



地上系と非地上系ネットワークにおける統合制御技術の現状と挑戦

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）ネットワーク研究所

関口 真理子（宇宙通信システム研究室 主任研究技術員）
ベド カフレ（ネットワークアーキテクチャ研究室 研究マネージャー）

NICT 発表者紹介

Part 1: NTN技術動向、NW統合制御概要、複数NTN統合

- 氏名 関口 真理子（せきぐち まりこ）
- 所属 国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
ネットワーク研究所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 主任研究技術員
- 職歴
- 2002/4～2006/3 NTTアイティ株式会社
音声合成システムに関する研究開発に従事
- 2006/3～2021/3 株式会社 構造計画研究所
無線ネットワークに関する研究開発に従事
- 2021/4～現在 情報通信研究機構(NICT)入所
宇宙通信のネットワーク研究に従事
主にネットワークシミュレータ／エミュレータ担当

Part 2: TN/NTN統合

- 氏名 Ved P. Kafle（ベド カフレ）
- 所属 国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
ネットワーク研究所
ネットワークアーキテクチャ研究室 研究マネージャー
- 職歴
- 2006/10 情報通信研究機構(NICT)入所
研究員
新世代ネットワークアーキテクチャの研究開発に従事
- 2010/10 主任研究員
ID-ベース通信、IoTネットワークアーキテクチャ
等に関する研究開発、標準化に従事
- 2018/4～現在 研究マネージャー
ネットワーク制御自動化、地上系非地上系ネットワー
ク統合アーキテクチャの研究開発と標準化に
従事

タイトル：地上系と非地上系ネットワークにおける 統合制御技術の現状と挑戦

NTNをとりまく技術の発展

- プラットフォームの発展（衛星コンステレーション, HAPS）
- 光空間通信の実現
- TNとの連携

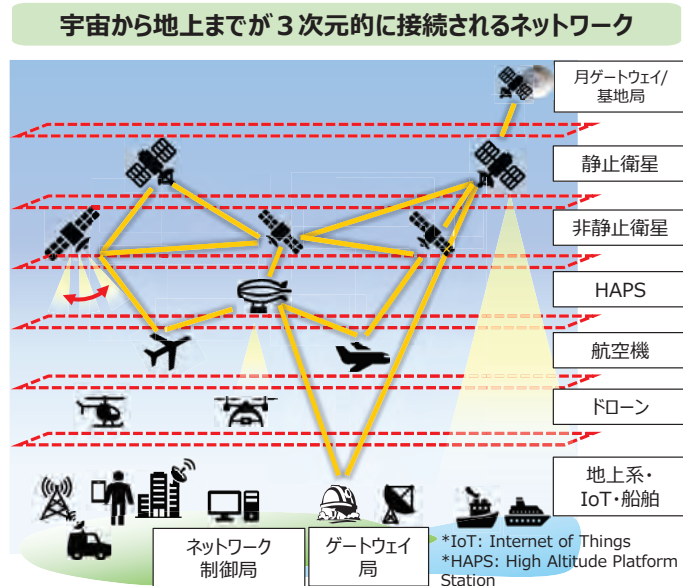


多層的な非地上系ネットワーク（NTN）の拡大



複数事業者・複数システム間の連携を円滑に行うための
制御技術が重要！

ネットワーク統合制御システム＝オーケストレータ



NTN（Non-Terrestrial Networks）：非地上系ネットワーク
TN（Terrestrial Networks）：地上系ネットワーク

3

Part 1: NTN技術動向、NW統合制御概要、複数NTN統合

- NTNの背景と技術動向
- NW統合制御（オーケストレータ）概要
- 日本の動向：複数NTN統合制御

Part 2: TN/NTN統合

- 標準化動向: 3GPP, ITU-T
- 日本の動向: TN/NTN統合制御 (INCA: Integrated Network Control Architecture)

4

NICT 非地上系ネットワーク（NTN）の特徴と利活用イメージ

■ NTNの特徴

➢ カバレッジエリアの拡張（広域性）

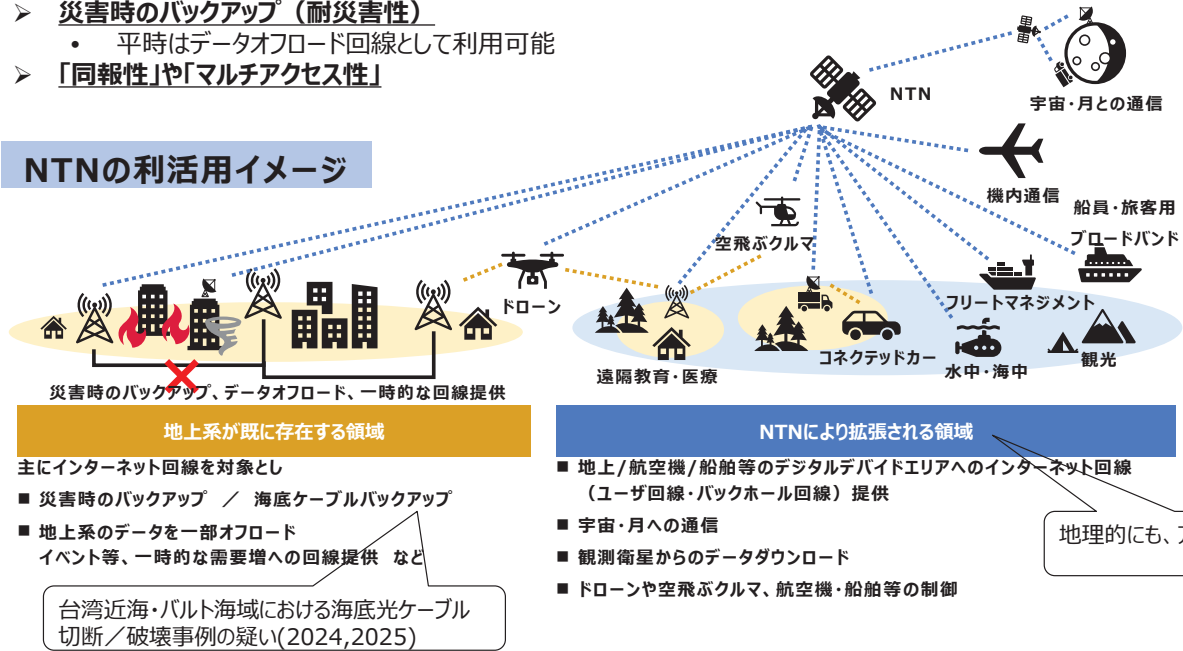
- ・ 地上系がカバーできない海上や山間部、上空等のデバイドエリアにおける通信サービス提供とシームレスな接続 + 宇宙・月との通信

➢ 災害時のバックアップ（耐災害性）

- ・ 平時はデータオフロード回線として利用可能

➢ 「同報性」や「マルチアクセス性」

NTNの利活用イメージ



5

NICT NTNの主な利活用イメージ（インターネット）

- ・ 専用アンテナによるインターネット用アクセスポイント

- ・ 携帯電話によるDirect-to-Cell（D2C）



<https://starlink.com/jp/roam>

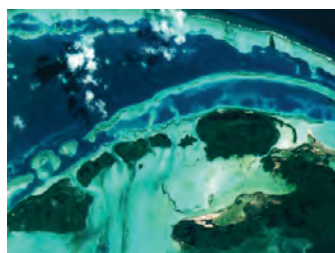


現状4Gによるテキストメイン+限定したアプリの通信が可能。
順次、5G対応+その他データ通信に拡張予定。

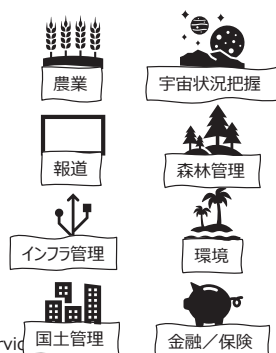
<https://www.au.com/brand/tsunagu/starlink/>

6

衛星画像の利活用



AXELSPACE HP、<https://www.axelspace.com/ja/service>



リアルタイム/準リアルタイムに
データを地上にDLしたい！

衛星オペレータの戦略

- 低軌道衛星と静止衛星、中軌道衛星を組合せたサービス展開もある
- 政府需要の取り込み（安全保障、災害対応で需要が拡大）

観測衛星活用例

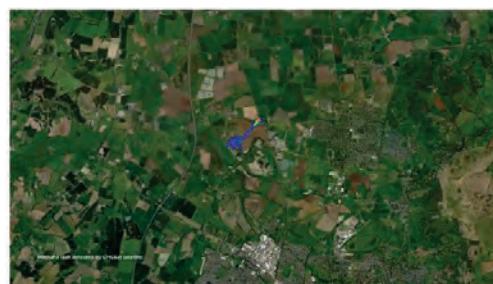
【ガス排出量のセンシング】

脱炭素規制の強化（EU CBAM、メタン規制等）により、“排出量を“外から勝手に観測される時代”が到来。
⇒ 観測ビジネスの価値が急上昇。
⇒ 金融が衛星観測データを使い、企業の排出量を評価する動き。

商用化例（本格サービス開始～）

カナダ：GHGSat（2020～）

米国：Planet/Carbon Mapper（2025～）



<https://www.ghgsat.com>

7

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）

- 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

光空間通信の活用

- 大容量
- 高セキュリティ
- 免許不要

地上セルラ系（5G/6G）のNTNへの展開

- (RAN) ダイレクトアクセス, IoT
- (CT) 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

後半Part2の発表で

多層ネットワーク

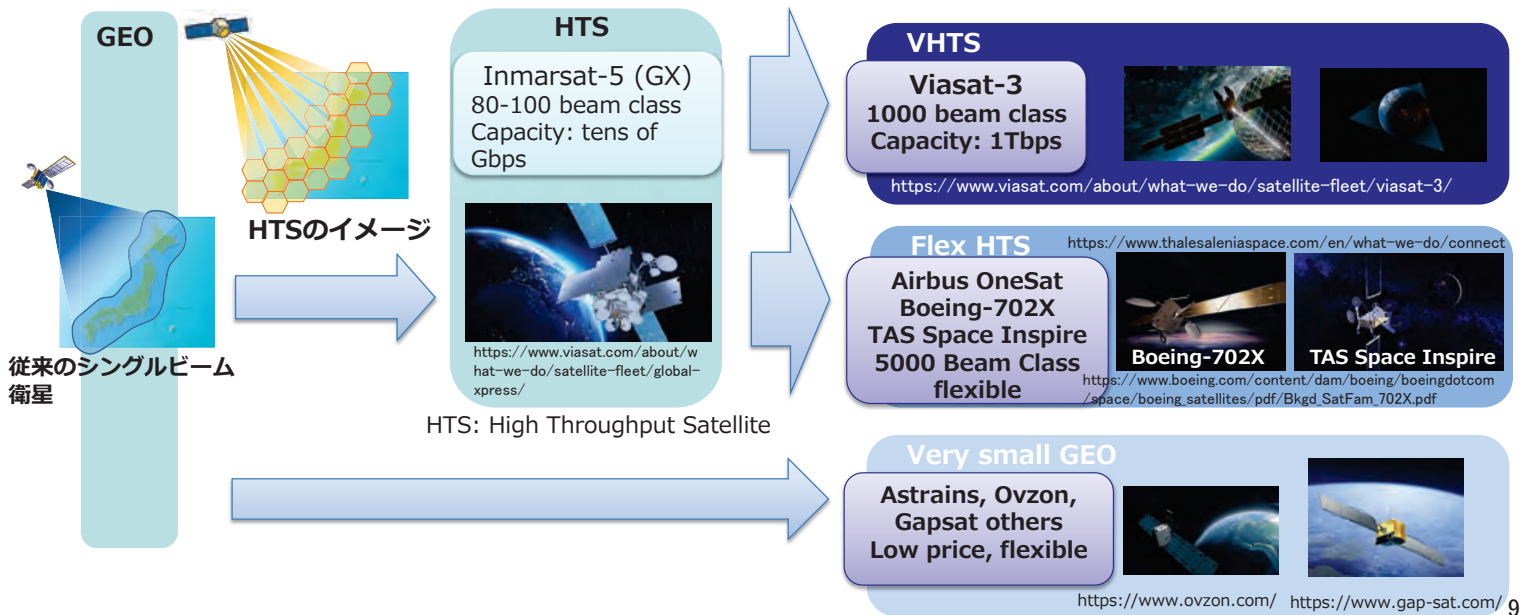
ネットワーク統合制御システム
(オーケストレータ)

8

ハイスループット衛星 (HTS) の開発動向

- 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
- ビーム数の増加による更なる大容量化や、打上後の通信需要の変化に対応して通信リソースの柔軟な割当を実現するフレキシブル化・デジタル化へ進展（SDS（ソフトウェア定義衛星）とも呼ばれる）

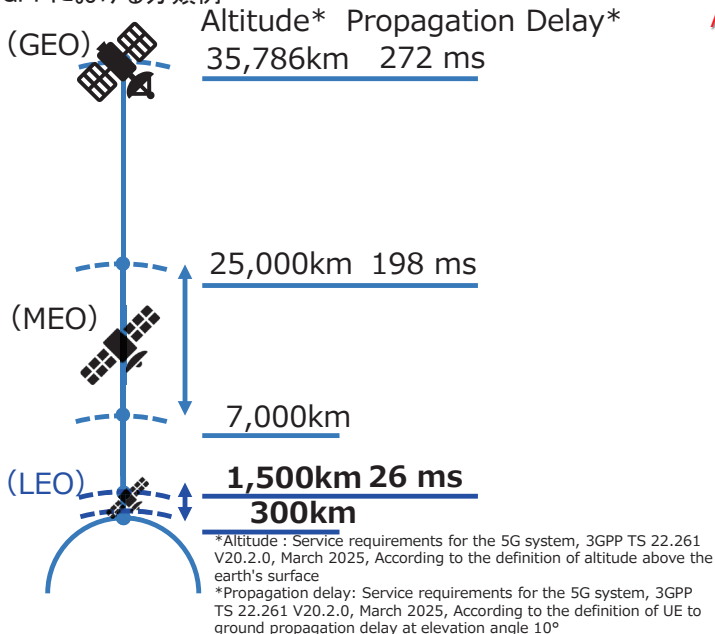
- マルチビーム化（シングルビーム→100ビーム～1000ビーム級）
- 広帯域化（Ku→Ka帯）



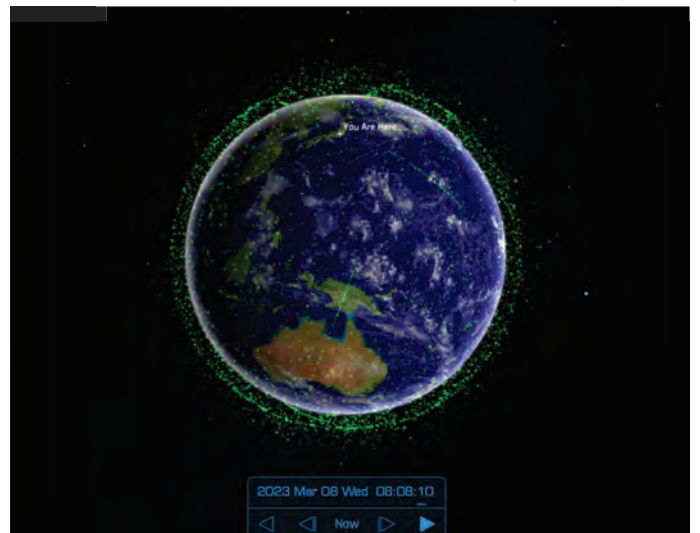
非静止衛星コンステレーション

- 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
- 通信サービスを継続するには多数の衛星でサービスエリアを常に衛星でカバーする必要

3GPPにおける分類例

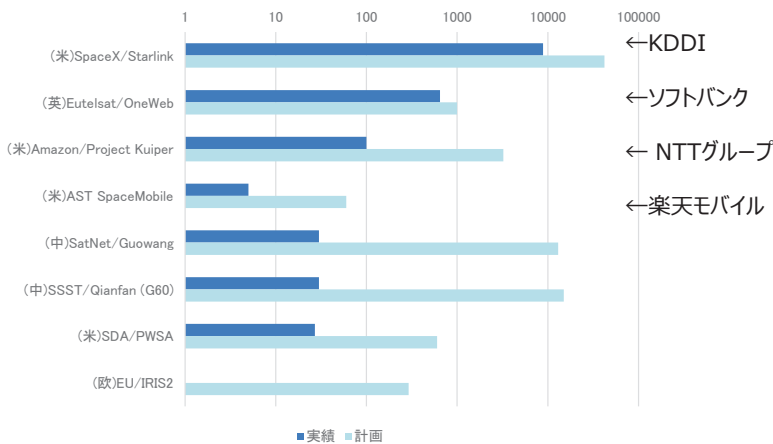


Actual low-Earth orbit satellite constellation (March 8, 2023)



Create by Orbitrack using information from NORAD Orbit Information TLE (Two-line elements)

海外のコンステレーションの発展（運用中/計画）



- 商用利用では、Starlinkが圧倒的。
- OneWebもサービス開始済。
- 中国、Amazonなどが後に続こうとしている。
- 欧州、日本でも独自の独自の衛星網構築計画中。

欧州： **IRIS2**(Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite)



欧州版コンステ実装計画

- 予算：1兆円規模
- 目的：EU政府として安全な衛星通信サービスを提供するとともに北極域でのブロードバンド通信を確保
- スケジュール：
 - 契約締結：2024年12月16日、EU・ESA・SpaceRISE（主要オペレータのコンソーシアム：SES, Eutelsat, Hispasat 等）
 - 初打ち上げ目安：2029年
 - サービス開始目安：2030年

11

HAPSの開発動向

- 高度20km程度の成層圏に滞空する無線局(High Altitude Platform Station: HAPS)を利用した通信システム
- LEOよりも地球に近く低遅延かつ高速通信が期待できる

- 直接携帯電話との通信への利用に向けて3GPPにおけるNTNの標準化が進展（HIBS*）
- WRC-23 では、HIBS向けに **694–960 MHz**、**1710–1885 MHz**、**2500–2690 MHz** が“追加識別 (identification)”された。ただしこれらは条件付きで、既存サービスとの干渉対策などが必要。
- 国内におけるHAPSサービス予定
 - NTT DoCoMo/Space Compass：2026年に日本でHAPSサービス開始を目指している。Airbus子会社AALTOの機体Zephyr利用。
 - ソフトバンク：2026年に日本でHAPSサービス開始を目指している。
2025年6月にSCEYEに出資し、日本国内におけるHAPSのサービス展開に係る独占権を取得する契約締結。
また、2026年にLEO衛星とHAPS間の10 Gbps光無線通信の世界初の実証実験を行う予定(NICTの光端末技術を活用)



- Zephyr AIRBUS
Fixed-wing HAPS holds the world record of 4,000 hours in stratospheric air
<https://www.aaltohaps.com/>



- Stratospheric Platforms Limited (UK)
Platform powered by hydrogen is currently under development with a flight time of more than one week, a wingspan of 60 m, and a payload of 140 kg
<https://www.stratosphericplatforms.com/>



- Sunglider SoftBank (Japan)
Fixed-wing HAPS with a wingspan of 78 m and a maximum payload of 75 kg
<https://www.softbank.jp/corp/philosophy/technology/special/ntn-solution/haps/>



- STRATOBUS Thales (France)
Airship-shaped HAPS, 100m long, 33 m diameter, payload 250 kg, 5kW power supply
<https://www.thalesgroup.com/en>



- SCEYE Inc. (USA)
Airship-shaped HAPS, 152 length, 40m diameter
<https://www.sceye.com/>

Others

- ApusDuo (Mira Aerospace)
- Stratomast (SPL, 2025~)
- Odysseus (Aurora Flight Sciences/Boeing)
- PHASA-35 (BAE Systems)

*HAPSを国際移動通信 (IMT) の基地局として用いるHigh Altitude Platform Stations as IMT Base Stations (HIBS)

12

プラットフォームの進化

- HTS (ハイスルット衛星)
- 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)

- 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

光空間通信の活用

- 大容量
- 高セキュリティ
- 免許不要

地上セルラ系 (5G/6G) の
NTNへの展開

- (RAN) ダイレクトアクセス, IoT
- (CT) 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

多層ネットワーク

ネットワーク統合制御システム
(オーケストレータ)

13

特長

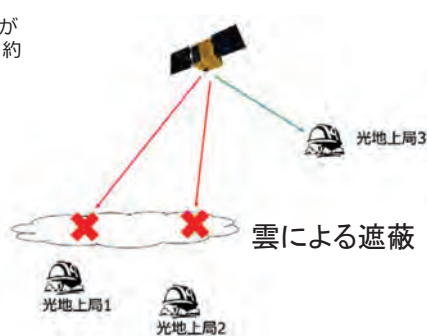
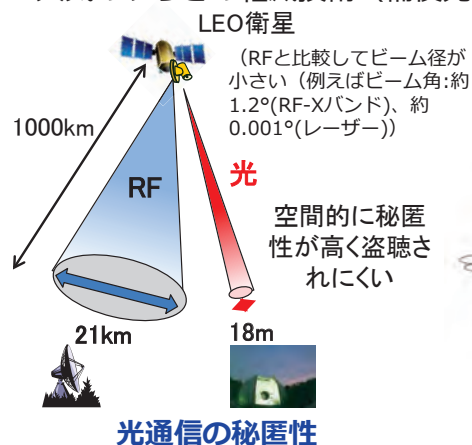
- 電波と比べて高速・大容量の通信が可能
- 無線局免許が不要
- 秘匿性が高い無線通信が可能

技術開発の注力点

- 高速大容量化
- 小型の通信機器の開発
- 複数の地上局を用意し、天候の良い地域と衛星との光通信を行うサイトダイバーシティ技術
- 大気の影響の軽減技術 (補償光学)

技術課題

- 天候や大気の影響を受けやすい (雲による遮蔽、大気ゆらぎ)
- 光の通信機器の小型化や高精度な捕捉追尾技術が必要



14

電波通信の特長

- 同時多数接続が可能
- モバイル通信への適用が容易
- 天候および伝搬環境に対して耐性が高い
- アンテナおよびデバイスの信頼性が高い

電波通信の課題

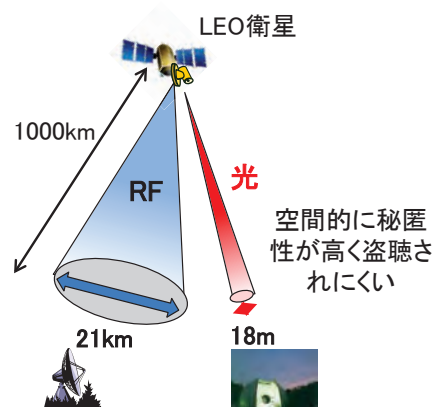
- 高周波数帯でデバイスの効率が低下、消費電力が増加
- 国際周波数調整と無線局免許が必要
- Kaバンド以下では周波数が過密。国際周波数調整に時間と労力を要する

光（レーザー）通信の特長

- 大容量伝送（数Gbps以上の伝送速度）
- 秘匿性の高い通信が可能（RFと比較してビーム径が小さい（例えばビーム角:約1.2°(RF-Xバンド)、約0.001°(レーザー)）
- 低消費電力化、小型化が可能
- 国際周波数調整及び無線局免許が不要（レーザーは電波法で規制されていない）

光通信の課題

- 天候や大気の影響を受けやすい（雲による遮蔽、大気ゆらぎ）
- 光の通信機器の小型化や高精度な捕捉追尾技術が必要



⇒光と電波の最適な利用が重要

15

米国 SDA（Space Development Agency）の動向

【概要】

- **米国防総省（DoD）傘下に2019年設立。**
- 戦術通信・監視のリアルタイム化を目的とし、小型衛星群による分散型宇宙ネットワーク PWSA（Proliferated Warfighter Space Architecture）を構築。※
- 商用主導・短サイクル開発（2年）。複数社による開発。
- 用途／機能（レイヤ）別に衛星／システムを管理（例：Transport Layer：低遅延光通信/Ka帯RF通信）

【Tranche（段階導入）アプローチ】

- **Tranche0: 2023-2024 技術実証**（Transport Layer 20機打ち上げ済）
 - **Tranche1: 2024-2025 初期運用**（Transport Layer 126機予定(2025/09, 21機打ち上げ済)）
 - **Tranche2: 2026-2027 拡張運用**（数百機規模）
 - **Tranche3: ...** 衛星/ミッション導入 ← 一部契約済：システム統合/インテグレート契約
- ただし、全体的に遅れ気味

【技術レイヤ構成】

- **物理層／データリンク層（L1/L2）**：光通信（OCT / OISL）。
- 最新仕様 SDA OCT Standard v3.2.0（2024）。
- ネットワーク層（L3）：IP/MPLSベース。

【SDA OCT Standardを利用予定の関連プロジェクト】

- 欧州 ESA HyDRON：軌道上光ネットワーク実証予定（TESAT・Airbus等）。
- 日本 NEDO LAIDEN：軌道上光ネットワーク実証予定。



※ PWSAは2025/1トランプ大統領により提唱されたGolden Domeの一部として組み込まれる計画。宇宙からの監視＋迎撃機能。3年間、予算\$175B(約26兆円)

16

欧州の動向

European Space Agency (ESA) HyDRON

【概要】

- 最先端衛星光通信技術に注目。衛星間光通信リンク (ISL) や衛星-地上光リンクを含む **多軌道 (multi-orbit) 光通信ネットワーク** を構築し、ISLは100Gbps超の高スループットを目指す。
- 対象：光通信端末、衛星間レーザーリンク、地上光ステーション、複数軌道ネットワーク。
- SDA標準や、ESTOL(※)に基づく光通信方式の実装・実証を目指す
※ ESTOL：ESAが主導しているテラビット級要求仕様。CCSDSの光通信用規格・勧告を参照・活用。SDA標準との互換性も想定。

【スケジュール】

- Element #1：LEO環境に10機規模の衛星リング構成を予定
- Element #2：2025/2に締結、2028年打ち上げ予定、2030年にかけて実証実験
- Element #3：ユーザ実証予定

【開発体制】

複数企業がエレメントごとに参画

- Kepler Communications、TESAT、Airbus、Thales Aleniaなど
ESA 契約ベースの企業が参画



<https://connectivity.esa.int/developing-future-optical-highcapacity-satellite>

17

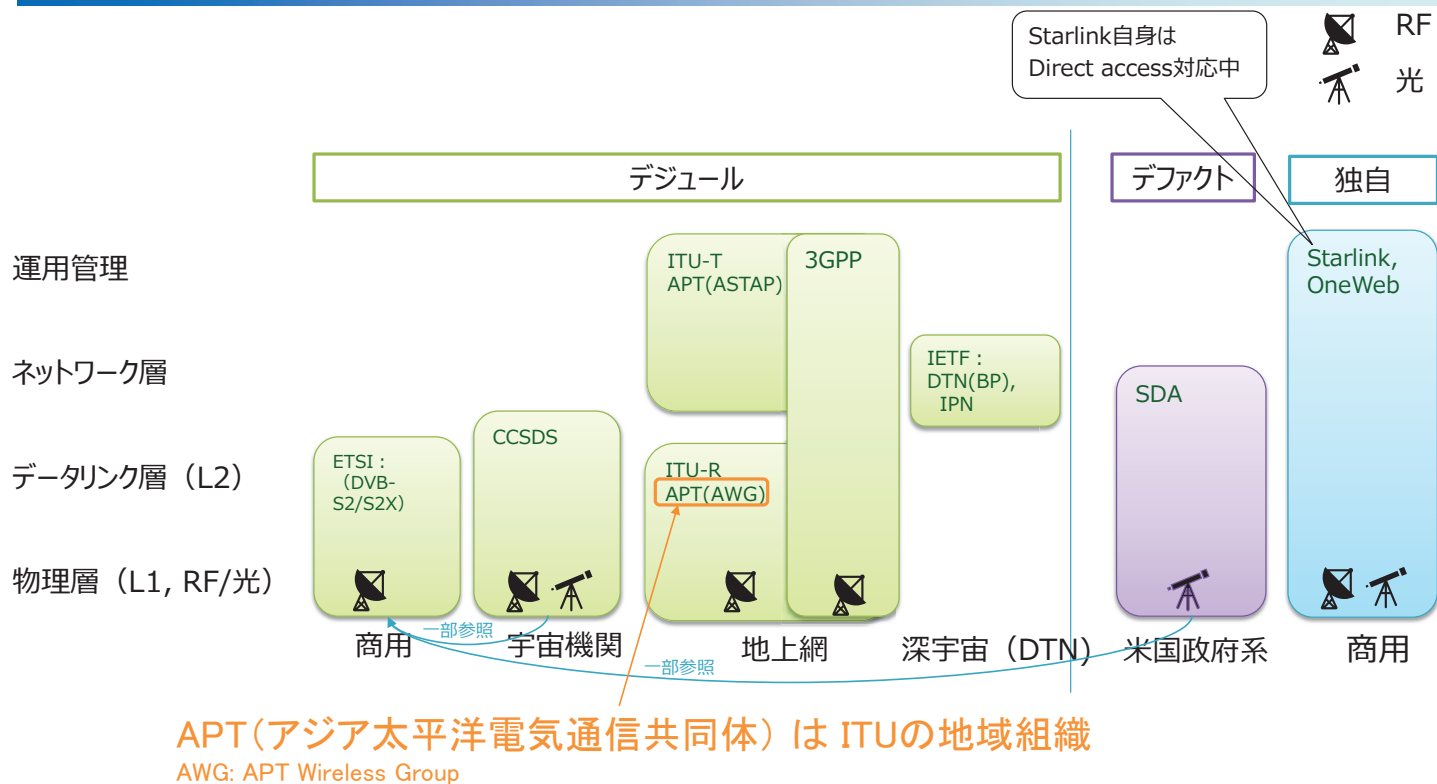
米国 SpaceX社

- 2024年4月 SATELLITE 2024
衛星1機あたり3つの【SpaceX社製光通信端末】が搭載されたLEO衛星が、既に3千機打ち上げられており、リンク間通信速度最大100Gbpsを実現。光衛星通信端末の外販予定にも言及
- 2025/10/21
観測衛星事業者 Muon Spaceに、**光通信端末を販売**し、かつ、**Starlinkの光通信網との接続**が計画されているとのニュース
(最大距離4000km、最大通信速度25Gbps)



<https://spacenews.com/starlink-mini-lasers-to-link-muon-space-satellites-for-near-real-time-connectivity/>

18



APT/AWGでの取り組み ～多層ネットワーク～ 1/2

Sub-Working Group (SWG): APT/AWG/WG-SAM/SWG-SAT

TN/NTN 多層ネットワークに関するAPTレポート

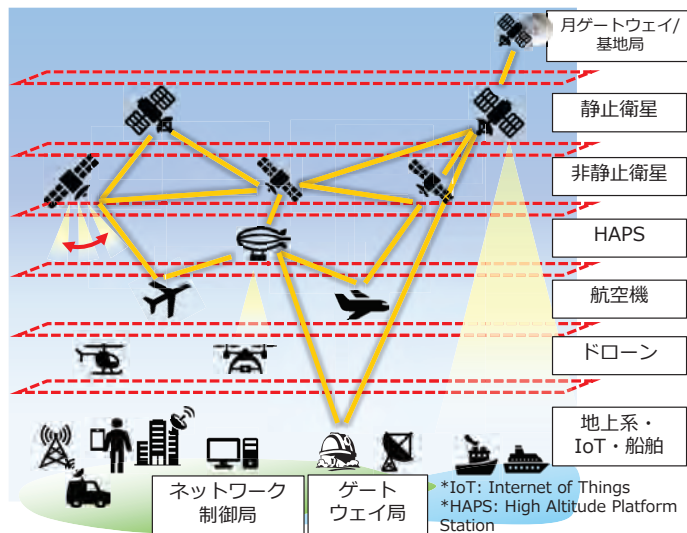
APT REPORT ON MULTI CONNECTIVITY FOR MULTILAYERED NETWORK ACCESS USING TERRESTRIAL AND NON-TERRESTRIAL SYSTEMS (APT/AWG/REP-142, 2024年9月)

背景と目的：

- 地上系ネットワークと静止・非静止衛星ネットワークを統合した**多層ネットワーク構成**に注目。
- 5G/Beyond 5Gへの統合に向けた**マルチ接続技術**の検討。
- アジア太平洋地域における**通信インフラの補完・拡張**を目的。

プラットフォーム	高度	特徴
GSO衛星	約36,000km	広域カバレッジ、高遅延
MEO衛星	8,000～20,000km	中距離通信、中遅延
LEO衛星	400～2,000km	低遅延、高移動性
HAPS	20～50km	柔軟な配置、低遅延
ドローン	地表近く	局所通信、可搬性
地上ネットワーク	地表	高スループット、既存インフラ

宇宙から地上までが3次元的に接続されるネットワーク



TN/NTN 多層ネットワークに関するAPTレポート

APT REPORT ON MULTI CONNECTIVITY FOR MULTILAYERED NETWORK ACCESS USING TERRESTRIAL AND NON-TERRESTRIAL SYSTEMS (APT/AWG/REP-142, 2024年9月)

代表的ユースケース：

分野	ユースケース例	接続タイプ
宇宙・航空	月・深宇宙通信、航空機・ドローン	NTN間接続、TN/NTN切替
海洋	船舶制御、乗客向け通信、AUV/ASV	TN/NTN切替、海中通信連携
地上	山岳地帯、建設現場、農業	NTN間接続、5G/NTN連携
災害	火山・気象監視、災害時通信	TN/NTN連携、バックアップ通信

技術課題：

- 品質が時変動する、天候に左右される（特に光）
- 異なる層間の遅延・スレープット差への対応
- 移動ノードによるトポロジ変化への制御技術（軌道予測は可能だが完璧ではない）
- 周波数管理・干渉回避
- オーケストレーション技術による統合制御

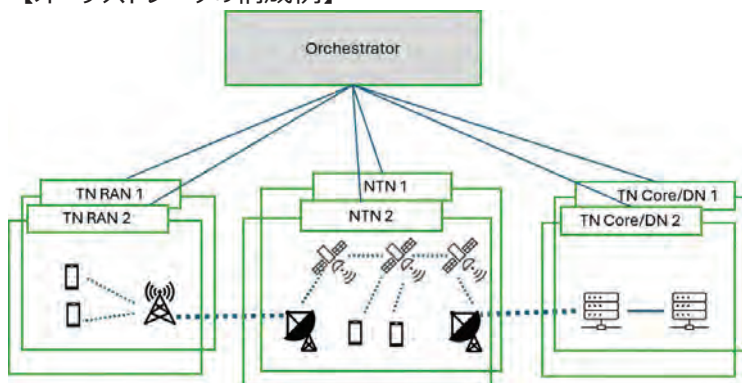
21

TN/NTN 複数オペレーティングシステム/複数事業者 に関するAPTレポート案

Working document towards A PRELIMINARY draft of new APT REPORT ON APPLICATIONS AND TECHNOLOGIES FOR NTN AND TN MULTIPLE OPERATING SYSTEMS (APT/AWG, 2026年9月完成予定)

- AWG-33(2024)において日本より提案。
- 韓国、中国、インドネシアより寄与文書入力済

【オーケストレータの構成例】



【オーケストレータの役割例】

- 複数のNWを経由してE2Eの通信を成立させる
- 独立した複数のNWが干渉しあわないように調整する etc.

オーケストレータとは：複数のNetworkコンポーネント の リソースを同時に制御するシステム

22

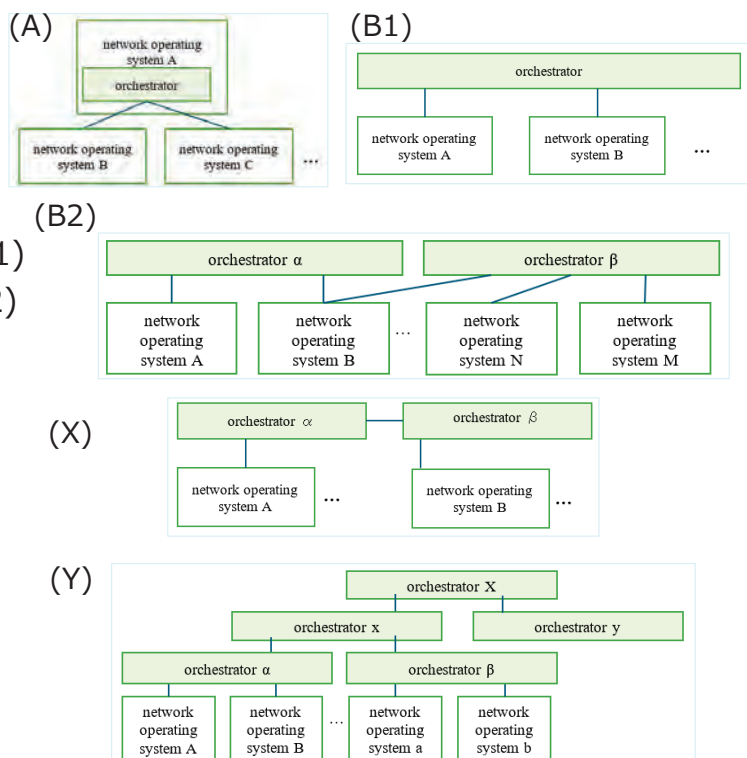
オーケストレータといっても構成は様々

【オーケストレータ機能の位置付け】

- あるネットワークのイチ機能 (A)
- オーケストレータ機能のみ独立システム
 - ・ 各ネットワークに対するオーケストレータがひとつ (B1)
 - ・ 各ネットワークに対するオーケストレータが複数 (B2)
 - 各ネットワークの「一部」のみをオーケストレータに貸し出すような形態もありうる

【複数オーケストレータの共存構成】

- 並列型オーケストレータ (X)
- 階層型オーケストレータ (Y)
- 上位オーケストレータが下位オーケストレータを管理し大規模ネットワークの調整を行う。



23

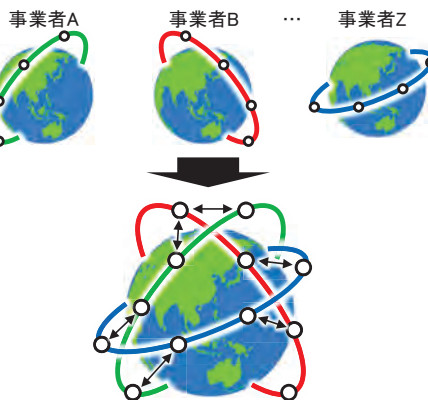
TN/NTNの、あるいはNTN同士の、
複数事業者・複数システムを経由する通信の確立には、
それらを制御するオーケストレータが必要

- ① 全球を隙間なく覆う衛星システムを自社のみで保持できなくても、グローバルバレッジ（低軌道衛星で全球を覆う）サービス提供が可能
※高度や搭載インタフェース次第だが最低でも70機程度必要。
莫大な資金力が必要。
- ② 多層NWによる新しいアプリケーションの実現
ex) 堅牢なGEO回線によるLEO制御と、大容量低遅延のLEOの組み合わせによる移動体自動制御。
- ③ NTNとTNとの自由度の高い統合

①全地球をカバーするためには数百以上の衛星が必要
→ すべての事業者が構築・運用できる訳ではない

少数の衛星しか
持たない事業者

フルコンステ構築の
途中段階の事業者



24

【NTNの特徴・課題】

- 動的なトポロジーとモビリティパターン
- 環境条件による通信リンク品質の変動
- 限られたエネルギー資源
- 事業者間の相互運用性
- 多様な規制上の制約



【NTNオーケストレータが担う追加機能例】

- **リンク確立手順の相互運用性**
 - RANプロトコルやシグナリングの互換性確保
 - 最小信号強度などリンク品質しきい値の遵守
- **モビリティ管理**
 - 動的ルーティングとNNI（ネットワーク間インターフェース）の時間変動対応
 - 軌道予測とルーティング制御
 - 高精度な軌道予測と時刻同期
 - 複雑化するハンドオーバー手順
- **通信品質の変動対応**
 - トポロジー変化や環境条件によるSLA整合
- **トラフィックポリシーの一貫性**
 - マルチホップ無線経路での帯域幅・総遅延管理
- **衛星リソース割り当て**
 - スペクトラムとビームの動的管理
- **エネルギー効率**
 - 電力制約下での持続可能な運用
- **法的枠組みとライセンス**
 - 国ごとの規制遵守

25

オーケストレータといっても権限は様々

【制御(Control)】

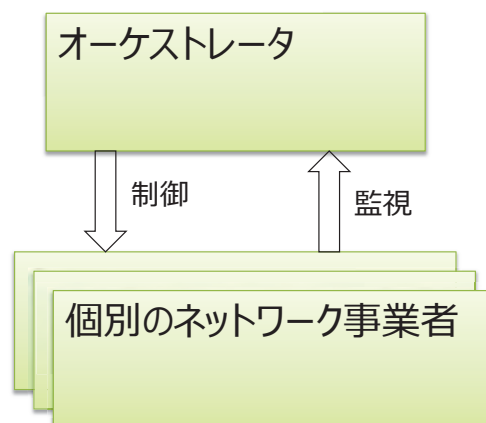
- **提案型権限**
オーケストレータが制御提案を行い、最終判断は各ネットワーク運用システムが行う。
- **指示型権限**
オーケストレータが直接指示を出し、各ネットワークが従う統一的運用方式。
- **緊急時権限強化型**
災害時にオーケストレータが強い権限を持ち迅速対応を可能にする。

【監視(Monitoring)】

事業者によって情報公開レベル／提供可能情報が様々な可能性がある。

制御も監視も、**最低限必要な情報の洗い出し**と、追加情報によるメリットの整理、**APIの整備**が必要。

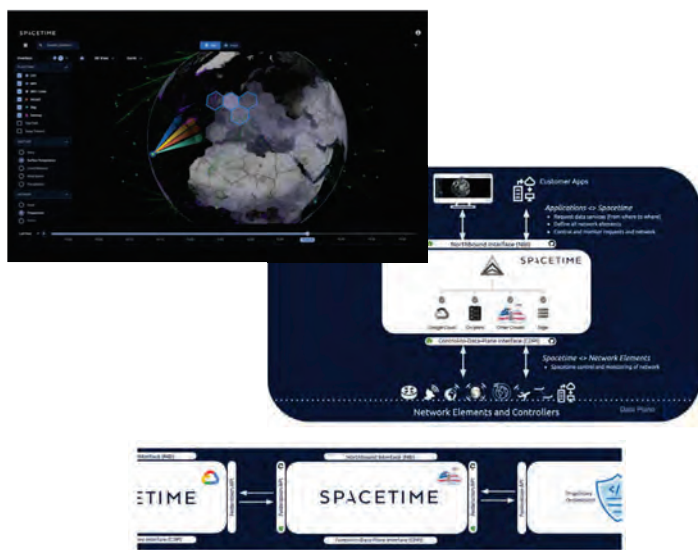
標準化には重要な観点



26

Aaryria:SpaceTime

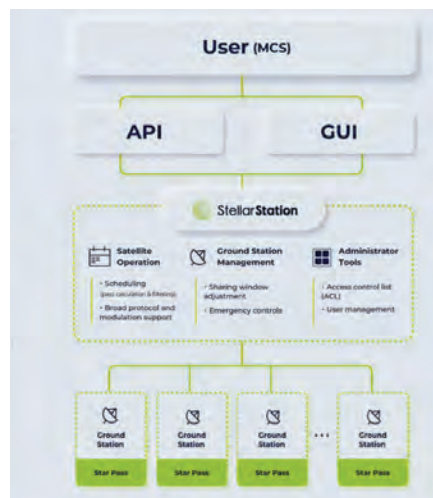
事業者内のネットワーク制御および
異なるNTN事業者との接続も想定



<https://www.aaryria.com/spacetime>

インフォステラ:StellarStation

グローバルな地上局ネットワークにアクセス可能



<https://www.infostellar.net/jp/service/StellarStation>

27

光通信衛星コンステレーションのための事業者間連携

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）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」

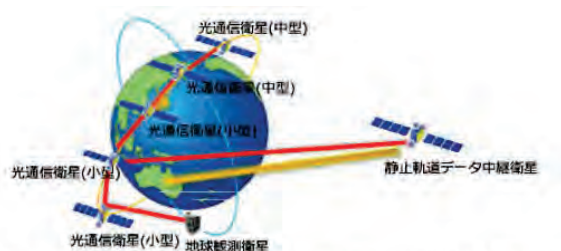
■受託者：

株式会社Space Compass（SC）【代表機関】
国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
株式会社アクセルスペース（AXS）
日本電気株式会社（NEC）

■実施期間：2023年度～2031年度予定

■実証実験について：

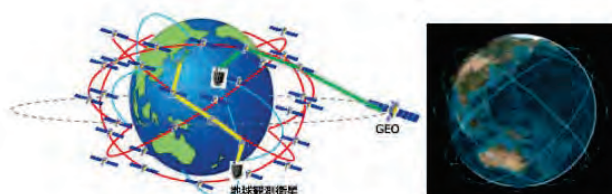
- ・事前実証機2機(2027年度) 本番実証機4機(2029年度)
- ・光通信による観測衛星からのデータダウンロードが主な対象
(※他のユースケースも実証予定)



実証構成（1軌道面：高度1,000km、傾斜軌道45度）

- 小型LEO（3機）
- ※そのうち1機がLEO-GEO用光ターミナル搭載機
- 中型LEO（2機）
- 静止軌道データ中継衛星（1機）/ 光地上局 2局

(参考) 将来構成イメージ



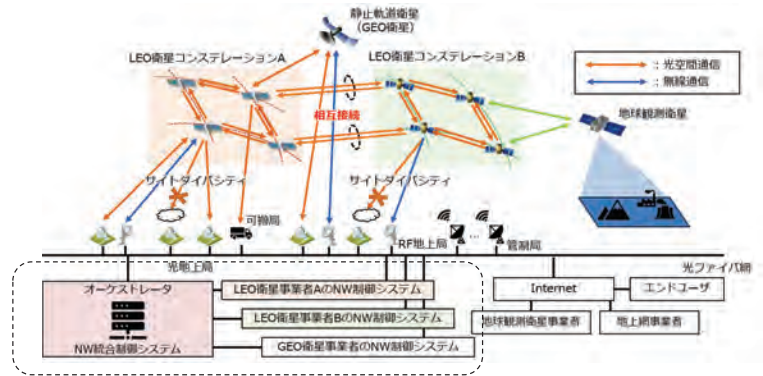
全体構成：コンステレーションイメージ

- 72機(12機 x 6プレーン)
- 高度1,000km
- 傾斜軌道45度

NICTでは複数のNTN事業者間の連携を実現するオーケストレータを研究開発中

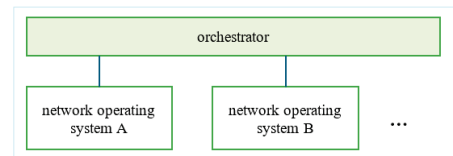
本システムの特徴：

- ・ オーケストレータにより、**複数コンステレーション事業者を経由した通信**を可能とする
- ・ **マルチホップ光通信**（L1,2はSDA standard準拠）に注目
 - 捕捉追尾に必要な時間の考慮も必要
 - 通信確立のための精度の高い軌道情報交換が必要
- ・ ユーザ（E2E経路を要求するエンティティ）の経路要求はリアルタイムではなく**予約型**=予約時に経路仮決定
 - （ある程度の軌道予測は出来るが）無視できない軌道予測誤差を考慮したシステム設計



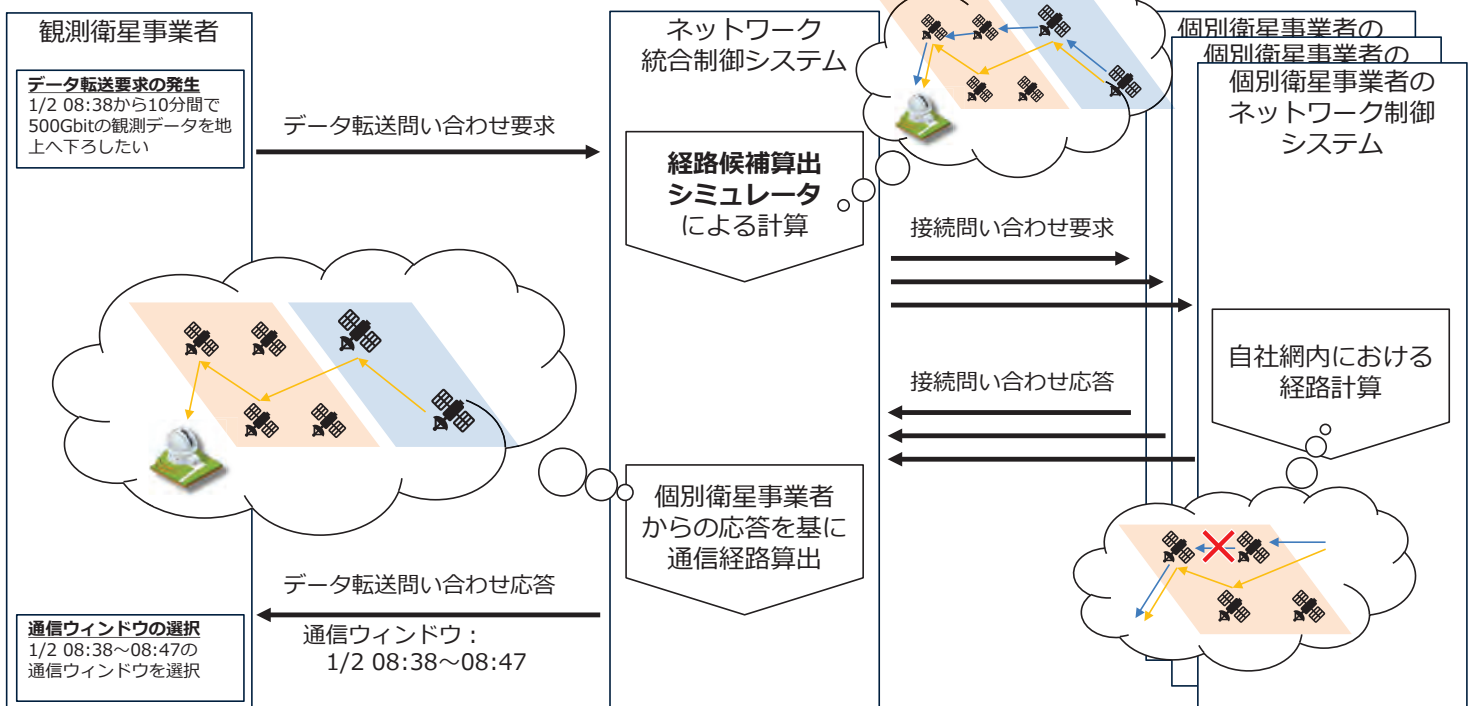
本システムにおけるオーケストレータ：

- ・ オーケストレータは1つ。提案型権限。
- ・ 役割
 - ・ **事業者間**（「ユーザ⇔コンステレーション事業者」および「コンステレーション事業者間」）の**接続インタフェース、接続時間の決定**を担う。
 - ・ 事業者間接続に必要な情報仲介（軌道情報、光リンク確立に必要な情報）



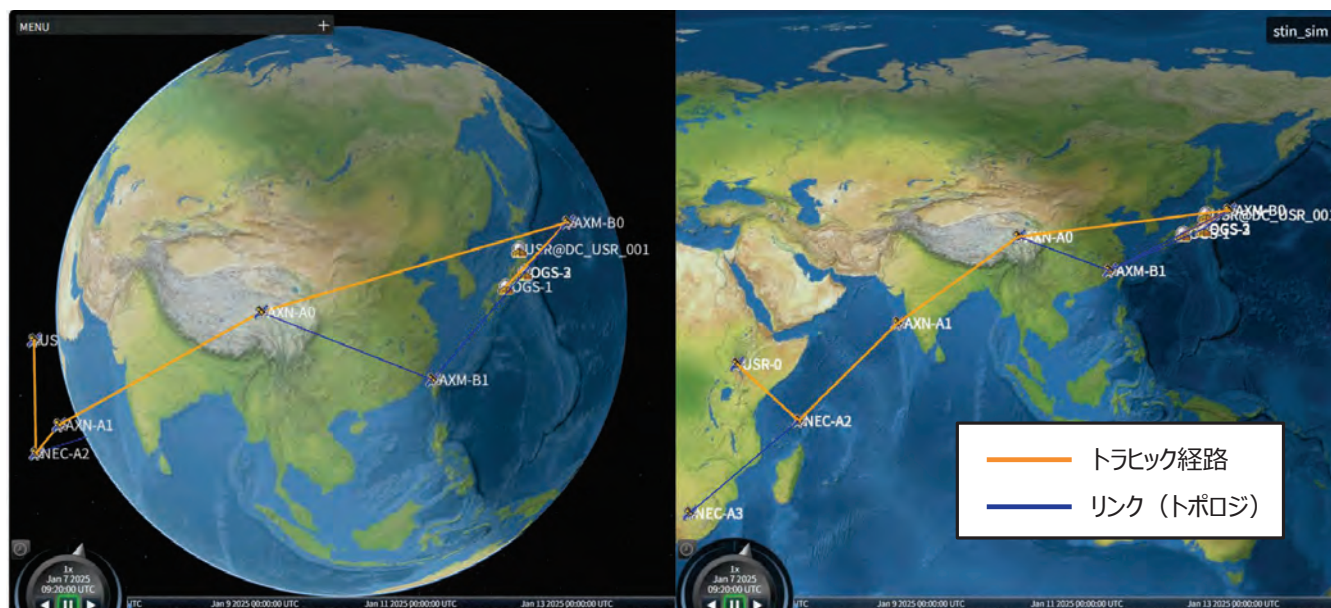
29

オーケストレータの動作イメージ



30

2025年頭、オーケストレータおよび個別事業者のNW制御システムに結合試験実施済
2030年からの実証実験に向け機能拡張中



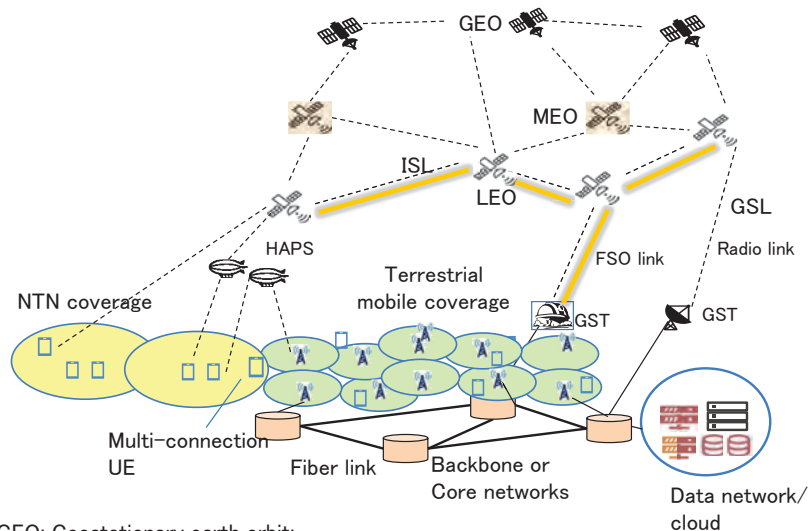
個別衛星事業者間の連携時におけるトラフィック経路

31

Part 2: TN/NTN統合

- 標準化動向: 3GPP, ITU-T
- 日本の動向: TN/NTN統合制御アーキテクチャ(INCA)に関するプロジェクト紹介

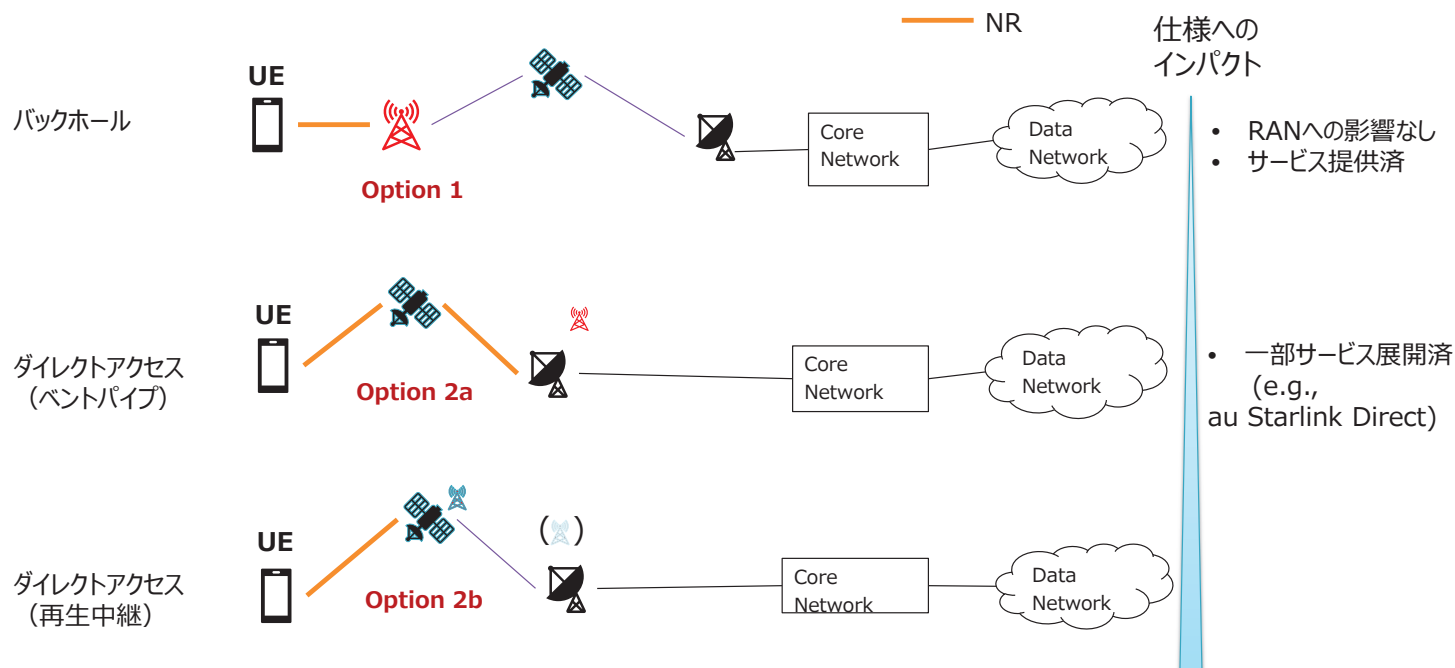
32



GEO: Geostationary earth orbit;
MEO: Medium earth orbit;
LEO: Low earth orbit;
HAPS: High altitude platform station

GST: Ground station; GSL: Ground-to-satellite link;
ISL: Inter-satellite link; FSO: Free space optical

- 固定ネットワーク：データネットワーク(インターネット)およびクラウド
- 地上系ネットワーク(TN)：固定および地上系移動ネットワークシステム
- 非地上系ネットワーク(NTN)：衛星(GEO/MEO/LEO)およびHAPSのプラットフォームで構成される。
- TNとNTNは、単一の管理ドメイン(すなわち単一のオペレータ)もしくは、複数の管理ドメイン(例えば2つ以上のオペレータ)により運用可能である。



日本における主な運用サービスおよびその計画

事業者	主なNTN種別	NTN の提供者	用途 (バックホール/ダイレクトアクセス)	商用化(予定)
KDDI (au)	LEO衛星	Starlink "SpaceX"	- ダイレクトアクセス "au Starlink Direct"(2025年現在ベントパイプ) - バックホール (遠隔基地局向け)	2025/4 商用化済み
SoftBank	HAPS	Sceye	- ダイレクトアクセス (再生中継予定) - バックホール計画あり	2026年商用化目標
NTT / NTT DOCOMO	HAPS	Space Compass / AALTO (Airbus子会社)	- ダイレクトアクセス (再生中継予定) - バックホール計画あり	2026年商用化目標
Rakuten Mobile	LEO衛星	AST SpaceMobile "space-based cellular"	ダイレクトアクセス (再生中継)	2026年商用化目標

35

NICT TN/NTN標準化動向 3GPP

- 3GPP began study NTN from Rel-15, to integrate satellite access for regular smartphones

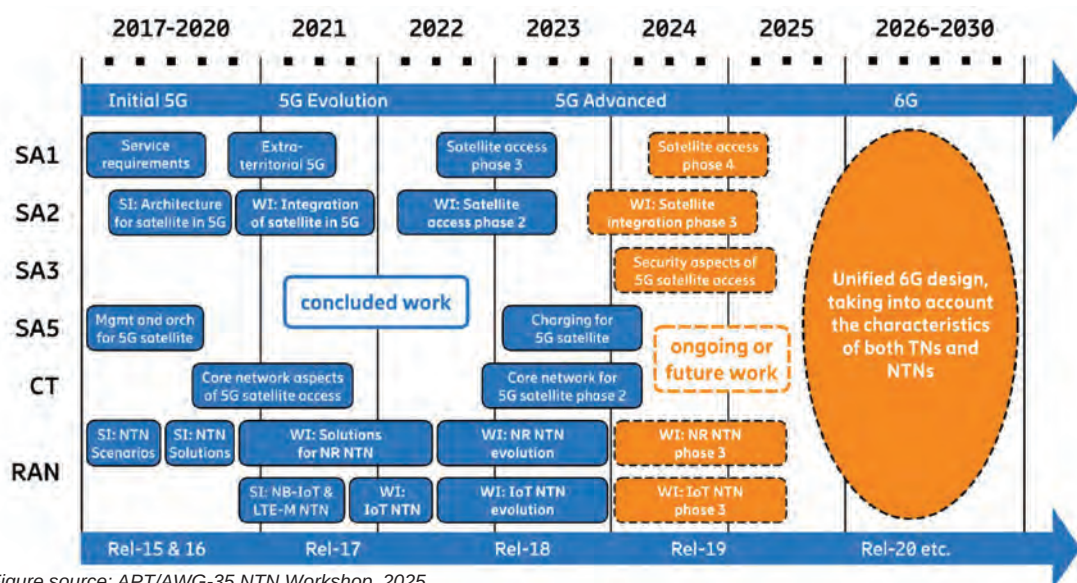


Figure source: APT/AWG-35 NTN Workshop, 2025

- NR NTN adapting 5G NR standards to support NTN
- IoT NTN adapting NB-IoT and LTE-M to support NTN

SI (Study Item): Technical report (TR) draft to investigate a new topic, concept, or technology. It focuses on feasibility, requirements, and potential impact.
WI (Work Item): Technical specification (TS) draft to develop actual specifications based on established requirements.

36

- Fixed, mobile and satellite convergence (FMSC) ITU-T Recommendations
(オーケストレータ関連機能群)

Rec. No.	Title	Year of approval
ITU-T Y.3200	FMSC – Requirements	2022
ITU-T Y.3201	FMSC – Framework	2023
ITU-T Y.3202	FMSC – Mobility management	2023
ITU-T Y.3203	FMSC – Connection management	2023
ITU-T Y.3204	FMSC – Service continuity for	2023
ITU-T Y.3205	FMSC – Requirements of integrated user-centric service units	2023
ITU-T Y.3206	FMSC – Capability exposure	2023
ITU-T Y.3207	FMSC – Integrated network control architecture framework <i>← developed based on NICT contribution (described in later slides)</i>	2024
ITU-T Y.3208–Y.3226	FMSC – recently developed Recommendations related to architecture framework and requirements on many topics such as <i>Session management, traffic scheduling, service scheduling, HAPS support, policy control, service function chaining, network sharing, multi-access edge computing, etc.</i>	2024–2025

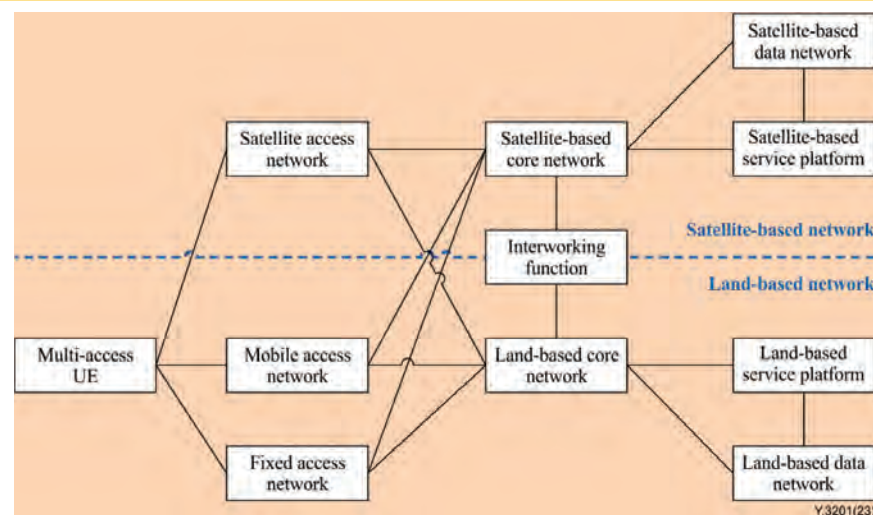
37

- Overview of ITU Y.3201 FMSC – Framework

Scope:

- Framework
- Enabling technologies
- Network function enhancements
- Procedures

“FMSC is the capability that provides services and applications to end users regardless of the fixed, mobile or satellite access technologies.”



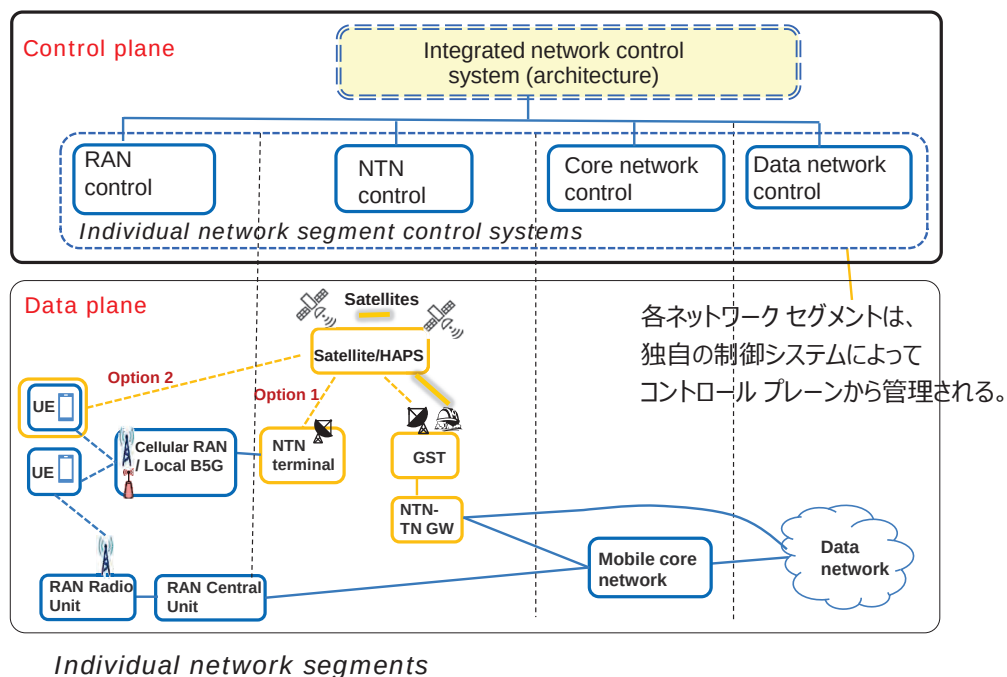
Framework of fixed, mobile and satellite convergence (ITU-T Y.3201)

38

• ITU-T Y.3207 FMSC – Integrated Network Control Architecture (INCA)

Scope:

- Framework
- Procedures for network service design and orchestration
- Procedures for network performance monitoring and resource control



39

Functional components:

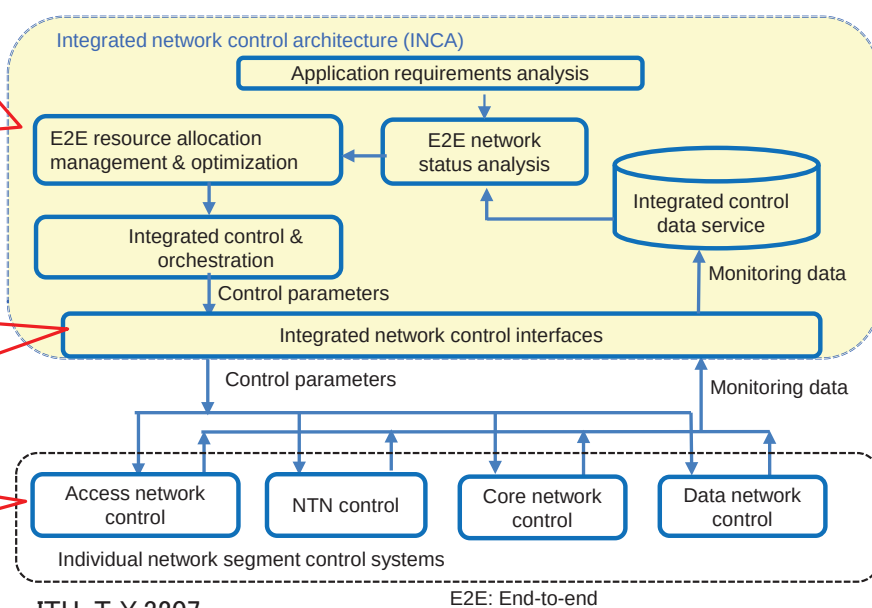
- ◇ Application requirements analysis
- ◇ E2E resource allocation & optimization
- ◇ E2E network status analysis
- ◇ Integrated control data service
- ◇ Integrated control & orchestration

Integrated network control interfaces

- ◇ Receiving control data from and sending control commands to **individual network segment control systems**

Individual network segments

Each has its own control system



Functional architecture of integrated network control system

40

統合ネットワーク制御アーキテクチャへの要求と利点

要求条件

- TN/NTN リソースの仮想化とソフトウェアによる制御
- TN/NTN リソースを統一的に表現する仕組み
- 制御データを共有するためのプラットフォーム
- エンドツーエンドのネットワークリソース共有の仕組み
- インテリジェントなデータ処理・制御ツールの利活用が可能であること

利点

- 特定技術に依存しない制御・オーケストレーション
- ネットワーク制御の自動化を推進

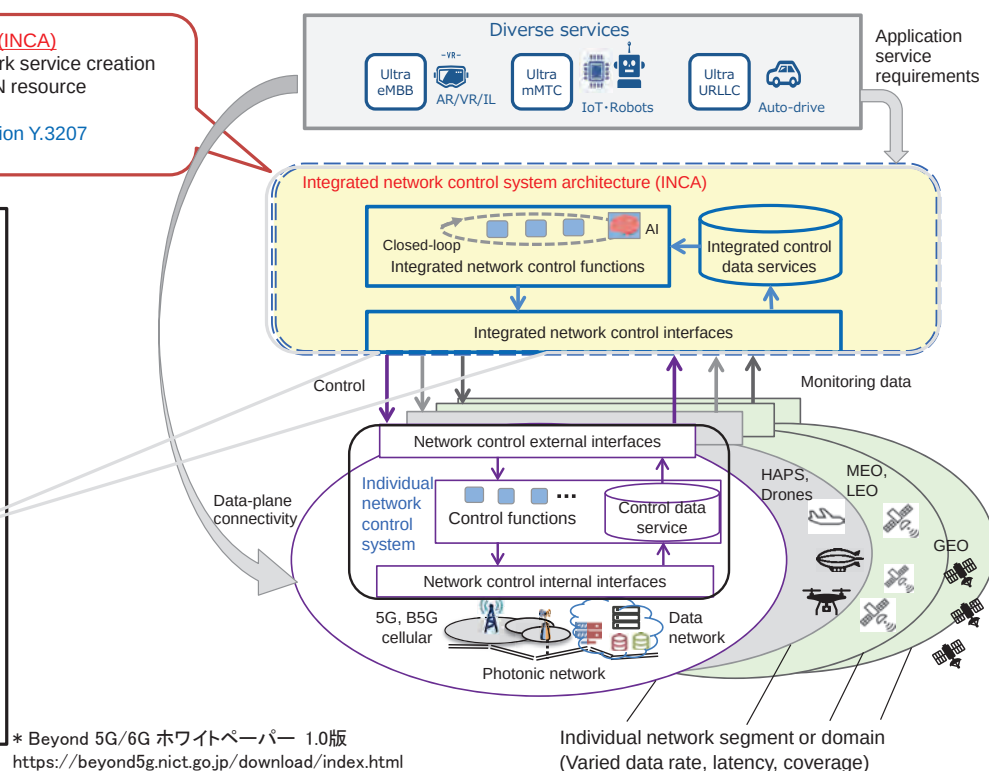
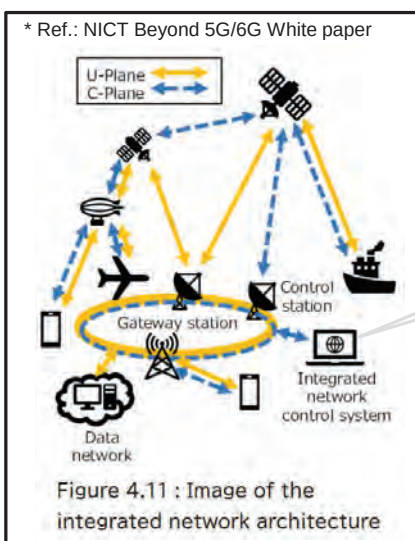
41

NICT 日本の動向： TN/NTN統合アーキテクチャ（INCA）

Integrated network control system architecture (INCA)

1. To orchestrate TN/NTN resources for network service creation
2. To monitor performance and control TN/NTN resource

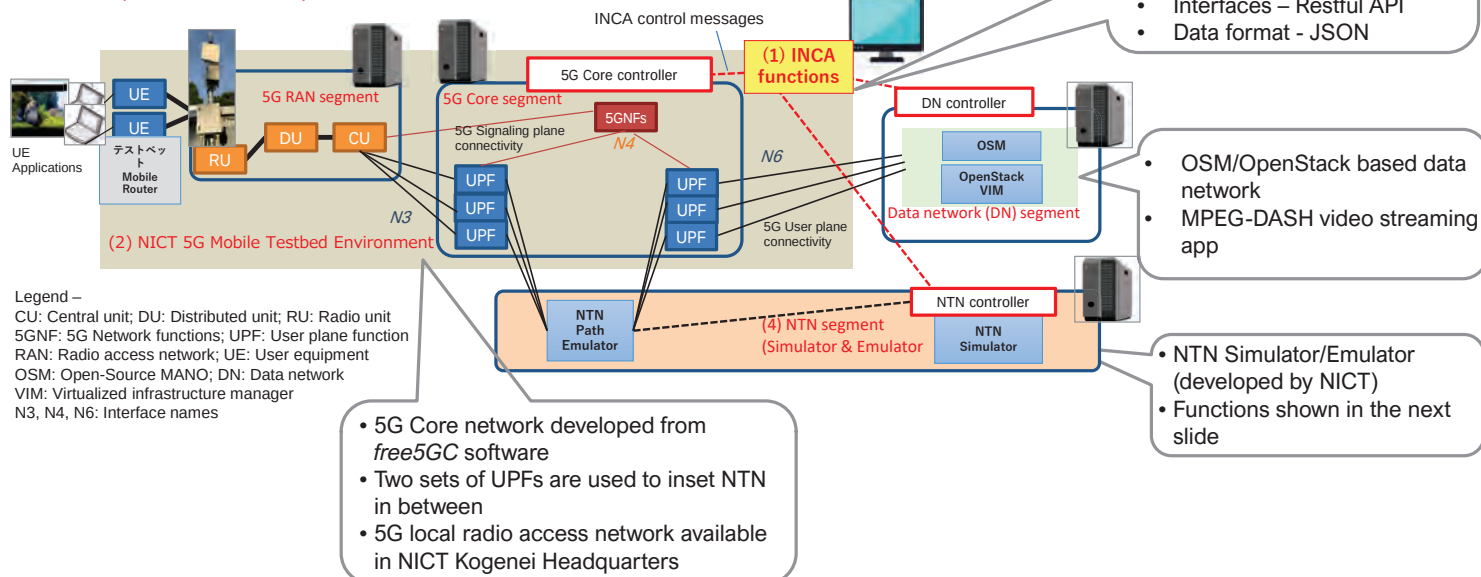
Implementation based on ITU-T Recommendation Y.3207



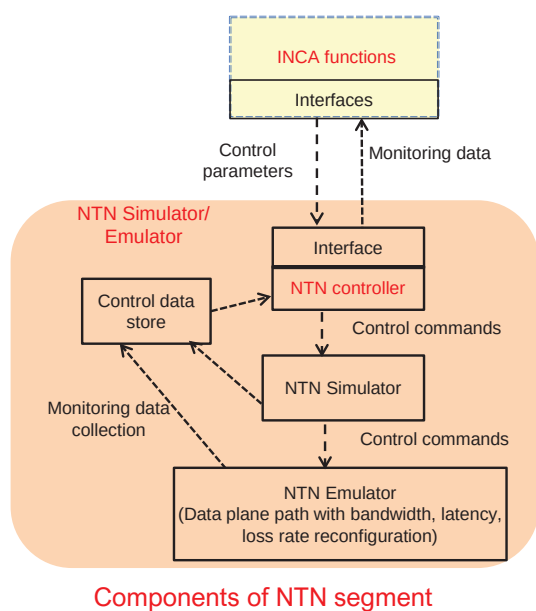
42

Consists of four blocks:

- 1) INCA functions and interfaces
- 2) NICT 5G Mobile testbed environment
- 3) NTN segment (simulator & emulator)
- 4) Data network (DN) segment
- 5) INCA control operation visualization tools

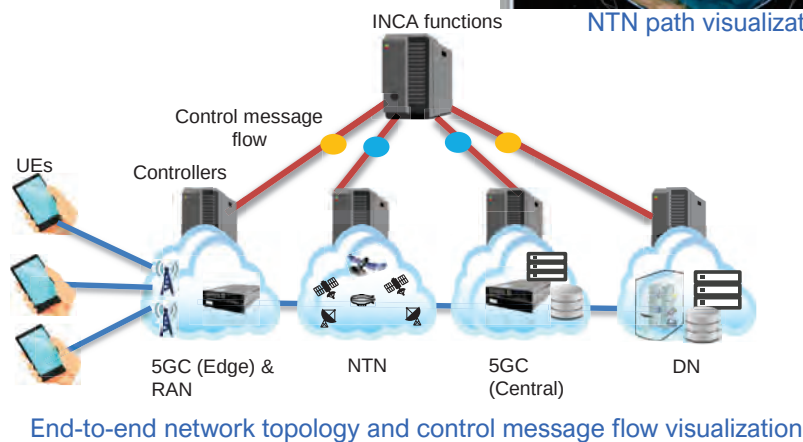
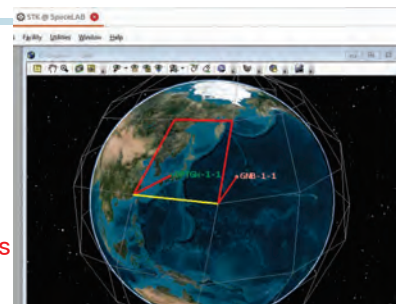


43



Components of NTN segment

Control operation visualization tools



End-to-end network topology and control message flow visualization

44

Through the experimental system, we can validate the INCA capabilities of

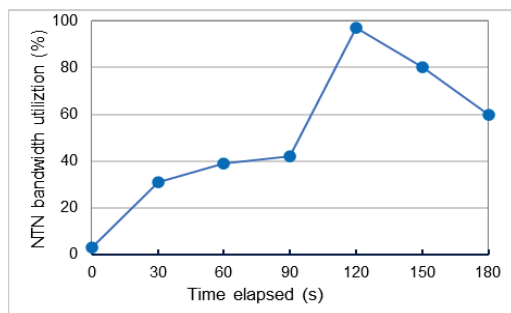
1) Network service creation:

- Setup communication paths with different sets of bandwidth, latency and jitter requirements through TN and NTN

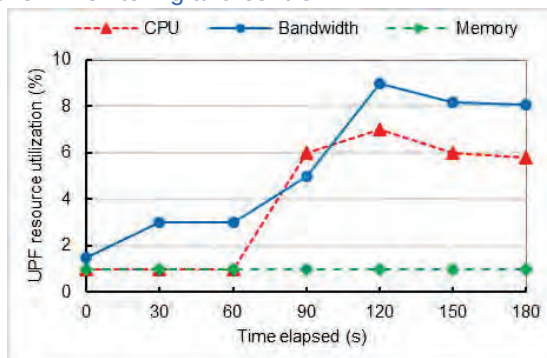
2) Network monitoring and control:

- Monitor of performance and resource utilization of TN and NTN
- Control (adjust) resources dynamically of both TN and NTN to meet QoS requirements when the traffic volume fluctuates

A sample result of validation of network monitoring and control



NTN bandwidth utilization surges to nearly 100% when congestion was created by injecting background noise traffic after 60s. The INCA control detects congestion and decides to increase NTN bandwidth, thus utilization decreases from 120s.



5G core function UPF's bandwidth and CPU utilization increase from 60 seconds due to the background noise traffic. As the utilization is still very nominal, the INCA controller decides to do nothing.

45

NICT まとめ 1/2

非地上系ネットワーク (NTN)



静止衛星 (GEO)



非静止衛星 (LEO/MEO)

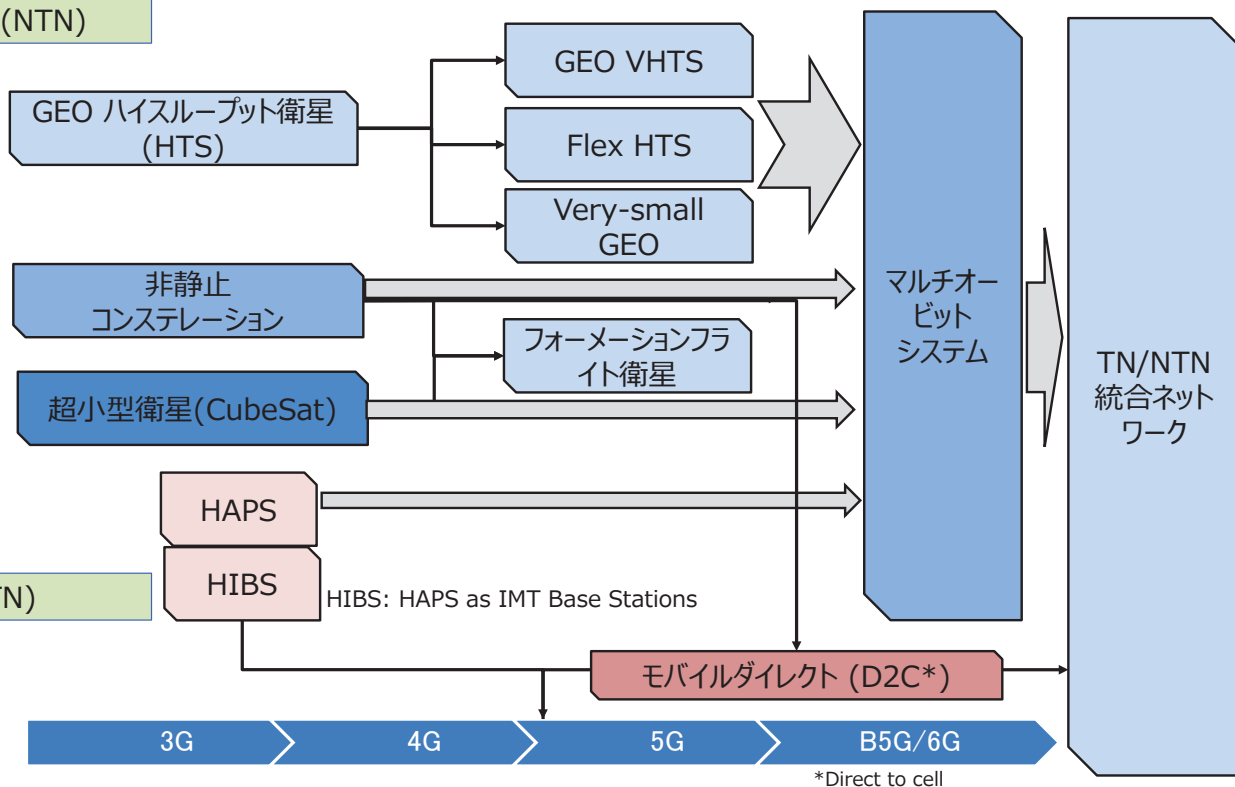


HAPS

地上系ネットワーク (TN)



モバイル端末



46

Part 1: NTN技術動向、NW統合制御概要、複数NTN統合

- NTNの背景と技術動向（プラットフォーム進化、光通信）
- NW統合制御（オーケストレータ）概要
- 日本の動向：複数NTN事業者を統合制御するオーケストレータに関するプロジェクト紹介

Part 2: TN/NTN統合

- 標準化動向:3GPP, ITU-T
- 日本の動向: TN/NTN統合制御アーキテクチャ(INCA)に関するプロジェクト紹介

謝辞

本研究の一部は、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）の委託業務（JPNP22012）で実施している。

