

5G evolution & 6Gでは、空・海・宇宙を含むあらゆる場所でのユースケースを想定した 「超カバレッジ拡張」が検討されている.これまでの移動通信ネットワークでは十分にカ バーできなかったエリアへ高品質な通信サービスを提供するためには、GEO、LEO、およ びHAPSなどを利用したNTN技術が有望である.本稿ではこれらの技術や、小型飛行機を用 いた上空約3kmでの39GHz帯伝搬測定実験の内容について解説する.

1. まえがき

第5世代移動通信システム(5G)が地方創生や地 域課題解決に向けた重要技術として期待されている 中,その恩恵を享受可能な通信エリアをあらゆる場 所に拡張していくことが、5Gの高度化(5G evolution)および第6世代移動通信システム(6G)の時 代における重要課題となる[1].ドコモは、図1に 示すように、ドローンや「空飛ぶ車」,船舶、宇宙 ステーションなど、これまでの移動通信ネットワー クでは十分にカバーできなかった空・海・宇宙を含 むあらゆる場所への「超カバレッジ拡張*1」実現を

本誌に掲載されている社名,製品およびソフトウエア,サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標.

目指した研究開発に取り組んでいる.

超カバレッジ拡張の実現に向けては、衛星や高高 度プラットフォーム(HAPS: High-Altitude Platform Station)*2を用いた非陸上ネットワーク(NTN: Non-Terrestrial Network)*3技術に着目している. 本技術では、地理的制約を受けない衛星および HAPSを介した通信により、山間・僻地、海上、宇 宙空間までをエリアカバーすることができる.

本稿では、5G evolution & 6G実現に向けた重要課 題の1つである超カバレッジ拡張について解説する. 具体的には、有望なアプローチとして注目されてい るNTN技術の概念、HAPSによる無線システム技

*2 高高度プラットフォーム (HAPS): ソーラープレーン型の航空 機や飛行船などを利用して,成層圏環境での運用が想定される 空中プラットフォーム.

^{©2021} NTT DOCOMO, INC. 本誌掲載記事の無断転載を禁じます.

^{*1} 超カバレッジ拡張:基地局が移動局端末との通信を行うことが できるエリアを,現在の移動通信システムがカバーしていない 空・海・宇宙などを含むあらゆる場所へ拡張すること.



図1 超カバレッジ拡張

術のユースケースと技術課題について示し,小型飛 行機を活用した電波伝搬測定にかかわる取組み内容 を解説する.

2. 5G evolution & 6Gで目指す 超カバレッジ拡張とNTN技術

空・海・宇宙を含むあらゆる場所でのユースケー スを想定した「超カバレッジ拡張」では、ドローン や空飛ぶ車,船舶、宇宙ステーションなど、これま での移動通信ネットワークではカバーできなかった エリアヘカバレッジを拡張する.超カバレッジ拡張 の実現に向けては、少なくとも数+km程度以上の 長距離無線伝送を高効率に実現する技術が必要にな ると考えられる.

図2のように、①静止衛星(GEO:Geostationary Orbit satellite), ②低軌道衛星(LEO:Low Earth Orbit satellite), および③HAPSの利用を視野に入 れることで、山間・僻地、海上、空、宇宙空間まで カバーすることが可能になり、通信サービスをこれ らの地域にも提供することができる [2].

- ①GEOは、高度約36,000kmの軌道上にある静止 衛星である.衛星から地上局アンテナ間の片道 電波伝搬時間が約120msと比較的長いものの、 3~4機で地球全体をカバーし、かつ常時通信が 可能であることから、現在でもモバイルバック ホール*4として地上ネットワークを補完してい る.6G時代ではさらなる大容量化が必要とな ることから、衛星の電力・周波数をマルチビー ム間で最適化することでシステム容量を向上さ せる超高スループット衛星(VHTS:Very High Throughput Satellite)の実現が検討されてい る[3].
- ②LEOは、高度数百~約2,000kmの周回軌道上にある衛星であり、GEOと比較して低高度、かつ片道電波伝搬時間が数msという低遅延の特長を活かし、現在は衛星携帯電話や衛星センシング*5で利用されている。衛星製造コストの低廉化やMIMO(Multi Input Multi Output)*6などの適用による通信容量の拡大、また将来的に複

*5 衛星センシング:衛星に搭載している測定器によって,宇宙か ら大気や地表の状況を観測する技術.

*6 MIMO:同一時間,同一周波数において複数の送受信アンテナ を用いて信号の伝送を行い,通信品質および周波数利用効率の 向上を実現する信号技術.

^{*3} 非陸上ネットワーク (NTN):衛星やHAPSなどの非陸上系媒 体を利用して,通信エリアが地上に限定されず,空・海・宇宙 などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク.

^{*4} バックホール:移動通信ネットワークにおける,多数の無線基 地局とコアネットワークとの間の高速大容量な情報伝送をサ ポートする固定回線を表す.



図2 衛星やHAPSを用いる空・海・宇宙へのカバレッジ拡張イメージ

数の衛星が協調してネットワークを構成する 衛星コンステレーションにより,大容量低遅 延バックホールとしての利用が期待されてい る[4].

③HAPSは、高度約20kmで一定の場所に常駐することができ、陸上にセル*7半径約50km以上のカバレッジエリアを形成できることから、昨今再注目されている[5].LEOと比較してさらに低高度であるため、セル半径にもよるが片道電波伝搬時間約0.1ms程度とさらに低遅延を実現できる。従って、災害対策はもちろんのこと、5G evolution & 6Gで想定される多くの産業向けユースケースにも有効だと考えられる。

3GPP (Third Generation Partnership Project) では、これら衛星やHAPSを用いたNR (New Radio)*⁸のNTNへの拡張検討が開始されている [6].

*7 セル:移動通信ネットワークのサービスエリアを構成するエリ ア分割の単位。

HAPSのユースケースと ネットワーク構成および制御技術

ドコモは、5G網を含む地上ネットワークとHAPS による成層圏ネットワークが柔軟に連携できる通信 方式やネットワークアーキテクチャの研究開発プロ ジェクトに取り組んでいる[7][8].本研究開発で は、今後の5G evolution & 6Gで想定される幅広い ユースケースを柔軟にサポートすることに加えて、 災害発生時の柔軟な回線制御の実現や、開発・運用 コストなどの面から現実的なHAPSを活用する通信 システムの実現を目的とした検討を行っている.

3.1 HAPSのユースケース

図3に示すとおり、5G evolution & 6Gの時代に向 けては、HAPSを用いて電波の中継あるいは基地局 として電波を発射することで、さまざまなユース

^{*8} NR:5G向けに策定された無線方式規格.4Gと比較して高い周 波数帯(例えば、6GHz帯以下や28GHz帯)などを活用した通 信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・ 高信頼な通信を可能にする.



図3 HAPSで期待されるさまざまなユースケース

ケースを実現することが期待される.ユースケース は、バックホール用途としてサービスを提供する固 定系と、端末へ直接、もしくはRepeaterやRelayを 中継してサービスを提供する移動系の両方が考えら れる.特に広帯域なミリ波*9帯の電波を利用するこ とで、さまざまな産業やイベントなどの用途で要求 される高速大容量かつ低遅延な回線を、光ファイバ などの有線網の有無に依存せず、海上・空中・僻地 など場所を選ばずタイムリーに提供することが期待 される.

HAPSシステムの要求条件はユースケースごとに さまざまである.図4に示すとおり,ユースケース ごとに求められる通信速度や帯域幅は異なる.固定 系と移動系の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しい.

例えば、5G基地局へのバックホール用途での通

信速度は、1サービスリンク*10当り1Gbps以上が最低 限必要であると考えられる. さらに複数のサービス リンクを同時提供するためには、フィーダリンク*11 の通信速度はさらに速く(数Gbpsから数+Gbps), かつ可能な限り天候などの影響によらず安定してい る必要がある.

また,平常のビジネス用途から災害発生時のパブ リックセーフティ*¹²用途への柔軟な回線制御も必 要である.現状の災害対策は,音声通話やSMSな ど最低限の通信品質を想定したものであるが,将来 的には災害現場における遠隔制御や映像伝送,ド ローンとの通信など,ある程度高速通信が必要な ユースケースも考えられる.さらに,災害対策に向 けては,一部の装置が使えなくなっても動作するこ とを想定したネットワーク構成と制御技術を検討す ることが必要である.

- *9 ミリ波:周波数帯域の区分の1つ.30GHzから300GHzの周波数 であり、5Gで使用される周波数である28GHz帯を含めて慣習的 にミリ波と呼ぶ。
- *10 サービスリンク:NTN通信システムの中で,衛星またはHAPS と端末間の通信経路を指す.
- *11 フィーダリンク:NTN通信システムの中で、衛星またはHAPS と地上基地局(ゲートウェイ)間の通信経路を指す.
- *12 パブリックセーフティ:防災,警察,消防,救急などの公共安 全.



図4 HAPSユースケースごとの要求条件

3.2 5G網と連携したネットワーク構成と 制御技術

(1)HAPS搭載局の分類

HAPSを5G基地局へのバックホールに用いる場合 のネットワーク構成と制御技術において、HAPS搭 載局の分類に着目して検討を行っている。HAPS搭 載局を大別すると、①中継局として地上から受信し た通信信号を、必要な周波数変換などを行った上で 地上へ折り返し送信する「中継型」と、②5G網の 基地局装置もしくはその一部をHAPSへ搭載する 「基地局型」に分けられる。

- ①中継型の場合は,搭載装置が比較的少なく, HAPS搭載局のサイズ・重量・消費電力の制限 が厳しい場合に有効である.
- ②基地局型の場合は、アンテナ装置の搭載に加え、 多くの基地局機能をHAPSへ搭載するほど HAPS側でさまざまな制御が可能になり、かつ フィーダリンクの情報量を削減できる。一方、 搭載機能が増えるほど搭載局のサイズ・重量・

消費電力が大きくなる.

これらについて、考え得るオプションを比較した ものを表1に示す.一般的には、開発コストや運用 面を考慮すると、より多くの基地局機能を地上ネッ トワーク側に配置するのが望ましいが、HAPSに搭 載することで災害の影響を受けにくいメリットもあ る.また、性能面を考慮すると、HAPS搭載局側に もある程度の機能、少なくともミリ波を用いる場合 はビーム制御の機能をもたせる必要があるものと考 えられる.さらに、HAPS搭載局におけるサイズ・ 重量・消費電力、搭載局の開発・運用コスト、固定 通信と移動通信でのHAPSプラットフォーム共通化、 GEO/LEOとの連携など、5G網にHAPSシステムを 組み込む際に考慮すべき幅広い要件を総合的に検討 する必要がある.

(2)5G網と連携したネットワーク構成例

5G網と連携したネットワーク構成における「基 地局型」の一例として、O-RAN (Open RAN)*¹³ア

.....

*13 O-RAN: 5G時代においてさまざまなサービスを効率的に提供 することを目的として、オープン化とインテリジェント化され た無線アクセスネットワーク.

	搭載局タイプ	無線規格 (FL/SL)	HAPS通信 の用途	特徵(長所)	課題
#1	中継型 (Repeater)	固定/固定**1	固定	搭載局の省エネ・ 軽量化 ^{**2}	複数ビームでの同時接続サポート
#2	中継型 (Repeater)	移動/移動 ^{※1}	固定&移動	搭載局の省エネ・ 軽量化 ^{**2}	複数ビームでの同時接続サポート OFDM信号によるPAPR増大 ^{**3}
#3	基地局型 (Full BBU)	固定/固定	固定	1つの通信システムで FL/SLの双方を柔軟に サポート	高性能化(通信速度や同時接続数増)による 搭載局の消費電力・重量の増大
#4	基地局型 (Full BBU)	移動/移動	固定&移動	1つの通信システムで FL/SLの双方を柔軟に サポート	高性能化(通信速度や同時接続数増)による 搭載局の消費電力・重量の増大 OFDM信号によるPAPR増大 ^{**3}
#5	基地局型 (DU/RUのみ)	固定/移動	固定&移動	#6と同等の性能で搭載 局の消費電力・重量を低 減できる可能性がある	2つの通信システム搭載が必要であり,搭載 局の消費電力・重量の増大 OFDM信号によるPAPR増大 (SLのみ) ^{※3}
#6	基地局型 (Full BBU)	固定/移動	固定&移動	FL/SL独立な周波数や無 線規格の最適化による超 大容量サービスの実現	2つの通信システム搭載が必要であり,搭載 局の消費電力・重量の増大 OFDM信号によるPAPR増大 (SLのみ)*3

表1 HAPS搭載局の比較まとめ

BBU : Base Band Unit

PAPR : Peak to Average Power Ratio

※1 中継型(#1,2)は無線規格によらない(複数の無線規格での)運用ができる可能性もある.

※2 通信速度の要求が高いほど、基地局型に比較して中継型の相対的なメリットが大きくなると予想される.

※3 6Gなど、将来的にはシングルキャリアの波形がNTNで採用される可能性もある.

ライアンス仕様 [9] を参考にした5G基地局のDU (Distributed Unit)*¹⁴とRU (Radio Unit)*¹⁵を HAPSに搭載する構成を図5に示す.この構成では、 CU (Centralized Unit)*¹⁶を地上の災害に強い地点 に設置することで可用性を確保し、フィーダリンク においてHAPSがCUから受け取った情報を、サー ビスリンクにおいて地上の小型基地局装置(中継局) へ5G無線を介して伝送することで、有線のバック ホールを使用せずに可搬5G基地局の利用が可能と なる. また、この構成では中継局を介さずにHAPS から5G端末へ直接通信を提供することも可能であ る. さらなる拡張としては、地上側で複数のCUを 用いることによって悪天候や災害発生時の影響を軽 減するサイトダイバーシチ*17の実現や、端末が通 信のエリアを移動した際に通信先のHAPSを切り替 えることでモビリティサポート*18も実現できる.

*14 DU:無線基地局のリアルタイムなデータリンク層制御などを 行う機能部.

*15 RU:無線基地局の無線部.

*16 CU: 無線基地局のノンリアルタイムのL2 (Layer 2) 機能, RRC (Radio Resource Control) 機能などを実装する集約ノード. 図5の構成以外にも、スタンドアローン*19な5G基 地局をHAPSに使用する構成や、5G無線の中継装置 (Repeater)をHAPSに搭載する「中継型」の構成 も有力な候補として検討している.各構成において、 モビリティサポート、サイトダイバーシチ技術およ び周波数共用技術*20などと合わせて、GEO/LEOと の連携や装置重量・消費電力などHAPSへの搭載要 件を考慮した総合的な検討が今後必要である.

4. 小型飛行機を用いた39GHz帯 伝搬測定実験

5G evolution & 6Gにおける上空からの通信エリア 化の実現に向けて、2021年2月15日(月)から2月26 日(金)まで、小型飛行機を活用して、市街地(神 奈川県小田原市)、山林(丹沢)、離島(伊豆大島)

*17 サイトダイバーシチ:雨や障害物により電波の減衰が大きい時

に,複数の地上局を切り替えることで,通信品質を向上させる 技術.

*18 モビリティサポート:端末が通信のエリアを移動した際に,通 信が途切れる前に接続先の基地局を切り替えることで,通信を 継続可能とする技術. での電波伝搬測定の実証実験を実施した[10]. HAPS実機を利用する前の初期実験として,地上から上空約3km先の小型飛行機に搭載した受信装置に向けて,5Gでの高速通信に適したミリ波(39GHz帯),および比較のためミリ波よりも電波が飛びやすい低い周波数(2GHz帯)を利用した電波伝搬を測定した.市街地では建物などの障害物や反射波の影響,山林では地形や樹木の影響,離島では海上からの低い仰角や雲の影響などを測定した.その結果, 「さまざまな環境による39GHz帯と2GHz帯の電波の 飛びやすさ」や「飛行機の旋回が電波の飛びやすさ へ与える影響」などが明らかとなった.

4.1 測定環境と測定項目

上空伝搬測定の実験イメージを図6に示す.市街 地(神奈川県小田原市),山林(丹沢),離島(伊豆 大島)を電波の送信地点とし,半径1kmから2kmで 旋回する小型飛行機を受信地点とした.送信地点か



図5 HAPSをバックホールに用いる場合の連携構成例



図6 上空伝搬測定の実験イメージ

 *19 スタンドアローン:既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態.
 *20 周波数共用技術:2つのシステムが同じ場所で同一周波数を利用するときに発生する干渉の影響を抑え、周波数共用を可能と する技術、本稿では、主にHAPSシステムと地上移動通信シス

ら見た小型飛行機 (受信地点) への仰角は, 高度 20kmで旋回するHAPSのユースケースと同等にな るように決定した.具体的には、市街地と山林の ユースケースでは高度20kmに対しカバレッジ半径 50kmを想定し(仰角:21.8°), 離島のユースケー スでは高度20kmに対しカバレッジ半径200kmを想



定した(仰角:5.7~11.5°). また, 見通しの環境 に加えて、図7に示すように各ユースケースにおけ る建物や樹木などの遮蔽物を挟む形で、受信電力の 測定を行った.

実験装置の主な仕様を表2に示す.送信アンテナ は飛行機の旋回範囲がビーム幅*21以内に含まれる



図7 さまざまな障害が存在する実験環境

	周波数带	実証実験装置・機器の主な仕様
"光信壮军	39.75GHz帯	 ・最大送信出力:37dBm ・送信電波:無変調波 ・アンテナの種類:ホーン ・送信アンテナの最大利得:14.6dBi ・電波の発射方向:飛行機の旋回中心方向 ・偏波:垂直
还店衣直	2.2001GHz帯	 ・最大送信出力:42dBm ・送信電波:無変調波 ・アンテナの種類:スリーブ ・送信アンテナの最大利得:2.2dBi ・電波の発射方向:水平方向 ・偏波:垂直
平信牲業	39.75GHz帯	・アンテナの種類:オムニ ・受信アンテナの最大利得:3.0dBi
又旧衣匣	2.2001GHz带	・アンテナの種類:オムニ ・受信アンテナの最大利得:0.0dBi

表2 上空伝搬試験における実験装置の主な仕様

*21 ビーム幅:アンテナの最大利得から-3dB以内の利得をもつアン テナの放射角度.

ような製品を選定し,飛行機の旋回中心に向けて方 向を固定する.一方,受信アンテナは艤装フレーム 内に格納され,底面には伝搬損失*²²がほとんど生 じないように設計された厚さ3mmのポリカーボネ イト製レドーム*²³が接着されている.また,初期 実験として,送受信アンテナは共に追尾機能をもた ず,受信アンテナを飛行機の底部に固定して設置す る.

4.2 評価

(1)概 要

上空電波伝搬測定の結果を表3に示す.実験の結 果,遮蔽物の無い見通し環境の場合は,ほぼ机上計 算と同じ最大受信感度が得られる一方で,建物や樹 木を挟んだ場合は、39GHz帯の受信電力の損失は比 較的大きいことが明らかとなった.このような遮蔽 物の影響を,サイトダイバーシチなどを用いて軽減 することを検討する必要がある.また,降雨がない 場合においては,雲の影響は比較的小さいことが確 認できた.

さらに、今回の実験では小型飛行機の位置や飛行 姿勢によらず、同じ指向性パターンのアンテナを用 いて送受信を行ったため、飛行機の旋回の影響でアン テナの角度が変化することにより、受信電力が大き く変化することも明らかとなった.この実験結果に より、将来のHAPS実用化に向けては、このような 旋回による影響を抑えて一定の受信電力を保持する 制御技術が重要であることを確認できた.

(2)小田原における実験結果

測定結果の具体例として、市街地のユースケース を想定した実験について述べる.神奈川県小田原市 の見通し環境にて、旋回直径2kmで飛行したときの データとして、39GHz帯伝搬損失の時系列データを 図8に、39GHz帯伝搬損失の累積分布*24を図9(a)に、 2GHz帯伝搬損失の累積分布を図9(b)に示す.39GHz 帯の最大受信感度を図8の自由空間損失から計算す ると、机上計算からの誤差が約1.2dBと小さく、お おむね机上計算どおりである.一方、時系列データ は飛行機の旋回に応じ大きく変動しており、受信電 力の平均値は最大値から約17dB減少し、中央値*²⁵ は約14dB減少している.この原因として、送受信 アンテナの指向性利得の変動や偏波損*²⁶、そして 機体の底面が送信点から見て逆側を向いたときの機 体自体による電波遮蔽が、大きく影響していること

39GHz帯測定環境	39GHz帯測定結果				
全体を通して	 ・見通しの最大受信感度は、いずれの環境もおおむね机上計算どおり(誤差5dB以内) ・見通しの平均値/中央値は、最大値と比べ約14~24dB減 > 旋回による送受信アンテナの指向性パターン変動、偏波損、飛行機体自体による遮蔽が大きく影響 > HAPS実用化に向けては、このような旋回による影響を抑えて一定の受信電力を保持する制御技術が重要 ・ 平均値と中央値の差は、丹沢(山)を除き2.5dB以内、丹沢(山)はノイズフロアに埋もれるデータが多く、差は約3.8dB ・ 比較の2GHz帯も各障害による減衰、旋回による減衰の傾向あり 				
小田原(建物)	・見通しと比べ平均値は約17dB減,中央値は約19dB減				
丹沢(樹木)	・見通しと比べ平均値は約18dB減,中央値は約19dB減				
丹沢(山)	・見通しと比べ平均値は約30dB減、中央値は約36dB減				
伊豆大島(乾いた雲)	・見通しと比べ平均値は約2dB増、中央値は約4dB増 ▶雲による減衰はほとんど見受けられず、飛行軌道の誤差が支配的な影響をもつと推察される				

表3 上空電波伝搬測定の結果まとめ

*22 伝搬損失:送信局から放射された電波の電力が受信点に到達す るまでに減衰する量. *24 累積分布:確率変数がある値以下をとる確率を表したもの.

*25 中央値:有限個のデータを昇順(または降順)に並べたとき, 中央に位置する値のこと.

*23 レドーム:アンテナを保護する囲い. 電波を透過しやすい材料 で作られている.

*26 偏波損:電波が空間を伝搬するときの電界の振動方向(偏波) によって、受信アンテナの受信電力に損失が生じること.





図8 神奈川県小田原市(見通し) / 旋回直径2km時における39GHz帯の伝搬損失時系列データ

図9 神奈川県小田原市/旋回直径2km時における伝搬損失の累積分布

が考えられる.

次に, 建物が障害となる環境にて旋回直径2kmで 飛行したときのデータとして, 39GHz帯伝搬損失の 累積分布を図9(c)に,2GHz帯伝搬損失の累積分布を 図9(d)に示し,39GHz帯の伝搬損失マップを図10に 示す.図9(a)と図9(c)それぞれの平均値と中央値を導



図10 神奈川県小田原市(建物) / 旋回直径2km時における39GHz帯の伝搬損失マップ

出して比較すると,建物による遮蔽環境における 39GHz帯伝搬損失は,見通し環境と比べ平均値で約 17dB,中央値で約19dB大きい.また図9(b)と図9(d) それぞれの平均値と中央値を導出して比較すると, 2GHz帯も建物による遮蔽の影響を受けているもの の,その損失は見通し環境と比べ,平均値で約8dB, 中央値で約9dBと比較的小さいことが分かる.さら に図10から,機体の傾きによって底面が送信点側を 向いたときと,底面が送信点と逆側を向いたときを 比較すると,前者の受信電力が40dB以上大きいこ とが分かる.

5. あとがき

本稿では、5G evolution & 6Gにおける重要課題の 1つである「超カバレッジ拡張」に向けた取組みと して、NTN技術、特にHAPSのユースケースと ネットワーク構成および制御技術について解説し、 HAPSのユースケースを想定して実施した小型飛行 機による上空電波伝搬試験の結果を示した、今後も ドコモでは、超カバレッジ拡張の実現に向けた NTN技術開発、HAPSネットワーク実現に向けた 技術開発,実証実験および標準化活動の推進に取り 組んでいく予定である.

最後に、本研究開発の一部は、総務省「電波資源 拡大のための研究開発(JPJ000254)」によって実 施しているものである.

文 献

- NTTドコモ: "ホワイトペーパー:5Gの高度化と6G." 第3版, Mar. 2021. https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/ whitepaper_6g/index.html
- [2] 鬼沢 武, 立田 努, 北 直樹,山下 史洋: "固定無線, 衛星通信システムにおける最近の研究開発について," 信学技報RCS2019-32, pp.53-58, May 2019.
- [3] J. Bejarano, C. Nieto and F. Piñar : "MF-TDMA Scheduling Algorithm for Multi-Spot Beam Satellite Systems Based on Co-Channel Interference Evaluation," IEEE Access, vol.7, pp.4391-4399, Dec. 2018.
- [4] B. Di, H. Zhang, L. Song, Y. Li and G.Y. Li : "Ultra-dense LEO : integrating terrestrial-satellite networks into 5G and beyond for data offloading," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.18, Issue 1, pp.47-62, Dec. 2018.
- [5] HAPS Alliance : "Introducing the HAPS Alliance." https://hapsalliance.org/

- [6] 3GPP, RP-193234 : "Solutions for NR to support nonterrestrial networks (NTN)," Dec. 2019.
- [7] 鈴木 淳,北之園 展,高盛 哲実,森田 靖彦,岸山 祥 久,外山 隆行,三浦 龍:"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—5G網の高速大容量バックホール回線に係 る検討—,"2021信学総大B-3-1, Mar. 2021.
- [8] 外園 悠貴, 岸山 祥久, 浅井 孝浩, 鈴木 淳, 北之園

展: "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—HAPSネッ トワーク構成と制御技術の検討—," 2021信学総大B-3-2, Mar. 2021.

- [9] ウメシュ, ほか: "O-RANフロントホール仕様概要,"
 本誌, Vol.27, No.1, pp.43-55, Apr. 2019.
- [10] NTTドコモ報道発表資料: "上空からの通信エリア化に 向けた39GHz帯の電波伝搬測定実証実験," Mar. 2021.
