

非地上系ネットワークの現状と将来像

2024年1月10日

国立研究開発法人情報通信研究機構

ワイヤレスネットワーク研究センター

宇宙通信システム研究室

辻 宏之



本講演の主旨

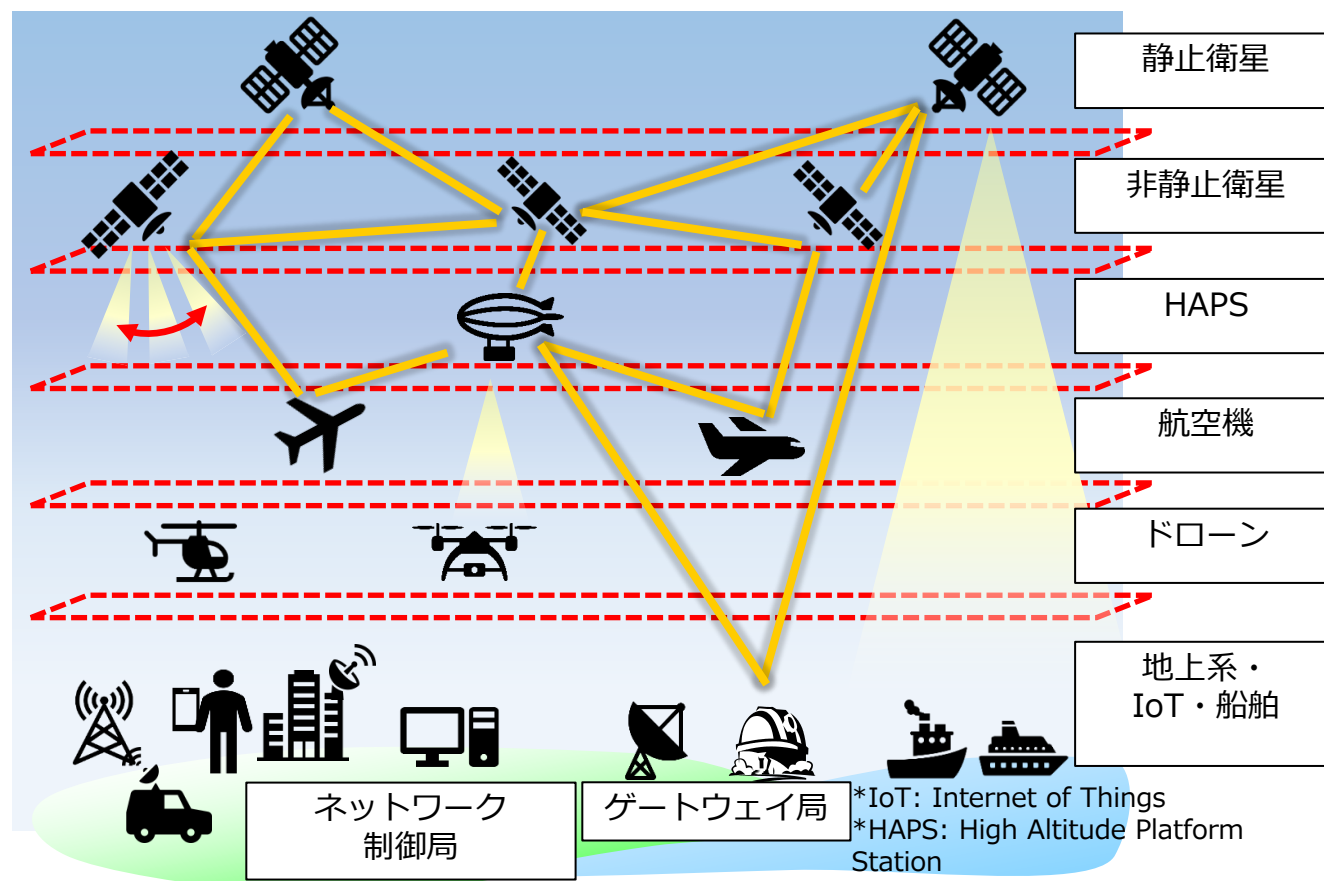
これまで通信ネットワークは、地上系を中心に二次元の拡大を続けていたが、近年、ハイスループット衛星、衛星コンステレーションさらには高高度プラットフォーム(HAPS)などの様々なプラットフォームの登場や衛星打ち上げ技術を含む衛星技術の向上により、静止軌道衛星、低軌道衛星、航空機など伝送容量や遅延が異なる三次元に広がる**非地上系ネットワークネット(NTN)**による新たな通信システムの構築と利用が進んでいる。また、Beyond 5Gや6Gの次世代通信システムでは、通信ネットワークを海、空、宇宙へとグローバルかつ三次元的に拡大するNTNが注目されており、国内外で検討や研究開発活動が進んでいる。NTNを適用するには、無線技術、デジタル化技術、光技術、ネットワーク技術が地上ネットワークとの性能差に起因する問題を解決することが重要となる。本発表では、NTNの現状と特徴に触れ、今後のネットワーク技術の研究開発について述べる。

本発表の内容

1. NTNにおける周波数の利用
2. 非地上系ネットワークのプラットフォームの開発状況と展開
 - HTS（ハイスループット衛星）
 - 低軌道衛星による衛星コンステレーション
 - 高高度プラットフォームの特徴と最新動向
3. 光衛星通信の動向と技術課題
4. 日本でのNTNの研究開発の取り組み
5. まとめ

Beyond 5G/6G時代のNTNを活用した 三次元ネットワークのイメージ

今後、B5G/6Gのネットワークは、ドローン（無人航空機）、高高度プラットフォーム（High Altitude Platform Station, HAPS）、非静止衛星のような高度や通信特性がそれぞれ異なるプラットフォームの登場により、**二次元から三次元**へ拡張された新たなネットワークサービスが期待される。



- ◆ 空飛ぶクルマ、ドローン、無人航空機、スペースプレーンなど、空間/空への活動の拡大
- ◆ 海洋域での産業(自律航行船によるロジスティクス、養殖漁業、環境保全、資源採掘、etc.)におけるICT利活用拡大

◆ 地上、海上、空中、宇宙まで、境目なく、様々なコネクティビティが求められる社会が到来

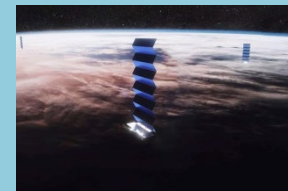
非地上系ネットワーク（NTN）への期待

プラットフォームの進化

- ・ **HTS**（ハイスループット衛星）
- ・ **メガコンステレーション**（多数の低軌道衛星による衛星システム）
- ・ **HAPS**（高高度プラットフォーム）



<https://www.inmarsat.com/service/global-xpress/>



<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/06/post-12259.php>



<https://www.nict.go.jp/publication/NICT-News/0504/p02.html>

- 回線コストの大幅低減
- 高速化、大容量化、低遅延化
- 端末の進化

5Gのネットワーク技術の衛星系・NTNへの展開

- ソフトウェアで定義されるネットワーク（SDN）/Network Functions Virtualization(NFV)
 - ネットワークスライシング
 - ネットワークオーケストレーション
 - エッジコンピューティング
- ⇒衛星-地上接続が効率よく実現できる可能性

標準化



<https://www.3gpp.org/>

- 3GPP/ETSIによる地上系・非地上系標準化
- ユースケース実現の制度化

**NTN
+5G/B5Gによる統合ネットワーク**



**従来にない
ユースケースの登場**

- スマートシティ
- モビリティ
- 緊急通信

1. NTNにおける周波数の利用

衛星通信におけるスペクトラム用途の動向

衛星通信におけるスペクトラム用途の動向サマリ

ダウンリンク周波数

大規模な技術的運用
利用開始

用法例



10+ Gbps***

より高い周波数帯域は、より高いデータレート/速度を可能にする。Ka帯とKu帯は、一般に、ブロードバンドのサービスのための焦点の帯域である。

22-705 Kbps***

光	190-300 THz	2023+*	- 衛星-衛星間リンク - データダウンリンク - 衛星-HAPS/UAVs - 深宇宙通信
Q/V-帯	40-75 GHz	2025+	ブロードバンド: FSSサービス
Ka-帯	26-40 GHz	2010-2015	- ブロードバンド: FSSサービス - データダウンリンク (EO) – <i>being explored</i> - 深宇宙通信
Ku-帯	12-18 GHz	1995-2000	ブロードバンド: FSSサービス、BSSサービス
X-帯	8-12 GHz	2000-2005	- データダウンリンク(EO) - 軍事通信 - TT&C - 深宇宙通信
C-帯	4-8 GHz	1980-1990	ブロードバンド: FSSサービス、BSSサービス
S-帯	2-4 GHz	2005**	- ナローバンド: MSSサービス - TT&C - 深宇宙通信
L-帯	1-2 GHz	1980s**	ナローバンド: MSSサービス



周波数帯域が高いほど、気象条件に対する感度が高くなる。

- 全体として、衛星通信はギガクラスの通信需要が高く、より高い周波数に移行。

- 例:ほとんどのHTSは要求容量提供に向け、Ka帯等周波数では十分な帯域幅を確保上は必須。

RFスペクトルは、ますます混雑し、新しい帯域の必要性は増加(従って、光通信の検討)。

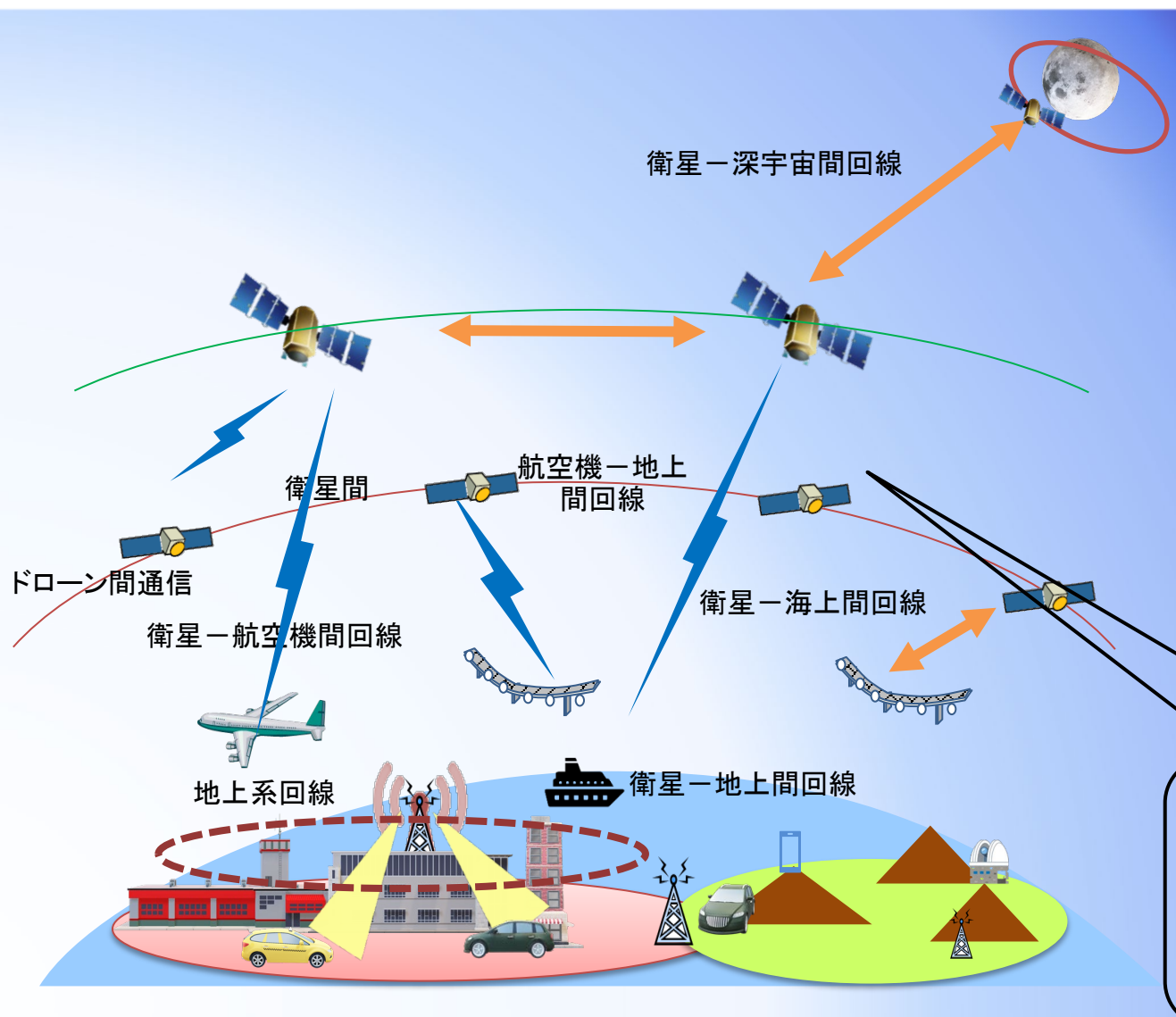
- Q/ V/ W帯装置の開発
- 光帯域の利用へ加速
- 但し、より高い周波数は、減衰／気象条件による減衰を受ける。
- 電波法では 3000GHz(3THz)が上限

* 現在までのところ、限られた数のシステム(特に技術実証)。2023年及びそれ以降、大規模な採用を予想(主に衛星コンステレーションにおける採用にて牽引)

**大部分～2000年、あるいは以降に展開されたL帯の限られた数のシステム

***データレート速度は、地上及び衛星機器、スペクトル効率等に依存することに留意すべきである。

将来のNTN・地上統合ネットワークのアーキテクチャ

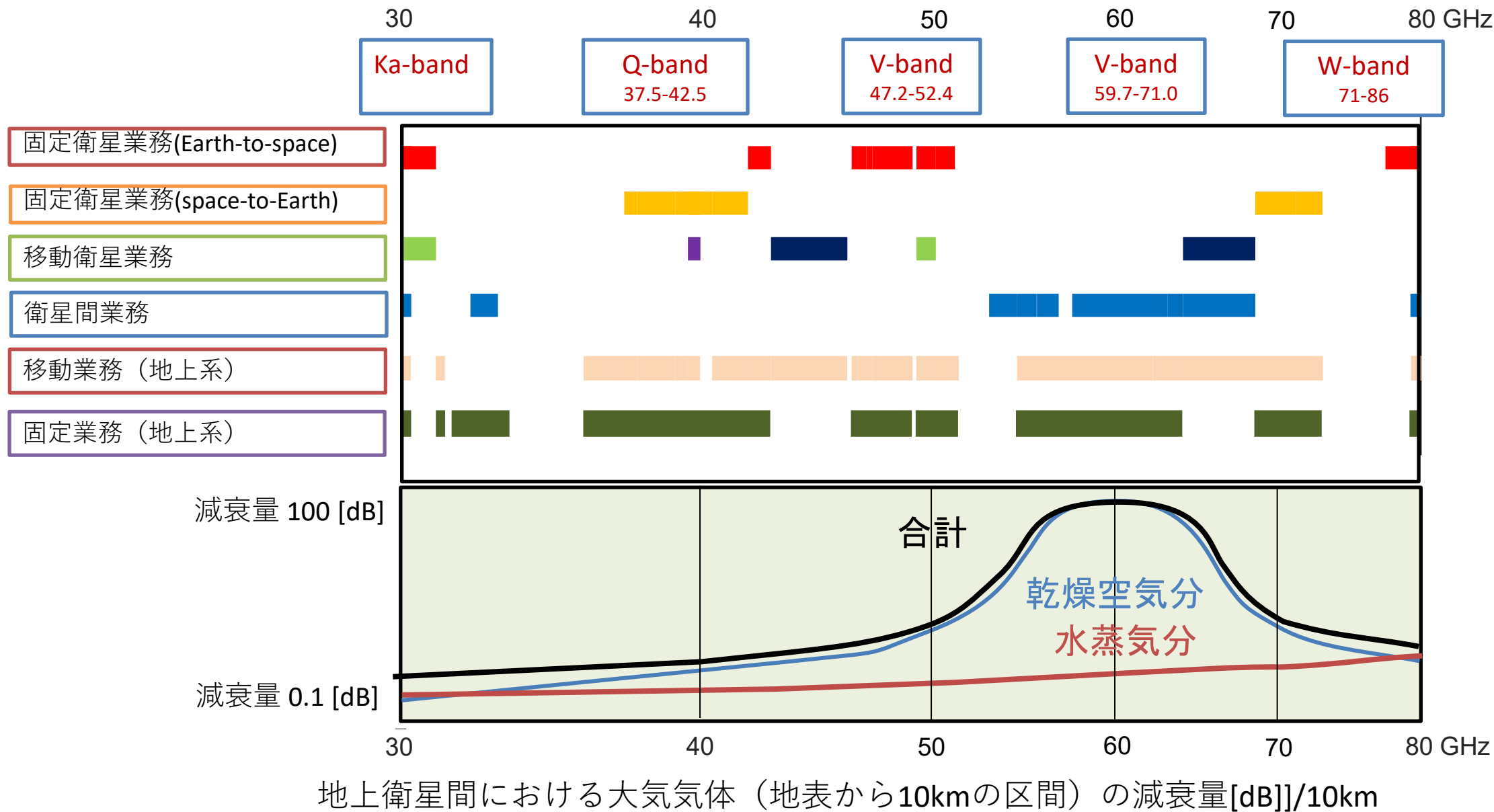


- Q/V帯のみではなく、E帯やW帯などにおいても開発が行われている
- 将来のハイスループットシステムに向け、Q帯以上の周波数向けペイロードやコンポーネントの開発が進んでいる
- LEOコンステにおいては、特にV帯において、非常に多くのファイリングがITUやFCCに申請されている。

将来の衛星設計の情報収集のため、GEOやLEO衛星を利用した通信・伝搬実験が実施されている

区分	周波数
Ka帯	26.5～40GHz
Q帯	33～50GHz
V帯	50～75GHz
E帯	60～90GHz
W帯	75～110GHz

Ka帯以上の衛星通信の周波数割り当て（第3地域）



V帯の衛星と衛星ファイリング

- Q,V帯の衛星については、既に1000以上のITU-Rのファイリングに登録がある。
- W帯については、中国が164GHz帯のファイリングを既に提出済み。

V帯のファイリング申請中(FCC Application)のコンステレーション例

コンステレーション	企業名	国	衛星数	軌道	備考
Boeing	Boeing	米国	5,670	LEO	
Lightspeed	Telesat	カナダ	1,373	LEO	
Theia Holdings A Inc	Theia Holdings A Inc	米国	112	LEO	Ka、Ku帯も使用
O3b/SES	O3b/SES	欧州	11	MEO	Ka、Ku帯も使用
Viasat	Viasat	米国	20	MEO	Ka帯も使用
OneWeb	OneWeb	英国	6,372	LEO	Ka、Ku帯も使用
Starlink	Space-X	米国	30,000	LEO	Ka、Ku帯も使用
Astra Constellation	Astra Space	米国	13,620	LEO	
Project Kuiper	Amazon	米国	4,538	LEO	
Hughes Network	Hughes Network systems	米国	1,440	LEO	
Spinlaunch	SpinLaunch	米国	1,190	LEO	
Inmarsat	Inmarsat	英国	198	LEO	

Ka帯より高い周波数帯域に関する現状と課題

- Ka帯以下と比較すると、デバイスの効率が数倍低くなる
 - ✓ 消費電力が増加し、LEO衛星では実用化が難しい
 - ✓ 電力一定の条件下、現状ではKa帯と比較し通信容量が増加しない
 - デバイスの効率化が課題
- 高い周波数で有効なGa化合物系は2次元化(アレー化)が困難(熱の問題もあり)
 - ✓ シリコン系は低消費電力化に有効であるが、一般に放射線に弱い
- アンテナビーム制御は、Q帯以上ではRF系の処理は精度が悪い、そのためベースバンド処理が必要(いわゆるDigital Beam Forming (DBF))
 - ✓ DBFは消費電力が大きく搭載には課題がある
- アンプはGa化合物系とし、ベースバンド処理ではCMOSが有利であるため、複合素材の宇宙用デバイスの開発は期待できる
- IF周波数は～10GHz 程度が主流性能となりつつあるので、デジタル信号において高速信号動作が求められると予測。
- Q/V帯では、広帯域の確保のために高周波数化が必要となる。特に初段、出力段のデバイスはデジタル化した将来衛星には必要な技術となると予測

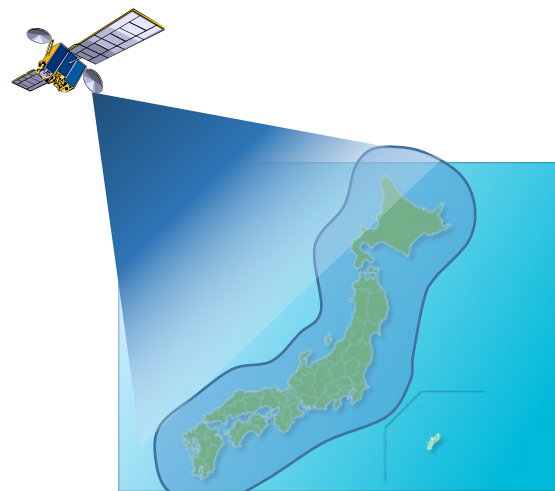
2. 非地上系ネットワークのプラットフォームの開発状況と展開

ハイスループット衛星 (HTS)

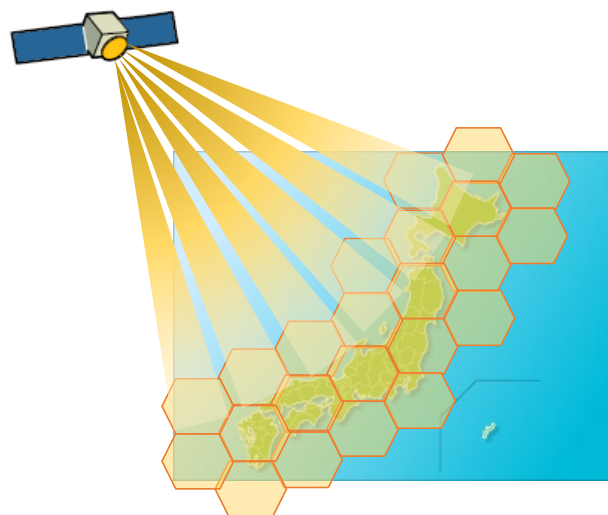
衛星通信回線の低コスト化（ビット当たり単価の低減）を目指し大容量化

HTS: High Throughput Satellite

- 静止衛星
- マルチビーム化（シングルビーム→100ビーム～1000ビーム級）
- 広帯域化（Ku→Ka帯）



従来のシングルビーム衛星のイメージ



HTSのイメージ

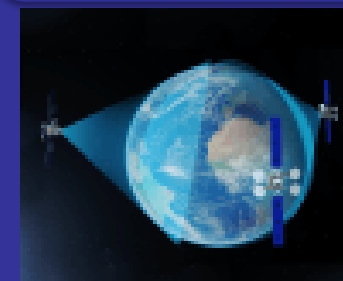
これまで

Inmarsat-5
80-100ビーム級
容量：数十Gbps



今後

Viasat-3
1000ビーム級
容量：1Tbps



左上図： https://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2015/03/GX-10-things_e.pdf

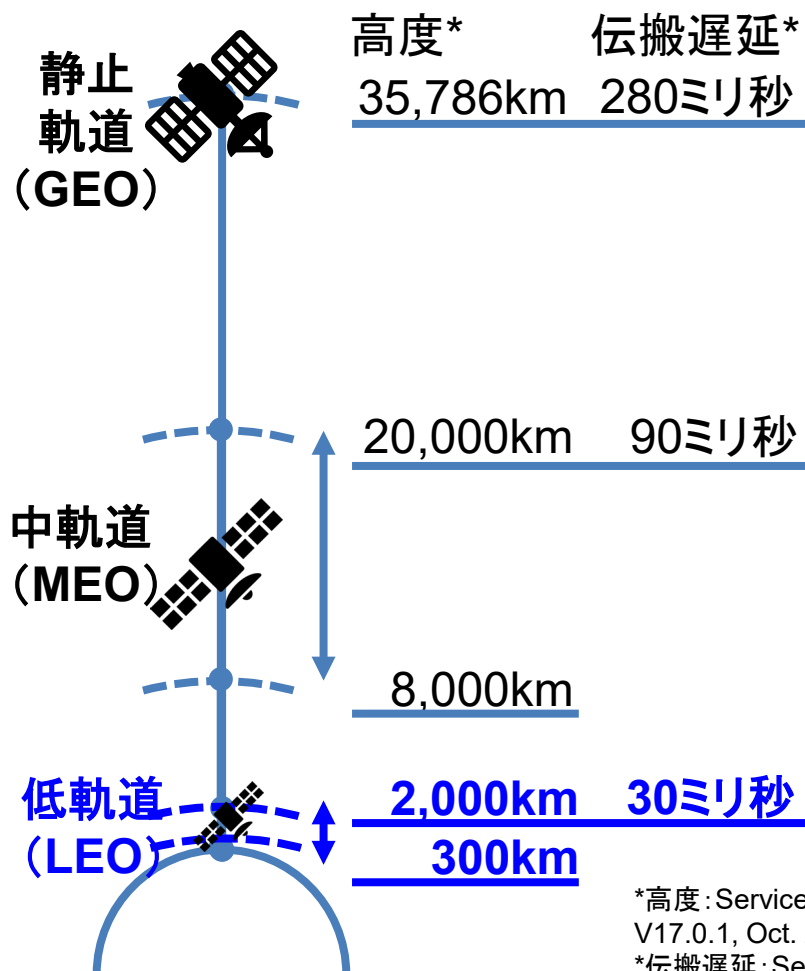
左下図： <https://www.inmarsat.com/service/global-xpress/>

右上図： https://www.exede.com/viasat-satellite-internet-service/?_ga=2.235477377.1231254540.15984292861660798736.1598429286

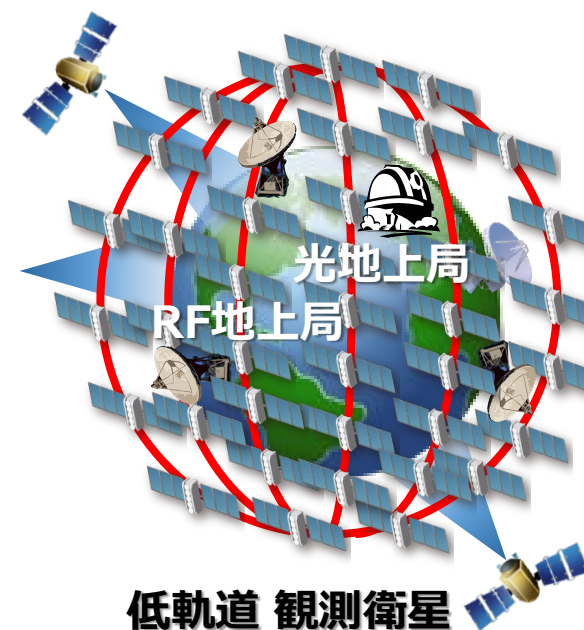
右下図： <https://www.viasat.com/news/going-global>

メガコンステレーション

- 数百～数千以上の小型衛星群を低軌道に投入しグローバルにカバーする衛星通信サービスを計画
- 静止衛星に比べ低遅延な通信が実現

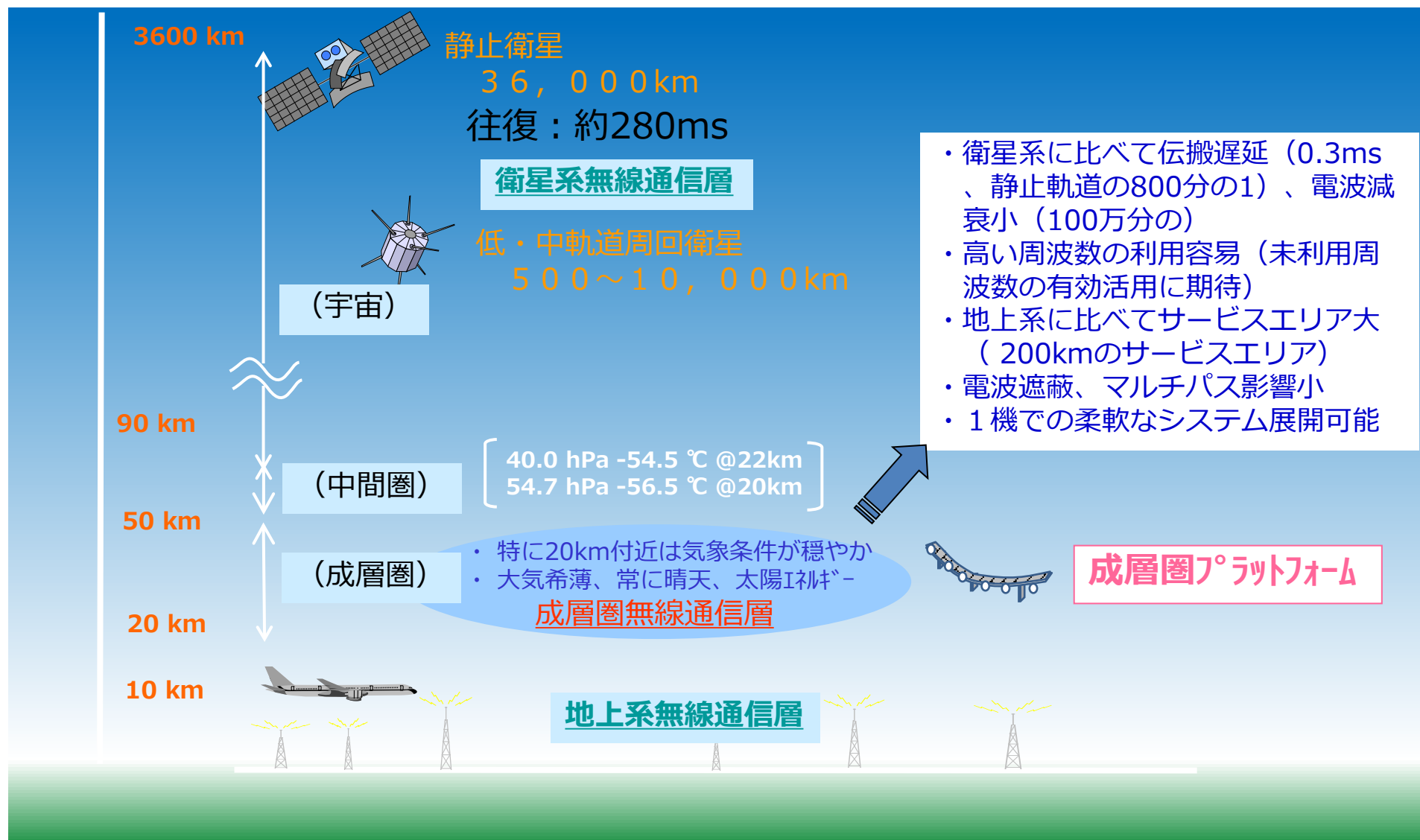


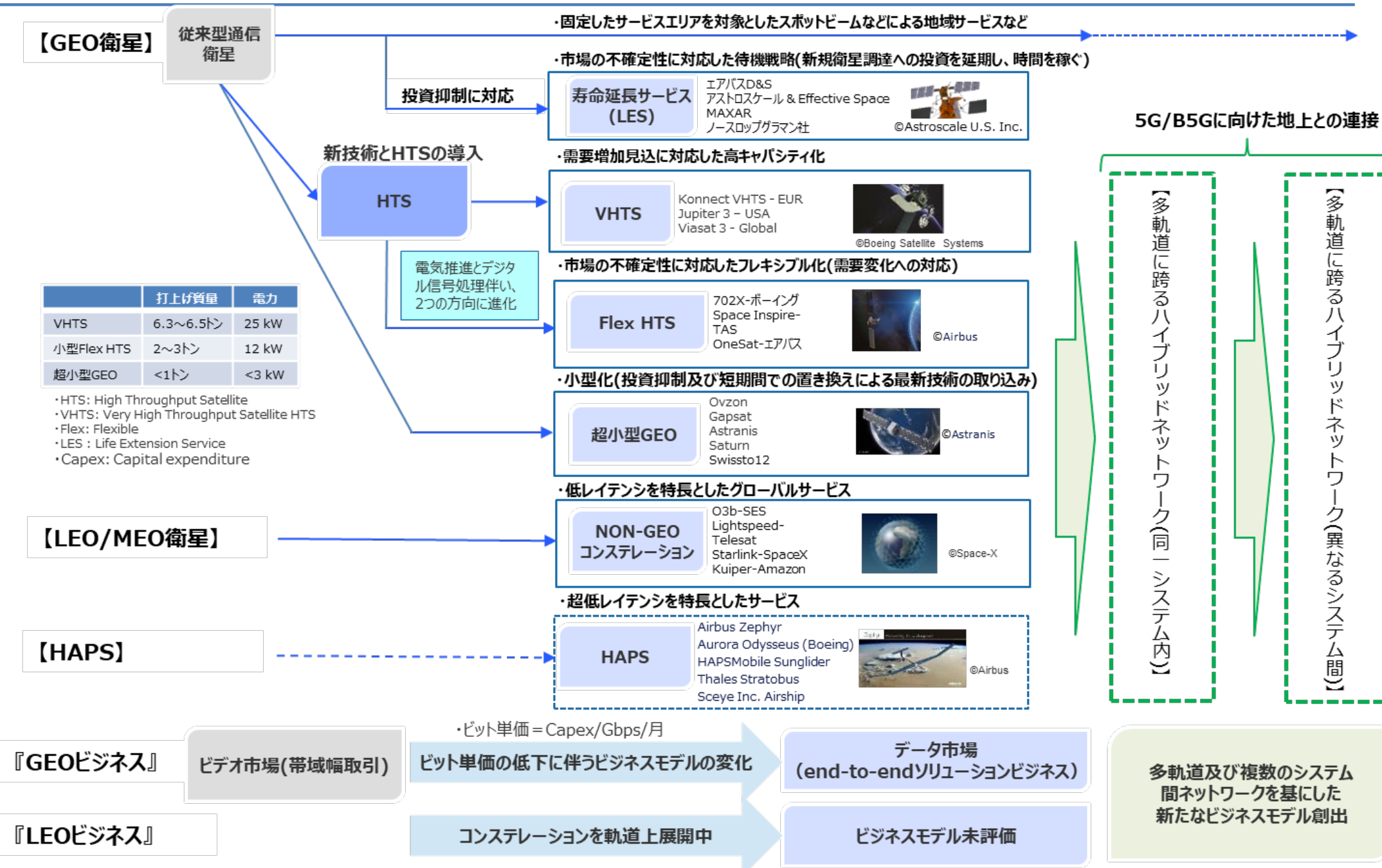
低軌道衛星コンステレーション



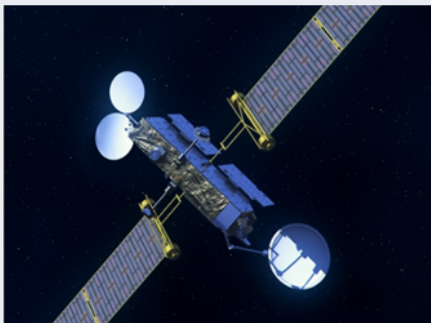
*高度: Service requirements for the 5G system, 3GPP TS 22.262 V17.0.1, Oct. 2019の定義による地表面からの高度
*伝搬遅延: Service requirements for the 5G system, 3GPP TS 22.262 V17.0.1, Oct. 2019の定義によるone-way propagation delay

成層圏無線通信 (HAPS)





Flex HTS衛星プラットフォームの開発及び受注状況

衛星バス名	Onesat	Space Inspire	702X
製造業者	Airbus	Thales Alenia Space	Boeing
衛星外観	 ©Airbus	 ©Thales Alenia Space	 ©Boeing
電力	～ 12.5 kW (Eurostar NEOの半分)	～12 kW	～12 kW
打上げ質量	3トン	2トン	打上げ質量不明、ドライ質量1.9トン
寿命	15 年	15 年	15 年
納期	3.5 年 初期ユニット(2023); 18 カ月(繰返しユニット)	18 カ月(繰返しユニット)	3年 初期ユニット(2022)
最大キャパシティ*	3基のGXフレックスはKaのすべてのGXと同じくらい多くキャパシティを有する。1衛星当り2000ピーム	200 Gbps (Ku or Ka)	200 Gbps. 400 Gbps (even 1 Tbps)までスケーラブル
サイズ	不明	1m 高	約 1m 高
打上げ投入軌道	ペイロードアダプタなしで最大3段積み(スタック)	スタックではなくリングにて2-3基。大きなリジッドアンテナ(3.5m径)搭載可能。	GTOに2または3段積み(スタック)。GEO直接可能。
キー新規技術	EOR, OBP, アクティブアンテナ, SDR	EOR, SSPA, アクティブアンテナ, 第五世代DTP (SpaceFlex)	EOR, SSPA, 3Dプリント
受注状況 ・オーダ年 ・衛星名 ・事業者名	2019年: Inmarsat GX7, GX8 and GX9(Inmarsat) 2020年: Optus 11(Optus) 2021年: Intelsat 42 & 43(Intelsat) 2021年: Superbird 9(スカパーJSAT)	2021年: Astra 1Q(SES) 2022年: Intelsat 41、Intelsat 44(Intelsat) 2022年: SES-26(SES) 2022年: Arabsat-7A(Arabsat)	2020年4月: 7基(SESのO3b Mpower) 2020年8月: 4基(同上)

技術試験衛星9号機 (ETS-9)



ETS-9のイメージ図

©JAXA

- ◆ 次世代静止衛星バス技術 (文科省/JAXA)

- ◆ 次世代通信ミッション技術 (総務省/NICT)
 - ・ Ka帯と光通信による衛星通信の大容量化
 - ・ チャネライザ/DBF技術による衛星通信のフレキシブル化
 - ・ 通信システムの統合的な運用制御

- ・ 固定ビーム(Ka帯)
 - マルチビーム・広帯域デジタルチャネライザ
- ・ 可変ビーム(Ka帯)
 - 広帯域DBF
- ・ フルデジタルペイロード

- ・ 光フィードリンク
 - 10-Gbps 静止-地上間光リンク
- ・ 共通部(Ka帯)
 - ビーコン送信等

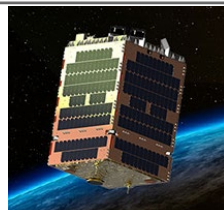
* : Gbpsキャパシティは各社の提示情報。

Superbird-9

低軌道メガコンステレーションの世界動向例

数百～数千の小型衛星を軌道に投入しグローバルにカバーする衛星通信サービスを計画

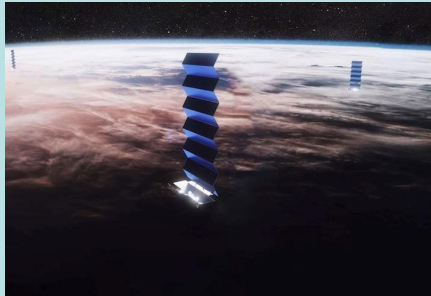
項目	TELESAT	SES [▲] O3b mPOWER	SPACEX STARLINK	OneWeb	amazon
コンステレーションサイズ	198 satellites (0% launched)	11 satellites (0% launched)	4,408 satellites (Gen1) (>74% launched)	650 satellites (66% launched)	3,276 satellites (0% launched)
トータルキャパシティ	~10 Tbps (50 Gbps per sat.)	~2.7 Tbps (200-315 Gbps/sat.)	~88 Tbps (~20 Gbps/sat.)	~5 Tbps (~7.5 Gbps/sat.)	164 Tbps (50 Gbps/sat.)
周波数帯(ユーザ)	Ka-band	Ka-band	Ku-band	Ku-band	Ka-band
軌道	LEO (1,000-1,350 km)	MEO (8,062 km)	LEO (550 km)	LEO (~1,200 km)	LEO (~600 km)
衛星質量	~700 kg	~1,700 kg	~260 kg	~150 kg	~650 kg
衛星寿命	~10 years	>10 years	~5 years	~5 years	5 to 7 years
レイテンシー(space RTT)	< 50 ms	~150 ms	< 50 ms	< 50 ms	< 50 ms
ペイロードのフレキシビリティ	Beam-hopping/forming, optical ISLs, OBP	Dynamic beam-forming, steering, sizing	Steerable beams, ISLs (as of Q3 2021)	None	Beams: flexible shape, steering, capacity
衛星製造単価	~\$10 million	~\$120 million	\$500,000 to \$1 million (excl production facility)	<\$1 million	<\$3 million (TBD)
衛星当りの打上げ費用	~\$3 million	\$15 million	\$300,000 to \$600,000	\$80,000	TBD
サービス開始時期	2026	2023	2021	2022 (polar)	>2026



出典: 各社Webサイト等より

Starlinkの例

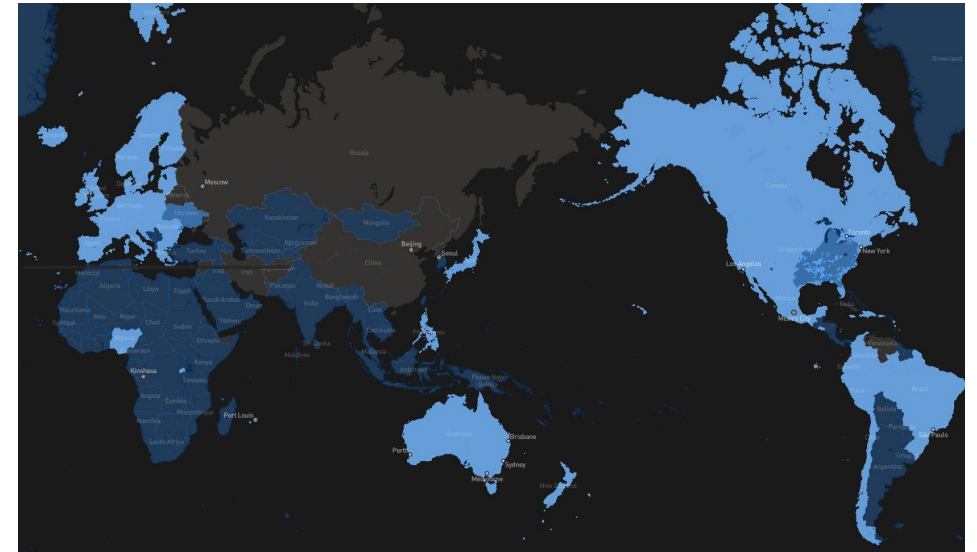
Starlink
LEO (340km, 550km, 1,150km)
2019年より打上開始(約5000機以上打上済)



左図: <https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/06/post-12259.php>

右図: <https://www.space.com/spacex-starlink-satellites-phone-home-dimming.html>

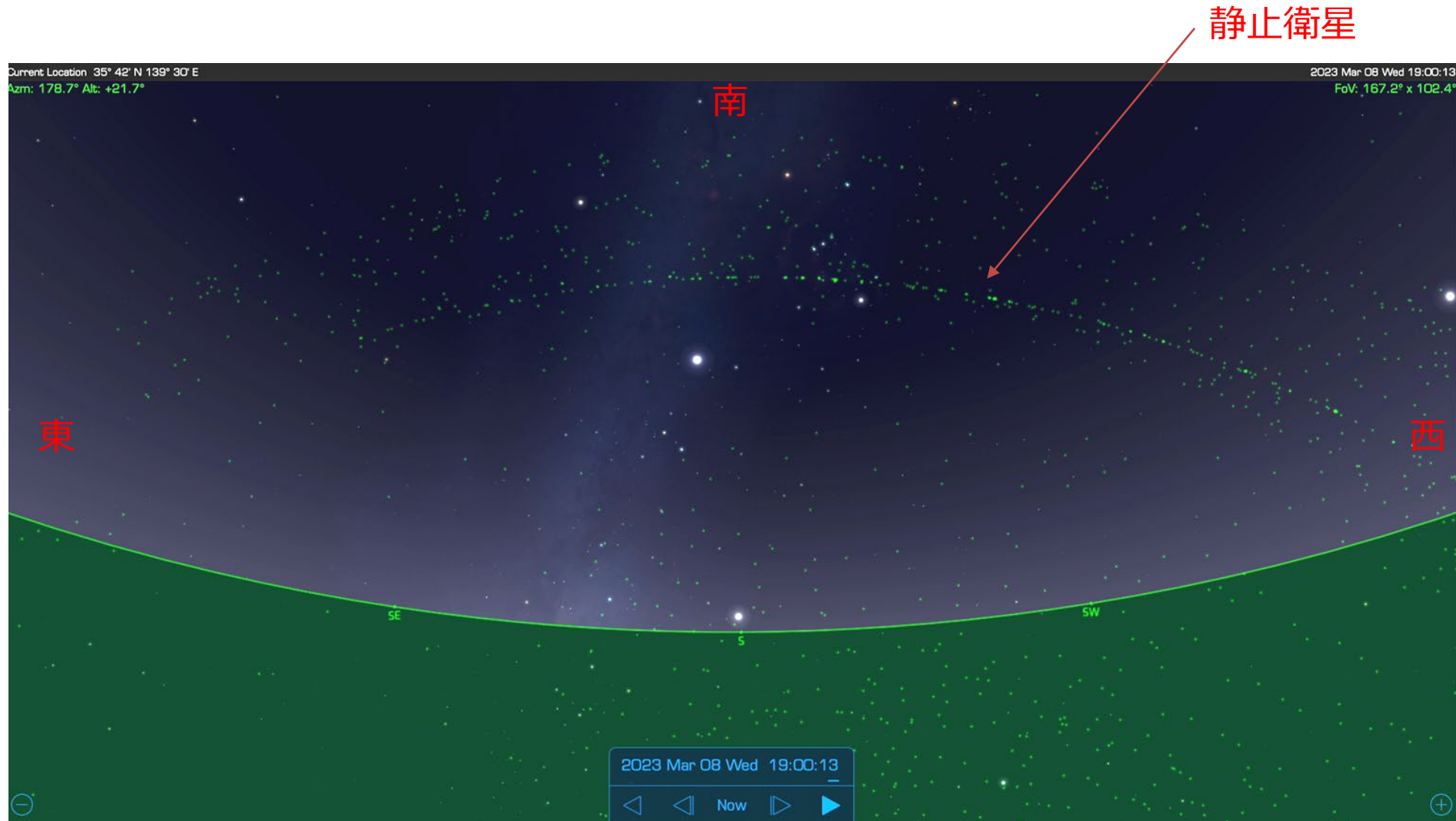
現在のサービスエリア



上図: <https://www.starlink.com/map>

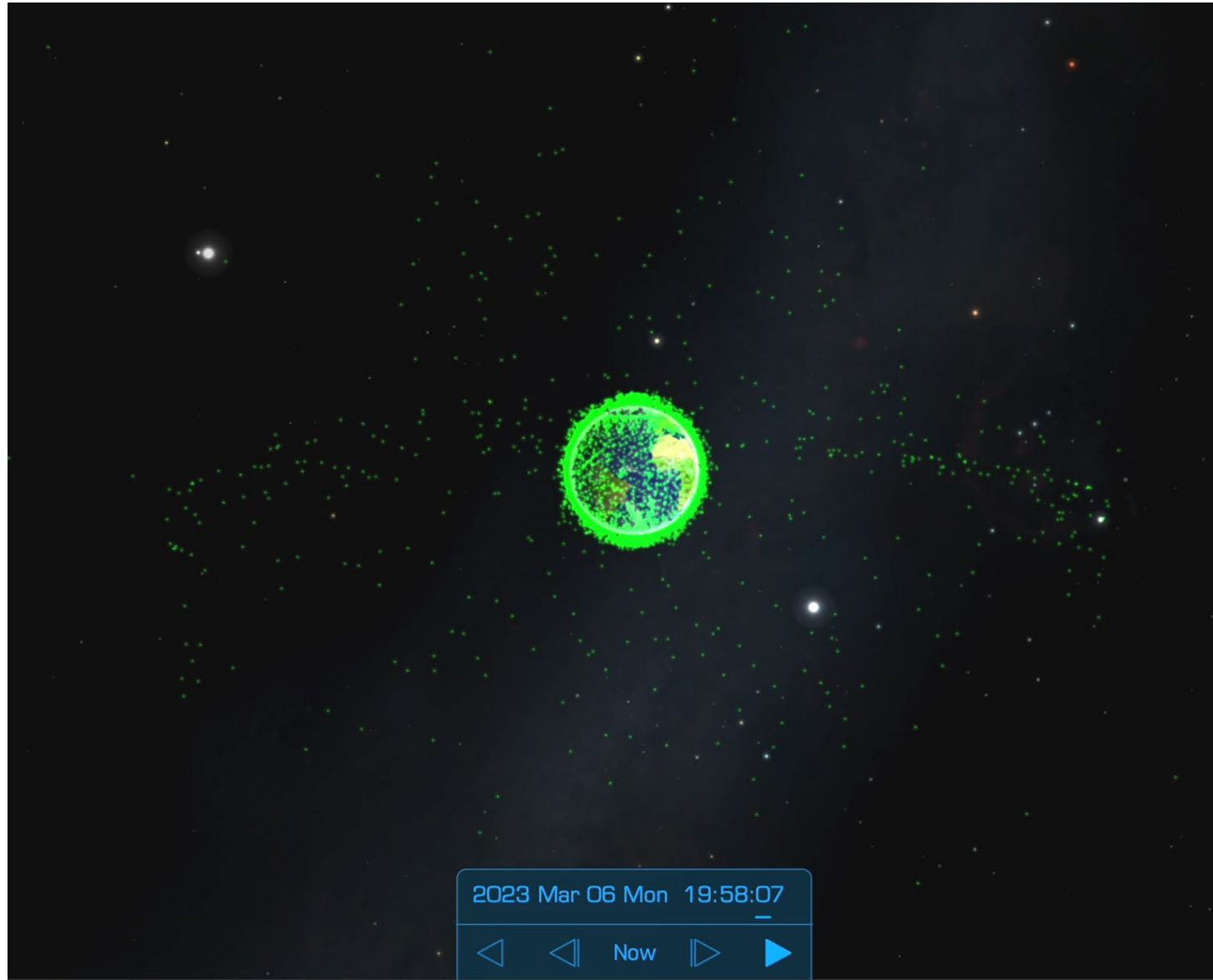
- Starlinkは低軌道衛星
 - 高度550kmの約4,400機
 - 高度1,150kmのKu/Kaバンドを用いる約2,800機の衛星
 - 高度340kmのVバンドを用いる約7,500機の衛星
 - 参照: <https://spacenews.com/fcc-oks-lower-orbit-for-some-starlink-satellites/>
- Starlink Businessでは、150～350 Mbpsのダウンロード速度と20～40ミリ秒の低遅延を期待でき、オフィスや店舗などの環境で、最大20ユーザーを対象
- 航空機へのサービスも予定
- 衛星間は光通信を利用予定

2023年3月8日の地上から見た南の空の衛星



NORADの衛星の軌道情報TLE (Two-line elements)からOrbitrackにより作成

2023年3月8日のGEO衛星とLEO衛星



2023年3月8日のLEO衛星



Starlink衛星のみ (+国際宇宙ステーション)



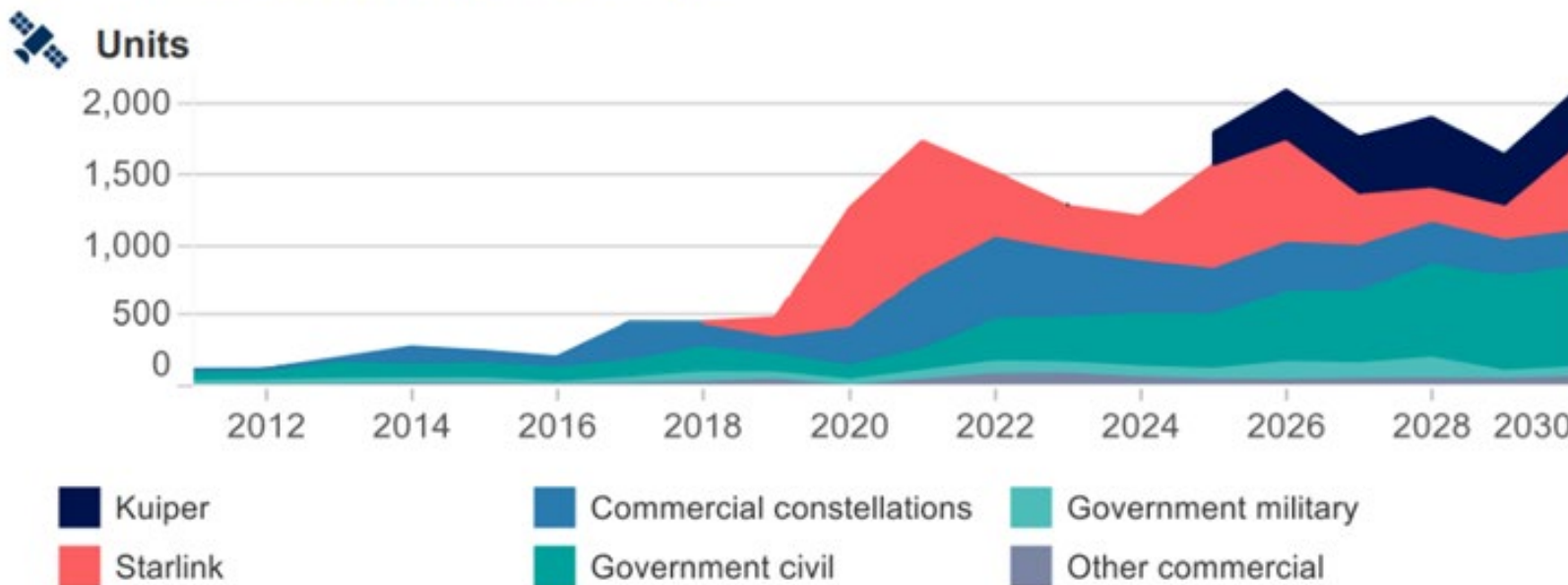
2023 Mar 08 Wed 08:52:20



衛星需要の衛星オペレータ別の実績及び予測

20 years of satellite demand

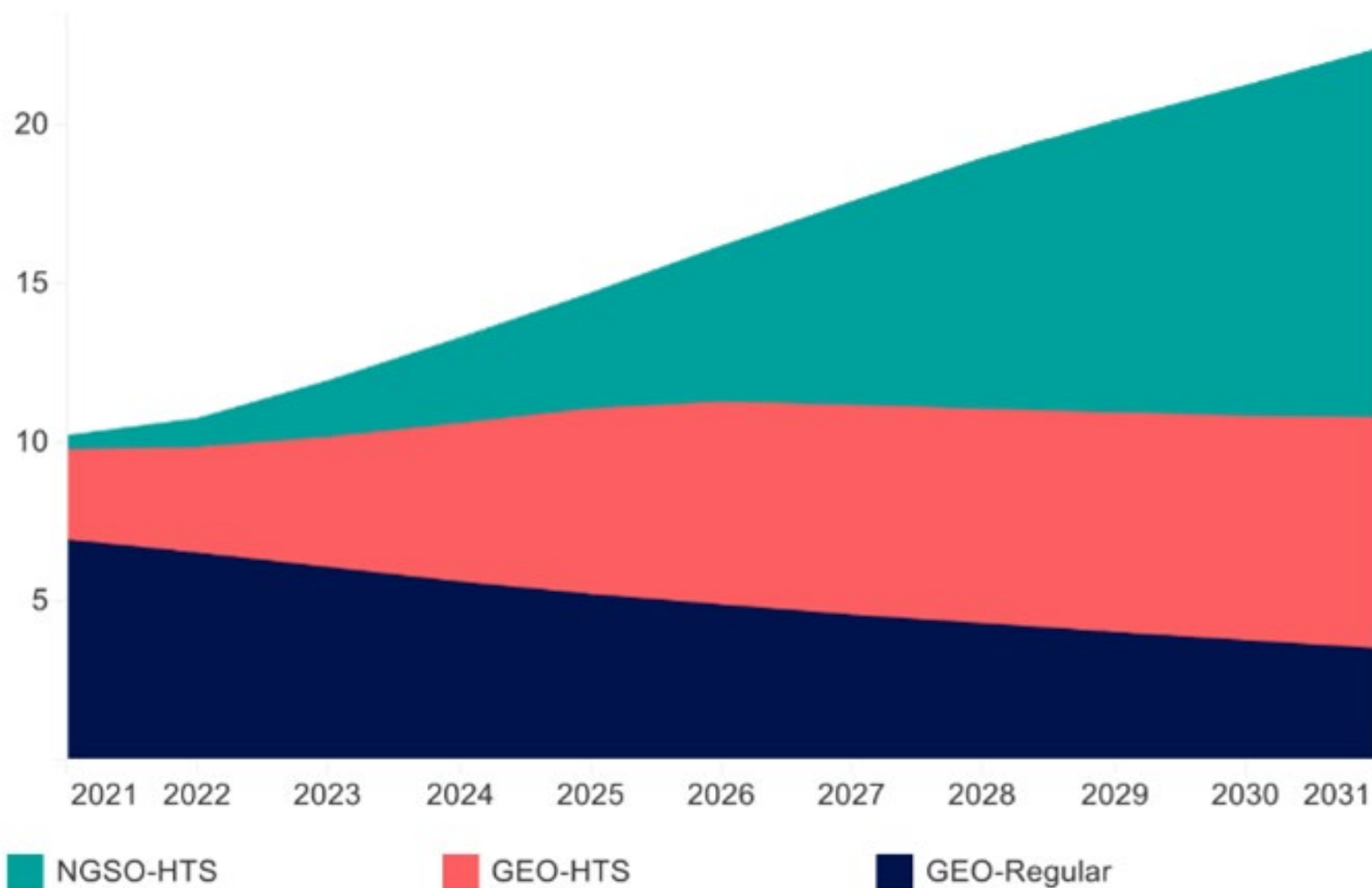
Satellite market forecast by operator type



過去10年間及び今後10年間の衛星需要の衛星オペレータ別の実績及び予測

- Euroconsultは、衛星と打上需要は、質量に関係なく、過去10年間の年間382基に比較して、今後10年の間に年間1,741基以上が打上げられ**4.5倍に増加**すると予想。
- 2021年～2030年において、**衛星コンステレーションは、基数ベースで需要の80%を占める**。しかしながら、衛星単価が低いこと、及び大型打上げ機による打上げコスト低減に伴い、製造及び打上げ収益の10%のみに該当。
- 今後10年間に於いて、5つのコンステレーション(Oneweb, Starlink, Gwo Wang, Kuiper及びTelesat)は、10年間で基数ベースでは、**衛星需要全体の58%(9,900台)を占めると考えられる**。

キャパシティタイプ別市場価値予測 (単位:B USD)



- VHTS 衛星(Konnect VHTS、Viasat-3…)及びNGSO コンステレーション(Starlink、Telesat Lightspeed …) のサービス開始により、価格レベルのさらなる低下が予想される
- HTSキャパシティ収益は、2021年～2031年の間に15.6Bドルまで成長すると予測され、その内、**28%をGEOが、72%をNGSOが占めると予測される**

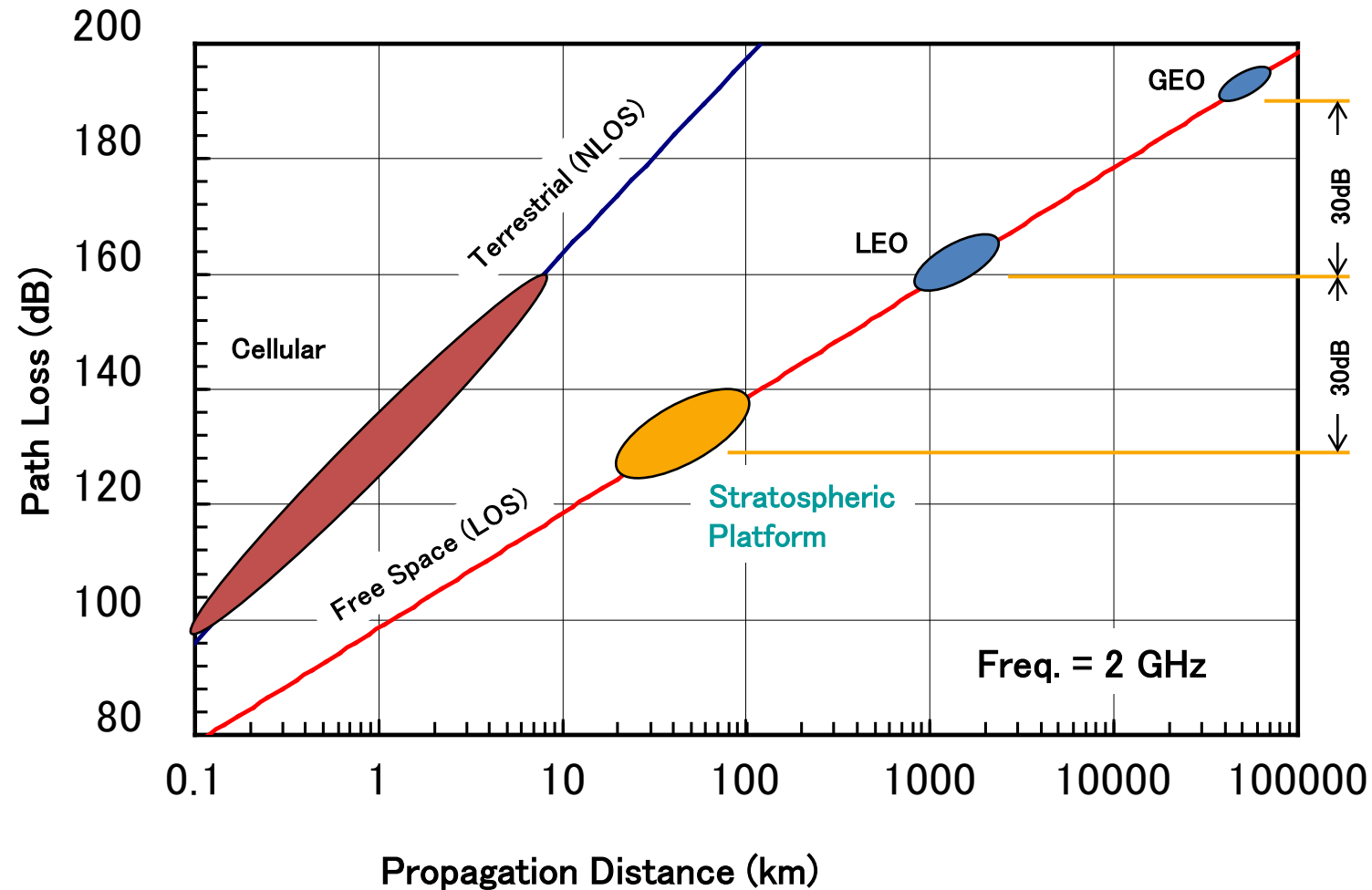
2.3 高高度プラットフォーム（HAPS） 一古くて新しいプラットフォームー

HAPSの研究開発の背景

【背景・課題】

- 近年、HAPS（High-Altitude Platform Station：高高度プラットフォーム）は、実用化に向けた技術開発や標準化・制度化の動きが世界的に加速している
- HAPSは、短期間のうちに何度でも搭載機器を改修しながら実証試験を行うことができるという大きな利点がある
- 世界的に成層圏プラットフォーム形成に向けた活動が活発化してきているが、HAPSモバイル、Airbus等が固定翼型プラットフォームを開発し飛行に成功している
- HAPSを利用した固定通信システムとしては、5G等の次世代モバイル通信システムの普及に伴う基地局へのバックホール回線の冗長化の要求が増大し、昨今の風水害の激甚化に対する地上系の通信インフラ網の強靱化が喫緊の課題となっている中、上空経由にて冗長経路が確保できるHAPSによるブロードバンド通信の早急な実現への期待が高まっている。
- B5Gの時代にむけては、ドローンや空飛ぶ車、船舶、宇宙ステーション等、これまでの移動通信ネットワークでは十分カバーできなかった空・海・宇宙へエリアカバレッジを拡張し、高速バックホールや産業向け通信の実現、イベント対応、IoT端末の多数接続等、NTNとして、あらゆるユースケースに対応できる柔軟な通信方式とシステムが望まれている。
- 地上の移動通信システムとの電波干渉による影響を低減する周波数共用技術の確立が必須

Path Loss Dynamic Range



2000年頃の世界のHAPSその 1

(1) 太陽電池駆動大型無人飛行船

(全長～150-250 m, ペイロード～1-2 トン)

- Sky Station/LM-GT, USA
 - 150m-class airship at altitude 20-21km
 - High speed access link with 2Mbps-10Mbps in the 48/47GHz band
 - IMT-2000 mobile services
 - No news for testing
- Advanced Technology Group/Vodafone
 - 200m-class airship at altitude 20km (Stratsat)
 - 120m-class scale model scheduled in 2003
 - Solar/diesel mixed power
- LM-NE&SS/US Army, USA
 - 150m-class airship at altitude 21km (Stratocom)
 - Proposal scheduled for US Army
- Lindstrand/European Space Agency
 - Feasibility study was finished in Jun. 1999
- 日本
 - 飛行船型プラットフォームの開発 1998-2005
- ETRI/KARI, Korea
- Shanghai Jiao Tong Univ./Tsinghua Univ., China



2000年～頃の世界のHAPSその2

(2) 無人固定翼機（太陽電池or燃料電池）:

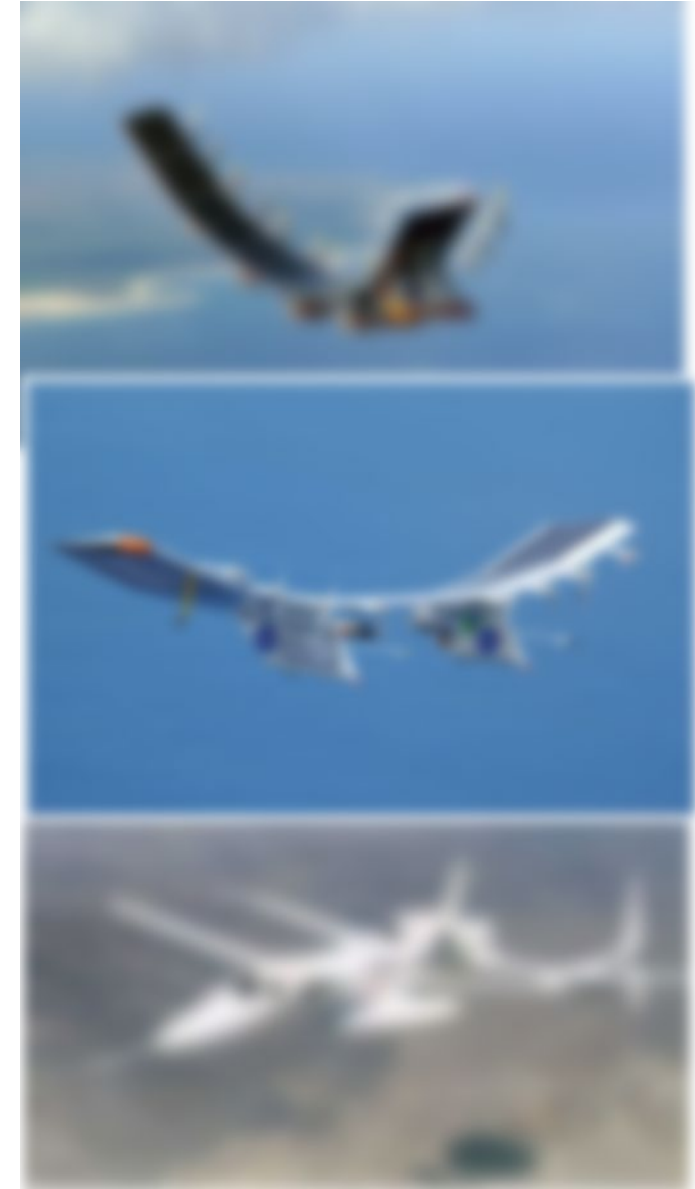
翼長～35-70 m, ペイロード～50-300 kg

- NASA/AeroVironment, USA
 - Helios/Pathfinder-plus
 - Remotely piloted solar-powered plane at altitude 17-30 km
 - High-altitude record established (Helios, 30km@Hawai, Aug.2001)
 - Global Observer
- Angel Technologies/Ratheon, USA
 - Small manned jet planes at altitude 17-20 km
 - First flight test in 1998 (HALO-Proteus) at altitude 15 km



Global Observer

長さ: 21メートル
全幅: 53メートル
身長: 4メートル
最大離陸重量: 3100キロ
高速巡航飛行: 時速80キロ
最大対気速度: 時速110キロ
飛行の最大範囲: 3500キロ、約1週間
飛行の最大の高さ: 20000メートル。
航空機エンジンのタイプ: 水素
最高積載能力: 1,000ポンド(約450キログラム)



日本における成層圏プラットフォーム開発

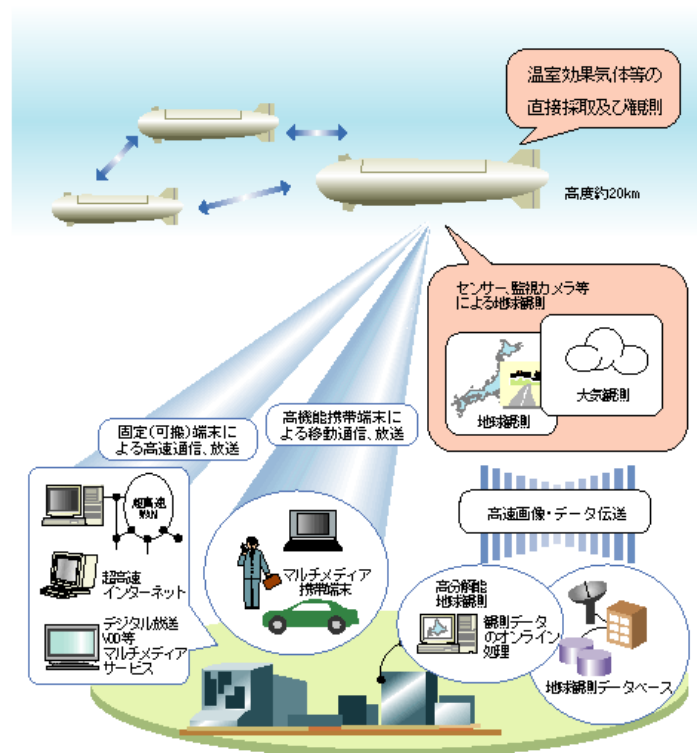
1998年～2005年

総務省及び文部科学省では、成層圏プラットフォームの早期実用化を目指し、平成10年度より産学官共同で研究開発を行った。

総務省は、通信・放送及び追跡管制システムの研究開発を担当した。

世界無線通信会議(WRC-97)→47/48GHz帯

WRC-2000→31/28GHz帯、IMT-2000の基地局としての利用が可能となった



	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度
	システム構想性 検討		要素技術研究(測候、ミリ波通信機等)					
(1)成層圏滑空飛行船 (40m級)※1			飛行船設計・開発	飛行船設計・開発	飛行船設計・開発	飛行船設計・開発		
(2)定点滑空飛行船 (60m級)※2				飛行船設計・開発	飛行船設計・開発	飛行船設計・開発	飛行船設計・開発	
(3)技術実証機 (150m級)※3			計画・検討					飛行船設計・開発
追跡管制システム	システム設計	要素研究	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験
風航測・予測システム			予測ソフト開発	システム構築・評価・改良	システム構築・評価・改良	システム構築・評価・改良	システム構築・評価・改良	システム構築・評価・改良
通信・放送ミッション	システム設計	要素研究	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験	設計・製作・試験

※1 高度約15kmまで到達し、飛行船の構造設計技術の確認、温室効果気体の採取を行う。

※2 地上約4kmで、飛行船を一定の位置に制御するための追跡・管制技術の確認、通信・放送実験、地球観測実験を行う。

※3 成層圏高度において定点に滞空し、通信・放送実験、地球観測実験を行う。

成層圏プラットフォームの研究開発スケジュール

2004年JAXA定点滞空試験機

電動モーター装備無人飛行船

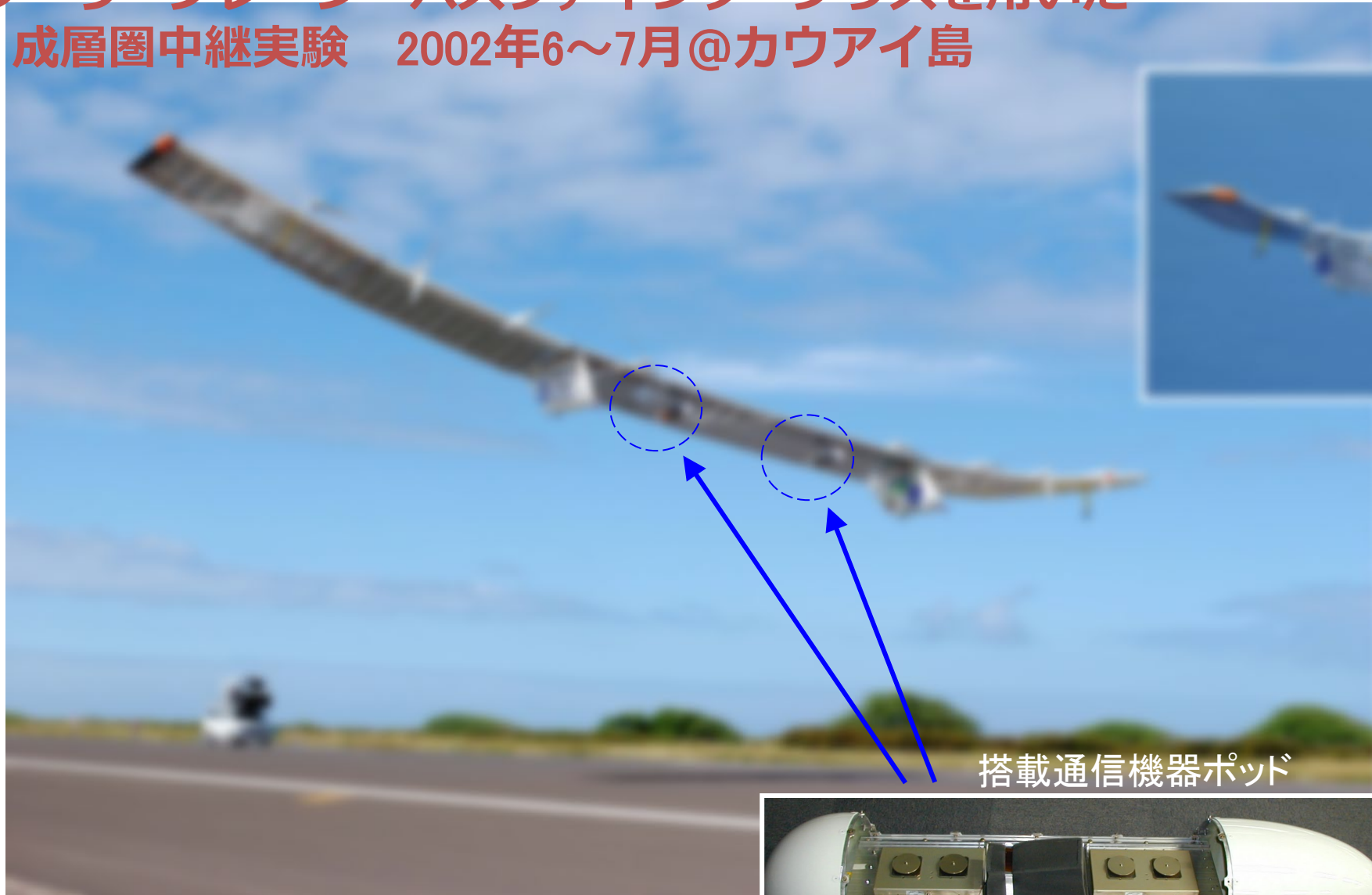
全長: 67.8 m, 体積: 10660 m³, 重量: 6400 kg

ペイロード: 400 kg (ミッションバッテリー含む)

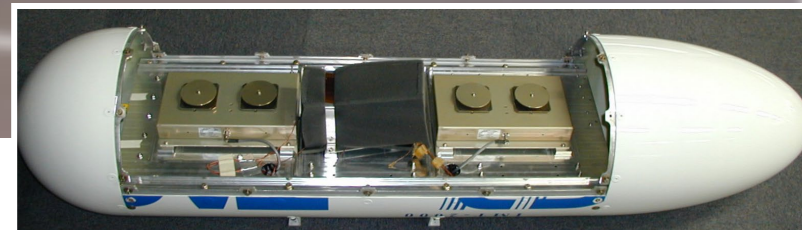
最高到達高度: ~4000 m



NASAソーラープレーン・パスファインダープラスを用いた 成層圏中継実験 2002年6～7月@カウアイ島

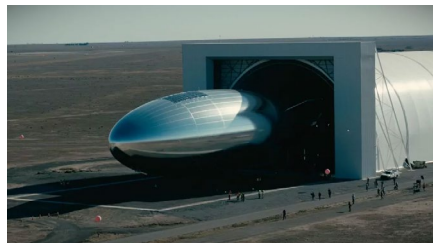


搭載通信機器ポッド





現在のHAPSプラットフォームの開発状況



SCEYE Inc. (米)
飛行船型HAPS、152m長、40 m直径
<https://www.sceye.com/>



STRATOBUS Thales (仏)
飛行船型HAPS、100m長、33 m直径、ペイロード250 kg、5 kW電源供給
<https://www.thalesgroup.com/en>



Zephyr AIRBUS
固定翼HAPS、成層圏滞空3000時間の世界記録を持つ
<https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>



Stratospheric Platforms Limited (UK)
水素を動力源とし、飛行時間1週間以上、翼長60m、ペイロード140kgを目標として開発中
<https://www.stratosphericplatforms.com/>



HAPS Mobile (日本)
固定翼HAPS, Helios, Pathfinderなどを開発したAV(米)とSoftbankとの合併で設立
<https://www.hapsmobile.com/ja/>

• <https://www.hapsmobile.com/en/technology/>

Zero 2 Infinity (スペイン)
HAPSとは異なり、バルーンにて成層圏以上の高度まで衛星を持ち上げ、その後低軌道に衛星を打ち上げる
<https://www.zero2infinity.space/>



Airbus Zephyr



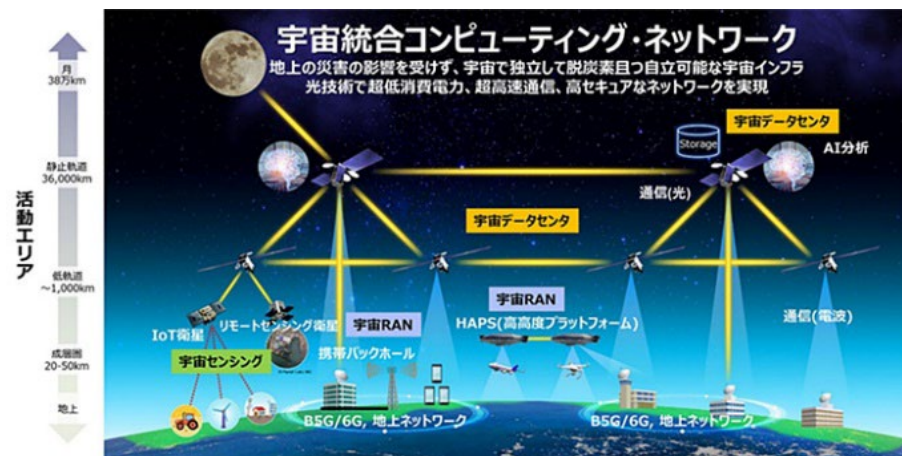
- <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/uas-solutions/zephyr#haps>

HAPS Mobile Sunlider

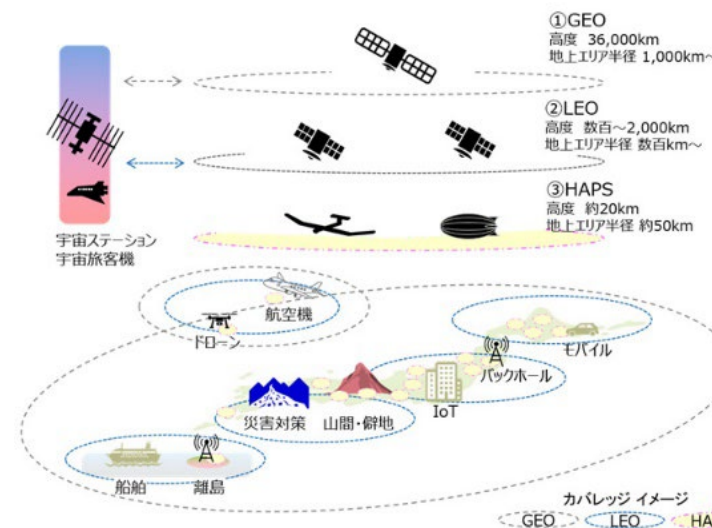


- https://youtu.be/9G_h_fDyYAk
- <https://www.hapsmobile.com/en/technology/>

日本でのHAPSを利用するプロジェクト例

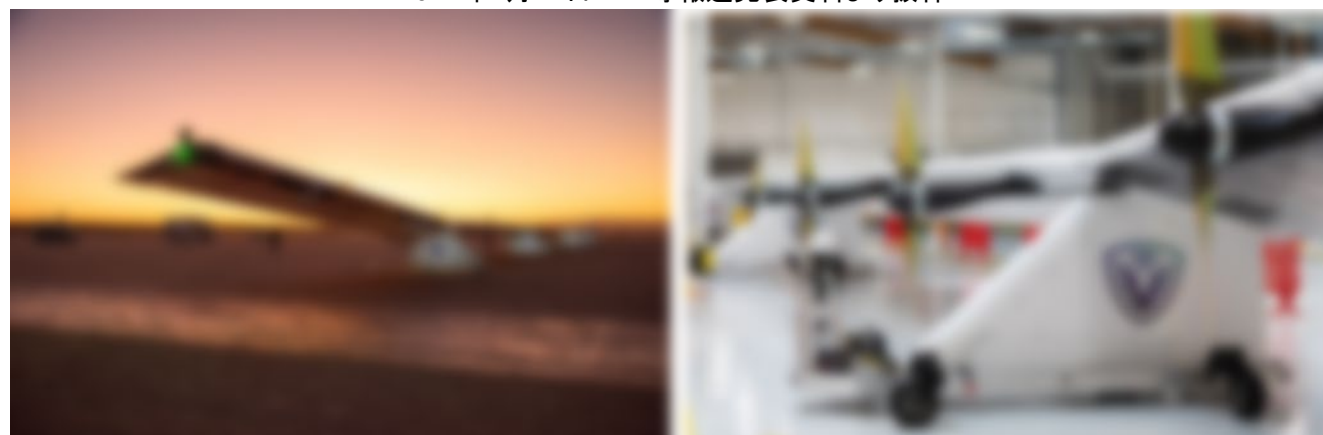


衛星・HAPSによる宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想



衛星・HAPSによる通信サービスの提供イメージ

2022年1月17日NTT等報道発表資料より抜粋



HAPSモバイル株式会社のHAPS

2020年7月23日に米国ニューメキシコ州に世界初の商業用宇宙港として整備中の
Spaceport Americaにおいて高高度フライト試験に成功

HAPSに関わる動向（国際標準化）

項目	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
ITU-R WP5C HAPSによる固定通信用の 周波数標準化	▲WRC-19 38-39.5GHz帯がHAPS広帯域通信システム 向けフィーダリンク周波数の特定					
ITU-R NTNとしてのHAPSの標準化			 新議題化提案			▲WRC-23
ITU-R WP5D HAPS搭載IMT基地局による 移動通信用の周波数標準化		2.7GHz以下のHAPSからIMT移動局への直接 移動通信のサービスリンク周波数の特定				▲WRC-23
3GPP NTN(Non-Terrestrial- Network)の標準化	Beyond5GとHAPSを含むNTNとの ネットワーク融合にかかわる規定		▲Release-17発行		Release-19	
					▲Release-18発行	
ICAO*,RTCA* HAPS及びドローン運航管理 の標準化		日本提案	▲MOPs * 発行	▲SARPs * 承認		
			5GHz帯でのHAPSを含む無人航空機のC2リンク (Command&Control) システムにかかわる規定			

* ICAO : 国際民間航空機関

* SARPs (Standard and Recommended Practices) : ICAOの標準文書



各標準化団体においてNTN／HAPSにかかわる議論が活発化。

WRC-23 議題1.4の結果（参考）

第一地域		第二地域		第三地域			
694-960MHz RR 5.317Aを追記		694-960MHzまたはその一部はHIBS使用として特定 694-728 / 830-835 / 805.3-806.9MHzはアップリンクに限定		698-960MHzまたはその一部はHIBS使用として特定 698-728 / 830-835 /805.3-806.9MHzはアップリンクに限定		（オーストラリア、モルディブ、ミクロネシア、パプアニューギニア、トンガ、バヌアツにおいて） 698-960MHzまたはその一部はHIBS使用として特定 （中国、インド、インドネシア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、タイにおいて） 703-733 / 758-788 / 890-915/935-960 MHzまたはその一部はHIBS使用として特定 698-728 / 830-835MHzはアップリンクに限定	
1710-1885 MHz 1885-1980 MHz 2010-2025 MHz 2110-2170 MHz RR 5.388Bを削除 5.388Aを修正		1710-1980 / 2010-2025 / 2110-2170MHzはHIBS使用として特定 1710-1785 MHzはアップリンクに限定		1710-1980 / 2110-2160MHzはHIBS使用として特定 1710-1785 MHzはアップリンクに限定 2110-2170 MHzはダウンリンクに限定		1710-1980 / 2010-2025 / 2110-2170 MHzはHIBS使用として特定 1710-1815 MHzはアップリンクに限定	
2500-2690 MHz RR 5.384Aに追加		2500-2690 MHzはHIBS使用として特定 2500-2510 MHzはアップリンクに限定		2500-2690 MHzはHIBS使用として特定 2500-2510 MHzはアップリンクに限定		2500-2655 MHzはHIBS使用として特定 2500-2535 MHzはアップリンクに限定	

3. 光衛星通信の動向と技術課題

光衛星通信の特徴

高解像度化に対応する大容量伝送

- ・ 数Gbps超の伝送速度が実現可能
- ・ RFと比較し大容量のデータダウンリンクに貢献
- ・ リアルタイムな観測エリアが拡大



衛星バスや観測センサに対する影響軽減

- ・ 低消費電力化の可能性
- ・ 小型な衛星搭載装置の可能性（擾乱、重量等）
- ・ 光地上局は10cm級の望遠鏡で通信が可能であり小型化可能（コスト、建物、敷地、可搬性）

国際周波数調整不要

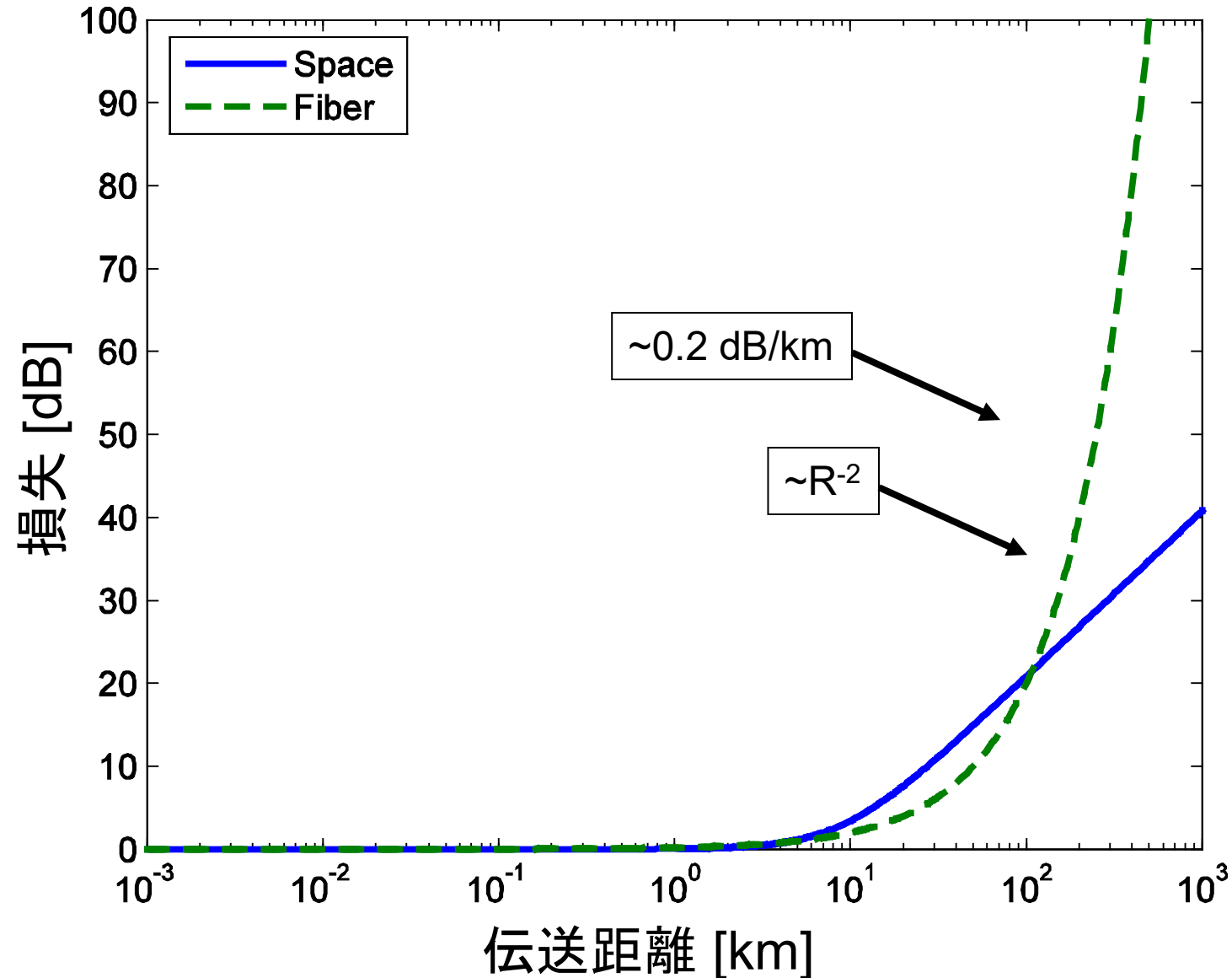
- ・ レーザは電波法の規制を受けない
- ・ 国際周波数調整不要でタイムリーな打ち上げに貢献
- ・ 標準化の必要性

高秘匿性のあるワイヤレス通信

- ・ RFに比べて小さなビーム
- 例) ビーム広がり角：約 1.2° (X帯)
約 0.001° (レーザ)
- ・ 漏洩電波による干渉や盗聴を気にする必要がない
- ・ 地上にデータ伝送した場合の秘匿性が高まる可能性

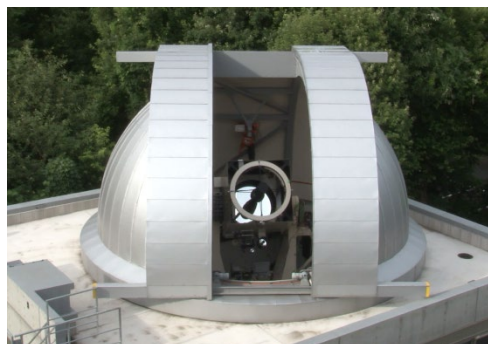


自由空間とファイバでの伝送損失の比較

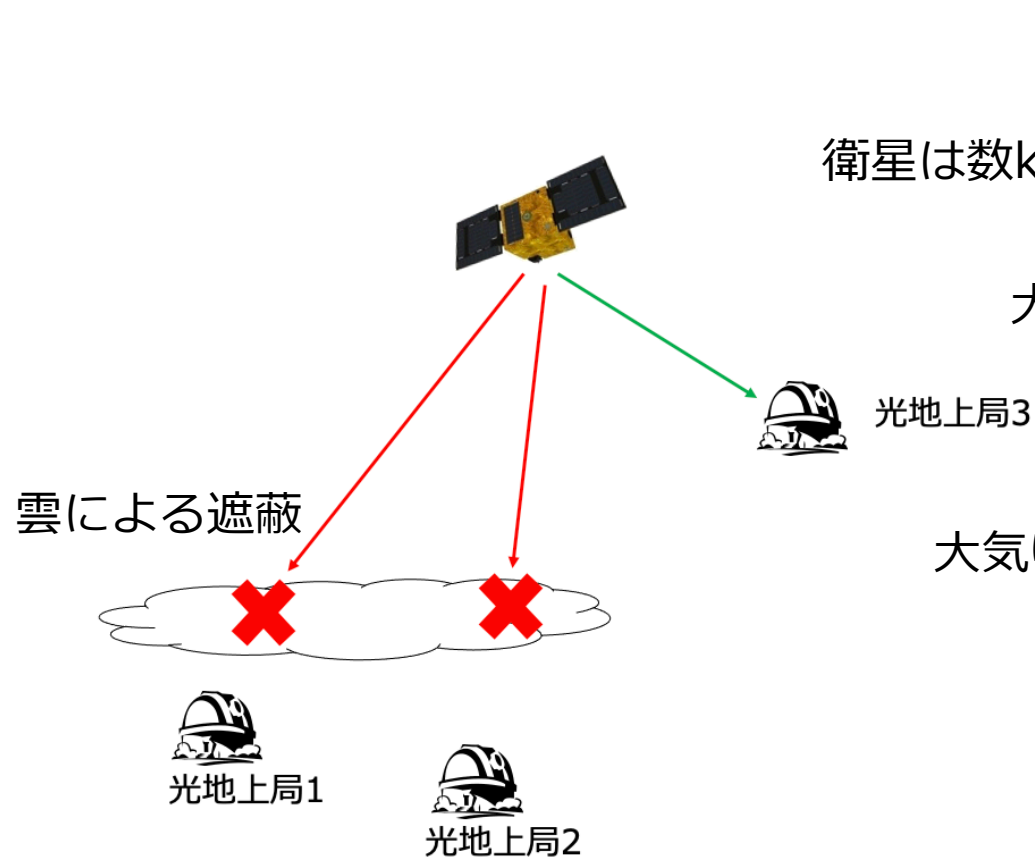


NTNにおける光通信の技術課題

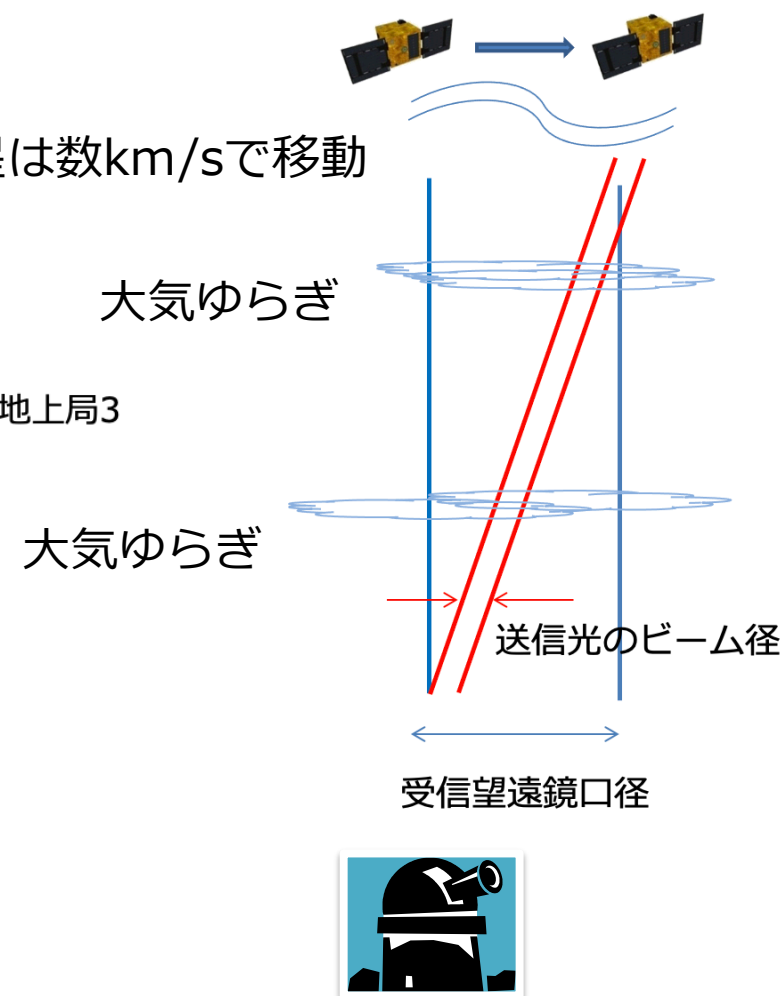
光地上局アンテナ技術



サイトダイバーシティ技術

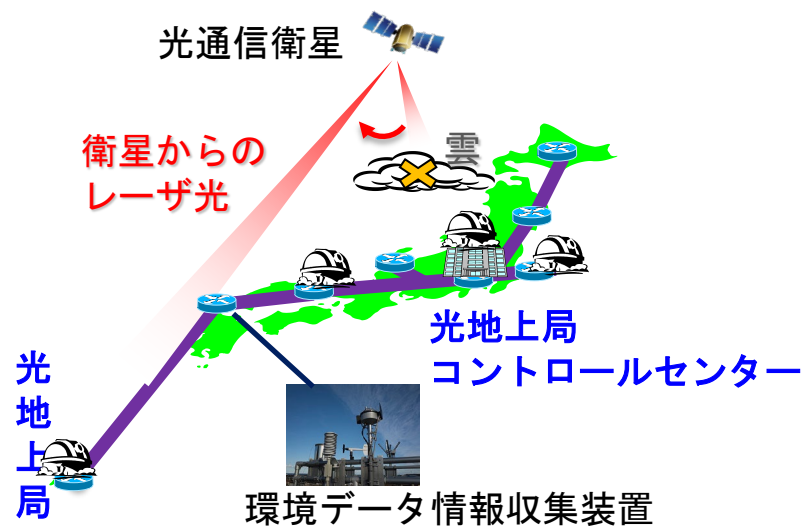


補償光学技術

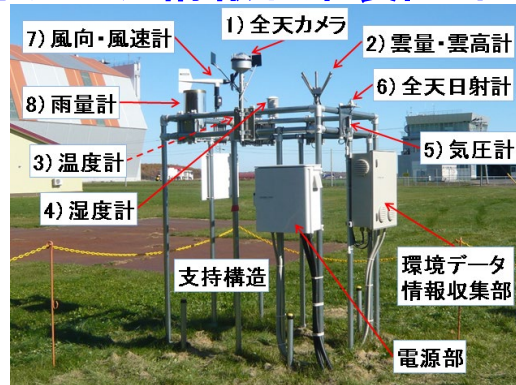


光衛星通信におけるサイトダイバーシティに関する研究開発

サイトダイバーシティの概念図



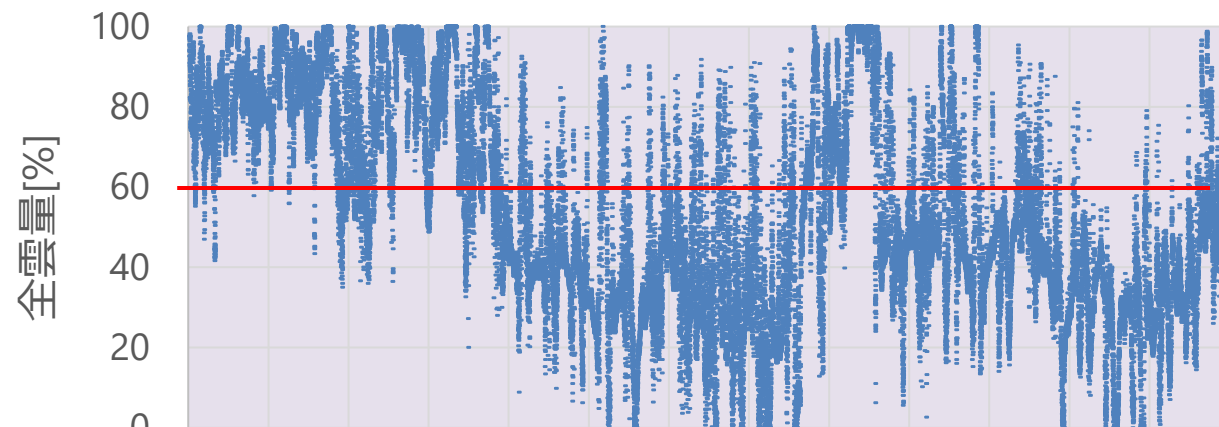
環境データ情報収集装置外観図



全国5局に環境データ情報収集装置を設置

光地上局を複数組み合わせることにより、ほぼ100%の衛星一地上光通信が可能

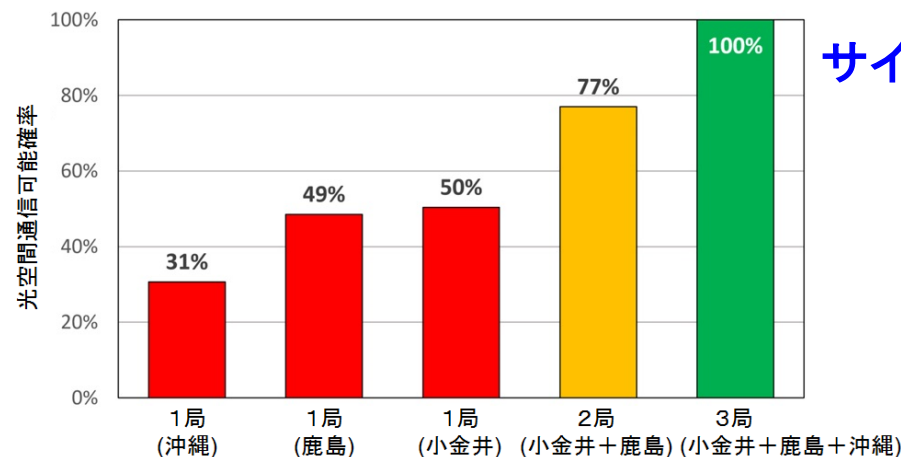
梅雨時の全雲量の変化例(沖縄観測点、2020年6月8日～7月17日)



2020年6月8日

7月17日

全雲量が60%以下であれば光衛星通信が可能と仮定した場合、65%の確立で沖縄単独で光衛星通信が可能



サイトダイバーシティ効果

2016年雨季
(2016.6/5～7/18) においてSOTAとのリンクが可能な確率の見積例

6. 日本でのNTNの研究開発の取り組み

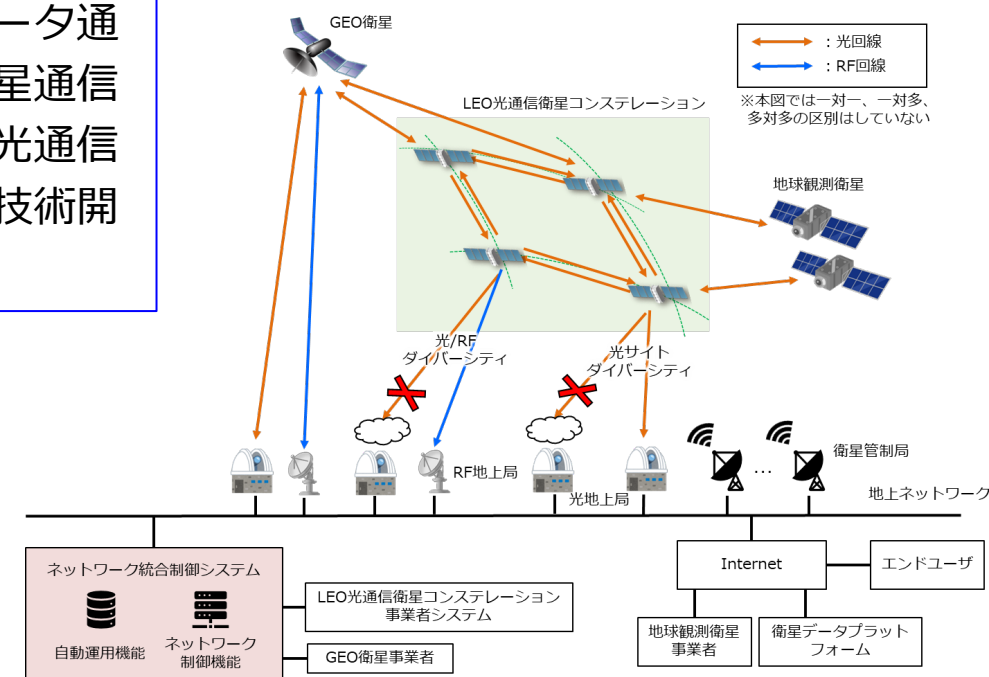
経済安全保障重要技術育成プログラム 「光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証に関する研究開発」 2023年～2029年度

「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の確立と光衛星通信コンステレーションの構築」を目指し、衛星コンステレーションにおける光通信技術、光通信ネットワーク統合制御技術に関するシステム設計、重要要素技術開発、地上での性能検証、軌道上実証を行う。

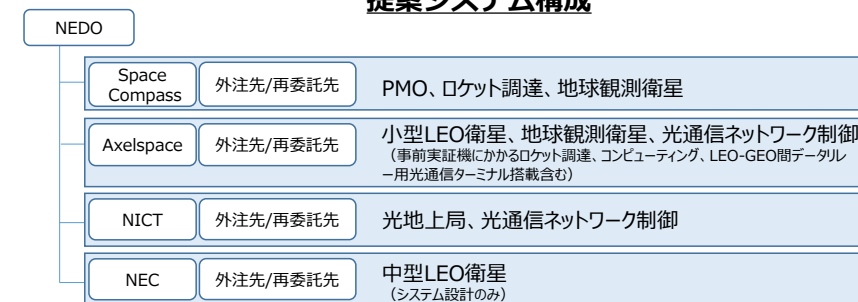
- ・世界に先行し、早期に設計、技術開発、実証を進める
- ・2023年度までにシステム設計完了
- ・2027年度までに光通信衛星、その他衛星、地上局、ネットワーク等の全体ネットワークシステムを整備
- ・2029年度までに光通信ネットワークを実証を完了

【想定されるノード構成】

- ・光通信LEO衛星(小型)：6機/軌道面 × 2軌道面
※一部にコンピューティング、LEO-GEO通信機能を搭載
- ・光地上局：2局以上
- ・実証参加地球観測衛星
光学：1機以上
SAR：1機以上
- ・静止軌道データ中継衛星（GEO衛星）：1機



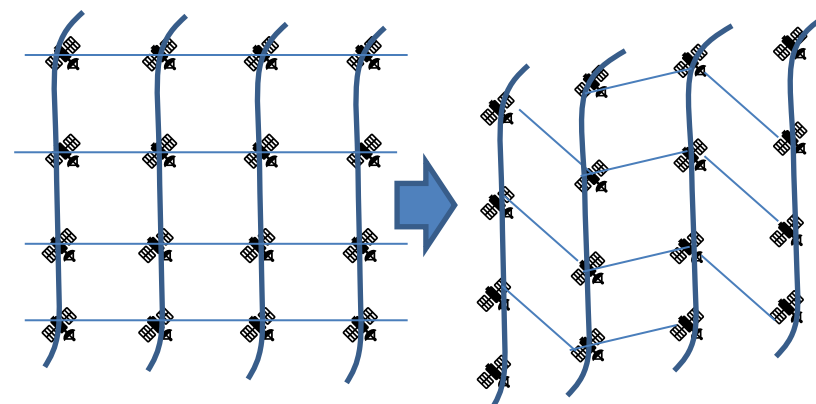
提案システム構成



各機関の担当

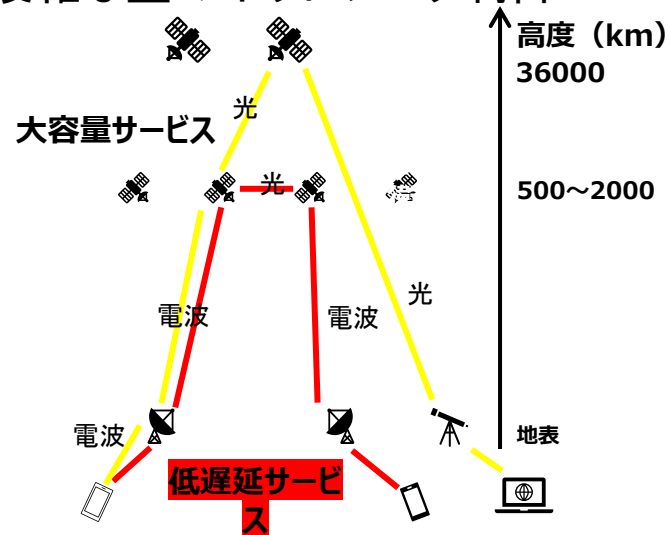
NTN統合制御技術

トポロジの切り替えイメージ

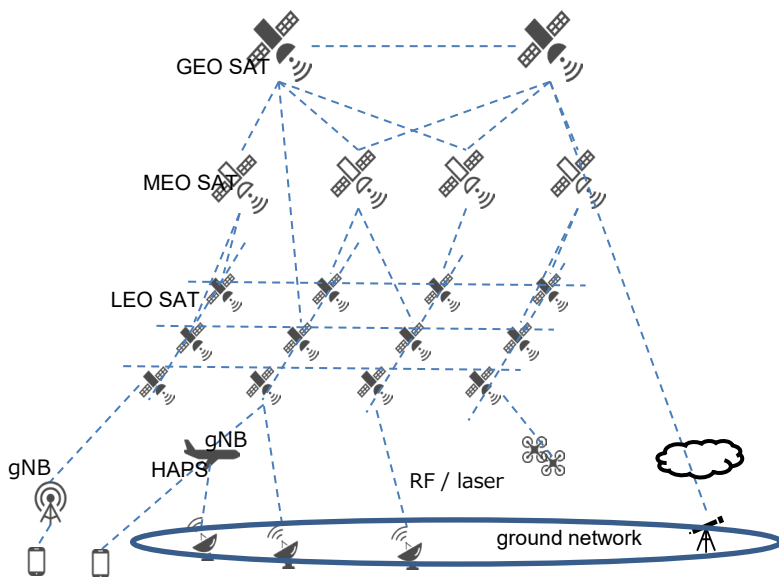


- 衛星移動による動的に変動する**トポロジ**と経路
 - QoS ベースの経路制御
 - 天候を考慮した経路制御
- 複数オペレータを調整するオーケストレータによるNW管理
 - End-to-end の通信品質担保
 - オペレータを跨いだリソース制御

複雑な空のネットワーク制御



- 衛星移動による動的に変動する**トポロジ**と**経路**
 - QoS ベースの経路制御**
 - 天候を考慮した経路制御**
- 複数オペレータを調整するオーケストレータによるNW管理
 - End-to-end の通信品質担保
 - オペレータを跨いだリソース制御



- 高度が様々な多層NWの連携方法を考える
- 複数オペレータの協調動作に必要な情報を洗い出す
- アルゴリズム検討と検証
- トポロジ制御
- 経路制御
- リソース制御
- Flexible GEOの制御アルゴリズム
- 天候を考慮したサイトダイバーシティの実運用に向けた検討
- 5Gでの通信品質管理と衛星側での通信品質管理の協調動作の具体化
- 光と電波の混在を上手に組み合わせる

複雑な空のネットワークの経路制御やリソース制御、衛星と5Gの連携が課題

NTNを活用したネットワーク将来像



海外におけるNTN向けプラットフォーム及びシステムの開発状況・計画

→多軌道にまたがるハイブリッドNW

国内組織及び企業に対するヒアリングによるニーズ調査

→低遅延・超高速大容量通信



GEO+LEOにて構成される多軌道システム

まとめ

- NTNでは、プラットフォームの進化、5G技術のNTNへの導入、標準化の進展などにより利活用が期待
- 二次元のネットワークから三次元のネットワークへの拡張
- Beyond 5Gでは海洋から宇宙までの三次元のシームレスな通信ネットワークの実現によるネットワークの拡張が重要。Beyond 5G/6Gの多様なアプリケーションの実現への寄与、宇宙通信の特徴を生かし分散型社会への移行に繋がる社会課題の解決が期待
- NTNでは衛星も含めより高い周波数（30GHz以上）の利用が期待され、そのデバイス開発も重要。しかも低消費電力化も重要
- 光通信は、電波と比べ伝送レートが増大に対応可能であり電波のひっ迫の過少に利用。特に宇宙では大気の影響がないため有利
- 光通信は雲、大気揺らぎによる回線品質の変動が電波よりも顕著となるため、回線品質により、ダイバーシティ地上局、LEO 通信網、RF フィーダリンクなどの迂回経路により通信品質を確保することが必要になる。
- HAPSは地上系と非地上系ネットワークを統合のためには重要
- 衛星開発では、GEO + LEOにて構成される多軌道システムが展開される
- 次は月面での通信の研究開発が進む？