

平成 31 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：令和元年 8 月

1 政策（研究開発名称）

グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発

2 達成目標等

（1）達成目標

近年の量子コンピュータ研究の加速化により、実用的な量子コンピュータ¹が実現されることで、現代暗号の安全性が破綻することが懸念されている。量子コンピュータ時代においても国家間や国内重要機関間の機密情報のやりとりを可能とするため、国として、グローバル規模での量子暗号通信²ネットワークを確立する必要がある。

そこで、将来的なグローバル量子暗号通信網の構築に向けて、本研究開発では、地上系については、通信のさらなる長距離化技術（長距離リンク技術及び中継技術）を確立し、衛星系については、衛星間中継技術の確立及び地上系との統合検証に向けた取組みを実施する。以上により、極めて堅牢性の高い安全なサイバー空間の実現に寄与する。また、開発成果の国際標準化・市場展開を推進し、我が国の量子暗号通信技術の国際的な競争力を強化する。

（2）事後評価の予定時期

下記の方針から、令和 8 年度に事後事業評価を行う予定。

地上系の研究開発を、通常のテレコム一般財源予算枠の中で、令和 2 年度予算から要求する（期間：令和 2～6 年度）。一方、衛星系については、令和 2 年度に、通常のテレコム一般財源予算枠の中で、衛星間中継技術の確立及び統合検証に向けて、研究開発の内容を具体化するための基礎調査（文部科学省による輸送手段及び衛星本体開発との調整を含む）を行う。衛星系の具体的な研究開発は、令和 3 年度から行うこととし（期間：令和 3～7 年度（最終年度には、地上系衛星系ネットワークの統合検証を合わせて実施予定）、その財源として、別予算枠を想定する。

3 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

令和 2 年度～令和 6 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

現在、量子暗号通信の基盤となる技術を確立すべく、地上の 2 地点間通信技術の研究開発（内閣府 SIP 第二期）、及び、衛星通信における量子暗号技術の研究開発（総務省委託研究）に取り組んでいるところである。特に、SIP 第二期では、医療分野や金融分野等、長期にわたって守る必要のあるデータを量子鍵配送³によって安全にやりとりすることに関する実際のユーザニーズを基にした、実用性の高い研究開発を進めており、さらに、通信の長距離化へのニーズも存在してい

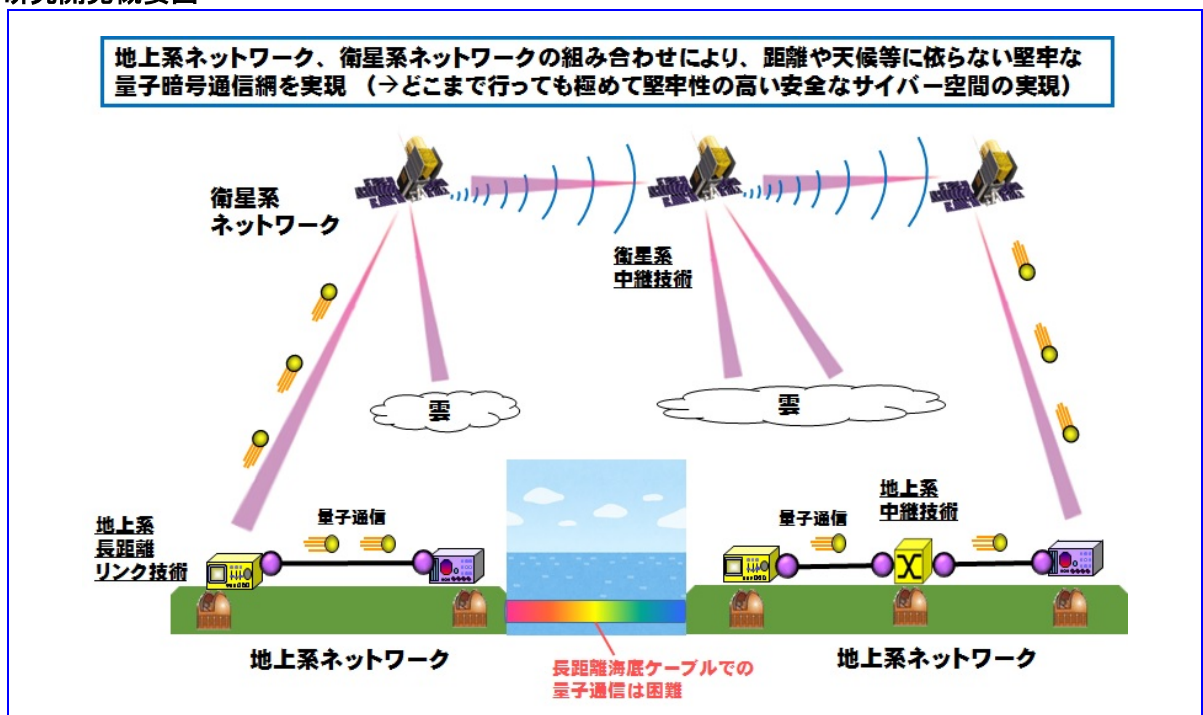
1 量子コンピュータ：量子力学の原理を用いた超並列処理によって、既存のコンピュータと比較して、桁違いの計算速度を実現するコンピュータ

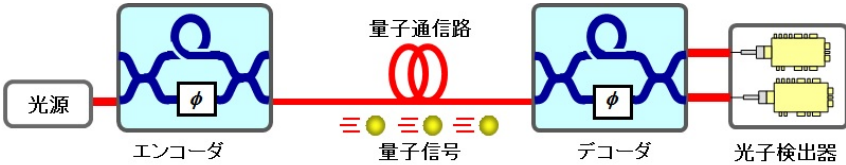
2 量子暗号通信：量子力学の原理を用いて原理的に安全性が確保される暗号及び通信の技術

3 量子鍵配送：光子一個一個に乱数情報をのせて伝送し、2 地点間で同一の鍵を共有する技術

る。しかしながら、地上系では衛星通信のような捕捉追尾等の技術が不要でかつ悪天候にほぼ左右されない反面、単一光子通信⁴の長距離化が課題であり、一方で、衛星系では宇宙区間において通信品質が劣化せず長距離化が容易である反面、高度な衛星捕捉追尾技術が必要でかつ長期の悪天候時に地上局と通信できなくなる恐れがある等の課題がある。従って、高速かつ高信頼で高い可用性を持つ量子暗号通信の実現及び普及には、上記実施中の研究プログラムで開発している地上系及び衛星系の個々の技術及びそれらの高度化に加え、双方を組み合わせたネットワーク化技術が不可欠である。グローバル規模での量子暗号通信ネットワークの実現に向けて、上記実施中のプログラムと密に連携しつつ、国家間や国内重要機関間、また医療・金融分野等での機密情報のやりとりをユースケースとした、以下の技術の確立に向けた研究開発を実施する。具体的には、地上系については、実用性が高く、かつ通信のさらなる長距離化が可能な技術（長距離リンク技術及び中継技術）を確立し、200km 圏量子暗号通信網における、高可用性及び鍵生成スループット 200Kbps を実現する。また、衛星系については、衛星間中継技術の確立にむけた取組み、及び、将来の 1000km 圏量子暗号通信網の構築・実証のための地上系との統合検証に向けた取組みを実施する。なお、各技術は、実施期間を通じて平行して研究開発を行うものである。

・研究開発概要図

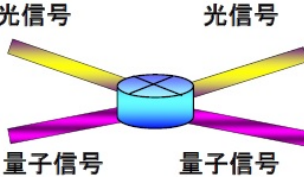
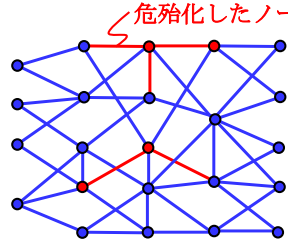
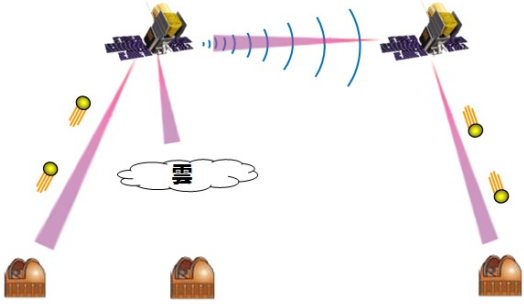


技術の種類	技術の概要
地上系長距離リンク技術	<p>地上系量子暗号通信の長距離化に向け、高効率な光子検出技術や、非量子暗号通信チャネル（例えば、波長多重⁵やマルチコア技術⁶）との並存技術等を駆使し、量子暗号通信の更なる長距離化や信頼性向上等が可能なリンク技術を確立する。</p>  <p>図：量子通信のリンク技術（概略）</p>

4 単一光子通信：光の粒 1 個 1 個を送信および受信(検出)する技術

5 波長多重：異なる波長に異なるデータをのせて送ることで、並列データ伝送を可能とする技術

6 マルチコア技術：ファイバ内に複数のコア（光信号の伝送路）をもうけ、ファイバあたりの伝送容量を増やすことができる技術

<p>地上系中継技術</p>	<p>地上系量子暗号通信の更なる長距離化に向け、中継ノードにおける光量子制御技術や、光子の干渉効果を活用した技術、光子対-電子スピン対のもつれ変換等の OEO 中継⁷方式、複数のノード及びリンクによる高度分散化技術等、地上系中継技術を確立する。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>図：中継ノード（イメージ）</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図：複数のノード及びリンクによる高度分散化技術（イメージ）</p> </div> </div>
<p>衛星間中継技術</p>	<p>距離や天候等に依らないグローバルな地上系衛星系統合量子暗号通信網を実現すべく、コンステレーション技術⁸等の衛星間中継技術の確立や地上系との統合検証、可用性の高いネットワーク運用等に向けて、基礎調査を実施することによって、衛星系研究開発内容を具体化する。</p> <div style="text-align: center;">  <p>図：衛星間中継技術（イメージ）</p> </div>

・スケジュール

技術の種類	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
地上系長距離リンク技術	量子暗号装置の基本設計、一次試作	量子暗号装置の詳細設計、二次試作、検証	都市内規模ネットワーク向け実装、実証	都市間規模ネットワーク向け実装、実証	大規模な実環境ネットワークでの総合実験
地上系中継技術	量子中継技術の方式理論検討、シミュレーション	量子中継器の基本設計、一次試作	量子中継器の詳細設計、二次試作、検証	室内ネットワーク実証実験	フィールド実装、ネットワーク総合実験
衛星間中継技術	研究開発内容の具体化のための基礎調査				

・総事業費(予定)

約 80.0 億円 (内、令和2年度概算要求額 15.3 億円)

(2) 研究開発の必要性及び背景

⁷ OEO 中継：光を一旦、電気に変換し、電氣的処理を行った後に、再度、光に戻して転送する方式

⁸ コンステレーション技術：多数個の衛星を衛星間通信により協調動作させるための技術

国家間や国内重要機関間の機密情報のやりとり及び長期にわたる秘密の確保は、安全保障上、非常に重要な課題である。計算量的安全性に基づく現代暗号技術である RSA 暗号⁹は量子コンピュータの実用化と共に解読が可能になると考えられており、量子コンピュータ研究の進展に伴って新しい暗号技術の実用化が急がれている。量子暗号通信は物理現象を基にした暗号技術であり、情報理論的安全性が証明されている唯一の手法であり、これまでに、100km 程度の距離における実証実験などが進められている。

地上系では衛星通信のような捕捉追尾等の技術が不要でかつ悪天候にほぼ左右されない。しかしながら、100km を大幅に超えるような長距離において、100km 毎に数珠つなぎにする既存手法は非効率かつコストがかかり、地上系のリンク技術及び中継技術の高度化によって、量子暗号通信の長距離化を図る必要がある。基礎研究フェーズでは、100km を超える伝送距離を達成するための技術が提案されているものの、実用性の高い量子暗号装置の開発には至っていない。一方、総務省委託研究において、衛星と地上局間の 1 対 1 の量子暗号通信に関する要素技術の確立に向けた研究開発も実施されている。衛星系では宇宙空間において通信品質が劣化せず長距離化が容易である。しかしながら、高度な衛星捕捉追尾技術が必要でかつ長期の悪天候時に衛星と地上間で通信できなくなる恐れがある。従って、高速かつ高信頼で高い可用性を持つ量子暗号通信を実用化するには、通信品質が劣化しない宇宙空間を有効活用し、地上系及び衛星系の統合によるネットワーク化を実現することが必要であり、そのための基盤技術の確立することが課題である。本研究開発は、距離や天候等によらず、日本全土をカバーし、かつ大陸間の通信も可能とするグローバルな量子暗号通信が可能なネットワーク構築のための基盤技術の確立を目的としたものであり、極めて堅牢性の高い安全なサイバー空間の実現に寄与する。

本研究開発のユースケースとしては、企業・国家等重要インフラ回線といった国のハイエンド用途に加え、医療情報（医療検査データやゲノムデータ等）や金融情報（株式等）の重要個人情報を扱うような民生のハイエンド用途において、量子鍵配送技術を用いた鍵の共有によって、データを安全にやりとりし、かつ超長期間（例：10 年超）守ることを可能とする基盤技術として広く利用されることが期待される。そのようなケースでは、耐量子-公開鍵暗号のような計算理論的安全性を実現する方式だと、“Store now, read later attack”（今はデータを盗聴して保存しておき、将来高度な計算機で過去に遡って全データを解読）や、予期せぬ災害や障害等（重要データの消失）が脅威となる。安全な流通だけでなくデータそのものを長期間守る必要があるといった高秘匿化を実現するという点において、情報理論的安全性に基づく量子暗号技術は、解読できないことを証明できる現在唯一の暗号通信方式である。

本研究開発分野は、欧米各国においても、国家プロジェクトとして大規模かつ戦略的な研究開発が行われるなど、国家イニシアティブを強化しており、国連の専門機関である国際電気通信連合（ITU）等においても、し烈な国際標準化競争が展開されているところである。日本でも、国全体を俯瞰した戦略策定及び研究開発が必要な時期である。我が国は、量子暗号通信技術の長年にわたる研究の蓄積により、基礎理論（量子鍵配送）や基盤技術（光波制御技術）等に優位性を有するため、研究協力に対する米欧からの関心は高い。とりわけ、量子暗号装置（海外製に比べ 10 倍高速、2 倍長距離）、テストベッド運用実績、キラーアプリ（分散ストレージ等）、技術統合などにおいて、世界をリードしており、また、衛星を用いた量子暗号通信においても世界最小となる超小型衛星を開発し、予備実験を実施している。将来のグローバル量子暗号通信網の実現に向けて、我が国の強み・競争力の確保と国際的な連携・協調とを組み合わせた戦略的な取組が必要であり、諸外国との国際連携を強化していく必要がある。

また、グローバル量子暗号通信ネットワークの実用化には 10 年以上かかると想定されるため、民間企業は取り組みにくく、国が主導する必要がある。さらに、民間企業は量子暗号装置の開発はできるが、グローバルネットワークを構築して機密情報をやりとりする拠点間へ導入していくには、国がアーリーアダプターとして主導する必要がある。また、通信技術の安全性確保という観点から、グローバルな地上系/衛星系統合量子暗号通信網の構築に向けた取組みを、総務省が主導して早期に実現する必要がある。

なお、本研究開発が対象とする量子暗号通信技術は、以下に示す上位計画・全体計画等の政府方

⁹ RSA 暗号：2つの十分な大きさを持つ素数同士の積を素因数分解することが非常に困難であることを利用して設計された暗号方式

針において、「特に取組を強化すべき主要分野」（「統合イノベーション戦略 2019」）として国が主導して開発すべきとされた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。また、本研究開発においては、下記のような政府としての戦略を具体化する必要がある。

（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）
統合イノベーション戦略 2019（令和元年 6 月 21 日）	<p>第 I 部</p> <p>8. 未来の競争力の鍵を握る重要分野</p> <p>AI、バイオテクノロジー、量子技術は、全ての科学技術イノベーションに影響する最先端の基盤的技術であり、経済社会構造にも大きな影響を与える。これらに関する世界レベルでの研究開発競争が高まっていることを踏まえ、AI、バイオテクノロジーに関する戦略を策定した。また、今後、量子技術に関する戦略を策定する。</p> <p>第 II 部</p> <p>第 5 章 特に取組を強化すべき主要分野</p> <p>(3) 量子技術</p> <p>① イノベーションにおける量子技術の必要性・重要性</p> <p>○ 世界的に経済・社会構造のパラダイムシフトの只中にあり、知識集約型の経済・社会への移行に向けて AI やデータの活用が極めて重要となる中、量子技術はその鍵となる基盤技術として位置付けられている。</p> <p>○ 例えば、量子コンピュータや量子計測・センシング、量子通信・暗号をはじめとする量子技術は、我が国製造業の生産性向上や健康・医療技術の進展、さらには国及び国民の安全・安心の確保など、飛躍的な革新をもたらす技術体系として期待が高まっている。</p> <p>○ このため、国として将来の産業・ビジネス構造等を見据えた上で、目指すべき社会像の実現に向け、産業・イノベーションまで念頭に置き、10～20 年の中長期的視点に立った戦略的かつ総合的な取組が必要不可欠である。</p> <p>③ 目標達成に向けた施策・対応策</p> <p><「量子技術イノベーション戦略」の策定・推進></p> <p>○ これまで個々に行われてきた取組を糾合し、国全体を俯瞰した「量子技術イノベーション戦略」を 2019 年末までに策定するとともに、これに基づき、国を挙げた量子技術イノベーションに関する総合的かつ戦略的取組を強力に推進する。</p> <p>(5) 安全・安心</p> <p>② 目標達成に向けた施策・対応策</p> <p>ii) 育てる</p> <p>先進的な技術についての基礎研究や挑戦的・革新的な研究開発を推進する制度を充実させ、安全・安心の確保に必要な科学技術を強力に育てていく。</p>

	(ア) 基盤技術 将来、幅広い領域で活用が期待される基盤技術（例えば、AI技術及び量子情報処理、量子暗号等を実現する量子技術等）
量子技術イノベーション戦略 中間報告（令和元年7月）	※上記の「統合イノベーション戦略2019」にて策定・推進するとされている「量子技術イノベーション戦略」であり、総務省が所掌すべき量子暗号通信技術を含むイノベーション戦略について、一般的に記述されている。
成長戦略2019（令和元年6月21日閣議決定）	量子に関する主要技術領域におけるファンディング・研究機関の取組の重点化・強化、国際研究開発拠点の推進、人材育成の推進、とされている。
世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画について（令和元年6月14日閣議決定）	V. 社会基盤の整備 1 5Gを軸とした協業促進によるインフラ再構築 (3) 5G環境等の普及、光ファイバ網の整備 ネットワーク機能向上に向けた5Gの高度化や量子通信技術等の研究開発を強化するとともに、その成果のビジネス支援やオープンイノベーションを促進する環境整備を行い、海外展開を見据えた我が国技術優位性を確保する。
宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項（令和元年6月4日）	2. 重点事項の概要 情報収集衛星の機数増、早期警戒機能の強化、ホステッド・ペイロードを含む宇宙システムの機能保証の強化、量子暗号通信技術の研究開発の強化等に取り組むことが重要である。 4. 重点的に検討すべき事項（詳細） I 宇宙安全保障の強化 [I-6] 宇宙システム全体の機能保証強化（工程表24） ・量子暗号技術等を活用した通信の強化、スペースデブリの除去技術、小型コンステレーションの活用等の宇宙システムのミッションアシュアランス（機能保証）に資する技術開発や衛星運用の動向を踏まえ、機能保障上の重要性に応じ関係省庁間の連携に資する取組を推進する。
防衛大綱の具体化と産業・科学における宇宙利用の拡大―第五次提言―（令和元年5月14日）	2-1. 防衛大綱の具体化 (3) 宇宙安全保障の強化（個別プログラム） ⑤防衛衛星通信、測位システム ・将来の防衛通信及びその他幅広い分野に必須となる量子暗号を用いた衛星通信の研究開発の加速
デジタル変革時代のICTグローバル戦略懇談会報告書（令和元年5月）	第5章 オープンイノベーションによるキーテクノロジーの高度化 5.1 今後の技術戦略の在り方の全体像 5.1.2 今後の技術戦略の在り方 イ キーテクノロジーのロードマップと時間軸 【各技術分野における主なキーテクノロジー】 D) セキュリティ：量子ICT、サイバーセキュリティ対策技術 ウ キーテクノロジーの高度化の3つの方向性と具体的なプロジェクト 方向性2) 安全安心なデータ主導社会の実現 ⑦ 量子ICT

	<p>盗聴できないことが数学的に保証された、秘匿性の高い通信を地球規模で実現し、通信の安全性が大幅に向上する。</p> <p>光ネットワークを越える大容量・低消費電力の通信を実現する。革新的ネットワークの次の世代のネットワークに向けた普及が始まる。</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」（令和元年8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・政策的位置付けおよび目標、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などの観点から、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、統合イノベーション戦略本部における今後の重点分野として策定された「量子技術イノベーション戦略（中間整理）」においても重点技術課題として整理されている。</p>
効率性	<p>量子暗号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。さらに、量子暗号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 ICT フォーラム」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>地上系長距離リンク技術、地上系中継技術及び衛星間中継技術を確立することによって、距離や天候等によらず、日本全土をカバーし、かつ大陸間の通信も可能とするグローバルな量子暗号通信網構築の目途が立ち、国家間や国内重要機関間の機密情報のやりとりの安全性確保に有効に対処するものであり、極めて堅牢性の高い安全なサイバー空間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>本研究開発の成果は、金融分野や医療分野など民生分野における要保護情報の安全なやりとりを可能とする基盤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>実用的な量子コンピュータ実現（米国 NIST による想定）により、現代暗号の安全性が破綻するので、国家間及び国内重要機関間の機密情報をやりとりする通信では、量子暗号の早期実現が極めて重要である。また、本研究開発分野では、主要各国が国家イニシアティブを強化しており、日本でも国</p>

全体を俯瞰した戦略策定が必要な時期であり、ITU SG13において、2019年6月に、ITU-T初となる量子鍵配送関連の勧告を日本主導で成立させた。日本は、量子暗号装置、テストベッド運用実績、キラーアプリ(分散ストレージ等)、技術統合などにおいて、世界をリードしている。堅牢性の高い安全なサイバー空間を早期実現するため、本研究開発で、グローバルな地上系/衛星系統合量子暗号通信網構築のための基盤技術を確立し、我が国が世界において優位性を確保するためにも、優先的にこれに取り組む必要がある。

よって、本研究開発には優先性があると認められる。

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、現代暗号の安全性の破綻が懸念されている量子コンピュータ時代においても、国家間や国内重要機関間の機密情報のやりとりが可能なグローバルな基盤構築に貢献するものである。

地上系長距離リンク技術、地上系中継技術及び衛星系中継技術を確立することによって、距離や天候等によらず、日本全土をカバーし、かつ大陸間の通信も可能とするグローバルな量子暗号通信網構築の目途が立ち、機密情報のやりとりの安全性確保に有効に対処するものであり、極めて堅牢性の高い安全なサイバー空間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 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2年度予算において、「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」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」（令和元年8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、ユーザニーズやSIP第二期との連携の明記、要素技術の追加、地上系長距離リンク技術の計画前倒し等のご意見を頂いており、「我が国の安全保障のみならず、国民生活に関わるプライバシーや金融システムの安全性を最高レベルで守るための喫緊の研究開発課題である。総務省が所掌すべき研究開発の最重要案件の1つである」と考える。」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

- 統合イノベーション戦略2019（令和元年6月21日）
<https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/index.html>
- 成長戦略2019（令和元年6月21日閣議決定）
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/>
- 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画について（令和元年6月14日閣議決定）
<https://cio.go.jp/node/2413>
- 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項（令和元年6月4日）
<https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan3/jyten.pdf>

○防衛大綱の具体化と産業・科学における宇宙利用の拡大—第五次提言—（令和元年5月14日）

https://jimin.jp-east-2.storage.api.nifcloud.com/pdf/news/policy/139795_1.pdf?_ga=2.34150690.2077056219.1562548970-538641691.1562204842

○デジタル変革時代のICTグローバル戦略懇談会報告書（令和元年5月）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000624358.pdf

○情報通信技術の情報通信技術の研究開発の評価について <一般>

http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/091027_1.html