

# 通信ネットワーク技術の最新動向 「次世代の海上通信ネットワーク」

安立恭晴

## 背景

通信ネットワークの技術革新を謳う上で通信速度の高速化、大容量化はでいつの時代においても普遍的な要求事項と位置付けられるが、こと船舶海運業界においては、海上であっても陸上と同じく、いつでも繋がる通信ネットワーク環境が何よりも望まれる。本調査報告書では、地球上のどこにおいても“つながる”次世代の通信ネットワークシステム構想 NTN についての現状を述べ、そのシステム基盤となる宇宙や成層圏の通信プラットフォームについて、および統括制御する要素技術について言及したうえで、「船陸間通信ネットワークシステム」の最新事情について報告する。

## 1. NTN (Non-Terrestrial Network) [1][2][3]

NTN (非地上系ネットワーク) とは地上や成層圏、宇宙にある通信プラットフォームを多層的につなげて運用する次世代の通信ネットワークシステム構想である。国際的な標準化団体である国際電気通信連合の無線通信部門 ITU-R Working Party 5B (WP5B) および移動体通信規格を策定している 3GPP

(Third Generation Partnership Project) の RAN (Radio Access Network) ワーキンググループにて規格化が進められている。

この NTN は現在、静止軌道衛星

(GEO : Geostationary Orbit satellites)、低軌道衛星 (LEO: Low Earth Orbit satellites)、そして LEO より更に地上に近い成層圏を飛行する高高度擬似衛星 (HAPS (High Altitude Platform Station) などの複数の軌道を飛行する衛星を通信プラットフォームとして活用する。そしてこれら複数の通信プラットフォームを活用するために、光通信技術や電波をポイントで送信する技術、そして地上、成層圏、宇宙の通信ネットワークをシームレスに連携するソフトウェア制御技術など、さまざまな分野の技術を結集することで具体化実現する次世代の通信ネットワーク構想である。

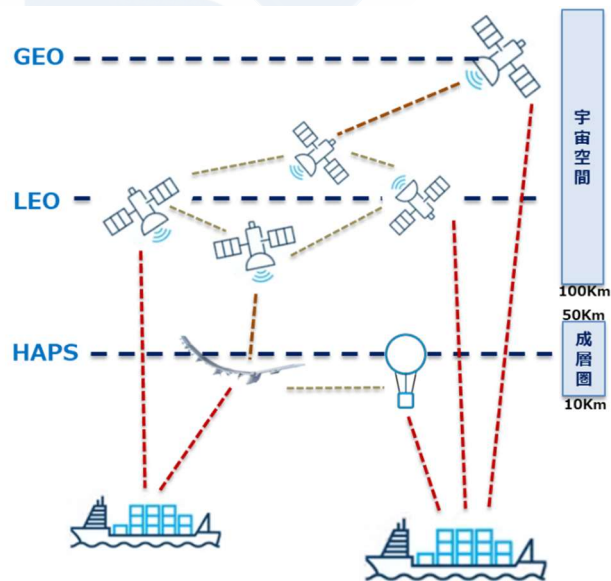


Fig 1. NTN 構想の概略図

これらシステムは地理的な制約を受けない成層圏や宇宙空間に通信基地局を構築することで、海上であっても安定した通信サービスの提供を可能とし、その通信エリアは地球全体をカバーする。また地上の通信基地局とも連携させることでエリアを問わず最適な通信ネットワークが実現できる。なお現在のロードマップでは 2030 年のサービス提供を目指しており、近い将来このコンセプトに基づく通信ネットワークのシステム基盤が出来上が

ることで大容量の情報が遅延なく伝送処理され、船陸間に隔たりの無い空間が構築される。そしてこのことが船舶の安全安心な航行や船員の労働環境改善にも大きく寄与するものと期待されている。

## 2. NTN を構成する通信プラットフォーム<sup>[4]</sup>

NTN を構成する通信プラットフォームとして、以下の 3 種が主要な通信基盤になるものと現時点では考えられている。

### (1) 静止軌道衛星 (GEO)

静止軌道衛星 (GEO) は赤道上空高度 36,000km の静止軌道にある衛星であり、地球の自転速度とほぼ同じ速さ、約 3,000msec で動いている。地上から静止衛星までの片道伝送速度が約 120msec と、通信の伝搬時間としては比較的大きな遅延が発生するものの 3~4 機で極域を除く全世界をカバーし、かつ常時通信が可能であることから、通信ネットワークの重要なバックホールとして様々な分野での通信インフラを補完している。また一度に広い範囲をカバーできることから TV 放送や気象予報そして海洋の状態などを含む地球表面の気候変動を監視するためにも利用されている。しかしその一方インターネット等の通信サービスといった用途では地上の光ファイバや携帯電話などのネットワークインフラが整備され充実した環境になりつつあるため、GEO 単独利用による市場規模は限られてきているのも実情である。しかし NTN 構想の実現により各衛星の利点を組み合わせ相互補完的な関係が築かれていくことで、より効果的な通信網や観測等を始めとしたサービスの提供がなされていくものと期待され、その特性からも GEO の存在意義は将来的にも大きい。

### (2) 低軌道衛星 (LEO)

低軌道衛星 (LEO) は軌道高度数百 km~約 2,000km の低周回軌道にある衛星であり、円軌道での速度は約 8,000msec と速いものでは 2 時間程度で地球を 1 週してしまふ。このため同じ低軌道上に複数の人工衛星を配置し、一つのシステムとして協調させた動作を行わせることで、地上との通信を常に可能とする工夫が必要となる。しかし高度約 36,000km にある GEO (静止軌道衛星) と比べて地球との距離が短いことから、片道の伝送速度が数 msec という低遅延で通信できるメリットがある。さらに通信・電子技術などの進歩による人工衛星自体の小型高性能化が進み、人工衛星同士を光通信や無線通信によって協調制御する技術が進歩確立して来ていることや民間ロケットの登場による打ち上げコストの低価格化などが後押しとなり Starlink、OneWeb、Space Compass を始めとした民間企業による投

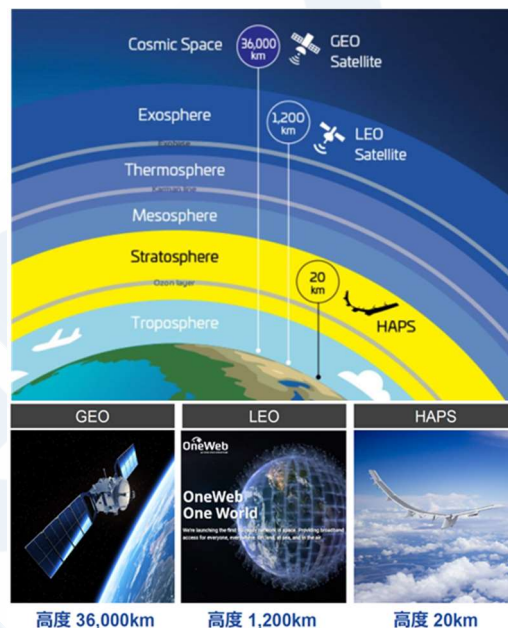


Fig 2. NTN 通信プラットフォーム<sup>[5]</sup>

資が活発に行われるようになった。以下にその一部民間企業による現時点での進捗状況をあげさせていた  
だく。

- Starlink は高度 340km から 1,325km の軌道に複数の衛星を配置し既に商用サービスを開始している。日本でも 2022 年 12 月から KDDI が Starlink を利用した一般家庭向けサービスの提供を始めた。今後は更なる通信の安定性を向上させるため、複数の低軌道衛星を組み合わせることで 1 つのミッションを遂行するコンステレーションという方法によるサービスの提供を予定している。
- OneWeb は 2023 年内に全世界で LEO による商用サービスを開始予定。
- Space Compass では 2024 年度のサービス開始を目指している。

今後これらの非地上系のインフラを活用した様々な分野への応用が期待されている。

### (3) 高高度擬似衛星の HAPS (High Altitude Platform Station)

LEO より更に地上に近い成層圏において、通信プラットフォームとしての役割を担う、高高度擬似衛星 HAPS (High Altitude Platform Station) がある。この HAPS とは携帯電話の基地局機能なども搭載した擬似衛星であり、高高度を飛び続けることで一定の範囲に常駐する無人飛行機の形状を呈している。成層圏は気流が安定しており太陽光による発電エネルギーだけで飛び続けることが可能であり、商業目的としては主に成層圏からモバイルインターネットの提供を予定している。飛行する高度は約 20km、ひとつの HAPS で地上半径約 50km~200km 程度のエリアをカバーする。また片道伝送速度は約 0.1msec と LEO より更に低遅延となるが高度が低いとカバーできるエリアが狭くなるため、より多くの飛行物体を打ち上げる必要がある。ただしこのほぼ遅延無く通信できることに加えなによりも安価なコストで運用できること等からその期待度は高い。さらに HAPS が静止軌道衛星や低軌道衛星と最も異なるところは、スマホや Wi-Fi が繋がる機器さえもっていれば、専用の受信端末を必要としない点がなによりも大きなメリットである。特に災害時や遭難したときなどには特別な装備なく地上と同様に移動体通信網 (LTE、5G、B5G など) が利用できる。なおこの HAPS の市場においても、民間企業であるソフトバンク、エアバス、NTT ドコモ、スカパーJSAT などによる実証実験が活発に行われており早期の実用化を目指している。

これら成層圏や宇宙空間の通信プラットフォームや地上の移動体通信網など、複数の通信インフラ、通信基地局を協調させ、管理、制御することができれば、どの通信プラットフォームを利用するかなど意識することなく、理想的な通信環境を手に入れることができるようになる。そしてこのような異なる複数の通信プラットフォームを多層的に協調接続させて人の手を介さず即時再構築可能な通信ネットワークを実現する技術的手法が SDN である。なお後の第 4 章で述べる「MEGURI2040」無人運航船プロジェクトの一機能「船陸間通信ネットワークシステム」でもこのコンセプトに基づく試行が行われた。

次の章では、この次世代ネットワークの中心的な役割を担う SDN について述べる。

## 3. 多層的な通信ネットワークをコントロールする SDN アーキテクチャ技術 <sup>[6][7][8][9]</sup>

SDN (Software Defined Networking) とは通信ネットワークの構築や設定をソフトウェアによって管

理・制御するアーキテクチャであり、ハードウェアやソフトウェアなどのさまざまな技術要素を組み合わせることで実現する。このアーキテクチャの中心は「制御機能」と「伝送機能」を OSI 参照モデルにならぬ「データプレーン」と「コントロールプレーン」と呼ぶレイヤに分離し、各機能が果たすべき役割と位置づけを明確にした上で、ルーターやスイッチなど物理的な機器の設定や挙動をソフトウェアによって統括管理しようという考え方である。そしてこれらの構成を実現させることにより柔軟性の高いネットワーク制御が可能となり、ネットワークの構成変更や管理作業などを効率よく行うことが可能となる。以降には SDN を実現するための構成要素とその技術スタック構造について言及する。

### (1) SDN Control Software

SDN Control Software は SDN アーキテクチャの中心に位置し、ネットワークの制御機能をソフトウェアへ集約したものである。ネットワークを自由自在にコントロールするため、OpenFlow、NetConf、OVSDB、gRPC といった複数のプロトコルを利用して、データの送信転送、ルーティング、パケットの経路制御、通信の帯域制御などを実現している。またルーターやファイアウォール、スイッチなどの役割を担う NFV、VNF への設定変更指示、負荷がかかっている回線に対するトラフィック抑制などもおこなっている。

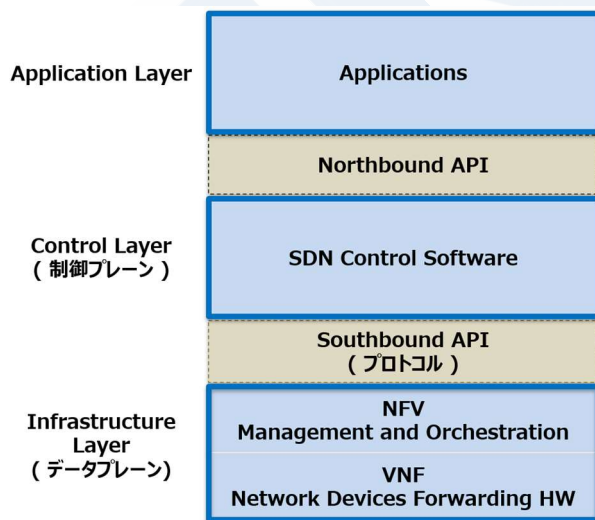


Fig 3. SDN アーキテクチャのスタック構造

### (2) Northbound API

Northbound API は SDN コントローラーとアプリケーションとの間を接続するための API である。この API はコントローラーとアプリケーション間で情報を交換するために用いられ、SDN コントローラーからアプリケーションへの情報提供や、アプリケーションからの要求に応じて SDN コントローラーがネットワーク上のデバイスをプログラマ的に制御できるようになる。

### (3) Southbound API

Southbound API は SDN アーキテクチャ内で SDN コントローラーとデバイスの間を接続するための API であり、スイッチ、ルーターなどのネットワークデバイス間での情報交換、デバイスの設定や構成変更、トラフィックの把握、パフォーマンスの監視などをおこなう。そしてこの API には OpenFlow、NetConf、OVSDB、gRPC などのプロトコルを用いて、SDN コントローラーと各種デバイス間の管理を行っている。

OpenFlow はコントローラーとスイッチの間の通信処理、NetConf はネットワークデバイスの設定変更や制御、OVSDB (Open vSwitch Database Management Protocol) は仮想スイッチングソフトウェアである Open vSwitch (OVS) の設定、構成情報をデータベース形式で管理するプロトコルである。な

お OVS は仮想ネットワーク機器を構成する仮想マシン、コンテナ、物理マシンを接続するための仮想スイッチとしての機能を提供する。そして gRPC (open-source Remote Procedure Call) は異なるネットワークデバイス間の通信処理に用いられるプロトコルである。

#### (4) NFV (Network Functions Virtualization)

NFV とは、ネットワーク機器やセキュリティ機器の機能そのものを仮想化する技術でありサーバーやストレージに使われている仮想化技術をネットワーク機器に応用したものがある。すなわち通信ネットワークの専用機器として設置されていたルーター、スイッチングハブ、ファイアウォールなどのハードウェアを仮想マシンとして扱えるようにする技術である。この NFV を用いることでハードウェアから通信サービスを分離し、ソフトウェアにより各機能のインストール、制御、拡張、設定、管理を行うことができるようになる。そして各ネットワーク機器を仮想マシンとして扱うことによりネットワーク機能の追加や変更を行う場合にも、新たにハードウェアを用意する必要がなく、機能のアップデートを簡素化でき、運用や管理コストの削減といったメリットにもつながる。

#### (5) VNF (Virtual Network Function)

VNF は、NFV において仮想化された通信ネットワーク機器の機能そのものを指す。VNF はソフトウェアとして実装され、仮想マシンやコンテナなどの仮想環境上で動作するプログラムである。通信インフラストラクチャの要件に合わせてカスタマイズすることができ、その時々々の環境やリソースの使用状況に応じて、提供される機能を動的に変更、配置、削除、調整などが可能となる。すなわち、VNF により通信インフラストラクチャの要件に合わせたカスタマイズが可能となり、スケーラビリティを向上させ、運用に関わる維持管理の負荷を軽減させる。

次の章では、船陸間通信ネットワークシステムの現状について、これまでに述べた次世代ネットワーク技術の中から実際に活用された事例について報告する。

### 4. 船陸間通信ネットワークシステム<sup>[10]</sup>

日本財団の主導により 2020 年にスタートした自動運航船「MEGURI2040」プロジェクトが 2022 年 2 月、世界初の無人運航による実証事業を成功させた。「MEGURI2040」プロジェクトへは、ClassNK として自動運航船への要素技術に対し、安全性評価手法の確立を目的とした模擬審査を実施している。以下にこの無人運航船の一部機能「船陸間通信ネットワーク」について述べる。なお MEGURI2040 では既に 2022 年までに 5 つのコンソーシアムが様々な船種の無人運航船を検証しているが、本報告書ではコンテナ船「すざく」を用い、東京港と津松阪港（伊勢湾）の区間を無人で航行したプロジェクトを対象とする。

海上通信の要素技術の中で最も重要視される要求事項として「通信の安定性」を上げることができる。通信ネットワークは常に外界からの影響を受けやすいため、日常的に途絶え不通となる現象が頻発する。通信インフラを構築する場合にはこの不安定さを想定した設計が求められる。そしてこの要求に応えるためには冗長構成が欠かせない。この冗長性を構成する複数の性質が異なる通信プラットフォームによって通信ネットワークの中で最も回線品質のよい通信経路を使って通信できる仕組み作りが、この「通信の安定性」に大きく寄与する。

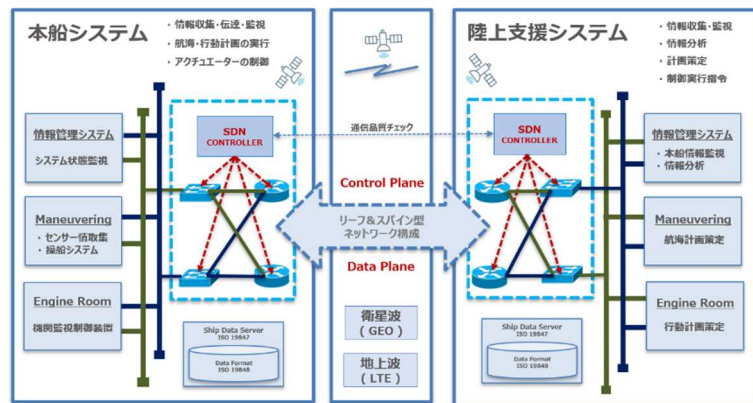


Fig 4. 船陸間通信ネットワークシステムのイメージ図

本件の無人運航船プロジェクトでも、船陸間通信インフラを実現する上で、周波数や帯域幅など性能が異なる静止軌道衛星を2回線と地上波である移動体通信網のLTE回線を利用し、陸上にあるオペレーションセンターと同時接続することで多層的な冗長性を確保し、船陸間通信の活用方法を試行した。通信ネットワークの経路選択では、ルーターやスイッチなどの物理的なネットワーク機器の設定や挙動を含めソフトウェアにより仮想化し、SDNの技術により統一的に管理、制御可能とした。また回線の品質状況や送信するデータの特性、優先順位に応じて、通信ネットワークを柔軟に再構成し、最適な通信経路を利用、更に衛星波の2系統はできる限り同時利用することで効率良く情報の伝達ができる仕組みも試みた。

そしてこれらの構成による通信プラットフォームを基盤とした無人運航船の実証試験は成功裏に終わることができた。この中で実施された船陸間通信ネットワークシステムのPoC (Proof of Concept) では全約790 Kmの航行ルート上約8割以上の区間で地上波のLTE回線品質を衛星波が上回り、自動選択され利用される結果となった。今回使用した衛星波の帯域上限は約10Mbpsの理論値に対し実測値もほぼ同じ10Mbpsの通信速度が確認できた。しかしその一方で地上波LTEの帯域上限は約80Mbpsの理論値であるのに対し実際に処理できた通信速度はおおむね数Mbps程度に留る結果となった。このことは地上波を用いた海上における通信可能なエリアの限界と、非地上系通信ネットワークの重要性が改めて認識させられる結果となった。ただし船陸間通信ネットワークシステムとしては、実装した機能毎に、仮設通りの良好な結果を得ることができた。そしてまた、これらNTN構想のフレームワークに沿った船陸間通信ネットワーク機能が実証レベルで確認できたことにより、次世代へ向けた海上通信のあり方が見えてきた。

なお今回実証、確認できた船陸間通信ネットワークシステムの機能以外にも、未だ試行すべき機能要求が多々ある。たとえば通信ネットワークシステムが無人運航船の一機能として他のシステム特性や要件にしたがい適切なルーティングやバンド幅の割り当てなどリソースを統括管理することなども大切となる。そして統括管理で

できればシステム全体を見渡せるようになりネットワークポリシーの一貫性が保たれ、障害に強く、セキュリティ対策がし易い構成管理が可能となる。今後の更なる改善が期待される。

## 5. あとがき

近年、デジタル化を促進する取り組みが世界中で繰り広げられているなか、船舶・海運業界でも大きな変革期を迎えつつある。最新のデジタル技術を活用した様々な自動化機能が徐々に開拓されていることを背景とし、完全無人化された自動運航船への期待が高まりつつある。さらに造船、海運、港湾、倉庫などの領域を統括し、海上輸送インフラ全体の構造改革を図ることで、効率化や競争力の向上を目指す明るい兆しも見られるようになってきている。このような改革を継続促進していく上でもその基盤となる、いつでも、どこでも、つながる通信ネットワーク環境の確立が早急に望まれる。

### 参考文献

- [1] 3GPP TR 38.821, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16)," tech. rep., 3rd Generation Partnership Project (3GPP), May 2021.
- [2] RP-201256, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)," in 3GPP TSG RAN Meeting #88-e, June 2020.
- [3] R1-2110604, "LS on combination of open and closed loop TA control in NTN," in 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #106-bis-e, Oct. 2021.
- [4] O. Kodheli et al., "Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges," IEEE Commun. Surv. & Tut., vol. 23, no. 1, pp. 70-109, Oct. 2021.
- [5] Softbank News, "Technology Strategies 「Beyond Carrier」 Research and Development", (<https://www.softbank.jp/corp/philosophy/technology/>) Aug. 2019
- [6] ITU-T, FG-NET-2030 Technical Report, "Representative use cases and key network requirements for Network 2030," Jan. 2020.
- [7] K Karamjeet, M Veenu, K.Krishan, "A comprehensive survey of service function chain provisioning approaches in SDN and NFV architecture", Computer Science Review, Vol. 38, Nov. 2020.
- [8] S Schaer, D Hood, "Software defined networking architecture standardization", Computer Standards & Interfaces, Vol.54, Part 4, Nov 2017.
- [9] PK Sharma et al., "SDN-based Platform Enabling Intelligent Routing within Transit Autonomous System Networks", IEEE Xplore, May 2022.
- [10] "無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」", THE NIPPON FOUNDATION, (<https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/meguri2040>) Nov 2022.