

平成 29 年度事前事業評価書

政策所管部局課室名： 情報通信国際戦略局 宇宙通信政策課

評価年月：平成 29 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

衛星通信における量子暗号技術の研究開発

2 達成目標等

（1）達成目標

近年、世界的な宇宙分野における人工衛星等の産業利用に向けた活動が活発化しており、これまでは、商社や自動車など宇宙ビジネスに関わったことがない非宇宙系であった業界がその動きを牽引している。また、我が国のアクセルスペース社や米国の O3b Networks 社、One Web 社等によって衛星コンステレーション¹によるグローバルな地球観測や衛星通信網の構築に関する計画が進められており、今後一層の衛星利用の需要拡大が見込まれる状況である。

一方、衛星通信に対する第三者による通信内容の盗聴や改ざん、制御の乗っ取りといったサイバー攻撃が脅威となりつつあり、実際に攻撃を受けたという報告²もある。

本研究開発は、安全な衛星通信ネットワークの構築を可能とするため、小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術、光地上局の高感度受信技術及び空間光通信・高精度捕捉追尾技術により、高秘匿な衛星通信の確立に寄与する。また、国際標準の獲得等を推進することにより、我が国の国際競争力の向上に寄与する。

（2）事後評価の予定時期

平成 35 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

平成 30 年度～平成 34 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、独立行政法人等

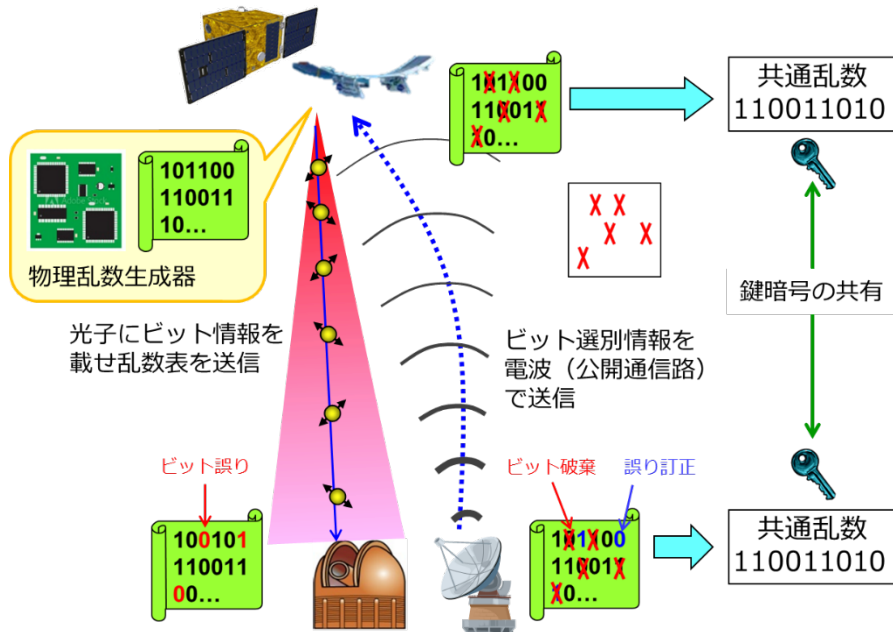
・概要

本研究開発では、第三者による攻撃を意に介さず、高秘匿な衛星通信を確立し、安全な衛星通信ネットワークの構築を可能とするため、①小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術、②光地上局の高感度受信技術、③空間光通信・高精度捕捉追尾技術を確立し、④インテグレーション・航空機等による実証実験を行う。

¹ 衛星コンステレーション：複数の人工衛星を連携して運用すること。一基一基は小型であることが多い。

² 宇宙×ICTに関する懇談会の報告書を参照。

・ 研究開発概要図



| 技術の種類 | 技術の概要 | | | | | | |
|---------------------------|---|-------|---|------|---|--------|---------------------------------------|
| <p>小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術</p> | <p>衛星通信網の情報セキュリティを確保するために、解読することが不可能な暗号鍵を衛星・地上間で配送する量子暗号通信技術の研究開発を行う。特に、低コストの小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術を開発することで、将来の衛星コンステレーションによるネットワークにも適用可能な情報セキュリティ確保の基盤技術を確立することを目的とする。</p> <p>量子暗号通信機は、量子通信部、鍵蒸留部及びデータ通信部の3つのユニットから構成される。</p> <table border="1" data-bbox="475 1104 1417 1395"> <tr> <td>量子通信部</td> <td>物理乱数源から生成された真性乱数を光の量子状態³に変調して空間伝搬させ地上局へ送信し、地上局において真性乱数を受信する。</td> </tr> <tr> <td>鍵蒸留部</td> <td>衛星と地上局間で共有した真性乱数を適切な信号処理により圧縮し、外部の第三者とは一切相関を持たない真性乱数を抽出し暗号鍵を生成する。 なお、量子通信部と鍵蒸留部によって安全な暗号鍵を生成する過程を量子鍵配送と呼ぶ。</td> </tr> <tr> <td>データ通信部</td> <td>量子鍵配送によって生成した暗号鍵で平文のデータを暗号化し安全な通信を行う。</td> </tr> </table> <p>光の量子状態は、通常的光通信の信号より損失や雑音による劣化を受けやすいため、量子鍵配送の距離と速度には限界がある。たとえば、地上の光ファイバのネットワークではファイバ内の不純物による光の散乱等のため、光の減衰が生じることから、概ね300kmを越える距離では安全な鍵の配送ができなくなる。一方、宇宙空間では本質的に光損失が無いので、衛星を用いることでグローバルスケールでの量子鍵配送が可能となる。そのため、グローバルスケールでの量子暗号通信の実現のため、電力や搭載スペースの限られた小型衛星上に搭載可能な量子暗号通信機を開発する。</p> | 量子通信部 | 物理乱数源から生成された真性乱数を光の量子状態 ³ に変調して空間伝搬させ地上局へ送信し、地上局において真性乱数を受信する。 | 鍵蒸留部 | 衛星と地上局間で共有した真性乱数を適切な信号処理により圧縮し、外部の第三者とは一切相関を持たない真性乱数を抽出し暗号鍵を生成する。 なお、量子通信部と鍵蒸留部によって安全な暗号鍵を生成する過程を量子鍵配送と呼ぶ。 | データ通信部 | 量子鍵配送によって生成した暗号鍵で平文のデータを暗号化し安全な通信を行う。 |
| 量子通信部 | 物理乱数源から生成された真性乱数を光の量子状態 ³ に変調して空間伝搬させ地上局へ送信し、地上局において真性乱数を受信する。 | | | | | | |
| 鍵蒸留部 | 衛星と地上局間で共有した真性乱数を適切な信号処理により圧縮し、外部の第三者とは一切相関を持たない真性乱数を抽出し暗号鍵を生成する。 なお、量子通信部と鍵蒸留部によって安全な暗号鍵を生成する過程を量子鍵配送と呼ぶ。 | | | | | | |
| データ通信部 | 量子鍵配送によって生成した暗号鍵で平文のデータを暗号化し安全な通信を行う。 | | | | | | |
| <p>光地上局の高感度受信技術</p> | <p>衛星通信網における量子鍵配送の実現には、衛星から送信される光の量子状態を地上にて検出可能な『量子受信機』の開発が不可欠である。量子状態を検出する既存の受光素子は、高速化・低雑音化・高感度化のため受光面が小さく設計され、光ファイバとの接続により受光するものである。本研究開発では、確実かつ効率的な量子状態の受信を実現するため、量子受信機の感度を従来比10倍まで改善することが必要である。一方、衛星から地上局に届くビームは空間的に広がるため、これを望遠鏡で集光し、ビームを絞りながら光ファイバに入射させ受光素子まで導く必要があるが通常、この過程では受信電力や信号対雑音比が劣化してしまう。このため、量子受信機や各センサへの背景雑音の影響を低減するため、光学フィルタや最適なセンサ視野角の設計等により外乱光の低減を行い、受信電力や信号対雑音比の改善を検討し、光地上局の高感度化を目指す。</p> | | | | | | |

³ 量子状態：「光子」のような量子力学に従う物理系がとる状態。

| | |
|-----------------------|---|
| 空間光通信・高精度捕捉追尾技術 | 衛星による量子暗号通信のメリットを最大限引き出すためには、衛星から出射される量子状態のビームを可能な限り細く絞り地上局の望遠鏡に照準を合わせる必要がある。超小型衛星では、高精度な捕捉追尾が難しいことから、送信機から光を狭ビームで出射した場合に追尾可能な高精度な捕捉追尾技術の開発が必要である。そこで、移動体及び光地上局に搭載可能な高精度な捕捉追尾系を有する空間光通信機器の地上実証モデルを開発し、量子暗号通信機と組み合わせて、地上における実証実験を行う。捕捉追尾精度は、従来の超小型衛星で用いられた光通信機器の捕捉追尾精度より、10倍程度の高精度化を目指す。 |
| インテグレーション・航空機等による実証実験 | 上記の各要素技術の統合及び小型人工衛星や航空機等の飛翔体に搭載可能なモデルの設計・開発・検証を行うとともに実装による量子暗号通信の実証実験を行う。 |

・スケジュール

| 技術の種類 | 平成 30 年度 | 平成 31 年度 | 平成 32 年度 | 平成 33 年度 | 平成 34 年度 |
|-----------------------|----------------|-----------------|-------------------|----------|----------|
| 小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術 | 設計・要素試作 | ブレッドボードモデル製作・評価 | 航空機搭載モデル製作・評価 | | |
| 光地上局の高感度受信技術 | 既存装置の改修設計・部品調達 | 改修・単体試験 | 評価・バグ取り ・信頼性試験 | | |
| 空間光通信・高精度捕捉追尾技術 | 設計・部品調達 | 開発 | 性能評価・改修 | | |
| インテグレーション・航空機等による実証実験 | | 航空機調査・無線局免許申請 | | 統合試験 | 実証実験 |

・総事業費(予定)

約 15.5 億円 (うち、平成 30 年度概算要求額 3.1 億円)

(2) 研究開発の必要性及び背景

近年、宇宙分野における人工衛星等の産業利用に向けた官民の活動は国際的に活発化しており、日本経済団体連合会は、今後の我が国の宇宙関連産業の市場規模について、2030 年代には 20 兆円の市場規模を見込んでいる。また、こうした動きを牽引しているのが、これまで、商社や自動車など宇宙ビジネスに関わったことがない非宇宙系であった業界であり、人工衛星の利用により取得されるデータや衛星測位データ等の収集・活用に着目してビジネス化を図るなど、宇宙の産業利用としての適用分野の裾野を拡げつつある。また、世界的な動向として、我が国のアクセルスペース社や米国の 03b Networks 社、One Web 社等によって衛星コンステレーションによるグローバルな地球観測や衛星通信網の構築に関する計画が進められており、衛星を利用する通信は、今後一層の需要が見込まれる状況である。

こうした中、宇宙利用に対して脅威となりつつあるのが、衛星通信に対する第三者による通信内容の盗聴や改ざん、制御の乗っ取りといったサイバー攻撃である。サイバー攻撃に対するセキュリティに関しては、絶対に秘匿可能であるという量子暗号技術の開発が地上系で進められており、衛星通信への導入も期待されている。しかしながら、宇宙空間で利用される人工衛星でこうした技術の適用を図るには、宇宙空間という特殊な環境、衛星という限られたスペース及び電力といった、地上よりも制約の多い環境下でも動作可能な高度なシステム構築を必要とする。また、移動している衛星からの光を受信できるように地上局の衛星追尾精度や感度を高める必要がある。

そこで、本研究開発では、小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術、光地上局の高感度受信技術及び空間光通信・高精度捕捉追尾技術の開発によって、高秘匿な衛星通信技術を実現する。また、得られた成果について国際標準の獲得等を推進することによって、我が国の国際競争力の向上を図る。

(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) |
|--|---|
| 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた中間取りまとめ (平成 29 年 6 月 15 日) | <p>3. I (2) 宇宙機器の競争力強化 [I (2)-1] 技術試験衛星 (工程表 13) ・通信衛星に関しては、宇宙通信システム技術に関する研究開発の一環として、光・レーザー通信や量子暗号化技術等の衛星通信用技術の開発にかかる検討を平成 29 年度に行い、平成 30 年度及びそれ以降の取組を具体化する。</p> |
| 宇宙産業ビジョン 2030 (平成 29 年 5 月 29 日) | <p>4. 宇宙機器産業 4. 2 宇宙機器産業の振興 4. 2. 2 国際競争力の確保 (新型基幹ロケット (H3)、小型ロケット、部品・コンポーネント戦略、調達制度、技術開発) <技術開発支援策の強化> 宇宙関連技術は、科学技術と安全保障の両面の特性を有しており、我が国の国民生活を支えるものである。このようなデュアルユース技術については、研究機関・大学においても、研究者の裁量と責任において、積極的に取り組んでいくことが望ましい。また、デブリ除去技術、小型 SAR (合成開口レーダー) やテラヘルツセンサー、測位技術、衛星通信用技術⁴⁰、宇宙太陽光発電など、我が国の強みや重要技術を戦略的に強化していくことも重要である。 ⁴⁰ 光・レーザー通信や量子暗号化技術等</p> |
| 宇宙×ICTに関する懇談会 報告書 (平成 29 年 8 月 8 日) | <p>第3章 新たな価値を創造する宇宙×ICT の重点4分野とこれらを支える基盤技術 3-6 宇宙×ICT を支える基盤技術 3-6-1 衛星セキュリティ技術 ③ 要素技術の研究開発ロードマップ 衛星搭載用暗号技術の実用化を目指し、衛星通信用軽量暗号化技術の研究開発を進める。また、次世代光・量子暗号通信技術の実用化を目指し、衛星・地球局間のレーザー捕捉・追尾技術の高精度化、光子検出器の高速・高感度化、衛星用鍵蒸留システム、光伝搬視野特性モニタ・解析技術の研究開発を実施する。</p> <p>第5章 宇宙×ICT 総合推進戦略 5-6 基盤技術研究開発推進戦略 このため、総務省においては、どれ程の計算力をもってしても解読できない安全性を備えた通信を実現するための暗号技術として、衛星に搭載した物理乱数源から生成された真性乱数を、レーザー光で地上局へ伝送する技術及び衛星・地上局間で共有した真性乱数データから安全な暗号鍵を蒸留する技術 (量子暗号等) の開発を推進するとともに、高秘匿衛星光通信技術の実証を行うことが適当である。</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」(平成 29 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並びに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 | 上記、3(2)研究開発の必要性及び背景に記載のとおり。 |
| 効率性 | <p>本研究開発の実施に当たっては、衛星通信及び量子暗号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。</p> <p>また、研究開発成果の早期展開を図るため、外部有識者や専門家を含む研究開発運営委員会を通じた、多様な業界との連携・協力の下、共創的に取り組みを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。</p> <p>さらに、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>本研究開発の実施により、小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術、光地上局の高感度受信技術及び空間光通信・高精度捕捉追尾技術を確立することにより、量子暗号技術を利用した衛星通信を利用可能となるため、高秘匿な衛星通信技術の確立に寄与する。また、諸外国においても、国家レベルでの量子暗号を用いた高秘匿な通信技術に関する研究開発が積極的に進められ、技術開発競争が激化している中、安全な衛星通信を行うための技術を他国に先んじて確立し、研究開発成果に関する国際標準の獲得等を推進することにより、我が国の国際競争力の向上に寄与する。</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>本研究開発の実施により、量子暗号技術を用いた衛星通信が実現し、安全に衛星通信を利用することができるようになることから、衛星コンステレーションによるグローバルな衛星通信網の構築等、人工衛星を用いた衛星通信サービスの展開が促進され、国民生活の利便性の向上が期待されるなど、その成果による利益は広く国民に享受されるものである。</p> <p>また、本研究開発の実施に当たっては、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>衛星コンステレーションによるグローバルな衛星通信網の構築等、人工衛星を用いた衛星通信サービスの展開が促進されるなど、今後一層、衛星通信の需要が見込まれる状況であることから、安全な衛星通信のサービス提供を可能とする技術開発が喫緊の課題となっている。</p> <p>また、諸外国における国家レベルの量子暗号通信技術に関する研究開発が積極的に進められていることから、我が国の国際競争力を確保するために安全な衛星通信を行うための技術を他国に先んじて確立することが必要であり、本技術を早急に開発することが極めて重要である。</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)

近年の宇宙分野における人工衛星等の産業利用に向けた活動の活発化を牽引しているのは、これまで商社や自動車など宇宙ビジネスに関わったことがない非宇宙系であった業界であり、宇宙の産業利用としての適用分野の裾野を拡げつつある。それとともに、我が国のアクセルスペース社や米国の03b

Networks 社、One Web 社等によって衛星コンステレーションによるグローバルな地球観測や衛星通信網の構築に関する計画が進められており、衛星を利用する通信は、今後一層の衛星利用の需要拡大が見込まれる状況である。その一方で、衛星通信に対する第三者による通信内容の盗聴や改ざん、制御の乗っ取りといったサイバー攻撃が脅威となりつつある。

本研究開発の実施により、小型衛星に搭載可能な量子暗号通信技術、光地上局の高感度受信技術及び空間光通信・高精度捕捉追尾技術の開発によって、量子暗号技術を利用した衛星通信を利用可能とし、高秘匿な衛星通信技術を実現する。また、得られた成果について国際標準の獲得等を推進することによって、我が国の国際競争力の向上を図る。

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、平成 30 年度予算において、「衛星通信における量子暗号技術の研究開発」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」（平成 29 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「衛星通信における量子暗号通信技術の確立は、今後の宇宙産業の活性化及び国際競争力の向上に資する極めて重要な研究である。当該分野は諸外国も積極的に開発を進めている状況であり、国際競争力向上の観点から、我が国も早急に研究開発に着手すべきである。なお、研究開発を進めるに当たっては、国際標準化を目指し、諸外国の研究機関との連携も視野に入れつつ進めるべき。」との評価を得た。このような有識者からの御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

- 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた中間取りまとめ（平成 29 年 6 月 15 日宇宙政策委員会決定）
<http://www8.cao.go.jp/space/hq/dail15/gijisidai.html>
- 宇宙産業ビジョン 2030（平成 29 年 5 月 29 日宇宙政策委員会決定）
<http://www8.cao.go.jp/space/vision/vision.html>
- 宇宙×ICTに関する懇談会 報告書（平成 29 年 8 月 8 日 総務省）
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin05_02000011.html
- 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
http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/091027_1.html