好奇心と地道な努力の成果でもある。これからは、産業界が量子技術の恩恵を社会に届ける大きな役割を果たすだろう。

今後、産学が手を取り合って、量子技術をさらに発展させ、そして社会経済に大きな恩恵をもたらしていくことを期待する。