

Beyond 5G/6G に向けた 多層型NTNの研究開発

NTTではIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の柱の1つとして宇宙通信の拡張を位置付けており、現在、関係機関と連携しながら、宇宙統合コンピューティング・ネットワークの構想を掲げ、上空20 kmの成層圏に無人飛行体を停留させる高高度プラットフォーム (HAPS)、宇宙空間の低軌道・静止軌道まで視野に入れた垂直方向の宇宙通信・コンピューティングインフラの構築をめざしています。本稿ではBeyond 5G (第5世代移動通信システム) /6G (第6世代移動通信システム) 時代の超カバレッジモバイルサービスを実現するため、HAPS、低軌道、静止軌道まで視野に入れた垂直方向の多層型NTN (Non Terrestrial Network) について解説します。

やました
山下

ふみひろ
史洋

まつい
松井

むねひろ
宗大

かのう
加納

ひさよし
寿美

あべ
阿部

じゅんいち
順一

NTTアクセスサービスシステム研究所

はじめに

宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想では、統合インフラはRF (Radio Frequency) 無線や光無線で接続され、究極的にはコンステレーションの分散コンピューティングによって処理を分担し、宇宙で発生するデータを宇宙で処理・分析を完結させることで、地上の災害等の影響を受けず、宇宙で自立して持続可能なインフラをめざしています⁽¹⁾。宇宙統合コンピューティング・ネットワークは3つの機能に対応しています。1番目は宇宙センシングで、地上ネットワークが届かないエリアでのIoT (Internet of Things) 通信と衛星からの観測により、地球規模の包括的なセンシングの実現をめざしています。2番目は宇宙データセンタで、光電融合による衛星搭載機器の低消費電力化を実現することで、大容量の光無線通信とコンピューティング処理を備えたインフラを整備し、より即応性のあるさまざまなアプ

リケーションを開発可能にしています。3番目は、宇宙RAN (Radio Access Network) で、Beyond 5G (第5世代移動通信システム) /6G (第6世代移動通信システム) 時代に向け、地上と静止軌道 (GEO) 衛星、低軌道 (LEO) 衛星、HAPS等の通信インフラを統合し、超カバレッジ・超耐災害性などをめざしています。本稿では宇宙RANの中で、NTT研究所が注力している多層型NTN (Non Terrestrial Network) に関する研究開発を紹介します。

多層型NTNによる Beyond 5G/6G通信サービス

■提案コンセプト

現在、Beyond 5G/6G時代に向けた研究や検討が各国で開始されていますが、地上モバイルサービスエリアの超カバレッジ化もその研究の柱の1つと位置付けられ、衛星通信やHAPSの活用が議論されています⁽²⁾。超カバレッジの概念には地上のルーラルエリアだけでなく、空、海、宇宙も含まれ、

一般にNTNと呼ばれています。NTNでは通常のスマートフォンを用いた携帯電話サービスに加え、船舶・自動車・監視制御等の自動化・無人化で衛星通信やHAPS通信が利用されると予想されています。その際、地上ネットワークを利用できるエリアについては地上ネットワークを活用し、地上ネットワークのエリア外では衛星やHAPSを活用するなど、地上と上空のハイブリッドなネットワーク構成となります⁽³⁾。これまで衛星通信とモバイル通信は通信プロトコルが独立でインタフェース仕様も分かれており、それぞれで回線終端していました。今後はBeyond 5G/6G時代の超カバレッジサービスを見据え、5Gの通信仕様を一部衛星用にカスタマイズされた汎用チップを端末や基地局に実装することで、衛星と地上のシームレス通信接続が期待されています。GEO/LEO/HAPSに対するアクセスサービスを統合した宇宙RANにより、超広域カバレッジサービスを実現することで、

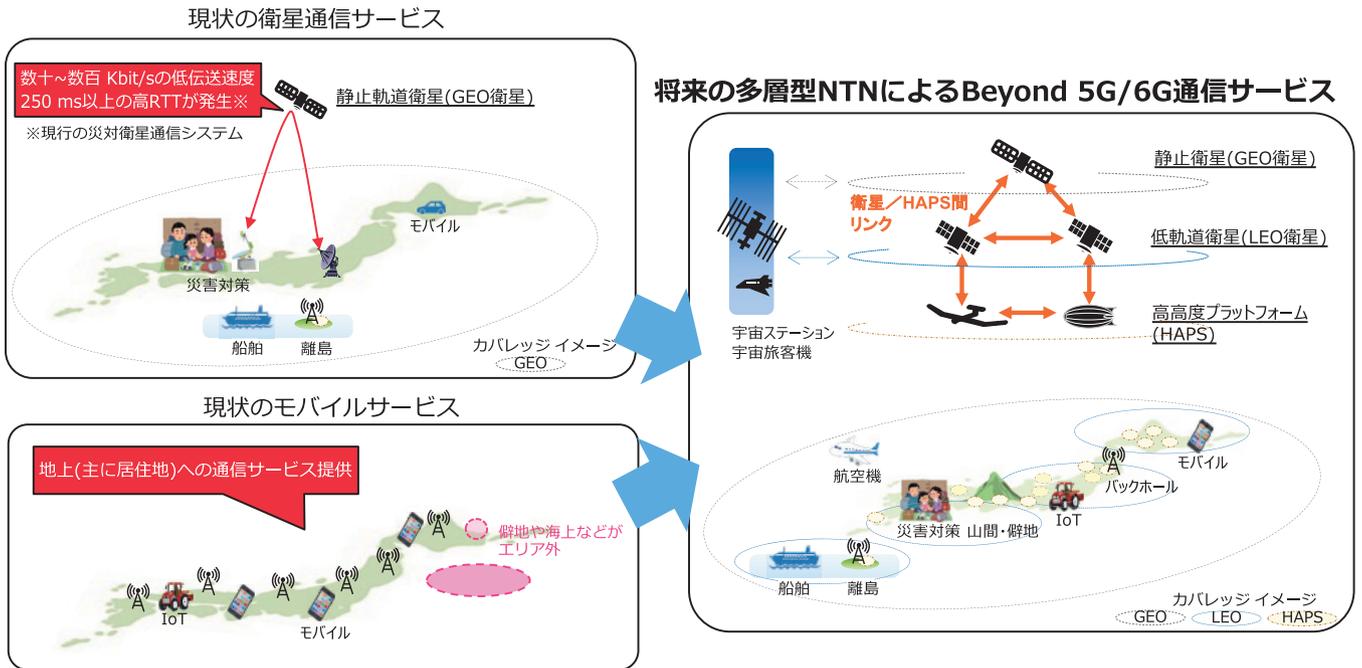


図1 多層型NTNによるBeyond 5G/6G通信サービス

災害対策だけでなく、離島やへき地のエリア化、飛行機や船などの通信環境の飛躍的な改善など、利便性の向上や新たな付加価値の提供が可能となります(図1)。

なお、上空方向のネットワークとして、GEO/LEO/HAPSは、カバレッジ・コスト・遅延・技術成熟度の観点で一長一短があり、いずれか1つに特定されません。例えば、GEOは1機の衛星でカバレッジが最大となりますが、衛星伝搬遅延が250 msとトレードオフがあります。一方でLEOは伝搬遅延が数msですが、上空を移動するため常時接続性を維持するには多数の衛星が必要となります。HAPSは伝搬距離が短く、スマートフォンからのダイレクトアクセスやスポットエリアでブロードバンドサービスを提供できる可能性が高いですが、日本上空で安定した飛行・通信技術を確認し、低価格な通信機器が普及するまでに時間が必要です。その結果、Beyond 5G/6Gの時代では各国の地

域特性や通信事情も勘案し、地上とGEO/LEO/HAPSをベストミックスで柔軟に接続する世界が想定されます。

図2にNTT研究所が関係機関と一緒に考えている、多層型NTN実現までのマイルストーンを示します。スマートフォンのサービスカバレッジ拡大を中心に考えると、まずは軌道が低く、スマートフォンの電波を直接収容できるHAPS利用によるサービスをSTEP1と考えています。一方で、HAPSのみで日本全土や排他的経済水域をカバーするのは設備投資や導入スケジュールの観点で現実的ではなく、早期展開を見据えてHAPSと衛星の連携をSTEP2として考えています。図2においては、これまでにNTT研究所で研究開発実績があるGEO衛星との連携を想定しています。最後にSTEP3として、近年注目を集めているブロードバンドLEO衛星との連携を組み込むことで、多層型NTNの完成をめざします。

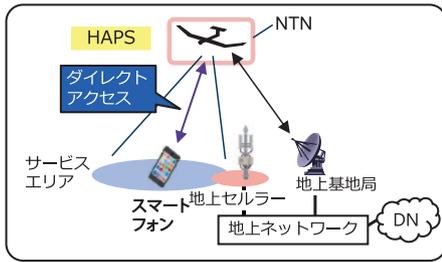
■主要技術

地上とGEO/LEO/HAPSを柔軟に接続するNTNの実現に向けて、以下の技術の研究開発を進めています⁽⁴⁾。

(1) NTNネットワークアーキテクチャ

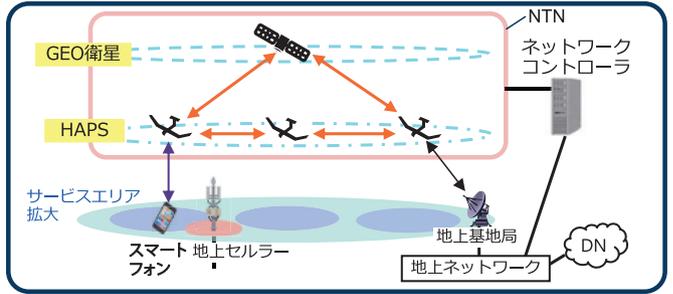
GEO/LEO/HAPSおよび地上セルラー網を組み合わせるトラフィックを収容する場合、ネットワークのアーキテクチャ設計が重要となります。図3にNICT(情報通信研究機構)のBeyond 5G研究開発促進事業委託研究を活用して進めてきた非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張システムの研究開発を示します。例えばGEO/LEO/HAPSに対し、gNBを搭載する・しないによりネットワークアーキテクチャやトラフィックのルーティング方法が異なります。このため、多層ネットワークをEnd-Endでシームレスに接続するトラフィック転送アーキテクチャの確立が重要となります。一方で、GEO/LEO/HAPSの上空ネットワークは地上5Gや光ファイ

●STEP1: HAPS単機によるNTN



複数HAPS機体によるネットワーク化、GEO衛星との連携

●STEP2: GEO衛星とHAPSによる多層型NTN



LEO衛星、地上ネットワークとの連携

●STEP3: GEO/LEO衛星とHAPSによる多層型NTN

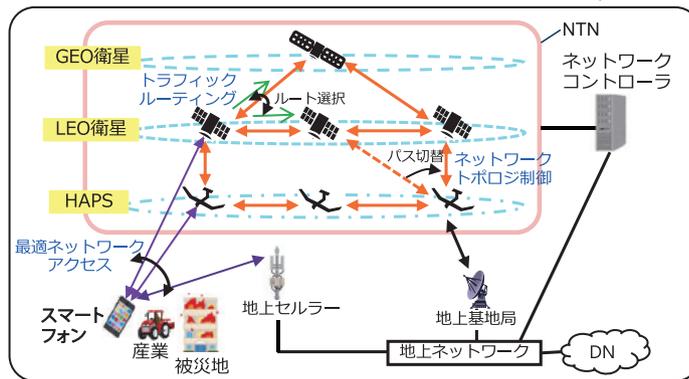


図2 多層型NTN実現に向けた研究開発マイルストーン

課題1: NTNノードのネットワーク化技術

課題2: カバレッジ拡張ユースケースシステムの開発と実証

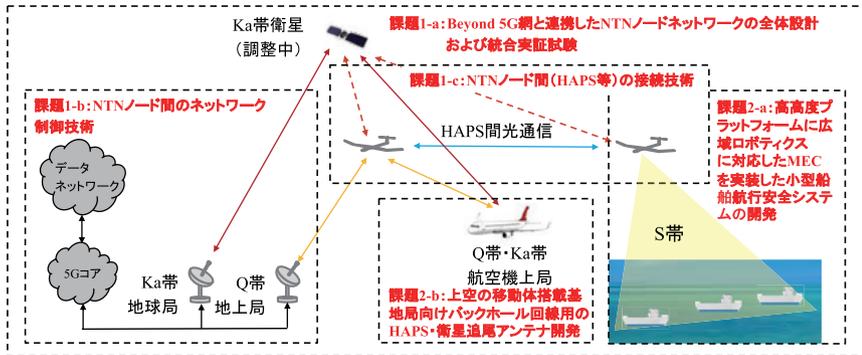


図3 NTNによるカバレッジ拡張通信システムの研究開発

バ網に比べて伝送容量が限られるため、輻輳時・降雨時・災害時などの周辺環境の変化に柔軟に対応するオペレーションが求められます。それぞれのインフラの特徴を加味しながら柔軟にトラフィックを収容する技術を確認するため、現在NTNシミュレータを開発しています。

現在研究開発を進めているGEOと

HAPSを用いた多層型NTNのネットワークルーティングの一例を図4に示します。例えば、海上のスマートフォンのトラフィックを地上のネットワークに転送するには、複数のHAPSをマルチホップするルートのほか、HAPSからGEO衛星を経由するルートも考えられます。NTT研究所では、システム全体でトラフィックルーティ

ングの最適化を図るため、各リンクの伝送容量や遅延時間のファクタから、End-Endのルートコストを算出し、最適なルートを選定する方法を研究開発しています⁽⁵⁾。

(2) HAPS搭載技術

現在HAPSに搭載できる通信機器の重量・消費電力は限られており、現時点ではHAPS上で地上の携帯基地局相当の信号処理の実施は難しいです。その観点では、さらなるHAPS機体そのものの改良が期待されています。また、海上等のサービスでは、HAPSと地上基地局が大きく離れて運用するケースも想定され、HAPSと基地局を接続するために、隣接するHAPSどうしや、HAPSと衛星の接続するマルチホップ接続が必要となります。現在、マルチホップ接続実現の鍵となるHAPSどうしの光無線接続技術も検討を進めています⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。

ルートコスト算出式： $C = \sum_{i=1}^n C_i$

$$C_i = \frac{Br}{R_i(1 - \alpha_i)} + \frac{D_i}{Bd} \quad \alpha_i = \frac{r_i}{R_i}$$

リンク容量の
ファクタ
遅延時間の
ファクタ
リンクの
混雑度

C_i : 通信リンク*i*のコスト値
 n : 通信ルートに含まれる通信リンクの総数
 Br : リンク容量の基準値
 R_i : 通信リンク*i*のリンク容量
 α_i : 通信リンク*i*の混雑度
 D_i : 通信リンク*i*の遅延時間
 Bd : 遅延時間の基準値
 r_i : 通信リンク*i*のトラフィック量

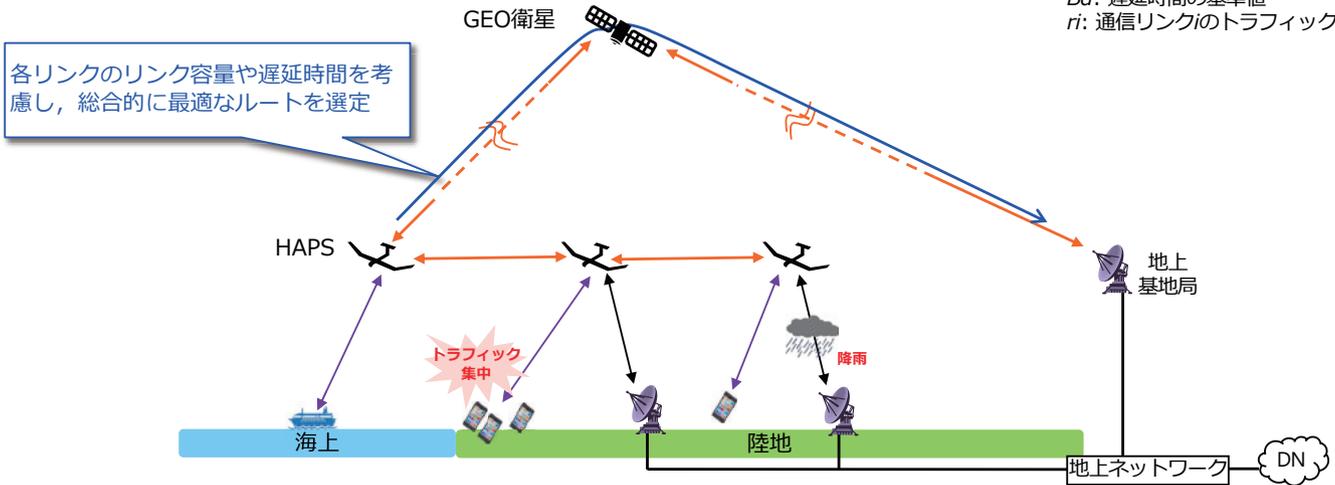


図4 HAPSとGEO衛星から構成される多層型NTNのトラフィックルーティング例

(3) ミリ波伝送技術

NTNサービスにおいて、モバイルユーザを想定したサービスリンクの高速化に伴い、それを束ねる衛星・HAPSと基地局間のフィードリンクにはより高速な伝送容量が求められます。このため、フィードリンクの周波数としてWRC (World Radiocommunication Conference) -19で新規に割り当てされたQ帯 (30/40 GHz帯) を活用することを想定しています。しかし、Q帯は降雨減衰が大きく、日本のような多雨地域では降雨減衰補償技術が必要となります。従来からのダイバーシチ技術に加え、降雨予測に基づいてプロアクティブに基地局を切り替える技術⁽⁸⁾や、前述した衛星・HAPSの光無線接続による降雨迂回制御技術についても研究開発を進めています。

今後に向けて

本稿では宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想を支える多層型NTNとそれを実現するための主要技

術を紹介しました。衛星やHAPSを活用したNTNは大規模な研究開発となるため、NTTだけで牽引することは難しく、関係機関や事業会社と連携しながら、将来の商用化を意識して基盤技術の研究開発に取り組んでいきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/05/20/210520a.html>
- (2) https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/01/17/220117a.html>
- (4) 北之園・箕輪・鈴木・山下・浅井・外山：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発-複数のNTNノードの接続およびネットワーク制御技術とそのユースケース開発実証計画-,” 信学総大, B-3-16, 2022.
- (5) 加納・松井・阿部・外園・小原・岸山・山下：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発~降雨時におけるUEの可用性評価~, ” 信学技報, Vol. 122, No. 163, SAT2022-37, pp. 48-53, 2022.
- (6) 外園・岸山・浅井：“宇宙RANにおけるHAPS実用化に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 10, pp. 17-22, 2022.
- (7) 岸山・浅井・阿部・山下・箕輪・鈴木・北之園・大内・外山：“非地上系ネットワークによるカバレッジ拡張通信システムの開発-Beyond 5Gに向けたNTNノードのネットワーク化技術とカバレッジ拡張,” 信学総大, BI-3-7, 2022.

(8) 北之園・鈴木・外園・岸山・浅井：“高高度プラットフォーム (HAPS) による5G網と連携した38GHz帯の無線通信システム開発-フィーダリンクにおけるサイトダイバーシチの検討-, ” 信学ソ大, B-3-15, 2022.



(上段左から) 山下 史洋/ 松井 宗大
(下段左から) 加納 寿美/ 阿部 順一

地上モバイルネットワークと衛星・HAPSネットワークが統合され、さらに融合する世界の実現をめざして、研究開発を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTT アクセスサービスシステム研究所
無線エントランスプロジェクト
TEL 046-859-4103
E-mail sat6g-p@ntt.com