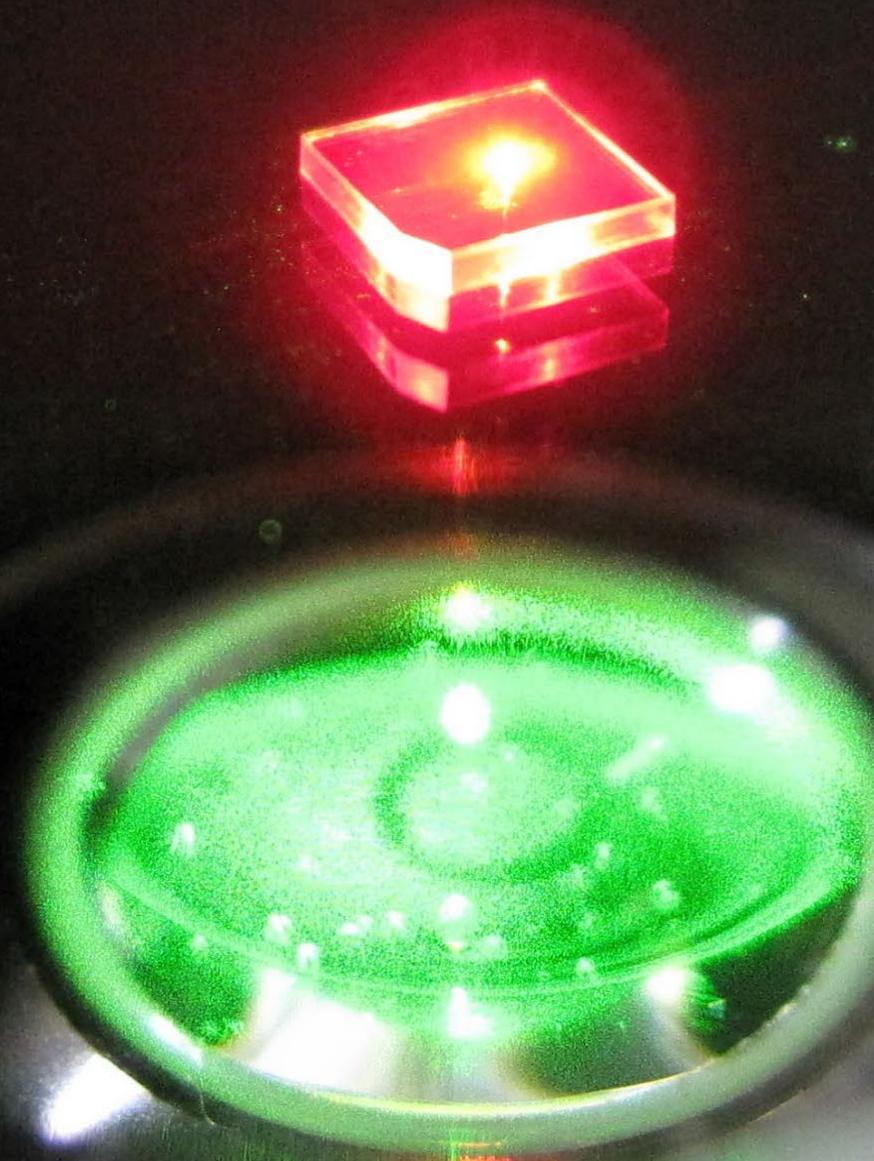


量子産業の創出・発展に 向けた推進方策



令和6年4月9日
量子技術イノベーション会議

目次

I.	はじめに	1
II.	本方策の位置付け	1
III.	量子技術を取り巻く現状認識	2
(1)	各国における量子技術の戦略的な推進	2
(2)	量子により駆動される新産業を目指した国際競争の激化	3
(3)	量子分野における著しい技術進展	3
IV.	量子産業の創出・発展に向けた新たな視点	7
V.	新たな視点を踏まえた諸課題と対応の方向性	8
(1)	グローバル市場への展開強化	8
(2)	世界から注目される我が国の技術開発の強力な推進	9
(3)	産学における量子人材の育成	9
VI.	強化すべき具体的な取組	11
(1)	グローバル市場への展開強化に向けた取組	11
(2)	我が国の技術開発の推進に向けた取組	12
(3)	人材育成に関する取組	17
(4)	イノベーション基盤の強化に関する取組	19
VII.	おわりに	24

表紙の写真：

量子センサとして開発が進む NV センタを含むダイヤモンドが、緑色の励起光により赤色の蛍光を発している様子。この蛍光が微小磁場や温度に応じて変化する。（東京工業大学提供）

I. はじめに

- ✓ 量子力学が誕生したとされる 1925 年から、間もなく 100 年の節目を迎える。我が国は長年、量子分野における基礎学理に強みを有し、政府は 2016 年の第 5 期科学技術基本計画で量子技術を「新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術」と位置付け、2020 年に「量子技術イノベーション戦略」を策定した。
- ✓ 他方で、海外では、広義の量子情報技術について産業化の波がいち早く訪れ、2018 年には米国で、2021 年には欧州で、それぞれ産学官のコンソーシアムが発足し、産業界からの大幅な投資拡大の動きが見られた。このような中、我が国でも 2021 年 9 月 1 日に「量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）」¹が発足し、政府は翌年の 2022 年 4 月に「量子未来社会ビジョン」を、2023 年 4 月に「量子未来産業創出戦略」を策定し、産学官を挙げてこれらの実現に向けた取組を進めている。
- ✓ それでもなお、先端分野である量子技術の進展は各国で著しく、異分野との融合も進みつつある。このため、これらの政府戦略策定後の我が国を取り巻く情勢変化を踏まえ、2030 年の目標に向けて早急に取り組むべき推進方策を掲げ、量子技術そのものの産業化のみならず、量子技術により駆動される産業の生産性の向上や我が国発の新産業（ここではこれらを量子産業と呼称する）の創出・発展に向けて対応方策の強化などを含めて戦略的に取り組むことが期待される。

II. 本方策の位置付け

本方策は、我が国の量子技術が世界に伍していくため、量子技術に関する既存 3 戦略²を補完するものとして、現下の諸課題を整理し、早急に対応の強化、具体化や追加が必要な方策を量子技術イノベーション会議において取りまとめたものである。

¹ 2022 年 5 月に一般社団法人化

² 「量子技術イノベーション戦略（2020 年 2 月）」、「量子未来社会ビジョン（2022 年 4 月）」及び「量子未来産業創出戦略（2023 年 4 月）」をいう。

III. 量子技術を取り巻く現状認識

(1) 各国における量子技術の戦略的な推進

(各国及び国際機関の量子技術戦略等の策定)

- ✓ 先に述べたとおり、我が国は、2023年4月に量子未来産業創出戦略を策定したところだが、同年には各国が相次いで量子技術に関する国家戦略を策定し（米国、英国、オーストラリア、カナダ、韓国、デンマーク、ドイツ、フィンランド。巻末参照）、12月には韓国が量子科学技術及び量子関連産業の育成に関する法律を策定する等、各国も量子技術を重点分野として位置づけ、国を挙げて研究開発や人材育成等に取り組む動きが活性化している。2024年には中国が量子技術を含む産業についての計画を公表するとされている。
- ✓ また、米国の2024年国防権限法に盛り込まれた量子技術のプログラム数は以前に比べて増加し（12月）、NATO量子戦略も策定される（11月）等、量子技術の安全保障への活用も既に始まりつつある。

(国際連携の進展)

- ✓ 我が国と米国政府とは、2023年5月の日米首脳会談において量子分野等での日米協力の重要性を共有したことを皮切りに、第2回日米商務・産業パートナーシップ（JUCIP）閣僚会合の共同声明に量子コンピュータの産業利用を促進するための協力強化を盛り込み、それを具体化するための課長級訪問（5月）、日米経済政策協議委員会（経済版「2+2」）第2回閣僚会合において量子分野の日米協力の加速に関しての一致（11月）等の動きがあった。
- ✓ また、EUとは日EUデジタルパートナーシップに基づく量子コンピュータ関連のワークショップを開催し（5月、12月）、カナダ政府とは量子分野を含む産業技術分野に関する協力覚書（MOC）の締結が行われ（9月）、韓国政府とは首脳討論会において量子技術を含む先端科学技術分野等での協力の推進を表明する（11月）等、国際協力の更なる深化に向けた取組を進めている。
- ✓ これらの動きを受けて、機関間においても、新たな国際協力を模索する動きが活発化している。2023年5月には東大－シカゴ大－IBM／Googleの量子分野の協定締結、6月には東北大－シカゴ大のアライアンス発足、11月には国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」という。）とNIST（米国）³及び産総研とNRC（カナダ）⁴との量子分野を含む研究協力覚書（MOU）の改訂、12月には慶大－東大－シカゴ大－延世大－ソウル

³ 日米経済政策協議委員会（経済版「2+2」）第2回閣僚会合（2023年11月16日）

⁴ 経済産業省とカナダ革新・科学・産業省との産業技術分野に関する協力覚書に署名

大－IBM の量子教育活動に係る取組、2024 年 1 月には産総研と KRISS (韓国)⁵の量子分野を含む MOU の改訂、及び日米韓大学間での量子分野に関する協力文書の締結等、新たな国際協力を構築する動きが進んでいる。

- ✓ これら政府間・機関間での国際連携・協力を通じ、諸外国の政策・開発・产业化等の動向を俯瞰しつつ、我が国が実用化に向けて強みを有すると考えられる競争領域においては、社会実装のためのユーザ参画を進め、各國や国内各社の協力が不可欠な協調領域においては、有志国の大学・研究機関、企業と戦略的な共同研究を行い最新の技術を取り込む等、グローバル市場の獲得に向けた活動を積極的に推進する必要がある。

(2) 量子により駆動される新産業を目指した国際競争の激化

- ✓ 企業の量子関連事業や量子スタートアップ／ベンチャー企業が、早い段階で世界市場での評価を得ることにより、サービス／製品の展開の加速や国際標準化の牽引等が期待できる。
- ✓ このため、各国で量子関連産業の創出を目指した団体が設立されるとともに、ユースケース探索や将来のサプライチェーン構築も見据え、これら団体間での基本合意が行われる等、グローバル連携・展開が進んでいる。
- ✓ 特に、量子暗号や将来の量子インターネット、量子コンピュータの実現を見据え、これらの技術の更なる高度化に向けた基礎研究と応用研究の併走が強力に推し進められるとともに、テストベッドを構築して量子技術の評価検証やユースケース実証を行う動きや、量子－HPC ハイブリッド計算プラットフォームの構築が活発化している。
- ✓ 我が国の産業界も、グローバルな市場の獲得に向け、一般社団法人量子技術による新産業創出協議会 (Q-STAR) が精力的に活動するとともに、海外で行われるサービス実証・テストベッドへの積極的な参加、スタートアップ／ベンチャー企業による海外拠点設立等の動きが生まれつつある。
- ✓ 他方、こうした国際協調の動きは限定的であり、今ここでグローバル連携の機会を逸すれば、我が国がいわゆる「世界先端クラブメンバー」から孤立のおそれがある。

(3) 量子分野における著しい技術進展

(量子コンピュータ)

- ✓ 量子コンピュータは、限定的用途ではあるものの、開発段階から利活用段階に発展しつつある。これまでの先端技術の開発から利活用までの流れを踏まえれば、量子コンピュータの产业化が本格化するのは今後 10 年以内と

⁵ 岸田文雄首相と韓国の尹錫悦 (ウン・ソンニョル) 大統領が量子技術の研究開発で新たな枠組みを表明(2023 年 11 月 17 日 (日本時間 18 日))

みられる。

- ✓ 量子コンピュータのハードウェアについては、超伝導方式、イオントラップ方式、光方式、シリコン方式、原子方式等の開発競争が激化するとともに、スケールアップ・高品質化、アーキテクチャの高度化等に向けた研究開発が進み、特に基礎研究の成果により、従前の物理量子ビット数ベースの議論から、論理量子ビットの実用化獲得を視野に入れた議論が急速に始まりつつある。
- ✓ 2023 年には、海外企業が長年培ってきた高度な開発リソースを背景に超伝導方式で 1,000 量子ビットの達成とエラー率を低減させた 100 量子ビット級の実機を同時に公開したほか、海外のアカデミアとスタートアップ企業が連携して、クラウド環境においてイオントラップ方式や原子方式の量子コンピュータの利用を可能とし、さらには、史上最大の論理量子ビット実現を公表するといった動きがあった。
- ✓ また、今後数年以内に、誤り訂正を施した 100 以上の論理量子ビットを用いて 100 ステップ以上の量子アルゴリズム計算が可能になるとのロードマップの発表もある等、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実用化を大きく加速する取組事例や要素技術開発が進行している。
- ✓ 我が国においては、2023 年 3 月の量子コンピュテーション開拓拠点（国立研究開発法人理化学研究所。以下「理研」という。）における国産量子コンピュータ初号機「叡」の公開を皮切りに、国内企業や量子ソフトウェア研究拠点（大阪大学）においても理研の技術を活用して国産実機を開発・公開した。
- ✓ ハードウェアの急速なスケールアップに伴い、量子ソフトウェアのユースケース創出の観点からも、量子コンピュータと HPC をはじめとする古典コンピュータとのハイブリッド利用環境の必要性が高まり、国内外でこれらの実利用計算環境の整備が高度な情報科学や応用数学に基づいて急速に進んでいる。
- ✓ また、誤り耐性の獲得実現を前倒しする可能性を秘めたソフトウェアの研究も進展している。さらに、様々なハードウェアやソフトウェアを活用した産業化に近いユースケースの創出やその取組が様々な分野で進みつつある。
- ✓ 量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル拠点（産総研）は、量子コンピュータを中心とした量子技術の実用化と産業化のための産学のグローバルなハブ⁶として、量子コンピュティング技術と古典コンピュティング技術の相互補完的な利用による高度な融合計算技術の確立と、バイオ・マテリアル・エネルギー・交通等多様な分野における実用化に近いユースケ

⁶ 産総研において、量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター（G-QuAT）を 2023 年 7 月に開設

ースの創出を産業界とも連携し世界に先駆けて行うべく、量子コンピュータや大規模 GPU コンピュータ（ABCI-Q）の導入を進めている。

- ✓ また、産総研は、量子コンピュータの大規模化・高度化のための技術開発にも力を入れており、量子ビットや低温動作制御回路を含む量子デバイスの大規模化・集積化に向けた開発と国内外のベンダの支援のための試作設備の拡充を進めている。
- ✓ さらに、産総研は、量子コンピュータのサプライチェーンの産業化のために、極低温等の特殊な環境におけるテストベッドの整備も進めている。

(量子セキュリティ／量子ネットワーク)

- ✓ 量子コンピュータの実現による、現在インターネット上で広く利用されている公開鍵暗号アルゴリズム（RSA 暗号、楕円曲線暗号等）の危険化の懸念が指摘されており、量子コンピュータ時代にも安全に利用できる暗号技術が求められている。標準化技術研究所（NIST；米国）では、耐量子計算機暗号（PQC）の国際標準化作業が進められており、2025 年に最初の国際標準化が完了する予定である。
- ✓ 量子暗号通信は、量子の物理的特性により盗聴を確実に検知することが可能な暗号システムであり、政府系・金融系ユーザを中心に機微情報を扱う分野への導入が期待されている。
- ✓ 我が国企業は、量子の特性を用いて暗号鍵の配信を行う量子鍵配送（QKD）装置について暗号鍵生成速度や伝送距離等の観点から世界トップレベルの技術を有しており、商用化も実現しているが、各国も量子暗号通信に関する研究開発に積極的に取り組むとともに、地上系と衛星系を組み合わせたテストベッドを構築し、商用化を見据えた実証実験を行う等国際競争が激化している状況にある。我が国が量子暗号通信の分野で、引き続き世界のトップランナーであり続けられるかどうか、これから数年間に懸かっている。
- ✓ 量子暗号通信や量子インターネットでの活用を想定した量子中継技術については、量子もつれの中継実証や量子メモリを用いた長距離もつれ配信実証を行う等、国際的な開発競争が激化している。量子中継技術は、量子コンピュータ同士の接続に活用できる等、量子技術の発展に不可欠な技術であるため、我が国における量子中継技術を世界トップレベルに引き上げていくことが求められている。
- ✓ 量子セキュリティ拠点（国立研究開発法人情報通信研究機構。以下「NICT」という。）では、2024 年 3 月に拡張整備が完了する量子暗号テストベッドについて、政府系・金融系ユーザと連携しながら徹底的な利活用を行い、社会実装に向けた課題の明確化やアーリーアダプタへの利用促進等を進めていく予定である。

(量子計測・センシング／量子マテリアル)

- ✓ 量子計測・センシングについては、例えば、固体量子センサは、磁場や温度といった複数の物理量を室温環境や生物内で高感度に測定可能といった利点から、大学・研究機関のみならず、自動車メーカー等企業の参入も広がりつつある。
- ✓ また、我が国が世界に先駆けて開拓した量子生命科学分野は、海外研究機関からも注目を集めており、生体ナノ量子センサによる生命現象の量子力学に基づく理解から将来的な脳磁測定等ライフサイエンス・臨床医学分野への応用も期待されている。
- ✓ こうした研究は現在、基礎研究の段階にあり協調領域にあるが、今後、米独等との競争領域に発展する可能性がある。

(関連する分野の動向)

- ✓ これら量子技術の進展に加え、生成AIの勃興、半導体製造プロセスの微細化、地上系だけでなく衛星系を含めたシステムに拡張しようとしている「Beyond 5G」等の有線無線通信技術の進歩等、デジタル・トランスフォーメーションが加速している。
- ✓ 現在、国内外の様々なプロジェクトや機関等で人材育成が進められているが、将来の産業の発展を見据えると量子人材が世界的に不足することが予想されるため、我が国において量子技術の研究者・技術者の育成を推進する必要がある。
- ✓ さらに、量子コンピュータにとどまらず量子技術全体の産業化のための次世代の部素材開発やグローバルサプライチェーンの構築の必要性も高まっている。

IV. 量子産業の創出・発展に向けた新たな視点

量子技術のいわば「黎明期」においては、研究者の創造的な発想に基づく基礎研究と応用研究を核として産業化が進められてきた。そして、量子技術の利活用が始まりつつある現段階にあっては、基礎研究と応用研究の併走に加え、グローバルな視点での有志国との国際連携が更なる発展の鍵となる。

このため、量子産業の創出・発展に向けて施策を検討・推進するにあたり、量子未来産業創出戦略に掲げた「実用化・産業化の取組を進める上での3つの視点⁷」を踏まえ、グローバル連携・強化に関する取組を更に強化するために、「Globalization」という新たな視点を設定し、追加する。今後は4つの視点を基本として取り組む。

■ Globalization 「有志国との戦略的な連携と我が国オリジナルの価値創造による世界からのビジビリティの向上」

技術動向や産業化等の急速な進展を背景として、各国が量子技術によるグローバル市場の獲得を目指すようになってきている。我が国が世界の市場と対峙していくため、有志国と戦略的に連携しながら、まずは競争力のある製品・サービスの海外展開を官民挙げて優先的に取り組み、「量子といえば日本」といわれるようなブランディングを進めた上で、以降の継続的な市場の確保・エコシステムの構築を進めることが重要である。

また、量子技術の実用化には、量子コンピュータにおける1,000量子ビットを超える大規模化等、現在の技術の延長では必ずしも対応できない課題が見込まれており、その解決には基礎学理に基づくブレークスルーが不可欠である。このため、実用化への技術的なハードルが高い分野こそ基礎に立ち返り（Back to the Basic）、これまで実施してきた実用化・産業化を目指す研究開発やそのためのテストベッド等の開発環境を構築する取組に加え、様々な次世代の技術開発やそれを生み出す人材の育成に产学研官を挙げて取り組み、世界からのビジビリティ（Visibility）を向上させることも重要である。

⁷Collaboration 「多様な産業の量子技術分野への参画・協働・共創、グローバル連携・展開、产学研官連携」、Accessibility 「産業界に開かれた量子技術の利用環境の実現」、Incubation 「積極的なスタートアップ／ベンチャー企業・新事業の創出支援」

V. 新たな視点を踏まえた諸課題と対応の方向性

(1) グローバル市場への展開強化

(課題)

- ✓ Q-STAR と海外産業団体との MOU や産総研と海外研究機関との MOU 等を活用し、国際協議会の開催等のグローバル連携が着実に進む一方で、量子技術を活用したサービスの海外展開に必要な現地の情報やネットワークが我が国には未だ不足しているとの声がある。
- ✓ また、量子技術による市場はエマージングであるが故に、民間企業だけでの海外展開はリスクが高いとの意見もある。さらに、国内外からの投資を拡大するためには、量子技術の優位性を費用対効果の観点から説明するユースケースが未だ不足している。
- ✓ 加えて、量子エコシステムの形成に必要な、量子スタートアップ／ベンチャー企業等が創業し国内外の市場に本格的に展開する機会や、量子技術等のディープテックを評価し長期的に投資する国内の V C の規模は未だ十分ではないとの指摘もある。

(対応の方向性)

- ✓ 国が率先して政府間の連携の枠組等を活用したグローバル展開の機会を創出・確保し、海外の産業界や大学・研究機関等のステークホルダーとの円滑なコミュニケーションを促進する。こうした取組により、有志国を中心としたグローバルサプライチェーンの安全性を高め、我が国が戦略的に不可欠な地位を確保する。
- ✓ 国内外の様々なユーザを念頭においたテストベッドの整備、国内外の様々なユーザを念頭においたテストベッドの整備の強化により、量子技術の利用機会の充実を図り、企業や V C に希求するユースケースの積み上げを実施する。
- ✓ 量子スタートアップ／ベンチャー企業に対する海外市場に関する情報の提供、V C や海外ネットワークを有する国内企業との出会いの場の更なる提供、国研の施設・設備を活用した事業展開の支援や、アーリーアダプタとしての国・公的機関を中心とした量子技術の利用促進等を通じた、量子エコシステム構築を促進する。

(2) 世界から注目される我が国の技術開発の強力な推進

(課題)

- ✓ 我が国は、新型コロナウイルス感染症による影響もあり、国際会議への参加や国際共同研究数が近年相対的に低調であり、欧米を中心とした世界の量子コミュニティでのビジビリティが下がるおそれがある。
- ✓ 有志国との国際連携を進める上では、海外の動向等を正確に踏まえつつ、win-win な関係の下でこれを行うとともに、技術は圧倒的な物量でいずれキャッチアップされうるため、国際的に存在感のある量子技術を自国で継続的に確保し、優位性を確保することが重要である。
- ✓ 量子技術は経済安全保障と密接に関連する技術であり、現在海外から調達できる機器であっても、技術の高度化や産業化の進展に伴い、我が国からアクセスできなくなるおそれがある。

(対応の方向性)

- ✓ 国が率先して政府間の連携の枠組等を活用したグローバル展開の機会を創出・確保し、海外の産業界や大学・研究機関等のステークホルダーとの円滑なコミュニケーションを促進する。
- ✓ アカデミアは、世界の研究動向をキャッチアップするだけの技術競争に飲み込まれないよう、中長期的な視点を持ちつつ基礎基盤研究の振興に継続的に取り組む。また、これらの成果を戦略的に知財の獲得につなげるとともに、国際標準化活動を着実に推進する。
- ✓ 商用化で先行する海外製の量子コンピュータなど先端デバイスや周辺機器を柔軟に活用してユースケースの創出やノウハウの蓄積を進めるとともに、特にグローバルサプライチェーンで重要な技術については、他国に過度に依存することなく、我が国が自ら研究開発を推進し、その国産化を進める。

(3) 産学における量子人材の育成

(課題)

- ✓ 各国で量子技術の利活用に向けた市場が立ち上がりつつある中で、特に、量子技術を活用したサービスの展開や今後のサプライチェーン構築を担うグローバル人材が不足しているとの指摘がある。このような人材育成には時間がかかるため、早急に着手すべきである。
- ✓ 我が国が中長期的に世界のトップ研究者コミュニティにおいて存在感を發揮し続けるため、研究者が早い段階から世界のトップ研究者コミュニティを経験し、将来的に国際学会等での活躍の機会を得ることで、ビジビリティの向上を図ることも必要である。

(対応の方向性)

- ✓ 大学・研究機関と産業界とが一体となって、小中高から高専・大学の段階まで、若年層が量子技術に触れ、学ぶことのできる機会の充実を図る。
- ✓ 博士課程学生や若手研究者が早い段階から世界のトップ研究者コミュニティを経験できるよう、海外派遣の機会の拡大や、海外人材を惹き付ける環境の整備を進める。また、我が国の研究者が著名な国際学会等で議長職を務める等のトップ研究者コミュニティ活動への貢献の拡大を図る。

VI. 強化すべき具体的な取組

今般新たに追加した「Globalization」の視点の下、量子未来産業創出戦略で掲げた「量子コンピュータ」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子計測・センシング／量子マテリアル」「イノベーション基盤」に関する取組を引き続き強力に推進するとともに、「V. 新たな視点を踏まえた諸課題と対応の方向性」を踏まえて対応の強化が必要な取組を以下のとおりまとめる。

(1) グローバル市場への展開強化に向けた取組

<海外の研究・技術動向の把握・展開>

- ✓ 海外の研究・技術動向を踏まえて、我が国が「勝ち筋」を見極め、協調領域・競争領域を設定するため、アカデミアと産業界が連携して、研究・技術動向及び産業ニーズの情報交換を積極的に行う。あわせて、将来の技術動向によらず共通的に必要となるプラットフォーム技術を抽出する。
- ✓ その際、有益となる諸外国の動向（具体的には法制度や規制、量子技術に関する政府戦略、予算及び研究開発・実用化の動向等）は、隨時更新される性格のものであるため、国を中心に、既存の情報提供機能と連携し、タイムリーな情報発信を行う。
- ✓ あわせて、この数年で新たに立ち上がった、量子技術に関する多国間対話や MOC、MOU、日米韓の科学技術イノベーション協力枠組、日 EU デジタルパートナーシップといった有志国との枠組の積極的な活用を行うとともに、ASEAN とも連携を進めていく。

<自国技術の育成・確保>

- ✓ 次世代の量子技術を担う基礎基盤的な研究を強化することにより、世界から注目される優れた技術を創出し、我が国の世界の研究コミュニティでの存在感につなげる。
- ✓ また、現時点で我が国の企業や研究機関が有する量子コンピュータ等の量子技術の実用化に不可欠な部素材やデバイス等に関する技術の更なる高度化により、グローバルサプライチェーン上における我が国のイニシアチブを拡大し、量子コンピュータ等が実用化された際の choke point を押さえられるように戦略的に開発を進めることが重要である。
- ✓ このため、大規模化・産業化に必要な技術仕様の明確化や技術ロードマップの策定等によって産業界からの幅広い参入を促進するとともに、極低温環境等の特殊評価環境や大規模量子デバイス等の開発・試作を行う環境を整備し、サプライヤやベンダに提供する。
- ✓ 加えて、核スピン等の量子系の能動的な制御により、量子コンピュータや量子セキュリティ・ネットワーク、量子計測・センシング／量子マテリア

ル等の各領域の技術開発の進展と裾野を拡大が期待できることから、広い意味での核物理、光・レーザ、情報学、数学等の幅広い分野の研究コミュニティとも連携し、量子科学技術の基礎学理を根源から探求する大学・研究機関等の研究体制を抜本的に強化する (Fundamental Quantum Science 構想)。

(2) 我が国の技術開発の推進に向けた取組

○量子コンピュータ（ソフトウェア・ハードウェア）

<ユーザが利用しやすいテストベッド整備>

- ✓ 量子コンピュータの実機を利用した経験のある企業は依然として多くないことから、ユーザ視点でテストベッドの整備を加速し、安定的に維持管理することが必要である。
- ✓ このため、理研において、国産実機（超伝導方式の量子コンピュータ）をテストベッドとして、ソフトウェアからハードウェアまでの基盤技術や量子・古典ハイブリッド計算環境のためのシステムソフトウェアを開発・高度化するとともに、次世代技術をはじめ産学による基礎的な段階の研究開発を行う等、その利活用をさらに促進する。
- ✓ さらに、産総研において、大規模 GPU コンピュータや量子コンピュータの導入と、それらの実機や量子シミュレータ、国内外を含む様々なクラウドサービス等を活用した産業ユースケース創出を目指した量子・古典コンピュータのハイブリッド計算環境テストベッド（量子インスパイアード技術等含む）の構築と海外機関を含めて利用しやすい体制の構築を進め、国際連携等におけるハブ機能を強化する。
- ✓ その際、ユースケース毎に各企業や利用者が計算環境を分散して構築するのではなく、構築したテストベッドやハブ機能を最大限に活用し、利用マニュアルの整備やノウハウの蓄積を進めながら、様々な分野において産業化に即したユースケースの早期創出を目指す。

<グローバルサプライチェーンの構築を見据えた取組>

- ✓ 産総研において、グローバルサプライチェーンの構築を見据えた、量子技術による技術的優位性やビジネス性等の初期検証を行う機会を増強する。
- ✓ このため、量子コンピュータ開発の最新動向を踏まえ、様々な方式に関して、量子コンピュータベンダとの連携を想定しつつ、量子コンピュータの産業化に必要となる量子チップ等や低温制御回路等の大規模化・集積化に重点的に取り組む。それに向け、産総研に試作設備、極低温環境等の次世代の部素材・電子機器等の評価環境テストベッドを整備するとともに既存設備の強化を進める。
- ✓ これらの取組により、国内外の量子コンピュータベンダや部素材の量子技

術の進展を踏まえた新たな技術や装置の取り込みを行い、サプライヤの育成、国際標準化活動といった企業の活動を支援する環境づくりを進めていく。

<キラーユースケースの特定>

- ✓ 量子コンピュータの利活用を進めるため、現在の古典コンピュータの計算能力では対応が難しい課題や、社会的価値の高い課題等、量子コンピュータが決定的な役割を果たすユースケースをユーザ企業の経営者や投資家に示すことが重要である。
- ✓ このため、量子コンピュータにより獲得可能となる新たな計算能力の特長を捉え、引き続きユースケースの探索を行うとともに、量子コンピュータが決定的な役割を果たす優先的に取り組むべきユースケース（いわゆる「キラーユースケース」）を特定し、キラーアプリケーションの開発につなげていくことを検討する。この際、可能な限り高性能の計算環境を使用しつつ、実用できる量子コンピュータが開発された際に早急に対応できるようノウハウを蓄積することが重要である。
- ✓ 具体的な例として、創薬分子探索、RNA シーケンス解析、機能性材料探索、高効率な触媒開発、量子自然言語処理、量子 A I、地震・防災等の課題が考えられる。このように量子技術とバイオ、マテリアル、情報、自然・環境、製造、金融、物流・交通・ネットワークなど幅広い他分野・技術との連携により、社会課題解決を含むユースケースの創出と、そのための取組みに引き続き邁進することが重要である。

<エッジコンピューティングへのシフトに対する対応>

- ✓ IoT 時代の到来に伴い、世の中に流通するデータ量が爆発的に増大し、2025 年には 2010 年との比較で約 180 倍（約 180 ゼタバイト）に達するとの予測がある中、古典コンピュータでこれらのデータ処理を担う半導体の微細加工技術の進展とそれによる消費電力の増大への対応が限界を迎えつつある。
- ✓ このようにデータ中心・エッジコンピューティングへのシフトが想定される中、量子コンピュータにより効果的・効率的な計算が行えるソフトウェアの開発と、これをユーザが意識せずに使えるミドルウェアの開発が望まれている。
- ✓ このため、大阪大学において、量子コンピュータと古典コンピュータとを統合的に制御するクラウド環境の構築や、量子ソフトウェアによって使い方が定義できるプラットフォーム実現に向けた汎用量子ミドルウェアの開発等、ソフトウェアからミドルウェア・ハードウェアまでを視野に入れた研究開発と、量子 A I の基礎研究・応用研究とを、引き続き体系的に実施

する。

＜国際標準化活動への参画＞

- ✓ 国際標準化機構（ISO）／国際電気標準会議（IEC）による量子技術の合同技術委員会（JTC3）が設置される等、世界的に量子技術の国際標準化の動きが加速しており、我が国として国際標準化の方向性に影響を与える立場を確保し、我が国が先行する技術／定義・コンセプト／ベンチマーク・ユースケース等を委員会に積極的に提案していく必要がある。
- ✓ このため、Q-STAR や産総研等の関係団体や機関との連携の下、産業界を中心となった国内審議団体の設置、JTC3 等での役職ポストの獲得に向けた取組と標準化活動への専門家の派遣を実施する。

＜アニーリング型量子コンピュータ及び量子インスペイヤード技術による社会実装と知見蓄積＞

- ✓ 量子技術の産業化の観点から、量子インスペイヤード等直ぐに活用できる技術によって産業化を加速することは、量子技術を産業化するうえで、技術面のみならず、ビジネスや市場の需要可能性等の観点で、ゲート方式の量子コンピュータの開発や本格利用の時代に向けて、いち早く課題を抽出することができ、産業化の道筋の明確化にもつながる。
- ✓ このため、アニーリング及び量子インスペイヤード技術を用いた組合せ最適化問題への応用について、官民一体となり、国内外のユーザを含めた実利用ベースでの課題抽出と産業化、海外市場への展開を支援する。

＜国家プロジェクトの柔軟な目標・ポートフォリオの見直し＞

- ✓ 量子コンピュータについては、超伝導方式をはじめ一部の方式で商用化が先行しているが、現時点で誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現に向けた「勝ち筋」となる方式は明らかになっていない。
- ✓ こうした中で、我が国では、現行あるいは将来の技術方式を俯瞰し、超伝導・イオントラップ、光、シリコン、原子等の様々な方式について、国家プロジェクトを中心に戦略的にコア技術の開発を進めてきたが、既に事業開始から数年～5年を経過している。
- ✓ このため、ステージゲート等の評価のタイミングで、各課題の研究進捗や世界の開発動向を踏まえ、各方式の達成目標やポートフォリオが妥当か柔軟に見直していく。

○量子セキュリティ・ネットワーク

<社会実装に向けた取組強化>

- ✓ 量子コンピュータに関する国際的な開発競争が激化する中、サイバー空間の安全確保のため、量子コンピュータでも解読されない暗号技術の導入が喫緊の課題となっている。
- ✓ 早期実用化が期待されている量子暗号通信技術については、更なる低コスト化（暗号鍵とデータ伝送を一体化する波長多重技術、伝送距離の長距離化や汎用的な部品で構成可能な QKD 技術の確立等）や小型化を実現する技術、衛星に搭載可能な QKD 装置等の研究開発を重点的に推進するとともに、通信事業者やクラウド事業者等と連携した上で、研究開発の成果を反映したアジャイルベースの実証実験を実施し、サービスの具体的な絵姿、ビジネスモデル等の検討を進め、2030 年度までに量子暗号通信の社会実装を実現する。
- ✓ また、2024 年 3 月に拡張整備が完了する量子暗号テストベッドについて、政府系・金融系ユーザと連携しながら徹底的な利活用を行い、社会実装に向けた課題の明確化やアーリーアダプタへの利用促進等を進める。

<量子インターネットの要素技術開発>

- ✓ 量子インターネットの実現に不可欠となる量子中継については、大学・研究機関等を中心に、ダイヤモンド、希土類イオン、イオントラップ等様々な材料を用いた量子メモリ中継技術の研究開発が行われている。我が国における量子中継技術等を世界トップレベルに引き上げるため、量子インターネットに関する基礎技術の研究開発を着実に推進する。

<国際標準化の推進>

- ✓ 我が国では、量子暗号通信等について、デジユール標準を策定する国際通信連合（ITU）等における国際標準化活動を積極的に推進してきたが、前述のとおり ISO/IEC における国際標準化活動が加速する動きもあり、様々な標準化機関における活動を注視することが必要である。
- ✓ また、量子暗号通信については、単一光子を用いた BB84 プロトコルに基づく QKD 装置が広く普及しているが、長距離化を可能とするため、ファイバの中間点で光子検出を行う Twin Field-QKD (TF-QKD) や、光の位相や強度で検出を行う CV-QKD 等の国際標準化活動も活発に行われている。我が国もこれらの技術の研究開発を推進するとともに、国際標準化活動も推進する。

<QKD 装置に関する国際認証制度の実現>

- ✓ QKD 装置の信頼性を高めるための国際認証制度について、関係者が集まる

フォーラム活動等を通じて、ユーザ企業やベンダ、研究機関、認証機関等の関係者間で議論を進め、QKD 装置の認証に必要となる評価基準や評価方法等の策定に向けた作業を進める。

○量子計測・センシング／量子マテリアル

＜量子計測・センシングの関連ユーザ企業等との連携の強化＞

- ✓ 量子計測・センシング技術を早期に実用化するためには、量子技術の技術成立性のみならず、古典技術を用いる周辺機器の実環境も想定したテストベッドの設計・構築を行うことが有効である。
- ✓ 構築したテストベッドについては、必要なランニングコストも見据え、利用機会を安定的に提供することが重要である。
- ✓ 量子技術デバイスの原理実証までの段階では、メーカー企業とアカデミアとの連携の下で技術開発してきており、プロトタイプ作製段階にあっては、ユーザ企業も巻き込みながら、社会実装を進める必要がある。
- ✓ このため、主要拠点である量子技術基盤拠点（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構。以下「量研機構」という。）や産総研が連携してテストベッド利用の窓口を整備し、メーカー企業、ユーザ企業、アカデミアの3者が材料選定から加工、評価まで中長期的にアクセスできる環境づくりを推進する。
- ✓ また、光量子などの量子計測・センシング技術の多様なシーズの実用化を推進するため、コンソーシアムの形成などのアカデミアと産業界をつなぐ取組を加速する体制を整備していく。
- ✓ さらに、今後、産業化のみならず安全保障の観点からのニーズも高まると考えられることから、現在我が国が強みを有する技術（ダイヤモンドN Vセンタ）の実用化の加速、量子ジャイロといった次世代の技術シーズの探索や大学・研究機関間の更なる連携強化を検討する。

＜量子計測・センシング技術の国際標準化等の推進＞

- ✓ 量子センサ等の社会実装に向けて技術の国際標準化を推進するとともに、特に医療応用を目指す技術については、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）による研究開発支援の利用や、規制・倫理・社会受容等の課題に対処するための法制度やガイドラインの整備についても検討を進めていく。
- ✓ また、生物によるエネルギー変換や磁気受容の反応は、量子的な効果を巧みに用いて、超高速かつ効率的なエネルギー輸送や極微弱な地磁気センシングによる量子コンパスを実現していると考えられており、こうした量子技術とバイオ分野を融合した新たな技術の探索にも取り組む。

<量子マテリアルの研究開発・供給基盤の強化>

- ✓ 量子マテリアルは、電子やスピンの量子状態の制御によって優れた機能を発揮することができ、量子コンピュータや量子センシング、量子暗号通信等の様々なデバイス・部素材の開発に不可欠であり、我が国企業が現状大きなシェアを有するものが存在する。
- ✓ また、次世代機用の部素材開発においても、量子マテリアルの安定的な製造技術の確立やその供給体制の構築とともに、シリコンでは実現が難しい新奇物性を有する半導体材料の開拓を期待する声もある。
- ✓ このため、量子マテリアルとして期待されているダイヤモンドをはじめとする量子マテリアルの高品質化や大型結晶の作製技術の確立等量子デバイスの性能向上やその供給体制の強化を進めるともに、トポロジカル材料や二次元材料等、新奇物性を有する量子マテリアルの開拓を推進する。

(3) 人材育成に関する取組

- ✓ 量子産業の創出に向け、人材の需要は一貫して増加傾向にあり、また、人材の育成には時間がかかるため、早急に取り組むべき課題である。
- ✓ このため、世界トップレベルの研究人材や量子技術の産業化等に必要な専門人材の育成への支援に取り組む。

<海外派遣・サマースクール等の機会の充実>

- ✓ 博士後期課程学生や産学の若手研究者にグローバルな研鑽・武者修行の機会を提供するため、海外派遣の充実、海外研究者の招聘等を行うとともに、学生等の国際学会や海外サマースクールへの参加支援の拡大を進め、量子コミュニティでのビジビリティ向上や国際的な連携につなげる。
- ✓ また、量子コンピュータ、量子通信・ネットワーク、量子計測・センシング／量子マテリアルといった各領域の枠を超えて、量子技術を学ぶ全ての博士課程学生や産学の若手研究者が参加できるサマースクールを国家プロジェクトの支援により量子技術イノベーション拠点が開催し、これを持続的に実施する。

<量子人材の育成体制の強化>

- ✓ 研究動向の変化が激しい量子の世界にあって、アカデミアから有為な人材を得るべく、まずは研究室の数や教員・学生数、論文数等に関する定量的データから分析・検証する。
- ✓ また、将来の量子産業を担う人材の育成・確保においては、大学等における量子技術に関する講座・専攻等の果たす役割が大きく、海外の国際的に卓越した大学では量子技術を学ぶコースの設置が進んでいる。また、AI等量子以外の先端技術分野から量子分野に人材を呼び込むことも考えられ

る。

- ✓ これらを踏まえ、特に量子技術イノベーション拠点に指定された大学を中心として、将来の社会や産業の構造を見据え量子技術に関する講座・専攻を新たに設置するなど大学院教育等を変革し、量子人材の育成に取り組む。

<“Fundamental Quantum Science 構想”の推進>

- ✓ 量子科学技術を幅広く応用するためには、新たな量子デバイスの構成要素として有望とされる核スピンのコヒーレンスの起源や、外部環境との相関を考慮に入れた量子開放系の挙動等、未解明な学理に対する理解を深め、量子系の能動的制御を可能にすることが必要であり、広い意味での核物理、光・レーザ、情報学、数学等の科学の理解が極めて重要となる。大学等の学科・専攻で、このような学問を探求し、卓越した研究成果を創出できる優秀な人材の育成が必要である。
- ✓ このため、量子系の能動的な制御に向けた量子科学技術の基礎学理を探求する大学・研究機関等の研究体制を抜本的に強化し (Fundamental Quantum Science 構想)、国内外の優秀な若手研究者を惹き付け、卓越した研究成果を創出できる優秀な人材の育成を進める。

<小中高生から高専生、大学生までの若年層への取組強化>

- ✓ 量子産業の創出を見据え、研究者・技術者の人材育成を行うため、量子技術イノベーション拠点は、Q-STAR 等の協力の下、高専生や大学生をターゲットとした標準カリキュラムや、異なる国家プロジェクトに参画する学生や企業同士が交流できる場を検討する。
- ✓ また、量子コンピュータによる実課題の解決を担う量子データサイエンティストの育成に向けた教育プログラムの開発や、量子技術を元とした社会課題解決等において自らのアイデアや研究開発成果等を競いあうコンテスト等の検討などに取り組む。
- ✓ さらに、産業界は、高専生や大学生等の採用マッチングイベントを積極的に実施するとともに、量子技術イノベーション拠点はポータルサイトや各種イベント等を通じてこれらの広報活動に協力する。
- ✓ 加えて、次世代を担う小中高生の段階から量子に慣れ親しむ環境づくり、量子についての考え方を身につける継続性のある教育システム／プログラムの構築とそれらを活用した学びや成果発表の場を提供する取組の充実・強化を図る。

<産学や国内外をつなぐ取組強化>

- ✓ 現時点では量子分野の産業価値は必ずしも明確には見えておらず、産業界からの投資は限定的となっている。他方、各企業において量子に関心があ

る個人は増えつつあり、こうした個人への適切な情報提供や仲間づくりを支援することにより、量子技術が今後広く普及する可能性がある。

- ✓ このため、従来から実施してきた Q-STAR や量子技術イノベーション拠点が実施する交流の場やシンポジウムの実施に加え、企業内の研究者個人の参加を念頭に置いたワークショップや研修、コンテスト等の取組を強化し、新たな量子人材の掘り起こしとともに各企業の新たなネットワーク構築やユースケース創出につなげていく。
- ✓ また、量子技術のシステムインテグレーション全体を俯瞰する人材が不足しているため、産業界のみならずアカデミアにおいても人材育成に取り組む。この際、IT／デジタル分野の人材の活用や、独立行政法人情報処理推進機構（IPA）のITスキル標準を参考にした、いわゆる「量子スキル標準」の策定も検討する。あわせて、システムインテグレーション関連の業務を担う人材を適切に評価する仕組みを検討する。
- ✓ このほか、国内の量子技術ユーザ 1,000 万人の実現に向け、量子技術への理解増進を図るべく、量子技術の産業インパクト等の情報提供を行う。あわせて、スタートアップ／ベンチャー企業を志向する経営者の育成や海外との人的ネットワーク強化に資するエバンジェリストの発掘を行う。
- ✓ 二国間・多国間協定の枠組み等に基づき、有志国との人材交流や人材登用・定着の推進を図るとともに、グローバルサウスとの産業連携も視野に入れた人材交流を行う。

（4）イノベーション基盤の強化に関する取組

○スタートアップ／ベンチャー企業・新事業の創出・規模拡大

＜海外展開やグローバルビジネスの推進＞

- ✓ スタートアップ／ベンチャー企業・新事業が海外展開やグローバルビジネスを狙うことは、欧米等有志国を中心とした国際的な市場環境での円滑な資金調達や将来の顧客獲得等につながるものであり、有益である。
- ✓ このため、量子技術に関する日本の施策や戦略について海外に向けて情報発信するなど、民間企業の海外進出を後押し、産業界における競争領域・協調領域（オープン領域・クローズ領域）の検討に資するべく、前述のとおり各国の量子技術に関するタイムリーな情報発信を行う。
- ✓ さらに、官民一体となって、海外展開を前提としたサービス実証への参加促進、有志国を中心としたグローバルサプライチェーンの構築、現地企業・グローバルプレーヤーとの協業やM & A、量子技術と既に世界で我が国がリードする技術・製品とを組み合わせたパッケージでの売り込みや、海外の多くの参加者が見込まれる国・地方自治体のイベントでの見本市の開催等を支援する。
- ✓ なお、海外企業との連携や海外市場に進出する際、国の支援に基づき実施

された研究の成果を活用する場合には、技術流出対策等関係法令順守のほか、成果を国民・社会に還元する観点から、研究成果や知財の管理を適切に実施していくことが必要である。

<国研を活用したスタートアップ／ベンチャー企業等の支援>

- ✓ 将来の量子分野の技術の見通しが立てづらい中で、資本力に乏しいスタートアップ／ベンチャー企業等にとって、例えば超伝導方式の量子コンピュータのハードウェアや部素材の開発・評価に不可欠な希釈冷凍機等の巨額の設備を全て自前で揃え、維持・管理することは非常にハードルが高い。
- ✓ こうした結果として、我が国の量子コンピュータや量子デバイス等のハードウェアを開発するスタートアップ／ベンチャー企業等の数は、ソフトウェアに比べ非常に限られている。他方、海外ではアカデミアで開発した技術をもとにスタートアップ／ベンチャー企業等が量子コンピュータ開発を主導するケースも少なくない。
- ✓ このため、量子スタートアップ／ベンチャー企業等の創業や新事業の立ち上げを促進する観点から、各国研の現況⁸を踏まえて、国研の保有する施設や設備を利用した事業者による製品開発や生産、サービスの提供等を可能にする制度の創設や、利用可能な施設の拡充等を検討する。
- ✓ また、我が国では、大学に比べ国研のスタートアップ／ベンチャー企業の数はさらに限られるため、同様に各国研の制度の現況⁹を踏まえて、例えば有償の副業が認められていない国研の研究者にはインセンティブを付与する等、国研の研究成果を活用したスタートアップ／ベンチャー企業の創出や技術移転等を後押しする仕組みを検討する。

<アーリーアダプタとしての量子技術利用>

- ✓ 量子分野のスタートアップ／ベンチャー企業等の有望な技術や研究成果により、新たな市場を創出することを目的として、国等が資金を拠出するばかりでなく、スタートアップ／ベンチャー企業等の最初の買い手（アーリーアダプタ）となることも重要である。
- ✓ 我が国においても、量子コンピュータや量子暗号通信については商用化が視野に入りつつあり、産業化・エコシステム構築の取組を加速する時期にある。

⁸ 産総研では、「国立研究開発法人産業技術総合研究所研究施設等の事業者の新事業目的利用に関する規程」に基づき、鉱工業の科学技術に関する研究開発又はその成果を活用するものに限って、事業者の新たな商品開発や生産、新たな役務の開発や提供等の利用のために、保有する一部の研究施設・設備の貸出しを有償で行っている（2024年2月現在）。

⁹ 産総研では、「国立研究開発法人産業技術総合研究所兼業等規程」に基づき、兼業先および副業先からの年間報酬額に関して、当該職員の年収額の概ね半額以内であれば、基本的に受け取ることができる（2024年2月現在）。

- ✓ このため、国内企業が開発した量子コンピュータの商用機のリリースに際しては、公的機関や自治体等がいち早く調達するとともに、ユーザ企業への導入を促すことにより、初期需要の喚起や事業の拡大を支援する。
- ✓ 量子暗号通信については、NICT が整備したテストベッドの活用を通じて、社会実装に向けた課題の明確化やユースケースの確立を進め、アーリーアダプタとして想定される政府系ユーザによる導入検討を進める。

○ A I 戦略、半導体戦略等の戦略分野との連携

< A I 戦略、半導体戦略等との連携 >

- ✓ 我が国が国際社会において中長期的に確固たる地位を確保し続ける上では、量子技術のみならず、A I、半導体、バイオ、マテリアル、情報通信等の先端的な重要技術を俯瞰した視点が必要である。
- ✓ また、「自由な開かれたインド太平洋（FOIP）」などの政府方針に則り、より大きな社会課題の解決に向けた取組において、量子技術が価値を創出するよう検討していくことも重要である。
- ✓ このため、量子技術イノベーション施策と「A I に関する暫定的な論点整理」（2023 年 5 月 A I 戦略会議）や「半導体・デジタル産業戦略」（2021 年 6 月、2023 年 6 月一部改正、経済産業省）、「バイオ戦略フォローアップ」（2021 年 6 月統合イノベーション戦略推進会議）、「マテリアル革新力強化戦略」（2021 年 4 月統合イノベーション戦略推進会議）、「Beyond 5G に向けた情報通信技術戦略の在り方 一強韌で活力ある 2030 年代の社会を目指して－ 中間答申」（2022 年 6 月情報通信審議会）等と連携し、我が国にとって不可欠な技術の育成・確保や産業創出を進めていく。

○ 量子技術イノベーション拠点の連携・体制の強化

< 量子技術イノベーション拠点の連携強化 >

- ✓ 量子技術イノベーション拠点として、11 の大学・研究機関が指定されており、理研をヘッドクオーター（中核拠点）として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きた。
- ✓ 今後、産業支援や量子人材育成、国際連携、知財管理等の共通的な役割について、ヘッドクオーターのリーダーシップの下で国研と大学で分担する等、拠点間の連携体制を強化する。
- ✓ また、各拠点のマネジメント層と異なり、現場の研究者・技術者は各拠点間の連携が必ずしも十分でないとの声もある。このため、例えば、複数の量子拠点合同でのワークショップの開催や、拠点間で連携した研究課題を支援する等、国研・大学の枠を超えた研究者の交流を促す。

< 個別拠点の強化 >

- ✓ 量子技術の急速な進展を背景とした各国の量子戦略の策定や有志国間の国際連携の動き、量子技術の利活用状況、経済安全保障環境の変化等を踏まえ、産学の海外進出や国際共同研究、世界から注目される優れた技術の創出を強力に支援するため、量子技術イノベーション拠点を強化する。

「量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル拠点」（産総研）（強化）

- ✓ 当該拠点に構築する大規模 GPU コンピュータ (ABCI-Q) と量子コンピュータ（実機、量子シミュレータ、クラウドサービス利用等）とのハイブリッド計算環境、大規模量子コンピュータの実現を目指した量子ビット回路、低温環境で動作可能な制御回路や部素材・電子機器等の周辺機器の高度化開発・試作・評価環境の整備と強化及び海外機関や民間含めた利用しやすい体制の構築等を進めていく。
- ✓ ユースケースの創出においては、これまで構築してきた材料開発拠点（マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォーム）やバイオ拠点等との所内連携及び産業界等との連携等から得られた他分野の知見を幅広く活用する。
- ✓ 超伝導方式のみならず様々な方式の量子コンピュータの開発動向等を踏まえ、次世代量子コンピュータ向けの部素材の開発、システム設計や評価などの技術開発やこれら研究開発の支援環境整備を行い、サプライヤ等の支援や国際標準化のけん引を行っていく。そして、経済安全保障上、益々重要度が増しているグローバルサプライチェーンを有志国のサプライヤ、ベンダと共同して構築するとともに、産業利用可能な次世代機の実現に向けて取り組み、開発品にいち早く国内ユーザがアクセスして価値あるユースケースを創出するハードウェアとソリューション開発の一体的な取組を推進し、それらのシナジーによる社会実装の早期実現を目指す。
- ✓ 拠点の運営に関しては、国際的で多角的な視点からの助言・提言や支援のための海外の量子関連産業団体の代表や有識者から成る国際アドバイザリーボードを設置し、国際的プレゼンスを高めるための戦略策定をアジア圏に改定・更新していく。
- ✓ これらの世界に類のない研究開発環境の整備・構築等を推進するために必要な国内外の優秀な研究人材やビジネス人材の招聘を加速するとともに、若手人材等の海外有力機関等との人事交流や派遣等を通じて人材育成も行っていく。
- ✓ これら取組により社会課題解決・新市場創出、その利益による次の市場開拓というグローバルビジネスエコシステムの構築を目指していく。

「量子コンピュテーション開拓拠点」（理研）（強化）

- ✓ 国産量子コンピュータの実機を活用し、学理に基づく高度な素子構造及び

量子状態制御等のコア技術の開発により、一層の性能向上・利活用促進を進めるとともに、100 量子ビット超の次世代量子コンピュータの開発の加速や「富岳」等の HPC と連携した量子・古典ハイブリッド計算環境の構築に取り組む。

- ✓ また、拡張性の高い先鋭的な量子コンピュータの開発を目指し、超伝導、光、冷却原子等の複数の方式の量子系を接続するための学理研究を推進する。
- ✓ 量子技術イノベーション拠点を代表するヘッドクオーターとして、同拠点に指定された各大学及び国研を糾合しつつ、人材育成を継続的に行う仕組みを整備する。

「量子セキュリティ拠点」(NICT) (強化)

- ✓ 量子暗号通信技術に関する研究開発の中核機関として、量子暗号通信の早期社会実装や量子インターネットの早期実現に向けて、産学官連携による研究開発を推進する。
- ✓ 特に、2024 年 3 月に拡張整備が完了する量子暗号テストベッドについて、政府系・金融系ユーザと連携しながら徹底的な利活用を行い、社会実装に向けた課題の明確化やアーリーアダプタへの利用促進等を進める。
- ✓ ITU 等における国際標準化活動を引き続き推進するとともに、QKD 装置の国際認証制度の創設に向けた検討に積極的に貢献する。
- ✓ また、量子ネイティブ人材の育成を推進するため、高専生、大学生、大学院生等の量子 ICT に強い関心を有する者を対象に、量子 ICT の専門家による講義等を実施する「NQC (NICT Quantum Camp)」や、量子分野の活動実績を有する若手が量子 ICT 分野の先端的な研究に挑戦できる「若手チャレンジラボ」等の充実を図る。

「量子技術基盤拠点・量子生命拠点」(量研機構) (強化)

- ✓ 量子センサのエネルギー制御や医療・バイオをはじめとする幅広い分野での利活用を促進するため、量子ビーム技術による高品質な量子センサの開発・供給や量子センサのテストベッドの利用環境の充実・強化を図るとともに、生物のエネルギー変換や磁気受容の量子による理解と応用を目指した研究を推進する。
- ✓ また、宇宙や海洋等の極限環境でも利用可能な量子センサの開発等、我が国の経済安全保障にも資する新たなシーズ研究を展開するとともに、それらを実施するセキュアな研究環境やシステムを構築し大学や企業の参画を推進する。

VII. おわりに

本方策は、世界中にて日進月歩で開発競争が激化する量子技術分野において、我が国が優位性を確保して、量子産業の創出と発展のために更なる対応の強化や追加をすべき内容を、量子技術イノベーション会議において取りまとめたものである。

特に国際連携の拡大や企業の海外進出の支援、このために不可欠な世界から注目される我が国の技術開発力の更なる強化とそれを支える人材育成を主な対象とした。

国際連携に関しては、有志国との様々な枠組を活用しつつ、自国技術の育成・確保を進めていく。次世代の量子技術を担う基礎基盤的な研究の強化や、量子技術の実用化に不可欠な部素材やデバイス等の大規模化・産業化に必要な技術仕様の明確化やロードマップ策定により産業界の参入を促進していくことが必要である。

我が国の技術開発の推進に向けた取組に関しては、量子コンピュータ分野では、産業化に即したユースケース創出を見据えたハイブリッド利用計算環境等のユーザが利用しやすいテストベッドの整備、いわゆる「キラーアプリケーション」の開発、国際標準化活動への積極的な参画、量子インスピライド技術等の実利用ベースでの課題抽出や産業化、海外市場への展開の支援、世界の開発動向を踏まえた、国家プロジェクトの目標やポートフォリオの柔軟な見直し等が必要である。量子セキュリティ・ネットワーク分野では、量子暗号通信の早期社会実装に向けた実証試験を行い、2030年度までの社会実装を目指すとともに、量子インターネット等の実現に不可欠な量子中継技術等の研究開発を推進、国際標準化の推進、QKD装置の国際認証制度等の創設に必要となる評価基準や評価方法の取りまとめを推進すること等が必要である。量子計測・センシング／マテリアル分野では、実環境も想定したテストベッドの構築や利用窓口の整備等環境づくりの推進やダイヤモンド等の高品質化等に取り組むとともに、新奇物性を有する量子マテリアルの開拓を推進すること等が必要である。

人材育成に関しては、大学生のみならず高専生、社会人等を対象にした研究者・技術者・経営者・エバンジェリスト・量子技術の産業化に向けたシステムインテグレーション全体を俯瞰する人材等の幅広い人材育成を量子技術イノベーション拠点等の関係団体とも連携して進めるとともに、有志国との人材交流や登用等を加速する必要がある。

イノベーション基盤の強化に関しては、スタートアップ／ベンチャー企業等の創出・規模拡大のために、官民一体となっての海外展開を前提としたサービス実証への参加促進や、有志国を中心としたグローバルサプライチェーンの構築等を支援する必要がある。

他にも、量子技術イノベーション施策と、AI、半導体、バイオ、マテリアル、情報通信等の先端的な重要技術に関する戦略と連携し我が国にとって不可欠な技術育成・確保や産業創出を進める必要がある。

上記は、「量子未来産業創出戦略」で掲げられた量子技術の実用化・産業化に向けた3つの取組（Collaboration, Accessibility, Incubation）から、グローバル連携・展開に関する内容を抜き出し、これらに関係する取組を更に強化するために、「Globalization」という新たな視点を設定し、追加するものである。この視点の追加により、量子未来社会ビジョン記載の2030年目標の達成のみならず、世界における我が国のイニシアチブを確保した形で量子産業の創出と発展が加速することを期待する。

表：各国の戦略等（最近の主なもの）※日本、正式名称のあいうえお順、通称(正式名称)

国	策定時期	概要、特徴
日本	2023 年 4 月	<p>【概要】</p> <p>量子技術の実用化・産業化に向けた方針や実行計画を示した戦略</p> <p>【特徴】</p> <p>量子未来社会ビジョンで掲げられた目標（2030 年に目指すべき状況：国内の量子技術の利用者を 1,000 万人に、量子技術による生産額を 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）を実現してくため、产学研官の連携の下、量子技術の実用化・産業化に向けて目指すべき方針や、当面の間、重点的・優先的に取り組む具体的な取組を示している。</p>
米国 (アメリカ合衆国)	2023 年 11 月、12 月	<p>【概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> 量子情報科学における米国のリーダーシップを加速するため 2018 年 12 月に制定された「National Quantum Initiative Act」(NQI)が、2023 年 11 月に再承認（「National Quantum Initiative Reauthorization Act」）。 また、NQI で報告が義務付けられている事業と予算に関する年次報告書（「NATIONAL QUANTUM INITIATIVE SUPPLEMENT TO THE PRESIDENT'S FY 2024 BUDGET」）が 2023 年 12 月に発出。 <p>【特徴】</p> <p>量子関連予算については、2019 年度に 4 億 4,900 万米ドル（約 674 億円）、2020 年度に 6 億 7,200 万米ドル（約 1,080 億円）、2021 年度に 8 億 5,500 万米ドル（約 1,283 億円）、2022 年度に 10 億 3,100 万米ドル（約 1,547 億円）、2023 年度に 9 億 3,200 万米ドル（1,398 億円）、2024 年度に 9 億 6,800 万米ドル（約 1,452 億円）（要求予算）を報告。</p>
英国 (イギリス)	2023 年 3 月、12 月	<p>【概要】</p> <p>2023 年 3 月に 10 年後のビジョンを設定した国家量子戦略を、12 月に具体的な目標を示す 5 つの重要ミッションを発表。</p> <p>【特徴】</p> <p>（4 つの目標）</p> <ul style="list-style-type: none"> 英国を世界トップレベルの量子研究と技術を誇る国にする。 ビジネスを支援し、世界中から投資家と人材を引き寄せる。 量子技術の導入を促進する。

		<ul style="list-style-type: none"> 量子技術のイノベーションや倫理的な使用を支援する規制枠組みを確立する。 <p>(5つの重要ミッション)</p> <ul style="list-style-type: none"> 2024年から10年間、量子研究開発に25億英ポンド（約4,750億円）を投資。 2023年から量子技術への投資を増強。 実習スキームや量子研修プログラム等を実行し、人材育成を強化。 外国の量子関連企業の英国進出を支援。 政府に規制改革を提案するレギュラートリー・ホライゾンズ・カウンシルにより、量子技術規制の今後のニーズを把握するためのレビューを行う。
オーストラリア (オーストラリア連邦)	2023年5月	<p>【概要】 「2030年にオーストラリアが世界の量子産業におけるリーダーとして認識され、繁栄し、公正で、包摂的なオーストラリアにとって量子技術が不可欠な要素となっている」というビジョンを掲げた、同国初の量子戦略</p> <p>【特徴】 (目標) 2030年までに22億豪ドル（約2,134億円）の産業で8,700人の新規雇用を創出し、2045年までに60億豪ドル（約5,820億円）の産業で19,400人の雇用を創出</p> <p>(5つのテーマと行動)</p> <ul style="list-style-type: none"> 量子技術繁栄のための研究開発、投資、利用の創造 量子技術に不可欠なインフラや資材へのアクセス確保 量子技術に精通し、成長する人材育成 国益を支援するための基準と枠組みの確立 信頼性のある、倫理的で包括的な量子エコシステムの構築
カナダ	2023年1月	<p>【概要】 量子コンピュータと量子ソフトウェア、量子通信、量子センサに関する3つのミッションの達成に向け、研究、人材、商業化の3つの柱を立ててカナダの量子の優位性を強化。</p> <p>【特徴】 (3つのミッション)</p> <ul style="list-style-type: none"> カナダの産業界、政府、市民の利益となるように、世界のリーダーとして、量子コンピューティングのハードウェアとソフトウェアの継続的な開発、展開利用を行う。 量子通信とポスト量子暗号に関する国イニシアチブにより、カナダのプライバシーとサイバーセキュリティを確保す

		<p>る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カナダ政府と主要産業が、新しい量子センシング技術の開発者や早期導入者となることを可能とする。 <p>(3つの柱)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究：新しいソリューションと新しいイノベーションを実現するための基礎研究と応用研究を支援 ・人材：量子力学分野の発展に不可欠な人材をカナダ国内外から集め、育成 ・商業化：カナダと世界に利益をもたらす、スケーラブルで商業的な製品やサービスへの研究の紐付け <p>(予算)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・カナダを量子技術の世界的リーダーとしての地位を確立すべく、2021年から7年間、3億6,000万カナダドル（約396億円）を投資
韓国 (大韓民国)	2023年6月	<p>【概要】</p> <p>韓国初となる「韓国量子科学技術戦略」</p> <p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2035年まで民官協力で最低でも量子技術に3兆韓国ウォン（約330億円）以上を投資して、量子技術を米国や欧州の85%程度に引き上げるとの目標が盛り込まれた。 ・また、量子技術を先導するハイレベル人材(核心人力)を現在の7倍に相当する2,500人に増やし、量子関連仕事に従事する人数を1万人以上に増やすとした。 ・2035年までに、量子関連産業の世界市場占有率10%、量子技術を供給・活用する企業が1,200社程度になることを目指している。
デンマーク (デンマーク王国)	2023年6月、9月	<p>【概要】</p> <p>同国初となる量子技術戦略。「世界トップクラスの研究とイノベーション」と「商業化、安全保障および国際協力」の2部構成。</p> <p>【特徴】</p> <p>2023～2027年にかけて、割り当てられる予算は総額10億デンマーク・クローネ（約218億円）。</p> <p>主要分野は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究とイノベーションへの長期的かつ戦略的な投資 ・国益に資する研究とイノベーションに関する国際協力 ・デジタル研究基盤へのアクセス向上 ・量子技術の商業化

		<ul style="list-style-type: none"> ・量子技術開発基盤としての安全保障 ・量子関連利益の国際的推進
ドイツ (ドイツ 連邦共和国)	2023年4月	<p>【概要】 量子技術に関して、連邦政府の 2023~2026 年の取り組み方針と目標等をまとめた量子技術に関する基本構想</p> <p>【特徴】 3つの重点を置き、連邦政府は 2026 年までに約 21 億 8,000 万ユーロ（約 3,480 億円）を量子技術関連予算として確保、また、研究機関等に約 8 億 5,000 万ユーロ（約 1,360 億円）を確保する。 (3つの重点) ・産業、社会、国立研究機関での量子技術を活用する。 ・連邦政府は具体的目標を定めて量子技術の発展を促す。 ・量子技術活用・推進のためのエコシステムを構築する。</p>
フィンランド (フィン ランド共 和国)	2023年2月	<p>【概要】 フィンランドにおける研究・技術革新活動の状況や量子技術分野の更なる発展に向けた提言</p> <p>【特徴】 量子技術の可能性を実現するために以下の活動を推奨 ・協調的な研究・イノベーション助成プログラム ・研究・イノベーション基盤のための長期プログラムとロードマップ ・フィンランドの量子技術エコシステムの目標開発 ・教育提供の拡大 ・国内および国際協力の支援</p>

注) 2024 年 2 月 15 日時点のレートで日本円に換算

米ドル : 約 150 円、 英ポンド : 約 190 円

豪ドル : 約 97 円、 カナダドル : 約 110 円

ウォン : 約 0.11 円、 デンマーク・クローネ : 約 21.8 円

ユーロ : 約 160 円