

令和4年度事前事業評価書

政策所管部局課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

評価年月：令和4年8月

1 政策（研究開発名称）

量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発

2 達成目標等

（1）達成目標

量子コンピュータや量子センシング等の量子技術は、従来型（古典）技術と比較して性能の飛躍的な向上が見込まれており、産業の成長機会の創出や社会課題の解決への貢献が期待されている。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、複数の量子コンピュータ¹の接続による量子ビット²数の大規模化・分散コンピューティング、量子センサ³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実現が求められているものの、従来の光通信とは異なり、長距離の量子通信には損失耐性・誤り耐性等、量子状態ならではの特殊な中継技術が必要であることから、技術的な課題となっている。

そこで、本研究開発では、量子状態を維持して長距離の通信を可能とするための量子中継技術、量子中継に必要な複数拠点間での高精度の時刻同期を実現する高精度時空間同期技術、量子通信プロトコルの基本方式の検討等を含めた量子ネットワーク構築技術を確立することにより、量子情報（量子ビット）の流通及び量子通信でしか実現できない機能を可能とする量子インターネットの実現を目指す。

（2）事後評価の予定時期

令和10年度に事後事業評価を行う予定。

3 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

令和5年度～令和9年度（5か年）

・想定している実施主体

民間企業、大学、国立研究開発法人等

・概要

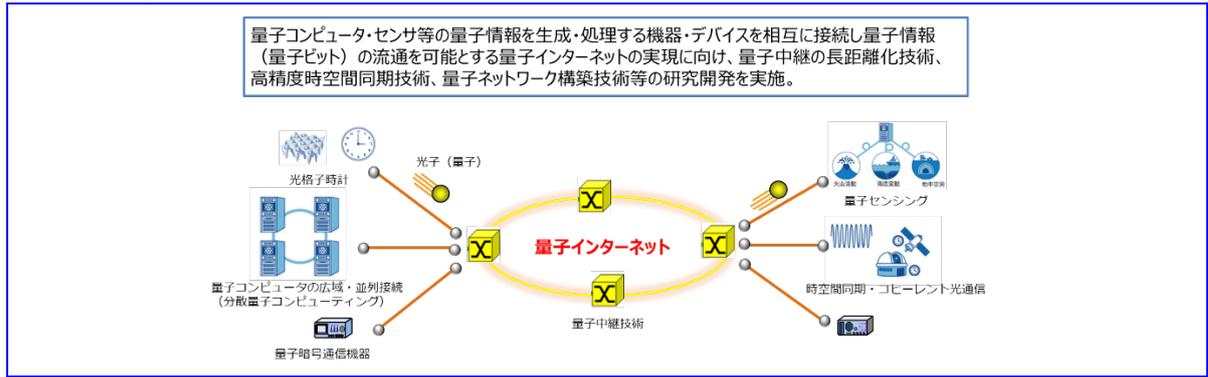
量子情報（量子ビット）の流通を可能とする量子インターネットの実現に寄与するため、以下の量子中継長距離化技術、高精度時空間同期技術及び量子ネットワーク構築技術の確立に向けた研究開発を実施する。

1 量子コンピュータ：量子力学の原理を用いた超並列処理によって、従来型（古典）技術のコンピュータと比較して、桁違いの計算速度を実現するコンピュータ。

2 量子ビット：量子情報の基本単位。従来のコンピュータで扱う古典ビットは情報を0と1のどちらか一方の値で表現するのに対し、量子コンピュータで扱う量子ビットは0と1の両方の値を同時にとることができ、量子コンピュータが超並列処理を可能とするための重要な性質となる。

3 量子センサ：量子力学の様々な現象を活用することにより超高感度の測定・計測を実現するセンサ。

・研究開発概要図

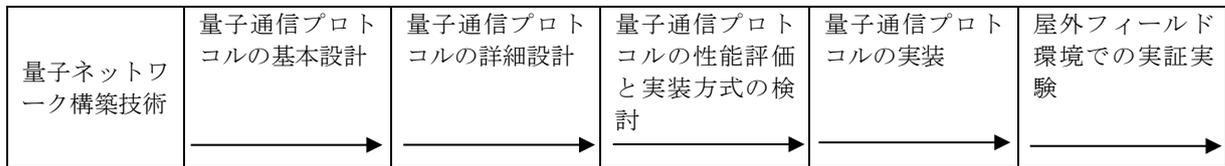


技術の種類	技術の概要
量子中継長距離化技術	<p>10km で 1 ホップ以上の多ホップ量子中継ネットワークの実現に必要な、1 ミリ秒以上の量子状態の保存を可能とする量子メモリ、量子波長変換、量子もつれ光源等の基本技術を確認する。</p> <p>図：量子中継技術（概略）</p>
高精度時空間同期技術	<p>光周波数標準を量子通信路上の複数拠点へ配信することにより各光源や量子デバイス等の高精度な時刻同期・周波数安定化を可能とする高精度時空間同期技術、コヒーレント光通信統合技術の基本技術を確認する。</p>
量子ネットワーク構築技術	<p>量子情報（量子ビット）の流通を可能とする量子インターネットの実現に向け、量子インターネットにおける通信プロトコルの基本方式、量子インターネットの特性を活用した認証技術や分散処理技術等、量子インターネットの構築に必要な基本技術を確認する。</p>

・スケジュール

技術の種類	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度	令和 8 年度	令和 9 年度
量子中継長距離化技術	量子メモリ、量子波長変換、量子もつれ光源の基本設計	量子メモリ、量子波長変換、量子もつれ光源の詳細設計	量子メモリ、量子波長変換、量子もつれ光源の1次試作と基本特性評価	量子メモリ、量子波長変換、量子もつれ光源の2次試作と詳細特性評価	各量子デバイスの統合検証、実証実験
高精度時空間同期技術	光周波数標準を用いたコヒーレント量子通信技術の基本設計	光周波数標準を用いたコヒーレント量子通信技術の詳細設計	光周波数標準ファイバーリンクを用いた長距離量子鍵配送 ⁴ システムの1次試作、検証	光周波数標準ファイバーリンクを用いた長距離量子鍵配送システムの2次試作、性能評価	屋外フィールド環境での実証実験

⁴ 量子鍵配送：暗号鍵を1ビットずつ量子の一種である光子のせて伝送し、2地点間で同一の鍵を共有する技術。



・ 総事業費(予定)

50.0 億円以上（うち、令和5年度概算要求額は事項要求のため金額未定）

(2) 研究開発の必要性及び背景

量子コンピュータや量子センシング等の量子技術は、従来型（古典）技術と比較して性能の飛躍的な向上が見込まれており、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への貢献が期待されており、近年、世界各国で開発競争が激化している。こうした中、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実現が期待されている。

他方、量子インターネットは従来の光通信によるインターネットと異なり、きわめて微弱な単一光子レベルで通信を行うため、量子力学の法則（量子複製不可能定理⁵⁾により光子の増幅が不可能⁶⁾であることから、長距離の量子通信を行うためには量子力学の法則に対応した特殊な原理の中継方式を検討する必要がある、技術的な課題となっている。現在、量子インターネットを実現するための量子中継技術については様々な手法・方式が検討されており、欧米等の諸外国では短距離ながらも拠点間のフィールド実証成功の報告がなされるなど、世界的にも量子中継技術の開発が加速している状況である。こうした中、量子通信の分野では 10km で 1 ホップ以上の中継を実フィールドにおいて実現することが非常に重要なマイルストーンとなっており、これを達成することにより世界的にも大きな技術的優位性を獲得でき、将来の量子インターネットの実現・実用化に向けた道筋を開くことができる。こうした状況を踏まえ、本研究開発は、量子状態を維持して長距離の通信を可能とするための量子中継技術や、量子中継に必要な複数拠点間での高精度の時刻同期を実現する高精度時空間同期技術、量子通信プロトコルの基本方式の検討等を含めた量子ネットワーク構築技術の確立を目的としたものであり、量子情報のやりとりを可能とする量子インターネットの実現に寄与する。本研究開発によって確立される技術は、幅広い分野での量子情報の流通を可能とし、最先端の量子技術を社会経済システム全体に取り込むための基盤として我が国の産業の成長機会の創出・発展に貢献するものであることから、本研究開発による利益は広く国民に享受されるものである。

また、最近では、社会インフラの基盤を構築する技術を他国に依存することのリスクが顕在化し、経済安全保障の重要性が改めて強く認識されており、各国間の技術覇権争いも激しさを増している。量子技術は、米国・欧州・中国等の諸外国においても国家戦略上の重要技術と位置付けられており、戦略策定、研究開発投資の拡充、テストベッドの整備等が急速に展開されているところである。さらに、高度な情報通信システムの研究開発には先進的な技術や大きな投資が必要であり、リスクが高く民間企業単独では取り組むことが困難である。また、量子通信技術については、現在実用化段階に入りつつある量子鍵配送用途のみならず、量子技術でしか実現できない精度や機能を通信インフラへの導入を加速するため、量子インターネットの実現に向けた研究開発に取り組むことが重要である。これは、基盤技術に優れた日本がアプリケーション技術で遅れを取る現状のデジタル通信インターネットの状況を繰り返さないためにも、アプリケーション展開も含めた量子インターネットの確立が必要とされる。このため、我が国でも国費を投じて官民一体となった研究開発を実施しなければ、技術開発力は大きく遅れを取ることとなり、技術開発競争の主導権を失うことで市場獲

5 量子複製不可能定理：未知の量子状態と同じ状態を複製することはできないという量子力学の定理。
 6 従来の光通信では光ファイバ中で減衰した光信号を中継器（光増幅器）によって光子数を増やすことで一定の信号強度を維持している。量子通信では信号と同じ光子を複製（増幅）することが不可能であるため、従来の通信方式を適用することができない。

得が困難になる。よって、国が戦略的に研究開発を実施し、国内民間企業・大学・研究機関等がそれぞれ有する得意分野の技術を結集させて技術的課題を解決し、我が国の国際競争力を強化する必要がある。

なお、本研究開発が対象とする量子技術は、以下に示す上位計画・全体計画等の政府方針において、国が主導して戦略的に開発すべき基盤技術として扱われており、本研究開発はこれらの方針に従い実施するものである。

(3) 政策的位置付け

○関連する主要な政策

V. 情報通信 (ICT 政策) 政策 9 「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」

○政府の基本方針 (閣議決定等)、上位計画・全体計画等

名称 (年月日)	記載内容 (抜粋)
経済財政運営と改革の基本方針 2022 (令和 4 年 6 月 7 日)	<p>第 2 章 新しい資本主義に向けた改革</p> <p>1. 新しい資本主義に向けた重点投資分野</p> <p>(2) 科学技術・イノベーションへの投資</p> <p>社会課題を経済成長のエンジンへと押し上げていくためには、科学技術・イノベーションの力が不可欠である。特に、量子、AI、バイオものづくり、再生・細胞医療・遺伝子治療等のバイオテクノロジー・医療分野は我が国の国益に直結する科学技術分野である。このため、国が国家戦略を明示し、官民が連携して科学技術投資の抜本拡充を図り、科学技術立国を再興する。</p>
新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 (令和 4 年 6 月 7 日)	<p>III. 新しい資本主義に向けた計画的な重点投資</p> <p>2. 科学技術・イノベーションへの重点的投資</p> <p>(1) 量子技術</p> <p>「新たな量子技術に関する戦略」に基づいて、計画的に取組を進める。</p> <p>量子技術は、演算分野 (コンピュータ・シミュレーション) や通信・暗号分野に強みがある。量子コンピュータを活用することで、医薬品候補探索の高速化や、化学材料の改良、渋滞解消等、様々な分野への応用が期待されている。</p> <p>量子コンピュータの大規模化・高機能化の研究開発については、半導体や Beyond 5 G などの他の技術分野との融合やこれを応用する分野の研究も視野に入れた上で、日本単独で考えるのではなく、先行する有志国の企業との連携を実施するなどグローバルな対応を進める。このため、量子コンピュータ等の次世代計算基盤に不可欠な次世代半導体の設計・製造能力の確保に向けて、日米の官民が連携し、2020 年代に設計・製造基盤を構築するためのプロジェクトを進める。</p> <p>また、量子技術の実証環境を整備し、量子コンピュータや量子暗号通信について、エネルギー、金融、創薬・医療、材料化学、航空、モビリティ等、幅広い分野で、実証を進める。加えて、産業化に向けた拠点整備を進める。</p> <p>さらに、現状の量子暗号通信は、遠距離 (数十 km 以上) では中継器が必要であり、セキュリティの低下が懸念される。量子状態を保ったまま通信できる量子ネットワーク技術の開発を進める。</p>
新しい資本主義実行計画フォローアップ (令和 4 年 6 月 7 日)	<p>・研究開発法人における拠点形成も含め、量子技術の実証環境を整備し、量子コンピュータや量子暗号通信について、エネルギー、金融、創薬・医療、生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心等、幅広い分野で、実証を進めるとともに、量子技術を活用した新産業や</p>

	<p>スタートアップ企業の創出・活性化を図る。</p> <ul style="list-style-type: none"> 量子暗号通信網の構築や量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発とともに、早期の社会実装に向けたテストベッドの整備等に取り組む。
<p>第6期科学技術・イノベーション基本計画 (令和3年3月26日)</p>	<p>第2章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策</p> <p>1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革</p> <p>(1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出</p> <p>(c) 具体的な取組</p> <p>④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI 利活用技術の整備・研究開発</p> <p>国土全体に網の目のように張り巡らされた、省電力、高信頼、低遅延などの面でデータやAI の活用に適した次世代社会インフラを実現する。このため、5G/光ファイバの整備を進め、5Gについては、2023年度末には98%の地域をカバーし、光ファイバについては、2021年度末には未整備世帯数が約17万世帯に減少すると見込まれる。さらに、宇宙システム(測位・通信・観測等)、地理空間(G空間)情報、SINET、HPC(High-Performance Computing)を含む次世代コンピューティング技術のソフト・ハード面での開発・整備、量子技術、半導体、ポスト5GやBeyond 5Gの研究開発に取り組む。</p> <p>2. 官民連携による分野別戦略の推進</p> <p>③ 量子技術</p> <p>量子技術は、我が国及び世界の社会、経済、産業、安全保障に大きな変革をもたらす可能性を秘めた革新的な技術である。近年、欧米や中国をはじめとする諸外国では、各国が巨額の投資と大型の研究開発に取り組むなど、将来の覇権をかけた国家間・企業間競争が激化しており、我が国においても量子技術の研究開発や社会実装に向けた戦略的な取組が求められている。</p> <p>このため、第6期基本計画期間中は、「量子技術イノベーション戦略」に基づき、量子コンピュータ、量子計測・センシング、量子通信・暗号等をはじめとする主要技術に関する研究開発の抜本的強化、量子技術イノベーション拠点の形成、国際協力の促進、戦略的な知的財産マネジメントと国際標準化、優秀な人材の育成に加え、既存技術と組み合わせることによる短中期での実用化も含めた、量子技術の産業・社会での利活用の促進等、基礎基盤的な研究開発から社会実装に至る幅広い取組を、我が国の産学官の総力を結集して強力に推進する。</p>
<p>統合イノベーション戦略 2022 (令和4年6月3日)</p>	<p>第1章 総論(新しい資本主義における「成長」と「分配」の好循環を支える科学技術・イノベーション)</p> <p>2. 科学技術・イノベーション政策の3本の柱</p> <p>もう一つの基礎となる柱は、分野別戦略やシンクタンク機能の強化を通じ、我が国の経済構造の自律性の向上、技術の優位性ひいては不可欠性の確保も念頭に、研究開発を戦略的に推進し、我が国の勝ち筋となる技術を育てることである。技術で勝って実装で負けるという状況から抜け出せていないことを踏まえ、AI・量子における新戦略の策定や、先端的な重要技術に関する調査分析を行うシンクタンクの進化により、社会ニーズに沿った勝ち筋を見定めた上で、経済安全保障重要技術育成プログラムや次期戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)等の着実な実施等により、社会実装につながる取組を加速させる。</p> <p>(3) 先端科学技術の戦略的な推進 ①重要技術の国家戦略の推進と国家的重要課題への対応</p>

	<p>(戦略的に取り組むべき基盤技術) 量子技術</p> <p>量子技術と従来型(古典)技術システムの融合・一体化によるサービス提供までを見据えた各技術領域(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/量子マテリアル等)の研究開発の抜本的な強化及び利用環境の整備等を推進するとともに、スタートアップ創出・活性化、量子技術イノベーション拠点の体制強化、人材の育成・確保、量子技術の知財・標準化、国際連携/産学官連携、アウトリーチ活動の推進、経済安全保障やビジネス環境整備等のイノベーション創出に向けた基盤的取組を強化する。</p>
量子未来社会ビジョン(令和4年4月22日)	<p>5.今後の取組 I.各技術領域の取組</p> <p>(3)量子セキュリティ・量子ネットワークに関する取組</p> <p>(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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。
デジタル社会の実現に向けた重点計画(令和4年6月7日)	<p>第6 デジタル社会の実現に向けた施策</p> <p>5. デジタル社会を支えるシステム・技術</p> <p>(4) デジタル社会に必要な技術の研究開発・実証の推進</p> <p>③ 安全・安心なデジタル社会を支える高度セキュリティ技術等</p> <p>ア サイバーセキュリティの研究開発等の推進</p> <p>データの自由かつ安全・安心な流通を両立するデータ収集・解析や連携基盤の構築にかかる技術に加え、実用的で大規模な量子コンピュータが実現することによる既存の暗号技術の危殆化を想定しつつ、耐量子計算機暗号や量子暗号通信、量子インターネット等に関する先進的な研究を推進する。さらに、量子コンピュータ時代に向けて、これらの研究開発成果を踏まえ、社会実装に向けた検討を進める。</p>

4 政策効果の把握の手法

(1) 事前事業評価時における把握手法

本政策の企画・立案に当たっては、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」(令和4年7月)において、本政策の必要性、有効性及び技術の妥当性等について外部評価を行い、政策効果の把握を実施した。

(2) 事後事業評価時における把握手法

本研究開発終了後には、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置付け及び目標、研究開発マネジメント、研究開発目標の達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績及び研究開発成果の社会展開のための計画等の観点から、外部評価を実施し、政策効

果の把握を行う。

5 政策評価の観点及び分析

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	<p>上記、3（2）研究開発の必要性及び背景に記載のとおり。</p> <p>また、本研究開発は、「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」、「統合イノベーション戦略 2022」及び「量子未来社会ビジョン」等の各政府戦略において重点的に取り組むべき技術課題として位置付けられている。</p>
効率性	<p>量子通信技術に関する専門的知識や研究開発遂行能力を有する企業、研究者等のノウハウを積極的に活用することにより、効率的に研究開発を推進することができるため、投資に対して最大の効果が見込める。量子通信技術等に関するこれまでの要素技術研究の成果と既存の評価環境を最大限に活用して効果的に研究開発・実証等を行う予定であり、また、「量子技術による新産業創出協議会⁷」等を通じて、基礎・応用・実用化研究、事業展開に資する活動を産学官連携で包括的に推進することとしており、投資に対して最大の効果が見込める。また、実施内容、実施体制及び予算額等については外部評価を行い、効率的に実施することとしている。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があると認められる。</p>
有効性	<p>量子中継長距離化技術、高精度時空間同期技術及び量子ネットワーク構築技術を確立することによって、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を可能とする量子通信基盤構築に目処が立ち、量子情報の流通を可能とする量子インターネットの実現に寄与することができる。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があると認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発の成果により、幅広い分野での量子情報のやりとりが可能となり、量子技術の利活用の基盤をなす通信技術として広く活用されることが期待されることから、利便性の向上や我が国の産業の成長機会の創出に繋がるなど、広く国民の利益になることが見込まれる。</p> <p>また、支出先の選定に当たっては、実施希望者の公募を広く行い、研究提案について外部専門家から構成される評価会において最も優れた提案を採択する方式により、競争性を担保する。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があると認められる。</p>
優先性	<p>本研究開発分野では、主要各国が量子インターネットに関する量子技術を国家戦略上の重要技術と位置付け、戦略策定、研究開発投資の拡充、テストベッドの整備等を急速に展開している状況である。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及び高度な量子技術の自国保有という観点から、国が主導し優先的に実施する必要がある。</p> <p>よって、本研究開発には優先性があると認められる。</p>

6 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発によって確立される技術は、幅広い分野での量子情報の流通を可能とし、最先端の量子技術を社会経済システム全体に取り込むための基盤として我が国の産業の成長機会の創出・発展に貢献するものである。

量子中継長距離化技術、高精度時空間同期技術及び量子ネットワーク構築技術を確立することによって、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を可能とする量子通信基盤構築に目処が立ち、量子情報の流通を可能とする量子インターネットの実現に寄与することができる。

よって、本研究開発には必要性、有効性及び技術の妥当性等があると認められることから、本事業を実施することは妥当である。

⁷ 量子技術による新産業創出協議会：量子技術の発展や将来の社会実装、産業の成長機会創出等に向けた取組を実施すべく設立された産業界主体の協議会。（2021年9月設立、2022年5月社団法人化）

7 政策評価の結果の政策への反映方針

評価結果を受けて、令和5年度予算において、「量子インターネット実現に向けた要素技術の研究開発」として所要の予算要求を検討する。

8 学識経験を有する者の知見の活用

「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（令和4年7月）において、本政策の必要性、有効性及び技術の妥当性等について外部評価を実施し、外部有識者から「世界に先駆けて量子インターネットの実現に道筋をつけることは、量子技術の自国保有や経済安全保障の観点からも極めて重要であり、国が主導して戦略的に開発すべき最優先課題の一つであると考えます。本研究開発では、センシングからコンピューティングまでを一気通貫に量子インターネットとして実現することが目標であり、システム規模が飛躍的に拡大するため、新たな応用やサービスが期待できる。」等のご意見を頂いており、「量子中継技術に取り組める段階に到達した技術動向を受けて、量子インターネットを目標とする計画は妥当である。基本技術の研究開発には相応の時間を要することが予想され、5年の研究開発期間も妥当である。」との評価を得た。このような有識者からのご意見を本評価書の作成に当たって評価に活用した。

9 評価に使用した資料等

- 経済財政運営と改革の基本方針 2022（令和4年6月7日）
<https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2022/decision0607.html>
- 新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画（令和4年6月7日）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/index.html
- 新しい資本主義実行計画フォローアップ（令和4年6月7日）
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/index.html
- 第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日）
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html>
- 統合イノベーション戦略 2022（令和4年6月3日）
<https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/2022.html>
- 量子未来社会ビジョン（令和4年4月22日）
https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigi_jutsu/ryoshimirai_220422.pdf
- デジタル社会の実現に向けた重点計画（令和4年6月7日）
<https://www.digital.go.jp/policies/priority-policy-program/>