「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証」に関する研究開発構想（プロジェクト型）

令和４年１０月
（令和７年４月改定）

内閣府
経済産業省

目次

１．事業の背景、目的、内容 4
（１）事業の目的 4
① 政策的な重要性 4
② 我が国の状況 5
③ 世界の取組状況 7
④ 本事業のねらい 8
（２）事業の目標 9
① アウトプット目標 9
② アウトカム目標 11
（３）事業の内容 12
研究開発項目① システム設計 12
ア．研究開発の必要性 12
イ．具体的研究内容 12
ウ．達成目標 17
研究開発項目② 重要要素技術の開発 17
ア．研究開発の必要性 17
イ．具体的研究内容 19
ウ．達成目標 26
研究開発項目③ システム実証 26
ア．研究開発の必要性 26
イ．具体的研究内容 26
ウ．達成目標 28
２．実施方法、実施期間、評価 28
（１）事業の実施・体制 28
（２）事業の実施期間 28
（３）評価に関する事項 29
（４）社会実装に向けた取組 31
（５）総予算 31
（６）経済産業省の担当課室 31
３．その他重要事項 32
（１）研究開発成果の取扱い 32

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及.....32
② 標準化施策等との連携.....32
③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い.....32
（２）「研究開発構想」の見直し.....32
（３）研究開発の対象経費.....33
４．研究開発構想の改定履歴.....33
（参考１）.....34
（参考２）.....36

１．事業の背景、目的、内容

（１）事業の目的

① 政策的な重要性

宇宙領域における通信・観測・測位を担う衛星コンステレーションは、防衛、海洋、防災、環境など様々な分野での利用が拡大し、我が国の安全保障や経済社会にとって不可欠なインフラとなる見込みである。宇宙基本計画（令和 2 年 6 月、閣議決定）においても、「低軌道での衛星コンステレーションの構築は、これまでにないコスト低減、新技術の実証機会の拡大、技術更新期間の短縮等のイノベーションの機会をもたらし、これからの宇宙政策は、安全保障等の観点も含め、このような大きなゲームチェンジを前提に検討していく必要がある」としている。

一方、安全保障上重要な地球観測衛星コンステレーションにおいては、宇宙と地上を結ぶ通信リンクにおいて、

（ア）観測データ量の増大による通信容量増大要求への対応

（イ）観測データのダウンリンクや撮像の即応性向上要求への対応

（ウ）衛星通信ネットワークのセキュリティ向上要求への対応

（エ）衛星通信のための電波資源の枯渇への対応

等の課題が顕在化している。

総務省は、5G の次の世代である「Beyond 5G」（いわゆる 6G）の導入時に見込まれるニーズや技術進歩等を踏まえた総合戦略「Beyond 5G 推進戦略－6G へのロードマップ－（令和 2 年 6 月）」を公表し、2030 年代 Society5.0 社会において目指すべき Beyond 5G の姿として、「地上、海、空、宇宙などフィジカル空間のあらゆる場所において生ずる様々な事象について、各種センサーなどを用いて最新のデータをできる限り多く収集することが必要となる。その際、全国を網羅するデータの神経網として、Beyond 5G を支える高度な光通信ネットワークの整備が必要である」としている。宇宙空間における光通信は、単一のペアからなる衛星間のデータ中継手段として既に実用化されているが、光通信機器の重量・消費電力・コストがいずれも大きく、小型衛星を用いる衛星コンステレーション間の光通信ネットワークとしては実現出来ていない。

経済安全保障重要技術育成プログラムの研究開発ビジョンにおいても、宇宙・航空領域で支援対象とする技術において、

- 低軌道衛星間光通信技術
- 自動・自律運用可能な衛星コンステレーション・ネットワークシステム

技術

- 高性能小型衛星技術

が上げられている。

本研究開発構想では、研究開発ビジョン（第一次）に定められた衛星通信の抜本的強化のため、プロジェクト型として上記の 3 つの技術をシステム化し、地球周回衛星群（通信衛星、観測衛星等）と地上局群が構成する各ノード間に光通信及び高速 RF 通信でデータリンクを張り、当該データリンク群からなる光通信ネットワークの制御等を適切に行うことで、観測衛星から観測データを使うエンドユーザまで大容量・低遅延でのデータ通信・データ処理のサービスを提供することを可能とする技術（以下、「衛星光通信ネットワーク技術」という。）を研究開発することを目的とする。

② 我が国の状況

我が国では 2022 年以降に JAXA が地球観測のための大型の光学衛星とレーダー衛星を打ち上げ、それぞれ 1 日あたり数テラバイトの観測データが収集される。ニュースペースにおいても、2023 年までに小型の光学衛星とレーダー衛星それぞれによる衛星コンステレーションが 10 機程度（光学 10 機、レーダー14 機の予定）で構築される計画が進められており、コンステレーション毎に 1 日あたり数テラバイトの観測データが収集される。このような状況下で、観測データを地上のエンドユーザに送信する際に必要な通信リンクの確保がボトルネックになりつつある。今後、大容量の通信リンクが確保できないと衛星コンステレーション事業の発展にとって阻害要因ともなりかねない。

我が国の宇宙空間における光通信の実験は 1994 年に ETS-6 に搭載されたレーザ通信装置により衛星―地上局間で行われ、これが世界で初めての宇宙光通信となった。1990 年代に主に欧州で衛星間光通信システムの開発が進められる中、我が国でも 2005 年に JAXA が打ち上げた光衛星間通信実験衛星 OICETS が NICT も参加して、欧州 ARTEMIS との間で異なる機関間での世界初の衛星間光通信、及び双方向通信に成功している。この時の通信速度は 50Mbps であり、使用されたレーザーダイオード（LD、Laser Diode）は 300mW と当時の世界最高出力のものであった。

その後、我が国での宇宙光通信の実用化は遅れていた。これは、光通信の弱点として大気の揺らぎや水蒸気に弱く、とくに地上局との間に雲や霧があると光が遮断されるので、静止衛星を使わず可視時間の短い低軌道衛星と地上間で

ダイレクトに大容量で信頼性の高い通信リンクとして成立させるには技術的な課題が大きかったためである。一方、2010 年代以降になり大型衛星による観測データの増大や地球規模の衛星コンステレーションの発展により大容量の通信リンクの重要性が高まるとともに、通信衛星コンステレーションにより複数の衛星と地上局に多数の通信リンクを張り、雲や霧の影響を受けにくい地球低軌道の衛星光通信ネットワーク技術に注目が集まり、研究開発が世界的に活発に行われている。

JAXA は、2020 年に光データ中継衛星を打ち上げ、2021 年に光衛星間通信システム（LUCAS）が地上局との双方向の光リンクを成立させている。2022 年以降、前述の光学衛星とレーダー衛星との間で光通信を行い、観測データを地上にダウンリンクする予定である。通信速度は 1.8Gbps であり、光の波長は 1.5μm、通信方式は DD-DPSK（Delay line Detection-Differential Phase Shift Keying）と米国等が採用している技術と同等である。光データ中継衛星は静止衛星であるため地球低軌道の光通信ネットワークとは求められる技術が異なる部分もあるが、今後、光学衛星とレーダー衛星間で光通信リンクを確立し地上局へのデータ・ダウンロードが成功すれば、衛星光通信ネットワーク技術確立に向けての基盤技術として大きく貢献することになる。

地球低軌道の衛星光通信ネットワーク技術を活用した宇宙通信インフラを担う民間企業としては、2022 年 6 月にソニーが光衛星通信事業を行う新会社 Sony Space Communications Corporation を設立し、同じく 7 月に NTT とスカパーJSAT が持続可能な社会の実現に向けた新たな宇宙統合コンピューティング・ネットワーク事業を担う合弁会社 Space Compass を設立している。ソニーは JAXA と共同で小型の光衛星通信実験装置 SOLISS を開発し、2020 年 3 月には宇宙と地上間の双方向光通信に成功している。NTT は地上の光通信ネットワークで 65％のシェアをもち、スカパーJSAT は後述する欧州の光データ中継衛星でサービス提供の実績をもつ。

JAXA、NICT を中心に我が国の宇宙光通信の研究開発の歴史は長く、中国を除けばアジア地域で唯一、宇宙光通信全般の基盤技術を有している。また、光通信で技術的優位性を持つ民間事業者主体の宇宙通信インフラ会社も設立されており、安全保障分野はもちろんのこと、経済社会インフラとして実用化が見込まれる衛星光通信ネットワーク技術を確立する意義は大きい。

③ 世界の取組状況

静止軌道を活用した光データ中継衛星の分野では欧州が先行している。ドイツ航空宇宙センター（DLR、Das Deutsche Zentrum fur Luft- und Raumfahrt）が欧州データ中継システム（EDRS、European Data Relay System）を利用して宇宙光通信技術を研究開発しており、2013 年には低軌道衛星 ALPHASAT との間で通信速度 1.8Gbps の軌道上実証を行い、その後 EDRS-A 及び EDRS-C と欧州宇宙機関（ESA、European Space Agency）の地球観測衛星 SENTINEL シリーズとの間で光データ中継の実運用を開始している。EDRS-A 及び C は大西洋上の衛星であるが、3 機目の EDRS-D はアジア・オセアニア上空にありスカパーJSAT が協力してサービスが提供される。

米国では、NASA と MIT が中心になり日欧から遅れて 1.5μm の波長で 1.2Gbps の通信速度を持つ光データ中継衛星の開発を進めてきた。しかし、2019 年に設置された国防総省傘下の宇宙開発庁（SDA、Space Defense Agency）が、大規模イニシアチブである国家防衛宇宙体系（NDSA、National Defense Space Architecture）の構想を立ち上げ、その NDSA において 7 種類のレイヤーのうちの通信レイヤーである Transport Layer に衛星光通信ネットワークを構築するとしたことから大幅な研究開発のスピードアップが図られている。

Transport Layer では 2026 年までに Tranche 1 と呼ばれる 6 軌道面に 21 機、合計 126 機の小型衛星からなる通信衛星コンステレーションが作られ、衛星光通信ネットワークが構築される計画である。2022 年 2 月までにロッキードマーチン（Lockheed Martin）、ヨーク・スペースシステムズ（York Space systems）及びノースロップ・グラマン（Northrop Grumman Strategic Space Systems）の 3 企業が SDA と開発契約を結んでいる。

米国での構想を受けて、欧州においても欧州委員会（EC、European Committee）が 2022 年 2 月に欧州連合（EU、European Union）独自の衛星通信網の構築計画を策定する規則案を提出した。この計画では、2023 年から開発を始め、2025 年までに通信サービスの一部提供を開始するとともに、量子暗号技術の軌道上試験を実施、2028 年までに量子暗号技術を含む全ての通信サービスの提供を目指すとしている。エアバス（Airbus）がコンソーシアムを率い、タレス・アレーニア・スペース（Thales Alenia Space）、アリアンスペース（Arianespace）等が参画する予定である。

これら米欧の大規模システムの開発構想に応える形で光通信機器の開発に

新規参入するメーカの動きが活発化している。DLR 発のベンチャーである衛星搭載用の光通信装置を製造する Mynaric は、米国防高等研究計画局（DARPA）の研究プログラム「Space-Based Adaptive Communications Node (Space-BACN)」に採択され、次世代光通信端末のアーキテクチャ設計に取り組んでいる。我が国でも東大発のベンチャーであるアクセルスペースが「Beyond5G 次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発」に採択され、小型衛星に搭載可能な Ka 帯・光通信機器の研究開発に取り組んでいる。

このように従来の技術先行の研究開発から、国家規模で衛星光通信ネットワークの構想が立ち上がり、それに適応する小型・高性能・低コストな光通信機器の技術開発が実施されるという大きな流れが出来ており、我が国においても宇宙通信インフラを構築する必須技術として衛星光通信ネットワーク技術を実証する意義が大きい。

④ 本事業のねらい

通信インフラは、社会経済活動、安全保障活動を行う上で必須の基盤インフラであり、我が国が他国に依存することなくこれを自律的に構築する能力をもつことは重要である。さらに、世界的に社会経済活動、安全保障活動が宇宙・空にその活動領域を広げており、宇宙通信インフラの重要性が増している。一方、欧米では安全保障ニーズから国家規模の宇宙通信インフラ構築の研究開発構想が立ち上げられているが、まだ技術の確立までに至っていない。

本事業では、我が国が世界に先んじて地球規模の衛星光通信ネットワークシステムを構築するための衛星光通信ネットワーク技術を確立し世界市場で優位性をもちルール形成等で主導的立場に立つことを目的とする。衛星光通信ネットワーク技術は、通信衛星コンステレーションや、Beyond 5G における非地上系ネットワーク（NTN、Non Terrestrial Network）等の通信インフラにおいて重要な構成要素であるため、単なる要素技術開発にとどまることなく通信インフラとしての所要のサービス・機能をグローバル・ファーストに安全保障ユーザをはじめ民間事業者にも提供することを目標に掲げる。

そのため、2028 年度までに重要要素技術の地上での機能・性能実証を終え、特に重要機器である光通信ターミナルは宇宙に打ち上げ宇宙空間での実証に着手する。そして、2029 年度に複数の光通信衛星を打ち上げ、衛星間の光通信機能・性能を実証する。これを受けて、2031 年までに複数の軌道面に地球

観測衛星を含む複数の光通信衛星を配備し、日本近傍で衛星光通信ネットワークシステムとしての機能・性能実証を行い、所要の通信サービス機能をもつことを検証する。同時に他の通信衛星コンステレーションとの相互運用も視野に入れることで、地球規模のサービスを行うための衛星コンステレーション構築の費用負担を下げるとともに、インターオペラビリティ性能を持たせることによる国際的な技術競争力を獲得することも目指す。

（2）事業の目標

① アウトプット目標

本事業において研究開発する衛星光通信ネットワーク技術は、研究開発ビジョンに則り、光通信衛星と地球観測衛星からなる低軌道衛星に搭載される低軌道衛星間光通信技術と、地上局を含む通信衛星コンステレーションで使用される自動・自律運用可能な衛星コンステレーション・ネットワークシステム技術からなる。あわせてこれを搭載する高性能小型衛星技術と必要な標準化技術（コンポーネント、衛星製造技術等）も開発する。

以上をまとめた開発対象は以下に示すとおりである。ただし、地上局に関しては先行事業の成果を活用するものとする。

- 光通信衛星（小型衛星、中型衛星の 2 種類）
- 地球観測衛星
- 地上局
- 低軌道衛星間光通信技術
- 自動・自律運用可能な衛星コンステレーション・ネットワークシステム技術
- 高性能小型衛星技術

それぞれの技術開発の最終目標を以下に示す。詳細については、（3）事業の内容に示す。

ア．高性能小型衛星技術と必要な標準化技術、及び低軌道衛星間光通信技術

【高性能小型衛星技術】

- 光通信衛星（小型）：300kg～400kg 級小型衛星＠軌道高度 1,000km※1
- 光通信衛星（中型）：600kg～750kg 級中型衛星＠軌道高度 1,000km※1
- 地球観測衛星：　　100kg～300kg 級小型衛星＠軌道高度 600km※1

※1　軌道高度は研究開発開始時の目標とし、研究開発項目であるシステム

設計の結果で最適値を決定する。

【低軌道衛星間光通信技術】

・ 軌道面内光通信※2： 通信速度 2～5Gbps 以上＠通信距離 4,000km
・ 軌道面外光通信※2： 通信速度 2Gbps 以上＠通信距離 4,000km
・ 静止軌道光通信※2： 通信速度 2Gbps 以上＠通信距離 40,000km
・ 初期捕捉時間： 1 分以内
・ 接続ノード数： 低軌道光通信衛星間 3 ノード以上同時接続
（光通信衛星） ＋地球観測衛星 1 ノード or 地上局 1 ノードに接続※3
＋静止軌道光通信衛星 1 ノードに接続※3

※2 通信衛星コンステレーションは、16 衛星/軌道面×6 軌道面の光通信衛星群を想定する。
軌道面内光通信は、同一軌道面内で隣接する光通信衛星間の通信である。軌道面外光通信は、隣り合う軌道面で隣接する光通信衛星間、光通信衛星と地球観測衛星間、及び光通信衛星と地上局間の通信である。
静止軌道光通信は、光通信衛星と静止軌道上の光データ中継衛星間の通信である。
通信速度は、システム設計、2024 年度以降の光通信ターミナルの宇宙実証等を踏まえつつ、国際競争力を持つものとする。

※3 可視時間に接続。
静止軌道光通信は、光通信衛星（中型）に適用する。光通信衛星（小型）において静止軌道光通信を行うことも許容されるが、軌道面内光通信、軌道面外光通信も実施すること。

イ．地上局、及びネットワーク運用制御技術

【地上局（先行事業の成果を活用)】

・ 局数： 日本国内に 2 局（サイトダイバーシティ機能を含む）
・ 光アンテナ： 直径 40cm 以上、1 局あたりに複数光アンテナ設置

【自動・自律運用可能な衛星コンステレーション・ネットワークシステム技術】

・ ネットワーク規模： 光通信衛星 16 機/軌道面×6 軌道面
＋地球観測衛星 10 機
＋静止軌道光通信衛星 3 機
＋地上局 2 局×光アンテナ（複数台）
＠衛星光通信ネットワーク構築時※4

※4　衛星光通信ネットワークシステム構築時点で、ネットワーク運用制御が可能な衛星コンステレーション規模（最小値）を示す。本事業で全ての衛星を宇宙空間に配備することを求めるものではない。ネットワークの性能は以下に示す。

・ ネットワーク構築：　10 秒以内@自動運用、1 分以内@手動運用※5
・ ネットワーク通信：　通信速度 2Gbps@1 地上局※5
・ ネットワーク遅延：　400msec 以下@準リアルタイム通信時※6
・ ネットワーク瞬断：　1 秒以下@99%、準リアルタイム通信時※6

※5　ネットワーク構築は衛星間で光キャリア信号が捕捉されている状態からネットワーク通信が可能な状態を構築すること。ネットワーク通信は地球観測衛星から光通信衛星コンステレーションを介して地上局までの双方向通信を想定する。

※6　準リアルタイム時の通信速度は、システム設計の結果定めるものとする。

② アウトカム目標

本事業の終了時から数年以内に以下のアウトカムが得られていることを目標とする。

ア.　本事業の成果が基盤となり、観測衛星コンステレーションの撮像データ等が、任意のタイミングにおいて日本のみならず地球規模でエンド・トゥ・エンド（衛星から地上ユーザ及び地上システムまで）に大容量・低遅延で通信・データ処理するサービス提供が可能な衛星光通信ネットワークシステムが構築され、これが民間事業化又は政府調達されてシステムとして稼働していること。

イ.　当該システムが、海外の同種のシステム（例えば、NDSA 構想の Transport 層）と相互接続され、地球規模の衛星光通信ネットワークシステムとして相互運用されていること。

ウ.　当該システムによるサービスが民間事業者により運営され、我が国政府のみならず、海外の政府、衛星事業者、通信事業者等にも利用されていること。

エ.　本事業の成果から生まれた製品（衛星、地上局、コンポーネント等）が、我が国政府のみならず、海外の政府、衛星事業者、通信事業者等からも調達されていること。

（３）事業の内容

本事業で研究開発を実施する衛星光通信ネットワーク技術は、我が国が社会経済活動、安全保障活動を行う上で必須の基盤インフラ技術であり、他国に依存することなくこれを自律的に構築する能力を担保し、国の政策実施のために必要なデータ等の取得、分析及び提供することを目的としている。また、世界的にも本技術は確立されておらず、本事業と同様の研究開発構想においても民生利用のみならず公的利用につなげていくことが前提となっている。そのため以下の研究開発項目は全て委託で実施するものとする。

なお、先行事業としては Beyond５G 基金で実施されている「Beyond5G 次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発」があり、地上実証された先行事業（要素技術）の成果をシステム化、宇宙実証として発展させることを想定している。

研究開発項目① システム設計

ア．研究開発の必要性

本事業では、地球規模の衛星光通信ネットワークシステムを構築するための衛星光通信ネットワーク技術を確立することを目的とし、要素技術開発にとどまることなく通信インフラとしての所要のサービス・機能をグローバル・ファーストに提供することを目標に掲げている。

これを達成するためには、国際市場において競争力をもつシステムの性能を想定した上で、アフォーダブルなもの（個々の要素技術で高性能を追求することなく、システム全体として必要な機能・性能を低コスト・短期間でユーザに提供できるもの）として開発・実証する必要がある。システム設計では、システムの性能からサブシステム及びキーとなるコンポーネントに性能要求をフローダウンするにあたり、バランスのとれた要求仕様となるものとする。

イ．具体的研究内容

本研究開発で想定する衛星光通信ネットワークシステムの全体像（本事業の成果をもとに通信サービスが提供される時点でのシステム構成）を図１に示す。

衛星光通信ネットワークシステムは、複数の軌道面に配置された光通信衛星(小型）と光通信衛星(中型）からなる光通信衛星コンステレーション、観測データを生成する地球観測衛星、データのダウンリンク受信及び地球観測衛星と光通信衛

星にコマンドを送信する地上局、ネットワーク統合制御システム、観測衛星データの処理サービス提供等を行う衛星データプラットフォームのサブシステム群から構成される。

光通信衛星、地球観測衛星及び地上局は、本システムにおいて通信ネットワークの「ノード」と総称する。各ノード間は光通信又は高速 RF 通信により通信リンク（以下、「光又は RF リンク」という。）が結ばれる。このうち、光通信衛星(小型)は低軌道衛星（光通信衛星と地球観測衛星から成る）と地上局とのデータ転送を担う。光通信衛星(中型）は、これらに加え、静止軌道に置かれたデータ中継衛星とのデータ転送と、搭載した計算機システムによるデータ保存及びデータ前処理を行う機能（宇宙コンピューティング機能）を持つ。衛星データプラットフォームは地上局へダウンロードした観測衛星データの処理サービス提供等を行う。各サブシステムの構成と主要機能、及びサブシステム間の関係を図 2 に示す。

図 1　本研究開発で想定する衛星光通信ネットワークシステム

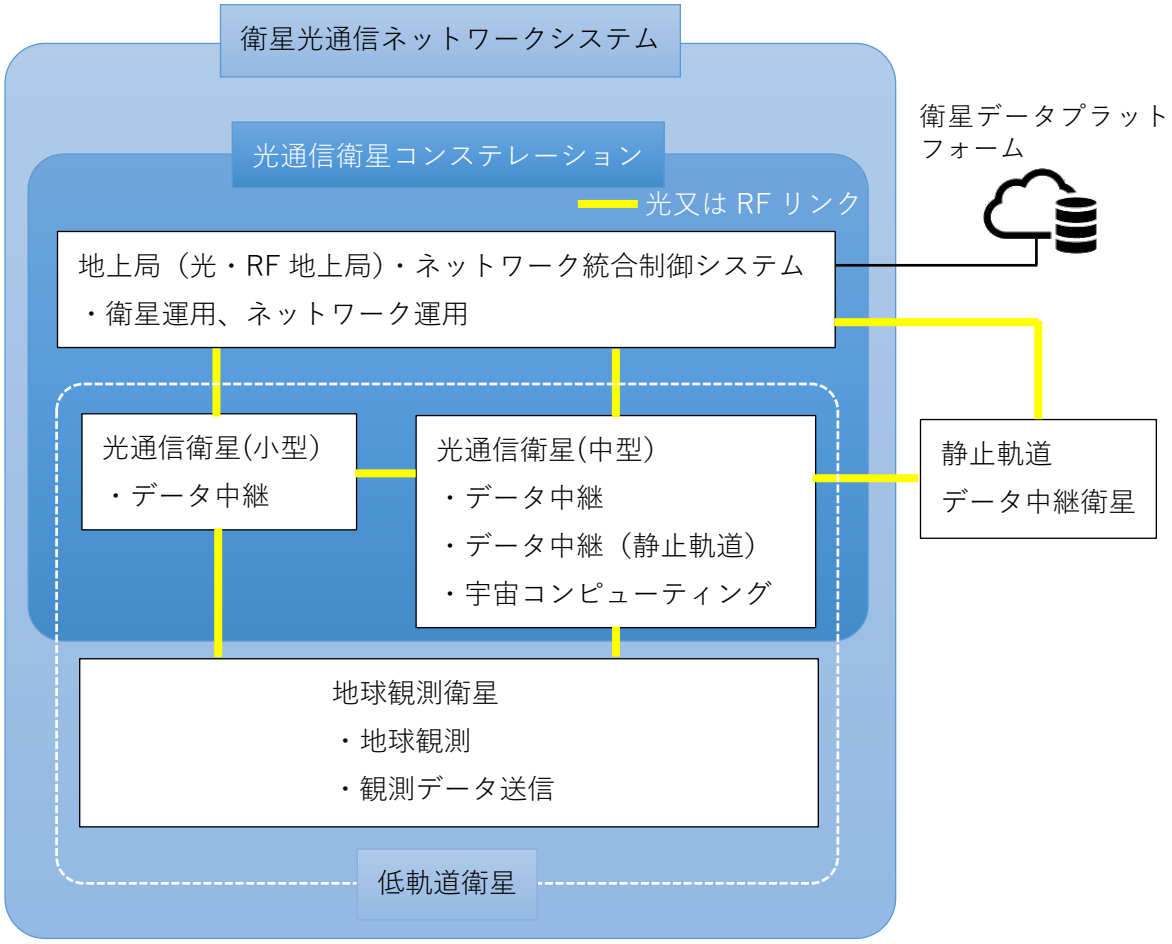


図２　サブシステムの構成と主要機能、及びサブシステム間の関係

システム設計では、複数の軌道面に配置された光通信衛星(小型）と光通信衛星(中型）からなる光通信衛星コンステレーション、観測データを生成する地球観測衛星、データのダウンリンク受信及び地球観測衛星と光通信衛星にタスクコマンドを送信する地上局（以下、光通信のための光地上局と高速 RF 通信のための RF 地上局を総称して「地上局」という。）及び衛星データプラットフォームの最適な構成を検討する。

検討項目は以下のとおりである。

（ア）衛星光通信ネットワークシステムの機能・性能

衛星光通信ネットワークシステムの機能・性能を検討する。衛星コンステレーション完成時に衛星光通信ネットワークシステムが最低限必要とする機能は、他国

の衛星・地上局に依ることなく、我が国の地上局から地球低軌道上の任意の地点にいる地球観測衛星に撮像コマンドを含むタスクコマンドを任意の時間に送信し、コマンドに応じた観測データを我が国の地上局でダウンロード受信可能とすることである。また、観測データに即応性が必要とされる場合、準リアルタイムでダウンロード受信可能とする。

衛星光通信ネットワークシステムが最低限保証する性能は、システム構築初期段階（本研究開発で実施するシステム実証段階）で、地上局 1 局あたりのダウンリンク速度が 2Gbps 以上（LUCAS で保証される通信速度と同等以上)、準リアルタイム通信時の許容遅延時間が 400ms 以下(静止衛星経由に対して優位性を持つ)とする。

（イ） 光通信衛星コンステレーションの規模等

（ア）の衛星光通信ネットワークシステムの性能を達成するのに必要な光通信衛星コンステレーションの軌道面の数、光通信衛星の数及び配置、地上局の数及び配置等を検討する。その際、機能・性能、コスト、開発期間の最適なバランスを取るものとする。

（ウ） 光通信衛星(小型）のシステム設計

（イ）の光通信衛星コンステレーションを構成するために必要な光通信衛星(小型）の衛星規模・機能・性能、光又は RF リンクの機能・性能等を検討する。光通信衛星(小型）は、1 軌道面内に多数の衛星が配置されることを前提とし、コスト及び開発期間に重点をおくものとする。

（エ） 光通信衛星(中型）のシステム設計

（イ）の光通信衛星コンステレーションを構成するために必要な光通信衛星(中型）の衛星規模・機能・性能、光又は RF リンクの機能・性能、宇宙コンピューティング（搭載した計算機システムによるデータ保存及びデータ前処理を行う機能）の機能・性能等を検討する。光通信衛星(中型）は、1 軌道面内に少数の衛星が配置されることを前提とし、機能・性能の発展性に重点をおくものとする。

（オ） 地上局システムの設計

（イ）の光通信衛星コンステレーションを構成するために必要な地上局の規模（光・RF アンテナの 1 局あたりの数、計算機システムの能力等)、光・RF アンテ

ナの機能・性能を検討する。

（カ） ネットワーク統合制御システムの設計

光通信衛星コンステレーションの管制、光又は RF リンクの制御、衛星光通信ネットワークの運用制御等を統合的に行うネットワーク統合制御システムの機能・性能を検討する。ネットワーク運用制御は最低限、光通信衛星 6 軌道面×16 機＋地球観測衛星 10 機＋静止軌道光通信衛星 3 機＋地上局 2 局×光アンテナ（複数台）からなる衛星コンステレーションを運用できる能力を持つものとし、準リアルタイム通信時の許容瞬断時間は 1 秒以下@99%ネットワーク稼働率、ネットワーク構築に掛かる時間は 10 秒以内@自動運用、1 分以内@手動運用とする。

（キ） 地球観測衛星システム設計

必要な衛星規模・機能・性能、観測データ量、光又は RF リンクの機能・性能等を検討する。

（ク） システム構築・実証計画の立案

衛星光通信ネットワークシステム全体の構築計画、本研究開発で実施する部分システムの構築（実施者による衛星打ち上げを含む）・実証計画、本研究開発中の段階的なサービス機能検証を実現するための方策を立案する。

本事業内のシステム実証では、我が国の地上局を使って 1 日あたり少なくとも 2 時間の実証が可能なように衛星を配備する。例えば、想定する通信衛星コンステレーションにおいて、昇交点赤経で 30° の離角を持つ 2 軌道面にそれぞれ光通信衛星(小型) 4 機、光通信衛星(中型) 1 機の計 5 機の衛星を配備し、地上局 2 局で 2 時間以上（2 局合わせて 1 時間以上連続×2 回）の実験が可能とすることを想定する。

また、サイバー空間を利用したシステム実証が可能とするよう検討する。

（ケ） リスクアセスメント

衛星間光通信ネットワークシステム全体とネットワーク運用制御システム等のサブシステムについてリスクアセスメントを行う。これにより得られた知見は、個社情報は除いた形で、「民間宇宙システムにおけるサイバーセキュリティ対策」のアップデートへのフィードバック情報として提供する。

リスクアセスメントについては、システム構成図、ネットワーク構成図、情報資

産の一覧などから攻撃シナリオを机上で洗い出すことを基本とするが、必要に応じて、システムに対する脆弱性診断、ペネトレーションテストなどを行うことも可能とする。また、リスクアセスメントの主体は、メーカ自身が行う場合、外部の専門家が行う場合、いずれも可能とする。

ウ．達成目標

2023 年度にシステム設計を終了するものとする。ただし、システム設計終了前にも重要要素技術のフロントローディング研究が実施可能となるように、重要要素技術については優先してシステム性能からフローダウンを行い、要求仕様を決定するものとする。また 2023 年度以降も、要素技術開発の結果によりシステム設計に反映すべき点等は維持設計として継続して設計への反映を実施するものとする。

システム設計の評価は、システムとして必要な機能・性能を低コスト・短期間でユーザに提供できるよう機能・性能要求の分析とアーキテクチャ設計を実施し、要素技術へのバランスのとれた仕様の導出を行ったかの観点で実施する。

研究開発項目② 重要要素技術の開発

ア．研究開発の必要性

研究開発項目①のシステム設計において識別された要素技術を決定された要求仕様に従い研究開発する。ただし、以下の要素技術については、光通信ネットワークシステムのシステム性能を決めるとともに、海外も含めて技術確立が十分に行われておらず国際競争力の源として必須の重要要素技術であるのでシステム設計の終了を待たずに研究開発を開始するものとする。

（ア-1） 地上局・低軌道衛星間で通信可能な光通信ターミナル及び光通信衛星(中型)に搭載する静止軌道データ中継衛星と通信可能な光通信ターミナル

（ア-2） 光通信ネットワークを構築可能とする光通信ルータ

（ア-3） （ア-1）及び（ア-2）からなる光通信機器を制御する計算機システム（光通信衛星(中型)においてはデータ保存とデータ前処理を行う宇宙コンピューティング能力を持つ）

（ア-4） （ア-1)、（ア-2）及び（ア-3）からなる衛星間光通信システムを搭載可能な中・小型衛星バスの標準化

（イ-1） ネットワーク運用制御技術

（イ-2） （イ-1）のネットワーク運用制御を担うネットワーク制御システムと衛星運用を担う衛星管制システム（合わせてネットワーク統合制御システムと呼ぶ)、及び衛星自律化システム ((ア-3) の計算機システム、若しくは衛星バス計算機に搭載を想定する）

（イ-3） 低軌道光通信衛星と通信可能な地上局（光地上局については、サイトダイバーシティー機能をもつ）

（イ-4） 衛星光通信ネットワークシステムをサイバー空間で実証可能とする光通信ネットワーク・エミュレータ。(ア-4）の衛星打ち上げ後は、物理空間上の光通信衛星と連携して光通信衛星コンステレーションによる衛星光通信ネットワークシステム全体の実証機能をもつ。

ここにおいて、(ア-*）は、光通信衛星と地球観測衛星からなる低軌道衛星に搭載される重要要素技術、(イ-*）は、地上局を含む光通信衛星コンステレーションで使用される重要要素技術である。各重要要素技術の構成を図 3 に示す (重要要素技術のみを示しているので、他の要素技術、サブシステムについては示していない)。

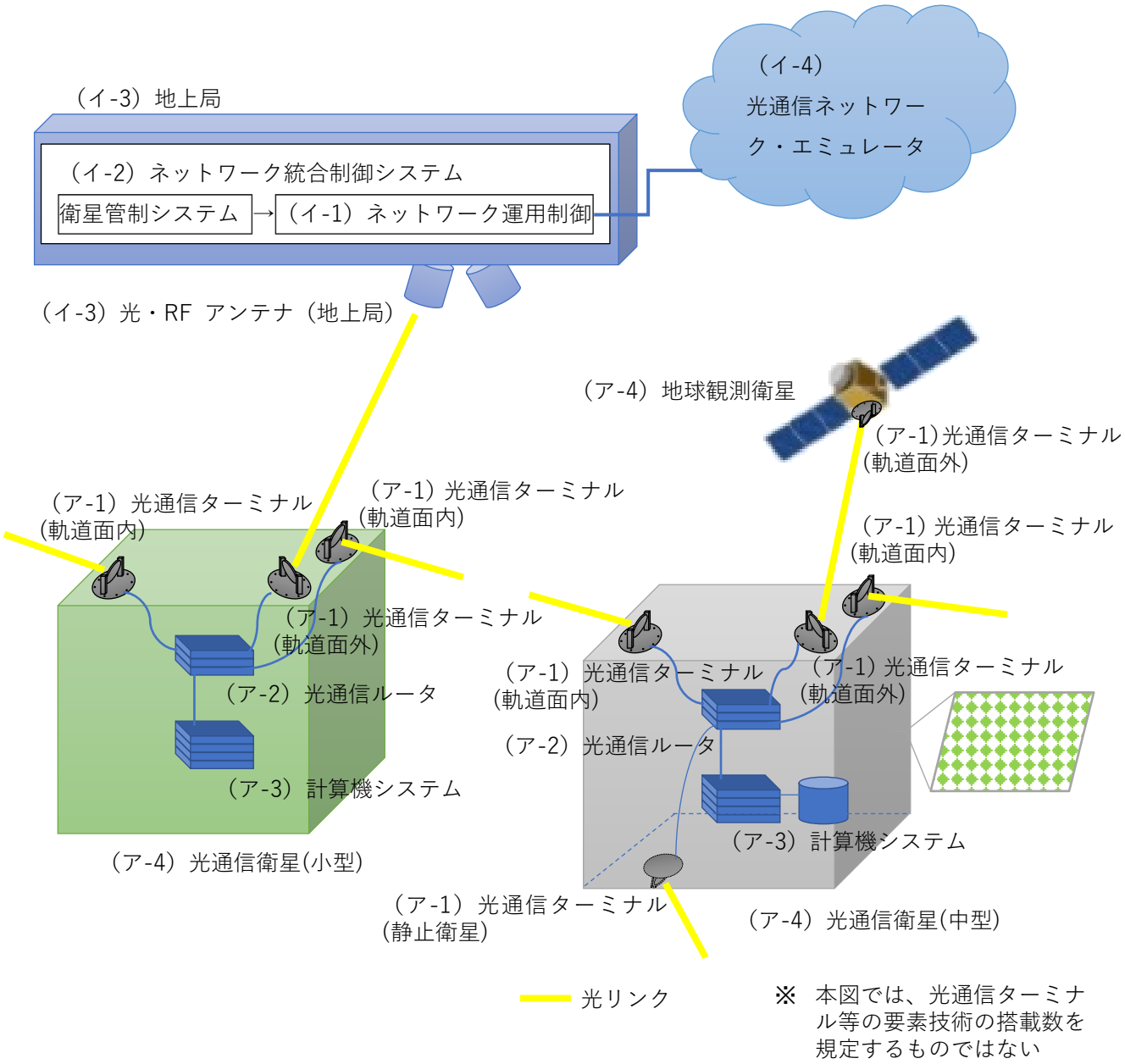


図３　重要要素技術の全体構成

イ．具体的研究内容

（ア-1） 光通信ターミナル

光通信ターミナルは、光キャリアの送受信のための光アンテナ、光増幅器等から構成される。想定する各ノード間の光通信は、同一軌道面内の光通信衛星間、隣り合う軌道面にある光通信衛星間、観測データを送信する地球観測衛星と光通信衛星間、地上局と光通信衛星間、及び光通信衛星(中型)においては静止軌道データ中継衛星との間の計 5 種類である。光通信ターミナルは 1 台で相手方 1 衛星の光通

信ターミナルと光リンクを確立する。1 ペアで 1 光リンクとなるので、光通信ネットワークを構成するために 1 衛星に複数台の光通信ターミナルを搭載する。

光通信ターミナルの目標を定める上で重要な要件として、

A） 重量・容積・消費電力

B） 通信可能距離・通信容量

C） 衛星追尾性能・初期ロックイン時間

がある。これらは、互いに関連しており、要件仕様は短期間開発で到達可能な技術レベルを前提に全体最適化を図ることが重要である。全体最適化を図る上で、それぞれの要件で考慮が必要な最低限の条件を以下に示す。

A） 重量・体積・消費電力

通信サービスを提供する対象は、衛星光通信ネットワークシステムの必要性から、電波・光学の地球観測衛星コンステレーションが第一候補となる。地球観測衛星コンステレーションを構成する衛星の重量は 100kg～200kg 級が主なターゲットとなる（このクラスの衛星数が多いと想定される)。このため、このクラスの衛星に少なくとも 1 台の光通信ターミナルが搭載されて運用可能な重量・体積・消費電力であることが必要である。

B） 通信可能距離・通信容量

衛星光通信ネットワークを構成する光通信衛星の機数（コンステレーションの規模）と送信データ量を要件として通信可能距離・通信容量の性能目標を定める。

我が国から任意時刻に任意地点の地球観測衛星にアクセス可能とするために必要な光通信衛星数は、最小規模のコンステレーションで衛星光通信ネットワークを構成する場合、例えば 9 衛星/軌道面×3 軌道面（＝27 衛星）であり、このとき通信可能距離は 6,000km が必要である。一方、大規模のコンステレーションで衛星光通信ネットワークを構成する場合は、例えば 16 衛星/軌道面×6 軌道面（＝96 衛星）が必要であり、このとき通信可能距離は少なくとも 3,000km が必要である。

コンステレーション規模と通信可能距離は、全体システムの性能とコストをパラメータに最適配分する。ただし、光通信衛星(小型)に搭載する光通信ターミナルは、短期開発および小型化・低コスト化を目指す観点から、4,000km 程度の通信可能距離をベースラインとする。これに加え、光通信衛星(中型)は静止軌道のデータ中継衛星との光リンクを確立するため、40,000km の通信可能距離を持つ光通信

ターミナルを少なくとも 1 台搭載することが必要である。

通信容量については、将来的に我が国の地球観測衛星の観測データ総量をダウンリンク可能であることを目標とする。見積もりの前提として、大型光学・レーダー衛星の場合 5 テラバイト@1 日、小型光学・レーダー衛星の場合 1 テラバイト@1 日とする。これらは、通信容量により観測データ量が制限されている場合もあり、衛星光通信ネットワークシステムでその制限をなくすことも視野に入れ、光通信ターミナルの性能仕様を段階的に高める研究開発ロードマップを定める。

C) 衛星追尾性能・初期ロックイン時間

回線計算上の光ビームの広がりは 10μrad 程度とする。光通信ターミナルの衛星追尾用ジンバルは、この要求値を満足するように自衛星の姿勢擾乱をキャンセルして相手方衛星を追尾する（10μrad 程度のビームの広がりの中で相手方衛星を捉える)。

衛星追尾用ジンバルのダイナミックレンジ（可動角度範囲と追尾角速度）は、①同一軌道面内の光通信衛星間と、②軌道面外にある光通信衛星間、及び地球観測衛星や静止軌道データ中継衛星との間の光リンクで大きく異なる（①同一軌道面内はダイナミックレンジが小さく、②軌道面外はダイナミックレンジが大きい。(参考 1 に軌道面内と軌道面外にある光通信衛星を追尾するときのダイナミックレンジを例示する)。

同一軌道面内の光通信衛星間の衛星追尾用ジンバルと、軌道面外の光通信衛星間、及び低軌道地球観測衛星や静止軌道データ中継衛星との衛星追尾用ジンバルの 2 カテゴリーの要求仕様を定めそれぞれ最適設計を行う（2 カテゴリー共通仕様の方が重量、コストメリットがあれば同一仕様でもよい)。各光通信衛星へのカテゴリーごとの光通信ターミナルの搭載機数はユースケースを想定して決定する。ユーザである地球観測衛星には、②の軌道面外の衛星追尾用ジンバルを少なくとも 1 台を搭載する（(ア-1) A）項参照)。

初期ロックイン時間は、セットアップ開始から粗追尾を経て精追尾を確立して通信可能となるまで 1 分以内を要件とする。特に軌道面外の地球観測衛星との通信では 1 台の光通信ターミナルで光キャリアをロックできる時間が制限される軌道配置があり得る（参考 2 に軌道面外にある観測衛星を追尾するときのロック可能時間と追尾のダイナミックレンジを例示する）ので、ジンバルの設計と準リアルタイム通信を行う場合の通信途絶を防ぐシーケンス設計に反映する必要がある。準リアルタイム通信時が必要な時は、観測衛星に搭載する光通信ターミナルの台

数も重要なパラメータとして要求仕様の最適配分を考える。

初期ロックインのシーケンス/プロトコル設計においては、米国 SDA が発行する” SDA Tranche 1 Optical Communications Terminal Standard”を参考にすることを要求する。

（ア-2） 光通信ネットワーク構築可能な光通信ルータ

光通信ルータは、受信した光キャリアを別の光通信衛星に送信するための光スイッチ、及び光増幅器等から構成される。光通信ルータの目標を定める上で重要な要件として、

A） 重量・容積・消費電力

B） 信号損失・遅延時間

がある。これらは、互いに関連しており要件仕様は短期間開発で到達可能な技術レベルを前提に全体最適化を図ることが重要である。全体最適化を図る上で、それぞれの要件で考慮が必要な最低限の条件を以下に示す。

A） 重量・体積・消費電力

光通信ルータは光通信ターミナル（複数台）と組み合わせて光通信衛星に搭載される。複数台の光通信ターミナルと光通信ルータからなる光通信機器全体が 1 衛星に搭載されて運用可能な重量・体積・消費電力であることが必要である。

B） 信号損失・遅延時間

光キャリア信号の波形を整え伝送経路を変えるための光増幅器とスイッチにおいて、光通信ネットワークを構築するために複数の光通信衛星を経由することを想定した回線設計に基づき、光増幅器とスイッチでは信号損失（S/N 比の劣化）を小さくする。

衛星光通信ネットワークのリアルタイム性の要件から、光通信ルータにおける遅延時間は可能な限り小さくする必要がある。低遅延通信が必須となる軌道上サービス（ランデブ・ドッキング 等）を提供する衛星の場合、現在は自律運用を主とし、通信を介する地上はモニタとして設計されている。本研究開発で実現する光通信ネットワークにおいては、準リアルタイム通信の機能を持つものとし、通信速度 100 メガバイト／秒以上（システム設計により決定する）、遅延時間 400 ミリ秒以内、瞬断率 1%以内を実現し自律運用の負荷を下げることを目標とする。

（ア-3） 光通信機器を制御する計算機システム

計算機システムは、衛星バス部の姿勢制御系と連携して光通信ターミナルのジンバル制御を行い、通信相手方との間で光キャリア信号のサーチ、初期ロックインから定常ロックオンまでを行う。そのためのシーケンス制御とプリアンブル受信まで行う。また光リンクの中継衛星として地上からのネットワーク制御コマンドに基づき、一部自律的に相手方衛星の方位計算と光通信ルータの光スイッチ制御も行う。

光通信衛星(中型)に搭載される計算機は宇宙コンピューティング能力を持つ。これは、複数の観測データを保持するストアド・アンド・フォーワード機能のほか、宇宙エッジコンピューティング機能（観測データの一部処理、観測データ処理に基づく戦術的観測タスク決定 等）が含まれる。複数の通信衛星(中型)と協調して当該機能を実行するためのクラウドコンピューティング機能への拡張も志向する。

また、計算機システムを担う MPU（Micro-Processing Unit）は、セキュアな通信ネットワークを構築する観点から回路 IP（intellectual property）レベルにおいてメモリ保護、データ保護の機能をもつものとする。

（ア-4） 衛星間光通信システムを搭載可能な中・小型衛星

中・小型衛星は（ア-1）～（ア-3）で示される光通信機器と計算機システムからなるミッション機器と、姿勢・軌道制御、熱制御、電力制御等を供給するバス機器を搭載する。小型衛星の目標を定める上で重要な要件として、

A） 重量・容積・消費電力

B） コスト

C） 設計標準・バス標準化

がある。以下に最低限の条件をまとめる。

A） 重量・容積・発生電力

光通信衛星(小型)は、光通信衛星コンステレーションを構成する主要な（多数の）衛星であるので、コスト面から重量・容積において小型であることが必要である。ここでは、重量 200kg 程度をベースラインとして考える。容積については一軌道面で必要な機数を同時打ち上げすることを目標に H3 ロケットで分離機構も含め 10 機以上は打ち上げ可能であること。発生電力は光通信ターミナルを複数台搭載可能とすること。

光通信衛星(中型)は、各軌道面に 1 衛星以上（少数）配置されることを考えるの

で、重量・容積の要求は緩和される。ここでは 300kg～400kg 程度を考える。ただし、光通信衛星(小型)に対して静止軌道上のデータ中継衛星との光リンクと宇宙コンピューティング機能を実行するのに十分な発生電力が必要である。

地球観測衛星は、100kg 級の小型衛星とし、光学観測、あるいはレーダー観測システムを搭載する。衛星光通信ネットワークを介して地上局に観測データをダウンリンクするとともに、地上からの観測要求（タスクコマンド）に応じて観測する機能を持ち、このコマンドも衛星光通信ネットワークを介して受信するものとする。軌道面が上記の光通信衛星と異なることを前提とし、準リアルタイム通信時が要求される場合は、光リンクの途絶を防ぐため複数台の光通信ターミナルを搭載することで対応することを検討する。

B） コスト

コンステレーションを構成する衛星を開発することから、設計の共通化とデジタル化による設計・製造・試験の省力化を図り、部品・コンポも可能な限り共通化を図ることで低コスト化を目指すものとする。

C） 設計標準・バス標準化

軌道上安全（デブリ発生基準を含む）は確保することを前提に、できるだけ民生用部品を活用して低コスト化が図れるよう信頼性基準を定める。設計寿命は 4 年とする。また、同じ設計の衛星を多数開発するため、100kg 級、200kg 級、300kg 級バスのそれぞれの必要な標準化技術（コンポーネント、衛星製造技術等）も合わせて開発する。

（イ-1） ネットワーク運用制御

ネットワーク運用制御は、軌道運動により光通信衛星の配置が時々刻々と変化する中で光又は RF リンクの状態を管理し、適切なタイミングでネットワーク・トポロジーの変更をコマンドする。ネットワーク・トポロジーの健全性を確認するために、衛星の軌道位置、速度及び速度変化、姿勢安定度、光通信機器の健全性をモニタする。衛星の不具合等により一部の光又は RF リンクが途絶えた場合、ネットワーク再構築のためのコマンドを 10 秒以内に自律的に送信する。

また、データ送受信要求に基づき最適データリンク経路の選択を各ノード間の光又は RF リンクの負荷状態等をモニタすることにより行う。光通信衛星の光通信ターミナルの搭載台数が十分でないときはリンク可能ノード数に制約が生じ、地

球観測衛星と新しい光又は RF リンクを構築するために一部、ネットワーク・トポロジーを変更する場合がありうる。その場合の最適なネットワーク制御も自律的に行う。

（イ-2） ネットワーク統合制御システム及び衛星自律化システム

ネットワーク統合制御システムは、（イ-1）のネットワーク制御のためのコマンドを計算する計算機システムであり、衛星管制システムと連携してネットワーク制御に必要な入力データを受信し、ネットワーク制御で生成されたコマンドを衛星に送信する。したがって、この機能は（イ-3）の地上局と、ネットワーク統合制御システムに含まれる衛星運用システムと連接されている。

衛星自律化システムは、地上局からネットワーク制御コマンドを受けた光通信衛星（１機を想定）が、存在する光通信ネットワークを介して同コマンドを衛星光通信ネットワーク上の各衛星に転送するとともに、各衛星は同コマンドに従って光通信ターミナルと光通信ルータの制御を自律的に行うものである。衛星光通信ネットワーク上の全ての衛星を地上局から制御する負荷をなくすため衛星自律化システムは存在する。したがって、この機能は（ア-3）の光通信機器を制御する計算機システム、もしくは衛星バス部の計算機システムに実装されているとする。

（イ-3） 低軌道光通信衛星と通信可能な地上局

光地上局は、日本国内に置かれ日本上空を通過する光通信衛星と光又は RF リンクを構築し、データ・コマンドの送受信を行うものである。光・RF アンテナとジンバル制御機器、及び光信号送受信装置（変復調装置を含む）からなる。

光地上局はサイトダイバーシティー機能を持ち、最低 2 局を設置するものとする。また、1 局で複数の光アンテナを持つことで同時に複数の光通信衛星と光又は RF リンクを構築することを考える。これにより、雲の流れによる一時的な光信号途絶を補償する機能を持つものとする。

光アンテナの大きさは、先行事業の成果を活用し少なくとも 40cm 以上の直径を持つものとし光通信衛星側の光通信ターミナルの負荷を下げるものとする。同じく先行事業の成果を活用して大気影響の光学補償機能も持つものとする。

（イ-4） 光通信ネットワーク・エミュレータ

光通信衛星側に搭載される（ア-1）と（ア-2）からなる光通信機器と（ア-3）の光通信機器を制御する計算機システム、（ア-4）の中・小型衛星の状態（デジタル

ツイン)、及び地上側に置かれる（イ-1）のネットワーク運用制御と（イ-3）の地上局をモデル化しエミュレートする機能を持つ。

このエミュレータは、衛星光通信ネットワークシステムの設計に使用するとともに、（ア-4）の衛星打ち上げ後は、物理空間上の光通信衛星と連携して光通信衛星コンステレーションによる衛星光通信ネットワークシステム全体の実証機能をもつ。これにより、コンステレーション全体の構築前の本研究開発期間中に、想定する全体システムの機能・性能を検証することができるものとする。

ウ．達成目標

重要要素技術の研究開発は 2028 年度までに地上実証を終えるものとする。特に重要機器である光通信ターミナルは 2028 年度までに宇宙に打ち上げ、宇宙空間でその機能・性能の実証に着手するものとする。

本重要技術は、2029 年度以降に打ち上げる光通信衛星及び地球観測衛星のサブシステム、コンポーネントに実装されるものとする。

研究開発項目③ システム実証

ア．研究開発の必要性

本事業は、地球規模の衛星光通信ネットワークシステムとして所要のサービス・機能をグローバルに提供することを目的としている。そのため、単に要素技術の実証に終わることなく、宇宙空間でシステムとしての機能・性能を実証することが重要である。

ただし、想定する衛星光通信ネットワークシステム全体を構成する衛星コンステレーションを全て宇宙空間に配備することは困難であるため、部分的なコンステレーションの構築により最大限にシステム機能・性能の検証を目指すものとする。

イ．具体的研究内容

本研究項目においては以下の 2 つの実証を行うものとする。本研究開発で実証に要する（宇宙空間に打ち上げる）衛星数及び軌道配置は、我が国に 2 局の地上局を設置するとして、1 日あたり 2 時間程度のエンド・ツゥー・エンド（地球観測衛星から地上局までデータ通信）の実証試験が実施できることを条件として考える。この時間は光通信衛星間だけで完結する実証、及びネットワーク・エミュレータ等を活用した実証には適用しない。

なお、実証で使用する 2028 年度以降に打ち上げの光通信衛星については、本事業の趣旨に則り国産ロケットによる打ち上げを前提とする。

（ア）低軌道衛星間光通信の実証

想定する各ノード間の光通信は、同一軌道面内の光通信衛星間、隣り合う軌道面にある光通信衛星間、観測データを送信する地球観測衛星と光通信衛星間、地上局と光通信衛星間、及び光通信衛星(中型)においては静止軌道データ中継衛星との間の計 5 種類である。したがって、実証においても衛星打ち上げのスケジュールに合わせて以下の順に実証を実施するものとする。

A) 同一軌道面内の光通信衛星間の光リンクの確立
B) 隣り合う軌道面にある光通信衛星間の光リンクの確立
C) 地球観測衛星と光通信衛星間の光リンクの確立
D) 地上局と光通信衛星間の光リンクの確立
E) 光通信衛星(中型)と静止軌道データ中継衛星との間の光リンクの確立※7

実証において送受信されるデータは、ユーザが地球観測衛星の場合に 1 タスクで観測するデータ量を 1 単位とし、必要な通信時間と時間遅延量、データ欠損、瞬断時間等の通信性能を測定する。本実証終了時には、一部の衛星光通信サービス機能はこれにより提供される。

※7　通信可能な静止光データ中継衛星が存在した場合のみに適応する。

（イ）衛星光通信ネットワークシステムの実証

ノード間の光リンクの確立に加え、地上局も含めた衛星光通信ネットワークシステムとしてネットワーク制御も含め機能・性能を実証する。ただし、本研究開発でシステム全体（コンステレーションを構成する衛星全部）を構築することはスコープに入れていないので部分的なシステム構築による機能・性能を実証する。システムの未構築部分については、光通信ネットワーク・エミュレータ等を活用してサイバー空間とのハイブリッド実証ができることが望ましい。

衛星光通信ネットワークシステムの実証においては、以下の 4 項目の実証を行う。

A) 光リンクによる衛星光通信ネットワークの確立（地上局も含むネットワークとしての光リンクの確立）
B) 時々刻々変化する光通信衛星の軌道情報に応じた最適ネットワーク・トポロジーの導出とコマンドによる新しいネットワークの確立

C）衛星故障に応じた最適ネットワーク・トポロジーの導出とコマンドによる新しいネットワークの確立

D）ネットワーク通信負荷に応じたデータ送受信の最適経路選択とデータ通信速度、遅延量等の通信性能の測定

本実証後、2031 年以降に通信衛星コンステレーションによる地球規模の衛星光通信ネットワークシステムとして性能実証を行い、所要のサービス・機能をグローバルに提供する。

ウ．達成目標

本システム実証を通じて、1．（2）の ①アウトプット目標に定められた目標値が達成されていることを確認する。

2．実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組

（1）事業の実施・体制

本事業は、内閣官房、内閣府、文部科学省、経済産業省を含む関係府省が設置したプログラム会議が定める「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき事業を実施する。

研究推進法人（Funding Agency: FA）は、国から示された研究開発ビジョン及び研究開発構想に基づき、公募により研究開発課題を採択するとともに、その進捗管理・評価等の責務を担う。本事業の FA は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）である。研究開発課題の実施責任者（以下「研究代表者」という。）の所属する機関は、国内に研究開発拠点を有し、日本の法律に基づく法人格を有している機関とする（以下「研究代表機関」という）。また、研究代表者及び主たる研究分担者は日本の居住者であることとする。（ここで言う居住者とは外為法の居住者（特定類型該当者を除く）であること。）

本事業の公募では、事業全体に対する提案を想定しており、研究代表機関が必要な分担機関と共同で事業全体を実施するものとする。

（2）事業の実施期間

本研究開発構想に基づく、本事業は 2022 年度から 2031 年度までの 10 年間とする。研究開発はステージゲート方式を採用し、図 4 に示す 4 つのフェーズで実施するものとする。

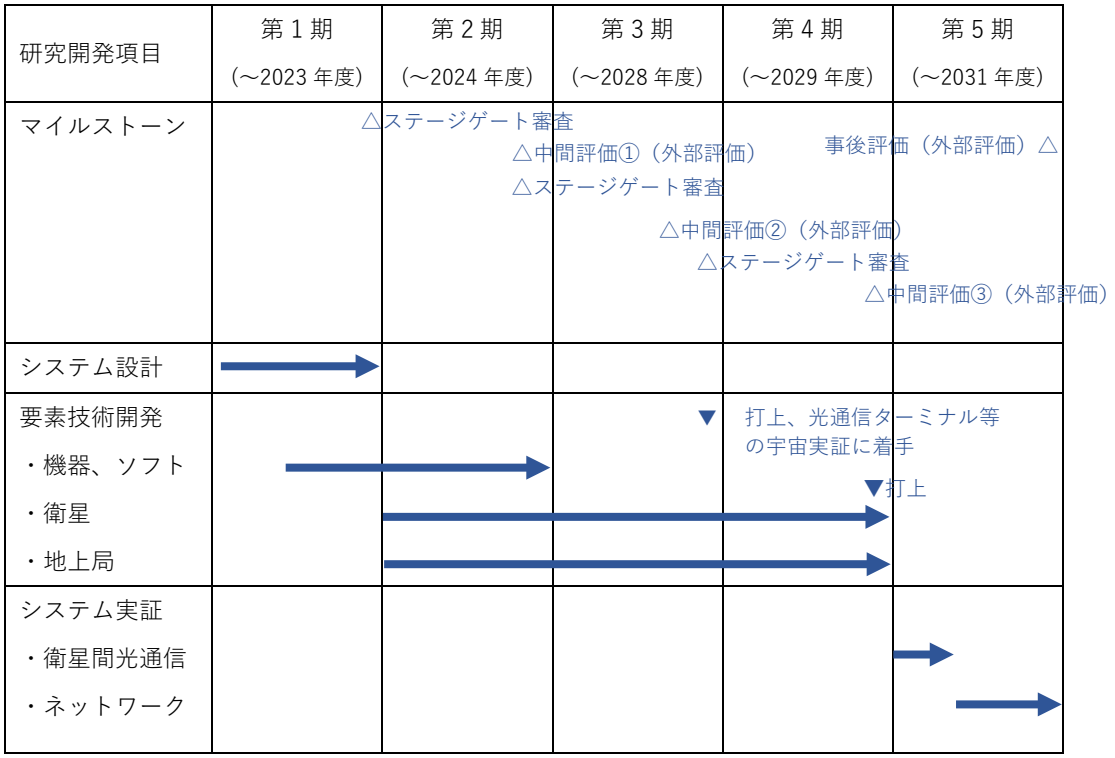


図 4　研究開発のスケジュール（変更後）

（3）評価に関する事項

本事業は、「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき、評価を実施する。

研究代表者は自己評価を毎年実施し、PD に報告する。NEDO は外部評価として中間評価を 2024 年度と 2027 年度、2029 年度（事業開始から 3 年目と 6 年目、8 年目）、事後評価を 2031 年度（事業終了年）に実施することし、事業の進捗等に応じて評価時期を早める場合は、PD 及び所管省庁と連携して、あらかじめ適切な実施時期を定める。

また外部評価に用いるサクセスクライテリアを以下のとおり設定する。

【アウトプット視点】

（ア）フルサクセス（中間評価①）（2024 年度）

同一軌道面内の 2 機の衛星に搭載された光通信ターミナル間での 2Gbps 以上の通信速度での光リンクの実証に向け、重要要素技術（機器及びソフトウェア）の開発に着手する。

（イ）フルサクセス（中間評価②）（2027 年度）

同一軌道面内の 2 機の衛星に搭載された光通信ターミナル間での 2Gbps 以上の通信速度での光リンクの実証に向け、重要要素技術の地上での機能・性能実証を終え、軌道上実証の準備を完了する。

（ウ）フルサクセス（中間評価③）（2029 年度）

同一軌道面内、軌道面外、静止衛星※7、地上との間で光リンクを確立する。通信速度は 2Gbps 以上、準リアルタイム通信時の許容遅延時間が 400ms 以下とする。

（エ）フルサクセス（事後評価）（2031 年度）

衛星光通信ネットワークシステムとしてネットワーク制御も含め機能・性能を宇宙空間において実証する。あわせて、日本近傍で所要の通信サービス機能をもつことを検証する。

ネットワーク構築は 10 秒以内＠自動運用、1 分以内＠手動運用、また、通信速度は 2Gbps 以上＠1 地上局とする。

準リアルタイム通信時のネットワーク遅延は 400msec 以下、ネットワーク瞬断は 1 秒以下＠99%とする。

【アウトカム視点】

（オ）フルサクセス（事後評価）（2031 年度）

本事業の成果を受けて、地球規模で大容量・低遅延で通信・データ処理するサービス提供が可能な衛星光通信ネットワークシステム全体の構築計画、ビジネスモデルが提案されていること。

１．（２）①アウトプット目標で想定するネットワーク規模の衛星コンステレーションを構築するとした場合、そのビジネスモデルにおいて、

A）光通信衛星（小型）1 機あたりの価格について、打ち上げ費を除いて 5 億円とする目途をつけて、その妥当性が評価されていること。

B）光通信衛星（中型）1 機あたりの価格について、打ち上げ費を除いて 50 億円とする目途をつけて、その妥当性が評価されていること。

C）光通信衛星（小型）小型機 78 機、光通信衛星（中型）18 機、及び地上局 2 局からなる衛星光通信ネットワークシステム全体の運用費について年間 10 億円とする目途をつけて、その妥当性が評価されていること。

また、システム全体及び各要素技術について、海外の同種のシステム及び要素技術との相互接続性・相互運用性を評価するとともに、海外の政府、衛星事業者、通信事業者等から利用性の評価を得る。さらに、高高度プラットフォーム（HAPS、High Altitude Platform Station）等の移動体との通信への発展性を評価する。

（４）社会実装に向けた取組

本事業は、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（令和４年法律第４３号）に基づく指定基金協議会を設置した上で推進していく。これにより、本事業によって生み出される研究成果等を活用し、民生及び公的な利用を促進するとともに社会実装につなげていくことを目指し、その実現に向け、潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等による伴走支援を可能とするとともに、参加者間で機微な情報も含む有用な情報の交換や協議を安心かつ円滑に行うことのできるパートナーシップを確立していく。

具体的には、本事業により開発を行う光通信ネットワーク技術については、災害対策、海洋監視、安全保障など様々な分野での宇宙利用を拡大していく上で必須のデータ通信基盤となることが想定される。このため、このような宇宙利用を行う場合の将来的に想定される具体的なユースケースやその実現のために必要な機能等の情報を共有しつつ研究開発を進めることは、研究開発成果を将来の社会実装に円滑につなげていく上で、大きな意義がある。

本事業に係る協議会については、研究開発課題の採択後に、関係行政機関、PD、研究代表者等の協議会への参画者における十分な相談を行いつつ、運営していく。なお、協議会の詳細は別に示す。

（５）総予算

本事業の総予算は 600 億円を超えない範囲とする。各研究開発項目、フェーズ毎の配分については、必要に応じて、経済産業省からの指導に基づき目安を示す。これを変更する場合も同様とする。

（６）経済産業省の担当課室

本事業の運営に係る経済産業省の担当課室は、製造産業局宇宙産業課とする。

３．その他重要事項

（１）研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発課題実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。経済産業省及び NEDO は、経済安全保障の観点を留意しつつ、研究開発課題実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

経済安全保障の観点から、経済産業省は必要に応じて NEDO に対して助言を行い、NEDO は本助言を踏まえて、成果の普及について検討することとする。

② 標準化施策等との連携

中・小型衛星バス開発で得られた研究開発成果については、我が国の標準化等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う。

光衛星通信ネットワーク開発で得られた研究開発成果については、事業終了後に必要な実施すべき取組のあり方及びビジネスモデルについて立案する。

また、開発した光通信基準等の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。経済産業省、NEDO 及び研究開発課題実施者は、国際標準化に向けて積極的に役割を果たしていく。

③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表機関、研究代表者は、PD（PO)及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めること。

（２）「研究開発構想」の見直し

経済産業省は、NEDO、PD 及び関連省庁と連携して、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて、

達成目標、実施期間等、本研究開発構想の見直しを行う。

（３）研究開発の対象経費

「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき、運用する。大学・研究開発法人等以外に関する間接経費の額の設定については、事業の性質に応じて経済産業省の担当課室から別に示す場合を除き、業務委託契約標準契約書に基づくものとする。

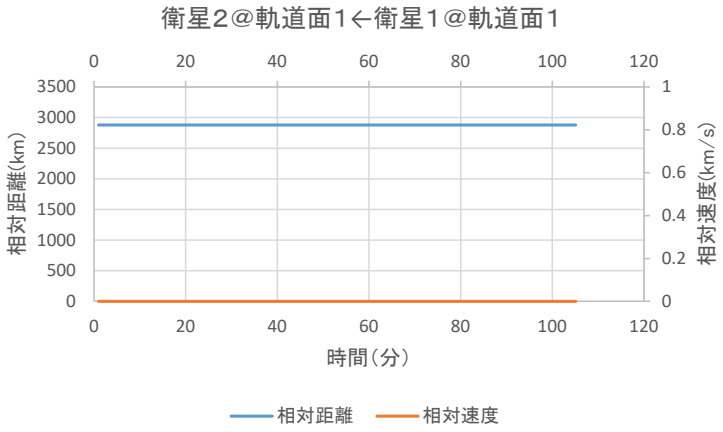
４．研究開発構想の改定履歴

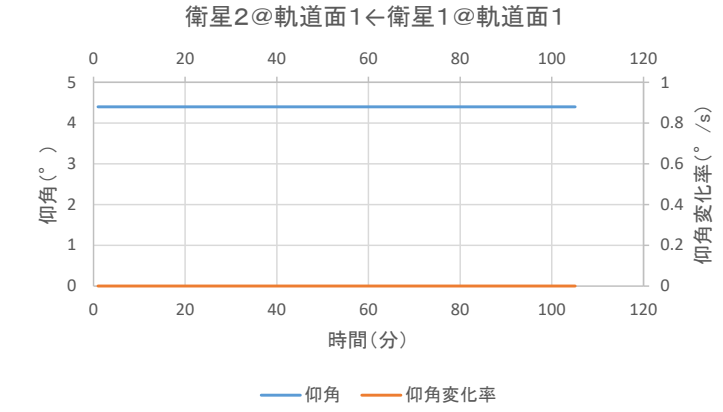
（１）令和４年１０月、制定。
（２）令和７年４月、改定

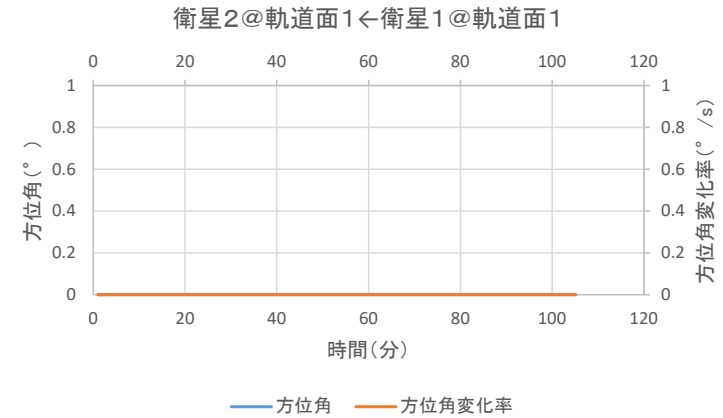
（参考１）

衛星追尾用ジンバルに必要なダイナミックス（1 軌道面 16 衛星を配置する場合。軌道高度 1,000km、軌道傾斜角 80°、軌道面間離角 30°）

１．軌道面１の衛星１から同一軌道面内前方の衛星２との光リンク

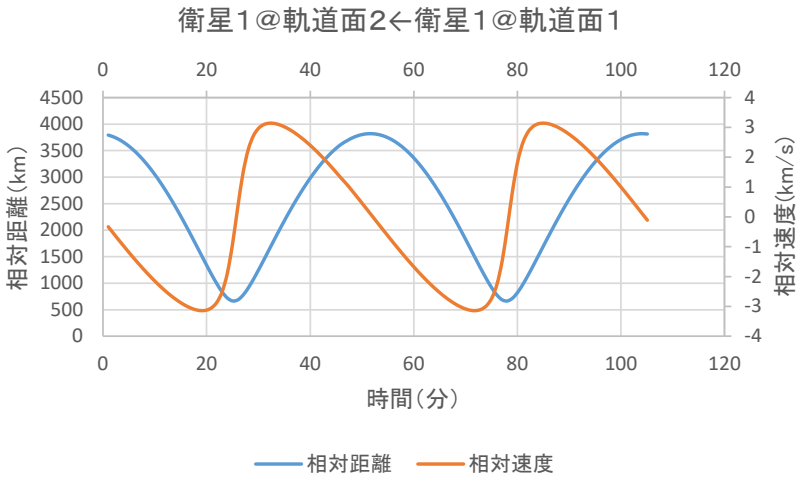


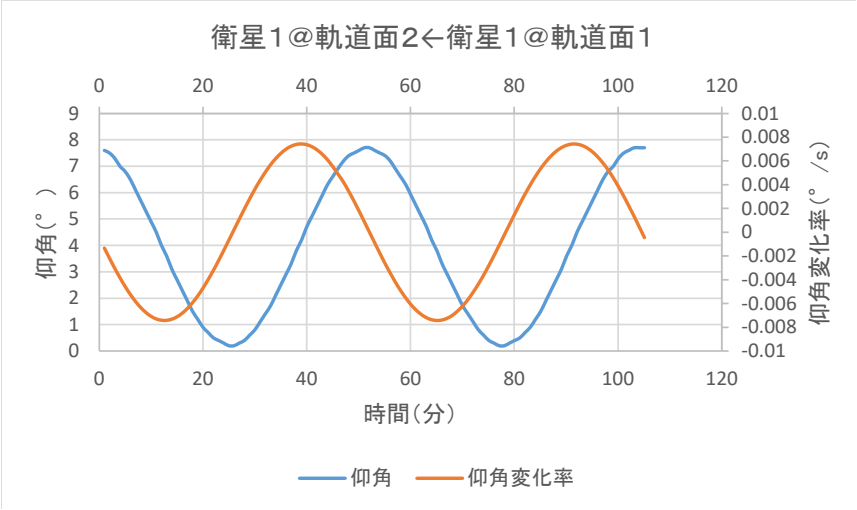


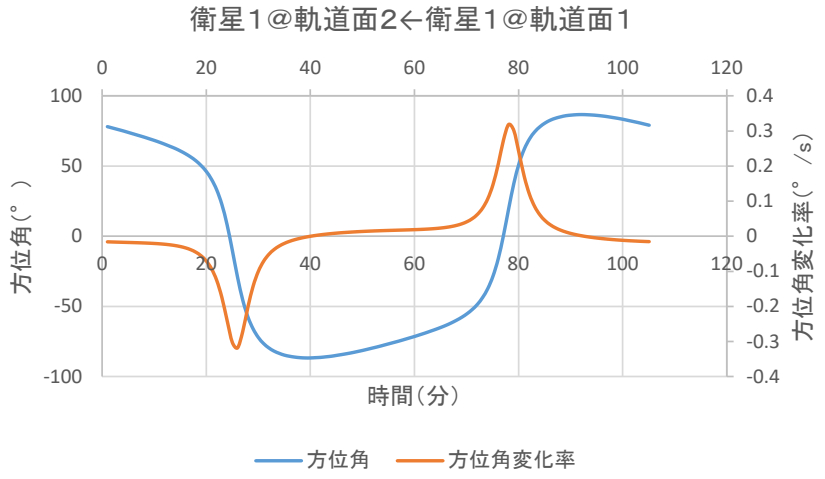


※ 本参考データは要素技術の仕様検討する上の参考データである。データ値の正確性を保証するものではない。

2．軌道面１の衛星１から昇交点が隣の軌道面２の衛星１との光リンク



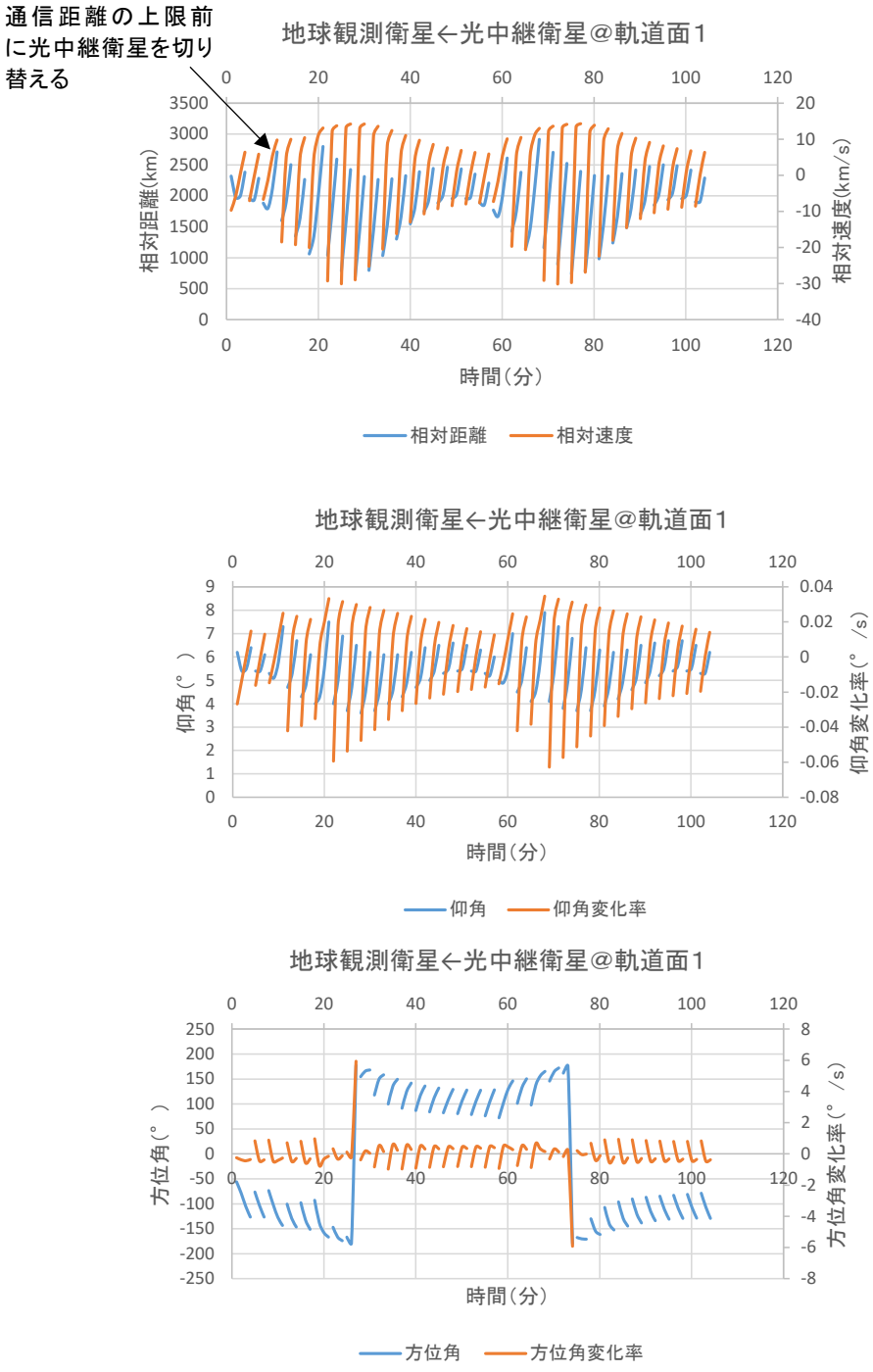




※ 本参考データは要素技術の仕様検討する上の参考データである。データ値の正確性を保証するものではない。

（参考２）

観測衛星の捕捉時間と衛星追尾用ジンバルに必要なダイナミックス（観測衛星：高度 550km、軌道傾斜角 97° の太陽同期軌道、光通信衛星とは進行方向が逆）



※ 本参考データは要素技術の仕様検討する上の参考データである。データ値の正確性を保証するものではない。