成層圏プラットフォーム及びHAPS移動通信システムの研究開発

ソフトバンク株式会社　基盤技術研究室 室長　長手（ながて）　厚史（あつし）

1. はじめに

超広域のカバーエリア、災害に強いネットワークを実現する新たな通信プラットフォームとして成層圏プラットフォーム（HAPS：High Altitude Platform Station）への期待が高まっており、我が国のBeyond 5G戦略の一環としても期待されている[1]。今後急速な普及が予想されるドローンや空飛ぶクルマが飛行する上空エリアへの通信プラットフォームとしても有望である。本稿では、成層圏プラットフォーム、HAPS移動通信システムについて、その概要及び研究開発動向を述べる。

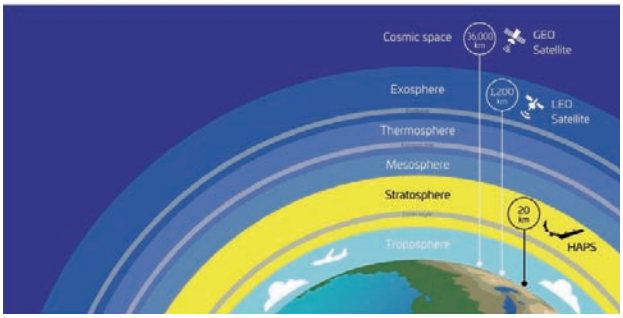
2. 成層圏プラットフォーム（HAPS）

HAPSは気流の安定している高度約20kmの成層圏を飛行する気球、飛行船、ソーラープレーンなどのプラットフォームに搭載される無線中継局である。図1に示すとおり、成層圏（Stratosphere）は我々の生活する対流圏（Troposphere）のすぐ上に位置し、1年を通して風速が比較的低速であることから、機体の安定した運用に適している。

このため古くから注目されており、1990年代から固定通信、移動通信、放送などへの活用が盛んに検討されてきた[2, 3]。近年は機体技術の進展とともに、成層圏プラットフォームの性能を左右する主要デバイスである太陽電池やバッテリーの性能が急激に向上している。これにより飛行性能が向上して実用化が進み、HAPSは再び脚光を浴びている。

成層圏は高高度であり遠方に対しても高仰角となる。高度20kmでは、水平距離50km、100kmにおいても仰角はそれぞれ22度、11度と良好な見通しが得られ、超広域のカバーエリアを期待できる。一方、高高度ではあるがたかだか20km程度であることから、衛星通信とは異なり伝搬遅延時間は短い。特に、広域をカバーする場合には高度よりも水平距離の影響が大きくなり、地上移動通信とほぼ同等の伝搬遅延特性となる。このため、5G以降で期待される高信頼低遅延通信（URLLC：Ultra Reliable and Low Latency Communication）を広域で実現するためのプラットフォームとしても有望である。高度20kmから水平距離50km、100kmに対するサービスリンクの往復伝搬遅延時間はそれぞれ360μs、680μsである。超広域をカバーする衛星では、端末の位置にも依存するが、衛星から端末のサービスリンクの往復伝搬遅延で、LEOでは6～30ms、中軌道衛星であるMEO（Medium Earth Orbit）では54～86ms、GEOでは240～280msであることが知られている[4]。このことから、HAPSでは衛星通信と異なり、無線区間1ms以下の低遅延が期待される5G向けのプラットフォームとしても活用できる。

成層圏飛行可能な機体としては、有人機、無人機、また、気球、飛行船、ソーラープレーンと様々なものが開発されている[5]。通信用途では通年での連続的なサービス提供が不可欠であり、無人機の使用が望ましい。また、気球や飛行船と異なり風の影響を比較的受けにくく、かつ、災害時などに求められる機動性が高いことから、ソーラープレーン型の成層圏プラットフォームが期待を集めている。ソーラープレーンは旋回飛行により半径数kmでの定点滞空が可能であり、多数の機体開発が行われている[5]。機体サイズ



■図1. 成層圏

■図2. ソフトバンク社が開発するソーラープレーン

（翼長）はおおよそ20mから80mであり、機体サイズに応じて小型から大型まで様々なペイロードを搭載可能である。

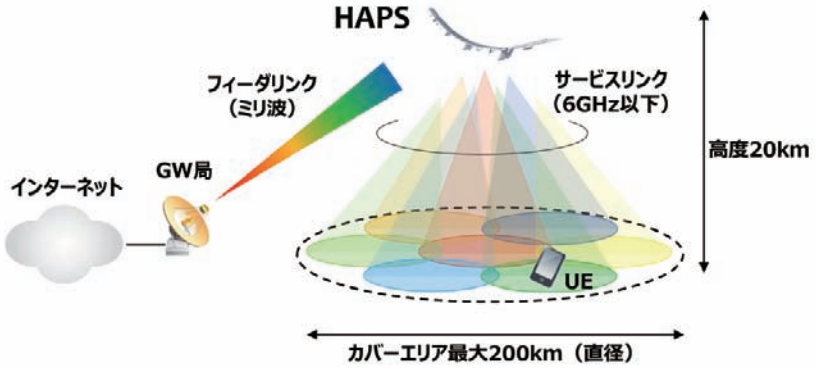
例えば、Airbus社はZephyrの開発を進めており、2018年にはアメリカのアリゾナ州において約1か月間連続の成層圏飛行に成功している。また、ソフトバンク社は、子会社であるHAPSモバイル社を通じて全長78mの大型ソーラープレーンであるSunglider の開発を進めている（図2）。2020年に初めての成層圏飛行を行い、LTEによるスマートフォンとの通信試験に成功した[6]。

3. HAPS移動通信システム

HAPS移動通信システムの構成例を図3に示す。HAPSを挟んでフィーダリンク回線とサービスリンク回線で構成される。フィーダリンクはゲートウェイ局（GW局）からHAPSへのバックホール回線を提供する。一方、サービスリンクではHAPSがLTEや5G NRに準拠した端末（UE：User Equipment）と直接接続する。サービスリンクではHAPSに搭載する通信装置やアンテナ次第で様々なセル構成を実現可能であるが、十分な通信容量を確保するためには地上移動通信システムにおいて大容量化を実現するための一般的な手法である複数セクタ局と同様にマルチセル構成が望ましい。図3は7セル構成の例であり、サービスリンクでは地上移動通信システムで用いられるものと同じ周波数帯を用いて、1セル周波数繰り返しを行う。

表にサービスリンクにおける無線通信品質の計算例を示す。文献［7］に示される無線パラメータを用い、中心周波数を2GHz、通信距離を100kmとし、下りリンクの送信電力を20W（43dBm）、HAPSのアンテナ利得を17dBi、端末のアンテナ利得を-3dBiとすると、端末の受信電力は-81.5dBmとなる。通過帯域幅を18MHz、端末の雑音指数を5dBとすると雑音電力は-96.5dBmであり、SNRは15dBを実現できる。通信限界である-7dBに対して20dB以上のマージンがあり、実環境において発生し得る地形、植生、建物、人体遮蔽等による追加伝搬損失へのマージンを考慮しても十分に通信可能であると言える。

HAPSのサービスリンク用の周波数としては、これまでに2GHz帯が特定されているが、HAPSの柔軟な国際展開に向けた追加周波数の特定がWRC-23の議題に決定している。具体的には、700～900MHz帯、1.7GHz帯、2.5GHz帯が拡張候補帯域として挙げられており、WRC-23に向けて現



■図3. HAPS移動通信システムの構成例

■表. 無線通信品質の計算例

	Downlink	Uplink
Tx power [dBm]	43	23
Tx antenna gain [dBi]	17	-3
Propagation loss [dB]	138.5	138.5
Rx antenna gain [dBi]	-3	17
Received power [dBm]	-81.5	-101.5
Channel bandwidth [MHz]	18	0.36
Noise figure [dB]	5	3
Noise power [dBm]	-96.5	-115.5
Received SNR [dB]	15	14

Assumption
- Carrier freq=2GHz
- Propagation distance=100km
- Free space propagation loss=138.5dB

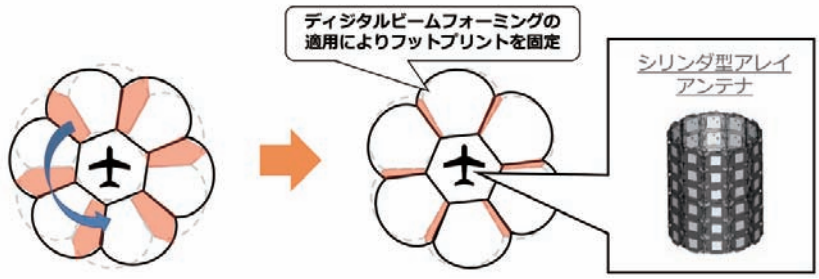
在ITU-Rにおいて技術的研究が行われている。一方、フィーダリンクでは、これまでにおいて6.5GHz帯、28/31GHz帯、47GHz帯が特定されていたが、昨今のHAPSへの期待を背景に、WRC-19において21GHz帯、26GHz帯、38GHz帯が新たに特定されるとともに31GHz帯の対象地域の拡大など大幅に拡張されている。

4. 通信品質向上技術

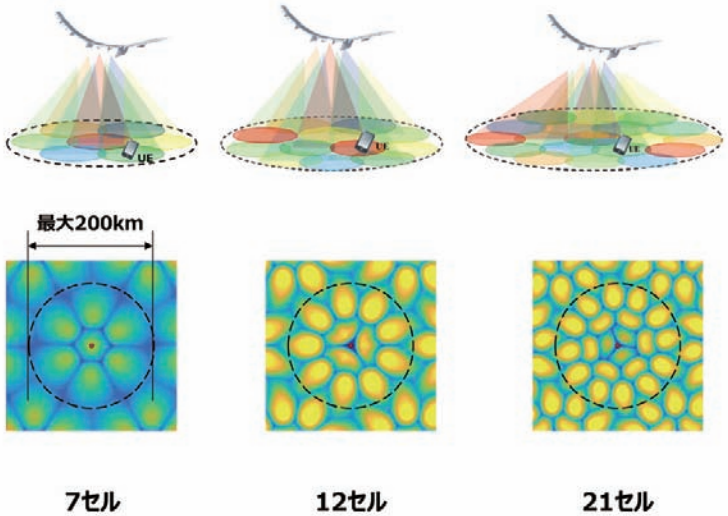
固定翼のソーラープレーンは、機体性能や気流にも影響を受けるが、半径数kmで旋回飛行することで定点滞空可能である[2]。このため、7セルなどのマルチセル構成では、各セルのカバーエリアであるフットプリントが飛行に合わせて移動、回転し、サービスエリアの時間変動やハンドオーバの多発が課題となる。例えば、半径3kmで円形に旋回飛行する場合、円周は約19kmであり、これを時速100kmで飛行すると約11分で周回する。図3に示す7セル構成の場合、中心の1セル及び周辺の6セルから構成されるが、周辺セルに滞在するユーザは1周回ごとに6回のハンドオーバが発生するため、約2分に1回ハンドオーバが発生する。これが全ユーザに対して発生するため、通信品質の安定や制御情報量の低減の観点からフットプリントの固定を行うことが望ましい。文献［8］では、全方位（360度）への広域なビームステアリング制御を可能とするシリンダ形状の多素子フェーズドアレイアンテナを提案し、図4に示すような機体の旋回に応じたビームステアリング制御を行うことで、高精度なフットプリント固定を実現している。また、任意のセル形状を実現できることから、災害時における高トラフィックエリアへのエリア形成など柔軟な対応を即座に行うこともできる。

5. 大容量化技術

HAPSは超広域をカバーできることが特長であり、収容ユーザ数の増加に向けて大容量化の実現が不可欠である。図3では7セル構成の例を示したが、図5に示すように、12セル、21セル等とHAPS1機で収容するセル数を増加して小セル化することで、同一カバーエリアにおける通信容量の増



■図4. フットプリント固定技術



■図5. 様々なセル構成

加を実現できる。各セル数において任意のセル配置が可能であるが、12セルでは中央3セル、周辺9セルの2層構成が、21セルでは中央3セル、それを囲む第2層に6セル、さらにその周囲に12セルを配置した3層構成が最適となる[7]。通信容量増大に向けてはアンテナパターンや指向方向の最適化が重要となるが、セル数の増大に従って最適化が困難となる。そこで、文献［7］では遺伝的アルゴリズムを用いることにより任意のセル数についてアンテナパラメータを最適化する手法を提案し、帯域幅20MHz、21セルの条件において、1Gbps以上のスループットを達成できることを示した。

さらなる大容量化を目指して、図6に示すように多数のアンテナ素子を用いて複数ストリーム伝送を行うMassive MIMOをHAPSに適用する検討も行われている[9]。各端末のチャネル情報に基づいてZF（Zero Forcing）などのウェイト制御を行うことで、相互干渉を抑圧して高いスループットを実現可能である。従来の検討は主にリニアアレイアンテナまたは平面アレイアンテナを真下方向に向けた構成であり、超広域カバーエリアの実現には不向きな構成であった。そこで文献［9］では、シリンダ形状の多素子フェーズドアレイアンテナをMassive MIMOに拡張し、最大半径100kmの超広域カバーエリアと20MHz帯域幅で数Gbps程度の大容量化を同時に実現する新たなHAPS向けMassive MIMOシステムを提案している。

6. おわりに

本稿では、超広域のカバーエリア、災害に強いネットワークの実現に向けて期待される成層圏プラットフォーム及びHAPS移動通信システムの概要について述べた。また、通信品質の向上及び大容量化に向けた技術について述べた。

謝辞

本研究の一部は、総務省「HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発（JPJ000254）」の助成のもとに行われた。

（2021年6月16日　ITU-R研究会より）

参考文献

［1］ 五十嵐, “Beyond 5G推進戦略―6Gへのロードマップ―,” 信学ソ大2020, BP-1-1, 2020.

［2］ 三浦他, “成層圏プラットフォームを用いた無線通信システム 成層圏プラットフォームを用いた通信・放送システムの研究開発,” 通信総合研究所季報, 2001.

［3］ S. Karapantazis, et al., “Broadband communications via high-altitude platforms：A survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* vol. 7, no. 1, pp. 2-31, 2005.

［4］ 3GPP, “Study on using satellite access in 5G,” TR22.822 V16.0.0, June 2018.

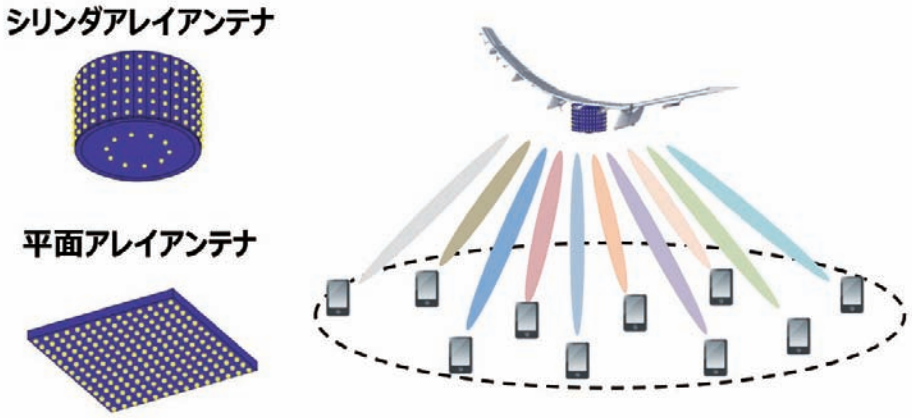
［5］ G. Kurt, et al., “A vision and framework for the high altitude platform station (HAPS) networks of the future,” arXiv preprint arXiv：2007.15088, 2020.

［6］ HAPSモバイル, “HAPSモバイル、Sunglider の成層圏飛行に成功,” https://www.hapsmobile.com/ja/news/press/2020/20201008_01/, Oct. 2020.

［7］ Y. Shibata, et al., “System Design of Gigabit HAPS Mobile Communications,” IEEE Access, 2020.

［8］ K. Hoshino, et al., “A study on antenna beamforming method considering movement of solar plane in HAPS system,” IEEE VTC2019-Fall, 2019.

［9］ K. Tashiro, et al., “Cylindrical Massive MIMO System for HAPS：Capacity Enhancement and Coverage Extension,” IEEE VTC2021-Spring, 2021.



■図6. HAPSへのMassive MIMO応用