

量子未来社会ビジョン

～量子技術により目指すべき未来社会ビジョンとその実現に向けた戦略～

令和4年4月22日

統合イノベーション戦略推進会議

目次

1. はじめに	1
2. 量子技術を取り巻く環境変化等	4
(1) 量子産業の国際競争の激化	4
(2) コロナ禍による DX の急速な進展	4
(3) カーボンニュートラル社会／SDGs 等への貢献	5
(4) 量子コンピュータを支える基盤技術の進展	5
(5) 量子技術の経済安全保障	6
3. 基本的考え方	7
(1) 量子技術を社会経済システム全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合により（ハイブリッド）、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決	7
(2) 最先端の量子技術の利活用促進（量子コンピュータ・通信等のテストベッド整備等）	7
(3) 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	8
4. 未来社会ビジョン（未来社会像）	9
(1) 量子技術により目指すべき未来社会ビジョン（未来社会像）	9
(2) 未来社会における量子技術によって創出される価値（量子技術活用イメージ）	10
(3) 未来社会ビジョンに向けた 2030 年に目指すべき状況	12
5. 今後の取組	14
I. 各技術領域の取組	14
(1) 量子コンピュータに関する取組	14
(2) 量子ソフトウェアに関する取組	17
(3) 量子セキュリティ・量子ネットワークに関する取組	19
(4) 量子計測・センシング／量子マテリアル等に関する取組	21
II. イノベーション創出のための基盤的取組	23
(1) スタートアップ企業の創出・活性化	23
(2) 量子技術イノベーション拠点の体制強化	25
(3) 人材の育成・確保	27
(4) 量子技術の知財化・標準化	29
(5) 国際連携／産学官連携	31
(6) アウトリーチ活動の推進	32
(7) 経済安全保障／ビジネス環境整備等	33
6. さいごに	35

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、量子技術の基礎研究から技術実証、オープンイノベーション、知的財産管理、人材育成等に至るまで産学官で一気通貫に取り組む拠点として、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、東京大学を拠点とする「量子イノベーションイニシアティブ協議会」（QII 協議会）において、同年7月に、海外の商用量子コンピュータの実機が国内に初めて導入された。

産業界では、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、組織的に量子技術の研究開発、産業化を推進するための新たな体制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。

＜量子技術イノベーション戦略の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、我が国は研究開発等の取組を着実に推進してきたが、同戦略の策定以降、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や事業化等の取組を加速する動きを見せている。また、量子コンピューティングと従来型（古典）計算システムが融合した技術やサービスも急速に発展している。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を抜本的に加速・強化するとともに、産学官が一体となって、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。

また、コロナ禍を契機として、社会経済全体のDXが急速に進展し、今後、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 に向けた動きがさらに進展していくことが見込まれる。これに伴い、データ量・通信量が爆発的に増大し、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。

さらに、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。量子技術は、将来のコンピューティング性能等の飛躍的な向上を実現し、これまでにない環境材料の開発による脱炭素化などカーボンニュートラル社会の実現に向けて大きく貢献していくことが期待される。

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など技術的な課題も多く、様々なブレークスルー技術が必要とされている。近年、AI を含めた計算機科学の革新や最先端のレ

ーザー技術を駆使した量子状態の精緻な制御技術の開拓など、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研究者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。

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。量子技術は経済安全保障上でも極めて重要な技術であり、技術的優位性を確保するための先端技術の獲得や、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。

<環境変化への対応>

令和2年1月の量子技術イノベーション戦略の策定以降、量子コンピュータの国際競争の激化とともに、コロナ禍によるDXの急速な進展、カーボンニュートラル社会の実現に向けた動きなど急激に変化する社会経済の環境に対する量子技術に期待される役割が増大している。

また、経済安全保障の重要性がますます高まる中、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、高度な技術の自国保有や人材育成が重要である。

このため、これまで以上に、量子技術の研究開発や社会実装、産業化等の取組を加速・強化し、国際競争力を確保するとともに、我が国の産業の成長機会の創出、社会課題の解決等に対応していくことは喫緊の課題と言える。

AIの急速な進歩と波及によって、データ活用的高度化と拡大が進む中、量子技術は、それをさらに加速する起爆剤となり、将来のコンピューティング性能の飛躍的な向上をもたらす。また、量子技術による従来よりも格段に高感度なセンシングや高セキュアな通信など、センシング・通信性能等についても飛躍的な向上が期待される。

このように将来のコンピューティング、センシング、通信性能等の飛躍的な向上を実現する量子技術は、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、交通、物流、工場、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社会実装、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。

また、量子技術は、AIや高度なシミュレーション等の計算機科学、5G/Beyond 5G等の情報通信技術、半導体、計測・センシング技術等において、従来型（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、Beyond 5G推進戦略、半導体戦略等とも連動しつつ、有志国との連携も念頭に置きつつ、産学官が一体となって、生産性革命など我が国の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の解決のために量子技術を活用し、社会全体のトランスフォーメーシ

ョンを実現していくための未来社会を見据えた新たな戦略として本ビジョンを策定する。

＜本ビジョンと量子技術イノベーション戦略との関係＞

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“量子技術の研究開発戦略”）に対して、本ビジョンは、我が国の産業の成長機会の創出や社会課題の解決のために量子技術を活用し、社会全体のトランスフォーメーションを実現していくため、量子技術により目指すべき未来社会ビジョンやその実現に向けた戦略、いわば“量子技術による社会変革に向けた戦略”として策定するものである。このため、本ビジョン（量子技術による社会変革に向けた戦略）と「量子技術イノベーション戦略」（量子技術の研究開発戦略）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」（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、本ビジョンに基づき、生産性革命など我が国の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の解決のために量子技術を活用し、未来社会を見据えて社会全体のトランスフォーメーションを実現していくための取組を推進する。

なお、本ビジョンは、量子技術により目指すべき未来社会ビジョン（未来社会像）やこれに向けた2030年に目指すべき状況を見据えて策定したものであるが、今後も量子技術を取り巻く環境は目まぐるしく変化していくことが見込まれることから、本ビジョンの見直し等も含めて今後の環境変化等に対する不断の対応を行う。

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 月の量子技術イノベーション戦略の策定以降、海外では Google 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や事業化等の取組を加速する動きを見せている¹。また、量子コンピューティングと従来型（古典）計算システムが融合した技術やサービスも急速に発展している。

また、海外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。さらに、ベンチャーキャピタルからの巨額な投資を背景とした大学発ベンチャー企業の上場、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で、我が国においても、量子コンピュータの研究開発を抜本的に加速・強化するとともに、また、量子産業（ハードウェア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（創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心等）の振興も視野に入れて、産学官が一体となって、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。このため、産学官の主体がより緊密に連携し、研究開発や社会実装、産業化等の取組の加速を進めるとともに、この基盤となる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・暗号分野についても、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激化している中、我が国においても、Beyond 5G 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、産学官が一体となって国際競争力強化に向けて取組を加速する必要がある。

(2) コロナ禍による DX の急速な進展

令和 2 年 1 月の量子技術イノベーション戦略の策定以降、コロナ禍を契機に、暮らし、医療、教育、娯楽、移動などの社会経済全体の活動において DX が急速に進展し、今後、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 に向けた動きがさらに進展していくことが見込まれる。

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、5G／

¹ Google（米）2029年に1,000論理量子ビット（2021年5月公表）、IonQ（米）は2028年に1,024論理量子ビット（2020年12月公表）。日本（ムーンショット型研究開発制度）（2020年1月公表）では、2030年に数十～100論理量子ビット（加速予定）。

Beyond 5G の情報通信システムや、IoT、エッジコンピューティング等の技術も発展することで、DX、Society5.0 に向けた動きが一層加速していくことが予想される。

このような DX、Society5.0 が進展する社会では、取り扱うデータ量やネットワーク上の通信量が爆発的に増大し、さらにはセキュリティ確保も求められる中、従来型（古典）技術システムのみでは対応が困難となるおそれがあることから、計算量・秘匿性に優れる量子コンピュータ／量子通信・暗号技術を活用していくことが不可欠となる。

（３）カーボンニュートラル社会／SDGs 等への貢献

深刻化する気候変動問題に対応して、世界各国でカーボンニュートラル／ビヨンド・ゼロ（ネガティブエミッション）など環境分野の取組も本格化している。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脱炭素化に向けて社会経済システム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）を実現するためには、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。さらに、我が国においては、少子高齢化社会やこれに伴う生産年齢人口減少など、持続可能な社会に向けて克服すべき社会課題も存在する。

量子技術は、将来のコンピューティング、センシング性能等の飛躍的な向上を実現し、これまでにない環境材料の開発による脱炭素化、病気の早期診断・治療による健康・長寿社会の実現、生産年齢人口が減少する中での生産性向上など、カーボンニュートラル社会の実現や 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）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、様々な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の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し、それを利用するためには、デコヒーレンスなど非平衡状態や開放系における量子系として、散逸現象や多体相互作用について、基礎的な理解を深める必要がある。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 を含めた計算機科学の革新、冷却原子系を用いた量子シミュレーション実験の進歩、さらには最先端のレーザー技術を駆使した量子状態の精緻な制御技術の開拓など、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発展を見せている。

将来の量子コンピュータの大規模化や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研究者を含む人材育成を強力的に推進していくことが重要である。

(5) 量子技術の経済安全保障

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、社会経済システムを支える基盤としての役割を果たし、経済安全保障上でも極めて重要となる技術で、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や、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、量子技術を社会経済システムに取り込み、我が国の産業の成長機会の創出や社会課題の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全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合により（ハイブリッド）、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決**
- **最先端の量子技術の利活用促進（量子コンピュータ・通信等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全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合により（ハイブリッド）、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決

量子技術は社会経済システム全体において利活用し、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心などの幅広い分野において、産業の成長機会の創出や社会課題の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社会実装、産業化等の取組を進める際には、様々な社会経済の分野と連携し、社会経済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、5G／Beyond 5G等の情報通信技術、計測・センシング技術、半導体等の従来型（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、従来型（古典）技術システムとも融合・一体化していくことで、生産性革命などの我が国の産業の成長機会の創出や、カーボンニュートラル社会の実現やSDGs等の社会課題の解決を実現する。

（2）最先端の量子技術の利活用促進（量子コンピュータ・通信等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、我が国の産業の成長機会の創出や社会課題の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産業／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²。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、国際競争に勝ち、我が国の成長を実現できる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た取組を強力に推進する。

また、新たな市場を開拓していくビジネス領域においては、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。さらには、既存企業からも新事業／新産業を創出し、例えば、スピンオフ・スピン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企業に投資することも見込まれる。

このため、産学官が一体となって、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産業／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。

² 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. 未来社会ビジョン（未来社会像）

産学官が一体となって量子技術の研究開発や社会実装、産業化等の取組を推進し、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、未来社会に向けたビジョン（未来社会像）を共有しながら取組を推進していくことが重要である。このため、量子技術により目指すべき未来社会ビジョン等を設定する。

（1）量子技術により目指すべき未来社会ビジョン（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も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、「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ことを目指す。

この際には、例えば、暗号解読など量子技術を不適切に利用した場合には社会に害悪をもたらすおそれもあることから、量子技術を社会で新たに活用するに当たり生じる制度面や倫理面、社会受容面等の課題に対応するため、技術の社会実装・発展段階に応じて、自然科学のみならず、人文・社会科学も含めた「総合知」を活用しながら取組を進める。

- 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型（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など我が国の産業の成長機会の創出等の経済成長を実現する。

（ii）人と環境の調和 Sustainability

量子コンピュータを活用した次世代環境材料の開発やエネルギーベストミックス等によるカーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーの実現など、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、高感度な量子センシング等を活用した次世代医療による健康・長寿、AI 等との融合など量子・古典のハイブリッドコンピューティングによる予測技術、量子センシング等による災害予測や避難誘導システムによるレジリエントな社会など、量子技術を活用して、人々の心豊かな暮らしを実現する。

(2) 未来社会における量子技術によって創出される価値（量子技術活用イメージ）

量子技術は、将来のコンピューティング、センシング、通信性能等の飛躍的な向上を実現し、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心などの多様な分野で活用して社会経済にとっての価値を創出できる。未来社会ビジョンの実現に向けて、想定される活用事例を以下に示す。なお、これらは現時点での活用事例であり、今後、ユースケースの発掘や技術の進展等によって、新たな事例が創出されていくことが期待される。

<創薬・医療>

創薬・製薬（従来よりも高機能で複雑な構造を有する新薬の開発・製造等）、テーラーメイド医療（患者個人の症状・体質等に対応したテーラーメイドの薬や治療法の提供等）、化学反応の最適化／触媒と酵素の設計（従来よりも高速で効率的な創薬・製薬プロセス等）、高精度な診断（認知症・心疾患の早期発見等）、高感度・小型 MRI（核スピンの向きを揃え、従来よりも飛躍的に超高感度かつ小型な MRI）、高セキュア通信・セキュアクラウド（医療記録や個人データ等の暗号通信や高いセキュリティのクラウド等）等

<材料>

新機能材料の開発（従来よりも高機能な機能材料（省エネ、リサイクル性能、軽量性、強靱性等）、希少資源の代替材料等）、化学反応の最適化／触媒と酵素の設計（脱炭素社会、サーキュラーエコノミーに貢献する効率的な化学プロセス等）等

<金融>

取引戦略（複雑な条件下での金融取引戦略の計画等）、市場予測（量子機械学習による顧客ニーズや市場予測、デリバティブ価格算出の高速化等）、ポートフォリオの最適化（保有する金融資産の最適化等）、リスク分析（モンテカルロシミュレーションの高速化による多様なリスク要因も含めた分析等）、不正検出（金融取引の正常／不正を識別するためのモデル構築等）、高セキュア通信・セキュアクラウド（融資や銀行取引に関する情報等）等

<エネルギー>

スマートグリッド（需要側と供給側の変動をリアルタイムで連結させて制御するスマートシステム、変動性の高い再生可能エネルギー等のリアルタイムの電力最適配分、エネルギーミックス等の組み合わせ探索等）、高性能な電池（新たな電池材料・化学反応による高効率・高機能な電池の開発等）、EV 省エネ化（EV 内の高精度な電流センシング・制御によるエネルギー当たりの走行距離の延伸等）、セキュアなインフラ情報管理（SCADA）等

<生活サービス>

高精度天気予報（より小規模な地域レベルでの高精度な予報等）、広告戦略（各顧客のプロファイル・ニーズに最適な広告枠の設定等）、消費者行動（最適商品リアルタイムリコメンド、環境行動のための政策の組み合わせ等）、ブレインマシンインタフェイス（BMI）（量子計測センシングを利用した非侵襲で高感度な脳磁の計測等）、セキュアビデオ会議（量子暗号通信を用いた秘匿性の高いビデオ会議等）等

<交通>

マルチモーダルシェア/MaaS（カーシェアリング・オンデマンド配車等の最適化等）、交通シミュレーション（複雑な条件を考慮したシミュレーション、渋滞緩和のための交通制御等）、自動運転（経路探索の最適化等）、EV の利便性向上（充電ステーションや駐車場の検索等）、航空機の運行ネットワーク計画（機体割り当て、乗務員スケジューリング、燃料、運航トラブル対応等）、航空機素材（軽量で強靱な新材料等）、風洞シミュレーション（省エネな機体設計等）等

<物流>

自動車・船舶・航空機・ドローン等の配送機体の配置・稼働計画（積載量・稼働率最大化、輸送コスト最小化等）、ルートの最適化（移動距離最小化、宅配数最大化、輸送コスト最小化等）、在庫管理（生産効率の最大化を図るための最適な在庫管理、複数の工場在庫の効率的な連動等）等

<工場>

スマートファクトリ（工場内の人員・ロボット・材料等の生産リソースの最適化等）、IC の製造と設計（複雑な回路パターンの組み合わせ等）、セキュアなインフラ情報管理（SCADA）、在庫管理（生産効率の最大化を図るための最適な在庫管理、複数の工場在庫の効率的な連動等）等

<安全・安心>

高セキュア通信・セキュアクラウド（あらゆる分野における秘匿性の高い通信、保護すべきデータの高セキュアな保存）、災害対策（災害時における避難経路の最適化、避難所の人員・物資等の配置計画等）、地震火山の災害予測（光格子時計による地殻内の観測等）、防衛分野での活用（指揮統

制の迅速化（同時多数攻撃への最適な対処手段の選択）、物資補給（効率的な物資の輸送）、UUVによる警戒監視（GPSを用いることなく監視を継続）等

（3）未来社会ビジョンに向けた 2030 年に目指すべき状況

産学官の関係者が研究開発や社会実装、産業化等の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、未来社会像に向けた 2030 年に目指すべき状況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等を含む）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、同様の比率を目指し、国内利用者 1,000 万人を想定する。

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的に推進する。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的に推進する。

（ii）量子技術による生産額を 50 兆円規模に

2030 年の人口（1 億 1913 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、生産額は 50 兆円規模を想定する。本数字は生産額ベースであることに留意すべきである。

なお、2030 年の国内付加価値額は約 1.2 兆円と予測されており⁵（量子コンピュータ 2,940 億円、

³ 出典：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 302.8 兆円、電力 20.3 兆円、商業 95.5 兆円、金融・保険 35.5 兆円、運輸 53.6 兆円、情報通信 50 兆円、医療 45.8 兆円、広告 7.2 兆円の生産額の合計に対して、2022 年度以降 CAGR 1%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）。

⁵ 出典：株式会社矢野経済研究所「2021 量子コンピュータ市場の現状と将来展望」（2021 年 9 月）、「2022 年版 量子技術市場の現状と展望」（2022 年 2 月）

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 AI 1,098 億円)、これに海外獲得分(約 0.1 兆円)を加え、国内外を合計した総付加価値額は約 1.3 兆円が想定される⁶。

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)、産学連携で量子コンピュータ実機利用の道を開く「量子イノベーションイニシアティブ協議会」(QII 協議会)、関係府省といった、産学官の関係者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一層取り組んでいくとともに、官民が一体となった海外展開を目指す。

(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 1,050 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⁷。また、この 5 社に続き、HIROTSU バイオサイエンス(がんの早期発見検査)(1,026 億円)、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する。

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。

⁶ 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。

⁷ 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)(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未来社会ビジョン等を踏まえ、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／量子マテリアルの各技術領域における研究開発や社会実装、産業化等に関する取組、イノベーション創出のための基盤的取組を以下のとおり推進する。

I. 各技術領域の取組

(1) 量子コンピュータに関する取組

<ポイント>

- 量子技術と従来型（古典）計算システム（半導体等も含む）のハイブリッドなコンピューティングシステム・サービス実現、海外に比肩する国産量子コンピュータの研究開発の抜本的な強化
- 有志国を含む国内外の企業との連携による事業化等の支援のための環境整備、標準化支援等の産業界への総合的な支援（産総研に新センター等を設置）
- 量子コンピュータの大規模化・実用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) 量子技術と従来型（古典）計算システム（半導体等も含む）のハイブリッドなコンピューティングシステム・サービス実現、海外に比肩する国産量子コンピュータの研究開発の抜本的な強化

- ✓ 海外においては、量子コンピューティングと従来型（古典）計算システムが融合した技術やサービスが急速に発展している。例えば、海外企業においては、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な量子・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。こうした動きに対応していくためにも、我が国においても、産学の連携（共創）の下、量子コンピュータとスパコン等の従来型（古典）計算システムとの融合によるハイブリッドコンピューティング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積極的に推進する。
- ✓ 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、その開発から得られる科学知見や最先端技術は、多くの技術的な波及の可能性が期待される。従って、我が国の科学技術の将来を見据えるならば、国産量子コンピュータ実機を開発することの意義は極めて大きく、着実に進めていかなければならない。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いち早く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、実機を利用できる環境を備えたテストベッドも必要である。このため、有志国の企業等とサプライチェーンを構築しつつ、国産量子コンピュータの研究開発を強力に進めるとともに、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。具体的には、令和4年度に初号機を整備し、その後も国際動向、研究開発の進捗、テストベッドに対する利用ニーズ等を踏まえ、テストベッドの高度化や必要な研究開発を着実に進めていく。

- ✓ 量子コンピュータの大規模化や実用化に向けて、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）計算システムとの連携も視野に入れて、有志国とも連携しつつ、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）有志国を含む国内外の企業との連携による事業化等の支援のための環境整備、標準化支援等の産業界への総合的な支援（産総研に新センター等を設置）

- ✓ 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は、有志国を含む国内外の企業等と連携して、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、量子・古典のハイブリッドコンピューティング資源の利用機会の提供によるサービスビジネスを含む新たなユーザ市場の開拓、事業化等を支援する環境の整備や、標準化支援を行うなど、グローバルな視点で将来の事業化を見据えて産業界を総合的に支援する「グローバル産業支援拠点（仮称）」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試作・製造・評価、国内外のベンチャー企業等の中小企業を含む民間企業や研究機関が有する優れた部品・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・実用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、様々なブレークスルー技術が必要である。また、今後、超電導、イオントラップ、光量子、シリコン量子ビット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、これまでに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、非平衡状態や開放系における量子系についての学理探求など、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の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や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研究者を含む人材育成を強力に推進していく。
- ✓ また、レーザー等の光科学技術は、量子状態の高度な制御、高精度な微細加工や材料開発等に大きな革新をもたらし、量子コンピュータ、量子ネットワーク、量子計測・センシング等の研究開発・実用化や、これらの部品・材料（量子チップや量子中継器等）や周辺半導体の製造など、量子技術を横断的に支える不可欠な重要な技術基盤であることから、戦略的な研究開発や人材育成も含む裾野の広い基礎研究の充実・強化を図っていく。

(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、さらにテストベッドを活用して NISQ（Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer）（ゲート型マシン）の利用機会を広げ、そこで培った知見を将来の大規模ゲート型量子コンピュータによる本格的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、社会人など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型（古典）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、民間企業からのコミットメントや、民間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・創出できる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なコンピューティングサービスも見据えた創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（古典）技術分野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家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・創出できる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用していくため、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。この際には、海外の量子コンピュータも柔軟に活用しつつ、最先端の量子コンピュータの利用環境を整備する。
- ✓ 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、我が国の産業の成長機会の創出や社会課題の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。
- ✓ 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なコンピューティングサービスも見据えた創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（古典）技術分野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、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心などの幅広い分野の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の解決に貢献していくことが期待される。また、AI 等の計算機科学、5G/Beyond 5G 等の情報通信技術など従来型（古典）技術システムとも融合したハイブリッドなコンピューティングサービスは、

新たな産業的な価値をもたらすほか、既存の物理学の枠を越えた、これまでにない科学的成果も生み出す大きなポテンシャルを有している。

- ✓ 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研究開発や社会実装等を進める産学の共創（オープンイノベーション）の場について質・量ともに抜本的な強化を図るとともに、産学の共創の体制の下、将来の量子技術と従来型（古典）技術が融合したハイブリッドなコンピューティング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の研究開発や社会実装等の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家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、ユーザに顧客価値のあるサービスを提供することで直接・間接的な収益を確保し、これを次世代の研究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、ハードウェア・ソフトウェアを相互に高度化していく上でも、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家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家プロジェクトは質・量ともに少ないことから、今後、量子ソフトウェアに関する国家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、スタートアップ企業、創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（古典）技術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、社会から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や、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、市場性・インパクトの大きい分野、我が国が強みを有する分野などを特定して、量子アプリケーションを研究開発してい

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、イラストや物語等のカスタマージャーニーを表現するなどして、量子分野と非量子分野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も重要である。
- ✓ 量子アプリケーションの研究開発に当たっては、民間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（Proof of Concept：概念実証）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技術と従来型（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
- 量子状態を維持した通信を可能とする量子インターネット研究開発の国家プロジェクトの立ち上げ

（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技術と従来型（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高度な技術を確保し、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・充実に図り、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衛星等の宇宙アセットの活用も含め検討していく。
- ✓ また、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、利用実証の実績を重ね、求められるセキュリティ要件等に応じ、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、複数の事業者において同サービスが提供され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、引き続き標準化を進めつつ、次世代の産業セキュリティの構築に向けて、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必要な支援について検討する。

(iii) 量子状態を維持した通信を可能とする量子インターネット研究開発の国家プロジェクトの立ち上げ

- ✓ 将来、量子状態を維持した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、量子センサのネットワーク接続など様々な量子技術の利活用の基盤をなす通信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、Beyond 5G 等の次世代通信システムの実現に向けた取組とも連携して、量子インターネットの開発に向けたロードマップに基づき、将来の量子コンピュータの大規模化を実現する技術基盤や量子暗号通信の高度化等を実現する量子通信基盤とし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性が充実し、意味があるものになることから、官民が連携し、5G/Beyond 5G 等の情報通信システム、光電融合技術等との連携も含めて、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。
- ✓ 事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。
- ✓ 現時点で我が国が強みを有している量子鍵配送（QKD）ネットワークの技術の利用実証や高度化、海外展開を着実に進めるとともに、同時並行で、次世代の量子ネットワーク／量子インターネットの技術に関する研究開発も行うなど、将来も見据えて量子セキュリティ・量子ネットワークに関する技術の国際競争力の維持・向上に努める視点が重要である。

（４）量子計測・センシング／量子マテリアル等に関する取組

<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、利用環境の整備（テストベッド整備等）、利活用を支える技術基盤の充実・強化**
- **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マテリアルの研究開発・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、利用環境の整備（テストベッド整備等）、利活用を支える技術基盤の充実・強化

- ✓ 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利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。また、このような利活用を支える高度な技術基盤の充実・強化も重要である。
- ✓ 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。さらに、新たな利活用ニーズへの対応や国際競争力強化のため技術の高度化を支える基礎研究、さらには AI・ビックデータ、IoT などの従来型（古典）技術や生命科学・医学、モビリティ、エネルギー、防災などの幅広い分野と一体となった研究開発、人材の育成・確保を含む技術基盤の充実・強化を図る。

(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、ニーズとシーズが会う場が十分でなく、また、企業等にとって認知度も低い傾向にあることから、ユーザ企業を発掘し切れ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・研究機関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・研究機関等（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・支援する仕組みの構築も検討する。

(iii) 世界最先端の量子機能を発揮する量子マテリアルの研究開発・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、その他量子マテリアル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マテリアルが不可欠となる。
- ✓ また、経済安全保障の観点からも、最先端の量子マテリアルの製造技術を自国で保有し、安定的な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、高精密な量子ビーム技術による量子機能の創製・高度化に関する研究開発を強化するとともに、量子機能の創製・高度化を通じて、高性能な量子機能を発揮する量子マテリアルの世界最先端の研究開発や、世界をリードする高度な量子マテリアルの供給基盤の整備や安定的な供給の中核となる「量子機能創製拠点（仮称）」を形成する。

(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、企業等にとって認知度も低い傾向にあることから、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（通訳者／解説者）、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のための基盤的取組

(1) スタートアップ企業の創出・活性化

<ポイント>

- 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、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
- スタートアップ企業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) 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、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

- ✓ 新たな市場を開拓していくビジネス領域においては、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企業の創出・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支援、インキュベーション拠点との連携など、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していくため、スタートアップ企業や若手人材等を対象として、アイデアコンテスト／ピッチコンテスト等を開催し、新たなビジネスの発掘・支援を行う。

(ii) スタートアップ企業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

- ✓ アプリケーションビジネスは、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企業にとって有望なビジネス領域と言える。
- ✓ しかし、量子アプリケーションをビジネスとして展開することを考えている、または既に展開しているスタートアップ企業にとっては、資本力が必ずしも十分ではないため、量子アプリケーション研究開発やこのための量子コンピュータ利用の障壁が高い場合もある。
- ✓ このようなスタートアップ企業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、量子アプリケーションの研究開発や実証試験、量子コンピュータの利用等の支援を行う。

(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海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、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、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、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企業は、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企業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企業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（理化学研究所）

(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⁸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、人材育成等の取組を推進している。
- ✓ 今後、産業界における量子技術の事業化に向けた活動を活性化・本格化させるためにも、我が国としてハードウェア・ソフトウェアの両面で国際競争力を確保していくことを見据えて、産業界への支援を強化していくことが必要である。
- ✓ ハードウェア面に関しては、今後、量子ビット開発等の高度化・多様化が進むことが予想される中で、研究室レベルではなく産業技術レベルの水準に引き上げ、量子コンピュータや主要技術の国産化を目指していく必要がある。このためにも、量子チップ等の試作・製造・評価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や産業化に不可欠な量子マテリアルの高度化やサプライチェーン基盤の整備・強化も必要となる。
- ✓ ソフトウェア面に関しては、量子・古典の融合によるサービスなど新たな事業活動が活発化・本格化していくことが予想される中、量子・古典をシームレスにつないだ先進的なハイブリッドコンピューティングの利用環境を整える必要がある。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、量子分野の熾烈な国際競争に我が国が劣後していかないためにも、海外の産学の最新の学理と技術を取り込む必要がある。このためにも、国際的な研究開発や教育等を強化するとともに、国際レベルで卓越した拠点を整備し、我が国の求心力を高めていくことも必要である。

⁸ 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）、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（産業技術総合研究所）、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）

- ✓ これらを踏まえ、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））**

有志国を含む国内外の企業等と連携して、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、量子・古典のハイブリッドコンピューティング資源の利用機会の提供によるサービスビジネスを含む新たなユーザ市場の開拓、事業化等を支援する環境の整備や、標準化支援を行うなど、グローバルな視点で将来の事業化を見据えて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））**

高精密な量子ビーム技術による量子機能の創製・高度化を通じて、高性能な量子機能を発揮する量子マテリアルの世界最先端の研究開発や、世界をリードする高度な量子マテリアルの供給基盤の整備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、量子・古典のハイブリッドコンピューティング環境の構築、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）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（理化学研究所）

- ✓ 量子分野の熾烈な国際競争に我が国が劣後しないためには、海外の産学で進められている最先端の学理と技術を遅滞なく取り込む体制を確保する必要がある。そのためには、量子技術について、基礎・応用の両面で、国際的にも先進的な研究開発や教育等を進め、我が国の求心力を高めると共にその核をなす、国際的に見える（ビジブルな）拠点を創る必要がある。
- ✓ 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（理研量子コンピュータ研究センター（RIKEN Center for

Quantum Computing))。

- ✓ 今後、量子技術は様々な領域に広がっていくことから、ヘッドクォーター拠点は、幅広い科学技術領域をカバーできる体制をとる必要がある。このため、科学と技術の両面から広く俯瞰できる体制のもとで、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。特に、国内外の産学官の研究機関との連携を深め、我が国として保有すべき最先端の科学技術力全体の維持・向上を図る。また、産業界も含めたセクターを越えた国際連携、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。
- ✓ また、量子コンピュータと従来型（古典）計算システムの融合によるハイブリッドなコンピューティングシステム・サービスの実現を含め、先進的な科学計算とデータ活用手法等を広く提供する機能を担う。そのため、本拠点強化と同時に、量子、スパコン、AI、バイオ等の関係分野の研究の連携を強化するための体制整備を進めることが重要である。

(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、産学官連携や国際連携等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
- 創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（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）
- 将来のブレークスルー技術を担う裾野の広い若手研究人材の育成、科学館展示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、大学や研究機関等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や研究機関等のリソースには限りがあることから、今後、さらに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も有効であると考えられる。

- ✓ このため、民間事業者を活用して、創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（古典）技術分野など、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。
- ✓ また、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）創薬・医療、材料、金融等の他分野や AI 等の従来型（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、創薬・医療、材料、金融等の他分野や従来型（古典）技術分野と一体となって、はじめてユーザ価値を創出・提供できることから、人材育成においても、他分野や従来型（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、量子分野の人材の充実を図る観点や、シーズとニーズ（ユーザ）の架け橋となる人材を育成する観点からも、量子分野と、他分野や従来型（古典）技術分野の両方の知見を持つ人材の育成は重要である。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、他分野や従来型（古典）技術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」の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、量子分野と他分野や従来型（古典）技術分野が融合した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、量子分野と他分野や従来型（古典）技術分野と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の広い若手研究人材の育成、科学館展示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、若手研究者を含む人材育成を強力に推進していく。この際には、量子技術イノベーション拠点以外を含む、多くの大学、研究機関等において裾野の広い人材育成ができる環境づくりをしていく。また、政策的な研究開発を担う国立研究開発法人と、教育研究を担う大学等が連携し、双方の特徴や強みを生かして、

研究者、教員、学生の一層の交流を図り、研究人材の育成を強化していく。

- ✓ さらには、科学館展示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) 量子技術の知財化・標準化

<ポイント>

- オープン・クローズ戦略も踏まえた民間主導の Patent Pool 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
- 量子暗号通信の利用実証による実用化技術の高度化・世界に先駆けた知財化・標準化、周辺技術を含めた実用化技術の確立や標準化

(i) オープン・クローズ戦略も踏まえた民間主導の Patent Pool 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、量子技術や従来型（古典）技術など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・権利が複雑に関係することが見込まれる。
- ✓ 今後、民間企業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 Patent Pool の形成が期待される。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、政府は、民間企業と連携しつつ、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 Patent Pool の創設及びこれを運営する組織の立ち上げに向けて必要な支援を行う。

(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)、国際電気標準会議 (IEC) 等のデジュール標準に加え、米国電気電子学会 (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、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。
- ✓ さらに、量子技術イノベーション拠点を形成する各組織において、知財化・標準化の活動を支援するための専門的なグループを組織する。また、大学や研究機関等において知財化を促進するようなインセンティブづくりに努める。

(iii) 量子暗号通信の利用実証による実用化技術の高度化・世界に先駆けた知財化・標準化、周辺技術を含めた実用化技術の確立や標準化

- ✓ 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、知財化・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、量子暗号通信ネットワークのオープンテストベッドを活用して、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化・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、知財化・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、場合によっては公的資金の投入や政府調達などを活用しつつ、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にするなど、市場の成長段階に応じてオープン・クローズ戦略を検討していくことも重要となる。

(5) 国際連携／産学官連携

<ポイント>

- 戦略的な国際共同研究の強化、若手研究者を中心とする研究者の海外派遣、海外からの優秀な研究者の呼び込みなど国際交流・国際流動性の向上
- 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、人材交流、共同研究等）

(i) 戦略的な国際共同研究の強化、若手研究者を中心とする研究者の海外派遣、海外からの優秀な研究者の呼び込みなど国際交流・国際流動性の向上

- ✓ 近年、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。さらに、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、基礎研究から応用研究まで幅広い分野で、若手研究者を中心とする研究者の海外への派遣を積極的に支援するとともに、海外からも優秀な研究者を呼び込むなど、国際交流・国際流動性を高めていく。
- ✓ また、国家間での連携の枠組み構築を推進するとともに、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の大学、研究機関、民間企業等と連携し、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の研究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、人材交流、共同研究等）

- ✓ 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、量子技術の研究開発、産業化等を推進するための新たな体制の整備がなされた。

- ✓ また、東京大学と慶応義塾大学と米国 IBM と日本 IBM および産業界の連携による「量子イノベーションイニシアティブ協議会」（QII 協議会）が令和 2 年 7 月に設立されるとともに、商用量子コンピュータの実機が国内にはじめて設置され、産学のメンバーによる実機量子コンピュータ利用が令和 3 年 7 月に開始した。
- ✓ 今後、産学官が一体となって研究開発や産業化等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。また、量子イノベーションイニシアティブ協議会（QII 協議会）による産学連携も活用していく。さらに、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>

- 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、若年層が量子技術に触れる環境づくり
- 量子技術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）など情報提供の充実・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、若年層が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。
- ✓ また、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・学生など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）量子技術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）など情報提供の充実・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）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の情報については、個別のウ

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。さらに、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おそれもある。
- ✓ これらを踏まえ、量子技術に関する情報を分かりやすい形で社会に広く提供していくため、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の充実・強化を図る。

(iii) 量子技術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

- ✓ 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、量子技術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、量子技術を活用して新たな価値の創造・提供等を行っている起業家・研究者・技術者等のフロントランナー人材をプレイアアップする仕組み（情報提供や表彰制度等）も検討する。

(7) 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国家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、量子ネットワーク、量子計測・センシングに必要な基盤材料、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や、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。
- ✓ 量子技術に係る研究開発要素は最新の技術を要するものであり、Beyond 5G 推進戦略、

半導体戦略等と共通するものも多いことから、これらの戦略に基づく研究開発と一体的かつ効果的に進むように連携を強化する。

- ✓ 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。
- ✓ 我が国の民間企業（金融機関を含む）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国家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などの基金制度を国家プロジェクトにおいて活用するなど、国家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、原子力、トランジスタに端を発する半導体エレクトロニクス、レーザーなど量子力学に基づく新しい技術が次々に生み出され、科学技術の革新と社会の進歩を牽引した。

しかし、量子力学には、重ね合わせ状態が観測と同時に一つの値に定まること（波束の収縮）や量子もつれ（エンタングルメント）といった、量子力学特有の原理を内包している。これらは我々が普段なじんでいる古典物理学の世界と質的に異なるものであり、量子論における観測問題といった、検証すべき学問的対象であった。やがて 20 世紀の後半には、それが新たな技術革新をもたらす夢の技術として位置づけられるようになった。

今世紀に入ってから、実験・理論の両面での進歩により、量子技術は「検証」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の量子状態を思い通りに制御して、量子計算に利用するという一昔前の夢の技術が現実のものとなりつつある。

これからは、より大規模な量子系を制御することも可能となるだろう。それによって、情報処理やセキュアな通信、超高感度なセンシングなどに量子技術を本格的に活用する時代がやってくる。本ビジョンは、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。

これらは人類がまだ手にしたことの無い技術であり、将来、社会経済の姿を変え、これまでにない恩恵をもたらすことが期待される。しかし、逆に悪意をもって利用した場合には、甚大な害悪をもたらすおそれもある。したがって、我々は、新しい技術の本質を自ら究め、それが経済成長のみならず、人と環境の調和、人々の幸福（心豊かな暮らし）も見据えて、人類の共有財産として利活用されるように主体的に取り組み、その革新を主導すべきである。

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。