

Beyond 5G の実現に向けた 宇宙ネットワークに関する 技術戦略について

令和4年1月28日
総務省国際戦略局
宇宙通信政策課

説明内容

1. 衛星コンステレーション 国内外の動向
2. 主要国の宇宙政策(米・欧・英・中)
3. 電気通信事業者の宇宙ネットワーク事業の取り組み
4. 総務省・NICTにおける衛星コンステレーションの取り組み
5. 宇宙ネットワークの将来像とBeyond 5G実現に向けた技術課題
6. まとめと論点

衛星コンステレーション 国内外の動向

衛星コンステレーションの特徴

- 多数(数十機～数万機)の小型衛星を軌道に打ち上げ、一体的に機能させるシステム
- 地球全体をカバーできるため、①通信サービス、②地球観測サービス を効率的に実現
- 地球周回衛星を用いることから、必然的にグローバルサービスを展開することになる。

※ “コンステレーション”とは星座の意味

①世界をカバーする ブロードバンド通信サービス

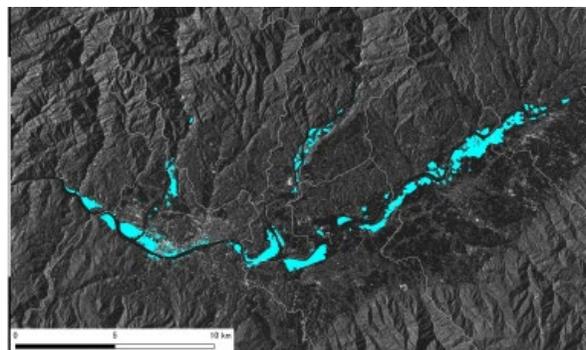
- 多数の小型通信衛星によってグローバルな通信サービスを提供
- 一度に38機～60機の小型衛星をまとめて打ち上げる場合がある。



OneWeb社の衛星のロケット搭載
出典: Arianespace、OneWeb

②地球観測分野

- リモートセンシング(光学、レーダ等)によって農業、営林、漁業、都市開発、防災分野に画像を提供
- 低軌道衛星によって画像が鮮明に
- 多数衛星により高頻度観測も可能

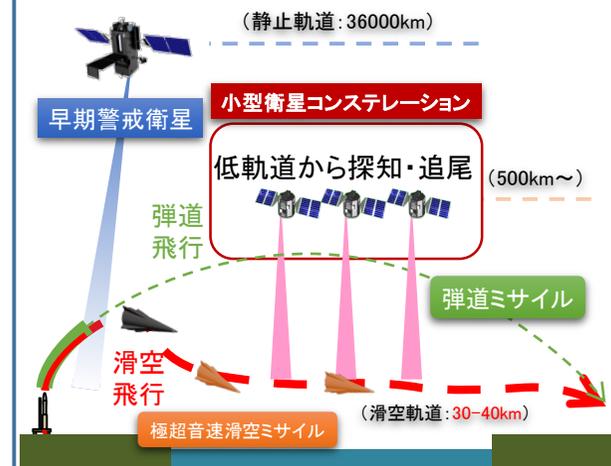


熊本県人吉市周辺のレーダ衛星の観測画像による浸水域推定結果(2020年7月)

(JAXA)

③防衛分野(ミサイル防衛)

- 米・国防総省は高い機動性を有する極超音速滑空弾(HGV)の探知・追尾のため、多数の小型監視衛星・通信衛星を配備する計画



※ いずれも2021年11月時点の情報

SpaceX社 Starlink(米国)

- 最大42,000機の衛星コンステレーションで、世界主要国でブロードバンドインターネットを提供する計画
- 2021年8月時点で約1,500機の衛星打ち上げが完了
- 初期費用(端末)499ドル、月額99ドルでサービス開始済
- KDDIが携帯基地局のバックホール回線として使用予定



60機のStarlink衛星の打ち上げ

出典: SpaceX

OneWeb社 OneWeb(米国)

- 約650機の衛星コンステレーションで、世界中にインターネットを提供する計画
- 2021年8月時点で約290機の打ち上げが完了
- 2022年に世界中でサービス開始予定
- ソフトバンクが出資し、衛星通信サービスで協業



OneWebの通信衛星のイメージ図

出典: OneWeb

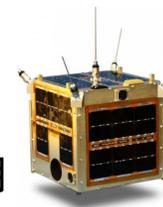
Amazon社 Project Kuiper(米国)

- 最大3,200機のコンステレーションでネット接続を提供
- 2020年7月にFCCの周波数承認。今後、2機の試験機を打ち上げる予定
- 2026年までに少なくとも半数を打ち上げ、2029年までに全ての衛星を打ち上げる計画

※ いずれも2021年11月時点の情報

アクセルスペース(日本)

- 2008年に設立。超小型衛星を活用したソリューション提案、小型衛星及び関連コンポーネントの設計及び製造
- 世界初の商用超小型衛星を含む5つの実用衛星を開発・運用
- AxelGlobeサービスが2019年5月に開始、100kg級リモートセンシング衛星により地上分解能2.5mの地球観測を実現



WNISAT-1



HODOYOSHI-1



WNISAT-1R



GRUS-1A

アクセルスペース社の衛星ラインナップ

出典: <https://www.axelspace.com/current-projects>

Synspective(日本)

- 2018年に設立。小型合成開口レーダ衛星を開発し運用
- 衛星データを利用したソリューションサービス提供を目指し、2020年12月に最初の衛星を打ち上げ。2023年までに6機、2020年代後半に30機のコンステレーションを目指している。



Synspectiveが2020年12月に打ち上げた
実証機によってインド・ムンバイを撮像(2021年6月)

出典: <https://synspective.com/jp/events/2021/webinarreport-001/>

ICEYE(フィンランド)

- 2014年に創業。小型SAR衛星の開発・運用を行う。
- Xバンドの合成開口レーダーを搭載
- 18機の衛星コンステレーション構築を計画。現在までに9機を打上げ

衛星コンステレーションによる通信事業の参入一覧

| サービス名(事業者名) | 衛星製造者 | 衛星機数 | 軌道高度 | 事業フェーズ | |
|---|---|----------------|-----------------------------|--------|----------|
| | | | | 構想段階 | 打上済・事業開始 |
| Starlink (SpaceX社) | SpaceX (米) | 1万機以上 | 550kmなど | | ○ |
| OneWeb | Airbus Defence & Space (欧)、 Airbus OneWeb Satellites | 約650機 | 約1,200km | | ○ |
| Iridium (Iridium-Next) | Thales Alenia Space (仏) | 66機 | 約780km | | ○ |
| Telesat Lightspeed (Telesat社) | Thales Alenia Space (仏) | 約1,600機以上 | 約1,000km | | ○ |
| Kepler (Kepler Communications社) | In-house, AAC Clyde Space, SFL (Space Flight Laboratory) | 140機 | 500km～650km | | ○ |
| O3b (SES社) | Thales Alenia Space (仏) | 36機 | 約8,000km | | ○ |
| Globalstar | Thales Alenia Space (仏) | 24機 | 約1,400km | | ○ |
| ORBCOMM | Orbital Sciences (米)等 | 36機 | 825km | | ○ |
| Project Kuiper (Amazon社) | 不明 | 約3,200機 | 約600km | ○ | |
| LeoSat (LeoSat社) | Thales Alenia Space (仏) | 約140機 | 約1,400km | ○ | |
| Boeing (V帯) | Boeing (米) | 約1,400機～3,000機 | 約1,000km | ○ | |
| Theia | 不明 | 112機 | 不明 | ○ | |
| ViaSat-3 (Viasat社) | Boeing (米) | 240機 | 約8,200km | ○ | |
| Boeing (Ka帯) | Boeing (米) | 約600機 | 約4,400km～27,300km (楕円軌道) | ○ | |
| Guowang (国網) (中国衛星网络集团有限公司 (中国)) | | 約1.3万機 | 12,992 | ○ | |
| 宇宙統合コンピューティング・ネットワーク (NTT、スカパーJSAT) | 未定 | 未定 | 低軌道・静止軌道 | ○ | |

※ 2021年10月時点の非静止衛星システムの打上げ及びその計画(順不同)

※ 「衛星機数」は事業構想における機数。打上げ済の機数とは異なる。「衛星高度」は複数の軌道がある場合は代表的な軌道高度を記した。

※ 「構想段階」は事業停止や事業破綻を含む。「事業開始」は外国または国内での事業状況。実証段階を含む。

(参考) 衛星コンステレーション事業は参入・退出の歴史



電話・データ通信を
提供する主な
衛星コンステレーション

テレデシック
(マイクロソフト、マッコーセルラー等)
高度700km、840機(構想)
1994年構想化、**2001年事業破綻**

O3b(欧州SES社)
高度8,000km、20機
2014年～サービス開始

イリジウム(モトローラ)
高度780 km、66機、1998年商用化、
1999年破産、サービス提供中

OneWeb
高度1,200km、650機(計画)
2020年3月会社更生手続
2021年9月米国でサービス開始

スカイブリッジ(アルカテル等)
高度1,469km、64機(構想)
1997年構想化、**2000年事業破綻**

Starlink(SpaceX)
高度550km等、1万機以上(計画)
2021年サービス開始

グローバルスター
1998年初号機打上げ、高度1,400km
2001年会社更生手続、24機でサービス提供中

静止衛星
(衛星電話)

インマルサット 1979年～

ワイドスター(ドコモ) 1996年商用化

衛星コンステレーション(測位)

GPS(1993年～)
高度20,000km、約30機

準天頂衛星システム(2010～)
7機

携帯電話システム

アナログ自動車電話(1979～)
アナログ携帯電話(1987～)

第2世代デジタル
携帯電話(PDC)
(1993～)

第3世代携帯電話
(W-CDMA、CDMA2000)
(2001～)

第4世代携帯電話
(LTE-Advanced)
(2015～)

第5世代携帯電話
(5G)(2019～)

6G/
B5G

中国における衛星コンステレーションの事業計画

～国有企業は最大1.3万機を打ち上げる計画～

- 国家発展改革委員会は2020年4月、「新型インフラ建設を強化すべき対象」として、5G、IoT、工業インターネット (Industrial Internet)、衛星インターネット等の通信ネットワーク・インフラを指定
- 中国衛星ネットワーク集团有限公司は衛星コンステ事業を行う国有企業として設立され、最大1.3万機を打ち上げる計画

表 中国における主な通信サービス向け衛星コンステレーション計画(2021年10月時点)

| 名称 | 開発者 | 衛星機数 | 高度 (km) | 事業状況 |
|--------------------------------|---|---------------------------------|--------------------|---|
| <u>Guowang(国網)</u> | <u>中国衛星ネットワーク集团有限公司 (China Satellite Network Group)</u> ※ 国有企業を監督する国有資産監督管理委員会 (SASAC) が2021年4月に設立 | <u>12,992</u> | 500-1,145 | <ul style="list-style-type: none"> ・ グローバルなインターネット接続を提供する計画 ・ 2020年12月、ITUに「GW-A59」「GW-2」の名称で周波数を申請済み |
| 行雲(Xingyun-2) (IoT向け通信) | 中国航天科工集団(CASIC)(国営企業) | 80 (2023年頃) | 560 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 衛星IoTサービス用衛星通信 ・ 衛星間通信にレーザーリンクを採用 ・ 2020年5月に2機を打上げ済み |
| Galaxy Constellation (銀河星座) | Galaxy Space(民間) | Phase 1: 144 Phase 2: 1,000+ | 1,200 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2020年1月に衛星1機を打ち上げ |
| Hongyan(鴻雁) | 中国航天科技集団(CASC)(国営企業) | 300+ | 1,100 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 人民解放軍や農村部向けにブロードバンド接続サービスを提供する計画 ・ 2021年4月に試験衛星を1機打上げ |
| Hongyun(虹雲) | 中国航天科工集団(CASIC)(国営企業) | 156 | 1040/1048 /1175 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 |
| 天啓星座 | 北京国電高科科技有限公司(民間) | 36 | 不明(LEO) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 衛星IoT(モノのインターネット)データサービス ・ 既に7機以上を打上げ済み |

https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/xwfb/202004/t20200420_1226031.html?code=&state=123

https://www.soumu.go.jp/g-ict/country/china/pdf_contents.html

<https://www.jdsupra.com/legalnews/innovations-in-space-chinese-satellite-7389054/>

<https://www.afpbb.com/articles/-/3307644>

<http://www.sasac.gov.cn/n2588030/n2588924/c18286531/content.html>

<https://www.sed.co.jp/contents/news-list/2020/05/0513-1.html>

宇宙で光通信を使う利点・課題

光通信の利点

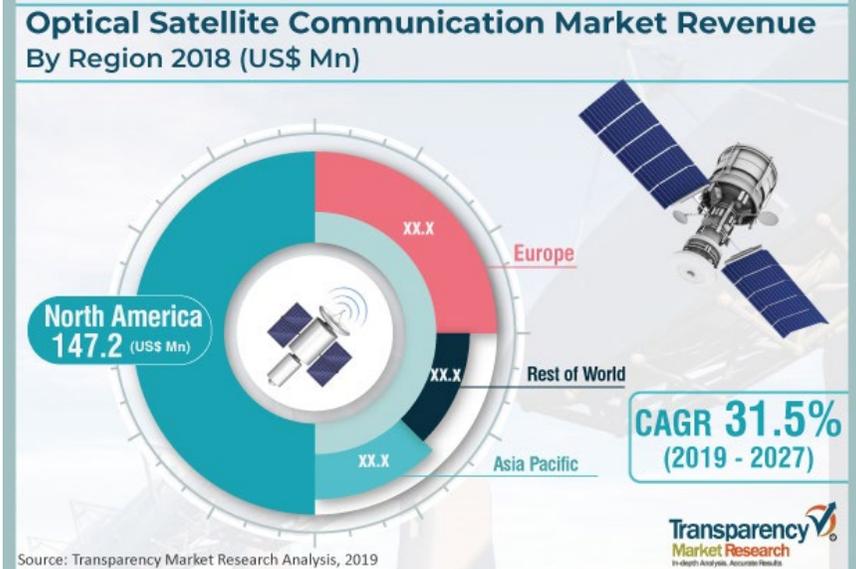
- ✓ 高速大容量のデータ通信が可能(数Gbps超の伝送速度、電波による通信の10~100倍が可能)
- ✓ 電波の周波数資源の枯渇に対応、国際的な周波数調整が不要、無線局免許が不要
- ✓ 高秘匿性のある通信が可能(電波よりもビームを絞って送信できるため、傍受されるリスクが低い)
- ✓ 衛星バスの負担軽減(低消費電力化、小型軽量化)
- ✓ 地上受信局の小型化が可能。企業本社ビルの屋上やデータセンター敷地に設置可能。可搬型も実現
- ✓ 光学系機器を得意とする日本企業の出番

光通信の課題

- ✓ 曇天・降雨など天候によっては通信を行えない。
- ✓ ビームを精密に相手に向ける高精度な捕捉追尾技術が必要。一度リンクが外れると、再捕捉するまでに数十秒~数分を要する。
- ✓ レーザー光を用いるので、人体への安全性(アイセーフティ)への配慮が必要
- ✓ 相互接続を可能とする国際標準化が必要

世界の光衛星通信市場 2027年に約4,660億円規模に成長

- Transparency Market Research社が発行した市場レポートによると、世界の光衛星通信市場は、高速大容量通信に対する需要の高まりにより、2017年の297百万ドル(約327億円)から2027年には4,238百万ドル(約4,660億円)の規模に成長すると予測
- 市場規模では北米が圧倒的な地位を占め、欧州、アジア太平洋地域がそれに続く予想。
- 光衛星通信のアプリケーション別：バックホール、監視、地球観測、エンタープライズ・コネクティビティ、ラストマイル・アクセス、宇宙探査、通信サービス



光通信サービス市場の成長予測(Transparency Market Research社)

地上系通信ネットワークとの発展比較

- 地上系の情報通信システムは、10～20年ごとに大きな世代交代
- 宇宙空間の通信システムは、地上系で起きた技術革新を追従する傾向

| 年代 | 地上系通信ネットワーク | 衛星通信(宇宙ネットワーク) |
|---------|---|---|
| ～1960年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 海底ケーブルの実用化(1850) • マルコーニが無線通信に成功(1895) • 短波通信の商用化(1920年代) | <ul style="list-style-type: none"> • 初の人工衛星、スプートニク1号の打上げ(1957) • 日米間でテレビ衛星中継実験が成功(1963) • 静止衛星による商業通信サービス開始(インテルサット)(1965) |
| 1970年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 通信用光ファイバの実用化(コーニング社) | |
| 1980年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 第1世代携帯電話(アナログ方式) | |
| 1990年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 第2世代携帯電話(デジタル) • インターネットの普及本格化 • Wi-Fiの実用化(国際標準によって異なるベンダーの製品同士がつながる) | <ul style="list-style-type: none"> • 衛星コンステレーションによる商業サービス開始(イリジウム、ORBCOMM等) |
| 2000年代 | <ul style="list-style-type: none"> • クラウドの登場(AWS、Google等) • 第3世代携帯電話(W-CDMA等) | <ul style="list-style-type: none"> • 衛星インターネットサービスの商業サービス開始(仏ユーテルサット) |
| 2010年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 第4世代携帯電話(LTE-Advanced) | <ul style="list-style-type: none"> • 大容量のハイスループット衛星(HTS)の開発 |
| 2020年代 | <ul style="list-style-type: none"> • 第5世代携帯電話(5G) • 通信ネットワークの構造化(仮想化等) • サイバーセキュリティの強化 | <ul style="list-style-type: none"> • メガコンステレーションの商業サービス開始(Starlink、OneWeb等) • 衛星間光通信の実用化 • 宇宙空間におけるクラウド実現 |
| 2030年代 | <ul style="list-style-type: none"> • Beyond 5Gの実現 | <ul style="list-style-type: none"> • 異なるベンダーの衛星同士の相互接続が実現 • 宇宙ネットワークの構造化・複雑化 • サイバーセキュリティの強化 |

主要国の宇宙政策 (米・欧・英・中)

- ◆ 米国政府 国家宇宙政策 (NSP: National Space Policy) (2020年12月)
- ◆ 欧州 HORIZON EUROPE –The Framework Programme for Research and Innovation 2021–2027
- ◆ 英国政府 新たな「国家宇宙戦略」(2021年9月27日)
- ◆ 中国における宇宙関係政策 (第14次5か年計画 (2021～25年))

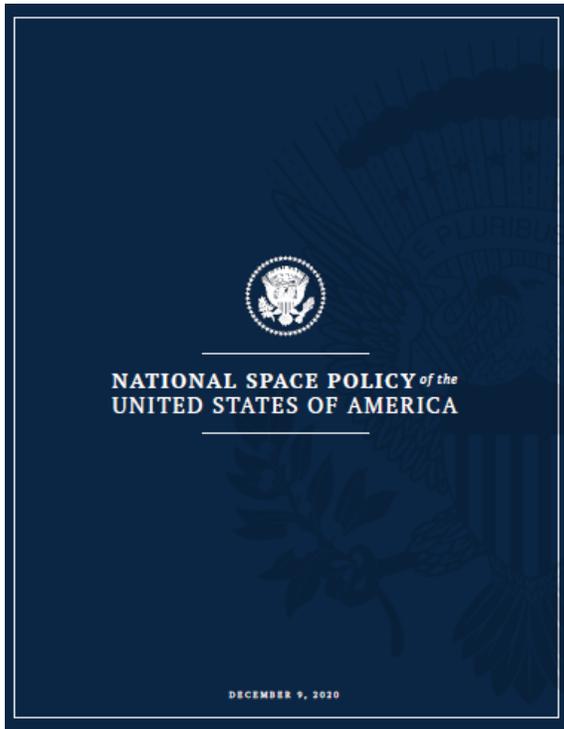
米国政府 国家宇宙政策(NSP: National Space Policy) (2020年12月)

～米国は、次世代の探検家や起業家を月に運び、さらに火星やそれ以上の場所へと運ぶ。
そのための革新的な商業的アプローチを生み出すため、産業界を活性化させる環境を整える～

- 2020年12月、トランプ大統領は、米国のすべての宇宙活動の方向性を示す「国家宇宙政策指令」を発表
- 米国は責任ある建設的な宇宙利用をリードし、強力な商業宇宙産業を促進し、米国人を月に戻し、火星探査をリードし、宇宙における米国及び同盟国の利益を守るという国家のコミットメントを提示

【米国が目指す目標】

- **米国の宇宙関連製品・サービスの世界市場創出**: 民間産業を奨励し、国際取引の世界的パートナーとしての米国の地位を強化する。
- **平和的な宇宙利用の奨励・支持**: 脅威に対応するため、外交・経済・安全保障上の能力と戦略を展開する。
- **全人類にとっての宇宙の恩恵拡大**: 宇宙探査を促進し、米国と同盟国の利益を守り、国際協力を拡大する。
- **安全で持続可能な宇宙活動環境の構築**: 産業界や海外パートナーと協力したデブリ対策、サイバーセキュリティ、サプライチェーン
- **宇宙機の破壊防止**: 商業用、民間用、科学用、安全保障用の宇宙機とそれを支えるインフラの破壊防止。そのための、能力開発と実戦配備
- **経済活動を深宇宙にまで拡大**: 月面に恒久的な人間の存在を確立する。科学探査、宇宙資源の利用、火星の有人探査を可能にする。
- **科学的能力の発展**: 資源探査、気象・環境監視、災害監視
- **機密性の高い技術流出の防止**: 革新的な宇宙技術、サービス、運用の開発における米国のリーダーシップを維持・拡大する。



国家宇宙政策の表紙

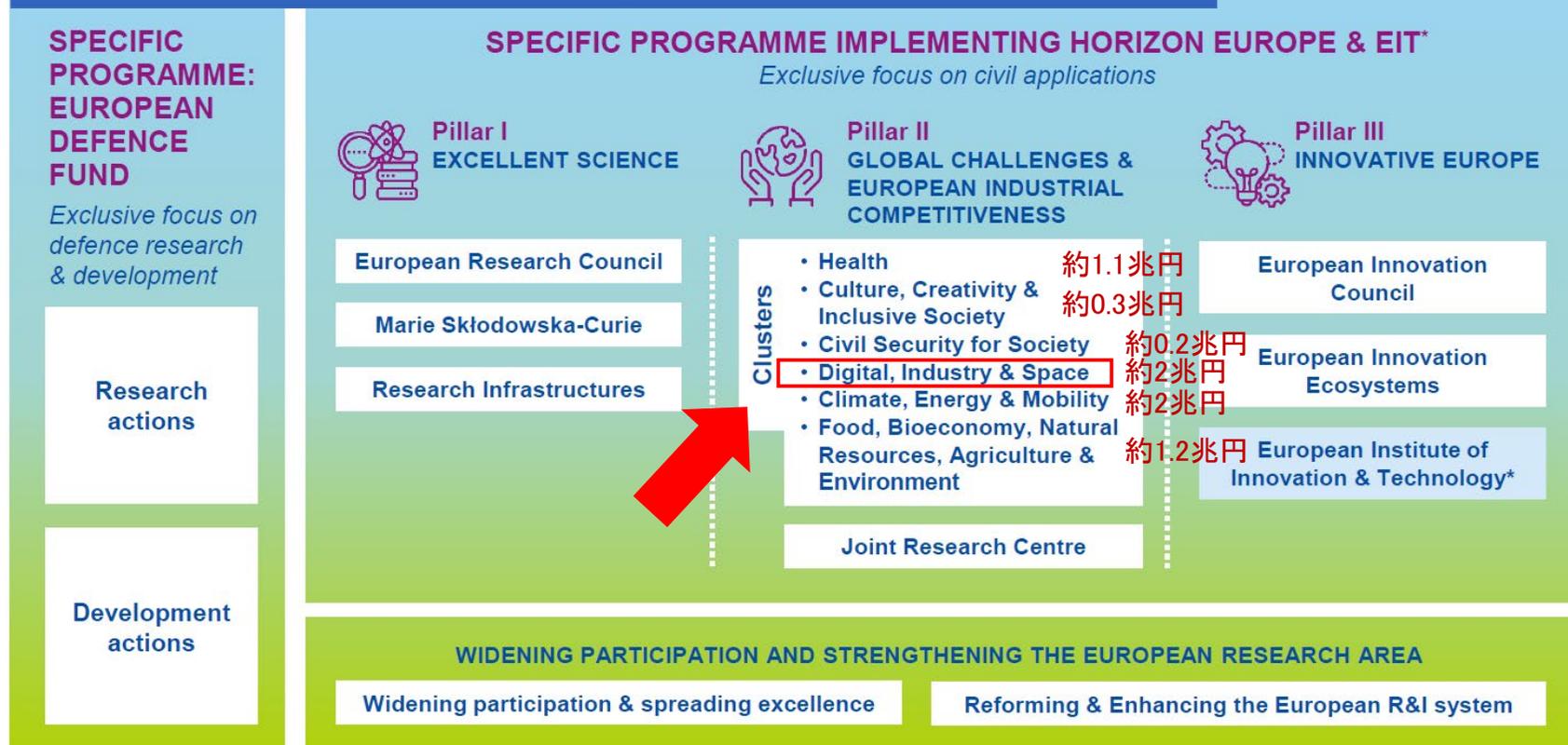
欧州 HORIZON EUROPE –The Framework Programme for Research and Innovation 2021–2027

- 2021年から7年間で955億ユーロ(約12兆円)を使用する研究・イノベーションプログラム(2020年12月EU首脳会議合意)
- 研究とイノベーションを促進しつつ、2040年までに30万人の雇用創出。全体予算の35%を気候変動対策に使用する。
- デジタル・産業・宇宙クラスターは、期間を通じて約2兆円の予算が用意されている。

13

Horizon Europeの全体像

※ 1ユーロ=130円で換算



I EXCELLENT SCIENCE

EUの国際的な科学競争力を高める。トップサイエンティストによる最先端研究プロジェクトを支援。研究者のフェローシップ等に資金提供。世界レベルの研究インフラに投資する。

II GLOBAL CHALLENGES & EUROPEAN INDUSTRIAL COMPETITIVENESS

社会的課題に対応する研究を支援し、クラスターを通じて技術力・産業力を強化する。

III INNOVATIVE EUROPE

イノベーションの先駆者としての欧州市場を創造する。EITは、教育、研究、イノベーションの知のトライアングルの統合を促進する。

https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/horizon-europe_en

<https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/93de16a0-821d-11eb-9ac9-01aa75ed71a1>

https://ec.europa.eu/info/files/horizon-europe-investing-shape-our-future_en

英国政府 新たな「国家宇宙戦略」(2021年9月27日)

～英国の宇宙産業が発射台の上で眠る時代は終わった(ボリス・ジョンソン首相巻頭言より)～

- 宇宙部門は英国経済の重要な一部。年間164億ポンド(約2.5兆円)以上の価値があり、45,000人以上の人々が役割を担っている。
- この史上初の国家宇宙戦略は、科学技術、防衛、規制、外交における英国の強みを結集し、大胆な国家ビジョンを追求する目的

【ビジョン】 世界で最も革新的で魅力的な宇宙経済を構築し、宇宙国家として成長する。宇宙における英国の利益を保護・防衛し、宇宙環境を形成し、宇宙を利用して国内外の課題を解決。最先端研究を通じ、次世代に刺激を与え、宇宙科学技術における競争力を維持。

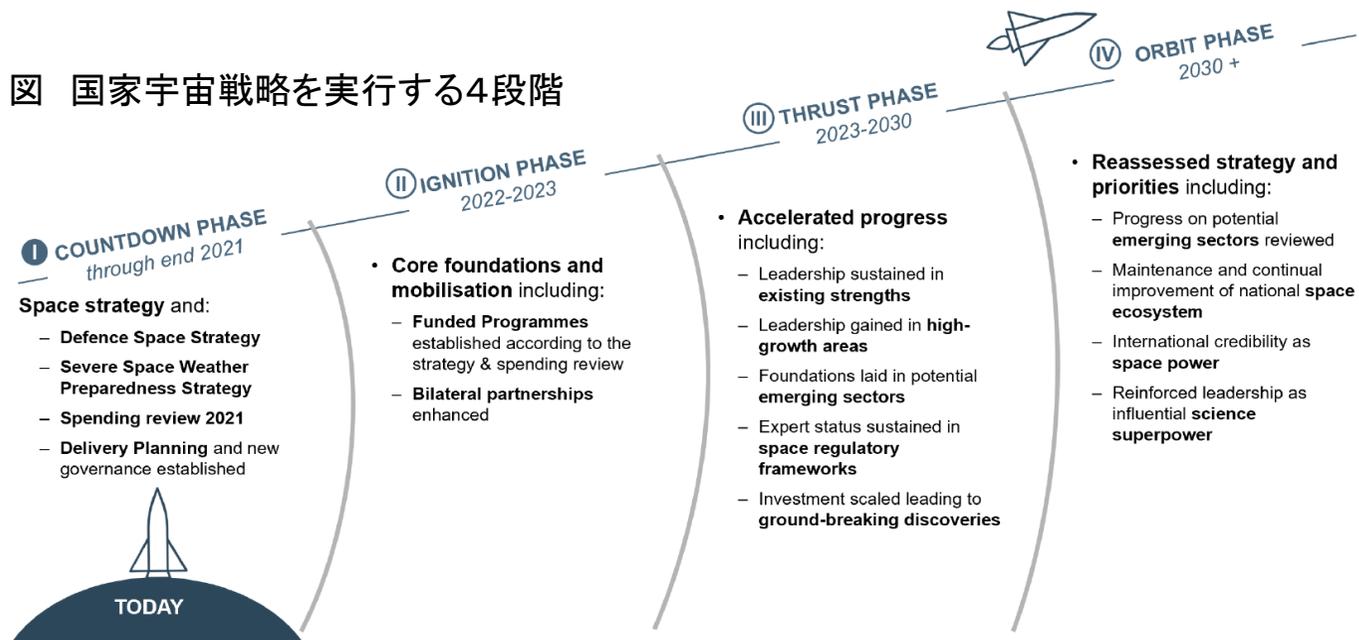
【目標】 宇宙経済の成長とレベルアップ、グローバル・ブリテンの価値観を推進、先駆的な科学的発見をリード、宇宙を通じての国益の保護と防衛、宇宙利用により英国市民と世界に貢献

【達成方法】 宇宙分野の成長を促進、国際的な協力関係構築、科学技術大国としての成長、強靱な宇宙開発能力の開発

- 【その他】
- ・ 欧州宇宙機関での役割を維持しつつ、米国などの国々と新たに強化された二国間関係を構築する。
 - ・ 国連において、安全で持続可能かつセキュアな宇宙環境に関するリーダーシップを発揮する。
 - ・ 火星のサンプルを初めて地球に戻し、太陽フレアなどの宇宙気象現象を監視する。
 - ・ NASAが主導するアルテミス計画に協力して、人類を月に帰還させる。
 - ・ 英国初の「防衛宇宙ポートフォリオ」を策定し、10年間で50億ポンドを軍の衛星通信に、14億ポンドを新技術と能力に投資する。
 - ・ 2022年に欧州から軌道上にロケットを打ち上げる最初の国となり、商業小型衛星打ち上げのリーダーとなる。



図 国家宇宙戦略を実行する4段階



○宇宙開発能力における重点事項(民生分野、防衛分野) (新たな「国家宇宙戦略」(2021年9月27日)p.33-34より)

| 宇宙開発能力 | 英国の取組 |
|--|--|
| <p>衛星通信 (Satellite Communications) 衛星や地上局を介して、グローバルで安全かつ弾力性のある通信や情報交換を行う。</p> | <p>英国は今後10年間で約50億ポンドを軍事衛星通信プログラムに投資し、スカイネット6プログラムを通じて提供し、自由空間の光通信システムのデュアルユースアプリケーションを調査する。英国は、ARTES(欧州宇宙機関の電気通信システムに関する先進的研究プログラム)を通じて、衛星通信技術における英国のイノベーションを促進する。</p> |
| <p>地球観測 (EO)、インテリジェンス・監視・偵察 (ISR) 地球上のあらゆる場所で地球観測データや電子情報を収集し、民間および防衛のために利用する能力</p> | <p>英国は、小型ISR衛星のコンステレーションとそれを支えるアーキテクチャを開発し、EOデータのインフラとハードウェア開発能力の両方に投資する。また、英国とEUの貿易・協力協定に基づいて、コペルニクス地球観測プログラムを開発し、その恩恵を受ける。</p> |
| <p>指揮統制と宇宙開発能力の管理 宇宙での活動やミッションのために資源を誘導するための組織構造とプロセス</p> | <p>英国は、民間／防衛の国家宇宙業務センターを設立する。英国宇宙司令部が指揮統制業務の主導権を握る。</p> |
| <p>宇宙管理 (Space Control) 敵対的活動による破壊に対する回復力を宇宙能力に持たせ、宇宙活動の自由を確保する能力</p> | <p>英国は、防衛宇宙ポートフォリオの一環として、適切な宇宙管理システムとプロセスを確保し、宇宙権益を保護・防衛するための補完的な能力を提供する。</p> |
| <p>測位、ナビゲーション、タイミング (PNT: Position, Navigation and Timing)</p> | <p>PNTは、4Gと5Gの通信ネットワークを可能にし、陸、海、空でのナビゲーションをサポートし、軍隊の能力を支える。政府は、地上と宇宙の革新的な新技術を組み合わせ、レジリエントなPNT機能に投資することを検討中</p> |
| <p>打ち上げ能力</p> | <p>2022年には、英国各地で開発されているスペースポートから、欧州から小型衛星を打ち上げる最初の国となる予定</p> |
| <p>軌道上サービス・製造 (IOSM) 新しい技術により、英国は衛星のサービスとメンテナンスを行い、強靱性、有効性、費用対効果を最大限に高める。</p> | <p>軌道上でのデブリ除去サービス、燃料補給、組み立ての先進技術を探求する。軌道上での人工衛星の建設や修理、我々の利益を守り抜くための防衛活動を行うことができるようになる。</p> |
| <p>スペース・ドメイン・アウェアネス (SDA) 宇宙で起きていることを英国が確実に把握するために、宇宙空間における物体の検出、識別、追跡、および宇宙天気の影響を理解する。</p> | <p>英国は、センサーおよびデータネットワークを拡張し、宇宙天気を理解し、宇宙の監視および追跡データを利用する能力を追加する。民間および防衛の国家宇宙業務センターは、産業界にSDA情報を提供する。</p> |

中国における宇宙関係政策(第14次5か年計画(2021~25年))

~人工知能、量子情報、航空・宇宙技術などの国家安全保障や経済開発の中核となる分野で戦略的科學プロジェクトを実施~

● 2021年3月、中国の全国人民代表大会(全人代)が終了し、「中国国民経済・社会発展のための第14次5か年計画(2021~25年)と2035年までの長期目標」を発表。宇宙分野を含めた科学技術イノベーション推進等の方針が示されている。

第4章 国家戦略的科學技術力の強化

- 科學技術の自立を国家発展の戦略とし、イノベーション主導の発展戦略を深く実行し、科學技術強国の建設を加速する。
- 量子情報、フォトニクス・マイクロナノエレクトロニクス、ネットワーク通信、人工知能、生物医学、現代エネルギーシステムなどの主要な革新分野に焦点を当て、国立研究所を中心とした戦略的科學技術力の構築を加速する。
- 人工知能、量子情報、集積回路、生命・健康、脳科学、生物飼育、**航空・宇宙技術**、深海・地球などのフロンティア分野において、戦略性のある国家的な大型科學技術プロジェクトが数多く実施。国家安全保障や経済開発の中核となる基礎分野で、戦略的な科學プロジェクトを実施する。

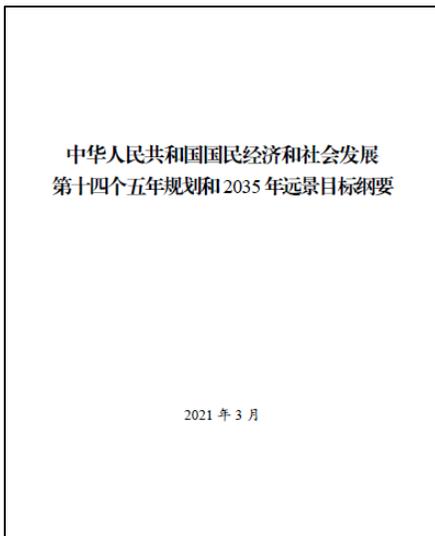
【科學技術のフロンティア領域】

・**深宇宙**・深地球・深海・極地探査

宇宙と地球の起源と進化を視野に入れた基礎科学研究、火星周回などの惑星間探査、新世代大型ロケットや再使用型宇宙輸送システムの開発、地球深部探査機、深海海洋探査船、極地観測プラットフォーム、大型砕氷船などの開発、第4期月探査計画など。

【国家の主要科學技術インフラ】

宇宙環境の地上監視ネットワーク、高精度計時(時刻)システム、海底観測ネットワーク、宇宙環境の地上シミュレーション装置、高高度宇宙線観測所等



第8章「強いモノづくりの国」戦略の徹底実行

- 先進的な製造業のクラスターを育成し、集積回路、**航空宇宙**、船舶・海洋工学機器、ロボット、先進的な鉄道輸送機器、先進的な電力機器、建設機械、ハイエンド工作機械、医薬・医療機器などの産業の革新的発展を促進。

第9章 戦略的新興産業の開拓と成長

- 新世代の情報技術、バイオテクノロジー、新エネルギー、新素材、ハイエンド機器、新エネルギー自動車、グリーン環境保護、**航空宇宙**・海洋機器などの戦略的新興産業に焦点を当て、重要なコア技術の革新を加速し、強化されるように能力を高める。
- 脳のような知性、量子情報、遺伝子技術、未来の情報ネットワーク、深海・**空・宇宙開発**、水素エネルギーとエネルギー貯蔵、その他のフロンティア分野で、未来産業のインキュベーションとアクセラレーションプログラムを実施。

第11章 最新のインフラシステムの構築

- 通信、ナビゲーション、リモートセンシングなどの宇宙インフラシステムをグローバルにカバーし、効率的に運用し、商業用の宇宙発射基地を建設する。

第57章 国防力と経済力の同時強化の推進

- 軍事と民間の科學技術の共同イノベーションを深め、海洋、航空、宇宙、サイバースペース、生物、新エネルギー、人工知能、量子科學技術などの分野における軍民の統合的発展を強化。軍と民間の研究施設の共有、軍と民間の研究成果の双方向の応用、基幹産業の発展を促進する。

中国国民経済・社会発展のための
第14次5か年計画(2021~25年)と
2035年までの長期目標

電気通信事業者の 宇宙ネットワーク事業の取り組み

スカパーJSAT・NTTの提携

- スカパーJSATとNTTは、新たな宇宙事業創出をめざすことに合意し、業務提携契約を締結(2021年5月2日)
- IOWNの実現に取り組むNTTと宇宙事業での豊富な技術・実績を有するスカパーJSATの連携により、宇宙統合コンピューティング・ネットワークによるイノベーションで新たな宇宙インフラを構築

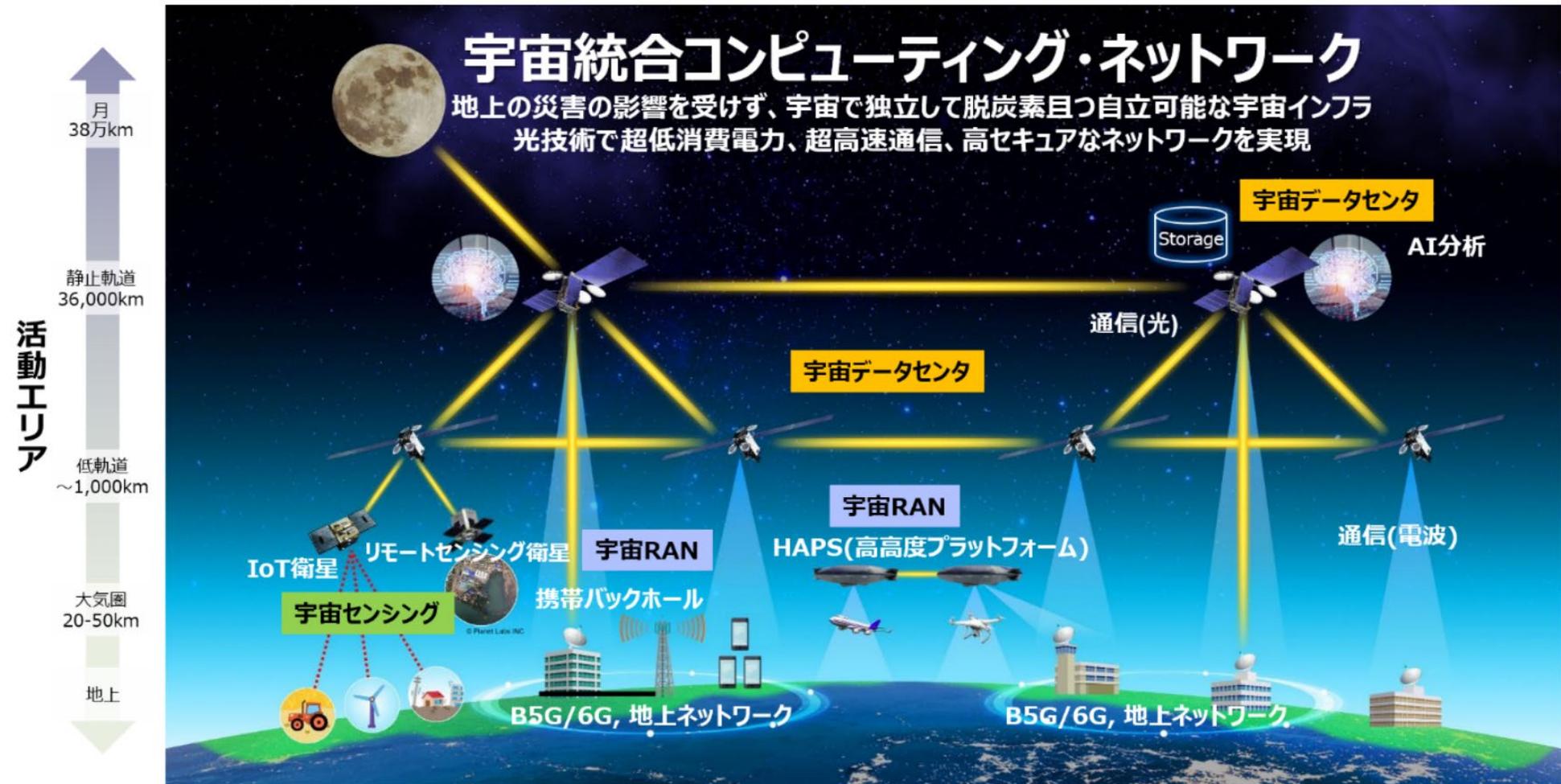


図1:宇宙統合コンピューティング・ネットワークがめざす世界観イメージ

出典 : <https://www.skyperfectjsat.space/news/detail/ntt.html>

- KDDIは、Starlinkをau基地局のバックホール回線に利用する契約を締結(2021年9月13日)
- サービス提供が困難とされていた山間部や島しょ地域、災害対策においてもauの高速通信を使用できるよう、2022年をめどに、まず全国約1,200カ所から順次導入を開始
- KDDIは、実験試験局免許の交付を受け、Starlink衛星と地上のインターネット網を接続するゲートウェイ局(地上局)をKDDI山口衛星通信所に構築。現在、品質と性能を評価中。



ちと
もと
つなぐも

au

auの高速通信体験を、日本中どこでも

au基地局1,200箇所超を高速化



山間部 離島 災害対策

Starlink地上局を構築
両社共同で性能評価



KDDI山口衛星通信所



Starlink衛星の打ち上げ(2021年2月)



放出される多数のStarlink衛星

出典:KDDIの新サービス発表会(2021年9月13日)より

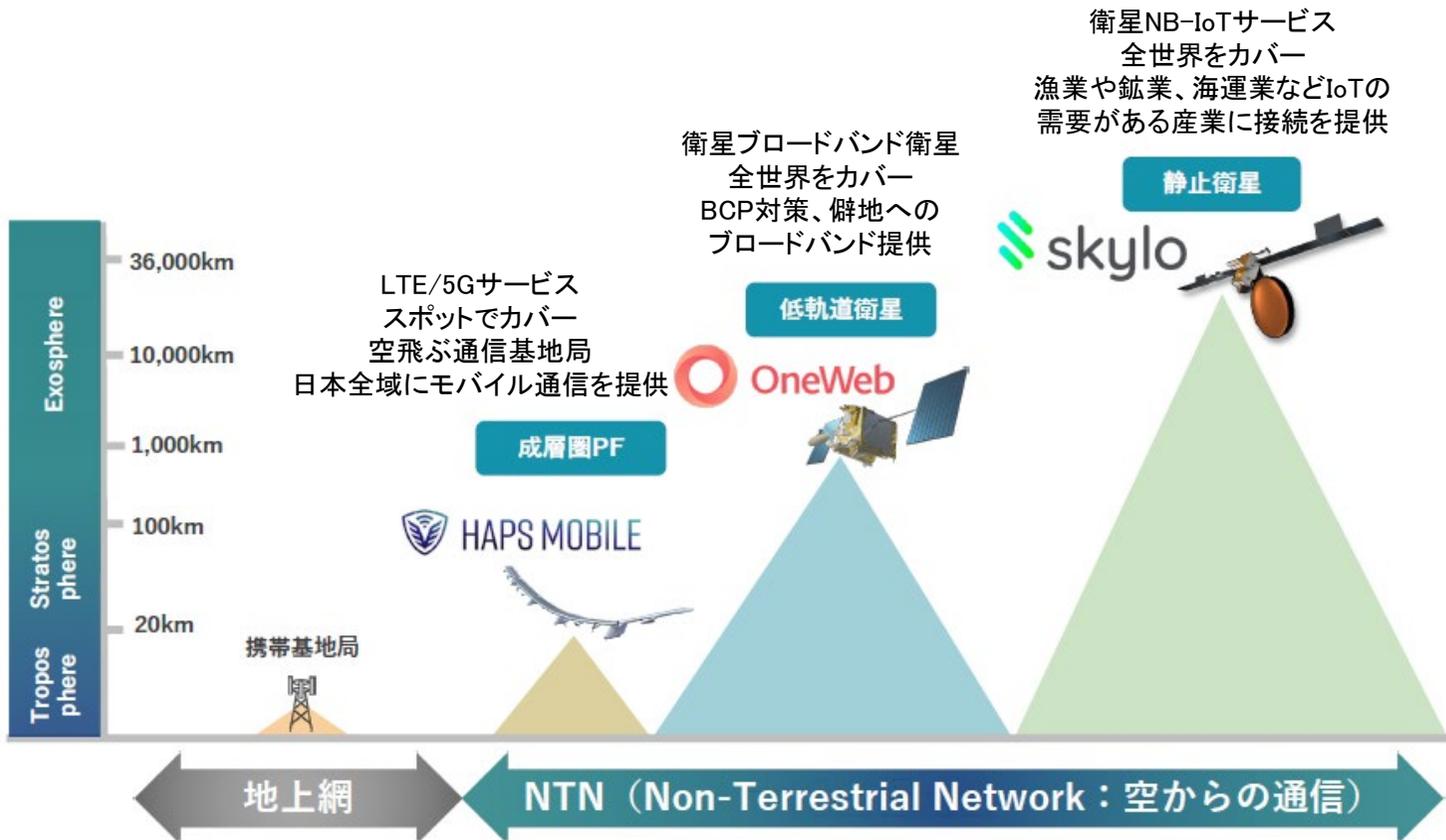
出典:

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2021/09/13/5392.html>

<https://www.flickr.com/people/spacex/>

ソフトバンク・OneWeb・Skylo・HAPS MOBILEの提携

- ソフトバンクは、①Skyloが提供するIoT向け衛星ナローバンド通信サービス、②OneWebが提供する低軌道衛星通信サービス、③ソフトバンクの子会社であるHAPSモバイルが提供する成層圏通信プラットフォームを活用して、宇宙空間や成層圏から通信ネットワークを提供する非地上系ネットワーク(NTN)ソリューションのグローバル展開を推進
- ソフトバンクは、米Alphabetの子会社であるLoonが保有するHAPS関連特許約200件を取得することで合意(2021年9月)。この取得により、ソフトバンクとその子会社のHAPSモバイルは、**HAPS業界で最大規模の特許数を保有**。



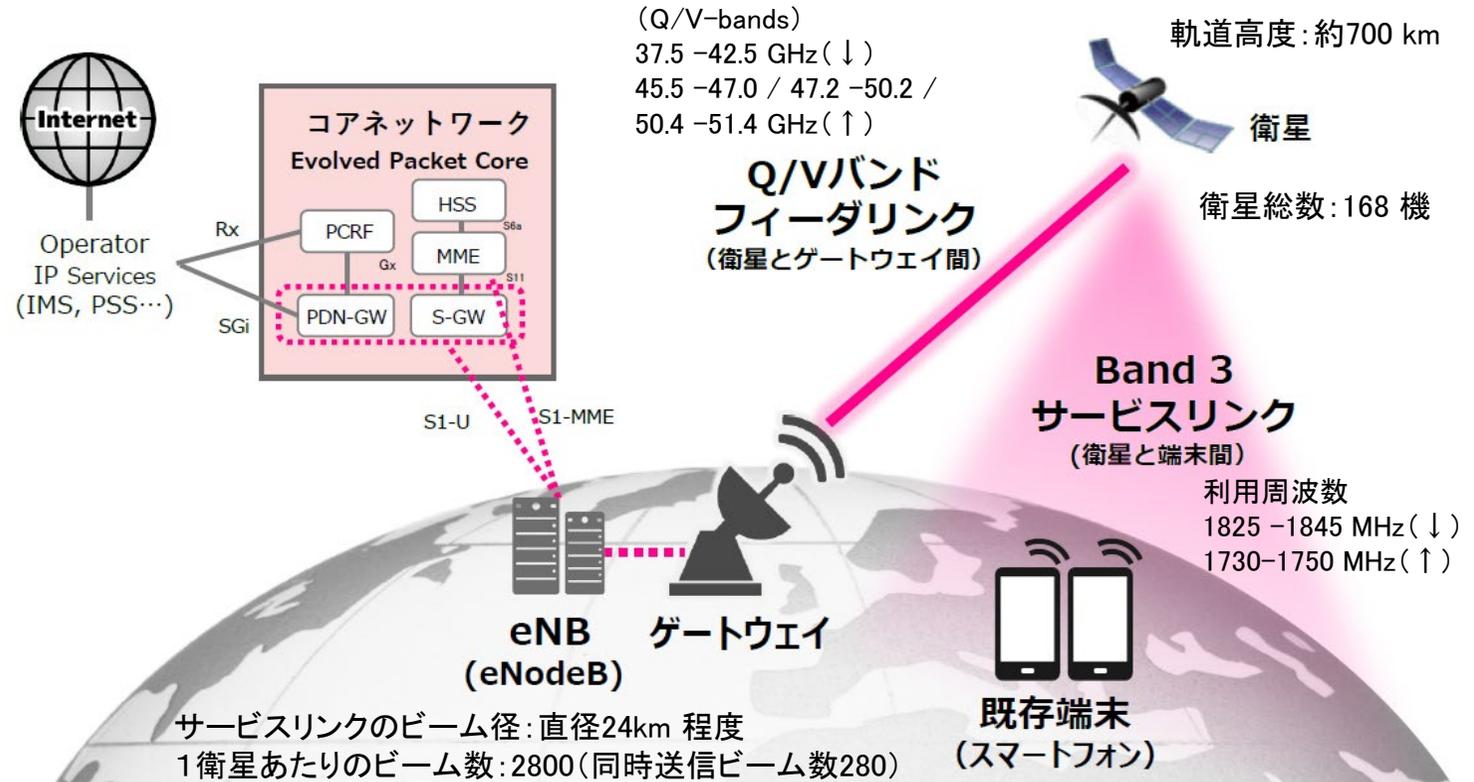
SoftBankのNTNポートフォリオ

楽天・ASTスペースモバイルの提携 (SpaceMobileの提供)

- 楽天は、米AST & Science, LLC (米国テキサス州) へ、リードインベスターとして出資 (2020年3月)
- 楽天とボーダフォンは、AST社への出資とともに、同社と戦略的パートナーシップを締結し、世界初の試みである、宇宙から送信するモバイルネットワークの構築により、地球上における携帯電話サービスの提供エリア拡大を目指す。
- AST社の低軌道人工衛星からの衛星通信ネットワークは、市販のスマートフォンを用いて直接接続できる見込み。
- 2019年4月、AST社初の試験用人工衛星「BlueWalker 1」の打ち上げに成功。3号機を2022年3月に打ち上げ予定。
- 日本でのサービス提供は2023年以降となる予定。山岳地帯や離島等のエリアカバレッジ、災害時に基地局が損壊しても、既存端末で同様の通信手段を提供する予定。



BlueWalker 1の打ち上げ
(2019年4月)



SpaceMobile (スペースモバイル) のサービス構想 (同社資料を一部加工)

出典 https://corp.rakuten.co.jp/news/press/2020/0303_02.html
<https://ast-science.com/2019/04/23/successful-launch-of-first-satellite/>
総務省情報通信審議会衛星通信システム委員会スペースセルラー検討タスクグループ報告書より
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/space_cellular/index.html

総務省・NICTにおける 衛星コンステレーションの取り組み

小型衛星コンステレーション向け 衛星搭載用の光・電波通信装置の開発(2021年～2024年度)

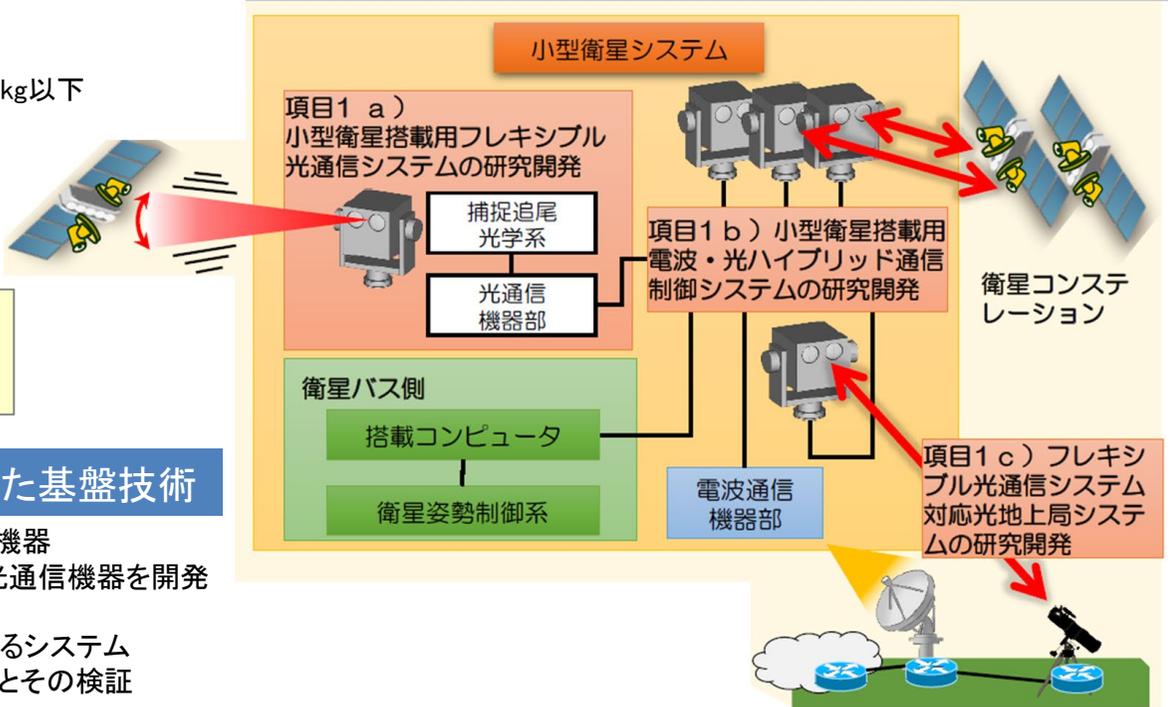
・ 情報通信研究機構(NICT)では、「Beyond 5G研究開発促進事業 研究開発方針」(2021年6月、総務省国際戦略局)に基づき、Beyond 5G研究開発促進事業を実施。この事業において、小型衛星コンステレーション向けの電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発に着手

1. LEOコンステレーション用小型衛星搭載電波・光ハイブリッド通信技術

- a) 小型衛星搭載用フレキシブル光通信システム
 - ・光通信システムの通信容量: 最大の通信容量5Gbps以上
 - ・サイズ: 一辺25cm以下、光通信機器部6kg以下、捕捉追尾系9kg以下
 - ・初期捕捉時間: 1分以内
- b) 小型衛星搭載用電波・光ハイブリッド通信制御システム
 - ・通信容量: 光通信5Gbps級、電波通信100Mbps級
- c) フレキシブル光通信システム対応光地上局システム
 - ・低軌道衛星を自動で捕捉追尾可能な可搬型光地上局

採択企業(2グループ):

- (1) アクセルスペース、東京大学、東京工業大学、清原工学
- (2) 日本電気



2. 超広帯域光衛星通信システムの実現に向けた基盤技術

- a) 100Gbps級フレキシブル光衛星通信システムの搭載用光通信機器
 - ・小型衛星等への搭載を想定し、超広帯域化に向けた搭載用光通信機器を開発
- b) LEOコンステレーション光通信機器の自動運用システム
 - ・光通信機器の不具合・故障等の健全性を把握し、自動運用するシステムに向けて、システム全体での健全性把握を行うロジックの構築とその検証

採択企業: アクセルスペース、東京大学、東京工業大学、清原工学

■ 研究開発期間: 契約締結日から2024年度まで(2022年度に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、2024年度まで継続予定。)

■ 研究開発予算: 総額950百万円/年(税込)

■ 両グループは連携し、研究開発成果の最大化を図ることが採択条件

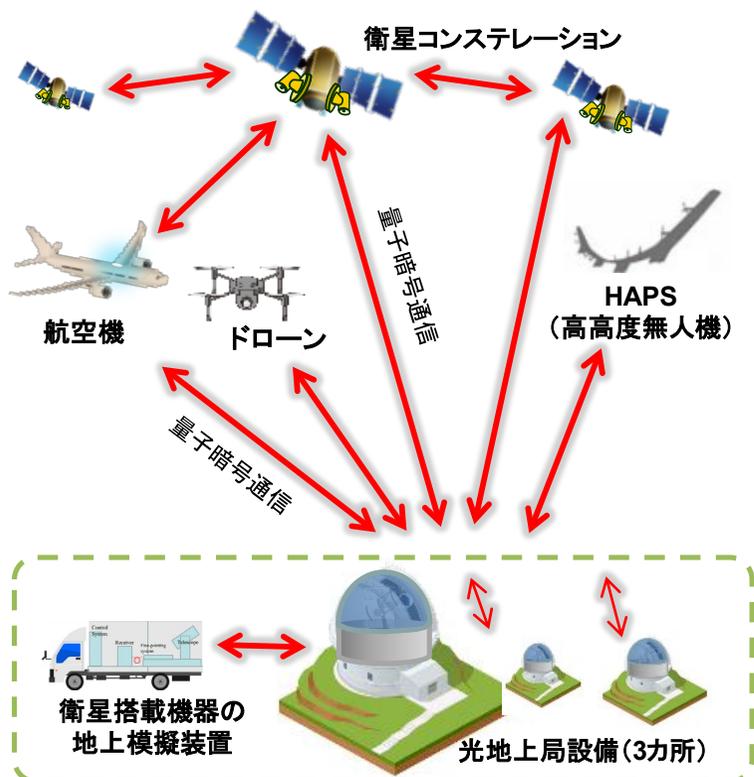
LEOコンステレーション用小型衛星搭載電波・光ハイブリッド通信技術の研究開発のイメージ

<https://www.nict.go.jp/press/2021/07/16-1.html>
<https://www.nict.go.jp/info/topics/2021/11/11-1.html>

衛星コンステレーションにおける量子暗号通信を実現するための 光地上局テストベッド環境の整備(令和3年度補正予算)

経済安全保障の強化のため、衛星コンステレーションで不可欠となる光通信や量子暗号について、
光地上局システムが抱える技術課題を産学官連携で解決するためのテストベッド環境をNICTに整備

令和3年度第1次補正予算(案): 50.50億円



NICTで整備する光地上局のイメージ



これまでの研究成果
技術試験ノウハウ
様々な知的財産

光地上局
テストベッド環境(NICT)

産学官連携

衛星メーカー
光部品メーカー
量子暗号開発企業
通信事業者
大学、研究機関

試作品
プロトタイプ
部品・機器

複数企業の
機器の持ち寄り



■技術課題を解決する共同研究、実証試験、
国際標準化、知的財産創出

衛星コンステレーションにおける光通信・
量子暗号通信の早期の実用化

光通信や量子暗号の技術課題を産学官連携で
解決するテストベッド環境のイメージ

小型衛星で次世代通信網

国と産学連携 来年度中に実証拠点

総務省は小型衛星を使
った次世代の宇宙通信網を
の開発支援に乗り出す。
国内の通信事業者や大学
などと産学で実証でき
る拠点をとりうる年度中
に整備する。衛星経由の
通信技術はインフラが未
整備の地域を含め地球全
体をカバーするだけでなく、
地表画像のデータも
収集できるため安全保障
に直結する。政府は日本

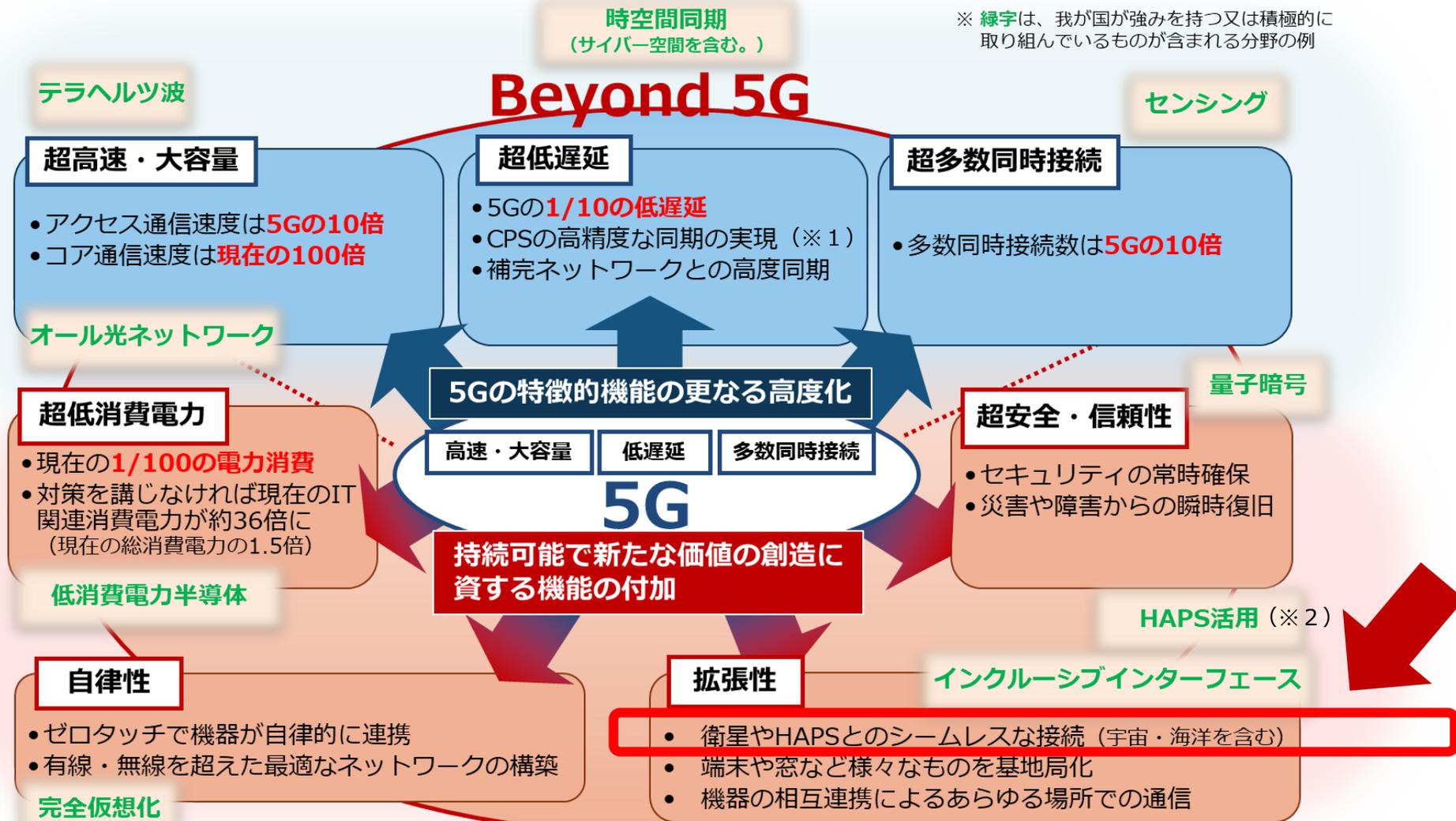
勢が国際競争で優位に立
った後押しする。
総務省が所管する国立
研究開発法人、情報通信
研究機構(NICT)内
に小型衛星を活用した光
通信の実証設備を新設す
る。通信事業者のほか、
衛星や光部品メーカー、
研究機関などが試作品を
持ち寄って共同で実証で
きる環境を整える。政府
が11月中にまとめる経済
証する。複数の企業の部

対策に盛り込み、21年度
補正予算案に関連経費を
計上する。
回通信網は地上設備か
らレーザーのような光を
小型衛星向けに出すた
め、データ通信の際に障
害となる雨雲を避ける必
要がある。天候に応じて
通信しやすい仕組みなど
に選択できる仕組みなど
を構築する。

品や機器を組み合わせて
設備の小型化や低コスト
化を図る。
次世代高速通信規格
「6G」が実用化すれば、
自動運転や再生可能エネ
ルギー施設の遠隔管理な
ど大量のデータを常時通
信する新たなニーズが生
まれる。現在はケーブル
を介した通信手段が多い
が、災害などで断線して
通信が急に遮断されれば
甚大な被害につながるか
ねない。各社は安定した
てネットワークを構築す
る計画がある。政府は
小型衛星の群れを1つの
ネットワークにする「衛
星コンステレーション」
を活用した仕組みの構築
を急いでいる。
米国内ではイロノ・マ
スク氏が率いるスペース
Xが巨大通信衛星網プロ
ジェクト「スターリンク」
を進めており将来的に1
万基以上の衛星を打ち上
げる構想だ。中国でも多
数の小型衛星を打ち上げ
てネットワークを構築す
る計画がある。政府は
小型衛星の群れを1つの
ネットワークにする「衛
星コンステレーション」
を活用した仕組みの構築
を急いでいる。
米国内ではイロノ・マ
スク氏が率いるスペース
Xが巨大通信衛星網プロ
ジェクト「スターリンク」
を進めており将来的に1
万基以上の衛星を打ち上
げる構想だ。中国でも多
数の小型衛星を打ち上げ
てネットワークを構築す
る計画がある。政府は

宇宙ネットワークの将来像と Beyond 5G 実現に向けた技術課題

- **Beyond 5Gは、5Gの特長的機能の更なる高度化**（超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続）**に加え**、自律性、拡張性、超安全・信頼性、超低消費電力等、**持続可能で新たな価値の創造に資する機能の付加が求められている。**



※ 1 Cyber Physical Systemの略。センサー等で実空間（フィジカル）のデータを収集・観測し、サイバー空間でデータの処理・分析を行ってその結果を実空間側にフィードバックすることで、新たな価値を創造する仕組み等を指す。

※ 2 High Altitude Platform Stationの略。携帯電話の基地局機能を搭載して成層圏などの高高度を飛行する無人航空機等を指す。

- 通信ネットワークを利用する国内企業では、宇宙ネットワークと地上系ネットワークとのシームレスな連携・接続に対する期待が高まっている。

表：宇宙ネットワークと地上系ネットワークのシームレス化に対する期待

| | |
|---------------------|--|
| 海上運送業大手 A社 | ● セルラー網と衛星網の切り替えがスムーズに行われるしくみが必要 |
| 鉄道技術の研究・開発機関 B | ● 衛星ネットワークを専用線のように利用できるスライシング技術に着目 |
| 船舶のデジタル化支援プロバイダー C社 | ● 沿岸付近の5G網と衛星網を連携させることで良いサービスを提供できる。 |
| 空撮用マルチコプター等の販売 D社 | ● 地上系と非地上系(NTN)の連携が重要になる。 |
| 警備業大手 E社 | ● 5GのMEC(マルチアクセス・エッジ・コンピューティング)でデータ処理し、衛星通信経由で地上に伝送するサービスシナリオが考えられる。 |
| 衛星製造ベンダー F社 | ● ユースケースに応じてLEO衛星、HAPS、GEO衛星を使い分け、接続先に応じたスライシングができると良い。衛星リソース(エリア、周波数、電力)をニーズ毎に有効活用する地上系設備が実現すると需要が拡大する。 |

- EUがホライゾン2020の枠組みで立ち上げたプロジェクト「5Gのための衛星・地上ネットワーク」では、**衛星ネットワークと地上系5Gネットワークの統合を実現する研究開発(2017年～2020年)を実施**
- 航空機、船舶、通信インフラ未整備地域の**カバレッジ問題を経済的に解決**するため、5Gアーキテクチャと衛星ネットワークのシームレスな統合をめざし、**地上系企業と衛星系企業が50/50のバランスでプロジェクトに参画**

【ユースケース】

- **移動するプラットフォームへの高速5G伝送** (航空機、鉄道、車両、自動運転車、船舶、クルーズ船等)
- **マルチキャスト/ブロードキャスト配信** (ライブ放送、マルチキャスト・ストリーム、グループ・コミュニケーション、MEC・VNFのアップデート配信などのコンテンツをマルチキャスト/ブロードキャスト配信)
- **通信インフラ未整備地域の家庭や小規模オフィス向け**
- **5Gのバックホール回線** (湖、島、山、農村部、孤立地域)

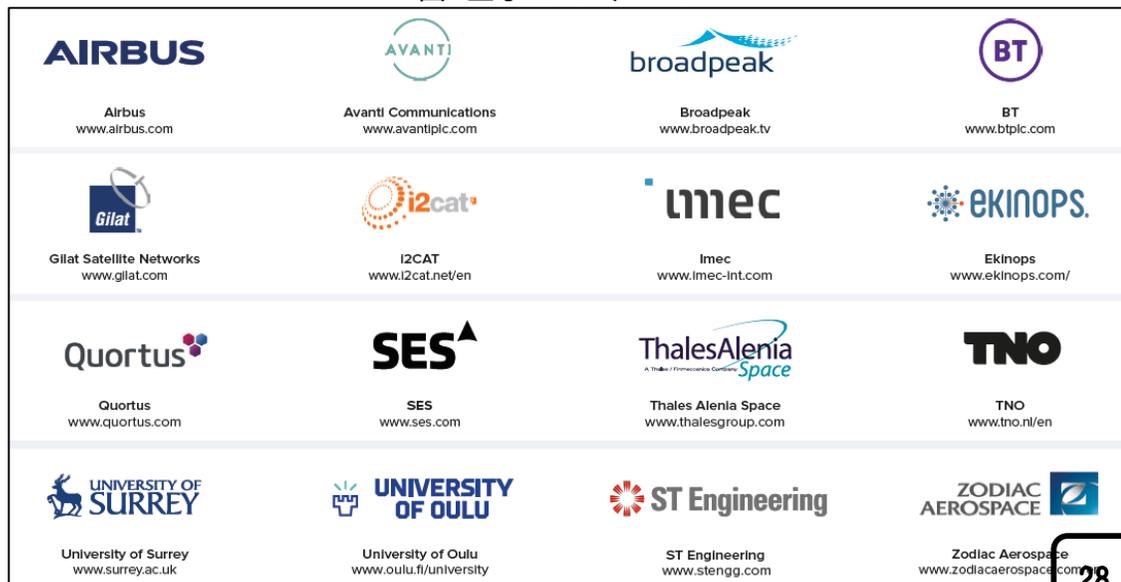


図 主なユースケース

【研究開発課題】

- 衛星ネットワークでのSDN・NFVの実現
- 統合化されたネットワーク管理とオーケストレーション
- マルチリンクやヘテロジニアスネットワークの最適化
- コントロールプレーン・ユーザプレーンにおける衛星ネットワークと5Gの調和
- 5Gセキュリティの衛星ネットワークへの拡張
- コンテンツ配信とVNFのためのマルチキャスト
- 衛星の5Gへの統合とそれに伴うビジネス・オペレーションモデルへの影響研究
- 統合テストベッドでのプロトタイプを検証・実証
- 衛星ネットワークの3GPP、ETSI規格への組み込み

MEC: マルチアクセス・エッジ・コンピューティング
 VNF: 仮想化ネットワーク機能
 SDN: ソフトウェア定義型ネットワーク
 NFV: ネットワーク機能仮想化
 ヘテロジニアスネットワーク: 異種混合ネットワーク



プロジェクトの参画企業・大学

社会経済や通信サービスの将来トレンド

| 観 点 | 現 在 | 将 来 |
|--------------|------------------------|--|
| 人類の活動空間 | 地表、主に都市部 | あらゆる場所・地域、サイバー空間、地方分散、 上空・海洋・宇宙・月面 働き方改革(テレワーク、アバターロボット) |
| 移動するプラットフォーム | 自動車、鉄道、船舶、 航空機 等 | 自動運転、ロボット、ドローン、空飛ぶ車、HAPS、 無人建設機械、有人宇宙船、月面探査車 等 |
| 安心・安全の実現 | — | 災害に強い通信ネットワークの必要性 宇宙空間のサイバーセキュリティが問題化 |
| 安全保障分野 | 陸・海・空 | 宇宙・サイバー・電磁波領域の対応 |
| 発生する通信トラヒック | 拡大傾向 | センサやモノの増加に伴い爆発的に増加 リモートセンシングにより宇宙でもビッグデータ発生 |
| 求められる通信サービス | ユーザーは主に 地上ネットワークを利用 | 利用シーンによっては宇宙ネットワークも 柔軟に使いこなしたいニーズが顕在化 |
| 通信のレイテンシ | 通信の遅れ(ラグ) 問題が顕在化 | センシティブな利用分野がよりの層顕在化 (金融高速取引、遠隔の建機操作、ゲーム対戦) |
| ネットワークの伝送路 | 光ファイバ・電波・銅線 | 宇宙空間における光(レーザー)通信の普及 |
| データセンターの発展 | クラウド基盤は地上設置 | 宇宙空間にもクラウド基盤が設置 利用ニーズに応じて宇宙空間でデータをエッジAI処理 |

1. 地上系ネットワークの拡張
2. 移動するプラットフォームへの通信サービス
3. 宇宙クラウドサービス
4. 宇宙・極地・海洋の経済活動支援
5. 通信ネットワークの強靱化対策
6. 量子暗号による安全な通信(宇宙経由の暗号鍵配送)
7. 宇宙経由の超低遅延ネットワーク
8. マルチキャスト型データ配信サービス
9. 次世代型メタバースの実現(アバターロボットの極地活動支援)
10. 究極の“カーボンニュートラル通信”の提供

※ 総務省国際戦略局における分析結果

【検討に際しての参考文献等】

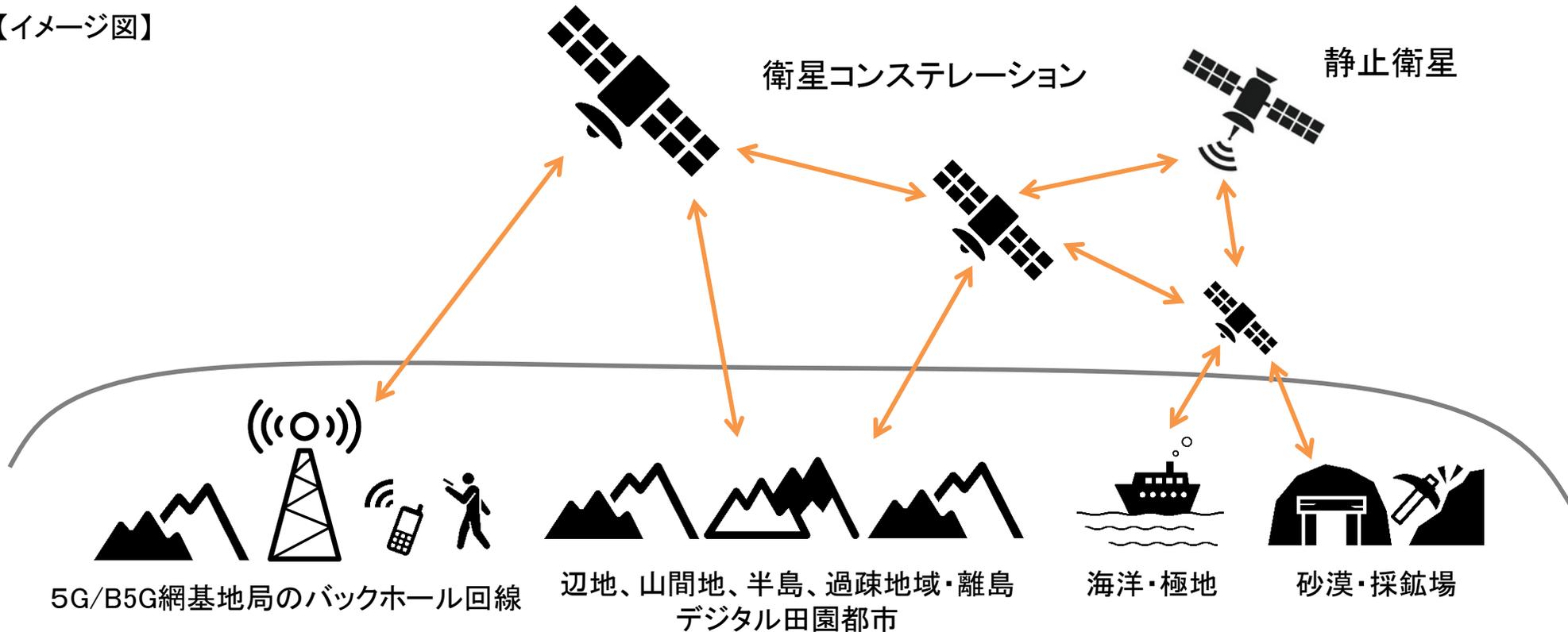
- 情報通信審議会技術戦略委員会(1月13日)における中間論点整理(Beyond 5Gが必要とされる社会的背景)
- 主要国(米、中、欧、英)における宇宙国家戦略、海外の研究開発プロジェクト
- 米国国防総省における国家防衛宇宙体系(NDSA)の衛星調達動向
- 国内外の電気通信事業者やIT企業における宇宙関連の取り組み動向
- 宇宙産業に関する国内外の調査レポート
- 過去の情報通信白書、衛星コンステレーションに関する主要論文(国内外) 等

【概要】

- 山間辺地、離島、半島、海洋、砂漠、鉱山等、通信インフラ未整備地域への通信サービスの拡張
- 携帯基地局向けバックホール回線の提供 ※バックホール回線:電波を送受信する基地局と基幹通信網をむすぶネットワーク
- デジタル田園都市国家構想の実現(地方からデジタルの実装、地方の成長産業創出、交通物流の確保)
- 電気通信事業者のサービスの海外展開 ※衛星コンステレーションは必然的に海外へのサービス展開となる。
- 日本企業の海外展開支援(通信インフラ未整備地域で活躍する鉱山機械、建設機械、自動車、船舶、各種プラント等)
- 安全保障分野に対する高速大容量・超低遅延の通信サービス

【ユースケース実現に必要な技術例】 光通信技術、地上網とのシームレス連携技術、ネットワーク制御・運用技術 等

【イメージ図】



海外へのサービス展開

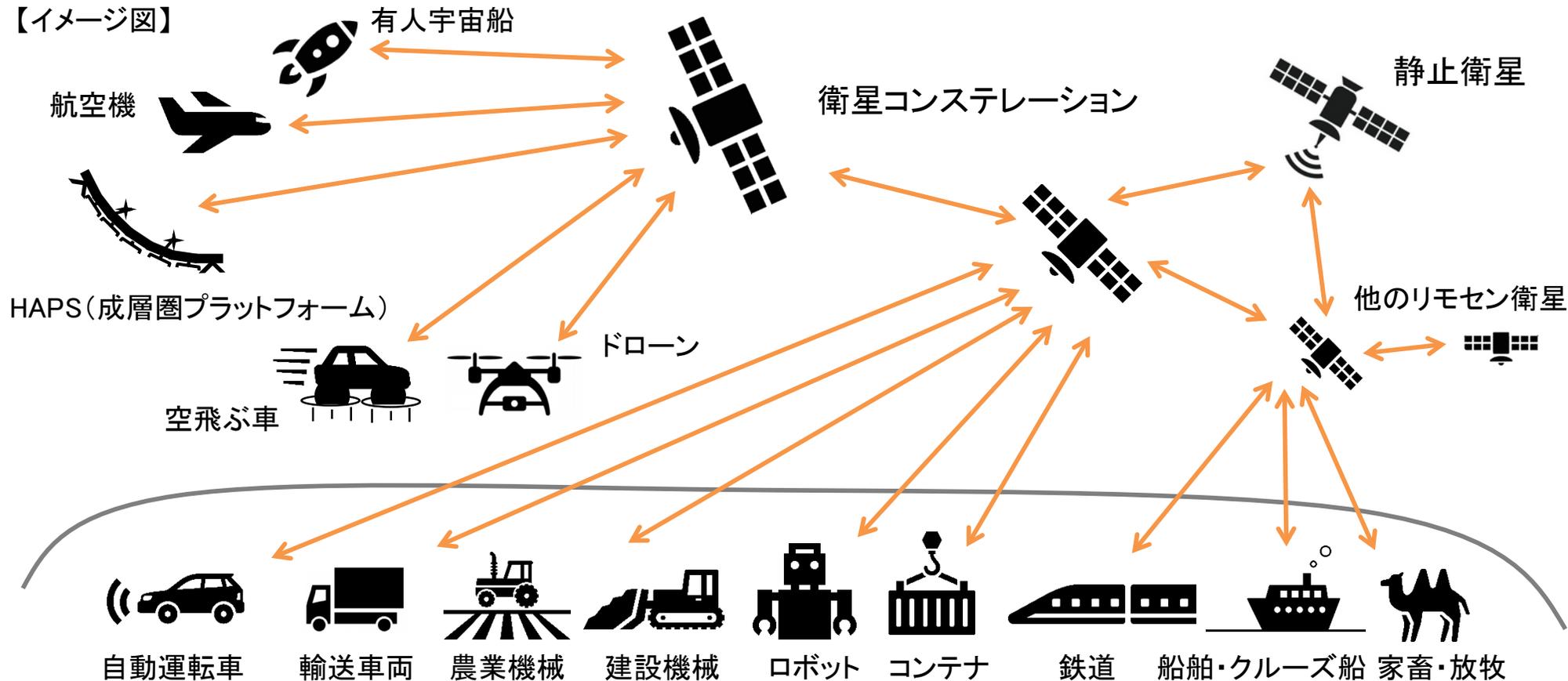
※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- 移動するあらゆるプラットフォームに対する切れ目のない通信サービスの提供
- 地上系ネットワークと連携しながら、地球上のどこに存在してもネットワークに接続
 - 従来の自動車、航空機、鉄道に加え、自動運転車、空飛ぶクルマ、ドローン、有人宇宙船、船舶・クルーズ船、ロボット、コンテナ、サイクリング、建設機械、農業機械、家畜、他のリモートセンシング衛星 等
- 上空を飛行するプラットフォームに対しては、宇宙ネットワーク経由で確実に通信

【ユースケース実現に必要な技術例】 ハンドオーバー技術、ネットワーク制御・運用技術、タスク管理技術 等

【イメージ図】



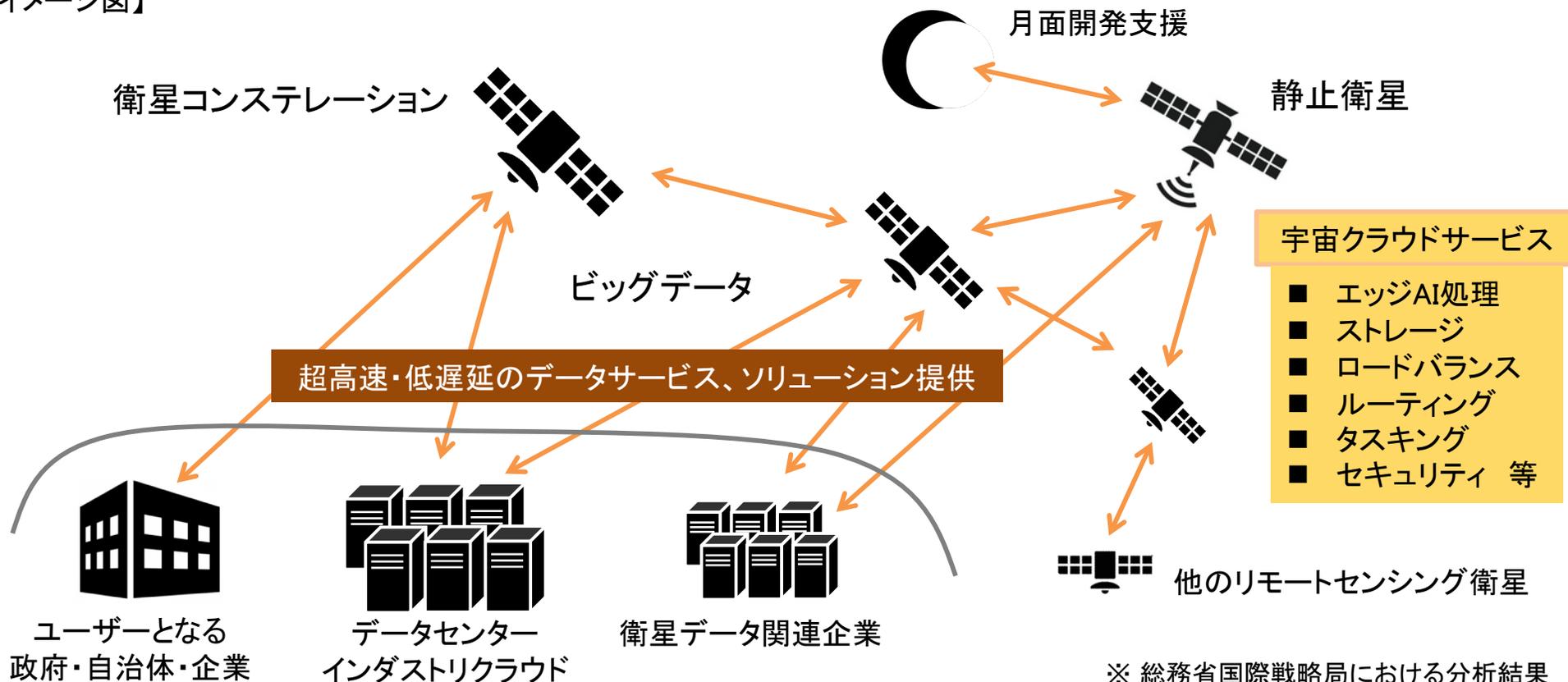
※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- 地球上のあらゆる場所や移動するプラットフォーム、宇宙空間、月面基地がダイレクトにクラウド基盤とつながる。
- 宇宙空間にもクラウド基盤が展開され、利用者が必要とする最適なクラウドサービスが提供
 - 衛星リモセンのビッグデータにはエッジAI処理、ロードバランス、ルーティング等のサービスを宇宙空間で提供
 - 衛星と地上データセンターを直結することで、地上ネットワークを介さない超高速・低遅延のデータサービスが実現
 - 業種別のインダストリ・クラウドが発展し、宇宙空間も活用した最適化されたクラウドサービスが実現
 - 宇宙空間における盗聴・改ざん防止のためのサイバーセキュリティの提供

【ユースケース実現に必要な技術例】 衛星光通信技術、ネットワーク制御・運用技術、エッジAI技術、セキュリティ技術 等

【イメージ図】



※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- 極地開発(南極、北極海航路開発、氷河・冰山・流氷・オーロラ観光)、海洋開発、有人宇宙旅行、サブオービタル有人飛行、月面資源開発(アルテミス計画)、深宇宙探査に対する通信サービスやソリューション提供
- 自然災害対策、火山噴火・海洋状況監視、事故防止、気候変動対策のための宇宙経由のIoTサービスの展開

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク制御・運用技術、光地上局技術、クラウド連携技術 等

【イメージ図】 衛星コンステレーションを活用した極地・海洋等における現在のIoTサービス

氷山の追跡(極域)



- ワシントン大学応用物理学研究所は、北極海に漂流ブイのネットワークを構築し、気象・海象データを衛星ネットワーク経由で収集
- ブイは船・飛行機から投下可能。冰山にはドローンから装置を投下して衛星経由の追跡を実施

洋上波動エネルギー実験(オレゴン州立大学)



- オレゴン州沿岸から7マイル離れた太平洋上の波力エネルギー変換の試験場において、風速、風向、気温・水温、海面塩分、潮流方向などの気象・海象条件を測定し、衛星を使ってデータ送信

サイクリングツアー向け安全管理



- テキサス州で行われる7日間、400マイルに及ぶサイクリングツアーでは、携帯電話が使えない地域を1日に120マイルも走る。
- このため、トラッキングや安全管理のための装置を自転車フレームに取り付けて衛星経由でデータを送信
- 緊急時のSOS発信機能もある。

船舶の監視、ブイ追跡



- 船舶の監視、海洋ブイの追跡、世界の海域を運航する商用船舶向けに衛星データサービスを提供
- ほぼリアルタイムのセンサーデータを使用して、船舶の燃料コストを低減し、エンジンの性能を監視

重機用テレマティクス



- 国内外における、建設・鉱業関連の先進的オペレーションを実現する、重機の追跡・監視・管理ソリューションを提供
- 使用状況の最適化、使用場所の特定、予防的メンテナンスの改善、盗難の回避や燃費の向上を実現

モンゴルでの馬のトラッキング



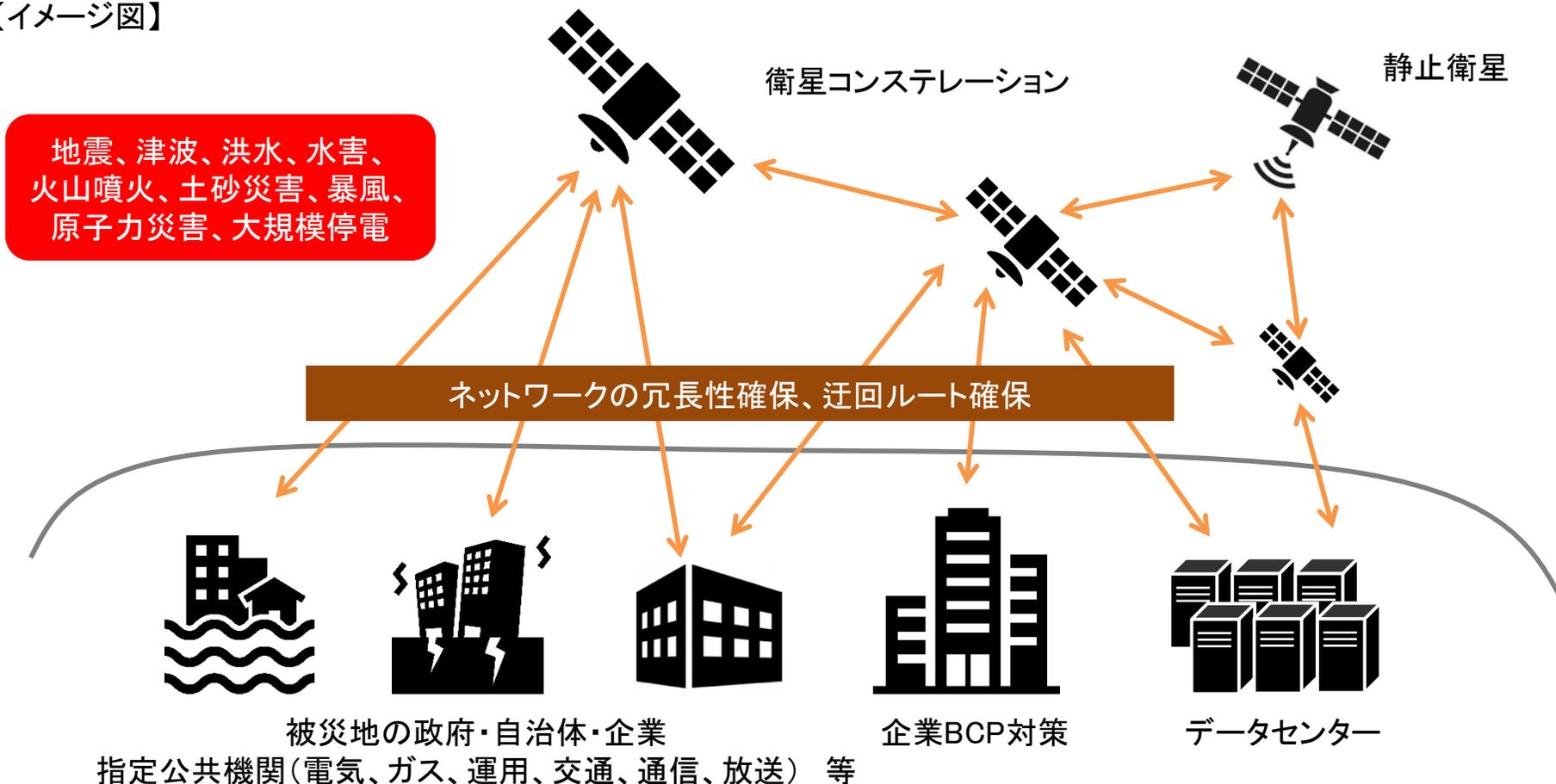
- 草原を求めて馬は数十kmを移動するため、通信エリアが限定されるGSMではトラッキング不可能。
- このため、盗難リスクを恐れる競走馬オーナー向けに首輪に装着する衛星経由の小型トラッキング装置を提供
- 現在、5,000個のトラッカーが配備され、カザフスタン、キルギス、タジキスタンにも広く展開中

【概要】

- 地上系の通信ネットワークの冗長性確保、災害発生時の迂回ルート確保、重要回線のバックアップ
- 企業BCP対策の支援(衛星携帯電話や衛星データ通信。将来はビル屋上に衛星光通信装置が設置)
- データセンターに接続するネットワークの強靱化対策
- 安全保障分野における宇宙ネットワークの活用

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク・シミュレーション技術、サイトダイバーシティ技術、タスク管理技術 等

【イメージ図】



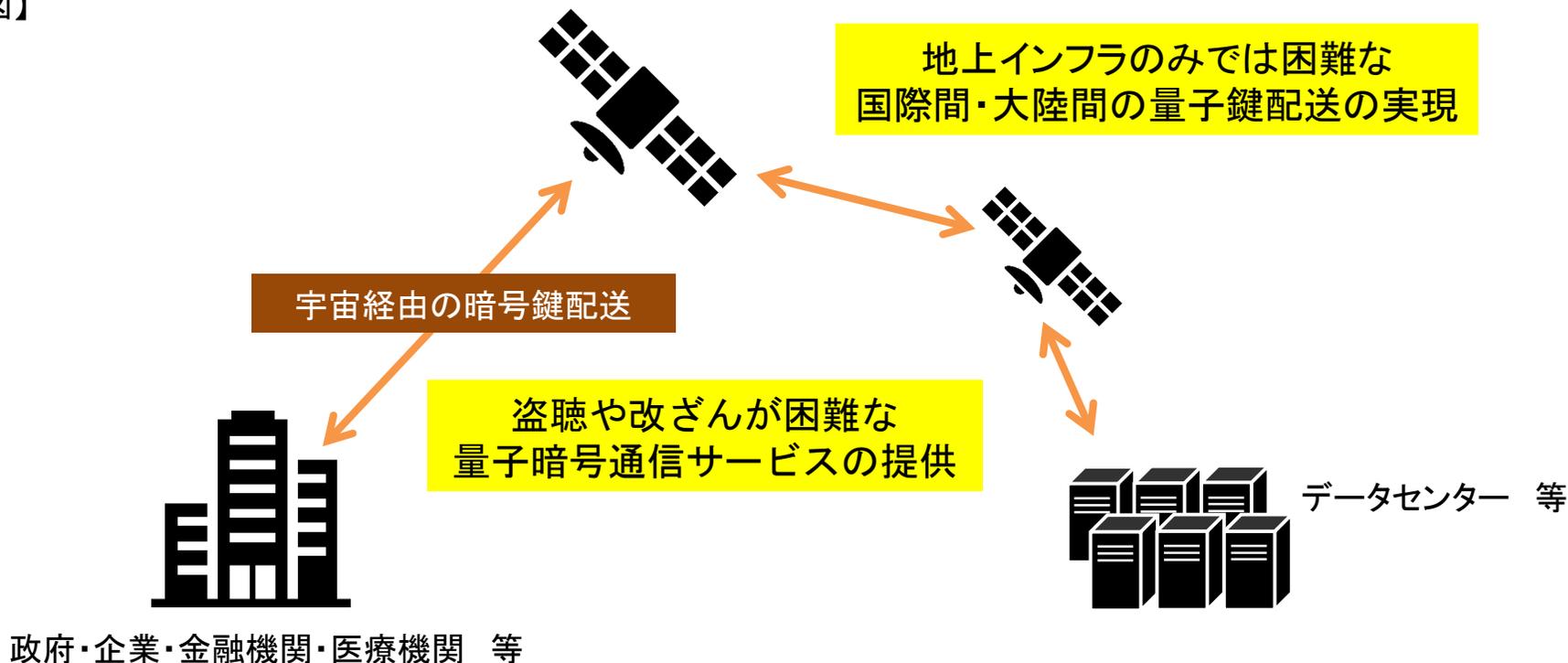
※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- 盗聴・改ざんが困難な量子暗号通信の提供
- 国際間・大陸間の量子鍵配送サービス
 - 近年、量子コンピュータの研究が国際的に加速。計算量的安全性に依拠した現在の暗号通信は、量子コンピュータの実用化により解読されるおそれ。量子コンピュータでも解読できない量子暗号通信が不可欠
 - また、光ファイバ(地上基幹網、海底ケーブル)では、光子を用いた100km以上の量子鍵の伝送は減衰により困難。さらに、中継増幅器自身の雑音が盗聴検知を邪魔する。このため、国際間・大陸間の量子鍵配送は、地上インフラのみでは実現できないおそれ。
 - 一方、宇宙空間では光通信によって何万kmでも光子を伝送できるため、国際間の量子鍵配送が実現可能
- サイバーセキュリティにおけるゲームチェンジャとして、宇宙ネットワークによる量子鍵配送が世界的に不可欠に。

【ユースケース実現に必要な技術例】 量子暗号通信技術、セキュリティ技術、光通信システム技術 等

【イメージ図】



※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- レイテンシ(通信に要する遅延時間)にセンシティブなユーザー向けに低遅延通信サービスの提供
- 金融高速取引、遠隔の建設機械操作、オンラインのゲーム対戦、遠隔医療診断、防衛分野 等
 - ▶ 海底ケーブルで用いられる光ファイバよりも、真空(宇宙空間)の方が光の伝播速度が速いため、この特性を活かした長距離通信・国際間通信が衛星コンステレーションによって提供できる可能性

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク制御・運用技術、ネットワーク・シミュレーション技術 等

表: 伝送媒体別の国際間通信の所要時間 ※あくまでも単純なモデルによる比較であり実際には経路やノード処理等の時間も比較する必要がある。

| 国 | 首都 | 東京からの距離(km) | 東京からの通信の所要時間(ms、片道) | | |
|---------|-----------|-------------|---------------------|-----------|---------|
| | | | 衛星コンステ ※1 | 海底ケーブル ※2 | 静止衛星 ※3 |
| 韓国 | ソウル | 1,157 | 7.2 | 5.8 | 480 |
| 中国 | 北京 | 2,100 | 10.3 | 10.5 | 480 |
| フィリピン | マニラ | 2,995 | 13.3 | 15.0 | 480 |
| ベトナム | ハノイ | 3,674 | 15.6 | 18.4 | 480 |
| タイ | バンコク | 4,608 | 18.7 | 23.0 | 480 |
| シンガポール | シンガポール | 5,308 | 21.0 | 26.5 | 480 |
| インドネシア | ジャカルタ | 5,775 | 22.6 | 28.9 | 480 |
| インド | デリー | 5,852 | 22.8 | 29.3 | 480 |
| ロシア | モスクワ | 7,497 | 28.3 | 37.5 | - |
| オーストラリア | キャンベラ | 7,922 | 29.7 | 39.6 | - |
| ドイツ | ベルリン | 8,938 | 33.1 | 44.7 | - |
| イスラエル | エルサレム | 9,169 | 33.9 | 45.8 | - |
| 英国 | ロンドン | 9,582 | 35.3 | 47.9 | - |
| 米国 | ワシントンD.C. | 10,923 | 39.7 | 54.6 | - |
| 南アフリカ | プレトリア | 13,502 | 48.3 | 67.5 | - |
| ブラジル | ブラジリア | 17,674 | 62.2 | 88.4 | - |

情報がより早く到達する可能性

※1 衛星高度500km+都市間距離+衛星高度500kmの単純な経路として計算した。宇宙空間の光通信の所要時間は1ms=300kmで計算した。
 ※2 石英光ファイバ中の光速は1ms=200kmで計算した。地上網でのルーティングは無視して、単純に都市間距離に基づき所要時間を計算した。
 ※3 高度36,000kmの静止衛星を2ホップで通信した場合で計算した。静止衛星は真上に位置するものとして斜距離は無視した。

【概要】

- 衛星放送に代表されるように宇宙ネットワークの利点はマルチキャスト型サービス(多数への効率的な一斉同時配信)
- 宇宙経由のコンテンツ配信、対戦型ゲームにおけるデータ配信、各種ファームウェア更新、エッジAIのアルゴリズム更新、緊急地震速報、災害時の避難所情報共有、遠隔教育、遠隔の社内放送、イベント中継 等

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク制御・運用技術、地上局の小型軽量化技術、タスク管理技術 等

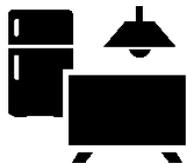
【イメージ図】



ソフトウェア・データ・アルゴリズム・
ファームウェアの効率的な一斉配信



対戦型ゲーム



家電製品



自動車
カーナビ地図



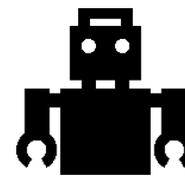
ドローン



建設機械
農業機械



IoT機器
センサ、エッジAI



ロボット

コンテンツ配信、対戦データ配信、ファームウェア更新、エッジAIのアルゴリズム更新、災害時の情報共有

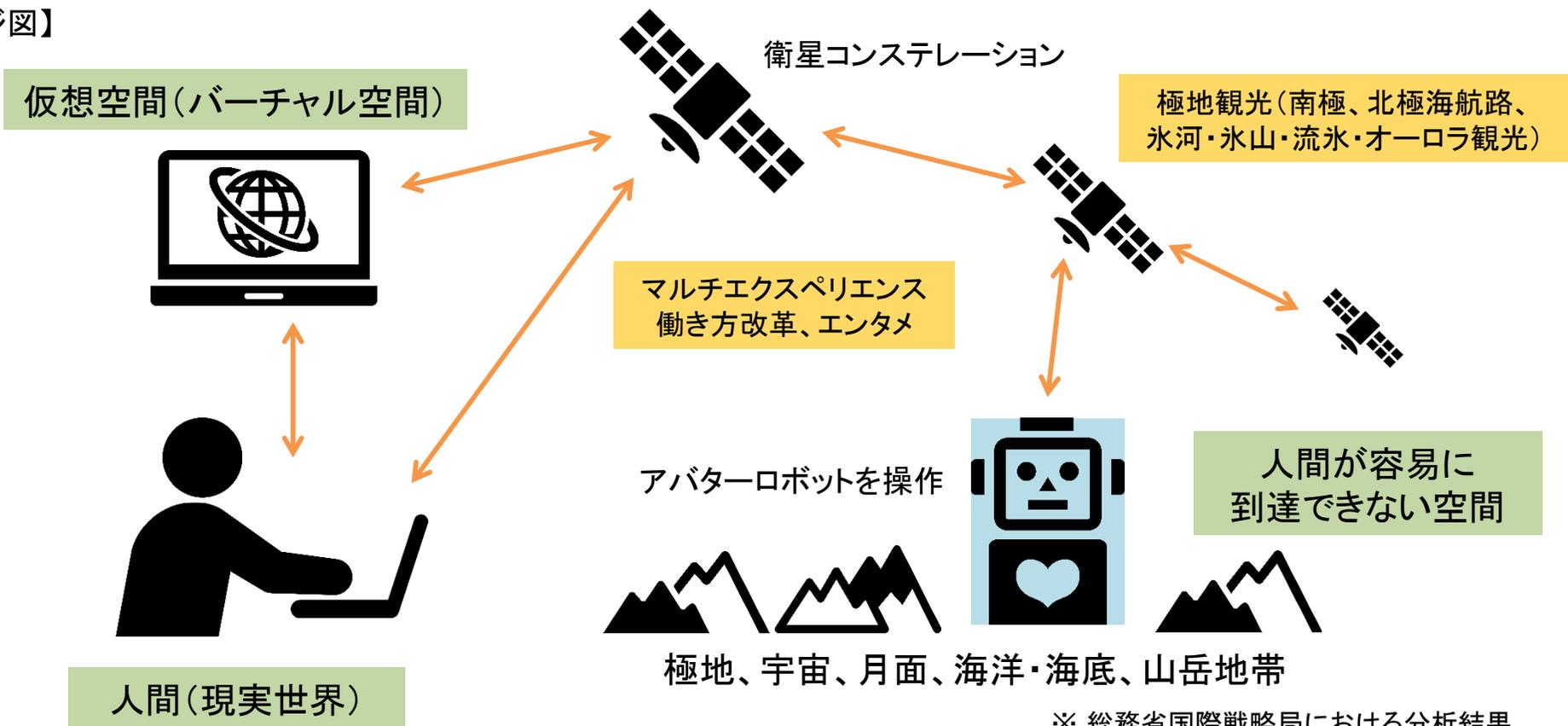
宇宙ネットワーク 将来のユースケース

9. 次世代型メタバースの実現 (アバターロボットの極地活動支援)

- 【概要】**
- メタバースとは、コンピュータネットワークに構築される三次元の仮想空間(バーチャル空間)
 - 将来、人間が容易には到達できない空間(極地、宇宙、月面、海洋・海底、山岳地帯等)において、宇宙ネットワーク経由でアバターロボットを操作することで、次世代型メタバースが実現
 - 「現実世界」と「仮想空間」のメタバースに新たに「超限界空間」を加えることで、高度なマルチエクスペリエンス、働き方改革(テレワーク環境の高次元化)、エンターテインメント、極地観光が実現

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク制御・運用技術、地上局の小型軽量化技術、クラウド連携技術 等

【イメージ図】



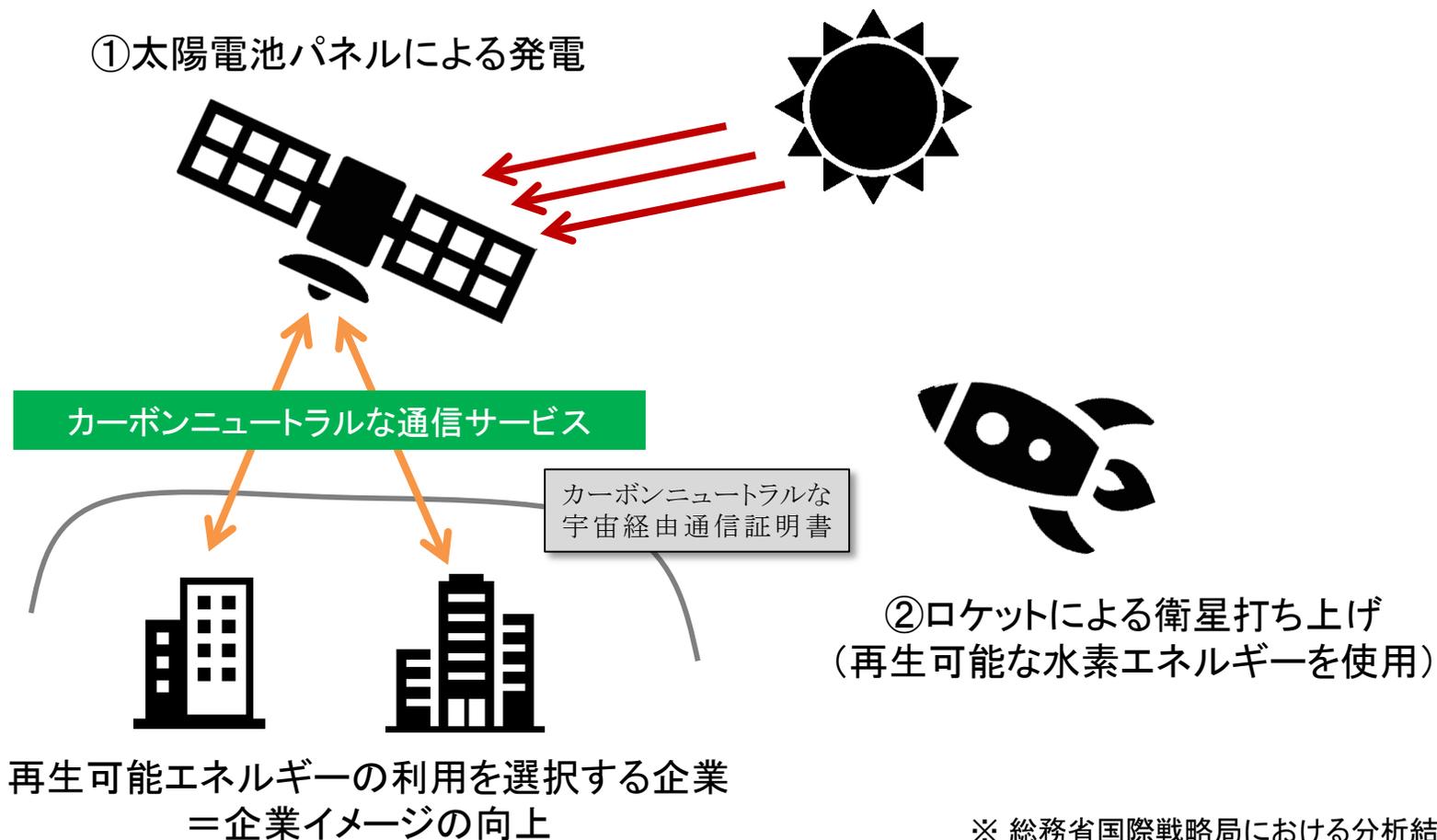
※ 総務省国際戦略局における分析結果

【概要】

- 衛星は太陽電池パネルが使用され、化石燃料を使用しないカーボンニュートラル(脱炭素)によるサービスの代表例
 - さらに、一部のロケットは再生可能な水素エネルギーを使用。繰り返しの再使用可能なロケット本体もある。
- 再生可能エネルギーの利用を選択したい企業に対しては、選択に宇宙ネットワーク経由の通信サービスを提供
 - 持続可能な社会に貢献する企業イメージの向上
 - 特別な記念日のメッセージ送信は、「カーボンニュートラルな宇宙経由」のサービスを選択できるように。

【ユースケース実現に必要な技術例】 ネットワーク制御・運用技術

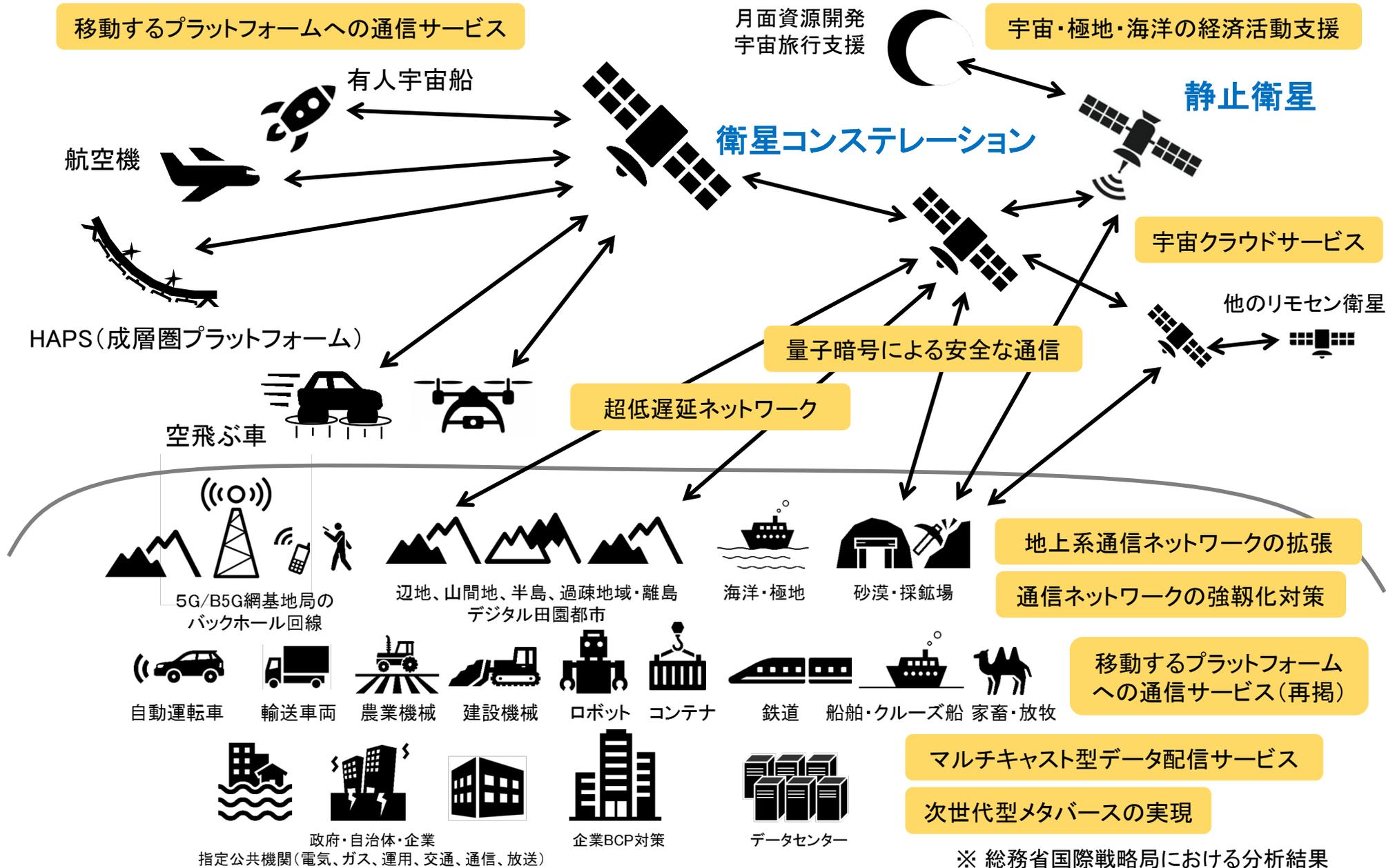
【イメージ図】



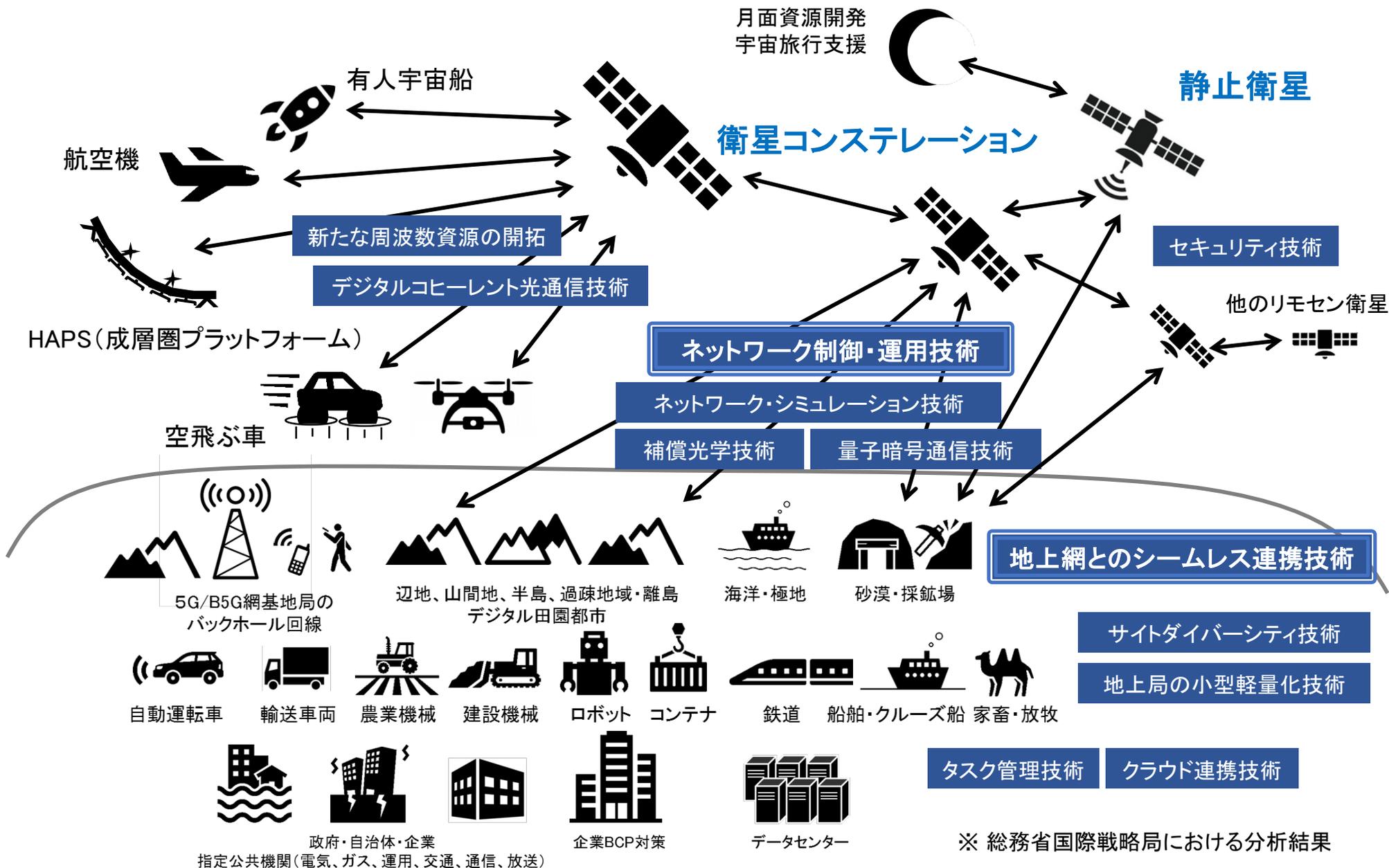
まとめと論点

～Beyond 5G の実現に向けた今後の技術戦略について～

2030年頃の宇宙ネットワークの将来像(案)



宇宙ネットワークの高度化に不可欠な基幹技術(候補案)



| | |
|--------------------------|---|
| <p>衛星系・地上系の 共通技術</p> | <ul style="list-style-type: none"> ① <u>ネットワーク制御・運用技術</u> (OS、通信プロトコル、ソフトウェア定義型ネットワーク(SDN)、ルーティング制御・ネットワーク再構成、ハンドオーバー、レイテンシ(遅延)低減、自律制御、保守運用・故障監視、ネットワーク運用自動化、タスキング等) ② <u>5G/B5G地上網とのシームレス連携技術</u> (ネットワーク統合管理、シームレス接続、仮想化(NFV)、スライシング、オーケストレーション、ハンドオーバー等) ③ <u>ネットワーク・シミュレーション技術</u> (デジタルツイン型の開発ツールとして、軌道運動、トポロジー変化、ネットワーク経路制御、QoS制御、ヘテロジニアスネットワーク接続、衛星機能と通信の連携制御等に関するエミュレーター開発) ④ <u>量子暗号通信技術、セキュリティ技術、暗号技術</u> ⑤ <u>補償光学技術</u> (大気ゆらぎの低減) ⑥ <u>光通信における波長多重技術</u> ⑦ <u>クラウド連携技術、アプリケーション連携技術、次世代型メタバース連携技術、エッジコンピューティング・IoT網との連携技術</u> |
| <p>衛星系の通信技術</p> | <ul style="list-style-type: none"> ① <u>デジタルコヒーレント光通信技術</u> (100Gbps級高速光通信等) ② <u>新たな周波数資源の開拓</u> (周波数資源枯渇に対応した衛星通信等のためのQ帯/V帯/W帯の利用) ③ <u>衛星システムと光通信機の協調制御技術</u> (姿勢制御等) ④ <u>タスク管理技術</u> (自動化されたスケジューリング、運用計画の最適化等) ⑤ <u>光フェーズドアレイ技術</u> (レーザーアレイにより光通信装置における機械的駆動部分を省略化) ⑥ <u>光通信相互接続技術</u> (HAPS、他のLEO/GEO衛星、航空機、船舶等との接続) ⑦ <u>光通信システム技術</u> (光学系、ジンバル、捕捉追尾、送受信・モデム、高出力光増幅器、小型軽量化) ⑧ <u>光通信機と協調してビーム方向を制御するビームフォーミングRF通信技術</u> |
| <p>地上系の通信技術</p> | <ul style="list-style-type: none"> ① <u>サイトダイバーシティ技術</u> (ダウンリンク先を選択することで天候の影響を避ける技術、航空安全技術) ② <u>衛星運用管理システム技術</u> (衛星管制の自動化、コンステレーションの自動運用等) ③ <u>光地上局技術</u> (光学系、衛星の自動追尾、光ビームの捕捉追尾等) ④ <u>地上局の小型軽量化技術</u> (可搬型、ビル屋上設置型、データセンター設置型) |

【凡例】 ゴシック体(下線): 宇宙ネットワークや衛星コンステを支える技術として特に重要かつ不可欠なもの
 ゴシック体: 宇宙ネットワークや衛星コンステを支える技術として重要なもの
 明朝体: 総務省委託研究やNICT等において一部の研究開発が着手されている技術

1. 2030年頃の宇宙ネットワークの将来像やユースケース、基幹技術をどのように考えるか。
2. 衛星コンステレーション(メガコンステレーション)や携帯基地局バックホール回線利用など、国内外において宇宙ネットワークに関する事業展開が活発化。また、世界的に「宇宙事業はチャレンジングな分野」と好意的に受け止められ、投資資金や若手人材を惹きつけている。
このようなトレンドにおいて、2030年頃までに様々なユースケースやビジネス提案が予想されるため、宇宙ネットワークも含めたBeyond 5G実現に向け、国内外の利用者ニーズを先取りして詳細な調査・研究・分析を加えていく必要があるのではないか。
3. その上で、**①宇宙ネットワーク自体の技術革新、②地上系5Gと宇宙ネットワーク(NTN)との間のシームレス連携**を実現するため、前述の基幹技術の研究開発を重点的に推進する必要があるのではないか。
 - ▶ 主要国では政府による研究支援や調達支援による宇宙ネットワーク開発が進展しており、海外動向を注視する必要がある。例えば欧州では、地上系5Gアーキテクチャと衛星ネットワークのシームレス連携をめざし、地上系企業と衛星系企業による共同研究が行われている。
 - ▶ 今後の宇宙ネットワークで起き得る技術革新は、我々がこれまでに地上系ネットワークで経験したことを時間差でなぞる可能性がある。
 - ▶ 衛星コンステレーションによるサービス展開は必然的にグローバルビジネスとなることから、加えて、海外マーケティング、国際的なアライアンス構築、国際標準化等の取り組みも不可欠となる。
4. また、今後必要となるイノベーションのフロンティアは、「**宇宙システム開発×ネットワークエンジニアリング×ビジネス創造**」が同時に求められる難易度の高い複合領域であり、企業単体や旧来のチームングで全ての開発を完結することは、もはや不可能であるといえるのではないか。
5. このため、我が国は、オープンイノベーションの実現に真剣に向き合うことが必要ではないか。異分野や海外との連携・協業を積極的に模索しつつ、組織内においては、事業部門間の壁を取り払いつつ貴重なネットワーク人材を宇宙部門にも手厚く配置する、といった経営判断が強く期待されるのではないか。