

量子技術の実用化推進 WG 中間取りまとめ（素案）

令和5年1月18日

1. はじめに

- ✓ 「量子未来社会ビジョン」（令和4年4月22日 統合イノベーション戦略推進会議）で示された未来社会ビジョンにおいては、3つの目標（2030年に、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）を掲げている。
- ✓ 本目標の実現のためには、産学官が一体となって、多様な主体が量子技術を活用し、社会課題の解決、新産業創造や生産性向上等の経済社会の様々なセクターの変革につなげることを目指して、量子技術の産業化・実用化に向けて取り組むことが重要である。
- ✓ 特に、目標に掲げる利用者、生産額の実現を図っていくためには、幅広い産業界の参画を得ながら、究極的には量子技術を意識することなく多様な分野で活用できるようするなどして、多様な分野のステイクホルダーが新しい事業・サービスを共創し、裾野の広い市場を形成していくことが重要となる。
- ✓ 量子技術が生み出す価値により将来巨大な市場を創出することが見込まれる一方で、長期的な投資を必要とすることから、産業化・実用化に当たっては、基礎研究と同時並行で、持続可能なビジネス環境の形成に向けて、早期に新市場を創出する取組を進めることで、投資や人材を惹きつけていくことが重要である。
- ✓ このため、様々な分野において訴求力のあるユースケース創出と、これを支える量子コンピュータ等の利用環境整備といった支援に加え、ユースケースの成果やこれによって創造された市場価値（利益）の情報発信を積極的かつ着実に進めていくことが重要である。
- ✓ 量子技術分野のような新興市場では、これまでにない事業・サービスを開拓するスタートアップ／ベンチャー企業も重要なプレイヤーとなり得る。このため、長期的な投資を必要とする量子分野の市場の特徴を踏まえながら、スタートアップ等への投資を積極的に喚起するとともに、開発成果が社会実装されることで発生する利益が次のビジネス開発やスタートアップの創出・育成に再投資されるエコシステムの形成を積極的に行っていくことも重要となる。
- ✓ これらを踏まえ、未来社会ビジョンで掲げられた目標を実現していくため、

産学官の連携の下、量子技術の実用化・産業化を通して実現される量子技術を活用した経済社会の様々なセクターの変革（“**X to Quantum Transformation**” ※）に向けて、重点的・優先的に取り組むべき具体的な取組の方向性を示す。

※ “X to Quantum”、“Quantum for X”、“みんなの量子”などメッセージ性のある言葉を前面に打ち出す。

2. 本報告書の位置づけ

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、量子未来社会ビジョンは、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”として策定された。

本報告書は、未来社会ビジョンで掲げられた目標を実現していくため、産学官の連携の下、量子技術の産業化・実用化を通して実現される量子技術を活用した経済社会の様々なセクターの変革に向けて、当面の間、重点的・優先的に取り組むべき具体的な取組、いわば“量子技術の実用化・産業化に向けた実行計画”として策定するものである。

3. 3つの視点

量子未来社会ビジョンの基本的考え方¹も踏まえ、量子技術の既存システムへの導入を促して産業化・実用化を進めることで、量子技術を活用した経済社会の様々なセクターの変革を起こし、社会課題解決や市場価値の創造に当たっては、以下の3つの視点を基本として取り組む。この際には、国際競争の激化等を踏まえ、グローバル連携も見据えつつ、これまで以上に加速（Acceleration）しながら取り組む。

■Collaboration 「多様な産業の量子分野への参画・協働・共創」

量子未来社会ビジョンの目標に掲げるように、量子技術の利用者、生産額の拡大を図っていくためには、幅広い産業界による量子分野への参画を得ながら、多様な分野の企業が協働して新たな価値を創造（共創）し、量子技術を様々な分野で活用して市場の裾野を広げていく視点が重要となる。

このためには、材料、金融、健康・医療、エネルギー等の多様な分野のユーザー企業による参画や、量子技術のプレイヤーとの共創が必須である。また、量子コンピュータ等を実社会へ実装していくためには、量子技術分野のみならず、従来型（古典）のデバイス・部品・材料、エレクトロニクス、情報通信等の企業による参画（量子・古典ハイブリッド）も必須となる。このような多様な企業の参画を促進するため、訴求力あるユースケース（キラーアプリケーション）づくりとその効果の明確化や、従来型（古典）の技術領域と協働・共創できる仕組みを構築していくことが重要となる。

■Accessibility 「産業界に開かれた量子技術の利用環境の整備」

幅広い産業界による量子分野への参画を促していくためには、多様な分野の産業ユーザが活用できる量子技術の利用環境（量子コンピュータ、量子センシング、量子セキュリティ・ネットワーク等）を整備していくことが必要である。

また、量子技術は一般の企業にとっては敷居が高く、未来の技術との意識が強いとの指摘もあることから、これらの企業が既存の技術と分け隔てなく容易にアクセスできる機会を増やすなどの利用支援をしていくことも重要である。さらに、様々な分野で量子技術を活用するに当たっては、従来技術との比較を含む性能・コスト・利便性等に関する優位性・有効性などの情報についても積極的に開示・提供していくことが重要である。

■Incubation 「積極的なベンチャー支援／エコシステム形成」

量子技術分野のような新興市場では、これまでにない事業・サービスを開拓す

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、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」

るベンチャー企業も重要なプレイヤーとなり得るが、長期的かつ安定的な投資を喚起して、市場開拓を後押しするなどしてプレイヤーを育て、最終的には市場の利益が次のスタートアップの創出・育成に循環するエコシステムを形成していくことも重要となる。我が国においても、ソフト・ハードともにスタートアップ企業が出現しており、それぞれのステージ・特徴に応じて、各種支援を充実させながら、海外からの投資促進を含むグローバル市場を見据えた、有志国を含むグローバルなエコシステムを形成していくことが重要である。

4. 産業上の主な課題や基本的対応方針

(1) 将来の技術・市場が不透明で他分野と比べて事業リスクが高い

(課題)

- ✓ 将来、量子分野の産業は巨大な市場が見込まれるものの、現時点では技術・産業の勝ち筋が決まっておらず、長期的投資も必要とすることから他分野の産業と比べて高い事業リスクがあると言える。
- ✓ 特に、我が国の産業界では、このような長期的投資を必要とする分野に対して投資が低調といった傾向がある。
- ✓ さらに、単独企業において不透明性の高い基礎研究や巨額の製造設備への投資をしていくことはリスクが高い。

(基本的対応方針)

- ✓ このような事業リスクを少しでも低減するため、パブリックセクターが、複数の企業が共有できる試作・試験・評価設備を整備するなど官民のリソースを効果的・効率的に活用できる仕組みが重要である。
- ✓ また、共創領域（共通部品等）において複数の企業が共創する体制を構築する、あるいは活動を支援するなど、支援していくことが必要である。
- ✓ 基礎研究段階においても、パブリックセクターが積極的に支援していくことが重要である。

(2) 量子技術を活用した優位性・有効性が明確なユースケースが少ない

(課題)

- ✓ 量子コンピュータ、量子センシング、量子セキュリティ・ネットワークにおいては、量子技術の活用によるユースケースが少ないのが実態である。
- ✓ ユーザ産業にとっては、量子技術が既存技術と比べて、性能・コスト・利便性も含めてどの程度便益があるのかに関心があるが、技術が発展途上でもあるため、既存技術との優位性を明確に示すユースケースは少ないのが実態である。
- ✓ さらに、量子技術や便益（ユーザ産業にとってのメリット）について、現状や将来の見通しも含めて、ユーザ産業が事業化判断に必要な正確な情報が不足している。

(基本的対応方針)

- ✓ 将来の量子技術の発展も見据えて、市場の裾野を広げるべく様々なユー

ザ産業の参画を促進し、ユーザにとって訴求力のあるユースケースづくりや情報発信を積極的に行っていく。特に、ユースケースづくりの際には、性能のみならず、コスト、利便性等も含めて、既存技術との優位性など正確なベンチマークを示す。

- ✓ 量子コンピュータ等のハード技術が発展途上であることも含めて、量子技術や便益（ユーザ産業にとってのメリット）について、現状や将来の見通しも含めて、ユーザにとって事業化判断に必要となる TRL、BRL といった情報を提供していく。
- ✓ また、ユーザにおいては、量子技術はあくまで手段の一つであり、特別視はしていない。そのため、従来（古典）技術システムに量子技術を取り込み（古典から量子へのマイグレーションも含む）、古典・量子ハイブリッドシステムにおいてユースケースづくりをすすめ、既存技術とのベンチマーク比較を実施して、量子技術の活用による効果を明確にする視点も重要である。

（3）量子技術に対するハードルが高い

（課題）

- ✓ 量子技術は高度な知識・技術を必要とする場合が多く、量子分野以外の企業からは参入障壁（ハードル）が高いと捉えられる傾向にある。
- ✓ ソフト面については、材料、金融、健康・医療、エネルギー、AI 等の多様な分野の企業による参画が期待されるが、多くの企業では、量子技術に利活用できる設備等の環境がなく、量子技術に関する知見・人材も有していない。
- ✓ ハード面についても、従来型（古典）のデバイス・部品・材料、エレクトロニクス、情報通信等のステイクホルダーの参画が必須であるが、どのような領域で参入機会や市場性があるかについて情報が不足している場合が多い。

（基本的対応方針）

- ✓ 幅広い産業界による量子分野への参画を促していくためには、多様な分野の産業ユーザが活用できる量子技術の利用環境（量子コンピュータ、量子センシング、量子セキュリティ・ネットワークなど）を整備する。
- ✓ また、量子分野以外の産業においては、量子技術に関する知見・人材を有していない場合が多いことから、量子技術分野の研究者・技術者等の関係者との交流や協働の機会を拡大するなどの情報・技術・人的な参画支援を行っていくとともに、教育プログラムの提供も積極的に行っていく。

- ✓ 将来の量子技術の実用化に向けて、必要となる従来型（古典）のデバイス・部品・材料、エレクトロニクス、情報通信等を整理・明確化するなどして、どのような領域で新規参入機会や市場性があるかについて情報提供をしていく。

（４）ベンチャー企業の創出・成長のための環境が不十分

（課題）

- ✓ 量子産業のような新興市場では、これまでにない事業・サービスを開拓するスタートアップ／ベンチャー企業が重要なプレイヤーとなり得る。
- ✓ 海外においては、ソフト・ハードともに多くのスタートアップ企業が立ち上がり、VC等から巨額の資金調達を行うなど動きが活発化しているが、資本力の乏しいベンチャー企業にとって、長期的な投資や技術開発や市場開拓といった、いわゆる長期戦を必要とする量子技術分野は、民間のみの市場メカニズムではリスクが高い領域と言える。
- ✓ また、国内のベンチャー投資環境においては、ベンチャー企業への投資総額が少ないことや、金融機関等は投資回収期間が長期の投資を忌避する傾向にあることに加え、国際市場への事業展開の難しさなど、ベンチャー企業の創出・成長のためのビジネス環境・機会が不十分である。

（基本的対応方針）

- ✓ 量子分野は長期的な投資や技術開発が必要である分野のため、積極的に国プロジェクトを呼び水として、民間からの投資を促し、産学官が一体となって、量子技術を活用した市場の形成と並行し、してベンチャーの創出・育成を支援するとともに、ベンチャー企業等を組み込んだエコシステムを形成していく。
- ✓ インキュベーション拠点や金融機関とのマッチング等を通じたベンチャー企業の創出・支援、ベンチャー企業の担い手となる若手起業人材育成、量子技術を活用したビジネスアイデアを創出する仕組み（ピッチコンテスト、アイデアソン／ハッカソン等）を推進する。
- ✓ さらには、既存企業との連携やベンチャー企業同士の連携などエコシステム形成、事業活動の国内外への情報発信や海外展開支援など、ベンチャー企業等を支援する総合的なイノベーション基盤を形成していく。

(5) 産業人材が不足

(課題)

- ✓ 量子分野においては世界的に人材が不足し、人材獲得競争も激化している。量子技術を実用化・事業化していくためには、量子分野の研究・技術人材のみならず、異なる技術分野（半導体等のデバイス、アーキテクチャ・システム、ソフトウェア等）の人材も必要となる。
- ✓ さらには、経営・知財・法律人材等の事業化・産業化をサポートする人材とともに、ユーザ分野の人材も育成・確保していくことが重要である。
- ✓ ベンダー企業・ユーザ産業ともに、人材不足が深刻な課題となっており、長期的かつ戦略的に量子分野の産業人材を育成・確保していくことが必要である。

(基本的対応方針)

- ✓ 大学・研究機関等や産業界など産学が一体となって、学生や産業人材を含む様々な分野の人材向けの教育プログラムの構築・提供を図っていくとともに、産業界と学术界の人材マッチング（インターン制度等）や異分野間の人材交流など、国内外を含む産学官の人材交流・流動も推進していく。
- ✓ また、国の研究開発等のプロジェクトにおいても、様々な分野の人材が参画できるような仕組みの形成やテーマの設定等を行っていくことも重要である。
- ✓ さらには、人材供給源である中学・高校など若年層向けの教育プログラムも充実を図っていく。

5. 取組の方向性

(1) 量子コンピュータ（ソフトウェア、利用環境整備等）

- ✓ 国産実機（超電導量子コンピュータ(ゲート、アニール)）を産学官で多様な用途で活用していくとともに、運用の経験・ノウハウ蓄積や担い手を育成する。古典コンピュータと連携して、産業・科学をリードする最先端の量子・古典ハイブリッド計算環境を構築・提供する。
- ✓ 量子コンピュータも活用したユースケースづくりを加速するために、官民が連携しつつ幅広いユーザが容易にアクセスできる利用環境を整備していく。
- ✓ ユーザ産業の拡大・振興に向けたユースケースづくり、アプリケーション提供／利用支援サービスの提供事業者の育成・振興、アプリケーション開発人材の育成・確保、ユーザ産業側の人材の量子技術に関するリテラシーの向上、量子コンピュータの便益を示す性能指標等の検討をする。

①ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用環境の整備

○フロンティアを開拓するフラッグシップ計算環境拠点の整備

- ✓ 今年度中に、理研において国内初の国産実機（超電導量子コンピュータのテストベッド）を発表し、運用を開始する予定である。
- ✓ 本テストベッド機は、国産機の特性を生かしてハードウェアの深い層まで制御可能であることから、運用開始後は、ソフトウェア（誤り抑制・訂正等）からハードウェア（制御装置等）までのコア技術の高度化など、産学官が多様な用途で活用していくことが期待される。また、これらの活用を通じて運用の経験・ノウハウ蓄積やその担い手となる人材を育成していくことも重要である。
- ✓ さらには、本テストベッドを含む最先端の量子コンピュータの実機と富岳等の古典コンピューティングと連携させて、量子技術のみならず、計算科学、数理科学のコミュニティも巻き込み、産業・科学のフロンティアを開拓していく最先端のフラッグシップとなる量子・古典ハイブリッド計算環境を構築・提供する拠点を整備していくことも期待される。

○産業化をリードする実利用計算環境の整備

- ✓ 国内企業は、来年度以降、理研の量子コンピュータ実機の技術移転を受けて、商用機をリリースしていく予定である。また、国内企業は産総研と連携して、量子アニーリングマシン（超電導型）の実機を来年度に公開予定で、商業利用を開始する予定である（既に従来型（古典）技術に

よる疑似アニーリング技術は既に幾つかの国内企業からリリースしている)。

- ✓ これらの国産商用機を中心とする量子コンピュータの利用を促進していくため、官民が連携しつつ、幅広いユーザが容易にアクセスできる、産業化をリードする実利用計算環境を整備していくとともに、これらを活用したユースケースづくりを支援していく。
- ✓ また、国産量子コンピュータは黎明期でもあり、実際のユースケースにおいては、量子シミュレータや実用化されている疑似アニーリングマシン、さらには商用化で先行する海外量子コンピュータの利用環境も有益であることから、国産・海外産問わず、ユースケースの創出に必要な実機を技術的な有効性等の観点から精査・選定し、活用も視野に入れて利用環境を整備していく。

②ソフトウェア産業の振興

○アプリケーション提供／利用支援サービス提供事業者の育成・振興

- ✓ 量子コンピュータのアプリケーションを提供するベンダー、国内外の量子コンピュータの利用支援サービス(開発環境提供やコンサルティング含む)を提供する民間事業者も活発化している。
- ✓ これら民間事業者の多くはベンチャー企業であり、ユーザ企業のハブとなるキープレイヤーでもあることから、産学官が一体となって重点的に育成・振興していくことが重要である。
- ✓ また、国が上述の利用環境整備をしていく際には、利用支援サービス提供事業者を活用して、ユーザにとって利便性の高い利用環境と機会を整備・提供していくことが期待される。

③ユーザ産業の創出と振興

○ユーザ産業の拡大・振興(ユースケースづくり)等

- ✓ 量子コンピュータ市場の裾野拡大をしていくためには、国内外のユーザ産業における価値を明確化し、ニーズを発掘し新たな市場を創出してその拡大と振興(参画促進・マーケット創造)に向けた取組が重要である。一方で、ユーザ産業にとっては、量子コンピュータの具体的な活用事例が少ないこともあって、自社のビジネスにどのような便益があるのか(既存技術との比較も含む)について不明確であるため、担い手となる人材の育成も進まない。そのため、少ない人材の獲得競争が激しく、量子技術の活用に向けたボトルネックになっているといった指摘もある。
- ✓ このためにも、新たなユーザの参画を促すため、ユーザにとって魅力の

あるユースケースづくり（キラーアプリケーション）を積極的に行う。さらに、ユーザ産業分野から参画する企業等の人材のリテラシー向上を目的として、教育プログラムや研究開発事業等を通じて、ユーザ産業側の人材の育成・確保をしていくことが重要である。特に、ユースケースづくりに当たっては、実際の産業現場での実利用や量子・古典のハイブリッド環境での利用を想定するなど、産業視点で優位性・有効性といった説得力・訴求力があるものとするのが重要である。また、社会課題を解決するまちづくりなど対象として総合的に様々な分野のユースケースづくりを行うことによって、分野・組織横断的な取組や将来の公共調達（自治体利用等）につなげていくことも有効である。

- ✓ また、ユーザ産業にとって、量子コンピュータが既存技術と比較してどのような便益があるのかを理解・判断できるようにするため、ユースケースの結果等も踏まえつつ、量子コンピュータやソフトウェア（アルゴリズム）、量子・古典ハイブリッドシステムの性能指標（既存技術との優位性、実利用でのベンチマーク等）を設定することも有効である。さらに、ユーザやVCなどの投資行動の変革を図るため、SDGs、脱炭素、RoI等の視点からの効果指標の検討・設定・検証も期待される。

(2) 量子コンピュータ（ハード、基盤技術等）

- ✓ 量子コンピュータ（ゲート）の技術方式として先行する超電導型については技術開発・事業化を強化・加速するとともに、運用の経験・ノウハウをハード開発にフィードバックできる仕組みを構築する。その他の方式については、ベンチャー企業を含む民間企業の参画・活動を促進するための取組に努める。
- ✓ 量子コンピュータ（アニーリング）は、他国が先行する中で、技術開発・事業化を強化・加速するとともに、古典・量子ハイブリッドのような強みとなる差別化要因をつくることも期待される。
- ✓ 安定的かつ強靱なサプライチェーンを構築していくため、必要なデバイス、部品、材料等を明確化し、これらの高品質化や安定供給を実現する。我が国の産業が強みを有する部品・材料などサプライチェーンのチョークポイントを押さえていく戦略を検討する。

①量子コンピュータ（ゲート）

<超電導量子コンピュータ>

○量子コンピュータの技術開発・事業化支援

- ✓ 量子コンピュータの技術方式としては超電導型が先行しており、海外が活発に技術開発・事業化を進めている中、我が国においても、産学官が一体となって開発を進めている。
- ✓ 今年度中に理研において国内初の国産実機をリリースし、その後も国内ベンダーが理研と連携して実機を来年度に公開予定であり、今後も、海外と伍していくためにも、引き続き、技術開発・事業化を強化・加速していく。量子コンピュータの制御には、量子多体系や散逸系の制御など基礎科学の知見を必要とすることから、理研が学理に基づく量子状態制御技術等のコア技術の研究開発を担い、ベンダー企業がこれらのコア技術を活用した大規模化・システムを担っていくことが期待される。
- ✓ さらに、今後は運用フェーズに入ることから、運用の経験・ノウハウ、ユーザエクスペリエンスの結果をハードの開発にフィードバックできるような仕組みも構築することが重要である。

○民間商用機の国際競争力強化等

- ✓ 今後、民間商用機がリリースされる予定であるが、超電導方式は他の方式と同様に技術として確立しておらず、長期にわたる研究開発を必要とし、さらには実用化・大規模化等のためには莫大な費用を要するなど、

民間企業のみではリスクが高いとの指摘もある。

- ✓ このため、量子チップ等の要素技術の基礎研究や、大規模化に向けた試作・試験・評価等プロセスにおいて、民間企業の活動を支援できるような環境づくりが重要である。
- ✓ このため、主要拠点である理研・産総研において、理研は国際競争力のある基礎研究、産総研は大規模化に向けた試作・試験・評価等プロセスで産業界を支援するなど役割分担を明確化するなどして、双方が協力・連携して民間企業の活動を支援していく。

＜その他のゲート方式（イオントラップ、光、シリコン、原子等）＞

○産業界の参画促進、連携体制の強化

- ✓ イオントラップ、光、シリコン、原子等については、国のプロジェクト（ムーンショット型研究開発制度等）を中心に研究開発を加速しているものの、現時点では担い手となる企業（経営判断として事業化を表明している企業）が顕在化していない状態である。
- ✓ 海外では民間企業を中心として、様々な技術方式において事業化を進めており、我が国においても積極的に民間企業とパートナーシップを構築して、将来の産業化・事業化を見据えて取り組むことが重要である。
- ✓ このため、将来の民間企業の参画を見据えて、国プロジェクトの研究進捗や研究成果について産業界に積極的に情報提供し、対話・意見交換を重ねていくとともに、要素技術の研究開発において積極的に民間企業の技術を活用するなど、将来の産業化・事業化に向けた取組に努めていくことが重要である。

○民間商用機の開発強化等

- ✓ 本年春に量子コンピュータ（ハード）分野の国内初のベンチャー企業が発足し、今後、量子コンピュータ／量子ネットワーク（光・原子のハイブリッド方式）を開発・リリースしていく予定である。
- ✓ 長期的投資を必要とし、リスクも高い先進的な技術方式を進めるベンチャー企業にとっては、国プロジェクト支援を活用していくことも有効な手段である。
- ✓ 一方で、手続きや与信の面で国プロジェクトにおいて契約が困難なケースもあるとの指摘もあることから、国プロジェクトがベンチャー企業の活動の後押しとなるように、調達制度や運用の改善を図っていくことが期待される。

②量子コンピュータ(アニーリング)

○量子アニーリングマシンの技術開発・事業化支援等

- ✓ 本格的な量子技術の利用には長期的な技術開発が必要であるため、持続的な研究開発と産業利用開拓・拡大の循環(エコシステム)をいち早く形成していくために、事業化・実用化に近い量子アニーリングマシンを開発し、これを活用した新市場の創出や事業の拡大をしていくことが必要である。
- ✓ 国内企業は産総研と連携して、量子アニーリングマシン(超電導型)の実機を来年度に公開予定で、商業利用を開始する予定である。他国(D-WAVE)が先行する中で、海外に劣後することがないように、引き続き、技術開発・事業化を強化・加速していくとともに、従来型(古典)コンピュータと連携させた計算機システム/サービスの開発・提供など強みや差別化要因をつくっていくことも重要である。
- ✓ さらに、早期に量子技術を社会実装していくには、幾つかの国内企業からリリースされており、我が国が強みを有している従来型(古典)技術による疑似アニーリング技術を量子アニーリングマシンと補完して活用し、総合的な事業形成を進めていくことも重要である。

③共通基盤技術

○量子コンピュータのグローバルな事業化に必須となる部品等の高度化とサプライチェーンの強靱化

- ✓ 量子コンピュータ/量子アニーリングマシンを安定的に開発・事業化していくためには、制御装置等のデバイス、部品、材料等の高度化を図っていくとともに、複数企業の連携エコシステム(水平分業・垂直統合等)を形成し、安定的かつ強靱なサプライチェーンを確保していくことが重要である。
- ✓ このため、必要なデバイス、部品、材料等の整理・明確化するとともに、サプライチェーンの担い手となる有望な産業も調査・同定するなどして、多くの企業の参画や投資喚起を図る取組を進める。さらに、多くの企業の参画の下で研究開発を進める体制づくりなどを通じて、デバイス等の高品質化や安定供給を実現していくための仕組みを構築することが期待される。
- ✓ また、有志国と連携・協調して、我が国の産業が強みを有する部品・材料などサプライチェーンのチョークポイントを押さえ、グローバルサプライチェーンにおける我が国の技術・企業の不可欠性を明確にしていく戦略を検討・実践していく方針である。

(3) 量子セキュリティ・ネットワーク

- ✓ 国内外のユーザ産業の発掘・拡大をしていくため、訴求力のあるユースケースづくりや公的機関によるアンカーテナンシー／アーリーアダプタとしての利用も促進する。
- ✓ 国内ベンダー企業の事業を後押ししていくためにも、広域テストベッドでの運用等を通じて、技術開発の支援を行うとともに、運用や利用（ユースケース）の実績を蓄積し、官民が一体となって海外展開していく。さらには、利用拡大・普及のための量子暗号通信機器の国内認証基盤の構築を推進する。
- ✓ また、量子・古典ハイブリッドによる総合的アーキテクチャの構築、量子暗号通信の広域テストベッドの充実・強化を図る。さらに、将来を見据えた量子インターネットの研究開発や導入ロードマップの検討を進める。

①量子セキュリティ・ネットワークの産業振興

○ユーザ産業の振興・拡大

- ✓ 国内外のユーザ産業を発掘・拡大していくためには、量子暗号通信の広域テストベッド（QKD ネットワーク）等を活用し、新たなユーザを訴求する魅力的なユースケース（キラーアプリケーション）づくりを行っていくことが重要である。
- ✓ 特に、有望な事業領域である金融や医療、製造業、安全保障等において、利用促進等を行っていくことが期待される。この際には、安全性、コスト、ユーザビリティのバランスに留意してユースケースづくりをしていく視点も重要となる。
- ✓ 将来の本格的な利用・普及に向けて、ユースケース等も踏まえながら、各分野のルール・ガイドライン等において量子セキュリティの利用を推奨するなど、ユーザの利用インセンティブ向上に向けた取組に努めることも期待される。また、自治体等の公的機関においてアンカーテナンシー／アーリーアダプタとして利用促進を支援していく取組も重要となる。

○量子セキュリティ・ネットワークの事業化支援・国際競争力強化

- ✓ 国内ベンダー企業は、既に1社が量子暗号通信の商用機をリリースしており、国際展開も視野に入れて事業展開に積極的に取り組んでいる。さらには、来年度以降も新たに国内ベンダー企業1社が参入し、商用機をリリースする予定である。

- ✓ 国内ベンダー企業の事業を後押ししていくためにも、前述の広域テストベッドでの運用等を通じて、技術開発の支援を積極的に行う。さらに、運用や利用（ユースケース）の実績を着実に蓄積するとともに、これらの実績を活用しつつ、官民が一体となって海外展開を支援していく。さらに、標準化・知財化を強力に進めるなどして、国内外に展開・普及していくことが重要である。
- ✓ この際には、ハードベンダーだけではなく、将来の利用支援サービス（アプリケーション）を担う民間事業者の育成も視野に入れて取り組んでいくことが重要である。

○量子暗号通信機器の国内認証基盤構築の推進

- ✓ 近年、サイバー攻撃によって事業継続が困難になる深刻な国内事例も散見されており、ユーザにとってセキュリティ確保は極めて重要な課題となっている。このようなセキュリティ確保の重要性に鑑みると、ユーザが量子暗号機器を導入する際には、各機器が求める性能を確実に保証しているかどうかを判断できる仕組みが求められる。また、来年度以降、複数社から量子暗号通信機器がリリースされるが、ユーザにとっては客観的な指標で当該機器を性能比較できる仕組みも求められる。
- ✓ これらを踏まえると、量子暗号通信機器の利用拡大・普及のためには、第三者機関による機器認証制度の整備が必要であり、認証制度の検討とともに、評価機関等の運用・管理体制をはじめとする国内認証基盤の構築に向けて取り組むことが重要である。
- ✓ この際には、評価機関として民間事業者を活用して国内認証制度をエコシステムとして自律化させていく仕組みの構築や、担い手となる人材の育成・確保も重要となる。さらに、認証制度の検討に当たっては、今後の海外展開を見据えて、制度面での国際連携・協調にも留意していくことが重要である。

②量子セキュリティ・ネットワークの利用環境整備と利用実証の拡大

○量子・古典ハイブリッドによる総合的アーキテクチャの構築・検証

- ✓ 量子セキュリティ・ネットワークを利活用・普及させていくためには、ユーザの利便性を確保しつつ、古典アーキテクチャからのマイグレーション（システム移行）をしていくことが必要である。
- ✓ この際には、量子暗号、量子ストリーミング暗号、耐量子計算機暗号（PQC）、秘密分散、秘密計算等の多様な量子・古典暗号の強み・弱みを補完し合ってベストミックスを検討していく視点が重要である。
- ✓ このような量子・古典のベストミックスを検証できる環境を整備してい

くため、量子暗号、量子セキュアクラウド、量子コンピュータ等を含む量子統合アーキテクチャ（量子技術プラットフォーム）を構築・検証することが必要である。

○量子暗号通信の広域テストベッドの充実・強化

- ✓ 総務省・NICTが整備する量子暗号通信の広域テストベッド（QKDネットワーク）は、幅広いユーザが量子暗号通信の用途で利用できる貴重なプラットフォームとなっている。
- ✓ 今後も様々な利用実証拡大を図っていくため、衛星等の宇宙アセットまでを含む都市間の量子暗号通信ネットワークを構築するとともに、都市間～全国規模に拡大していくことが重要である。
- ✓ この際には、量子・古典をベストミックスさせたユースケースづくりにも貢献するようにテストベッド環境を構築・高度化していく視点が重要となる。

③量子セキュリティ・ネットワークの高度化

○量子インターネットの研究開発の方向性

- ✓ 量子状態で遠距離を通信する量子インターネットは、秘匿性の高い量子暗号通信のほか、複数の量子コンピュータの接続による計算を可能とする将来技術として期待されている。
- ✓ また、将来の量子インターネットの実現に向けて新たなスタートアップ企業も出現している。
- ✓ これらのベンチャー企業をはじめとして将来の産業の振興も視野に入れつつ、デバイスやアーキテクチャ・プロトコルを含めて研究開発や技術実証を推進していくとともに、量子インターネットの導入に向けたロードマップの具体化に向けて検討を進めていくことが重要である。

(4) 量子センシング／量子マテリアル

- ✓ 量子センシング産業の振興のため、多くの産業界に対して積極的な情報提供や技術開発・事業化の支援を行うとともに、産学官の関係者が情報共有・意見交換を行うことができる産学官のコンソーシアム等の体制づくりを行う。
- ✓ ユーザ・ベンダー企業に対して、量子センシングを容易に利用・開発できる環境の提供や技術開発・事業化の支援を行うとともに、ユーザにとって訴求力のある魅力的なユースケースづくりや事業化に向けた技術の開発・実証等の支援を積極的に行っていく。
- ✓ 量子技術の開発・事業化やユースケースづくりの際には、マテリアル分野の産業の参画の下、ハード・ソフトが一体となって技術開発・事業化を推進できる環境づくりを推進する。さらに、産学官が一体となって、我が国として押さえるべき量子マテリアルを安定的に供給できる体制を構築する。

①量子センシング産業の振興

○量子センシングの技術開発・事業化支援

- ✓ 量子センシングについては、医療、エネルギー、通信、モビリティなど多様な用途があり、多様な産業界の参画の下、技術開発・事業化を進めていくことが重要である。
- ✓ このため、主要拠点である量子センシング拠点及び量子生命拠点が中心となり、ユーザ・ベンダー企業など多くの産業界に対して積極的に情報提供していくとともに、技術開発・事業化を支援していくことが重要である。この際には、既存システムに量子センシングを融合した統合的な視点が重要である。
- ✓ また、多くの企業の参画の促進や複数企業の連携エコシステム（水平分業・垂直統合等）を支援していくため、多様な産学官の関係者が情報共有・意見交換を行うことができる産学官のコンソーシアム等の体制づくりも推進する。

○量子センシングの利用・開発環境提供

- ✓ 量子センシング技術については、多くの企業にとって技術的な障壁が高く、さらには量子コンピュータと異なり、実世界のハードウェアの利用も伴うものが多いことから技術・利用面での支援も重要となる。
- ✓ このため、ユーザ・ベンダー企業に対して、量子センシングを容易に利用・開発できる環境（特に、幅広い産業用途に活用できる固体量子セン

サ、超偏極技術、光格子時計ネットワーク等)を提供するとともに、ユーザニーズに応じて必要な技術・利用面での支援を進めていくことが必要である。

- ✓ また、量子センシングの本格的な利用・普及のため、量子センシング技術の標準化の取組や、量子センシングを活用した計測標準に向けた取組も推進する。

○ユーザ産業の拡大・振興

- ✓ 量子センシングの産業の振興のためには、量子センシングを利用する様々なユーザ産業の発掘・拡大によってユーザのマーケットを拡大していくことが重要である。
- ✓ このため、量子センシングの利用環境の提供等も通じながら、多くのユーザにとって訴求力のある魅力的なユースケースづくりや事業化に向けた技術の開発・実証等の支援を積極的に行っていくことが重要である。
- ✓ この際には、ユーザが量子センシング技術を採用しやすいように、量子センシングの性能や既存センシングとの優位性(コスト、品質、生産等も含む)も含めて、正確で分かりやすい情報提供を積極的に提供していくことが重要である。

②量子マテリアル産業の振興

○量子マテリアルの技術開発・事業化支援

- ✓ 量子マテリアルは、量子コンピュータ、量子センシング、量子ネットワークの基盤となる技術であり、かつ我が国の産業界が強みを発揮できる技術分野でもある。
- ✓ 一方で、量子技術が確立していない、あるいはユースケース・マーケットが確立していないことから、現状では、マテリアル分野の産業の参入障壁は高いとの指摘もある。
- ✓ このため、量子技術の開発・事業化やユースケースづくりの際には、マテリアル分野の産業の参画の下、ハード・ソフトが一体となって技術開発・事業化を推進できる環境づくりを推進し、複数企業の連携エコシステム(水平分業・垂直統合等)の形成を目指していくことが重要である。

○量子マテリアルのサプライチェーン構築

- ✓ 量子マテリアルは量子技術の基盤となる技術であり、我が国として押さえるべき重要な量子マテリアルについて安定的なサプライチェーンを構築していくことが重要である。
- ✓ このため、主要拠点である量子産業支援拠点、量子機能創製拠点、量子

マテリアル拠点が連携し、産学官が一体となって、ユーザーニーズを踏まえながら、我が国として押さえるべき量子マテリアルを検討した上で、量子マテリアルを安定的に供給できる体制の構築を行う。

- ✓ さらに、将来の量子産業を見据えて、量子マテリアル（川上・上流）と量子デバイス産業（川下・下流）が連携する産業エコシステムの形成に向けても取り組むことが重要である。

(5) 共通事項

○量子産業の海外展開・グローバル連携

- ✓ 将来、量子産業の世界的に巨大な市場が見込まれる中で、海外市場を獲得していくためには、官民が一体となった国際展開や産業間でのグローバルな連携（技術協力、事業提携等）等を推進していくことが重要である。
- ✓ このため、先行している QKD ネットワークをはじめとして、量子技術の利用・技術実証で蓄積したノウハウ・実績を活用して、官民が一体となって、製品・サービス等の国際展開を推進していく。また、ベンチャー企業等の中小企業においては、海外展開の機会に乏しいケースが見られることから見本市出展を支援するなどきめ細かな支援の充実を図る。
- ✓ さらには、産学官の様々な階層における国際協力・対話を通じて、産業間の連携や国際標準の獲得等に向けて取り組むことも期待される。

○産学官の新たなパートナーシップ体制構築

- ✓ 産学官が連携を強化し、一体となって取り組むためには、産業界が中心となる組織「量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）」と、公的研究機関・大学等が中心となる組織「量子技術イノベーション拠点（QIH）」が、これまで以上に情報共有・交流・連携していくことが期待される。
- ✓ このため、QIH と Q-STAR が組織的に情報共有・交換を行うための定期的な場の設置や人材交等の新たなパートナーシップの体制（Q-Partnership（仮称））の構築など、産学官の連携体制を強化していくための取組を推進する。
- ✓ 国のプロジェクトの研究の進捗状況・成果についても、このような場で積極的に共有し、今後の産学官の連携による技術開発・事業化に向けた取組の充実・強化を図っていく。

○共創領域と競争領域を踏まえた産業支援

- ✓ 量子コンピュータ等の量子技術は未だに技術方式や勝ち筋は決定しておらず、実用化・大規模化のためには巨額の投資を必要とすることから、単独の民間企業のみではリスクが高い領域である。このため、共創領域と競争領域を考慮した上で産業支援を積極的に行っていく視点が必要とされる。
- ✓ 例えば、共創領域においては、共通技術、半導体等の試作・試験・評価等プロセス、共通部品等のサプライチェーン構築、ベンチマーク設定、標準化など、複数社で連携して取組を進めた方が効果的かつ効率的であることが期待される領域も考えられる。

- ✓ このため、産学官の連携の下、共創領域と競合領域で実施すべき取組を常に検討し、共創領域については、複数社が連携してオープンイノベーションで取り組むことができるような体制・仕組みづくりや必要な支援を行っていく。

○産業人材の確保・育成

- ✓ 量子分野においては世界的に人材が不足し、人材獲得競争も激化しており、産学官が一体となって、有志国とも連携しながら、長期的かつ戦略的に量子分野の産業人材を育成・確保していくことが重要である。
- ✓ 将来の産業を見据えると、量子分野の研究・技術人材のみならず、関連技術分野（半導体等のデバイス、アーキテクチャ・システム、ソフトウェア等）の人材も育成・確保していくことが必要となる。さらには、経営・知財・法律人材等の事業化・産業化をサポートする人材とともに、ユーザ分野の人材も育成・確保していくことが重要である。
- ✓ このため、大学・研究機関等や産業界など産学が一体となって、学生や産業人材を含む様々な分野の人材向けの教育プログラムの構築・提供を図っていくとともに、産学間や異分野間での人材マッチング（インターン制度等）や、国内外を含む産学官の人材交流・流動も推進していく。また、国の研究開発等のプロジェクトにおいても、様々な分野の人材が参画できるような仕組みとすることも重要である。さらには、人材供給源である中学・高校など若年層向けの教育プログラムも充実を図っていく。

○スタートアップ／ベンチャー企業を支援するイノベーション基盤の整備

- ✓ 我が国において、ソフト・ハードともにスタートアップ／ベンチャー企業（既存企業からのカーブアウトベンチャーも含む）が出現しており、それぞれのステージ・特徴に応じて、各種支援を充実させながら、既存企業との連携体制も含めてベンチャーエコシステムを形成していくことが重要である。
- ✓ 量子分野は長期的に投資や技術開発が必要である分野のため、積極的に国プロジェクトを活用しながら、産学官が一体となってベンチャー企業等を支援していくことが重要である。
- ✓ また、インキュベーション拠点や金融機関とのマッチング等を通じたベンチャー企業の創出・支援、スタートアップの担い手となる若手起業人材育成、量子技術を活用したビジネスアイデアを創出する仕組み（ピッチコンテスト、アイデアソン／ハッカソン等）、既存企業との連携やベンチャー企業同士の連携などエコシステム形成、事業活動の国内外への情報発信や海外展開支援など、ベンチャー企業等を支援する総合的なイ

ノバージョン基盤を形成していくことが重要である。

○標準化・知財化・ベンチマーク設定等

- ✓ 将来、量子産業の巨額な市場が見込まれる中で、我が国が海外市場を獲得して、経済成長の弾みとしていくためにも、標準化・知財戦略を含めて国際競争力の強化に向けて取り組んでいくことが重要となる。
- ✓ このため、産学官が一体となって、量子コンピュータ等の量子デバイス（材料・部品等を含む）の標準化すべき技術を検討した上で、標準化の取組を強力に進めていく。また、最先端の技術の研究開発を担うQIH等においても積極的に知財化を進めていくなど、知財化の取組を強化・加速することが重要である。
- ✓ また、ユーザにとって重要となる量子デバイスの性能・機能（既存技術に対する量子の優位性も含む）に関するベンチマークに関する情報の検討・設定・提供も行っていくことが重要である。

○サプライチェーンの構築（デバイス・部品・材料等を含む）

- ✓ 量子コンピュータ、量子センシング・量子マテリアル、量子ネットワークの研究開発・事業化を安定的に進めるためには、高度なデバイス・部品・材料を安定的に供給するサプライチェーンの構築が重要である。
- ✓ このため、我が国として確保すべき重要なデバイス・部品・材料を検討した上で、これらの安定的なサプライチェーンの構築を行っていくことが必要である。
- ✓ この際には、量子コンピュータ、量子センシング、量子ネットワークに固有・共通のデバイス等や民生品の活用等についても検討し、経済合理性を踏まえた検討を行う。さらには、担い手となる企業（中小企業も含む）も発掘するなどして裾野広い産業のエコシステムを構築し、経済波及効果の高い裾野の広い市場を形成していくことが期待される。