

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.29 No.3 | Oct. 2021

DOCOMO Today

- COVID-19がもたらした標準化活動の変化

Technology Reports (特集)

5G evolution & 6G特集(2)

- つまむアンテナ —誘電体導波路のアンテナ応用—
- 6Gシステムレベルシミュレータ
—100GHz帯100Gbpsの超高速通信の実現に向けて—

Technology Reports

- 適正なドローン利用を実現するIoT認可技術
- トラフィック特性に応じた柔軟な
U-Plane処理を実現するCUPSの開発



COVID-19がもたらした標準化活動の変化

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミックにより、インフラとしての通信ネットワークの重要性が一般に再認識されたと感じられる。通信ネットワークでは、製造会社が異なる端末やネットワーク機器の間での情報授受の共通規約をつくる「標準化」と呼ばれる活動 [1] が不可欠である。ドコモ欧州研究所では、主に3GPP（3rd Generation Partnership Project）、ETSI（European Telecommunications Standards Institute）*1、5G-ACIA（5G Alliance for Connected Industries and Automation）*2、One6G*3などの5G高度化および将来の6Gの標準化にかかわる活動に取り組んでいる。そこで、標準化活動へのパンデミックの影響を、年6回開催される3GPP SA2（Service and System Aspects 2）会合への参加を例に紹介する。

3GPPにおける会合では提案文書（寄書）を提出し、会議期間に審議され合意されることが必要であり、他者の賛同を得ることや意見が対立した場合に妥協点を導くことが重要である。

パンデミック発生前は、主に欧州、北米、アジアなど世界各地の持ち回りで会議開催地が設定され、代表者が世界各国から一堂に会し会合が開催された。月曜朝から金曜夕方までの5日間、通常8～20時の間に3セッション並行でトピックごとに議論が行われてきた。会合の事前～現地への道中では、自分の寄書の説明準備や、他者の寄書への対応策検討を行った。会合期間中のコーヒープレイク・昼食・夕食時などには、他者との意見交換や交渉を通じ議論となった課題の解決を図り、さらに翌日に向け夜遅くまで寄書を修正することが多かった。また、並行して出張せずオフィスから支援を行うメンバとも対応を検討した。最終日終了時刻直前まで他者との議論や寄書の修正をし、空港に直行するのが常だった。

パンデミック発生後は、集合型会合開催に代わり、10（または5）営業日の期間にE-mail上で議論・審議するe-meetingと呼ばれる形式となった。図1は12日間（10営業日）開催時のスケジュール例である。

e-meeting開始後、修正期限までに各代表者は提出された寄書にコメントし、寄書提出者はコメントへの対応や寄書の更新と再提出を行う。その後、最終コメント期限までに必要に応じて賛否が議論される。なお、非営業日は各代表者の休息のためメールや寄書の更新をしないことになっている。

会合形式がe-meetingへ変化したことに伴い、以下のような問題点が発生した。



ドコモ欧州研究所 所長
くにとう ごろう
國頭 吾郎

- ・集合型会合開催時には、時間的制約から、取り扱う寄書数の制限や議長から提出寄書の厳選の依頼があったが、e-meetingでは提出済全寄書が対象となり、取り扱う寄書数が平均約25%増加した。
- ・e-meetingではE-mailが24時間飛び交い並行で議論が進み、会合期間中5営業日のE-mail数はこれまでの約10倍の5,000通程となった。集合型会合開催時にコーヒープレイクなどの数分の会話で解決できていたことまでE-mailで行うため、時間を要し、良い議論をすることが難しくなった。
- ・会場への移動が無くなったが、上記の点において人的・時間的リソースが必要となった。

このような状況下でも世界の標準化関係者は、将来の

日	10		17		25	26	27	28
曜日	月		月		火	水	木	金
時刻 (UTC)	23:59		00:00		16:00	16:00		17:00
	寄書提出期限		e-meeting開始		修正期限	最終コメント期限		e-meeting終了

図1 スケジュール例

より良い通信ネットワークの実現に向けて日々協力して取り組んでいる。

ドコモは、パンデミック発生以前から5G evolution & 6Gにより期待されるさまざまなユースケースや技術コンセプトをホワイトペーパーにまとめている [2]。パンデミックがもたらした社会観や世界観の変化は、社会・産業・経済の仕組みそのものを再定義し、さらに新たなビジネス・ユースケースを生む可能性を秘めている [3]。ドコモR&Dの一員として、5G evolution & 6G時代の新たなビジネス・ユースケース実現に向けた標準化活動に今後も貢献していきたい。

文 献

[1] 住田, ほか: “国際標準化活動の基礎知識と実践的手法

第2部 標準化実践編 第1回 標準化会議の流れと参画の心得,” 本誌, Vol.14, No.2, pp.61-68, Jul. 2006.

[2] NTTドコモ: “ドコモ6Gホワイトペーパー: 5Gの高度化と6G.”

https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html

[3] 森川 博之: “Beyond 5G/6Gへの向き合い方,” 電子情報通信学会誌, Vol.104, No.5, pp.394-397, May 2021.

*1 ETSI: 欧州電気通信標準化機構。欧州の電気通信技術に関する標準化団体。

*2 5G-ACIA: 工場自動化など産業向けユースケースへの5G技術の活用を検討するグローバルなアライアンス。

*3 One6G: 6Gに関わる技術の創出・発展を促進するため産学共同で構成された団体。

[Contents]



DOCOMO Today

COVID-19がもたらした標準化活動の変化 國頭 吾郎 1



特別寄稿

アナログとデジタル 末松 憲治 5

Technology Reports (特集)

5G evolution & 6G特集(2)



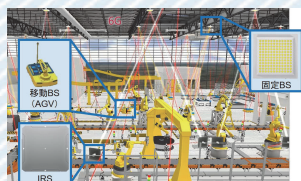
(P.7)

つまむアンテナ
—誘電体導波路のアンテナ応用— 7

ミリ波通信エリア化

誘電体導波路

アンテナ



(P.13)

6Gシステムレベルシミュレータ
—100GHz帯100Gbpsの超高速通信の実現に向けて— 13

6G

100GHz帯

システムレベルシミュレータ

Technology Reports

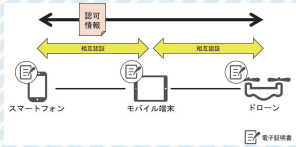
適正なドローン利用を実現するIoT認可技術

25

認証認可技術

セキュリティ

ドローン



(P.25)

トラフィック特性に応じた柔軟なU-Plane処理を実現するCUPSの開発

35

CUPS

EPC/5GC

トラフィック特性

News

2021 IEEE Communications Society
Best Tutorial Paper Award受賞

47



(P.47)

「iFデザインアワード2021」受賞

48



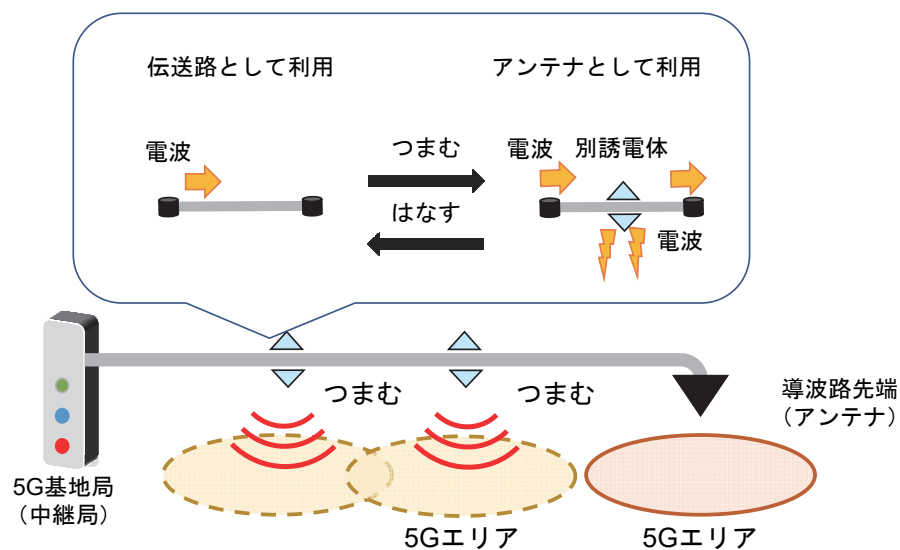
(P.48)

第32回電波功績賞「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞

49

情報通信技術委員会（TTC）2021年度
「総務大臣表彰」「TTC会長表彰」受賞

50



Technology Reports (特集) つまむアンテナ —誘電体導波路のアンテナ応用— (P.7)
つまむアンテナによる通信エリア化

アナログとデジタル

東北大学 電気通信研究所 教授 すえまつ のりはる 末松 憲治さん

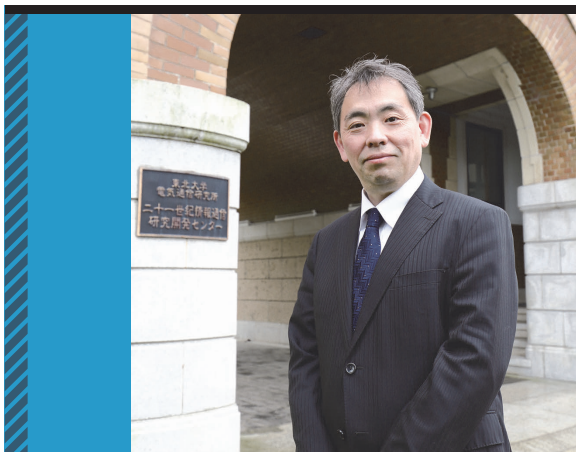
今から30年近く前、イギリスに留学する機会を得て、北部イングランドのリーズという街で1年ほど暮らしたことがあります。日本で言えば、ちょうど仙台のような規模と首都からの距離の街でした。私の留学先だったリーズ大学といえ、最近では、佳子さまが留学されたことで少し有名になりました。当時はアメリカの大学への留学、あるいはオックスブリッジ（オックスフォード、ケンブリッジのことです）への留学が主流でしたが、日本人が多すぎる、古いイギリスを感じてみたいということから、どちらかというと日本人が少ない田舎な街を選んだわけです。また、イギリスは英国病といわれ没落していくイメージである一方、日本は、国民1人当りのGDPでイギリスはおろか米国を超え [1] ピークに達していましたが、これからは次第に落ちていくであろうと考え、今後の日本の状況を考える際の参考になるのではないかと考えていました。

当時のイギリスの製造業では、自動車産業、電機産業はいずれも衰退し、また日本を含めた海外製品が市場を席捲し、日本企業が工場進出を行っている状況でした。一部の少量多品種で高付加価値の産業（ロールスロイスに代表される航空機エンジン産業など）は、かろうじて生き残っていました。一方、大学の理系の研究室には、著名な教授陣がおり、世界をリードし、各国から研究者が集まってくる状況でした。留学を通じて、産業は無くなっても学問と先端技術の研究は残るということを学びました。この学びが、私の場合、現在の大学に移ることを決めた理由の1つだったのかもしれません。

「温故知新」という言葉をよく耳にしますが、このように、過去の似たような事例から、今後を考えてみることは重要だと思います。では、本題である、アナログとデジタルについて考えてみましょう。アナログとデジタルといえ、まずは、音を考えます。日本においては、1979年に発売されたSonyのWALKMANが大成功例として語られていますが、その時代は、レコードプレーヤー、テープレコーダー、プリアンプ、パワーアンプ、スピーカ

いずれもアナログ信号を扱っていました。しかし、再生・録音、イコライザやノイズ低減などの信号処理については、デジタル化が進み、最終的には、マイクとスピーカ、パワーアンプのみがアナログとして残った状況です。映像で考えても、カメラ（レンズとCCD（Charge Coupled Device）などの受光デバイス）とディスプレイ（発光素子）はアナログあるいは、アナログとデジタルを受け渡す部分として残っています。それなりのレベルの音質や画質であれば、これらのアナログの部分に関してあまり付加価値は発生しませんが、プロ仕様ということになると大きく状況が変わり、そのコストは100倍では利かないレベルになってしまい、デジタル部をはるかに超える価値が出てきます。高ダイナミックレンジ^{*1}化を例にすると、デジタル回路の場合は、データに1bit追加すれば6dB増えますが、アナログ部のダイナミックレンジを6dB増やそうとすると、アナログ回路の出力を4倍にしないといけません。増幅器を4並列動作させると、4倍のコストがかかるわけで、それだけ、アナログ回路は重要だといえます。また、デジタル回路に比べてアナログ回路は、設計においても、製造においても、匠の技が入る余地があります。デジタル信号処理部分は、一度できてしまい成熟するとモジュール化、コモディティ化（汎用化）してしまいますが、アナログ部はつくるたびに手を加えることが可能で、そこが付加価値を生むところです。現在のスマホの、カメラ、画面や、イヤホンなどの画質・音質は、皆さんが非常に気になる場所ではないでしょうか。

この音や映像の話はスマホなどの無線機に置き換えてみましょう。無線機は、取り扱う周波数が高い（例えば、音声では最高数十kHzに対して、無線では数GHzと1万倍高い）ため、これまでデジタル化ができず、アナログリッチの構成となっていました。しかし、CMOS（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor）^{*2}プロセスの微細化とともに、GHz帯でデジタルICが動作する時代になってきました。パソコンなどのCPUのクロック周波数 [1] を



Profile

1985年早稲田大学理工学部電子通信学科卒，1987年同大学大学院博士前期課程修了。同年三菱電機入社。アナログmova，デジタルmova，FOMAの携帯電話，ETC車載器などの各種無線通信端末や衛星通信機器のRF回路の研究開発に携わった。1992～1993年英国リーズ大学客員研究員。2010年より東北大学電気通信研究所教授。大学では，ソフトウェア無線機，デジタルRFなどの無線機ハードウェア技術のほかに，耐災害に適した衛星通信技術の研究に従事。2012年信学会エレクトロニクスソサイエティ賞。信学会フェロー。

見ると，CDが本格的に使われはじめた1980年代前半では数十Hzでしたが，DVDの2000年前後では1GHz程度となり，CPUをはじめとするデジタル回路のクロック周波数の高周波化とともに，アナログからデジタルの信号処理系に置き換わってきました。ところが，2005年あたりから，CMOSの微細化は進むものの，パソコンなどのCPUのクロック周波数は数GHz以上にはならず，マルチコア化が進むことになってしまいました。標本化定理^{*3}にあるように，ナイキスト周波数^{*4}である1/2のクロック周波数までしか，アナログからデジタルへの信号処理部の変換が行えない状況となっているわけです。従って，現在でも，スマホなどの端末や，基地局の無線機は，中間周波数^{*5}やベースバンドの信号処理のみデジタルで行い，送信系では，DAC（Digital Analog Converter）でアナログ信号に変換した上で，GHz帯，さらには，sub 6GHzや28GHz帯などのNR（New Radio）の周波数帯に周波数変換する必要があるわけです。また，受信系では，NRの周波数帯の高周波信号を中間周波数やベースバンドに周波数変換し，得られたアナログ信号をADC（Analog Digital Converter）でデジタル信号化しています。本来であれば，アンテナ，高周波フィルタ，低雑音高周波増幅器，送信高周波増幅器以外は，デジタル化してしまいたいところ [3] ですが，なかなかうまくいきません。普通に考えると，現在の周波数変換器を含む構成の高周波アナログ回路で付加価値化を目指そうとするのではないかと思います。あまのじゃくな私 [4] は，ADCやDAC，高周波フィルタ，低雑音高周波増幅器，送信高周波増幅器，アンテナなどの高速化あるいは高周波のアナログ部の高付加価値化は，他の技術者の方にお任せして，低いクロック周波数のままで，アナログの周波数変換器を不要とする高周波アナログ回路のデジタル化を行い，音声や映像と同じようにデジタルリッチなハードウェア構成を目指した研究（ダイレクトデジタルRF送受信機 [5] と我々と呼んでいます）に取り組んでいます。ナイキスト周波数を超える高周波信号を，直

接DACで生成，ADCでサンプリングと量子化^{*6}する技術が実現されれば，スマホや基地局などの無線機においても，音声や映像機器のように，デジタルリッチなハードウェア構成となり，コモディティ化がさらに進むことが期待されます。

文 献

- [1] GLOBAL NOTE：“1人当たり名目GDP（IMF統計）.”
https://www.globalnote.jp/p-data-g/?dno=8870&post_no=1339
- [2] Stanford VLSI Group：“CPU DB.”
http://cpudb.stanford.edu/visualize/clock_frequency
- [3] Intel：“Intel Developer Forum 2012 Keynote, Justin Rattner Presentation,” 2012.
https://download.intel.com/newsroom/kits/idf/2012_fall/pdfs/IDF2012_Justin_Rattner.pdf
- [4] 東北大学電気通信研究所：“【通研人01】末松憲治 無線通信の未来を切り開くあまのじゃくな研究者,” YouTube, Nov. 2019.
<https://www.youtube.com/watch?v=qYNOz1sao9Q>
- [5] 末松 憲治，本良 瑞樹，亀田 卓：“ダイレクトディジタルRF技術,” 信学論, Vol.J102-C, No.11, pp.297-304, Nov. 2019.

^{*1} ダイナミックレンジ：入力された信号を歪みなく処理できる信号の範囲。

^{*2} CMOS：半導体回路の一種であり，携帯端末無線機の高周波アナログICを除く，CPUやADC，DACなどのほとんどのICがこの半導体回路である。

^{*3} 標本化定理：アナログ信号が含んでいる最高周波数の2倍より高い周波数でアナログ信号を標本化すると，標本化により得られたデジタル信号から元のアナログ信号を完全に再生できるという定理である。

^{*4} ナイキスト周波数：標本化する際の周波数の1/2の周波数のこと。標本化定理より，デジタル信号から再生できるアナログ信号の最高周波数となる。

^{*5} 中間周波数：搬送波（キャリア）周波数よりも低い周波数。無線通信システムの多くでは，ベースバンドの送信信号を直接RF周波数に変調（受信RF信号を直接ベースバンド信号に復調）せず，中間周波数に変換した後に変調する。

^{*6} 量子化：連続したアナログ量を離散的なデジタルの値で近似すること。

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

つまむアンテナ —誘電体導波路のアンテナ応用—

6G-IOWN推進部

ふくだ 敦史
福田 敦史おかざき ひろし
岡崎 浩司かわい くにひろ
河合 邦浩やまもと ひろと
山本 大斗すずき やすのり
鈴木 恭宜

無線アクセス開発部

5G時代で利用され、また6G時代で利用が検討されている高周波数帯（ミリ波帯）の通信エリアを、簡単かつ経済的に構築または拡大する方法を提案する。提案方法では、高周波数帯用伝送媒体である誘電体導波路の一部より電波を放射させ、その周囲を通信エリア化する。誘電体導波路上の任意の場所から電波を放射できるため、場所や環境に応じたさまざまな通信エリアを迅速に構築できる。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）の商用サービスが2020年3月に開始された。5Gでは、移動通信システムとしては初めて、28GHz帯という高周波数帯を利用した広帯域高速通信が実用化された [1]。28GHz帯の利用は今後拡大することが予想される。

一般に高周波数帯では、伝搬距離に対する伝搬損失^{*1}が大きくなることが知られている [2]。加えて、基地局と端末の間が見通し外（NLOS：Non-Line-Of-

Sight）^{*2}となる通信環境では、高周波数帯の電波は電波遮蔽物の影響を受けやすいため端末への受信電力が大幅に低下し、低周波数帯の場合よりも通信エリアが狭くなることが懸念される。そのため、5Gおよび、28GHz帯以上の高い周波数での利用が検討されている第6世代移動通信システム（6G）において、高周波数帯の無線通信における高速大容量化を追求する際には、基地局と端末が見通し内（LOS：Line-Of-Sight）^{*3}となる通信環境を確保することが必要と考えられている [3]。

©2021 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

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

*1 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。

*2 見通し外（NLOS）：送受信間に遮蔽物があり、反射波や回折波などでしか通信できない状態。

*3 見通し内（LOS）：送受信間に遮蔽物がなく、直接波を使用した通信が主となる状態。

例えば、今後需要が見込まれる工場内でのIoT化などにおける5Gの適用は、低遅延や大容量伝送といった観点で期待が大きい。一方で、工場内は人間や機械のような電波遮蔽物が多くNLOS環境になりやすいばかりか、これらの電波遮蔽物が移動することも想定され、また、生産ラインの変更などに伴うレイアウト変更も発生する。これらによる通信環境の変動に対して、迅速にかつ経済的にLOS通信環境を提供する方法が必要となる。

LOS通信環境を確保する方法の1つとして、基地局アンテナを分散配置するとともに、基地局アンテナから放射される電波の指向性^{*4}を制御することが挙げられる。この方法はLOS環境を確保するだけでなく、周波数利用効率^{*5}を改善し、システム全体の通信容量を改善することも期待できる [3]。しかし、アンテナ設置場所やアンテナまでの給電経路の確保が難しい場合には適用し難く、分散するアンテナの増加に伴う設置コスト増も課題となる。

本稿で提案するLOS通信環境確保に向けた方法は、高周波数帯用の伝送媒体として使用されている誘電体導波路（以下、導波路）の一部から電波を漏洩させ、これにより放射された電波で周囲を通信エリア化することである。電波を漏洩する導波路を漏洩導波路と呼ぶ。この漏洩導波路は、地下街やトンネルなどの通信エリア化のために利用されている漏洩同軸ケーブル（LCX：Leaky-Coaxial-Cable）^{*6}と同類であり、高周波数帯で損失が大きいLCXの高周波数対応版といえる。また、漏洩導波路ではLCXに

は無い新たな使い方を提供する。LCXでは同軸ケーブルの外部導体にあらかじめ設けられた隙間から電波が漏洩するため、一度敷設したLCXの電波漏洩場所の移動はできない。一方、提案の漏洩導波路では漏洩場所を自由に選択できる。本稿では、提案する漏洩導波路を具体化した「曲がるアンテナ」および「つまむアンテナ」について概説するとともに、漏洩導波路による動作の確認を目的として行った、60GHz帯動画伝送システムを用いた実証実験について解説する。

2. 導波路のアンテナ応用

2.1 導波路

高周波数帯の信号を伝送する媒体としては、(a)導波管、(b)同軸ケーブル、そして(c)導波路が用いられることが多い（写真1）。

(a)導波管は、誘電体^{*7}または空気の周囲を導体で囲んだ断面形状をもち、衛星地球局などで利用されている。導波管は、断面形状によって対応周波数帯が決まり、それより高い周波数の電波を伝送できるが、対応周波数帯が低いものはその断面が太く、また容易に曲げることはできないため取回しの際に制約が生じる場合がある。

(b)同軸ケーブルは、中心導体と外部導体が同心円状に配置された断面形状をもち、直流から高周波数帯まで多く利用されている。両導体間には誘電体が充填されているものが一般的である。



(a)導波管



(b)同軸ケーブル



(c)導波路

写真1 高周波数帯の信号を伝送する媒体の例

^{*4} 指向性：空間中に放射された電波の方向と強度を示す指標。
^{*5} 周波数利用効率：単位時間、単位周波数当たりで伝送できる情報ビット数。
^{*6} 漏洩同軸ケーブル（LCX）：外導体上に設けられた隙間から電波を漏洩する仕組みを有する同軸ケーブル。

^{*7} 誘電体：直流電流が流れない絶縁体。プラスチックなどが含まれる。

外部導体により電波漏洩が少なく、また細めのケーブルは、ある程度の柔軟性があることが特長となるが、高周波数帯での損失が導波管よりも高いため、主としてマイクロ波以下の周波数帯で利用される。外部導体に隙間を設けたものはLCXと呼ばれ、隙間から電波が放射されることで地下街やトンネルなどの電波不感地帯の通信エリア化がなされている。

- (c)導波路は、棒状の誘電体の周囲を、異なる誘電率^{*8}を有する誘電体で囲んだ構造であり、内側の誘電体の誘電率を周囲よりも高くすることで、主に内側誘電体に高周波数帯電波を閉じ込めて伝送する。なお、本稿で用いた導波路は、内側誘電体を比誘電率^{*9} 2.1のポリテトラフルオロエチレン（PTFE：Poly Tetra Fluoro Ethylene）^{*10}、外側誘電体を比誘電率がほぼ1.00の空気としている。電波は誘電体中を伝搬する際に損失を受け、その損失は一般に周波数が高くなるほど増加するが、同軸ケーブルでの損失増加よりは小さいため、高周波数帯の伝送媒体として利用されている。

ドコモは、高周波数帯でLOS通信環境を確保する手段として、導波路の高周波数帯での低損失伝送特性を利用し、端末周辺で電波を放射させることで、無線伝送距離を最小化しNLOS通信環境をなるべく生じさせない構成の検討を行っている。これまで導波路からの電波の放射原理、すなわち導波路のアンテナ応用に関しては、導波路を屈曲させ、屈曲部より電波を放射させる曲がるアンテナと、導波路を別の誘電体で挟むことでそこから電波を放射させるつまむアンテナを提案している。以下、両アンテナについて解説する。

2.2 曲がるアンテナ

導波路の屈曲部では電波が外部に放射される現象が起こり、その分の電力損失が生じる。しかし、導波路本来の利用目的は伝送媒体として電波をできるだけ低損失で遠くに届けることにある。よって、これまで導波路は極力曲げないように利用されてきた。一方、図1に示すように屈曲時の放射現象をアンテナとして積極的に利用したものが曲がるアンテナである[4]。導波路は曲げやすい素材で製造できるこ

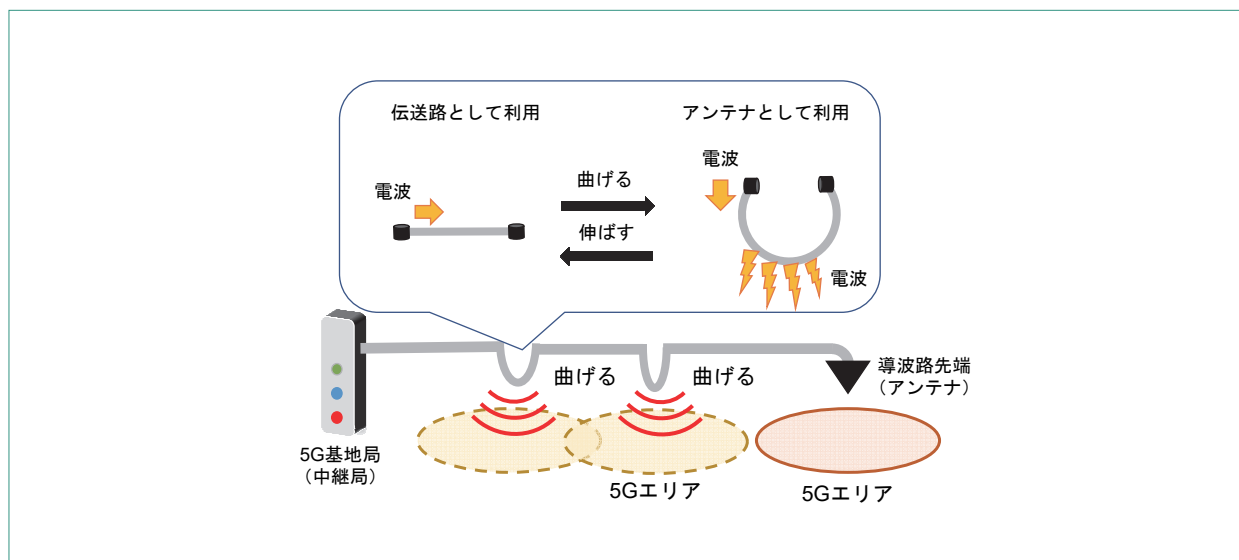


図1 曲がるアンテナによる通信エリア化

*8 誘電率：誘電体の分極のしやすさを示す指標。

*9 比誘電率：真空の誘電率を1とした場合の、物質の誘電率の比を表す指標。

*10 ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）：フッ素原子と炭素原子で構成されるフッ素樹脂。

とから、図1に示すように放射したい場所で導波路を屈曲させることで、導波路に沿った任意の場所で電波を放射し、通信エリア化を行うことができる。また、屈曲を解除し、まっすぐにすれば放射現象は生じないことから、いつでも電波の放射を停止し、通信エリアを解除することもできる。なお、曲がるアンテナの屈曲部構成には一定の導波路長が必要であることから、長さに余裕をもった導波路敷設が必要となる。また繰返しの曲げ、伸ばしによる導波路の特性劣化などに注意する必要がある。

2.3 つまむアンテナ

導波路に別の誘電体（以下、別誘電体）を付加することで、導波路中を伝搬する電波の一部を別誘電体に誘導できる。そして、図2に示すように、別誘電体から電波が放射される現象をアンテナに応用したものがつまむアンテナである。つまむアンテナも、曲がるアンテナと同様につまむ場所を自由に選ぶことができるため、図2に示すように導波路に沿った任意の場所で電波を放射し、通信エリア化を行う。また、つまみをはなすことで、放射現象が生じない

ことから、いつでも電波の放射を停止し、通信エリアを解除することができる。なお、つまむアンテナの放射箇所からは電波を受信することもできる。加えて、つまむアンテナは導波路上に別誘電体を取り付けるだけでよく、設置性に優れている。

3. 導波路アンテナの実証実験

つまむアンテナによる電波の放射現象を確認する目的で、実証実験を行った。実証実験には市販のSHARP社製無線HDMI（High-Definition Multimedia Interface）送受信ユニット（VR-WH1）を用いた。主な無線仕様を表1に示す。本ユニットは、60GHz帯を使用するWireless HD規格の無線送受信ユニットで構成される。送信機は60GHz帯の広帯域幅（1.76GHz）を使用し、入力されたHDMI信号を電波に変換して送信し、受信機は受信電波からHDMI信号を生成する。今回の実験では、送信機から一度空間に放射された電波を導波路に入力し、つまむアンテナから放射し、受信する構成とした。

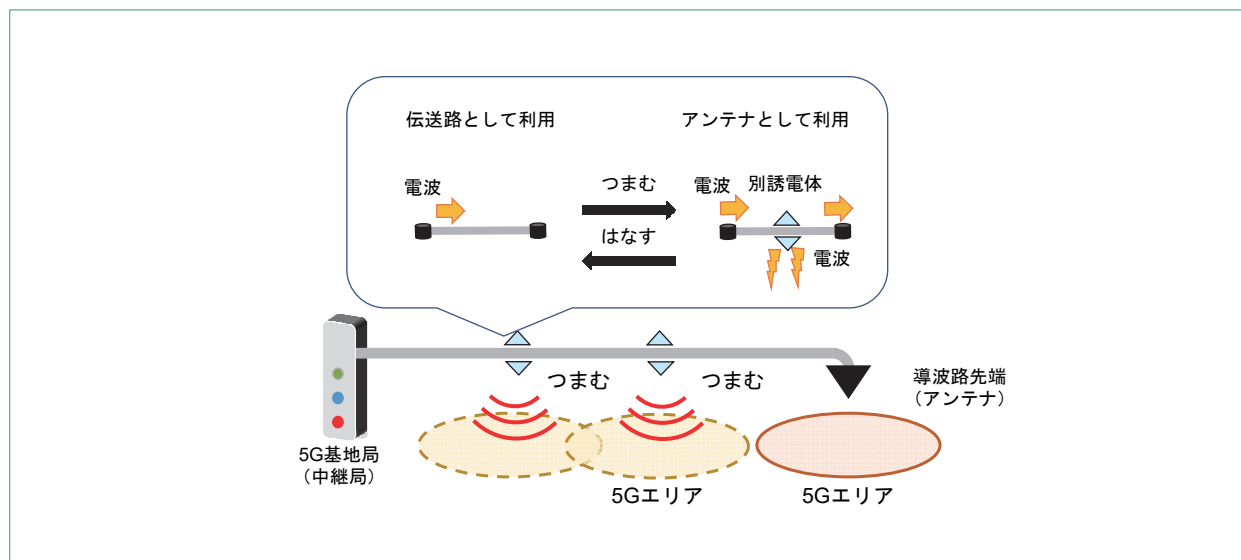


図2 つまむアンテナによる通信エリア化

3.1 つまむアンテナを用いた動画伝送実験

実験系ブロック図を図3に示す。PCにて動画を再生し、HDMI信号を出力する。出力されたHDMI信号は分配され、1つは送信モニタに、もう1つは送信機に入力される。送信モニタではPCで再生された動画が確認できる。また、送信機ではHDMI信号を60GHz帯の電波に変換し、導波路に入力する。つまむアンテナから放射された電波は受信機に入力され、受信機にてHDMI信号に変換される。受信機より出力されたHDMI信号を受信モニタに入力することで、受信映像を確認できる。なお、つまむアンテナの別誘電体を市販の洗濯ばさみの先端に取り付けた。

洗濯ばさみでつまむ前の送信モニタ、受信モニタの様子を写真2(a)に、洗濯ばさみでつまんだ後の送信モニタ、受信モニタの様子を写真2(b)に示す。写

真2(b)から、洗濯ばさみで導波路をつまむことで、別誘電体が導波路に取り付けられ、別誘電体から電波が放射されるようになり、受信機に放射された電波が受信されたことで、接続する受信モニタに送信モニタと同じ映像が確認できる。写真2(a)のように洗濯ばさみでつままなければ、電波の放射はされず、電波の受信もされないため、受信モニタには何も表示されないことも確認できる。

写真2(b)の洗濯ばさみでつまんだ後に、放射部と受信部の間に電波遮蔽板を置いた場合の送信モニタ、受信モニタの様子を写真3に示す。電波遮蔽板により放射部と受信部の間がNLOS環境となり、電波が受信されず、写真3(a)のように受信モニタには何も表示されない。このような場合でも、つまむアンテナでは、導波路上の別の任意の箇所をつまむことで

表1 無線HDMI送受信ユニットの主な無線仕様

準拠規格	Wireless HD 1.1
伝送方式	HRP/LRP
中心周波数	60.48GHz (Ch2) 62.64GHz (Ch3)
バンド幅	1.76GHz

HRP : High Rate PHY

LRP : Low Rate PHY

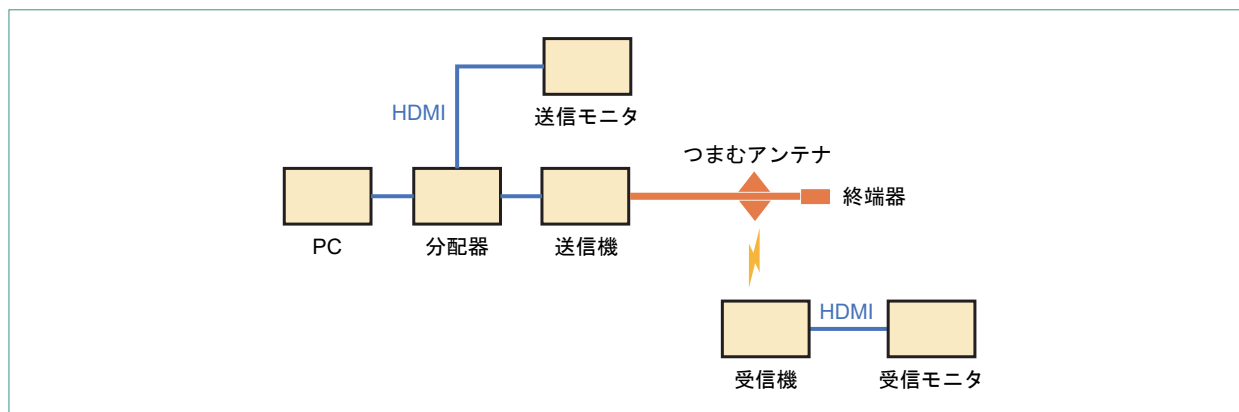
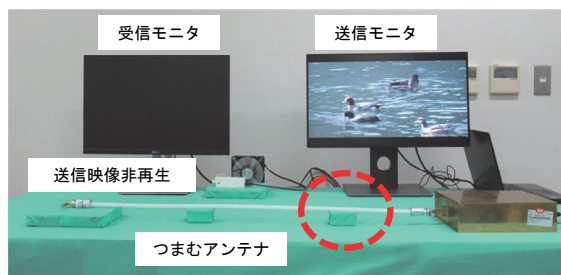
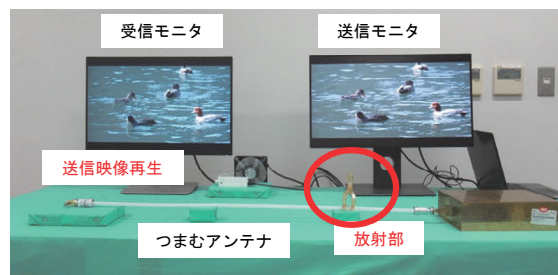


図3 実証実験系ブロック図

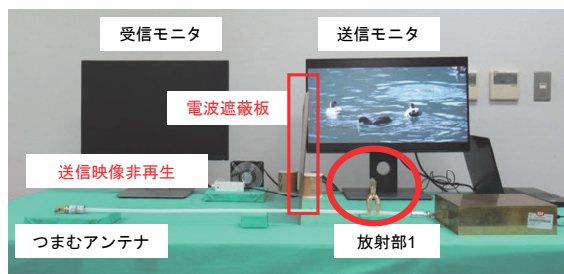


(a)別誘電体取外し時（つまむ前）

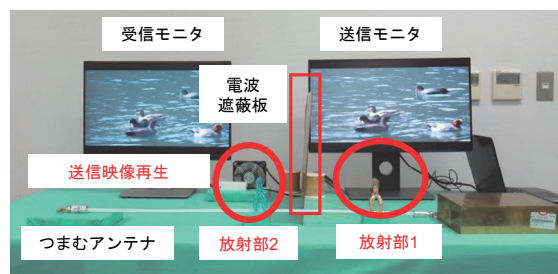


(b)別誘電体取付け時（つまんだ後）

写真2 つまむアンテナからの電波放射による映像伝送実験



(a)遮蔽板設置時（放射部1カ所）



(b)遮蔽板設置時（放射部2カ所）

写真3 つまむアンテナによる電波遮蔽物回避の様子

電波を放射でき、また複数箇所をつまむことができる。写真3(b)に示すように、導波路上で放射部と受信部の間がLOS環境となる場所をつまむことで電波が受信され、受信モニタと送信モニタとで同じ映像が確認できるようになる。また、電波遮蔽物が動いた場合でも、つまむ場所を変えることで簡単にLOS環境を構築できる。

4. あとがき

本稿では、高周波数帯用の伝送媒体である導波路について述べ、これをアンテナに応用し、フレキシブルな通信エリア化が可能な曲がるアンテナおよびつまむアンテナについて解説した。今後は実環境に

おける通信エリア化検証を行っていく予定である。

文 献

- [1] 古城，ほか：“5G商用サービス概要，”本誌，Vol.28，No.1，pp.6-10，Apr. 2020.
- [2] 今井，ほか：“5Gのための電波伝搬，”本誌，Vol.23，No.4，pp.40-48，Jan. 2016.
- [3] NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G，”第3版，Feb. 2021.
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html
- [4] K. Kawai, T. Takada, A. Fukuda, H. Okazaki and S. Narahashi：“A new area formation approach for millimeter wave communication systems employing a dielectric waveguide,” Proc. of the 45th European Microwave Conference, pp.1088-1090, Sep.2015.

6Gシステムレベルシミュレータ —100GHz帯100Gbpsの超高速 通信の実現に向けて—

6G-IOWN推進部

おくやま たつき すやま さとし
奥山 達樹 須山 聡
のなか のぶひで あさい たかひろ
野中 信秀 浅井 孝浩

6Gでは、5Gで導入されたミリ波帯に加え、100～300GHz帯までをターゲットにした、いわゆるテラヘルツ波も活用しピークデータレートとして100Gbps超の超高速通信が期待されている。すでにドコモでは、6Gにおけるテラヘルツ波の活用に向けた研究開発が開始されており、将来的には実験装置を用いた実証実験も行われると想定されるが、現状の初期検討段階では、100Gbpsの超高速通信に関しては、シミュレーションによる性能評価により、テラヘルツ波を活用したシステム性能向上の可能性を示すことが求められる。そこでドコモでは、開発した100GHz帯を用いるシステムレベルのリアルタイムシミュレータを活用し、屋内環境における2種類のシナリオにおいて、多数のユーザが存在する環境下でユーザ当たり100Gbps超のスループットを達成できることを明らかにした。本稿ではその詳細について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）は世界的に商用導入が進められているが、サービスが普及するにつれ、5Gにおける課題や、5Gのさらなる進化に対する期待も生じている。5Gでは、Sub6^{*1}帯や、28GHz帯といったミリ波^{*2}帯を用いたサービスが展開され、

特に28GHz帯は、日本では400MHzと広い帯域幅を割り当てられており、100MHz幅であるSub6と比較して高いデータレートが提供できる。

一方、米国の連邦通信委員会が95GHz～3THzのミリ波より高い周波数帯を、第6世代移動通信システム（6G）のトライアル向けに開放するなど、昨今6Gに向けて高周波数帯を活用する機運が高まり

©2021 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

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

*1 Sub6：周波数帯域の区分の1つ。3.6GHzから6GHzの周波数をもつ電波信号。

*2 ミリ波：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数をもつ電波信号。

つつある。これらの高周波数帯の利用に向けて、無線技術の検討やデバイスの開発が進められている[1]～[3]。しかし、これらの実現には、高周波数帯の利用によるシステム性能の向上の可能性を早期に明らかにする必要がある。研究開発が進むにつれて実験装置を用いた実環境での性能評価も必要となる。ただし、装置開発には相応の時間を要することから、初期の検討段階では実環境での評価は容易ではなく、シミュレーションによりテラヘルツ波^{*3}を用いることで、どの程度の通信速度が達成できるか、性能を示すことが求められる。そこで、ドコモは6Gによる超高速通信の実現性を実環境に近い環境で明らかにすることを目的に、システムレベルシミュレータ^{*4}を開発した。ショッピングモールと工場を模擬した2種類のシナリオにおいて、静止あるいは移動する端末（MS：Mobile Station）が混在する中で、前述の95GHz～3THzの周波数帯から一例として100GHzを利用したときのMS当りの下りリンクのスループットを評価した。

本稿では、シミュレーションにより、6Gの実用化に向けて、帯域幅8GHzの超広帯域^{*5}伝送で、MS当り100Gbpsのスループットを実現できることに加え、ドローン基地局（BS：Base Station）やIRS（Intelligent Reflecting Surface）^{*6}を活用することで100GHzの大きな伝搬損失^{*7}を補償しつつ、100Gbpsを達成可能なMS数を増やせることを解説する。

2. 6Gに向けた高周波数帯の開拓と新たな無線通信技術

6Gでは、5Gの高速・大容量、低遅延、多数端末同時接続に収まらない新しい組合せの要求条件や、5Gでも達成困難な究極の超高性能を必要とするユースケースが想定される[3]。具体的には、6Gによ

り通信速度をさらに向上させ、100Gbpsを超える「超高速・大容量通信」により、現実の五感による体感品質と同等、もしくはそれを超えるような新体感サービスが実現されると考えられる。また、現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などをエリアカバーとする「超カバレッジ拡張」、今後のミリ波・テラヘルツ波開拓におけるビット当りの「超低消費電力・低コスト化」、また、1ms以下のE2E（End to End）での超低遅延実現、高信頼性や高セキュリティを実現する「超高信頼通信」が期待される。加えて、6G時代にはkm²当り1000万デバイスの「超多接続」や、無線通信の電波を用いてMSのcm精度で超高精度な測位を行うなどの実世界を「センシング」する機能を備えることも想定される[4]。

6Gでは、テラヘルツ波において5Gと比較して飛躍的に広い信号帯域幅が利用できるため、100Gbpsを超える超高速通信の実現が期待される。しかし、テラヘルツ波は、従来のミリ波よりもさらに電波の直進性が高まり、伝搬損失が大きくなることにより、遠くへ飛ばなくなる技術課題がある。そのため、テラヘルツ波における電波伝搬特性^{*8}の明確化やモデル化、それに基づいた6G無線アクセス技術の確立、そして、これらの高周波数帯での無線デバイス技術の進展が重要である。

現在の移動通信ネットワークでは、通信事業者が設置したBSでエリアをカバーする固定的なネットワークトポロジーが主流である。一方、6Gでは、高周波数帯でのカバレッジ確保や接続性の向上を考え、MS周囲の複数アクセスポイントが協調して最適なパス選択やダイバーシチ^{*9}送受信を行う、より高密度なネットワーク構成の分散ネットワーク高度化技術（New Radio Network Topology）が必要である[3]。New Radio Network Topologyでは、街灯、照明など、既存オブジェクトの通信のアンテナへの

^{*3} テラヘルツ波：1THz前後の電磁波の呼称。100GHzから10THzの周波数を指すことが多い。

^{*4} システムレベルシミュレータ：基地局と端末間の振舞いをシミュレーションするリンクレベルシミュレーション（^{*15}参照）に対し、システムレベルシミュレーションは基地局と端末が複数存在する環境にて、通信端末の選択や電波伝搬環境に基づく品質制御などを組み込んだ評価方法。

^{*5} 超広帯域：100MHz以上の帯域幅のこと。日本では、28GHz帯において400MHzの帯域幅が5G無線通信用に割り当てられた。

^{*6} IRS：メタマテリアルとよばれる波長に対して微小な構造物を

平面的に配置し、反射波の方向やビーム形状を任意に設計できる反射板。

^{*7} 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。

^{*8} 電波伝搬特性：伝搬損失、電力遅延プロファイル、角度プロファイルなどの特性を指す。

^{*9} ダイバーシチ：MIMOアンテナを用いて通信の質や信頼性の向上を図る技術の総称であり、特に閉ループ型でないもの。

利用, IAB (Integrated Access and Backhaul)^{*10}や高周波数帯向けリピータ^{*11}などの無線中継技術の高度化, 反射強度や指向性^{*12}を動的制御可能なIRS, MS間連携, 移動するBSなど, いろいろ検討の余地がある。また, 6GではMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*13}の高度化も重要な技術領域であり, さらなる多素子化およびストリーム数の増加(多レイヤ化)が進むとともに, New Radio Network Topologyと組み合わせた分散型アンテナ配置のMassive MIMOである分散MIMO^{*14}も有望である。

3. 高周波数帯活用に向けた 6Gシステムレベルシミュレータ

3.1 シミュレータの概要

ドコモホワイトペーパーや本誌特集記事 [3] [4] で記載された6Gの要求条件や技術コンセプトを実証し, テラヘルツ波の可能性を示すためには, 最終的に実機を活用した実環境での評価が重要であるが, 無線デバイス技術の成熟や装置開発には相応の時間を要する。一方, テラヘルツ波活用の可能性の検証は早期に実施していく必要があるため, シミュレーションを活用して100Gbps超の超高速通信の実現可能性を評価することが重要である。すでに, リンクレベルシミュレーション^{*15}により100GHz帯で100Gbps以上のスループットが達成できることが示されているが [5], より現実に近い環境でもテラヘルツ波の有用性を確認するため, 100GHz帯6Gシステムレベルシミュレータを開発し, これにより伝送性能評価を行った。

本シミュレータでは, 28GHz帯と同等のアンテナサイズとし, 送信電力を5Gと同一にするという拘束条件の下, テラヘルツ波を適用することとしてい

る。テラヘルツ波を用いることでアンテナ素子数(以下, 素子数)を大幅に増加させることができ, このことで高いBF (BeamForming)^{*16}利得が得られるため, テラヘルツ波の大きな伝搬損失の補償が期待できる。本シミュレータでは, それが可能かどうかを検証する。また, 前述のNew Radio Network Topologyの検証の一貫としてIRSや移動BSを実装し, 遮蔽による損失に対する改善効果を確認できる。

本稿では, 屋内環境であるショッピングモールと工場の2つのシナリオにおいて, ユーザスループットを評価し, 100Gbps超のスループットの実現可能性を示す。

3.2 シミュレータの機能

本シミュレータでは, ミリ波帯を活用する5Gと100GHz帯を活用する6Gの性能を比較する。前述した屋内の2シナリオにて, あらかじめ設定した位置に固定局のBSを複数台設置し性能評価を行う。6Gの性能評価では, 固定局のBSに加え, 特定の経路上をドローンBSや小型車両型のBSが移動しながら通信を提供する。また, これまでの人が所有するデバイスの通信に加えて, 将来の高度化されたロボットによるサービス提供を想定し, MSとして人およびロボットを配置した。さらに, 歩行速度で移動するMSと静止MSの混在とした。

テラヘルツ波はミリ波と比較してより一層伝搬損失や遮蔽損失の影響が大きくなる。そのため, 本シミュレータではBSとMSの位置関係, また, BSとMSの間の遮蔽物の有無に応じて, 伝搬損失および遮蔽損失を算出した上で, 各MSの受信電力を決定し, その受信電力に基づき, 各BS(固定, ドローン, 移動, IRS)と通信するMSを決定する。なお, IRSを利用する場合は, BSからIRS, IRSからMSまでの経路長を用いて遮蔽損失を算出する。評価の簡易

^{*10} IAB: 5G無線通信をバックホールの通信にも適用し, 柔軟かつ安価なネットワーク設計・展開を図り, 高速大容量サービスを広いエリアで実現することを目的とした技術。

^{*11} リピータ: 基地局からの下り受信信号を電力増幅して端末への送信を行う物理層の中継機器。

^{*12} 指向性: アンテナの放射特性の1つで, アンテナからの放射強度(あるいは受信感度)の方向特性のこと。

^{*13} Massive MIMO: 送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送方式において, より多くのアンテナ素子で構成される超多素子

アンテナの採用により, 高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や, より多くのストリームの同時伝送を実現する技術。これらにより, 所望のサービスエリアを確保しつつ, 高速なデータ通信を実現する。

^{*14} 分散MIMO: 複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つのユーザ端末に送信してMIMO伝送を行う技術。

^{*15} リンクレベルシミュレーション: 送信機・受信機の機能, および, それらの間の無線伝搬路の物理的な振る舞いをモデル化したもので, 送信から受信までの一連の機能や性能の試験に適用される。

化のため、IRSによる反射方向の制御は理想的に動作するものと仮定し、評価上ではIRSを仮想的に固定BSとみなしてBFを行うようにしている。そして、以上から算出される受信電力に基づき、遅延なくMSと通信するBSが切り替わるものとした。

複数MSに対して通信を提供する上で、BSは、無線リソース^{*17}割当てのスケジューリング、送信ウェイト^{*18}生成、ランク制御^{*19}、変調多値数^{*20}の決定を行っている。スケジューリングでは、時間はスロット単位で、周波数はRB (Resource Block)^{*21}単位で、PF (Proportional Fairness)^{*22}アルゴリズムに基づき実施する。MSおよびRBごとにPFメトリック^{*23}を算出し、最大のPFメトリックを有するMSとRBの組合せに対してリソース割当てを実施する。ただし、本シミュレータでは再送を実施しないため、再送制御をメトリック算出には利用しない。

リソース割当て後、RB内で推定した平均SINR (Signal to Interference plus Noise power Ratio)^{*24}に応じて変調多値数を決定する。そして、スロット

ごとに各BSは1台のMSと通信し、BSは送信可能なレイヤ数に応じて最大8レイヤまで伝送する。このとき、システムレベルシミュレーションにおける計算速度高速化を目的に、伝搬チャネル^{*25}のエルミート転置^{*26}の列方向の要素を、ランク数で平均化した送信ウェイトを利用する。

MSは、伝搬チャネルを用いたMMSE (Minimum Mean Squared Error)^{*27}ウェイトにより送信信号を推定する [6]。この推定信号のブロック誤り率および受信SINRを算出し、スループットを計算する。

3.3 評価シナリオ

本稿では、ショッピングモールおよび工場を模擬したシステムレベルシミュレーションを実施する。これらのシミュレーションでは、マルチパスレイリーフェージング^{*28}に基づき伝搬環境を構築している。

(1) ショッピングモールシナリオ概要

ショッピングモールシナリオを図1に示す。ショッ

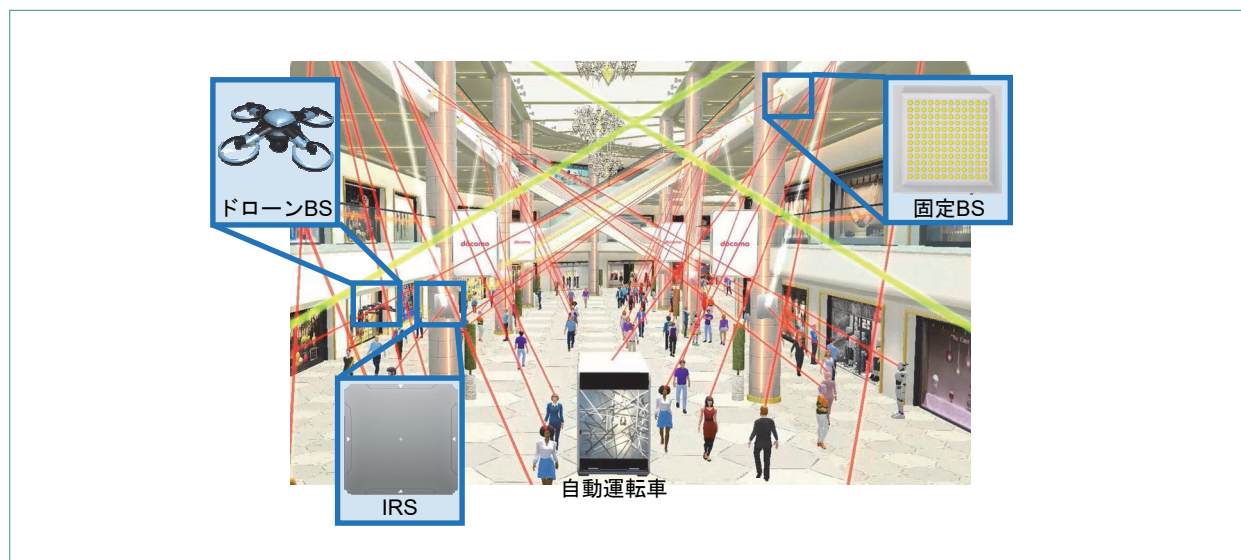


図1 ショッピングモールシナリオでの評価環境

^{*16} BF: 複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加/減少させる技術。

^{*17} 無線リソース: 無線通信を行うために必要なリソース (無線送信電力、割当て周波数など) の総称。

^{*18} 送信ウェイト: 複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加/減少させるための送信重み係数。

^{*19} ランク制御: 無線伝搬路の状況に応じて空間多重ストリーム数を適応的に変化させる方法。空間多重に必要な固有空間の数

(ランク) が大きな伝搬環境の場合は、高いスループットを得られるように、空間多重ストリーム数を大きくする。

^{*20} 変調多値数: データ変調における信号位相点の数。例えば、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) の場合は4、16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) の場合は16である。

^{*21} RB: 無線リソースを割り当てるスケジューリングを行う際の周波数の割当て単位。

^{*22} PF: 複数端末の公平性を考慮した無線リソース割当て技術。

ピングモールシナリオでは、2階建ての建物で、吹抜けの通路の側面にショップが並ぶ環境としている。ただし、簡易化のため、ショップ部は壁面として扱う。MSである人やロボット、自動運転車はすべて1階で静止、あるいは移動している。固定BSについては2階天井部の壁側面に設置する。また、6Gを想定した評価では、IRSやドローンBSを設置した。IRSについては、柱や通路に飛び出している看板による遮蔽の影響を緩和する目的で柱に設置し、固定BSの電波を所望方向に反射させる。ドローンBSは2階通路下部のMSに対して通信を提供するために、2階通路下部の上空を定期的に往復させる。本評価では、ドローンBSのバックホール^{*29}は理想的に構築されているものとした。

(2)工場シナリオ概要

工場シナリオを図2に示す。工場シナリオでは、ショッピングモールと異なり大型の箱型の環境を想定する。内部に作業用のベルトコンベアや荷物運搬用のクレーン、また、無人搬送車（AGV：Auto-

matic Guided Vehicle）が存在する環境としている。本環境では、人、ロボット、AGVがMSとなる。固定BSを天井に設置し、クレーンなどで遮蔽され得る場所に位置するMSへ電波を届けられるようIRSを壁や柱に設置した。また、本環境はショッピングモールシナリオでの天井部のような遮蔽は無く、上空方向からの電波は固定BSでまかなえると考えられるため、ドローンBSの効果は得られにくい。そこで、地上のAGVの一部を移動BSとして扱うこととした。移動BSのバックホールは、ドローンBSと同様に理想的に動作する。

4. テラヘルツ波利用による100Gbps超スループットの性能評価

4.1 シミュレーション諸元

シミュレーション諸元を表1に示す。5Gでは中心周波数^{*30} 28GHz、帯域幅400MHzとし、6Gでは100GHzの中心周波数で帯域幅8,000MHzの超広帯域

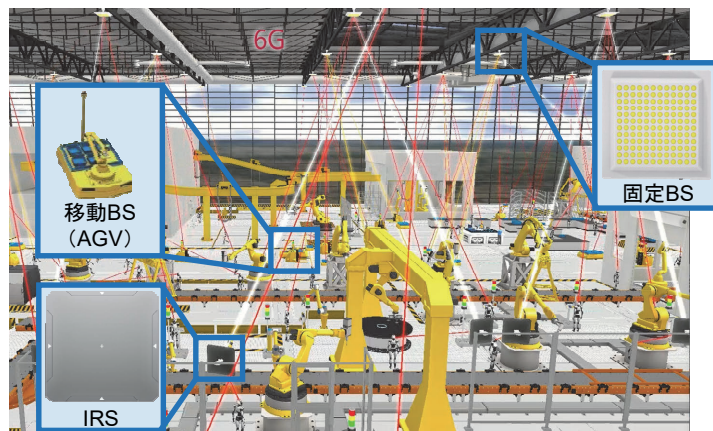


図2 工場シナリオでの評価環境

^{*23} メトリック：数値的な指標をいう。ここではPFアルゴリズムにおいて、瞬時の通信品質の値（受信電力など）を一定期間で平均した通信品質の値で除算した値。

^{*24} SINR：所望波信号の受信信号電力と、それ以外の干渉波信号と雑音電力の和の比。

^{*25} 伝搬チャネル：無線通信の個々の通信路。ここでは各送受信アンテナ間の通信路。

^{*26} エルミート転置：各行列成分が複素数である複素行列の行と列を転置後、各成分の共役をとること。

^{*27} MMSE：平均二乗誤差を最小とるように信号を復調する方法。

^{*28} マルチパスレイリーフェージング：送信点から放射され複数の伝送路（マルチパス）を通った電波が受信点で合成されることにより、移動する受信点での受信レベルが激しく変動する現象をマルチパスフェージングと呼ぶ。特に見通しがない伝搬環境では、統計的な変動分布をレイリー分布で近似できることが知られている。

^{*29} バックホール：コアネットワークから無線基地局への接続回線を指す。

^{*30} 中心周波数：あるバンドにおける通信帯域の中心となる周波数。

表1 シミュレーション諸元

	ショッピングモール		工 場	
通信システム	5G	6G	5G	6G
中心周波数	28GHz	100GHz	28GHz	100GHz
帯域幅	400MHz	8,000MHz	400MHz	8,000MHz
固定BS素子数 (縦×横×サブアレー)	392 (7×7×8)	4,608 (24×24×8)	128 (4×4×8)	1,152 (12×12×8)
ドローンBS素子数 (縦×横×サブアレー)	－	1,024 (8×8×8)	－	－
移動BS素子数 (縦×横×サブアレー)	－	－	－	228 (6×6×8)
BS数	10	固定：10, 20 ドローン：4 IRS：12	12	固定：12, 25 移動：3 IRS：12
BS総送信電力	30dBm	固定：30dBm ドローン：15dBm	30dBm	固定：30dBm 移動：15dBm
BS素子間隔	0.5λ			
BS素子利得	5dBi			
MS素子数	32（オムニアンテナ）			
MS数	100（移動：70, 静止：30）		100（移動：50, 静止：50）	
MS素子利得	0dBi			
移動速度	3km/h			
チャネル推定	理想			
最大レイヤ数	8			

伝送を行うものとしている。5G、6G共に素子間隔は0.5 λ とする。このとき、5Gと6Gで固定BSのアンテナパネルサイズは同等であると仮定し、6Gは5Gの約10倍の素子とした。BSは8つのサブアレー^{*31}で1枚の平面アレー^{*32}を構築するものとし、各サブアレーで1つのアナログビームを形成する。ただし、ビーム方向は各BSで1台のMSを向くようにしており、また、各BSは1台のMSのみを収容するSU (Single User) -MIMO^{*33}となっている。送信電

力は、素子数によらず一定とし、固定BSは30dBm、ドローンBSや移動BSは15dBmとした。MSは利得のないオムニアンテナ^{*34}を32素子有するとし、複数素子によるダイバーシチ利得をMS利得としている。また、MSを評価環境に100台存在させ、それらのうち、ショッピングモールで70台、工場で50台が、常に時速3kmで決められたルートを移動するものとしている。送信レイヤ数については、MS当り1, 2, 3, 4, 8個の候補から伝搬環境に応じて通信

^{*31} サブアレー：回路規模の縮小などを目的に、 N 個のアンテナ素子をもつMassive MIMOにおいて、 L 本のビームを生成する場合に、 N 個の素子を共用し L ビーム生成するフルアレーと呼ばれる構成に対し、 N/L 個の素子で1つのビームを生成する構成を指す。

^{*32} 平面アレー：Massive MIMOアンテナにおいて、多素子を2次元に配置したアレー構造。

^{*33} SU-MIMO：1ユーザを対象に基地局および端末間で複数のアンテナで複数の信号系統を送り、多重化して送信する技術。

^{*34} オムニアンテナ：無指向性アンテナとも呼ばれ、電波強度が全方位同等であるアンテナ。

可能な最大数が選択でき、4レイヤ以上で100Gbps以上のスループットが達成できる諸元とした。

4.2 ショッピングモールシナリオ

(1)5G適用時における評価結果

5G適用時のジオメトリ^{*35}と、各MSのスループットの割合を図3に示す。5Gでは固定BSのみを10局利用している。ジオメトリは10～50dBのレンジで画面内に表示されている。また、図中左下のグラフでは、スループットの割合が示されている。0～1Gbps, 1～10Gbps, 10～50Gbps, 50～100Gbps, 100Gbps以上、の5種類の色で表現されており、横軸を時間、縦軸をスループットの割合としている。また、図中のBSとMS間を結ぶ直線の色は、スループットの色を示している。同図から、28GHz帯を利用した5Gでは、伝搬損失はSub6帯と比較すると大きいものの、1階部分はおおむね全範囲をカバーできており、全MSが、1Gbps以上のスループットを達成できていることが確認できる。

(2)6G適用時の評価結果

次に、図3と同じ固定BS設置位置のまま、6Gを想定しBSの素子数を増加させ、また、100GHzの中心周波数へと変更した場合の結果を図4に示す。図中には、図3と同様にジオメトリとスループット割合が表示されている。帯域幅を8,000MHzとしているため、電力スペクトル密度^{*36}は大きく低下するものの、波長の関係から比較的小型の平面アレーであっても素子数を5Gより大幅に増加させることが可能であり、高いBF利得を得ることができる。そのため、1階通路中央付近では受信電力を5Gと比較して約10～15dBほど向上できている。広帯域化および高BF利得により、各MSのスループットも大きく向上できている。約70%のMSが100Gbps以上のスループットを、約30%のMSも50Gbps以上のスループットを達成できていることが確認できる。特に、1台のBSが複数ビームをMSに向けており、BSとMSの直線の色から、見通し環境にあり比較的BSの近接に位置するMSは100Gbps超のスループット

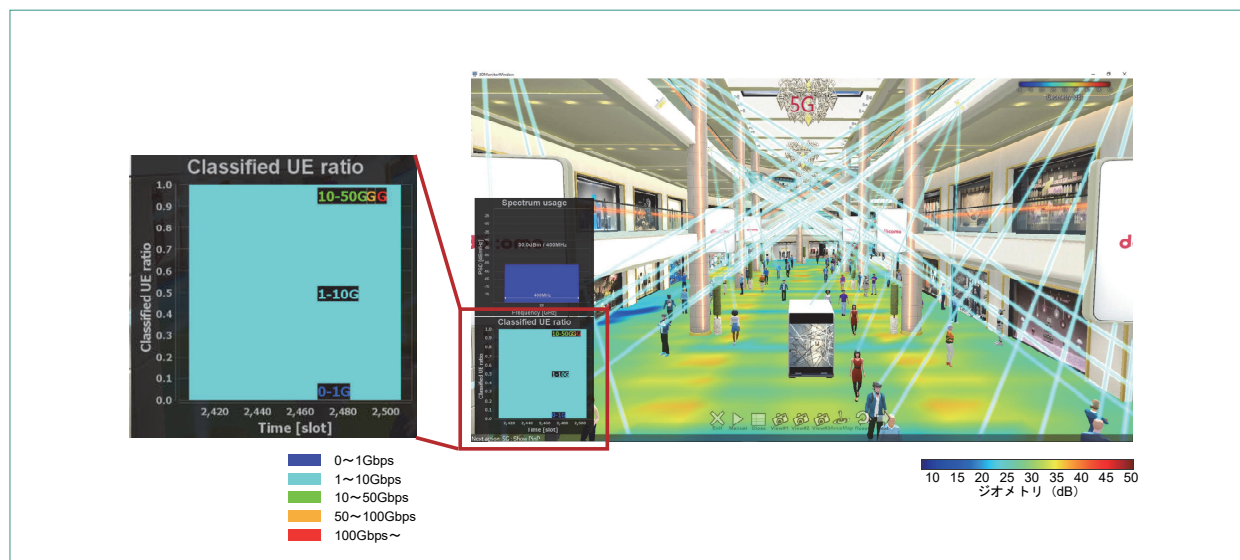


図3 5Gでの評価結果

^{*35} ジオメトリ：受信電力分布などを用いたエリアの品質を示す指標の1つ。

^{*36} 電力スペクトル密度：単位周波数（1Hz）当りの電力。

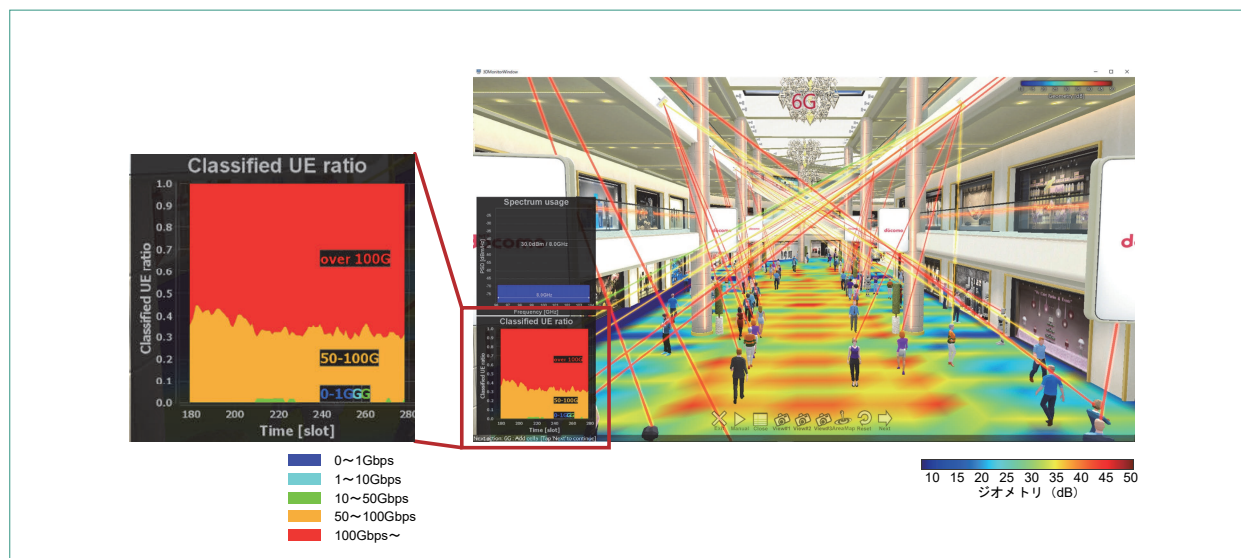


図4 6Gでの評価結果

(レイヤ数が4あるいは8)を達成していることを確認できている。一方で、100GHz帯の電波の伝搬損失の大きさ、直進性の強さから、1階壁面付近は2階の床による遮蔽の影響で、受信電力は10dBほどまで大きく劣化している。また、柱による遮蔽の影響により、例えば右側壁面に設置した固定BSの電波は左側床面の一部に到達しなくなっている。

(3)BSをさらに増加させた場合の評価結果

そこで、固定BS数を20局に増加させた場合の評価結果を図5に示す。結果から、BSの密度が高まったため、柱の遮蔽の影響は緩和できている。さらに、受信電力が20dB以下となる割合を低減できている。これらの効果により、100Gbps以上のスループットを達成可能なMSの割合も、約85%まで向上できている。しかしながら、図5においても依然として1階壁面付近の受信電力は低いままである。

(4)ドローンBSとIRSを追加した場合の評価結果

そこで、ドローンBSおよびIRSを追加した場合の評価結果を図6に示す。4局のドローンBSは1階壁面

付近を低速で移動し続け、IRSについては6本ある柱に2局ずつ設置した。結果から、1階壁面付近の受信電力を大きく向上できている。なお、おむね20dBほど改善されている。ただし、通路中央付近はすでに固定BSにより高い受信電力であるため、ドローンBSやIRSの効果は壁面付近に限られていると考えられる。そのため、スループットとしてはわずかながらの改善であり、100Gbps以上のMSの割合は約90%である。

以上から、ショッピングモールシナリオにおいて、6Gで100GHzを利用したときに、100Gbps以上のスループットが達成可能であることを確認するとともに、遮蔽などの影響がドローンBSやIRSによって改善可能であることを明らかにした。

4.3 工場シナリオ

次に、工場シナリオにおけるジオメトリとスループットを明らかにしていく。

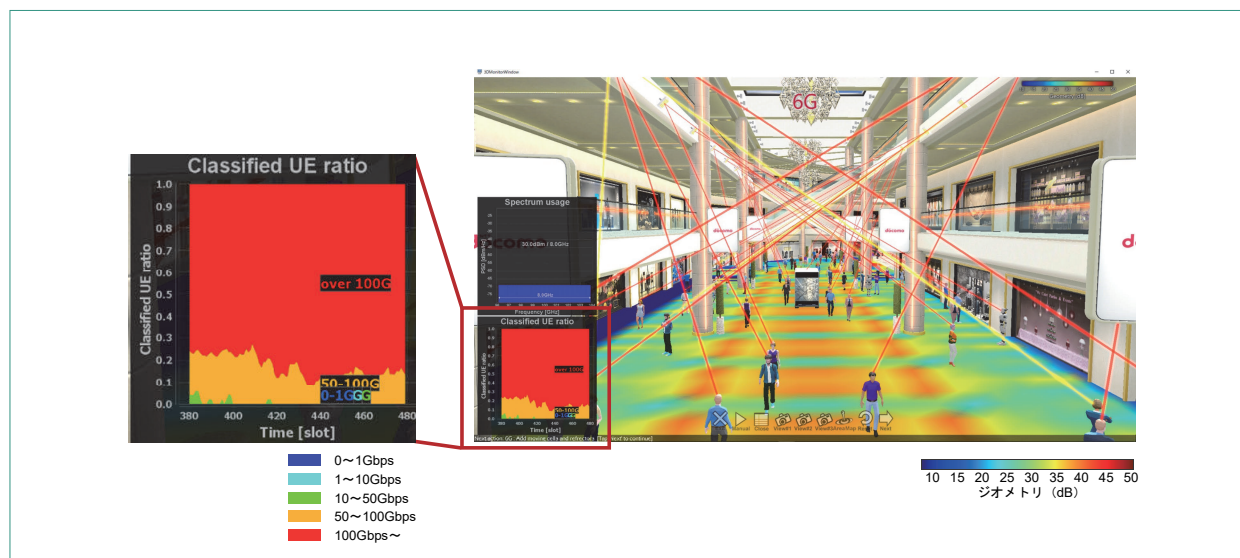


図5 6Gかつ固定BS増設時の評価結果

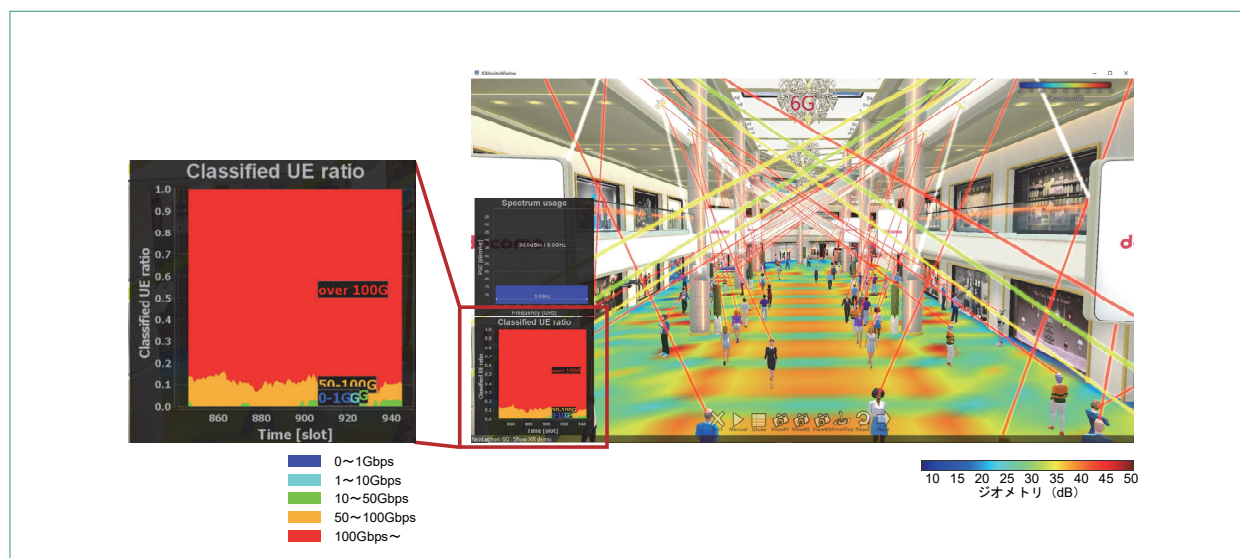


図6 6GかつIRS・移動BS追加時の評価結果

(1)5G適用時における評価結果

まず、5Gの場合の結果を図7に示す。5Gでは12局の固定BSを天井に設置している。ショッピングモール環境と異なり、天井からの電波放射であり、

天井方向に遮蔽物が少ないことから、全エリアで約35dBほどの受信電力を安定的に達成でき、スループットについても、全MSが1Gbps以上を達成できている。

(2)6G適用時における評価結果

次に、5Gと同じ固定BSの位置、数のまま、6Gに置き換えた場合の結果を図8に示す。ショッピングモールシナリオと同様に、BF利得により見通しと

なっている箇所の受信電力は5Gと比較して10dB以上向上できており、また、広帯域化の効果も相まって100Gbps以上のスループットを達成できるMSが約30%，50Gbps以上のスループットを達成できる

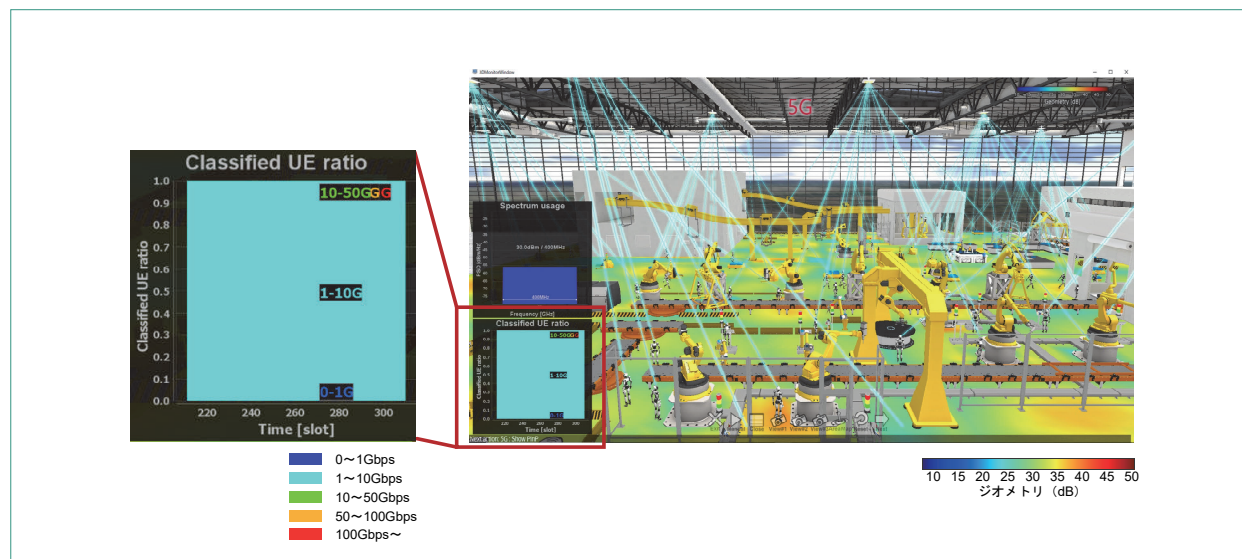


図7 5Gでの評価結果

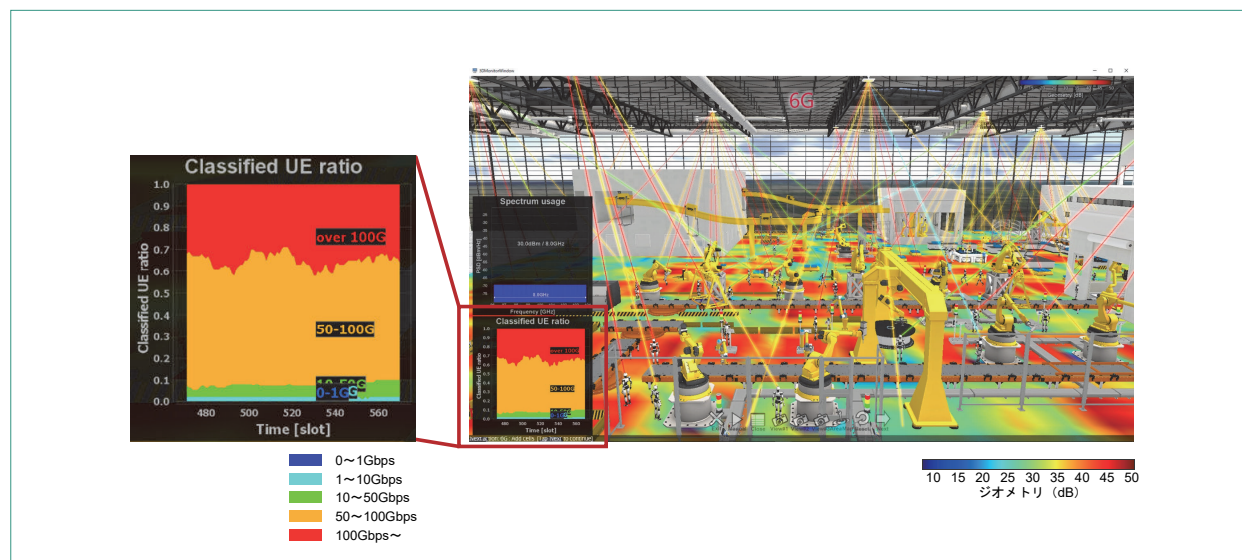


図8 6Gでの評価結果

MSも約60%となっている。また、ショッピングモールシナリオ同様、BSとMSの直線の色から主に見通し環境で100Gbps超（4レイヤ以上）の通信を行っている。一方で、工場シナリオでも100GHzの伝搬損失や直進性の関係で、クレーンなどによる遮蔽の影響を受けており、一部のエリアで受信電力が20dB前後となっている。このため、ユーザースループットとしても10～50Gbpsの割合がショッピングモールシナリオと比較して高くなっている。

(3)BSをさらに増加させた場合の評価結果

そこで、まずは固定BSの数を25局に増加させた。その結果を図9に示す。増加させたことで、平均的な到達距離が短くなり、また、遮蔽されていた場所へも、異なる固定BSからBFを行うことが可能となるため、受信電力もエリア全体で改善できており、30dB以下の受信電力となっているエリアはほとんど無くなっている。この効果により、100Gbps以上のスループットを達成できるMSは約80%まで増加し、10～50GbpsとなるMSの割合も大幅に低減できている。

一方で、図中奥の建物付近の受信電力は低く、これは上部にある固定BSの電波が遮られているためと考えられる。

(4)移動BSとIRSを追加した場合の評価結果

そこで、該当の建物と図中手前のクレーン付近にIRSを、図中中心を左右に移動する移動BSを追加した。この場合の評価結果を図10に示す。結果から、遮蔽の影響が緩和され受信電力を向上することができ、また、スループットにおいても100Gbps以上のMSの割合を約85%まで向上させている。

以上から、工場シナリオにおいても、100GHzを利用し、また、IRSなどを併用していくことで、エリア全体の受信電力の向上かつ100Gbps以上のスループットの達成が可能であることを明らかにした。

5. あとがき

本稿では、100GHzの活用による超高速通信の実現可能性を明らかにするために実施した、ショッピング

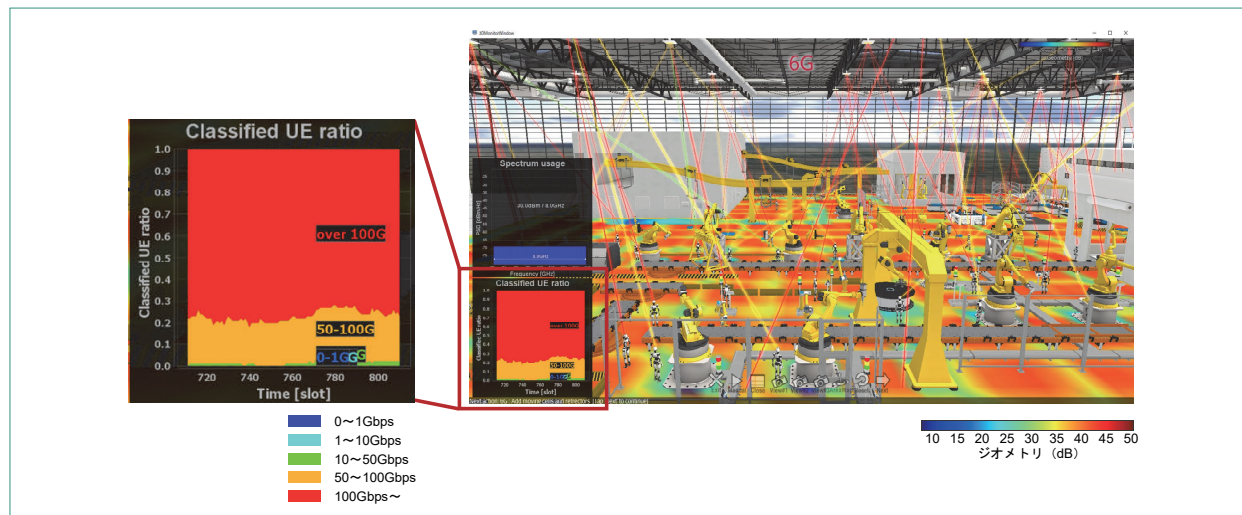


図9 6Gかつ固定BS増設時の評価結果

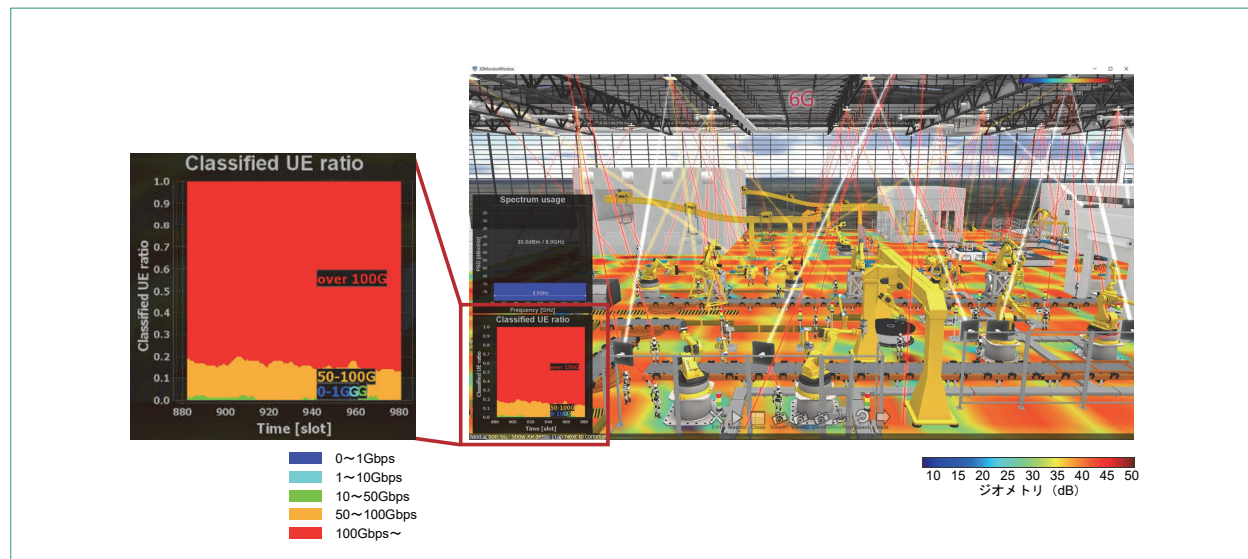


図10 6GかつIRS・移動BS追加時の評価結果

デモールおよび工場を模擬した2つのシナリオでのシステムレベルシミュレーションについて解説した。今後、6Gの実現に向けて、上り方向の通信や異なるシナリオでの性能評価が必要である。将来的には、さまざまな技術コンセプトのシステム評価および性能の可視化ができるように、さらには、その性能に応じて6G時代のユースケースを体験できるように、本シミュレータを拡張していきたい。

文 献

- [1] R. Alghamdi, R. Alhadrami, D. Alhothali, H. Almorad, A. Faisal, S. Helal, R. Shalabi, R. Asfour, N. Hammad, A. Shams, N. Saeed, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri and M-S. Alouini : "Intelligent Surfaces for 6G Wireless Networks : A Survey of Optimization and Performance Analysis Techniques," IEEE Access, Vol.8, Oct. 2020.
- [2] P. Skrimponis, S. Dutta, M. Mezzavilla, S. Rangan, S. H.

Mirfarshbafan, C. Studer and J. Buckwalter : "Power Consumption Analysis for Mobile MmWave and Sub-THz Receivers," IEEE 2020 2nd 6G Wireless Summit, Mar. 2020.

- [3] NTTドコモ : "ホワイトペーパー : 5Gの高度化と6G," 第3版, Feb. 2021.
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html
- [4] 岸山, ほか : "5G evolution & 6Gへの動向と目指す世界," 本誌, Vol.29, No.2, pp.6-14, Jul. 2021.
- [5] 須山 聡, 奥山 達樹, 岸山 祥久, 野中 信秀, 浅井 孝浩 : "高周波数帯超広帯域伝送による100 Gbps実現に向けた6G無線アクセス技術の一検討," 信学技報, RCS2020-146, pp.66-71, Dec. 2020.
- [6] T. Ohgane, T. Nishimura and Y. Ogawa, "Applications of Space Division Multiplexing and Those Performance in a MIMO Channel," IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, No.5, May. 2005.

適正なドローン利用を実現するIoT認可技術

サービスイノベーション部

やまさき こうすけ
山崎 公輔†いしい かずひこ
石井 一彦†

近年、ドローンの利用が拡大しており、国内ではドローンの飛行に関する法整備をはじめとするルールの整備が行われている。しかし、ドローンの企業利用において、社内のドローンを管理する部門とは別のロケーションである現場にてルールどおりの利用を管理する仕組みは、十分に検討されていない。そこでドコモは、IoT認可技術を活用することで、電子的な鍵を用いてルールどおりのドローン利用を支援するシステムを開発した。これにより、ドローンを利用する企業は、現場におけるドローンを電子的な鍵で管理し、その鍵の利用ログから社内のドローン利用状況の把握を行い、不正な利用が防止できるようになった。本稿ではその提案技術を解説する。

1. まえがき

近年、さまざまな機器がインターネットに接続され、IoT（Internet of Things）という言葉が一般化しつつある。総務省の情報通信白書によれば、2022年には世界中で約350億台の機器がインターネットに接続されると予測している [1]。このように増加の一途をたどるIoT機器は、センサ機器から、自動車や小型無人航空機（以下、ドローン）のような移動する機器まで、さまざまな形態が存在する。これ

らIoT機器の高性能化の先には、各IoT機器が相互に自律協調して動作する世界が実現されると考える。そのような世界で、IoT機器が互いに通信や制御などを実行する際に、その可否を判断する認可の仕組みは、重要な要素の1つといえる。ドコモは前述した世界をコンセプトに検討を進めてきており、今回は、IoTのユースケースとして、市場規模が急速に拡大しているドローンに認可技術を適用した。本稿では企業におけるドローン利用の課題、開発したシステムの特徴について解説する。

©2021 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

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

† 現在、クロステック開発部

2. 国内におけるドローンの現状とドローンを利用する企業の課題

2.1 国内におけるドローンの飛行ルール

2021年8月現在、国内で機体の総重量が200g以上のドローンを飛行させる場合、国土交通省の定めたルール [2] に基づき飛行することが決められている。また、国土交通省のルールに基づかない飛行の場合は、事前に申請を行い、国土交通大臣の許可もしくは地方航空局長の承認を必要とする。該当する条件を以下に示す。

- (1)国土交通大臣の許可が必要となる空域
 - ①空港などの周辺の上空の空域
 - ②150m以上の高さの空域
 - ③人口集中地区の上空
- (2)地方航空局長の承認が必要となる飛行の方法
 - ①夜間飛行
 - ②目視外飛行
 - ③人（第三者）または物件（第三者の建物、自動車など）との間が30m未満の飛行
 - ④イベント上空飛行
 - ⑤危険物輸送
 - ⑥物の投下

これらの条件に該当する場合、飛行を実施したい者が、申請を管理するシステム「ドローン情報基盤システム（DIPS：Drone/UAS Information Platform System）[3]」を経由して申請を行い、許可もしくは承認を得る必要がある。申請時には飛行計画情報（日時、場所、経路など）、パイロットに関する情報（飛行経歴、ライセンス情報など）、飛行させるドローンに関する情報（機体および操縦装置の機能や性能、仕様のわかる設計書など）、安全に関する飛行マニュアルを提出しなければならない。また、飛行実施後に飛行日時、パイロット、飛行させたドローン、場所をまとめた飛行実績報告書をDIPS経

由で提出することが定められている。

上記に加えて、機体重量に関係なく、国会議事堂、内閣総理大臣官邸、最高裁判所、皇居、対象と指定される在日本（駐日）外国公館や原子力発電所などの国の重要施設周辺での飛行は、対象施設周辺地域を管轄する警察署を経由して都道府県公安委員会に通報する必要がある [4]。

2.2 ドローンを利用する企業の課題

世の中でドローンの利用が増加する一方で、上記ルールを守らない違反飛行が社会問題化している [5]。違反飛行の先には重大な事故の恐れもあり、ドローンを利用する企業においても、ルールに則ったドローンの運用が求められている。申請漏れによる未申請状態での飛行は違法になるため、それがリスクとなり得る。しかしながら、企業のドローンを管理する部門が、実際の現場でドローンを飛行させる際に申請どおりか否かを確認する体制は確立されていない。従って、企業として現場のドローンの適正な運用は課題の1つといえる。

3. システム要件の整理

ドローン使用の一般的な構成と企業内でのドローン運用における役割について解説する。

システム要件は、複数のドローンを利用する企業にヒアリングを実施し、整理を行った。

3.1 ドローン使用の一般的な構成

ドローンは、ホビー向けと、一部のカスタマイズ性が高い産業向けを除けば、図1の利用構成が多い（世界シェア上位3社であるDJI、Parrot、3D Robotics [6] の製品を調査）。

パイロットは通常、ドローンを操縦する際に、送信機と呼ばれるコントローラにスマートフォンやタブレットといったモバイル端末を有線ケーブルで接

続して利用する。送信機には操縦スティックが搭載されており、パイロットはそれを用いてドローンの操縦を行う。送信機とドローン間の通信は専用無線を用いる。モバイル端末にはドローン操縦アプリがインストールされており、ドローンの操縦機能だけでなく、ドローンが取得するセンサ情報や動画データを表示する役割ももつ。

3.2 企業内でのドローン運用における役割分担

企業内でのドローン運用における役割分担として、

以下3つが存在する（表1）。

- ・ドローン管理部門
- ・プロジェクトリーダー
- ・パイロット

ドローン管理部門は、社内のすべてのドローンの機体・利用管理を取りまとめる役割を担う。次にプロジェクトリーダーは、ドローンを用いた作業（例えば、農業・土木・建築・物流・点検・測量など）の責任者であり、作業計画を考え、飛行計画を検討

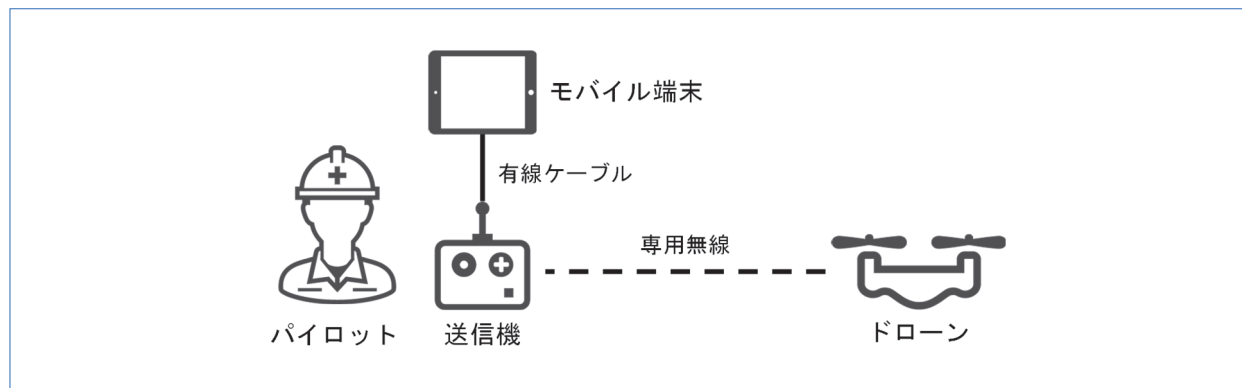


図1 ドローン使用の一般的な構成

表1 ドローン運用における役割分担

担 当	ロケーション	分担内容
 ドローン管理部門	 本 社	社内におけるドローンの機体、利用管理を取りまとめる。
 プロジェクトリーダー	 事務所	作業計画を考え、飛行計画を検討し、必要に応じて行政機関への申請を行う。
 パイロット	 作業現場	作業現場でドローンを操縦して作業を行う。

し、必要な場合は行政機関への申請を行う。最後にパイロットは、プロジェクトリーダーよりアサインを受け、実際の作業現場でドローンを操縦する。なお、ドローン管理部门とプロジェクトリーダー、パイロットはそれぞれ別のロケーションで業務を行っている想定である。

3.3 システム要件

ドローン利用企業のヒアリングを通して、企業が利用する際のシステム要件を整理した。システム要件を表2にまとめる。

要件①～④は、前述した行政機関への申請に基づいた飛行に関することである。ただし、要件③では、飛行中に終了予定時刻になり、ドローンを操作不能状態にすることは安全上問題があると判断し、開始時刻のみの確認を行い、終了時刻はログとして記録することとした。要件⑤については、ドローン管理部门が、社内の全フライトに対し、申請どおりに行われているか確認する仕組みを想定している。要件⑥に関しては、ドローンの利用にあたってインターネットに接続できない環境が多々あることが、ヒアリングにより分かった。このため、インターネットに接続できない環境でも、申請どおりの条件のみ飛

行可能にするための仕組みを実現する必要がある。最後に要件⑦については、企業がすでに利用しているドローンがカスタマイズ性の高い専用ドローンではなく、汎用的な市販ドローンであるため要件として列挙した。

4. 試作システム概要

本試作システムは、行政機関への申請に基づいた条件を埋め込んだ電子的な鍵を発行し、その鍵を所有するパイロットに対し、条件に一致した場合のみドローンの制御を許可する仕組みである。システム構成を図2に示す。

各エンティティ^{*1}の機能について以下に解説する。

4.1 各エンティティの機能

今回開発したエンティティは、図2に記載される①IoT認可管理システム、②パイロットアプリ、③利用管理アプリの3つである。それらとは別に飛行計画の作成と行政機関への申請を支援する機能をもつ既存のシステム（以下、ドローンプラットフォーム）があり、今回はドコモのdocomo sky [7] を利用した。ドローン操縦アプリもドローンに付属する

表2 ドローン運用におけるシステム要件

要件①	操縦するパイロットが申請内容と同一のパイロットの場合にのみ、ドローンの利用を許可しなければならない。前述以外のパイロットを許可してはならない。
要件②	飛行するドローンが申請内容と同一のドローンの場合にのみ、ドローンの利用を許可しなければならない。前述以外のドローンを許可してはならない。
要件③	飛行作業を開始する時刻が申請内容の期間内の場合にのみ、ドローンの利用を許可しなければならない。それ以外の作業開始時刻を許可してはならない。また終了時刻を記録し、容易に書替えができないようにしなければならない。
要件④	飛行する場所が申請内容と同一の場所の場合にのみ、ドローンの利用を許可しなければならない。それ以外の場所を許可してはならない。
要件⑤	飛行実施結果を、ドローン管理部门とプロジェクトリーダーが確認できるようにしなければならない。
要件⑥	飛行作業を実施する作業現場において、インターネットに接続できない環境を想定しなければならない。
要件⑦	一般的な構成で利用されるドローンに対応しなければならない。

^{*1} エンティティ：論理アーキテクチャにおいて、機能を提供する構成要素。

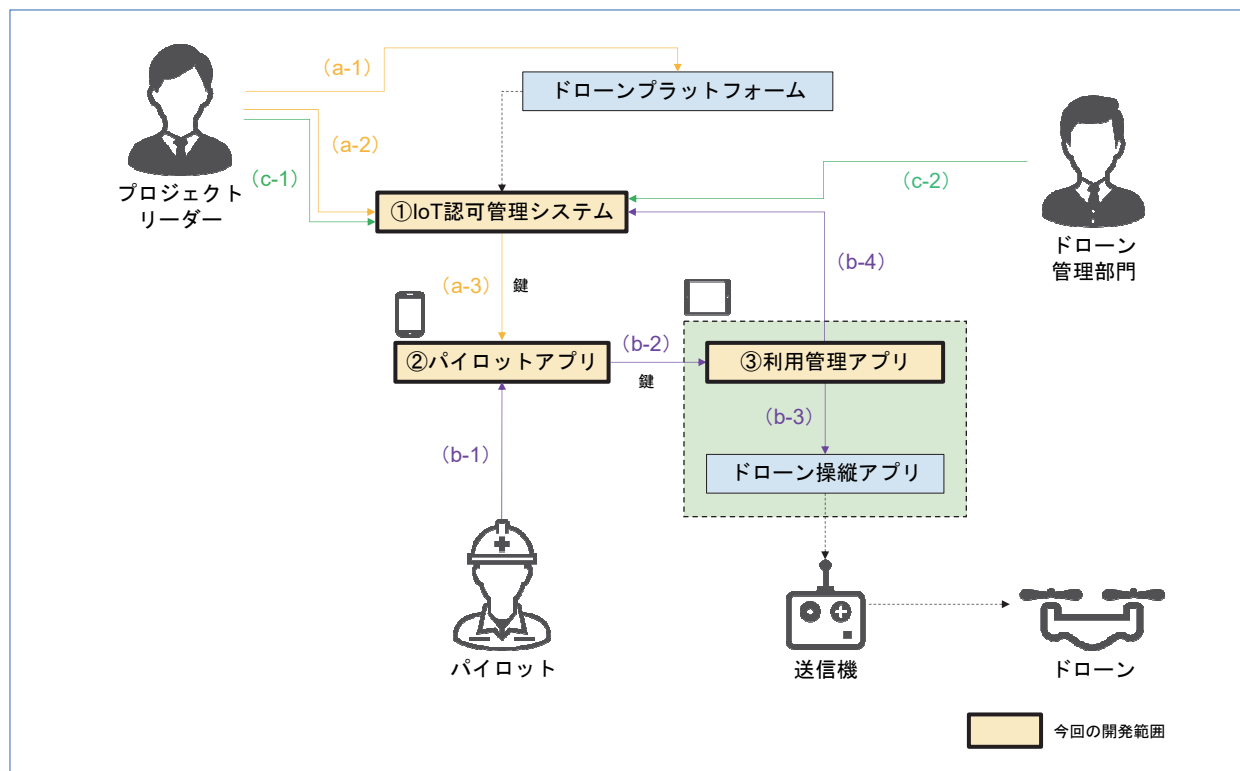


図2 試作システムの構成

既存のアプリケーションであり、今回の試作ではDJI製のDJI GO 4アプリ [8] を利用した。さらにドローンはDJI製のMAVIC2 PRO [9] を利用している。

①IoT認可管理システム

IoT認可管理システムは、サーバアプリケーションである。本システムは、ドローンプラットフォームで作成した飛行計画情報をAPI (Application Programming Interface) *2経由で取得することができる。また、ドローンプラットフォームで作成された飛行計画に基づき、電子的な鍵を発行、変更、追加する機能をもつ。電子的な鍵は、パイロット、ドローン、時間を条件として指定し、改ざん検知のためIoT認可管理システムの電子署名*3が付与されたドキュメントである。この鍵が発行されるとIoT認可

管理システムは、指定パイロットのスマートフォン（パイロットアプリ）へ鍵を送信する。また、ドローンの飛行実施後に利用ログを収集し、飛行一覧画面で予定時間を超過した飛行のハイライトを行う機能をもつ。計画外の飛行が検知できるこのような仕組みを運用の中で活用することによって、計画外飛行に対する抑止を図る。さらに利用ログは飛行実績証明書用のデータとして取得することも可能である。

②パイロットアプリ

パイロットアプリは、パイロットが所有するスマートフォンにインストールされるアプリケーションである。今回ドコモはAndroid 8.0対応のものを開発した。パイロットアプリは、IoT認可管理システムから鍵を受信し、送信機に接続されたモバイル端末に鍵を提示する機能

*2 API：ソフトウェアを互いに接続するのに使用するインタフェースの仕様。

*3 電子署名：電子的なデータの偽造や改ざんを防止するために用いられる仕組み。

をもつ。今回はスマートフォン、モバイル端末間の通信としてNFC（Near Field Communication）^{*4}を使用した。さらにパイロットの本人性の確認には生体認証を用いる。

③利用管理アプリ

利用管理アプリは、送信機に接続されたモバイル端末にインストールされるアプリケーションである。今回ドコモが開発した利用管理アプリは、ドローン操縦アプリと同一モバイル端末内に存在するAndroid 8.0対応のタブレットアプリケーションである。本アプリはパイロットアプリから受信した鍵を検証し、条件の一致確認を行う。鍵の未受信もしくは鍵の検証失敗、条件の不一致の際は、ドローン操縦アプリを起動しても操作できないように制限をかける機能をもつ。さらに、ドローン操縦アプリの利用可能状態において、ドローン操縦アプリの起動時刻と終了時刻の記録をバックグラウンドで行っており、これを利用ログとしてIoT認可管理システムへ送信する。

4.2 利用フローについて

図2に記載されているa-1～3、b-1～4、c-1～2は飛行実施前、ドローン利用時、飛行実施後で分類されている。各分類での利用フローを解説する。

(1)飛行実施前（a-1～3）

- ・ a-1 プロジェクトリーダーは、作業計画を検討し、ドローンプラットフォームで飛行計画を作成する。その後、行政機関へ申請を行い許可もしくは承認を受ける。
- ・ a-2 プロジェクトリーダーは、ブラウザ経由でIoT認可管理システムにログインし、ドローンプラットフォームで作成した飛行計画を選択して鍵を発行する。
- ・ a-3 IoT認可管理システムは、飛行計画に記載されているパイロット、ドローン、時間帯を抽

出し、鍵を作成して、対象のパイロットに紐づいたパイロットアプリに鍵を送付する。

(2)ドローン利用時（b-1～4）

- ・ b-1 パイロットは、パイロットアプリを起動し、生体認証を行う。
- ・ b-2 パイロットは、対象の鍵を選択し、利用管理アプリに鍵をNFC経由で送信する。
- ・ b-3 利用管理アプリは、受信した鍵を検証し、条件確認で問題がない場合、ドローンの操縦アプリを利用可能とする。
- ・ b-4 利用管理アプリは、ドローンの操縦アプリの起動時刻と終了時刻を記録し、それを利用ログとしてIoT認可管理システムに送信する。

(3)飛行実施後（c-1～2）

- ・ c-1 プロジェクトリーダーは、飛行実績報告書用データを取得し、報告書を作成する。
- ・ c-2 ドローン管理部門担当者は、社内の飛行一覧画面でフライト状況を確認し、時間超過した飛行を実施したフライトがある場合のみ、注意喚起やヒアリングを行い、再発防止策の検討を行う。

4.3 機器間の認証と鍵の検証

筆者らのIoTの使用における認可のコンセプトは図3に記載したとおり、各IoT関連機器に電子証明書^{*5}を配備し、機器間で相互認証を行うことであり、そのような環境下で、認可情報のやり取りを行い、きめ細やかな認可を執行する方法の具体化である。今回のドローンサービスへの適用で言えば、各IoT機器がスマートフォン、モバイル端末、ドローンであり、認可情報が条件を埋め込んだ鍵となる。

上記のコンセプトを前提に今回のシステムの実装について解説する（図4）。今回のシステムでは、スマートフォンとモバイル端末間は片方向認証としている。スマートフォンはモバイル端末に、鍵とともにスマートフォンの認証情報を送信データとして、

^{*4} NFC：近距離無線通信技術であり、FeliCaなどを含む。

^{*5} 電子証明書：なりすましを防止する仕組みであり、信頼できる認証局から発行される。

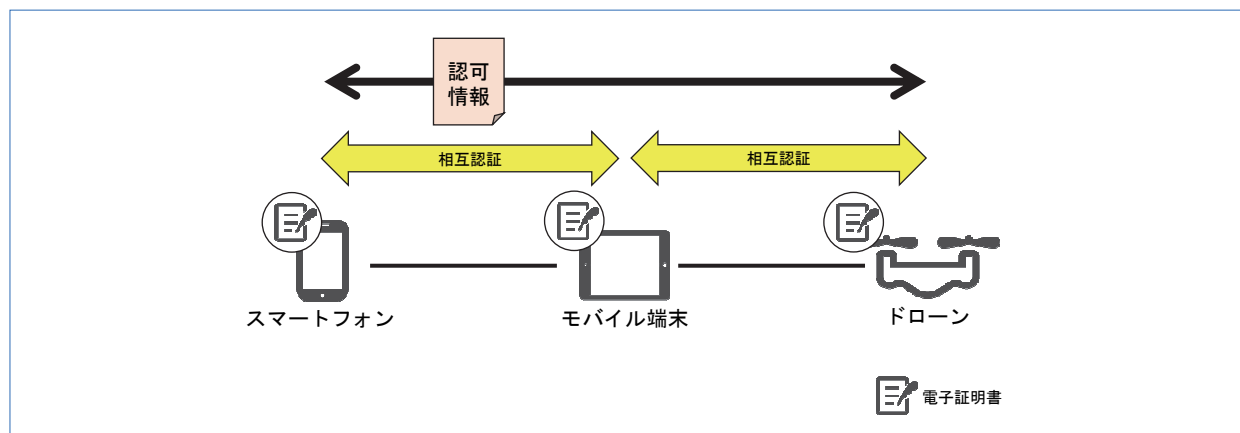


図3 IoTの使用における認可のコンセプト

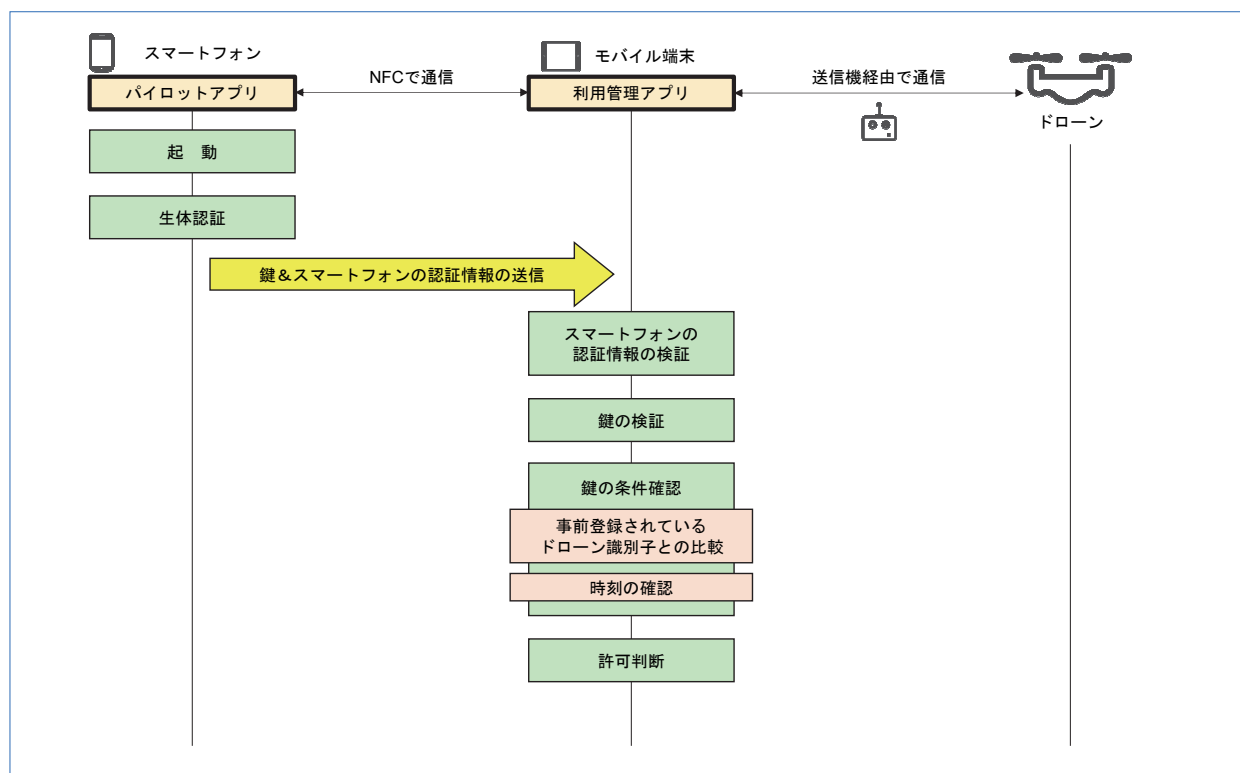


図4 今回の機器間の認証と鍵の検証

データ作成時点から60秒以内に送信する。そして、モバイル端末上の利用管理アプリ内でスマートフォンの認証情報を検証することで片方向認証を実現している。

次に利用管理アプリで実施される鍵の検証では、IoT認可管理システムが鍵を発行する際に付与した電子署名の検証を行っている。鍵の条件確認では、ドローン本体から認証情報を取得するのではなく、

利用管理アプリに事前に登録したドローン識別子を用いて実施する実装とした。そして、モバイル端末のもつ時刻と条件に記載されている時刻の比較を行い、許可の判断をしている。パイロットの確認については、鍵の条件に記載されているパイロットとアクセスしたパイロットが同一であるかが重要である。そのため、IoT認可管理システムは、あらかじめパイロットとスマートフォン、パイロットアプリの紐づけ情報を管理し、鍵の条件に記載されているパイロットのスマートフォンに鍵を送信する。パイロットはパイロットアプリ起動時に生体認証を用いて本人性確認を行い、受信した鍵を利用管理アプリに提示するため、結果、利用管理アプリに鍵を提示できるパイロットは、鍵の条件に記載されているパイロットだけである。そのため、利用管理アプリ内ではパイロットの確認は行っていない。

4.4 本システムにおけるシステム要件の実現方法

前述したシステム要件を本システムでどのように実現したか述べる。要件①～③については、a-3で発行される鍵にそれらを条件として埋め込み、利用管理アプリがb-2で受信した鍵の条件確認結果を基に許可判断をすることで実現した。また要件③では、終了時刻を利用ログとして記録し、この利用ログはパイロットが編集をできないようにパイロットアプリ内で管理し、IoT認可管理システムに送信する仕様とした。要件④については、今回の開発では対応しないこととした。要件⑤では、b-4で取得した利用ログを活用し、ドローンの利用状況を管理画面で確認できるようにすることで実現している。要件⑥については、パイロットが作業現場でインターネットに接続できない環境でも、b-1～3のフローを利用できる仕様とした。要件⑦の実現方法については、バックグラウンドで利用管理アプリがドローン操縦アプリの監視を行い、ドローン操縦アプリの利用制

限を行うことで実現している。ドローン操縦アプリに指定はなく、さまざまなドローン操縦アプリに適用可能である。

5. 考 察

今回、開発した本システムを通しての考察を以下にまとめる。

(1) ドローン機体の認証

まず、今回の開発ではドローン機体自身の認証は実現できていない。理由として、現在の汎用ドローンは認証機能をもっていないためである。今回利用したDJI製のMAVIC2 PRO [9] では、DJIが用意しているMobile SDK (Software Development Kit) *6 [10] を用いることで、識別子としてシリアルナンバーをドローン本体から取得することは可能である。しかし、ドローン操縦アプリがインストールされている状態では、同じモバイル端末内でMobile SDKを用いたアプリケーションを動作させることができなかった。そのため、今回はモバイル端末内にドローンの識別子をあらかじめ記憶しておく機能を実装した。ドローンとの間で相互認証や認可情報のやり取りは行っておらず、スマートフォンとモバイル端末間のやり取りが行われる。本来であれば、ドローン自体の認証を行い、鍵のもつ条件と比較すべきであると考える。

(2) スマートフォンとモバイル端末間の認証

今回、スマートフォンとモバイル端末間のNFC通信では、モバイル端末がスマートフォンを認証する片方向認証で実装を行った。本来は双方向認証が望ましいが、開発期間の関係によりモバイル端末がスマートフォンを認証する片方向認証しか実装していない。そのため、モバイル端末側が偽のモバイル端末で鍵を盗む攻撃が想定される。それに対する対策として、スマートフォンがNFCで送信するデータ自身に、鍵の条件に記載されている有効期間とは

*6 Mobile SDK：スマートフォンなどのモバイル端末上で動作するアプリケーションを開発するために必要なプログラム。

別の有効期限をもたせることで、NFCでの送信データが漏洩しても認可を執行できない仕様とした。具体的には、送信データを盗んだ者が、これを流用しようとしても利用管理アプリが送信データ自身の有効期間を確認し、認可執行を防ぐ。そのため、送信データ自身の有効期間は、鍵の条件に記載されている期間と比べ短期間としている。

(3)超過利用の防止

今回の試作システムでは、終了時刻を超過する飛行を防ぐことができない。そこで、運用上で超過利用に対する抑止となるよう、予定時間を超過した飛行を飛行一覧画面でハイライトすることでドローン管理部門が把握できるようにした。今回の仕組みによって、実際の運用の中で超過利用に対する抑止となるか、実証実験で検証する必要がある。

(4)内部不正

今回の試作システムでは、全く新規のモバイル端末を用意することで認可を受けずにドローンを飛行させる可能性がある。その場合でも、利用ログの不整合が発生するため、全体の運用の中で不正利用を検知することが可能である。しかし、正規のパイロットがドローン操縦アプリを利用可能状態にして、別の非正規のパイロットに渡し、そのパイロットが操縦することは可能である。このような共謀に対する不正を今回の試作システムでは防ぐことはできない。対策としては、操縦中にモバイル端末のインカメラを利用してパイロットを撮影することで、事後検出ができるようにすることが考えられる。今後、どこまで厳しく制限し、コストをかけるかの精査は、実際のドローン利用企業と実証実験を進めながら検討していくべき項目であると考ええる。

6. あとがき

本稿では、申請どおりのドローン運用を支援するシステムについて解説した。実際のドローン利用企

業へのヒアリングを通してシステム要件を整理し、設計を行った。構築したシステムは、行政機関への申請を基に、電子的な鍵に条件を埋め込み、鍵を所有するパイロットのみがドローンを利用できる仕組みであり、ドローン利用現場での計画どおりの運用を可能とした。さらに試作システムの考察を行い、現状の利用環境でどこまでセキュリティを担保できるか、理想に近づくために不足している機能を整理し明らかにした。今後は次のステップとして、ドローン利用企業と実証実験を行い、有用性の評価および実環境での運用に必要な機能を精査していく。また、ドローンに関するルールは年々更新されており、それらに追従できるシステム設計が必要である。

さらに、今後はIoT認可管理システムをドローン以外のユースケースに適用させていくことで、IoT機器が自律協調する世界で機器同士が確実な認可を執行できる仕組みを実現したいと考える。

文 献

- [1] 総務省：“令和2年版 情報通信白書,” (参照 2021年5月19日).
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/r02.html>
- [2] 国土交通省：“無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール,” (参照 2021年5月19日).
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#a
- [3] 国土交通省：“ドローン情報基盤システム,” (参照 2021年5月19日).
<https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>
- [4] 警察庁：“小型無人機等飛行禁止法関係,” (参照 2021年5月19日).
<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/index.html>
- [5] 日本経済新聞：“ドローンの違法飛行摘発、19年は過去最多111件,” Mar. 2020.
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57242650W0A320C2MM0000/>
- [6] 特許庁：“平成30年度 特許出願技術動向調査報告書 ドローン,” Feb. 2019.
<https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou->

- houkoku/tokkyo/document/index/30_05.pdf
- [7] 株式会社NTTドコモ “ドローンプラットフォーム docomo sky.”
<https://www.docomosky.jp/>
- [8] DJI : “DJI GO 4.”
<https://www.dji.com/jp/downloads/djiapp/dji-go-4>
- [9] DJI : “MAVIC 2.”
<https://www.dji.com/jp/mavic-2?site=brandsite&from=nav>
- [10] DJI : “DJI DEVELOPER.”
<https://developer.dji.com/>

トラフィック特性に応じた柔軟な U-Plane処理を実現するCUPSの開発

ネットワーク開発部

みやざき ゆうや おくだ けんぞう
宮崎 祐哉 奥田 兼三
くにとも こういちろう
國友 宏一郎
かいだ たかひろ
改田 高大

ドコモ・テクノロジー株式会社 パケットNW事業部

5Gサービス普及に伴い、EPCには低遅延通信やユーザ通信の大容量化など、さまざまなトラフィック特性へのさらなる対応を行うことが緊要である。ドコモでは、SGWとPGWがもつC-Plane/U-Plane機能を分離し別装置とするCUPSアーキテクチャを採用し、トラフィック特性に応じたU-Plane処理を実現している。本稿では、CUPSの技術概要や、U-Planeを処理する設備の選択方式について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）の初期導入においては、既存のEPC（Evolved Packet Core）^{*1}に5G基地局を接続して5Gサービスを実現する5G NSA（Non-Stand-Alone）方式^{*2}が広く採用されている [1]。5Gを前提としたアプリケーションの普及に伴い、EPCにおいてはこれまで以上の高速・大容量通信、低遅延通信、多数端末同時接続の実現が

急務となっている [2] [3]。具体的には、高速・大容量通信の実現のため数百Gbps～数Tbpsの処理が可能で大容量のゲートウェイ装置の増設、さらなる低遅延通信の実現のため基地局設備近傍へのゲートウェイ装置の分散配備、多数端末同時接続の実現のためのセッション^{*3}処理性能の向上などを達成する必要がある。

従来は、通信セッションを管理し通信を制御するC-Plane（Control Plane）^{*4}機能と通信トラフィック

©2021 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

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

^{*1} EPC：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された第4世代のIPベースのコアネットワーク。

^{*2} 5G NSA方式：5Gのシステム構成の1つ。5G無線基地局とEPCを連携させる方式。5GC（^{*38}参照）を導入せずに5Gを提供できるため導入障壁が低いことが特長。

^{*3} セッション：U-Planeにおいてデータのやり取りを行う仮想的な通信路。通信路でやり取りされるデータ、およびその通信路に関してC-Planeでやり取りされる管理情報などのメタデータを含めた総称。

を処理するU-Plane (User Plane)^{*5}機能の双方を1つのゲートウェイ装置が具備している [4]。このため、あらかじめ想定したセッション数と通信容量のバランスが崩れると、C-PlaneまたはU-Planeのいずれかの処理能力が余剰となってしまう課題がある。高速・大容量通信においてはC-Planeの処理能力が余剰となり、多数端末同時接続においてはセッション数に対して通信量が小さくなるためU-Planeの処理能力が余剰となる。もしC-PlaneとU-Planeを独立にスケール^{*6}できれば、これらの課題が解消され、効率的な設備設計が期待できる。また低遅延通信では、伝搬遅延低減を目的としたU-Plane機能の基地局設備近傍への分散配備が必要となるが、C-Plane機能とU-Plane機能が統合された従来装置の分散配備ではセッション数や通信量がゲートウェイ装置間で偏るため設備の利用効率低下が発生するという課題がある。C-Plane機能の分散配備は不要であるため、もしC-Plane機能とU-Plane機能を分離して、特性に応じて配備構成を変更できれば、C-Plane処理能力に関する設備の利用効率低下について抜本的な改善の余地がある。

以上の背景から、ドコモでは3GPP TS (3rd Generation Partnership Project Technical Specification) 23.214で規定されたC-Plane機能とU-Plane機能の分離を実現するCUPS (Control and User Plane Separation)^{*7}アーキテクチャの導入を進めている。CUPSアーキテクチャでは、ゲートウェイ装置のC-Plane機能とU-Plane機能を分離することで、C-PlaneとU-Planeの独立したスケール^{*6}や、C-Plane機能の集中配備とU-Plane機能の分散配備の両立が可能となり、これにより柔軟で効率的なコアネットワーク^{*8}の展開と発展が可能となる [5]。また、前述の課題が解決されるだけでなく、C-Plane機能とU-Plane機能の独立した設備更改や特定のトラフィッ

ク特性に特化したU-Plane装置の採用なども可能となる。

ユーザ観点では、CUPSを導入することで、多様な要件に特化した設備運用によるユーザ体感の抜本的な向上、コアネットワーク設備の効率化によるユーザメリット追求に向けたさらなる設備増強や料金の低廉化などが期待できる。

本稿では、オペレータ、ユーザ双方にとっての価値の源泉となるCUPSアーキテクチャについての、アーキテクチャの概要、追加された制御プロトコル、トラフィック特性に応じたU-Plane制御の方式、5G SA (Stand-Alone) 方式^{*9}に向けた今後の発展を解説する。

2. CUPS

2.1 CUPS概要

(1) コンセプトとアーキテクチャ

CUPSを導入したEPCのアーキテクチャを図1に示す。CUPSは、EPCのSGW (Serving Gateway)^{*10}/PGW (Packet Data Network Gateway)^{*11}の構成をC-PlaneとU-Planeに分離した、3GPP TS23.214で定義されているアーキテクチャである。CUPSアーキテクチャは、従来のアーキテクチャとインタフェースに差分が出ないように設計されており、CUPSアーキテクチャをSGW/PGWに導入しても、MME (Mobility Management Entity)^{*12}やPCRF (Policy and Charging Rules Function)^{*13}やeNB (evolved NodeB)^{*14}/gNB (next generation NodeB)^{*15}などの対向する装置、およびMVNO (Mobile Virtual Network Operator)^{*16}やローミング^{*17}など他網のSGW/PGWには影響を与えない。C-PlaneについてはSGW-C (SGW Control plane function)^{*18}/PGW-C (PGW Control plane function)^{*19}、U-Plane

^{*4} C-Plane：通信の確立や認証などをするためにやり取りされる、一連の制御処理。

^{*5} U-Plane：通信の主信号であるユーザデータの送受信処理を指す。

^{*6} スケール^{リング}：装置の性能諸元、通信特性を反映したトラフィックモデル、想定される加入者数、パーストラフィックに備えた予備能力などに基づいて、通信設備の収容能力の設計および通信設備の増減設の計画を行うこと。

^{*7} CUPS：SGW、PGWの両方C-Plane機能とU-Plane機能を分離し、別装置として規定したアーキテクチャを指す。

^{*8} コアネットワーク：ゲートウェイ装置、位置管理装置、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動通信システムを構成するネットワークのコア部分。移動機は無線基地局などで構成される無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

^{*9} 5G SA方式：5Gのシステム構成の1つ。5G無線基地局と5GCで5Gを提供する。すべて5Gシステムのため単独 (Stand-Alone) 構成と呼ばれる。5G特有の機能を利用可能。

^{*10} SGW：3GPPアクセスシステムを収容し、端末とPGW間の通信トンネルを中継する中継ゲートウェイ。

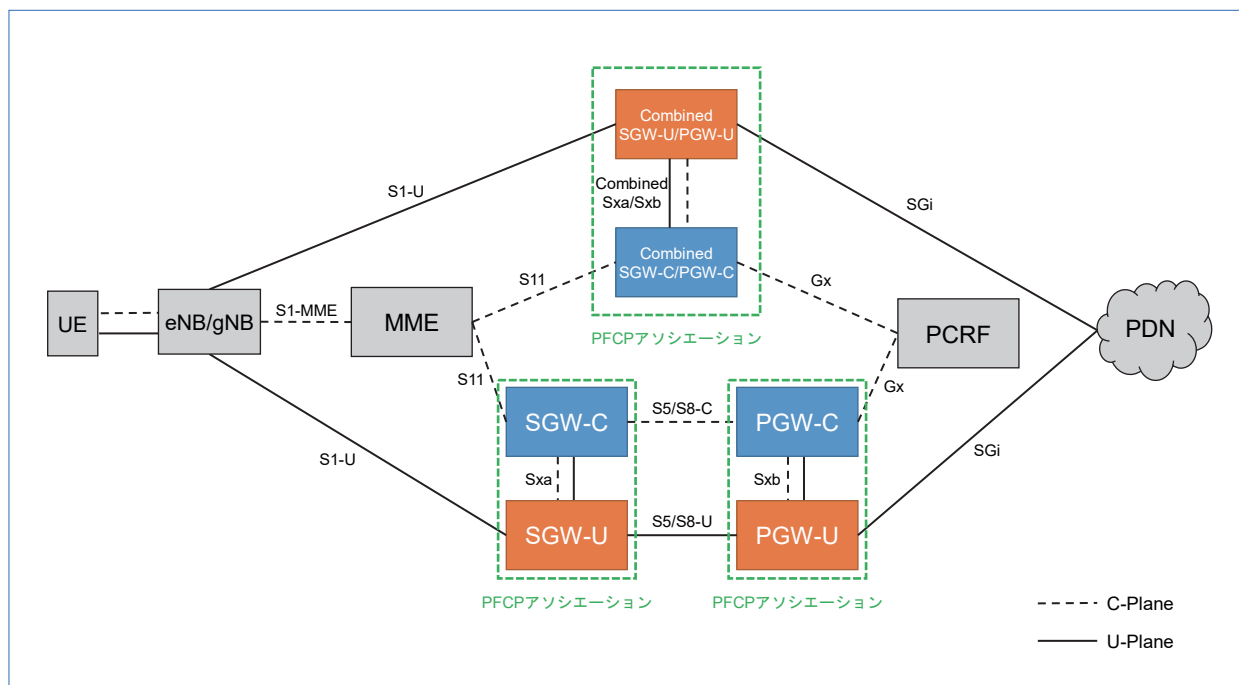


図1 CUPSを導入したEPCアーキテクチャ

についてはSGW-U（SGW User plane function）^{*20}/PGW-U（PGW User plane function）^{*21}が呼処理機能を具備する。Combined SGW-C/PGW-C^{*22}、Combined SGW-U/PGW-U^{*23}はSGWとPGWの機能を共通の装置で処理できる。CUPSを導入することで、C-Plane/U-Planeの収容能力を必要に応じて個別に拡充できる。標準仕様では、SGW/PGWに加えてTDF（Traffic Detection Function）^{*24}もTDF-CとTDF-Uに分離できるが本稿では詳細を割愛する。

C-Planeを扱うインタフェース（S5/S8-C、S11、Gxなど）をSGW-C/PGW-Cがもち、U-Planeを扱うインタフェース（S1-U、S5/S8-U、SGiなど）をSGW-U/PGW-Uがもち、C-PlaneとU-Planeの両方を扱うインタフェースは、C-PlaneとU-Planeで異なるインタフェースに分離される。例えば、S5であればS5-C/S5-Uとして、SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-

Uでそれぞれ保持する。SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-Uの間では、3GPP TS29.244で定義されたSxインタフェースをもつ[6]。SGW-C/SGW-U間をSxa、PGW-C/PGW-U間をSxb、Combined SGW-C/PGW-CとCombined SGW-U/PGW-U間をCombined Sxa/Sxbと呼ぶ。

Sxインタフェースでは、3GPP TS29.244で規定されたPFCP（Packet Forwarding Control Protocol）^{*25}を使用する。PFCPの詳細は後述する。またSxインタフェースでは、U-Planeを送信することも可能であり、その場合に使用するプロトコルはGTP-u（GPRS Tunneling Protocol for User Plane）^{*26}である。

(2)CUPSにおける基本呼処理

SGW/PGWをCUPS化した場合の呼処理シーケンスは、従来のアーキテクチャに影響を与えないよう

*11 PGW：PDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、SGWへのパケット転送などを行うアンカーゲートウェイ。

*12 MME：UEの位置管理とセッション管理を行う装置。

*13 PCRF：ユーザの課金ポリシーを管理、制御する論理装置。

*14 eNB：LTEの無線方式に対応した無線基地局。

*15 gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

*16 MVNO：自社で無線アクセスネットワーク設備を所有せず、他社の設備を借りてサービスを提供するモバイル通信事業者を指す。

*17 ローミング：利用者が契約している通信事業者のサービスエリア外でも、提携事業者のサービスエリア内であれば、契約している事業者と同様のサービスを利用できる仕組み。

*18 SGW-C：CUPSアーキテクチャにおけるSGWのC-Plane処理を行う機能部。

*19 PGW-C：CUPSアーキテクチャにおけるPGWのC-Plane処理を行う機能部。

*20 SGW-U：CUPSアーキテクチャにおけるSGWのU-Plane処理を行う機能部。

*21 PGW-U：CUPSアーキテクチャにおけるPGWのU-Plane処理を行う機能部。

*22 Combined SGW-C/PGW-C：CUPSアーキテクチャにおけるSGWとPGWのC-Plane処理を共通の装置で行う機能部。

*23 Combined SGW-U/PGW-U：CUPSアーキテクチャにおけるSGWとPGWのU-Plane処理を共通の装置で行う機能部。

設計されており、CUPS化に伴う信号増はSGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-U間のみとなる。LTE Attach^{*27}の例を図2に示す。Attach要求を受信したMMEはSGW-C/PGW-Cをそれぞれ選択し、選択したSGW-Cに対してセッション確立要求を送信する(図2①)。SGW-Cはセッションを確立するSGW-Uを選択する(図2②)。SGW-CはPFCPのセッション確立要求をSGW-Uに送信しセッションを確立する(図2③)。その後、SGW-CはPGW-Cにセッション確立要求を送信する(図2④)。これを受信したPGW-CはPGWと同様にPCRFから確立するセッションの課金ポリシーなどを入手する。次にセッションを確立するPGW-CはPGW-Uを選択し、PFCPのセッション確立要求を送信しセッションを確立する(図2⑤)。その後、SGW-CはPGW-Cにセッション確立要求を送信する(図2④)。これを受信したPGW-CはPGWと同様にPCRFから確立するセッションの課金ポリシーなどを入手する。次にセッションを確立するPGW-CはPGW-Uを選択し、PFCPのセッション確立要求を送信しセッションを確立する(図2⑤)。

SGW-Cは、PGW-Cからのセッション確立要求の応答から得たPGW-Uに関するU-Planeパス情報をSGW-Uに送信し、PFCPセッションを変更することでSGW-UとPGW-UのU-Planeパスを確立する(図2⑥)。MMEによるeNB側の設定が完了すると、eNBのU-Planeパス情報をSGW-Cは受信する。SGW-CはeNB側U-Planeパス情報をSGW-Uに通知し、SGW-UはeNB側との間でU-Planeパスを確立する(図2⑦)。

2.2 CU間の制御

(1)PFCP概要

PFCPは、SGW-U/PGW-Uのパケットの転送、廃棄、書換え、滞留、優先処理、カウントなどのパケット処理を、SGW-C/PGW-Cが指定するルール群

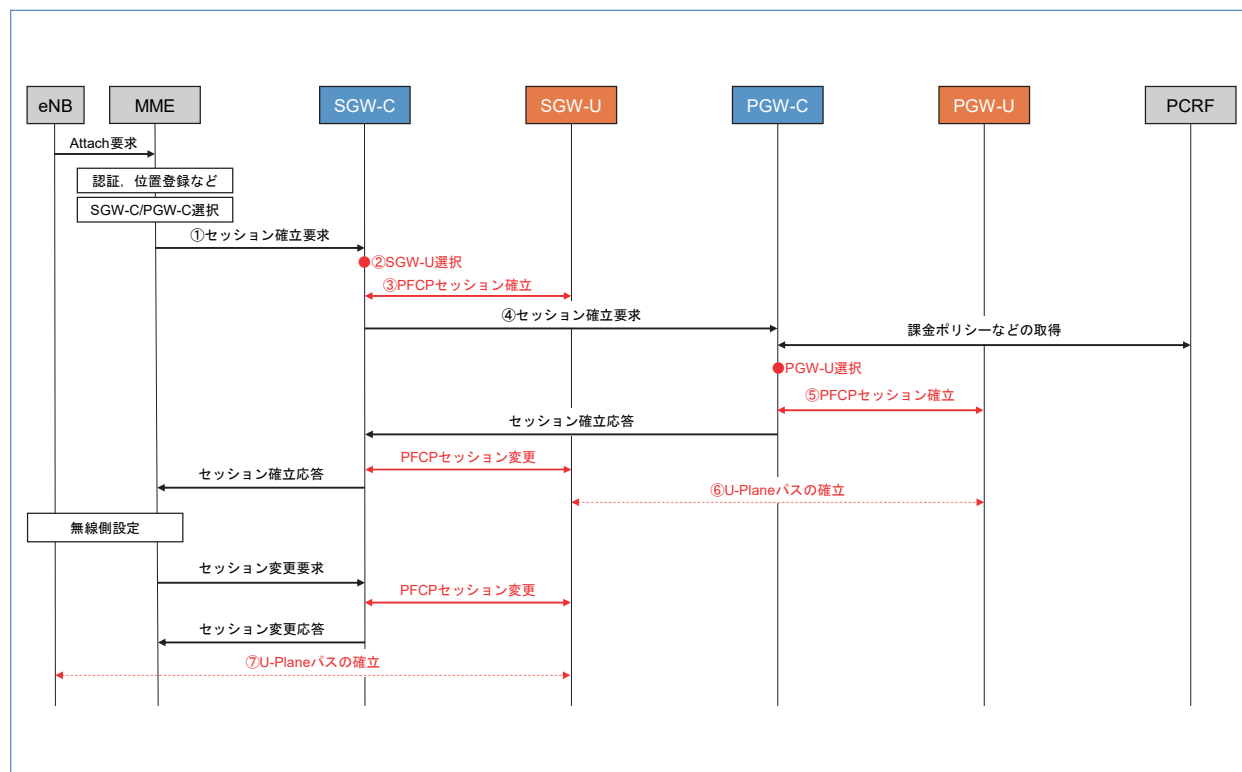


図2 Attachシーケンス

*22 Combined SGW-C/PGW-C：SGW-C、PGW-Cを結合し、双方の機能を兼ね備えた単一のC-Plane処理機能部。

*23 Combined SGW-U/PGW-U：SGW-U、PGW-Uを結合し、双方の機能を兼ね備えた単一のU-Plane処理機能部。

*24 TDF：トラフィックの識別、アプリケーションの検出を行い、PCRFに通知する機能部。ドコモでは実装されていない。

*25 PFCP：Sx参照点で用いられるC-Planeプロトコル。SGW-C/PGW-CはSGW-U/PGW-Uに対してPFCPを用いてパケット制御方法を指示する。

*26 GTP-u：無線基地局やコアネットワークの装置がユーザデータ

を伝送するために使用するトンネリングプロトコル。

*27 Attach：移動機の電源投入時などにおいて、移動機をネットワークに登録する処理および状態。

により制御するプロトコルである。SGW-C/PGW-CはSGW-U/PGW-Uにルール群をセッションごとに割り当てることができる。

PFCP信号は、装置間制御を規定するNode Related Procedures/MessagesとPFCPセッション制御を規定するSession Related Procedures/Messagesの2種類に分かれる。SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-UペアをPFCPアソシエーションと呼び(図1)、SGW-C/PGW-CはPFCPアソシエーションを組んでいるSGW-U/PGW-Uのみ制御可能となる。

(2)パケット処理モデル

PFCPでは、複数のルールを組み合わせてパケット処理の制御を行う。PFCPで使用するルール群を表1に示す。ルールはPDR (Packet Detection Rule)、FAR (Forwarding Action Rule)、BAR (Buffering Action Rule)、QER (QoS (Quality of Service)^{*28} Enforcement Rule)、URR (Usage Reporting Rule)の5種類である。PFCPでは、PDRを軸にさまざまなルールを組み合わせることでパケット処理を実現する。PDRには、監視対象とする受信用インタフェースや5-tuple情報^{*29}を定めておき、パケット受信時に、パケットに紐づく5-tuple情報がPDRの条件に合致するかSGW-U/PGW-Uが判定を行う。条件に合致した場合、規定したルール群に従いパ

ケット処理を行う。PDRについては、Downlinkパケットを検知するPDRとUplinkパケットを検知するPDRのように、個々に設定を行う。さらに宛先IPアドレスやプロトコルごとに適用ルールを変えることも可能であり、例えばDHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol for IP version6)^{*30}に関するパケットについては、PGW-UからPGW-Cに転送するという規定も可能である。なお、PDRを除く各ルールを複数のPDRに関連付けることが可能である。例えば、ある1つのQERを複数のPDRに関連付けることで、同一のDSCP (Differentiated Services Code Point)^{*31}値をSGW-U/PGW-Uが付与するといった制御が可能である。

実際のルール適用フローを解説する。まず、SGW-C/PGW-CはSGW-U/PGW-Uに対して、複数のPDRおよびPDRに関連付けられた各ルールを通知する。SGW-U/PGW-Uは、パケットを受信した際に通知されたPDR群を順に判定していき、合致するPDRを探索する。合致するPDRが見つけれられた場合、PDRに関連付けられたFARに基づき受信パケットの処理を行う。FARの内容がバッファリングであれば、BARに基づきバッファリングを行う。パケットを転送する場合は、QERに基づきDSCPマーキングや帯域制御などを行う。最後にURRで

表1 PFCPのルール群

ルール名	役 割
PDR	受信したパケットに対する判定条件およびパケットに適用するルール群を規定する。
FAR	パケットに付与するトンネリングヘッダ情報や使用するインタフェースなど転送にかかわる動作に加え、パケットの破棄もしくはバッファリングを行うなど転送要否を規定する。
BAR	保持する最大パケット数やDownlinkパケット到着からSGW-Cに対し通知するまでの滞留時間などバッファリングに関して規定する。
QER	許容する通信帯域やDSCP値の付与など転送パケットのQoSに関して規定する。
URR	関連付けられたPDRが検知したパケットのカウンタ方法や、C-Plane装置に対するカウンタ状況の通知タイミングを規定する。

^{*28} QoS：ネットワークにおいて、パケットにマーキングして優先的に処理するなどの方法により、通信品質を適切に管理するための技術。音声通話などにおいて通話が途切れないようにデータ転送よりも優先するなどの処理を行う。

^{*29} 5-tuple情報：IPヘッダ、TCP (Transmission Control Protocol) / UDP (User Datagram Protocol) ヘッダに格納されている宛先IPアドレス、宛先ポート番号、送信元IPアドレス、送信元ポート番号、プロトコル番号の5つの情報の総称。

^{*30} DHCPv6：IPv6を用いてネットワークに接続する際に必要なDNSサーバ情報やアドレス情報などを配布するプロトコル。

^{*31} DSCP：IPパケットのQoS優先度制御を行う際に、パケットの優先度を表す値。IPヘッダのType Of Serviceの先頭6bitで表現され、64段階の優先度を指定することができる。

規定された方法でパケット数カウントやボリュームカウントを行い、SGW-C/PGW-Cに通知する必要がある場合は、カウント情報などの通知を行う。このようにPFCPのルールを組み合わせてSGW-U/PGW-Uでパケット処理を行う。

(3)U-Plane装置の管理

SGW-C/PGW-Cは、SGW-U/PGW-Uに対しPFCPアソシエーションを事前に確立しこれらを管理している。セッション確立時に選択候補となるSGW-U/PGW-UはPFCPアソシエーションを確立している装置となる。PFCPアソシエーションを確立する際には、SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-Uとのどちらで標準仕様のオプション機能を分担するか選択可能である。SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-Uは、お互いのもつ能力をNode Related Procedures/Messagesで交換し、オプション機能の対応状況に応じて、どちらで機能をサポートするか決定する。

PFCPアソシエーションを確立したSGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-U間は定期的にハートビートパケット^{*32}を送信し、互いの死活監視や再開時刻の確認を行う。ハートビートパケットはそれらの間では双方向で送受信が可能である。

3. トラフィック特性に応じたU-Plane制御

3.1 CUPS導入後のGW選択

(1)CUPSのGW選択方式

EPCでは、MMEがDNS (Domain Name System)^{*33}を用いてSGW/PGWを選択する方式が規定されている。MMEはAPN (Access Point Name)^{*34}や端末の位置情報などのキー情報を基にDNSを用いて適切なSGW/PGWを選択する。MMEはセッション数といったC-Planeの観点と、想定されるトラフィッ

ク量や物理距離といったU-Planeの観点の両者を考慮してSGW/PGWを決定する。これに対しCUPS導入後は、MMEとSGW-C/PGW-Cで分担して装置を選択する形となる。MMEの選択対象装置はSGW-C/PGW-Cとなり、SGW-U/PGW-Uの選択をSGW-C/PGW-Cが担う。SGW-U/PGW-Uの選択方式について、標準仕様では2種類が規定されている。1つ目はSGW-C/PGW-C単独で選択する方式である。2つ目はSGW-C/PGW-CがDNSと連携し選択する方式である。標準仕様上、DNSを用いた選択方式はオプションとして規定されていることから、本稿ではSGW-C/PGW-C単独の選択方式について解説する。

標準仕様で規定されているSGW-U/PGW-U選択に使用可能なパラメータは、大きく以下の3種類となる。

- ①セッション確立要求で受信したAPNや端末位置情報などを含むC-Plane情報。
- ②SGW-U/PGW-Uの性能や機能などの静的な情報。
- ③SGW-U/PGW-Uの負荷状況などの動的な情報。

基本的には従来のMMEによる選択と同様に、APNと位置情報を用いてSGW-U/PGW-Uの選択を行うが、③はMMEによる選択では難しかった機能の実現に繋がる。③の例として、負荷バランシングを取るために現在の負荷状況をパラメータとして通知することが挙げられるが、従来でもSGW/PGWから負荷状況をMMEに通知し活用する規定は存在していた。しかし、通知されたSGW/PGWの負荷情報の活用要否はMMEの実装状況に左右されるため、ローミングやMVNOでは適切に活用されない可能性があった。CUPS導入後はSGW-U/PGW-Uに対する負荷分散やトラフィックに応じた選択は自網SGW-C/PGW-Cで行えるため、負荷情報を踏まえて装置を選択できる。

^{*32} ハートビートパケット：対向する装置の死活監視を行うために送信される生存確認のためのパケット、またはその生存応答のパケット。PFCPのハートビートでは、タイムスタンプなどが送受信される。

^{*33} DNS：ネットワーク上でドメイン名とIPアドレスの解決を行う機能。コアネットワークでは、ゲートウェイ装置などのサービスディスカバリに利用される。

^{*34} APN：UE（^{*36}参照）の接続先を指定する識別子。UEがコアネットワークに対して接続を要求する際に接続先のPDNを指定する識別子として利用する。

(2)CUPS導入後の装置配備

CUPS導入後の装置配備の例を図3に示す。CUPS導入後では、SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-Uはそれぞれ独立して配備が可能になる。標準仕様では、SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-Uは N 対 N で接続可能である。例えば、災害や輻輳を考慮しSGW-C/PGW-Cを冗長化して分散配備しておくことで、あるSGW-C/PGW-Cが障害中であっても他のSGW-C/PGW-CからSGW-U/PGW-Uを選択することが可能になるためリソースを有効活用可能である。

CUPS導入により、SGW-C/PGW-CはeNB/gNBと接続しないアーキテクチャとなる。このため伝送距離や接続可能なeNB/gNB数などの考慮が不要となる利点がある。また、地理的考慮が不要になり集中管理が実現できることから、拠点数の削減に伴う

保守効率化も期待できる。

SGW-U/PGW-Uは、収容するサービスの要件やロケーションなどに応じて配備していくことが可能になる。例えば、低遅延データ通信サービス向けに装置を全国に細かく多数配置する考え方や、都市部のような人口が多く高速・大容量通信が求められる場所に、高性能なSGW-U/PGW-Uを配備するといった地域特性に応じた考え方、災害に強いサービスを実現するために、冗長度や信頼性の高い装置を配備するといったサービス要件に応じた考え方が実現できる（図3）。

(3)トラフィックルートの効率化

ここでは、CUPS導入以前のトラフィックルート効率化の考え方と課題を切り口に、CUPSを用いてどのように課題を解決可能か解説する。

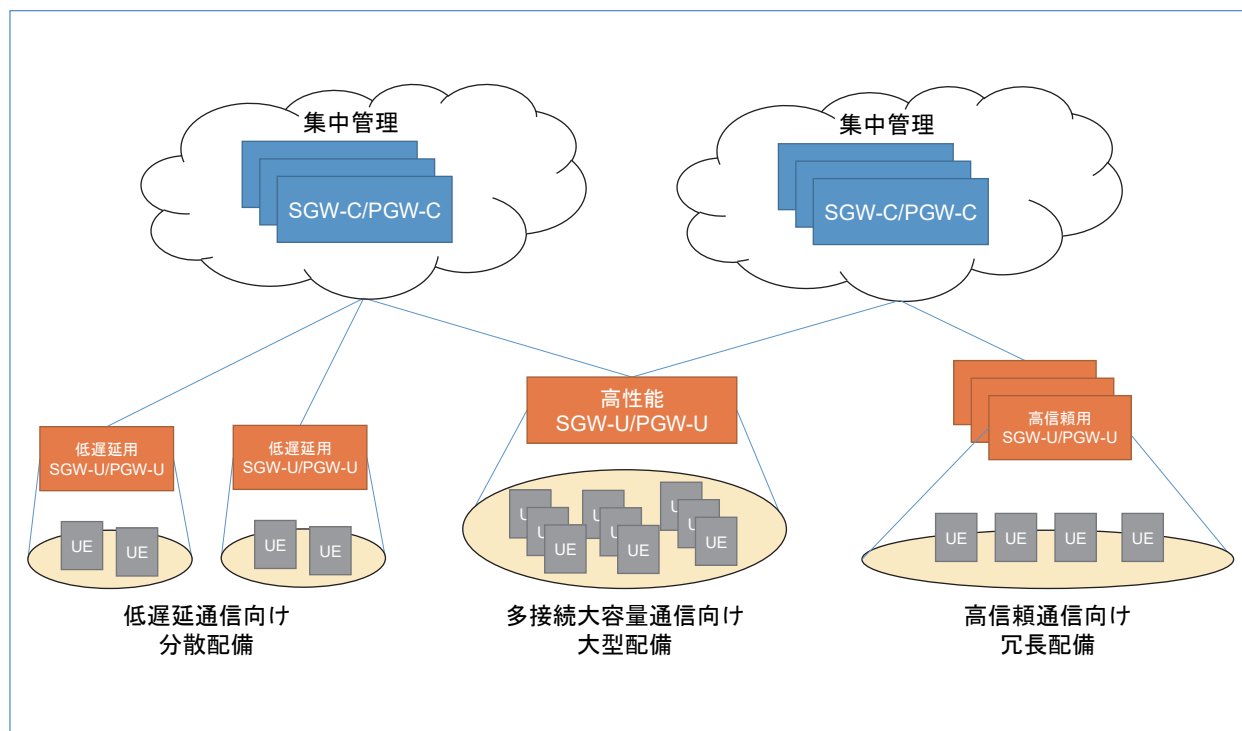


図3 CUPS導入後の装置配備の例

・CUPS導入以前の課題

CUPS導入以前のトラフィックルートの例を図4に示す。一般にEPS (Evolved Packet System)^{*35}では、Multiple-PDN (Packet Data Network)^{*36}により1UE (User Equipment) 当り複数のセッションを設定する。例として、音声サービス用のIMS (IP Multimedia Subsystem)^{*37}セッションとデータ通信サービス用のセッションという使い方が挙げられる。トラフィックルート効率化の軸として、サービス要件に応じた設備収容と伝送経路の削減の2点が挙げられる。

サービス要件に応じて装置を選択する場合、APNをキーとしてセッションに応じて異なる

PGWを複数台選択できたが、選択可能なSGWは1UE当り1台のみとなる (図4(a))。このため、サービス要件がセッションごとに異なるにもかかわらず、同一のSGW装置要件が適用されてしまう課題があった。

また、伝送経路削減を検討する場合、SGWとPGWが同一装置となるようMMEで選択することでS5参照点の経路を削減可能である。しかしSGWを1台しか選択できない制約のため、音声サービスとデータ通信サービスのS5経路削減のためには、これらを同一のSGW/PGWに収容する必要がある (図4(b))。その結果、PGWはサービス要件に応じて異なる装置に収容できるにもかかわらず、同一装置に収容する

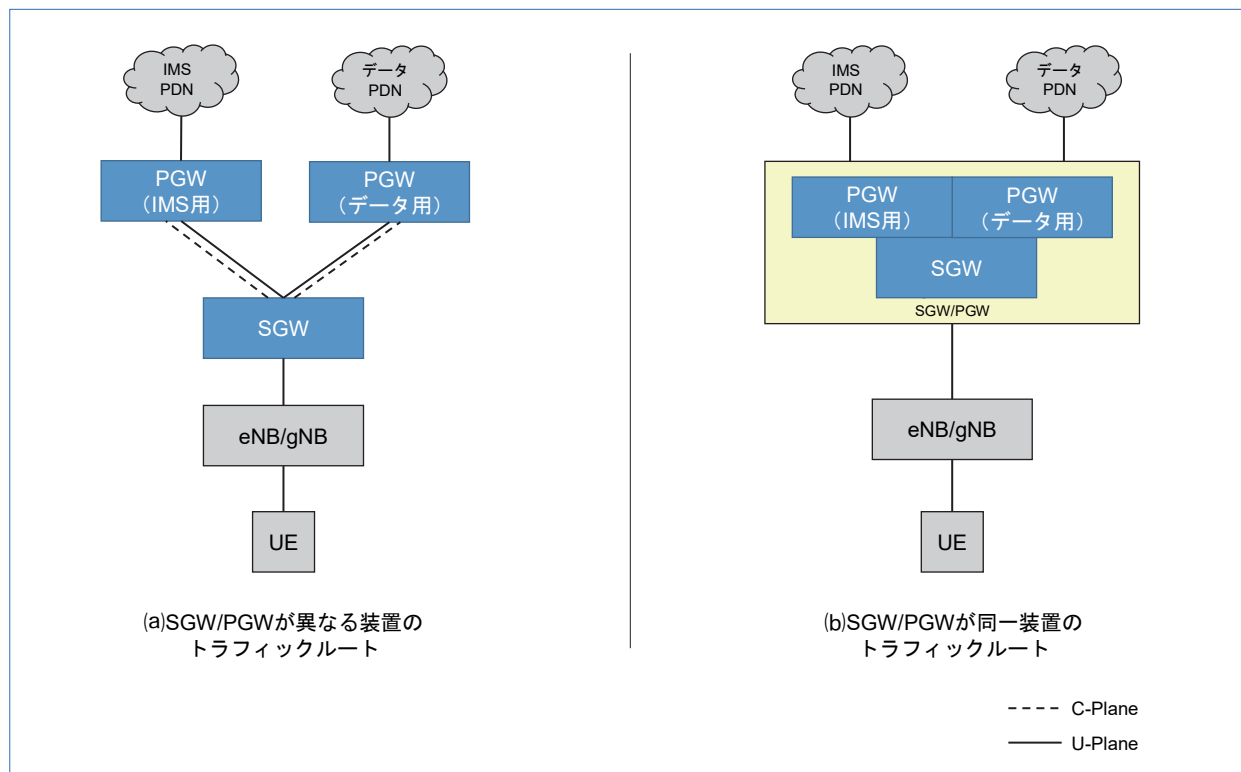


図4 CUPS導入以前のトラフィックルートの例

*35 EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

*36 PDN：モバイルコアネットワークが接続する外部のパケットネットワーク。

*37 IMS：パケット通信ネットワーク上で、音声通信を始めとしたマルチメディアサービスを提供するために標準化されたシステム。

必要が生まれる課題があった。

このようにCUPS導入以前では、サービス要件に応じた設備収容と伝送経路の削減の両立が困難であった。

・CUPS導入後のトラフィックルート効率化

CUPS導入後のトラフィックルートの例を図5に示す。CUPS導入後ではSGW-U/PGW-Uをセッション単位に選択することが可能であり、サービス要件に応じた設備構築が可能になる。

SGW-CとPGW-Cが異なる装置として選択された場合、それらがSGW-Uの選択規定およびPGW-Uの選択規定に応じてSGW-U/PGW-Uを決定する（図5(a)）。しかし、現在の標準仕様ではSGW-Uの選択時にAPNを使用できない規定

となっているため、適切な装置を用いてトラフィックルートを構築できない懸念がある。例えば、信頼性の要件が高い音声サービスと、低遅延が要求されるデータ通信サービスを1UEに同時提供する場合、音声サービスを信頼性の高い装置に収容し、低遅延データ通信サービスを伝送距離が短くなる装置に収容しルートを構築することが理想となる。しかし、APNに応じてSGW-Uを選択できない場合、音声サービス向けのSGW-Uを用いて、低遅延データ通信サービス用のトラフィックルートを構築してしまう懸念がある。

この課題は、SGW-CとPGW-CがCombined SGW-C/PGW-Cの組合せとなるよう選択するこ

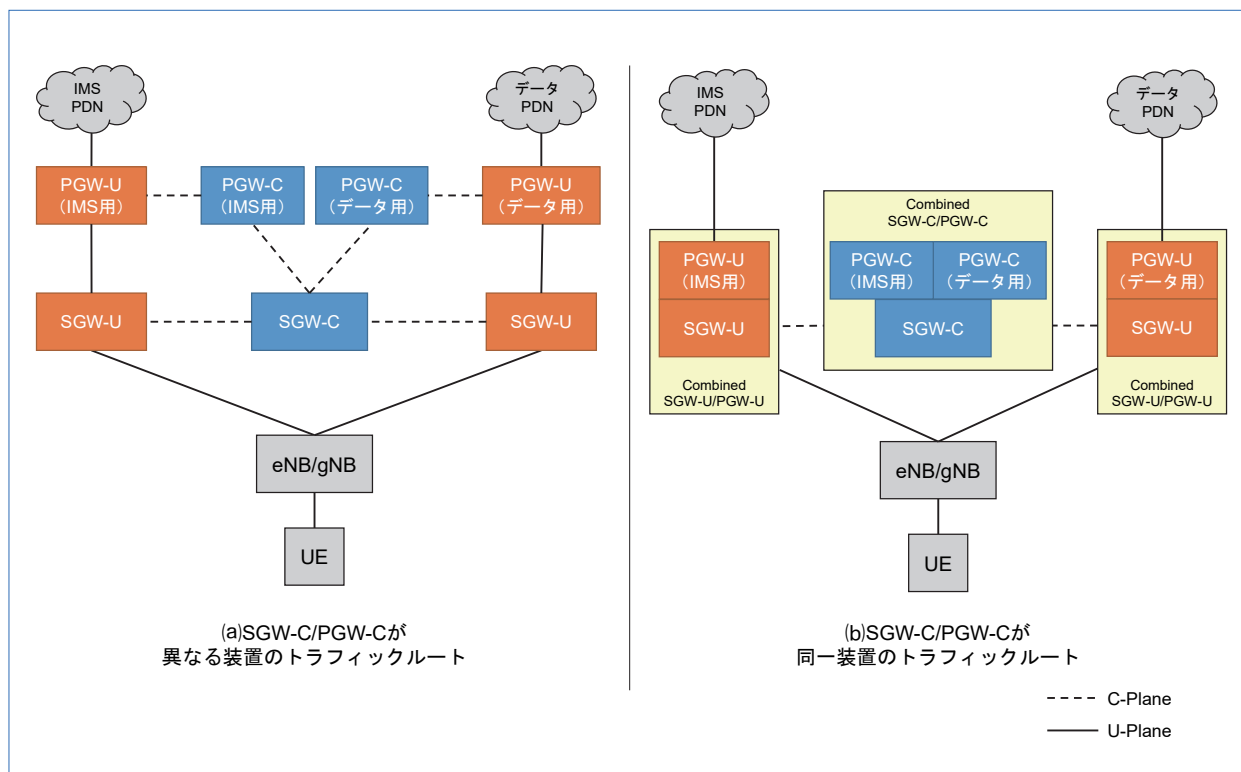


図5 CUPS導入後のトラフィックルートの例

とで解決可能である。SGW-C/PGW-Cを、地理的考慮が不要になる特性を活かして集中配備し、SGW-CとPGW-CがCombined SGW-C/PGW-CとなるようMMEで選択を行う（図5(b)）。それらが選択された場合、SGW-U/PGW-UがCombined SGW-U/PGW-Uとして制御可能になるため、SGW-U/PGW-Uの選択パラメータにPGW-Uの選択規定が適用可能となる。その結果として、SGW-UがAPNに応じて選択される。伝送経路観点では、CUPS導入以前と同様にCombined SGW-U/PGW-UにおいてS5-U参照点の経路を削減可能である。さらにSGW-U/PGW-UをeNB/gNBに近い位置に配置することで、S1-U参照点の伝送距離削減も可能である。

3.2 SGW-U/PGW-Uの拡充

(1)CUPSに伴うコアネットワークの発展

SGW/PGWは、eNB/gNBやMME、PCRFなどのさまざまな装置と対向している。SGW/PGWのバリエーションを増やす場合、既設装置と対向するための技術検討範囲が多岐にわたることから困難であった。CUPS導入後は、C-Planeに関する影響をSGW-C/PGW-Cで閉じることが可能なため、CUPS導入以前よりもSGW-U/PGW-Uの対向先は限定的となる。これにより、SGW-U/PGW-Uのバリエーションを増やすことが容易になる。新しいSGW-U/PGW-Uを導入する場合、オペレータ既設のSGW-C/PGW-Cから制御が可能であれば、その他はU-Planeに関する検討のみとなることから、導入の敷居が下がる利点がある。加えてSGW-U/PGW-U自体の発展が期待できる。例えば、イベント会場向けに多数端末同時接続に適した製品や、低遅延サービス向け分散配置用の低コスト製品など、求められるサービスレベルや設備要件に応じたSGW-U/PGW-

Uを提供できるようになる。オペレータはユースケースに応じたSGW-U/PGW-Uを導入することで、柔軟なコアネットワークを展開することが可能になる。

(2)装置拡充における注意事項

SGW-U/PGW-Uの拡充を図るためには、SGW-C/PGW-Cとの相互接続性を考慮する必要がある。PFCPではSGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-U間の機能分担を明確に規定しているが、一部機能においては両者どちらで実装してもよい規定となっており、オペレータにおいて採用する方式の評価が必要である。

相互接続性において評価が必要な例として、End markerを解説する。End markerはハンドオーバーに伴う経路切替え時に、旧経路に対して転送パケットの終了を通知する機能である。標準仕様上、End markerはSGW-C/PGW-Cが生成する規定となっており、SGW-U/PGW-Uによる生成はオプションとして規定されている。しかし、両者を比較すると、後者のSGW-U/PGW-Uによる生成が適していると考えられる。信号量に着目すると、SGW-C/PGW-Cが生成する方式では、ハンドオーバー制御とは別にEnd markerの送信手順が必要になるが、SGW-U/PGW-Uが生成する方式では、ハンドオーバー制御の中でEnd marker送信指示を行うことから信号量が増加しない。加えて、SGW-C/PGW-Cによる方式では、SGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-U間でEnd marker転送用の独立したセッションを確立する必要があり、独立セッションの相互接続に関する技術検討が必要である。これらの理由により、End markerにおいてはSGW-U/PGW-Uが生成する規定が優れていると考えられる。このように、オプションの方式を採用するケースが存在することから、SGW-U/PGW-Uのバリエーション拡充を図る際は

注意が必要である。

Release 17では、前述のEnd markerを含むSGW-C/PGW-CとSGW-U/PGW-U両者が実施可能な機能について改めて議論が行われ、推奨する方式が明確化された。ドコモにおいても、推奨する規定に追従していきSGW-U/PGW-Uのバリエーション拡充に努めていく予定である。

4. 5Gインターワークに向けた発展

5G SA方式の商用化に向けて、現在導入を進めている5GC (5th Generation Core network)^{*38}では、EPCと同様にCUPSアーキテクチャが採用されている。EPCとの相互接続においては、EPCのPGW-C

機能を、5GCのSMF (Session Management Function)^{*39}とPGW-Cを結合し双方の機能を兼ね備えた単一装置であるSMF+PGW-Cが具備し、同様にEPCのPGW-U機能を、5GCのUPF (User Plane Function)^{*40}とPGW-Uを結合し単一装置としたUPF+PGW-Uが具備する(図6) [7]。

SMF+PGW-Cは、前述したPFCPを用いてUPF+PGW-Uを制御するため、EPCのCUPSアーキテクチャとの類似性が高い。5GC導入に先行してEPCへのCUPSアーキテクチャ適用を進めることができれば、EPCから5GCへのシームレスな移行が期待できる。具体的には、SGW-CとSGW-Uの機能をそれぞれSMF+PGW-CとUPF+PGW-Uに具備させることができれば、SGW-CとSGW-Uのいずれかまたは両

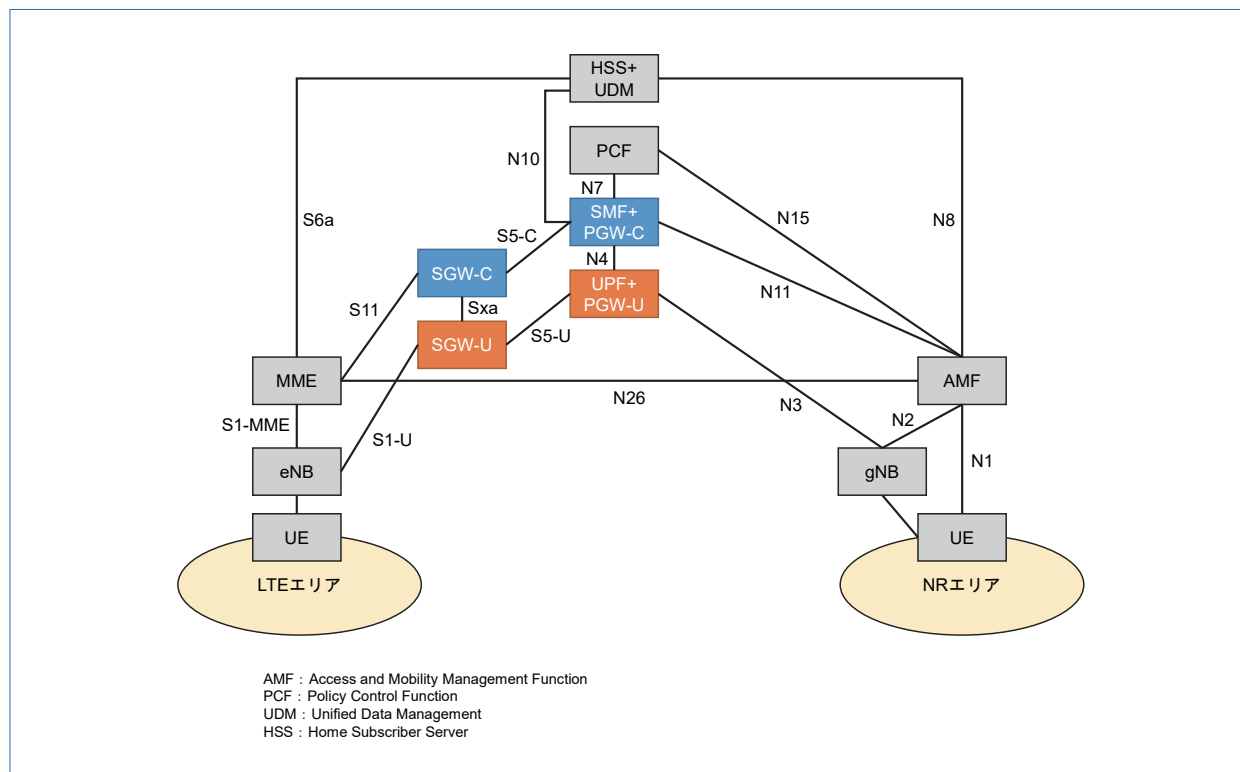


図6 EPC-5GCインターワークにおけるSMF+PGW-C, UPF+PGW-Uの導入

^{*38} 5GC : 3GPPで規定された第5世代移动通信システムにおけるコアネットワーク。

^{*39} SMF : 5GCにおいてセッションを管理する機能部。EPCにおけるSGW-C/PGW-Cに相当する。

^{*40} UPF : 5GCにおいてU-Planeを中継・終端する機能部。EPCにおけるSGW-U/PGW-Uに相当する。

方を、段階的に5GCに巻き取っていく移行計画を検討できる。

5. あとがき

本稿では、モバイルコアネットワークにおけるCUPSアーキテクチャ、CUPSアーキテクチャでの制御方式、制御プロトコルPFCEP、多様なSGW-U/PGW-Uをユースケースに応じて柔軟に選べるGW選択方式について解説し、CUPS導入によって得られるモバイルオペレータとユーザ双方の利点を紹介した。

ドコモでは、5G NSAの導入により増大するトラフィックの柔軟かつ最適な収容と、まもなく導入される5GCとの円滑な相互接続の実現のため、EPCへのCUPSアーキテクチャの適用を進めてきた。今後は、SGW-U/PGW-U装置のバリエーション拡充、5GCネットワークの導入と発展を進めていく予定である。

文 献

- [1] 寒河江, ほか: “5Gネットワーク,” 本誌, Vol.28, No.2, pp.24-38, Jul. 2020.
- [2] 遠藤, ほか: “5Gプレサービス概要,” 本誌, Vol.27, No.3, pp.6-10, Oct. 2019.
- [3] 古城, ほか: “5G商用サービス概要,” 本誌, Vol.28, No.1, pp.6-10, Apr. 2020.
- [4] 3GPP TS23.401 V15.12.0: “General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access,” Sep. 2020.
- [5] 3GPP TS23.214 V15.5.0: “Architecture enhancements for control and user plane separation of EPC nodes; Stage 2,” Dec. 2018.
- [6] 3GPP TS29.244 V15.10.0: “Interface between the Control Plane and the User Plane nodes,” Sep. 2020.
- [7] 3GPP TS23.501 V15.12.0: “System architecture for the 5G System (5GS),” Dec. 2020.

2021 IEEE Communications Society Best Tutorial Paper Award受賞

2021年5月17日、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Communications Societyより、2021年IEEE Communications Society Paper Awardが発表され、5G・IoTビジネス部のベンジャブール アナス (Anass Benjebbour) が、「5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice」(5G: 標準化全体像, トライアル, 課題, 展開, 実施に関する解説) により、IEEE Communications Society Best Tutorial Paper Awardを受賞しました。ドコモとして初の受賞となります。

IEEE Communications Society Best Tutorial Paper Awardは、IEEEの論文誌に過去5年間に掲載された論文の中で最も優れたTutorial Paper (解説論文) に対して与えられる賞です。

本受賞論文は、第5世代移動通信システム (5G) の標準化が収束し始めた2017年のタイミングで、世界各地の業界の有識者からこれまでの取組みを包括的に分かりやすくまとめた論文 (共著*) であり、ドコモからはベンジャブール アナスが、3GPP (3rd

Generation Partnership Project) /ITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector) などの標準化団体をリードし定めた5Gの要求条件、その要求条件を達成するための要素技術と、ドコモが世界各ベンダと実施した実証実験の内容と成果の解説をまとめました。

また本論文は、2017年6月にIEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.35, No.6に掲載されてからわずか4年間で1,000回以上の引用があり、引用率が高く、移動通信分野の発展と5Gに対する世界技術者の理解促進に貢献したことが評価され、本受賞につながりました。

今後も、さまざまな場において、業界の各プレイヤーとの連携を推進するグローバル標準化リーダーとして、モバイル技術、産業発展に貢献していきます。

※共著者: Mansoor Shafi, Andreas F. Molisch, Peter J. Smith, Thomas Haustein, Peiying Zhu, Prasan De Silva, Fredrik Tufvesson, Anass Benjebbour, Gerhard Wunder

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



「iFデザインアワード2021」受賞

ドイツ現地時間の2021年5月10日に、5G・IoTビジネス部の小栗 伸、近藤 淳、吉野 僚太郎が企画開発を行った「みまもり電話 ～AIを活用した地域ケアシステム～」が、世界3大デザイン賞の1つである「iFデザインアワード2021」を受賞しました。

「iFデザインアワード」は、ドイツの国際ナショナル・フォーラム・デザイン（iF: International Forum Design）が主催し、全世界の工業製品などを対象に優れたデザインを表彰するデザイン賞です。

みまもり電話は、お年寄りや住民の方の固定電話などにAIが定期的に連絡し、会話を通して安否や体調の確認を行うサービスです。ヒアリングしたデータは要約・分類され、家族・生活支援センターといった連携先へ自動で共有されます。これまで“ひと”でしか行えなかった電話・パソコン作業を自動化します。

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



第32回電波功績賞 「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞

2021年6月30日に第32回電波功績賞が発表され、「オープンRANによる5G周波数帯キャリアアグリゲーション技術の実用化」の功績により、無線アクセス開発部の安部田 貞行が代表となり「総務大臣表彰」を受賞しました。また、ドコモ・テクノロジー（現、サービスイノベーション部）の佐藤 篤とサービスデザイン部の廣橋 道夫が代表となり「聴覚に障がいのある方の生活を支援する『みえる電話』の提供」の功績により、さらに、無線アクセスネットワーク部の平本 義貴が代表となり、公益社団法人移動通信基盤整備協会、ソフトバンク株式会社、KDDI株式会社と連名で「全国新幹線路線における現行営業区間の電波遮へい対策完了」の功績により、それぞれ「電波産業会会長表彰」を受賞しました。

電波功績賞は、一般社団法人電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Businesses）により、電波の有効利用に関する調査、研究、開発において画期的かつ具体的な成果をあげた者、あるいは電波を有効利用した新しい電波利用システムの実用化に著しく貢献した者に対して授与されるものです。今回の表彰では総務大臣表彰が2件、電波産業会会長表彰が5件授与されました。

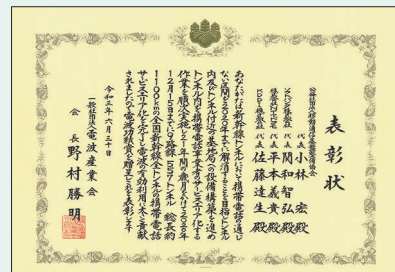
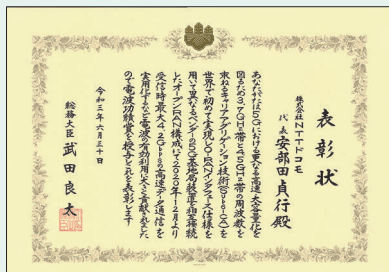
総務大臣表彰の「オープンRANによる5G周波数帯キャリアアグリゲーション技術の実用化」では、第5世代移動通信システム（5G）におけるさらなる高速・大容量化を図るため、3.7GHz帯と4.5GHz帯の周波数を束ねるキャリアアグリゲーション技術（Sub6-CA）を世界で初めて実現し、O-RANインタフェース仕様を用いて異なるベンダの5G基地局装

置を相互接続したオープンRAN構成にて2020年12月より受信時最大4.2Gbpsの高速データ通信を実用化するなど、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

電波産業会会長表彰の「聴覚に障がいのある方の生活を支援する『みえる電話』の提供」では、聴覚障がい者などの、声を聞き取りづらい利用者の電話連絡を支援するサービスとして、音声認識技術を利用して通話相手の音声をリアルタイムにテキスト変換し、スマートフォン画面に文字で表示する「みえる電話」のサービスを実用化し、一般のスマートフォンにアプリケーションをインストールするだけで利用可能な商用サービスを2019年3月に開始するなど、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

同じく電波産業会会長表彰の「全国新幹線路線における現行営業区間の電波遮へい対策完了」では、新幹線トンネルにおいて携帯電話の通じない区間を2020年までに解消することを目指し、トンネル内およびトンネル付近の基地局への設備構築を進め、トンネル内を携帯電話事業者のサービスエリア化する作業を順次実施し、21年間の歳月をかけて2020年12月15日までに9路線、557トンネル、総延長約1,100kmの全国新幹線全トンネルの携帯電話サービスエリア化を完了し、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

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



情報通信技術委員会（TTC）2021年度 「総務大臣表彰」「TTC会長表彰」受賞

2021年6月2日、情報通信技術委員会（TTC：The Telecommunication Technology Committee）より、2021年度情報通信技術賞の受賞者が発表され、ドコモ・テクノロジー株式会社の中村 寛が、「移動通信システムに関する標準化及び実用化への貢献」により総務大臣表彰を、R&D戦略部の岡川 隆俊が、「移動通信網のネットワークアーキテクチャ関連の国際標準化に関わる功績」によりTTC会長表彰を受賞しました。

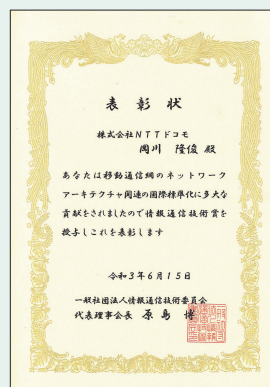
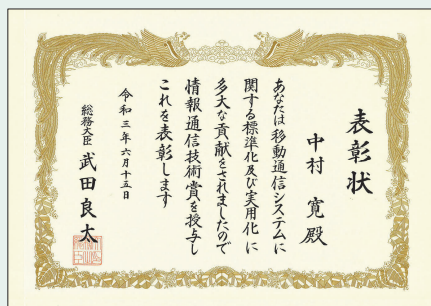
TTCは、情報通信ネットワークにかかわる「標準」を作成することにより、情報通信分野における標準化に貢献するとともに、その普及を図ることを目的としており、その目的に沿う事業の遂行に多大な貢献をした者に対して毎年表彰が行われています。本年度は、情報通信技術賞総務大臣表彰（1名）、情報通信技術賞TTC会長表彰（6名）、功労賞（17名）が授与されました。

中村は1991年から移動通信システムに関する標準化に携わり、第2世代移動通信システム（2G）から第5世代移動通信システム（5G）に至るまでの技術仕様の標準化とその実用化に向けて大きな役割を果たしました。国際活動としては、ETSI SMG（European Telecommunications Standards Institute Special Mobile Group）、3GPP（3rd Generation Partnership Project）、ITU-T（International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector）、ATM-Forum（Asynchronous Transfer Mode-Forum）などでシステムアーキテクチャ、信号方式、伝送方式の標準化を推進するとともに、ITU-Tでは、IMT-2000 and Beyond Special Study Groupの副議長、3GPPでは、TSG-CN（Technical Specification Group Core Network）およびTSG-SA（Service and System Aspects）の副議長、GSM Associationでは、Executive Committee委員を歴任し、標準化の取りまとめおよびその普及に務めました。国内では、TTCにおいて2Gの国内標準化活動をはじめ、3G無線インタフェース信号方式に関する専門委員会の委員長を務め、また、企画戦略委

員会委員として標準化活動の戦略を企画するなど、多方面にわたり標準化活動を推進しました。さらに、実用化に向けた各種関連システム開発・導入の推進役としても中心的役割を果たし、実証試験の推進やパートナー連携により移動通信の新たなユースケース・市場開拓にも積極的に取り組むなど、長年にわたり移動通信システムの進化・発展に大きく貢献しています。これらの貢献が認められ今回の受賞となりました。

岡川は1999年から現在の5Gに至るまで3GPP、GSMA（Global System for Mobile communications Association）、ETSIおよび、5G-ACIA（Alliance for Connected Industries and Automation）といったアライアンス団体における移動通信網のネットワークアーキテクチャの標準化に従事し、3G、LTE、VoLTE（Voice over LTE）、5Gなどの標準化を牽引しました。また、日本国内においてはTTC企画戦略委員会を4年担当し、2014年には将来のモバイルネットワークキングアドホックのリーダーを務め、ホワイトペーパーを完成させるなど、長年にわたり国内外の標準化と技術検討に貢献しました。特に第3世代移動通信システム（3G）においては、マルチメディア通信に適したATM AAL Type2（Asynchronous Transfer Mode Adaptation Layer Type2）伝送方式、急速なデータ通信の普及や多様な無線アクセスに対応したAll-IPネットワークアーキテクチャおよびモビリティ技術、耐災害性に優れた5Gサービスに対応可能なネットワーク仮想化技術の標準化など、多くの関連標準化団体との連携を円滑に行うようにチームを指揮し、各世代における移動通信網技術の国際標準化策定に尽力、移動通信ネットワークおよびサービスの発展に貢献しています。長年にわたるこれらの貢献が認められ、今回の受賞となりました。

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



NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.29 No.3

2021年10月発行

企画編集 株式会社NTTドコモ R&D戦略部
〒100-6150
東京都千代田区永田町 2-11-1
山王パークタワー39階

発行 一般社団法人 電気通信協会
〒101-0003
東京都千代田区一ツ橋 2-1-1
如水会ビルディング6階

本誌掲載内容についてのご意見は
e-mail: dtj@nttdocomo.com 宛

本誌に掲載されている社名，製品およびソフトウェア，
サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標です。
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

© 2021 NTT DOCOMO, INC.