

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.25 No.1 | Apr.2017



DOCOMO Today

- パーソナルエージェントの実現と協創への想い

Technology Reports

- 受信時最大682Mbpsを実現する4×4 MIMO, 256QAM対応の無線基地局装置と移動端末の開発
- 5Gシステムの最新無線アクセス技術とフィールド実証実験結果
—無線データ伝送の超高速化・高速移動対応・周波数利用効率向上を実現する技術—
- 視野特性を考慮したヘッドマウントディスプレイの広視野角化手法

パーソナルエージェントの実現と協創への想い



サービスイノベーション部 部長
おの ともよし
大野 友義

2013年に「スマートライフのパートナーへ」と題してドコモのめざす姿が示された。その時から、生活に溶け込む「パーソナルエージェントの実現」を、部の目標として取り組んでいる。パーソナルエージェントとは、24時間365日、お客様に寄り添いながら、生活のあらゆるシーンで人々の生活をサポートし、より豊かにするものである。決して人の代行をするものではなく、あくまでも行動をサポートするものであると考えている。

パーソナルエージェントを実現するための要素は、大きく3つ。技術、ビッグデータ、技術者である。技術確立だけでなく、いかにサービスに関するビッグデータを集めるか、また、それらを活用して、パーソナルエージェントを実現する技術者も重要な要素である。

2015年のDOCOMO R&D Open Houseにおける講演「パーソナルエージェントの実現とロボットの取り組み」の中で述べたように、パーソナルエージェントを実現する主要コア技術を3つに分類し取り組みを続けてきた。「耳、口」の機能を実現する自然言語処理技術、「目」の機能を実現する画像認識技術、そして「心」の機能を実現するユーザ理解・行動先読み技術である。コア技術とは、独自開発技術だけを指している訳ではなく、他社技術であっても、その技術を自ら徹底して使い込み、ノウハウを蓄積したものも含んでいる。そのため、積極的なオープンソースの活用も実施している。

これらの主要コア技術のベースは、ビッグデータの機械学習であり、特にその主流となっているのが深層学習（Deep Learning）^{*1}である。深層学習もコア技術に含まれる。2015年にGoogle社が深層学習を適用し、初めて人間のプロ囲碁棋士を破ったコンピュータ囲碁プログラムAlphaGoTM*2（アルファ碁）が有名であるが、ゲームの場合は、ルールや法則、勝ち負けが明確であるため、コンピュータ同士で対戦させることで、勝ち方を自動学習する手法を採ることが可能である。つまり、計算機のパワーが潤沢にあれば、比較的容易に勝ち方を解くことが可能である。一方、我々が開発しているパーソナル

エージェントにおいては、ユーザの発話に対する応答は、全体の文脈、対話者同士の人間関係などを背景に進行し、また、必ずしも一意に正解が決まらず、現段階において深層学習の適用は研究段階であり、実用に耐えうるパーソナルエージェントの実現は非常に難しい。ただし、正解データを得やすい、音声認識、画像認識の分野においては、深層学習の適用は実用段階にあり、人間の識別能力を機械が超えるところまできている。

深層学習の登場以来、人間が知識や経験を活かして問題を解く手順を考えるより、大量のデータを機械学習した方が効率的に優れた結果が得られるようになった。課題は学習させる大量のデータの取得にある。2012年3月にサービス開始した「しゃべってコンシェル」(総インストール数3600万以上、アクセス数14億以上(2016年4月末時点))のコア技術である自然言語処理技術においては、実際のサービスの中でデータ収集→データ分析→分析結果反映を反復し、大量のデータを取得し、平行して機械学習を繰り返した。これにより従来に比べて飛躍的に音声認識性能、質問応答性能を向上させていった。つまり、深層学習を用いてサービスの性能・品質向上を行うためには、いち早くサービスを提供し、上記サイクルを継続することで、圧倒的なデータ量を獲得することが重要である。

パーソナルエージェント実現には、ビッグデータの取得を支えるデバイスの広がりも重要である。身の回りのすべての物がクラウドとつながることで、人々のさまざまな状況をパーソナルエージェントが知ることが可能となり、未来の行動支援、健康支援までもが可能な究極のパーソナルエージェントが実現する。

今後は、パーソナルエージェントを実現するコア技術を活用した+d^{*3}(協創)についても積極的に取り組んでいきたい。2015年10月に、ドコモから自然対話プラットフォームを提供し、タカラトミーとコミュニケーション「OHaNAS[®]*4」(オハナス)の共同開発を行った。+dとは、プロとプロのぶつかり合いだと考えており、OHaNASは、その代表例だと思う。お互いの強みを出し合うことにより、新たな価値が創造される。

現在、タクシー会社とも+dを進めている。具体的には、ドコモの人口統計情報とタクシー会社の運行データ、エリア特性、気象データなどを組み合わせて深層学習することで、30分後のタクシー需要予測に取り組んだ。これこそ、未来を予測する、まさにパーソナルエージェントを実現するために日々磨き込んできた我々のコア技術を活用した人工知能の応用であると思っている。

引き続き、パーソナルエージェントを実現するコア技術の活用と、企業間のビッグデータの相互利用による協創により、新たな価値を創造し、その世界が「いつか、あたりまえになることを。」となるように、今後もチャレンジを続けていきたい。

*1 深層学習（Deep Learning）：多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習。

*2 AlphaGoTM：米国Google Inc.の商標または登録商標。

*3 +d：ドコモがパートナーの皆様とともに新たな価値を協創する取り組みの名称。

*4 OHaNAS[®]：株式会社タカラトミーの登録商標。

[Contents]



DOCOMO Today 01

パーソナルエージェントの実現と協創への想い 大野 友義



特別寄稿 04

技術者倫理 ―電波の安全性について― 平田 晃正

Technology Reports 06

受信時最大682Mbpsを実現する4×4 MIMO,
256QAM対応の無線基地局装置と移動端末の開発 06

4×4 MIMO

256QAM

高度化C-RAN



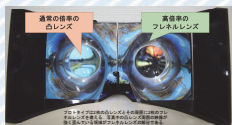
(P.6)

5Gシステムの最新無線アクセス技術とフィールド実証実験結果
―無線データ伝送の超高速化・高速移動対応・周波数利用効率向上を実現する技術― 16

超高速データ通信

高速移動対応

周波数利用効率向上



(P.30)

視野特性を考慮したヘッドマウントディスプレイの広視野角化手法 30

ヘッドマウントディスプレイ

VR

視野角

Topics 35

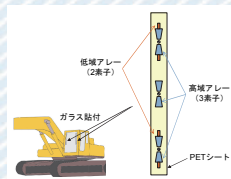
フレキシブルディスプレイを用いた 未来のスマートフォンコンセプトと新たなUX 35



(P.35)

フレキシブルディスプレイ ロール型筐体 レスポンシブWebデザイン

M2M機器向けフィルム型広帯域マルチバンドアンテナ 40



(P.40)

M2M フィルム型 マルチバンドアンテナ

ビジネスシーンにおける機械翻訳を使いやすくする Microsoft Office用翻訳アドイン 43

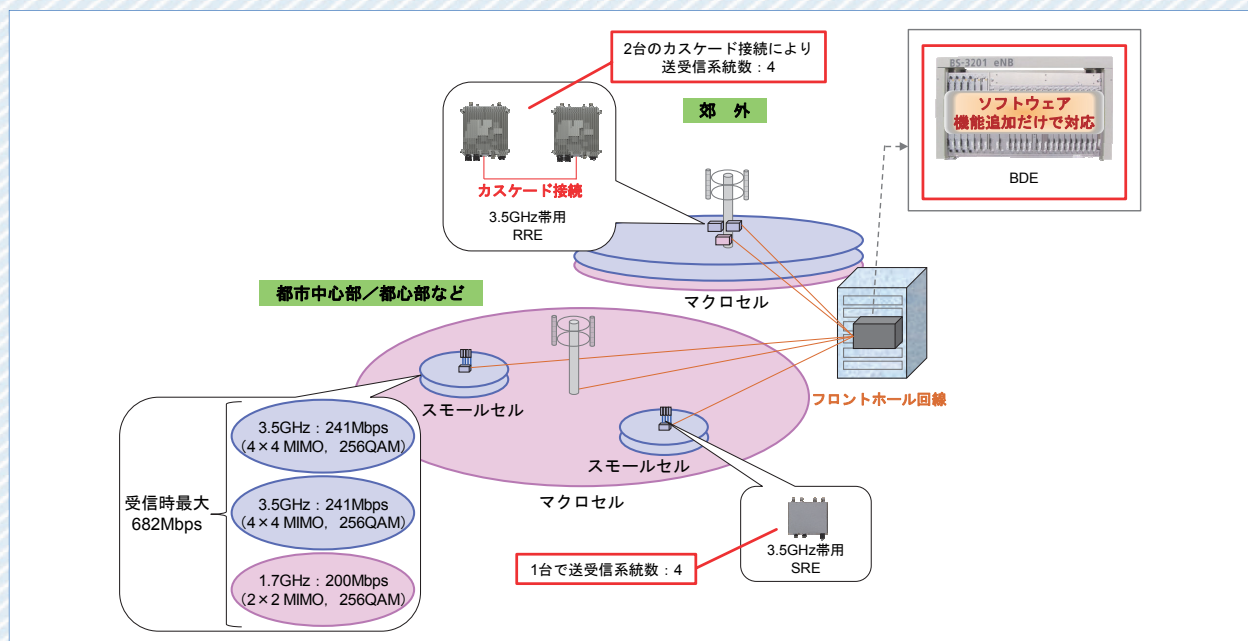


(P.46)

機械翻訳 オフィス文書 アドイン機能

News 46

第49回「電気通信産業功労賞」受賞



Technology Reports 受信時最大682Mbpsを実現する4×4 MIMO, 256QAM対応の無線基地局装置と移動端末の開発 (P.6)
4×4MIMO, 256QAM対応時のNW構成

技術者倫理 —電波の安全性について—

名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻 教授 ひらた あきまさ 平田 晃正

唐突な書出しとなるが、筆者の名前をインターネット検索していただければ、本誌とはあまり縁のない「熱中症」に関するものが多くみられるだろう。世間的には、そのリスク評価の研究者ということになるのかもしれない。とは言え、筆者自身は大学、大学院ともに通信工学の専攻で、研究のバックグラウンドは数値電磁界解析である。熱中症と数値電磁界解析はまったく異なるテーマと思われるかもしれないが、熱中症リスク評価に用いている技術は、熱および電波により体内に誘導される電界（吸収電力）を評価する、これまでの数値電磁界解析における手法を拡張したものである。なぜならば、熱中症の物理的要因は、熱と電磁波の一部である光に分けられるからである。現在は、電磁界の生体安全性評価技術の開発および標準化、さらには電磁界の医療応用に関する研究を専門としている。従って、研究の根幹は大学院生時代からそれほど大きな変化なく、国からの支援により好きな研究を続けさせていただいている。

企業において標準化に携わっている方は一定数いらっしゃるが、大学の研究者ではそれほど多くない。かつ筆者の研究のように安全性に関するものは非常に少ないのではなからうか。携わった当初は、「大学の研究者がやることか」とさえ言われたことがある。しかし、昨今では技術者・研究者の育成において、「工学（技術）倫理」という授業が大学の講義の中でも導入され、その経験が活かしている。工学倫理の授業は事例に基づき議論されることが多く、その話題は知的財産権、安全性と設計など多岐にわたり、国際標準、規格などと密接な関係がある。

何名かの技術者や研究者の方の標準化に関する講演を拝聴する、あるいはお話をさせていただいたことがある。年代、分野により内容は異なったが、

一番印象に残ったのは、我が国の企業は、従前、製品化を行うにあたり、次の製品を考えた事実上の規格を作成しており、一方、当時の海外企業は必ずしもそうではなかったことである。昨今の国際標準化の動向によりこのような難点は解消され、これまでの日本の文化的慣習において、阿吽の呼吸で実施できていたものが、グローバル化に伴う社会構造の変化により標準化が明示的に必要とされつつある。

このような背景のもと、ワイヤレス通信と絡んだ標準化の話題として、電波による安全性について記したい。ただし、その際にあわせて挙げるのが熱中症のリスクである。これらの共通点は、安全の対象をヒトとしているため、他の製品安全性と異なり、耐性を向上させることはできない点である。熱中症や電波による健康リスクの物理的側面を中心に述べてみたい。

まず、熱中症による生体への影響は年齢、気象条件によって異なる。熱中症は、加齢に伴い、皮膚および体内深部にある温度センサーが劣化し、汗のかき始めが遅れ、結果的に体温上昇が大きくなることが要因である。高齢者はもともと体内の水分含有率が成人に比べて少なく、少しの水分損失で熱中症になるリスクが高まる。また、日本のような高温多湿の気象条件下では、汗をかきやすく、かつ、その汗が蒸発しにくいいため、統計的、医学的見地（特に、熱生理）からも、搬送者数が高まることは明らかである。近年の熱中症患者の増加は、地球温暖化および高齢化によるものであり、国内の熱中症による死者数は、例年数百名におよぶ。しかしながら、上記のような熱中症のメカニズムが広く知れ渡る一方で、筆者も含め、熱中症のみを専門とする研究者はおらず、各分野の専門家が熱中症を考察している場合が大半である。

次に、電磁界による生体への作用は周波数によっ



Profile

1996年大阪大学工学部通信工学専攻卒業，2000年同大学院博士課程了，博士（工学）。同年同大学院助手。2004年名古屋工業大学大学院准教授を経て，現職に至る。生体電磁気学，計算物理学などに関する研究に従事。国際非電離放射線防護委員会・主委員会委員。2011，2014年文部科学大臣表彰科学技術賞，2015年IEEE電磁適合性ソサイエティ業績賞，2016年ドコモ・モバイル・サイエンス賞など各受賞。IEEEおよび英国物理学会Fellow。

て異なる。電波に限定して考えると，外部電磁界によって体内に誘導される電流が原因であり，周波数に応じて熱作用と刺激作用に細分できる。その境界となる周波数は100kHz程度とされ，GHz帯では熱作用ということとなる。GHz帯の健康影響に対してはさまざまな研究が行われ，マスメディアを賑わせたこともある。これらの中には，主に強度の弱い電波でも長時間のばく露となれば，影響があるのではないかという考えもあり，電波の利用形態に応じた長期ばく露に対する疫学調査が行われている。しかし，最新の疫学による知見を加味しても，長期ばく露と健康への悪影響との因果関係について一貫した証拠は確認されていない。したがって，国際電波防護基準の根拠として長期ばく露は考慮されず，短期ばく露による確立された生体影響のみが考慮されており，現在基準改定中であるがこの考え方に変化はない。

熱中症と電波の2つの場合において，物理因子によるリスクを紹介したが，前者の方がリスクは高いにもかかわらず，特殊な環境を除き，ほとんど心配とされる声を聞かない。一方，後者のリスクは相対的に小さいにもかかわらず，ご相談を頂くことは少なくない。Slovicによれば，私たちのリスクのイメージは，恐ろしさと未知性の2つの因子からなっている [1]。従って，原因が分かりやすい熱中症と比べて，未知性の高い電波は実際よりもリスクが高いとイメージされているのかもしれない。

上記の長期ばく露による人体影響への関心は，電波（数GHz）が体表面のみならず，体内にも浸透することによるものであった。一方，第5世代無線通信システムで用いられる周波数帯（数十GHz）では，電波の浸透深さはmm以下となり，太陽光などとほとんど相違はない。したがって，未知性は存在するかもしれな

いが，恐ろしさは相対的に軽減するであろう。しかし，国際基準における当該周波数帯における電波強度の許容値は厳しい。なぜであろうか？これは単純にこれまで研究による科学的知見が蓄積されてこなかったからである。現在の国際ガイドラインにおいて，根拠となる論文はほとんど引用されていない。ガイドライン発行当時，当該周波数はほとんど使われておらず，その未知性から安全性に配慮する形で作成されたのが実情である。電波のガイドラインと光（赤外線）のガイドラインは別に作成されているが，両者の境界となる周波数では十分に調和がとれているとは言い難い状態である。つまり，どちらにも改善点があり，科学的検討を行えばより適切な基準値を設定できるはずである。

電波の安全性に関する基準を作成するのは，一般に「官学」であり，産業界は排除される。一方，「産官学」で連携して策定しなくてはならないのが，製品の適合性評価である。ただ，実際には電波がどのように利用されるかが分からないと，適正なガイドラインは策定できず，前者の策定と後者を切り離すことはできない。現在，国際電波防護基準が改定中であり，我が国でも防護指針の改定に向けた準備が始まっている。我が国の防護基準策定の仕組みは他国と比べ，総務省や学会などが協力し，機能していると感じている。一方，適合性評価法策定への産業界の貢献は，必ずしも十分とは言えない。筆者は，電波の安全性を担保するためのガイドラインを発信していきたいと考えており，そのためにも，産業界にもその評価法などの検討により，よりよい無線通信の在り方について継続的に貢献いただきたい。

文献

- [1] P. Slovic: "Perception of Risk," Science, Vol.236, No.4799, pp.280-285, Apr. 1987.

Technology Reports

4×4 MIMO

256QAM

高度化C-RAN

受信時最大682Mbpsを実現する 4×4 MIMO, 256QAM対応の 無線基地局装置と移動端末の開発

無線アクセス開発部

しげふじ たかふみ
重藤 隆文

とば りんたろう
鳥羽 倫太郎

たきぐち たかひろ
瀧口 貴啓

いそがわ たかゆき
五十川 貴之

移動機開発部

ふるた たかゆき
古田 敬幸

ドコモでは、2015年3月にPREMIUM 4Gとして受信時最大225Mbps、2016年5月にキャリアアグリゲーション技術を拡張し受信時最大375Mbps、同年6月には3.5GHz帯のTDD方式を利用し受信時最大370Mbpsの通信サービスを開始した。今回、さらなる受信速度の向上として、4×4 MIMO技術と256QAM技術に対応した無線基地局装置と移動端末を開発し、導入済のキャリアアグリゲーション技術と組み合わせることで受信時最大682Mbpsとなる通信サービスを2017年3月より開始した。本稿では、4×4 MIMO技術と256QAM技術について解説するとともに、受信時最大682Mbpsを実現する無線基地局装置と移動端末について解説する。

1. まえがき

スマートフォンの普及と、スマートフォンで利用可能な大容量コンテンツサービスの普及とともに、モバイルネットワークの高速化が求められている。

ドコモでは、2015年3月にPREMIUM 4Gとして受信時最大225Mbps、2016年5月にキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）^{*1}技術を拡張した受信時最大375Mbps、同年6月には3.5GHz帯TDD（Time Division Duplex）^{*2}方式を利用した受信時最大370Mbpsの通信サービスを開始した [1]。

さらに、飛躍的に通信速度が向上する4×4 MIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*3}技術と256QAM（Quadrature Amplitude Modulation）^{*4}技術に対応した無線基地局装置と移動端末を開発し、導入済のCA技術と組み合わせることにより、PREMIUM 4G開始時と比較して約3倍となる受信時最大682Mbpsを実現する通信サービスを、2017年3月より開始した。

ドコモはPREMIUM 4Gの展開および高速化を、高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）^{*5}アーキテクチャ [2] を用いて効率的に行ってきたが、これまで高度化C-RANアーキテクチャを構成

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} キャリアアグリゲーション（CA）：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより、既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

^{*2} TDD：上りリンクと下りリンクで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

^{*3} MIMO：複数のアンテナから、異なる信号を、同時に送信することで高速化伝送を実現する技術。

する無線基地局装置を将来的な機能拡張を見据えて開発してきたことにより、今回の通信サービス提供にあたっては展開済の無線基地局装置のソフトウェアに対する機能追加のみで4×4 MIMO, 256QAMに対応した。これにより、経済的かつ早期に受信時最大682Mbpsに対応するエリアの展開が可能となった。

本稿では、4×4 MIMO技術と256QAM技術について解説するとともに、受信時最大682Mbpsを実現する無線基地局装置と移動端末について解説する。

2. 高速化技術

2.1 4×4 MIMO

MIMO技術の高度化を実施することで最大通信速度の向上が可能となる。これまでドコモでは2本のアンテナを用いる2×2 MIMOを使用していたが、4本のアンテナを用いる4×4 MIMO機能を新たに開発した。本機能に関して詳細を以下に解説する。

(1) 4ストリーム送信

① 概要

MIMO多重送信において同時に送信するデータ列の数はストリーム数と呼ばれ、2×2 MIMOでは最大2ストリームまでの送信しかできなかった。しかし、4×4 MIMOでは最大4ストリーム送信を行うことで一度に約2倍のデータを送信することができ、最大通信速度が向上する。LTEの標準仕様には4×4 MIMOを実現できる通信方式(TM: Transmission Mode)が複数規定されている。LTE標準仕様Release 8(以下、LTE Rel.8)から規定されているTM3およびTM4では、4アンテナ分のCell-specific RS (Reference Signal)*6を用いることで最大4ストリームでの送信に対応している。また、LTE Rel.10で規定されたTM9およびLTE Rel.11で規定されたTM10では、柔軟なプリコーディング

やマルチユーザMIMO*7をサポートするためにCell-specific RSに加えてCSI (Channel State Information)-RS*8およびUE (User Equipment)-specific RS*9が追加され、TM3/4と同様に4ストリームの送信を行う[3]。TM3/4ではCell-specific RSのみを用いて、接続性にかかわる通信品質の測定や送信データにかかわる通信品質の測定、下り送信データの復調を行っている一方、TM9/10では接続性にかかわる通信品質の測定にはCell-specific RS、送信データに関わる通信品質の測定にはCSI-RS、下り送信データの復調にはUE-specific RSを用いる(図1)。

② 標準化への取り組み

TM9/10においては初期の標準仕様に2つの課題があった。そこでドコモは標準仕様の改善を検討・提案して通信速度の向上に貢献した。

・1つめの課題は、同期信号の送信タイミングにおけるデータ送信リソースの必要以上の制限である。同期信号が送信される周波数リソース(RB: Resource Block)では同期信号送信によって復号に必要なUE-specific RSを送信できないため、前述のRBをTM9/10のデータ送信には使用できない。また、無線基地局装置は、移動端末に対してどのRBを用いてデータを送信するのかをRB単位では指定できず、数RBをまとめたRB groupという単位で指示する必要がある。当初の標準仕様ではTM9/10において同期信号が送信されるRBだけでなく、そのRBが含まれるRB group全体でデータ送信が行えず、不必要にデータ送信リソースが制限されるという課題があった。本課題に対して、同期信号を含むRB groupのうち、同期信号が送信されないRBについてはデータ送信に使用できるように標準仕様の変更を行った(図2)。

*4 QAM: QAM(直交振幅変調)とは、変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。

*5 高度化C-RAN: CA技術を活用し、マクロセルとスモールセルを協調させるドコモが提唱するネットワークアーキテクチャ。

*6 Cell-specific RS: 下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号。

*7 マルチユーザMIMO: 同一時間周波数において、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*8 CSI-RS: 無線チャネルの状態を測定するためにアンテナごとに送信される参照信号。

*9 UE-specific RS: 下りリンクのデータ信号の復調に用いられるUE固有の参照信号。

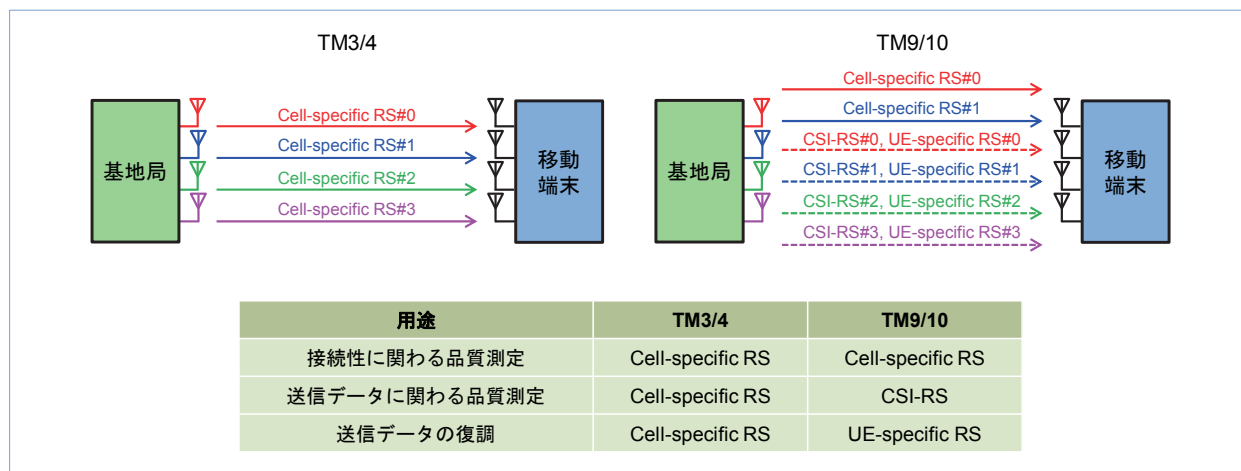


図1 各TMで用いられるRS種別

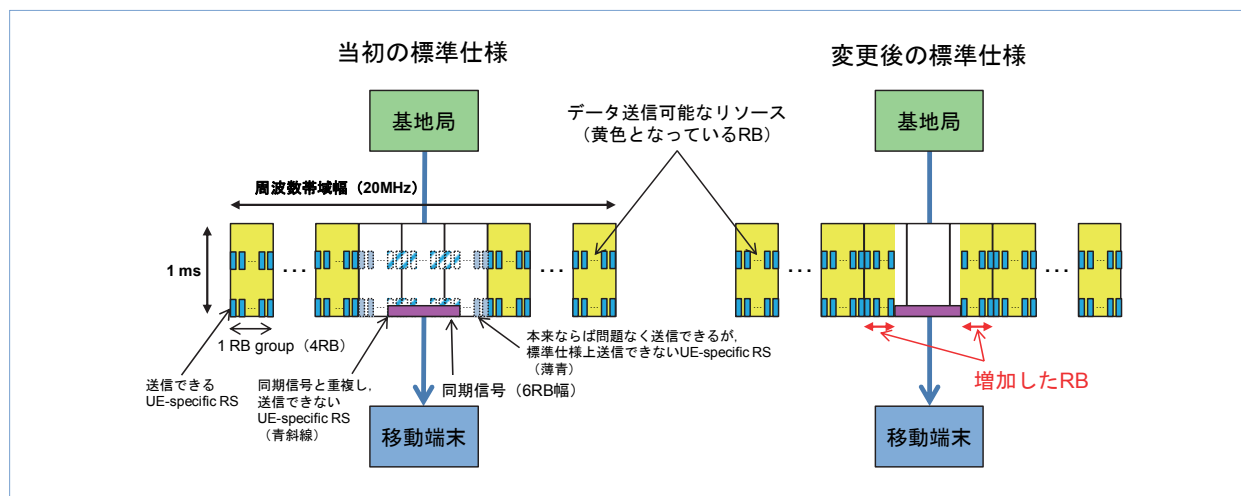


図2 同期信号送信タイミングにおけるリソースの有効活用

・2つめの課題は、当初の標準仕様ではTM9/10で追加されたRSのオーバーヘッド^{*10}によって、仕様で規定されている最大のデータ量を送信できないことである。標準仕様では無線通信区間で一度に送信できるデータ量が数パターン決められている。ところがTM9/10では、RSオーバーヘッドの影響で最大通信速度を実現できるパターンのデータ量を送信することができず、1段階少ないデータ量のパターンを

使用せざるを得ない。このように一度に送信できるデータ量が制限されるために、TM9/10で通信を行う無線基地局装置および移動端末ではTM9/10における無線リソースを最大限利用した最大通信速度が実現不可能であった。本課題に対してTM9/10で追加されたRSのオーバーヘッドを考慮した上で、無線リソースを最大限利用できるデータ量のパターンを新たに標準仕様として定義し、TM9/10で通信

^{*10} オーバヘッド：ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や、受信品質測定に必要な参照信号など、ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース。

を行う無線基地局装置および移動端末でより高い最大通信速度を実現可能とした(図3)。(2)フィードバック情報に基づくビームフォーミング
移動端末からのフィードバック情報に基づいて無線基地局装置が各移動端末に最適なビームを形成するビームフォーミングを行うことで、最大通信速度の向上だけでなく受信品質の向上も可能となる。ビームフォーミングとは、複数のアンテナの振幅および位相の制御によって送信側で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／減少させる技術である。4×4 MIMOでは4本のアンテナを用いることで、2×2 MIMOよりも電力を集中したビームを形成することができる。移動端末は受信したRSを利用して伝搬路を推定し、適切なビームパターンをPMI (Precoding Matrix Indicator)*11として無線基地局装置に報告する。PMIは移動端末からのフィードバック情報として、チャネル品質情報 (CQI: Channel Quality Indicator)*12や最適な送信ストリーム情報 (RI: Rank Indicator)*13とともに送信される。無線基地局装置はPMIを参考にして移動端末に送信する信号のプリコーディングウェイト*14を決定する。移動端末はTM3/4では無

線基地局装置から通知されたプリコーディング情報、TM9/10では送信データと同じプリコーディングを掛けたUE-specific RSを参照してデータ信号の復号を行う。

(3)最適な送信ストリームとビームフォーミングの組合せ決定

送信ストリーム数とビームフォーミング効果にはトレードオフの関係があり、多ストリーム送信を行うとビームフォーミング効果は減少する。そのため、無線基地局装置は移動端末から報告されたフィードバック情報や送信するデータ量などをもとにして、最適な送信ストリーム数とビームフォーミングに使用するプリコーディングを決定する。送信ストリーム数とビームフォーミングを適切に組み合わせることで、基地局近傍の高品質な領域では多送信ストリームによる最大通信速度の向上、セル端などの低品質な領域ではビームフォーミングによる受信品質の向上が可能となる(図4)。

2.2 256QAM

1シンボル*15でより多くのビット数を送信できる多値変調*16方式を採用することにより、高速化が

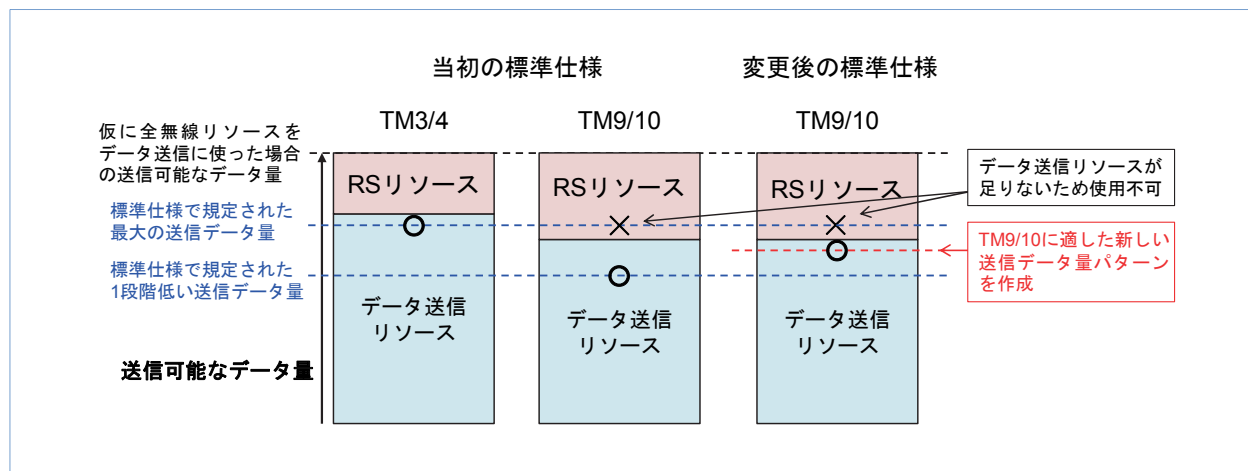


図3 RSオーバーヘッドを考慮した新しい送信データ量パターンの作成

*11 PMI: 下りリンクの最適であると想定されるプリコードについての、移動端末からフィードバックされる情報。

*12 チャネル品質情報 (CQI): 下りリンクの受信品質についての、移動端末からフィードバックされる情報。

*13 送信ストリーム情報 (RI): 下りリンクの最適であると想定される送信ストリーム数についての、移動端末からフィードバックされる情報。

*14 プリコーディングウェイト: ビームフォーミングを行う際に、

各送信アンテナに掛ける位相差。

*15 シンボル: 伝送するデータの単位であり、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) の場合は複数のサブキャリアから構成される。各サブキャリアには複数のビット (例えば QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) なら2ビット) がマッピングされる。

*16 多値変調: 1つの信号に2ビット以上の情報を含める変調方式。QPSKや16QAMなどの種類がある。

実現可能であり、ドコモは新たに256QAMに対応した。256QAMはLTE Rel.12で規定された多値変調方式で、1シンボル当り最大8ビットを送信することができ、64QAMに対して約1.33倍の高速化が期待できる（図5）。

256QAMのような多値数の大きい変調方式を使用するためには、より高品質な（SINR（Signal-to-

Noise plus Interference Ratio）^{*17}の高い）無線通信環境が必要となる。したがってすべての移動端末が常に256QAMを使用できるとは限らないため、無線基地局装置は移動端末から報告されるCQI indexに基づいて使用する多値変調方式を決定する。高いCQI indexを報告した移動端末に対して256QAMを使用することで最大通信速度の向上が可能となる。

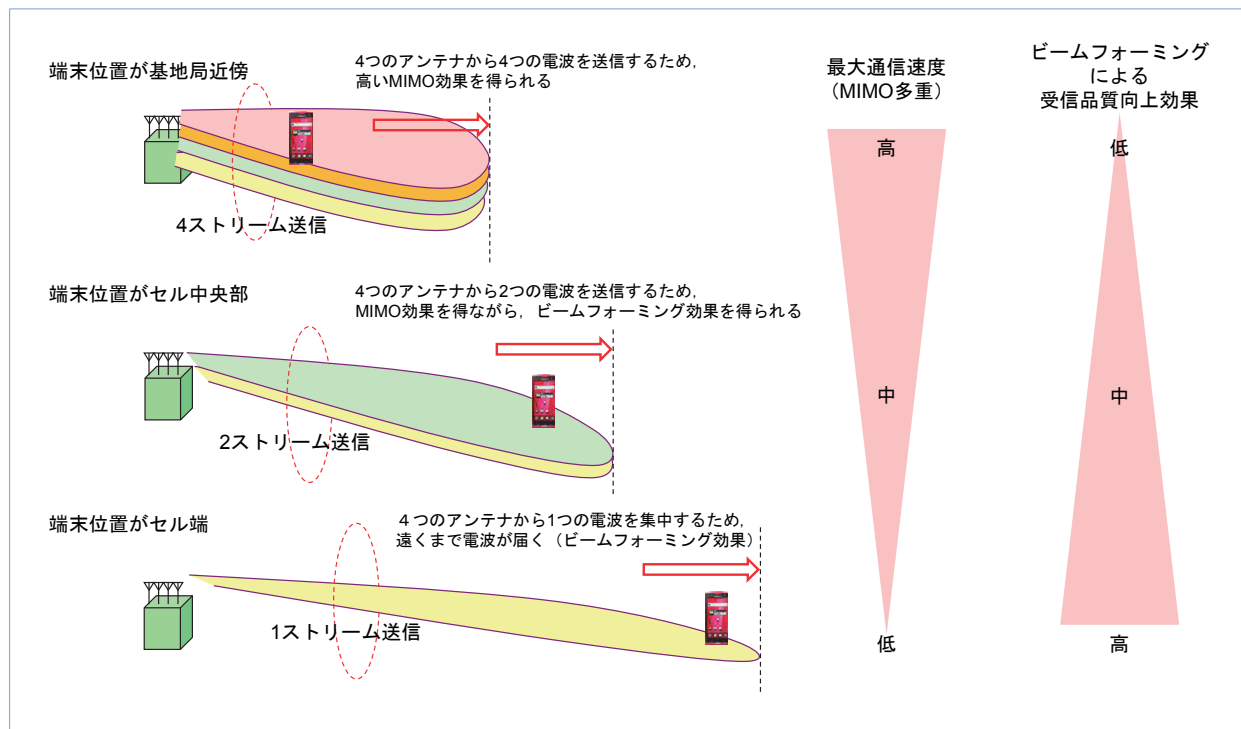


図4 送信ストリームとビームフォーミング効果

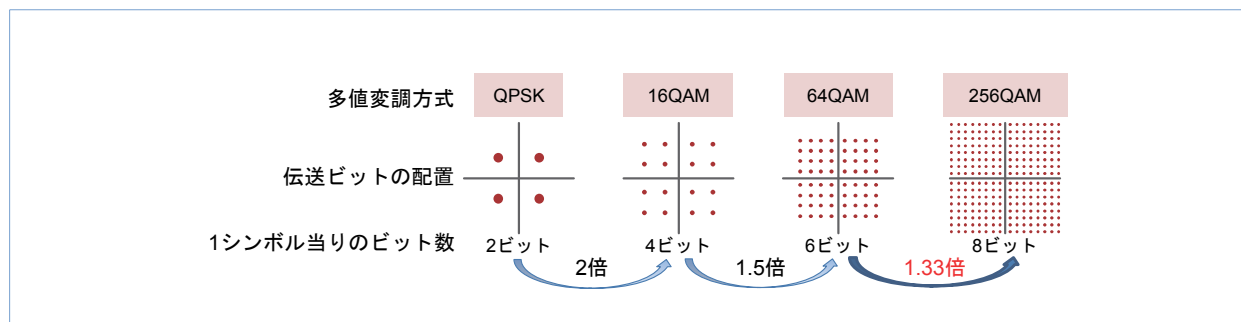


図5 256QAM

^{*17} SINR：受信信号のうち、所望信号の電力と所望信号以外（他セル／他セクタからの干渉波および熱雑音）の電力の比を表す。

LTE Rel.12では、256QAM導入の際に、CQI index 数増大を避け、既存のCQI tableの一部indexを256QAMに対応するCQI indexに置き換えたtableを新たに規定した[4] (図6)。無線基地局装置および移動端末は既存の256QAM非対応のCQI tableと、256QAMに対応したCQI tableを保持しており、どちらのtableを用いるかは移動端末の能力を考慮して無線基地局装置から移動端末に指示する。

3. 無線基地局装置の4×4 MIMO, 256QAM開発

2.1節で述べたように、4×4 MIMO対応にあたり、アンテナを2本から4本に増やす必要がある。3.5GHz帯は、周波数が高くアンテナの小型化が可能であること、また利用可能な帯域幅が40MHzであり高速化の効果が高いことから、ドコモでは3.5GHz帯で4×4 MIMOを導入した。

4×4 MIMO, 256QAM対応時のNW構成を図7に

示す。TDD方式を用いた帯域幅40MHzの3.5GHz帯と、FDD (Frequency Division Duplex) *18方式を用いた帯域幅20MHzの他の周波数帯を組み合わせたCA構成において、3.5GHz帯に4×4 MIMOと256QAMを、他周波数帯に256QAMをそれぞれ適用することにより受信時最大682Mbpsを実現する。3.5GHz帯に対応したスモールセル用のSRE (low power Small optical remote Radio Equipment) *19は、4×4 MIMO対応を見据えて1台当りの送受信系統数を4として開発したこと、導入済みのSREをそのまま使用して4送受信基地局装置として動作する。また、3.5GHz帯に対応したマクロセル用のRRE (Remote Radio Equipment) *20は、2×2 MIMO展開時の装置サイズを考慮して1台当りの送受信系統数を2とし、2台をカスケード接続して4送受信基地局装置として動作するように設計している。そのため、マクロセルの4×4 MIMO対応は、展開済の1台のRREにもう1台のRREを追加し、カスケード接続することにより対応する。いずれもBDE (Base station

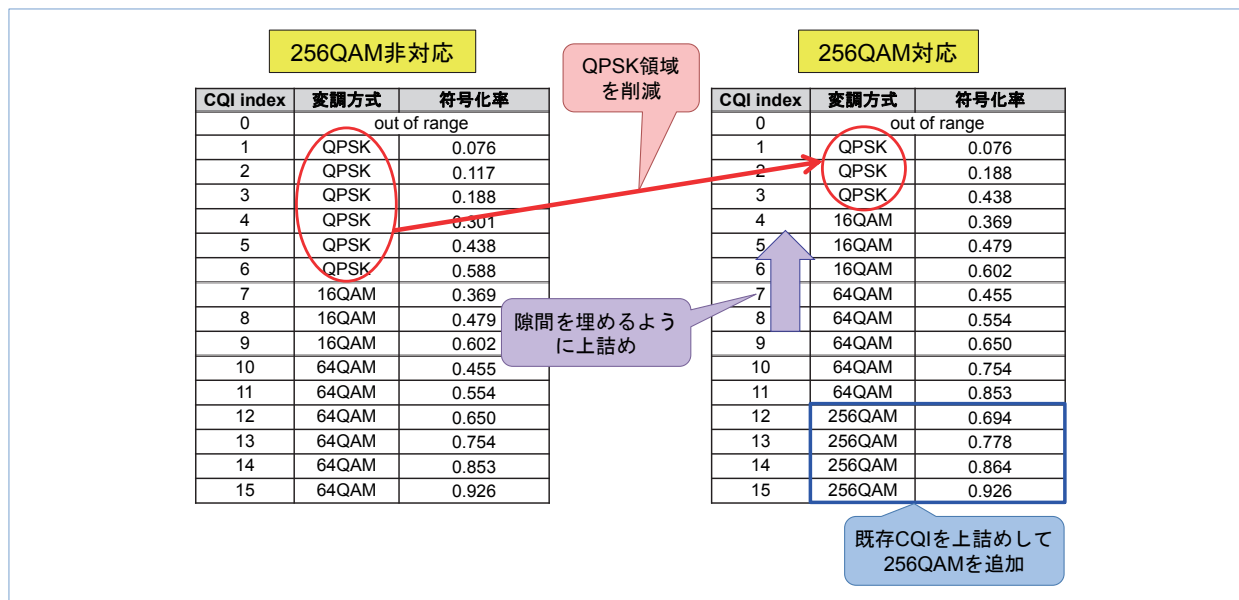


図6 256QAM非対応／対応のCQIテーブル

*18 FDD：上りリンクと下りリンクで、異なるキャリア周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。

*19 SRE：光ファイバなどを使ってBDE（*21参照）から離れた場所に設置したスモールセル用の基地局無線装置。

*20 RRE：光ファイバなどを使ってBDE（*21参照）から離れた場所に設置した基地局無線装置。

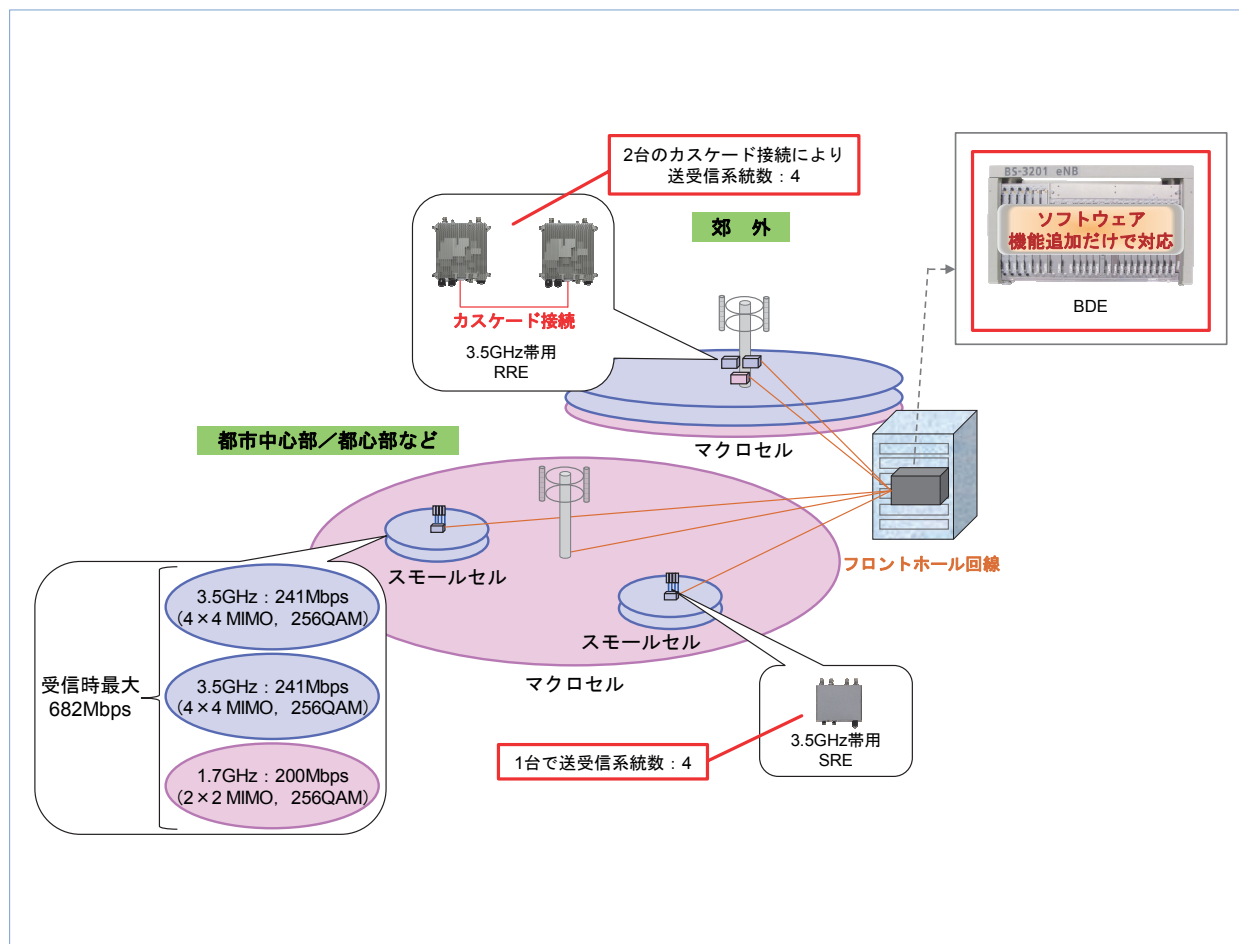


図7 4×4 MIMO, 256QAM対応時のNW構成

Digital processing Equipment)^{*21}とSRE, RRE本体のソフトウェアに対する機能追加のみで4×4 MIMOを実現する。

また、4×4 MIMO対応にあたり、2×2 MIMOで通信を行う従来の移動端末についても、無線基地局装置の2アンテナ分の信号を4アンテナで送信することにより、合計送信電力を向上し、移動端末における受信レベルの向上を実現している。

一方、256QAMの機能追加については、BDEのソフトウェアに対する機能追加により、FDD/TDD方式によらずすべての既存の無線基地局装置のエリ

アで256QAM対応とする事が可能となる。

4. 4×4 MIMO, 256QAM対応移動端末の開発

4.1 概要

移動端末の外観を写真1に示す。今回開発した移動端末は、3.5GHz帯において4×4 MIMOで動作し、256QAMに対応している。無線基地局装置と同様に、帯域幅40MHzの3.5GHz帯と、帯域幅20MHzの他の周波数帯を組み合わせたCA構成および4×4

^{*21} BDE：LTEシステムにおける無線基地局装置のデジタル信号処理部分。ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている。

MIMO, 256QAMを同時に機能させることで最大受信速度682Mbpsを達成する。

4.2 アンテナ構成

本移動端末のアンテナの配置を図8に示す。4つのアンテナのうち1つはメインアンテナとして動作し、送信および受信用として機能する。他の3つはサブアンテナとして動作し、受信専用となる。また、

メインアンテナおよび、サブアンテナは3.5GHz帯だけではなく他のセルラ向けの周波数帯（2GHz, 1.7GHzなど）のアンテナとしても動作する。

セルラアンテナ周辺にはWi-Fiアンテナやバッテリー、ディスプレイ、各種デバイスが配置された基板などの金属部品が存在するため、セルラアンテナの性能に影響を与える。移動端末のサイズを62×98×13.6mmとコンパクトに保ちつつ、アンテナと他の金



写真1 4×4 MIMO対応移動端末の外観

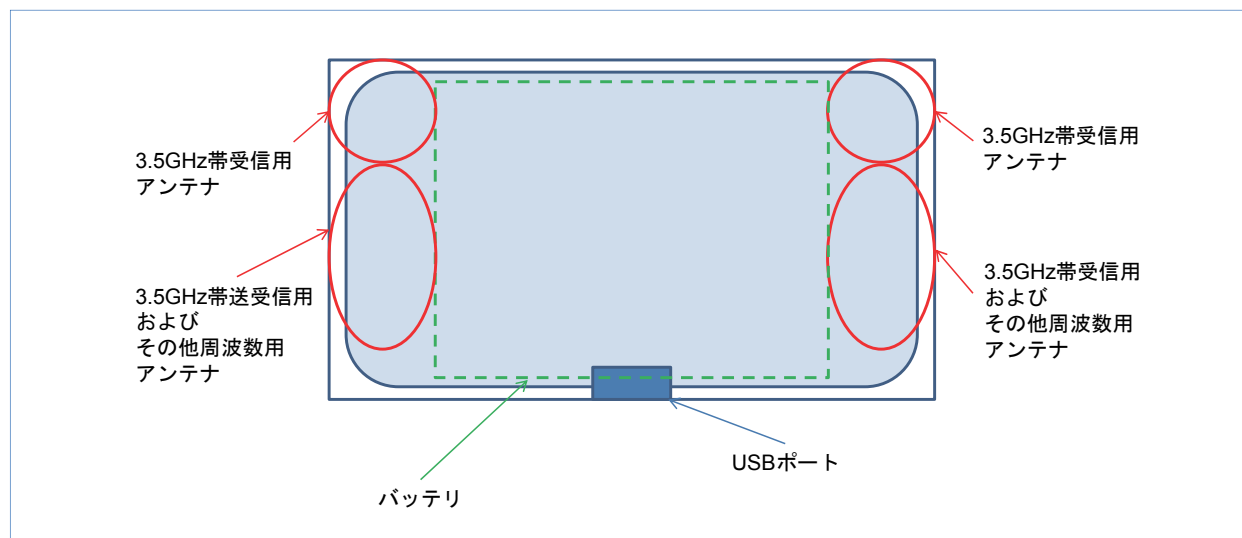


図8 4×4 MIMO対応移動端末のアンテナ配置イメージ図

属部品の距離を確保しアンテナ性能を維持することが必要である。

一方、3.5GHz帯の2組のアンテナにおいて近接配置となり、アンテナ間の相関^{*22}が高くなることが懸念された。アンテナ相関が高くなるとMIMOの性能を十分発揮できなくなり通信速度低下を招くため、複数の周波数を搭載するアンテナの小型化技術を用いるとともに、近接配置においてもアンテナ相関を低く保つ工夫を施した。

また、無線通信速度向上に伴い移動端末の外部インタフェースの通信速度も向上させる必要があり、USB3.0を採用した。しかし、通信速度が高速となるため、USB使用時にセルラ通信周波数帯に影響を与えるノイズが増加し、受信性能へ悪影響をもたらす。そこで、受信性能劣化を低減するノイズ対策として、USBコネクタ部の金属シールドの強化や、ノイズ除去用フィルタの追加、コネクタ、アンテナ

間の配置の最適化を図り、USBテザリング^{*23}時における通信速度低下を招くことがないように対策している。

4.3 アンテナの性能評価

移動端末の4×4 MIMOアンテナ測定系を図9に示す。FDD周波数+3.5GHz+3.5GHz（3.5GHz帯が4×4 MIMO）の下り3CA時の構成図である。本測定系にて無線基地局装置から移動端末への下り通信速度の評価を行う。図中の反響チャンバーにより、無線基地局装置からの信号がさまざまな方向から被測定物に到来するフェージング^{*24}環境を構築している。

LTE信号はコンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）^{*25}ごとに生成されるため、4×4 MIMO信号のSCC（Secondary CC）^{*26}1の信号1（SCC1 p1）とSCC2の信号1（SCC2 p1）を電力合成器（Combiner）で合成し1つのアンテナから送信

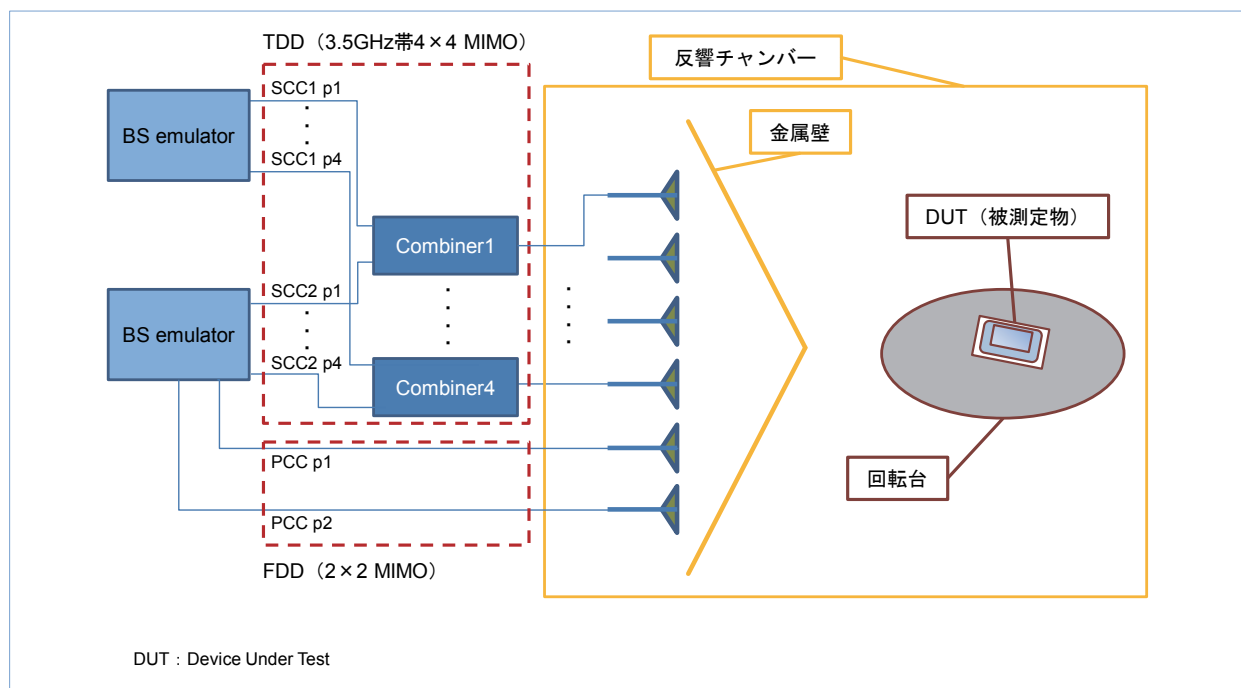


図9 4×4 MIMO+3DL CAスループット測定系

^{*22} 相関：異なる信号の類似性を示す指標。複素数で表され絶対値は0～1の値をとる。1に近いほど類似性が高く、受信側の信号の分離が困難となるため、MIMO通信においては通信速度が低下する。

^{*23} テザリング：スマートフォンを外部モデム（親機）として、ゲーム機器やパソコンなどのいろいろなWi-Fi対応機器（子機）を、親機が接続する携帯電話回線を通じてインターネットに接続させる機能。

^{*24} フェージング：無線通信において、反射などにより伝搬経路が異なる電波が時間差をもって到達することで、振幅や位相に影響を与える現象。

^{*25} コンポーネントキャリア（CC）：LTEで使用される搬送波を1つの周波数ブロックとしたもの、帯域幅は上りリンク、下りリンク共に最大20MHz。

^{*26} SCC：CAにおいてPCC（^{*27}参照）に加えて無線リソースを提供するキャリア。

する構成としている。SCCP2～p4の信号についても同様の構成で、PCC (Primary CC)*27信号は別アンテナで送信する構成とし、下りFDD 2×2 MIMO + 3.5GHz帯 4×4 MIMO + 3.5GHz帯 4×4 MIMO信号を模擬している。

この系で被測定物の下り通信速度の評価を行い、4×4 MIMO, 256QAMかつ下り3CA時の682Mbpsの最大性能が保証されることを確認した。

5. あとがき

本稿では、PREMIUM 4Gの受信最大速度を向上する技術として、4×4 MIMO技術と256QAM技術について解説した。また、受信時最大682Mbpsを

実現する無線基地局装置と移動端末について解説した。今後も、PREMIUM 4Gサービスのさらなる高度化に向けた開発を進めていく。

文 献

- [1] 藤井, ほか: “3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.8-13, Jul. 2016.
- [2] 吉原, ほか: “高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [3] 3GPP TS36.211 V12.8.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (Release 12),” Dec. 2015.
- [4] 3GPP TS36.213 V12.11.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 12),” Sep. 2016.

*27 PCC: CAにおいてUE-NW間の接続性を担保するキャリア。

Technology Reports

超高速データ通信

高速移動対応

周波数利用効率向上

5Gシステムの最新無線アクセス技術と フィールド実証実験結果

—無線データ伝送の超高速化・高速移動対応・ 周波数利用効率向上を実現する技術—

先進技術研究所

5G推進室

岸山 祥久

須山 聡

奥村 幸彦

ゆきひこ

5Gでは、幅広い周波数帯および幅広いユースケースをサポートするために、さまざまな無線アクセス技術が検討されており、ドコモは世界主要ベンダ各社と共同で同技術の検討のための実証実験を進めてきた。本稿では、各社と進めている実験の中から、エリクソンとの共同による世界初の20Gbps超高速無線データ伝送実験、サムスン電子との共同によるサーキットで達成した2016年11月時点での世界最高速度150km/h移動時における高速無線データ伝送実験、および、ファーウェイとの共同による最大79.82bps/Hz/Cellの超高周波数利用効率を実現する実験を取り上げ、最新のフィールド実験成果を紹介する。

1. まえがき

現在、2020年までの第5世代移動通信システム（5G）導入に向けた期待が世界的に高まっており、3GPPにおいて5Gの新無線インタフェース規格（NR：New Radio）の標準化議論が開始されているとともに、各国の5G検討主要団体において5Gの商用化および実証実験に向けた計画が続々と発表されている [1]。ドコモは2010年頃から5Gの検討を開始し、技術コンセプトの提案や、伝送実験、標準化議論を主導するなど、さまざまな活動を進めてきた [2]。特に、5Gへの活用が検討されている高周波数帯を用いたマルチアンテナ伝送技術 [3] を中心に、さ

まざまな5G無線伝送技術の実証実験を世界主要ベンダと共同で実施しており、詳細を本誌でも紹介した [4]。本稿では、引続き世界主要ベンダと取り組んでいる5G伝送実験について、2017年3月現在の最新の実験結果から主なものを解説する。

2. 超高速データ通信の実証実験

5Gでは6GHzを超える高い周波数帯を用いることによって、1GHz近くの広く連続した周波数帯域幅を利用することが検討されており、このような超広帯域伝送に、多数のアンテナ素子によるMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output) *1 技術 [3]

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 Massive MIMO：超多素子のアンテナを利用する大規模MIMOのこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、5Gでの実用化が期待されている。

を用いたビームフォーミング*2と空間多重を適用することで、ユーザ当たり10Gbpsを超えるような超高速のデータ通信を、移動通信システムに適したカバレッジで提供することが期待できる。ドコモは、エリクソンとの共同実験により、このようなMassive MIMOを用いた超高速データ通信の実証実験に取り組んでいる。具体的には、周波数帯として15GHz帯を用い、周波数帯域幅800MHzの超広帯域伝送に、ユーザ当たり最大4ストリーム*3のMIMO伝送と256QAM（Quadrature Amplitude Modulation）*4の多値変調方式を適用し、10Gbpsを超える通信速度を達成した。さらに、複数のユーザへ同時にビームフォーミング伝送するマルチユーザMIMO（MU（Multi User）-MIMO）*5技術を適用することで、屋外の実環境において基地局当たり20Gbpsを超える通信容量（2ユーザ合計の通信速度）を世界で初めて達成した [5]。

エリクソンとの超高速データ通信に関する共同実験の成果として、上記20Gbps超の通信容量を実現した超高速MU-MIMO伝送の実験概要と結果 [6]、および複数の送信地点や建物の反射などを利用することで通信速度を向上させる、Massive MIMO向け要素技術の実験概要と結果 [7] [8] について以下に解説する。

2.1 超高速MU-MIMO伝送の実験

(1) MU-MIMOの伝送機能および装置概要

本実験におけるMU-MIMO伝送機能の模式図を図1に示す。端末局（MS：Mobile Station）は、基地局（BS：Base Station）アンテナユニット（RU：Radio Unit）*6からビーム選択のため周期的に送信される各候補ビームの参照信号（MRS：Mobility Reference Signal）（図1①）を用いて、各ビームの受信電力（MRSRP：MRS Received Power）を算

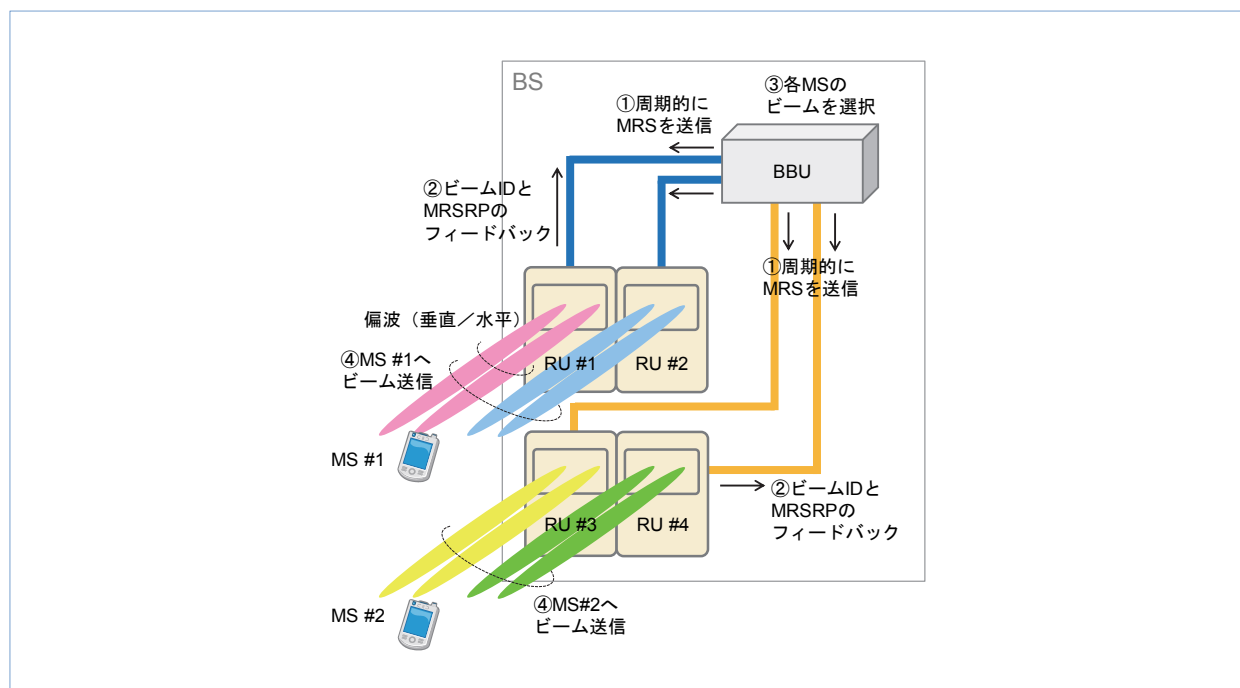


図1 本実験装置におけるMU-MIMOビーム伝送機能

- *2 ビームフォーミング：複数のアンテナの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。
- *3 ストリーム：複数の送受信アンテナを用いるMIMO技術において空間多重される送信データ系列。
- *4 256QAM：QAM（直交振幅変調）とは、変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。256QAMの場合は256（2の8乗）種類のシンボルが存在するため、一度に8

- ビットを伝送可能である。
- *5 マルチユーザMIMO（MU-MIMO）：複数のユーザに対する信号を同一時間・周波数においてMIMOを用いて伝送する技術。
- *6 アンテナユニット（RU）：基地局を構成する装置の1つで、送受信するデジタル信号を無線周波数に変換し、送信電力の増幅やアンテナ素子での送受信などを行う装置。Massive MIMOにおけるビーム生成に必要な処理についても行う。

出する。各MSは各ビームのMRSRPを比較し、上位ビームのインデックスとMRSRPをそれぞれ基地局にフィードバックする（図1②）。BS BBU（Base Band Unit）^{*7}はそれぞれのMSに対して最も高いMRSRPのビームを選択し（図1③）、RU #1および#2はMS #1に、RU #3および#4はMS #2にビームを送信する（図1④）。

各RUの外観を図2に示す。各RUには水平・垂直の各偏波に対応する2つのアンテナパネルが実装さ

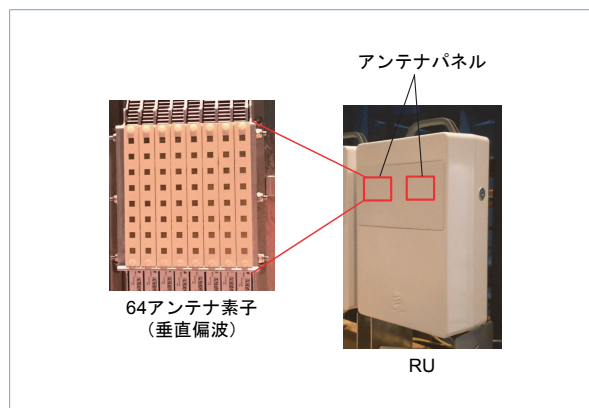


図2 RUの外観

れており、RU当り2ストリームを送信可能である。各アンテナパネルは64アンテナ素子の平面アレーアンテナ（素子間隔 0.7λ ）で構成され、アンテナ利得^{*8}は24dBi（decibel isotropic）^{*9}、パネル当りの送信電力は14dBm（decibel milli）^{*10}である。本実験では、4つのRUを用いて2ユーザに対し最大8ストリーム伝送（理論上のピーク通信容量は31.2Gbps）を行う。

(2)実験環境と測定結果

実験は神奈川県横須賀市YRP地区にあるドコモR&Dセンタ屋外駐車場内の $100\times 100\text{m}$ のエリアで実施した。測定エリアは開けた環境であり、全域にわたり見通し環境（LOS：Line-Of-Sight^{*11}）である。MS #1は歩行速度（ 3km/h 程度）で測定エリアを走行し、MS #2はコース上に固定配置した。

MU-MIMO伝送を行った場合における2MS合計の通信容量（システムスループット）特性をMS #1の位置に応じて、測定エリアのマップ上にカラーでプロットした分布を、図3に示す。なお、MS #2は、図3(a)では測定エリアの端に、図3(b)では測定エ

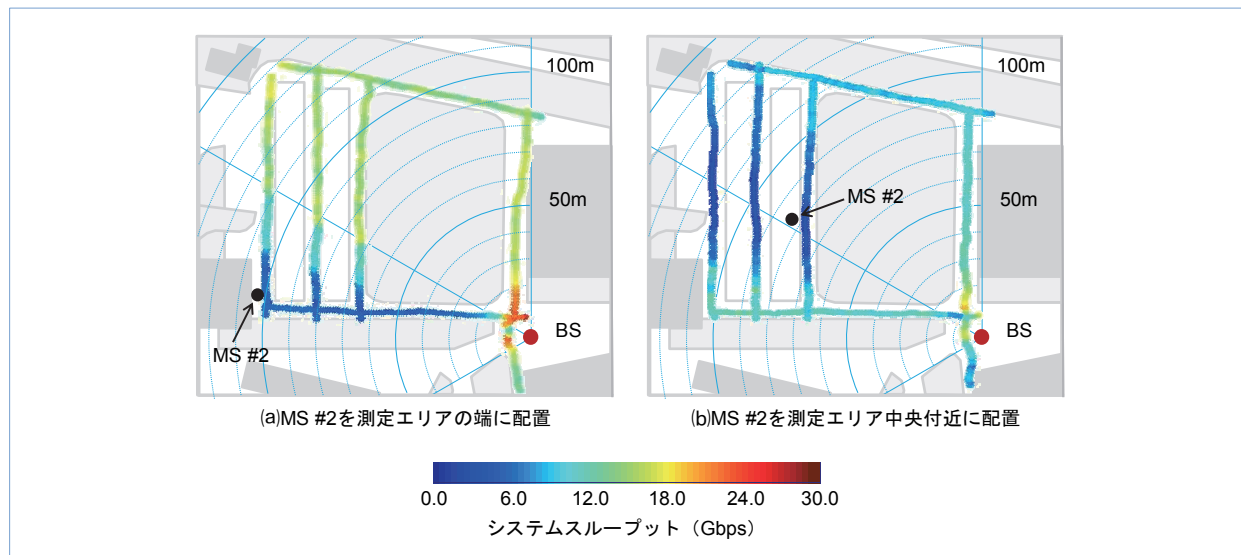


図3 超高速MU-MIMO伝送の実験結果

^{*7} BBU：基地局を構成する装置の1つで、携帯端末との通信時に送受信される情報のデジタル信号処理を行う装置。

^{*8} アンテナ利得：アンテナの最大放射方向における放射強度。一般に等方向性のアンテナを基準とした比で表される。

^{*9} dBi：仮想的な等方向性（アイソトロピック）アンテナを基準とした際のアンテナ利得を表す単位。

^{*10} dBm：電力 P [mW] とすると $10\log(P)$ とした時の値。1mWを基準としたときの相対値（1mW=0dBm）。

^{*11} LOS：送受信間に遮蔽物がなく、直接波での通信が可能な状態。

リアの中央付近にそれぞれ配置した。

図より、傾向として、基地局から見てMS #1の角度方向がMS #2の角度方向とある程度離れている場合に、比較的高いシステムスループットが達成できていることが分かる。特に、図3(a)ではMS #2が測定エリアの端（図中左下）に位置しているため、MS #1が反対サイド（図中右上）の測定エリアに位置する場合は、15～20Gbps程度の比較的高い通信容量が実現できている。これは、角度が異なることにより、MS #1とMS #2に送信するビーム同士の干渉が少ないためである。また、各MSの角度方向がずれており、かつMS #1が基地局の比較的近くに位置する場合、20Gbpsを超えるような高いシステムスループットが観測できた。具体的には、図3(a)ではMS #1がBSから15m程度離れた地点において25.9Gbpsの、図3(b)ではMS #1がBSか

ら20m程度離れた地点において20.5Gbpsのシステムスループットを達成できた。

2.2 Massive MIMO向け要素技術の実験

高周波数帯特有の伝搬特性に起因した課題として、伝搬損失^{*12}やチャネル相関^{*13}の増大が確認されていた[4]。これらの課題解決に向けて、上記Massive MIMOを用いたビームフォーミングによる伝搬損失の補償に加え、複数の送信地点や建物の反射などを利用することでチャネル相関を低減し、通信速度を向上する技術についても検討および実験を行っている。

(1)分散MIMO技術

複数の送信地点から、それぞれ別のストリームをMIMO多重伝送する技術である分散MIMO^{*14}の実験結果を図4に示す[7]。本実験では2つのRUを用い、

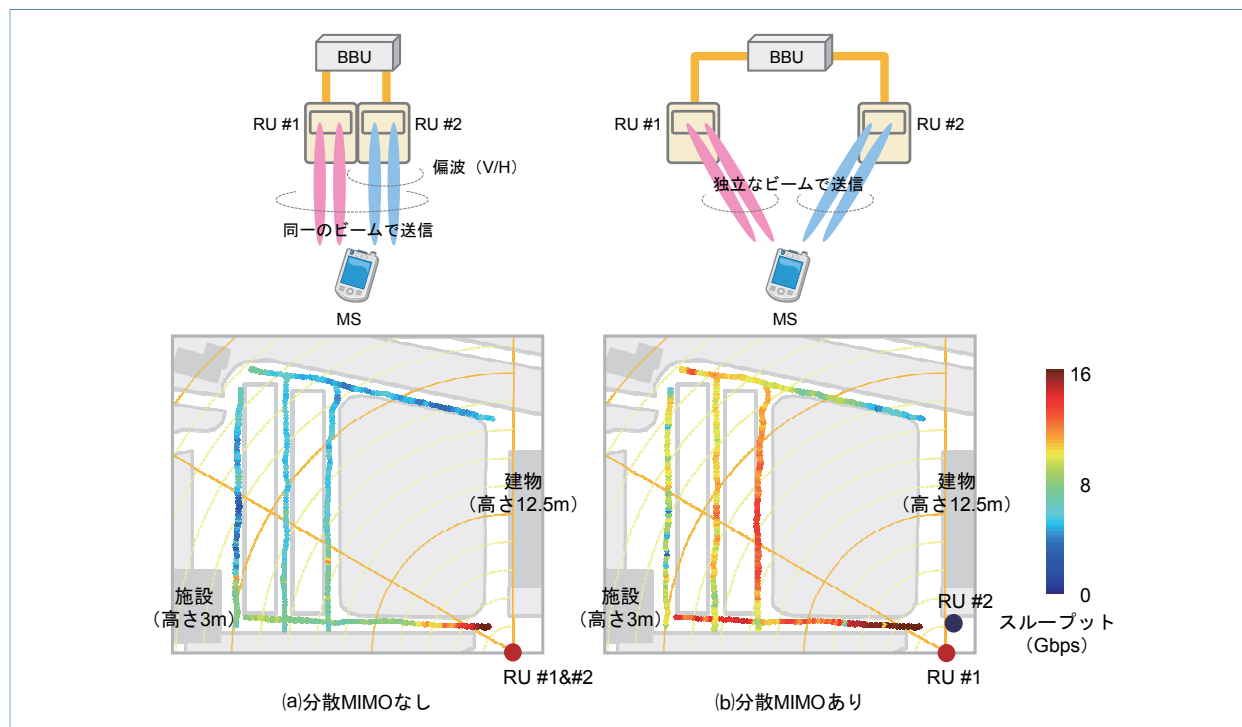


図4 分散MIMO技術の実験結果

*12 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。

*13 チャネル相関：複数の信号の類似性を示す指標であり、類似性（相関性）が高いと1に近い値をとり、類似性（相関性）が低いと0に近い値をとる。

*14 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの移動局に送信しMIMO伝送を行う技術。

分散MIMOを用いない場合は各RUで同一のビームを送信し、分散MIMOを用いる場合は異なる場所に配置したRUごとに独立のビームを選択して送信する。測定コースは図3と同じドコモR&Dセンタ屋外駐車場内のエリアである。分散MIMOなし（2つのRUを同一地点に配置）の場合を図4(a)に、分散MIMOあり（2つのRUを約7m離して配置）の場合のスループット特性を図4(b)に示す。これらを比較すると、分散MIMOの適用によって、測定エリア全域にわたってスループット特性が大きく向上していることが分かる。これは、異なる送信地点から異なるビームで送信することにより、チャネル相関を低減できるためであり、実際にMIMO多重されたストリーム数（Rank数）を確認したところ、累積分布の50%値で2.7から3.8に向上しており、ほぼ最大の4ストリームで伝送できていることが分かった。結果として、分散MIMOを適用した場合、本実験エリアの40%以上の領域において10Gbps以上のス

ループットを実現することができた。

(2)CSI推定によるRU間独立ビーム送信技術

建物による反射を利用してスループットを向上する技術として開発した、CSI（Channel State Information）^{*15}推定によるRU間独立ビーム送信技術の実験結果を図5に示す。各RUで独立のビームを選択することによって、例えば直接波と建物からの反射波の2つの方向にビームを向けることでチャネル相関を低減し、通信速度を向上させることが期待できる。本実験では、MRSRP上位4つのビームの中から、さらにCSI推定によってスループットの見込み値が最大となる2つのビームを再選択する方式を用いた [8]。実験は、建物による反射の得られやすいストリート環境を想定し、ドコモR&Dセンタにある2つの建物間の路上スペースで実施した。RU間で共通のビーム（すなわち、MRSRPが最上位のビーム）を用いたときのスループット特性を図5(a)に、CSI推定によってRU間で独立のビームを選択する

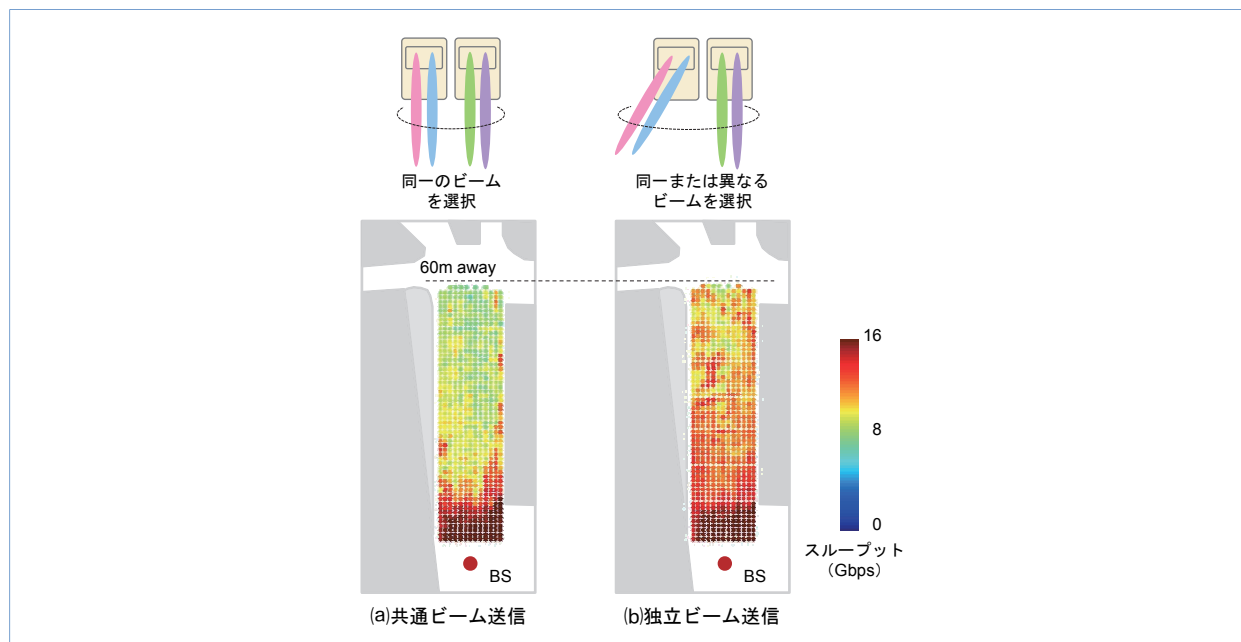


図5 CSI推定によるRU間独立ビーム送信技術の実験結果

*15 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

方式を用いたときのスループット特性を図5(b)にそれぞれ示す。これらを比較すると、RU間独立ビーム選択方式によって、測定エリア内のスループット特性が大きく改善していることが分かる。実際に、10Gbps以上のスループットを達成できた領域と比較すると、RU間共通ビーム送信の場合は30%に留まるのに対し、RU間独立ビーム送信の場合は85%まで向上していることがわかった。

以上により、高周波数帯でMassive MIMOを適用する際には、複数の送信地点や建物の反射などを利用して通信速度を向上する技術が有効であることを屋外実験で示した。

3. 150km/hでの移動時における高速無線データ伝送の実証実験

28GHz帯は数百MHz級の超広帯域が利用できる

ことから5Gの候補バンドとして期待されているが、電波の直進性の高さや伝搬損失の大きさから移動通信への適用性が課題である。ドコモではこれまでにサムスン電子との実験協力により、韓国において60km/h移動時の28GHz帯MIMO伝送実験に成功している [9]。今回、さらなる高速な移動環境における5Gシステムの高速無線データ伝送の可能性を検証することを目的に、日本国内において2016年11月時点で世界最高速度150km/h移動時のMassive MIMO伝送実験を実施したので、その実験概要と結果について解説する [10] [11]。

3.1 実験概要

実験装置の外観を図6に示す。また、実験装置の主要諸元を表1に示す。BSとMSの双方に2サブアレーによるビームフォーミング機能を備える。BSの1サブアレーは48アンテナ素子で構成されており、BS全体では96素子のMassive MIMOを用いている。

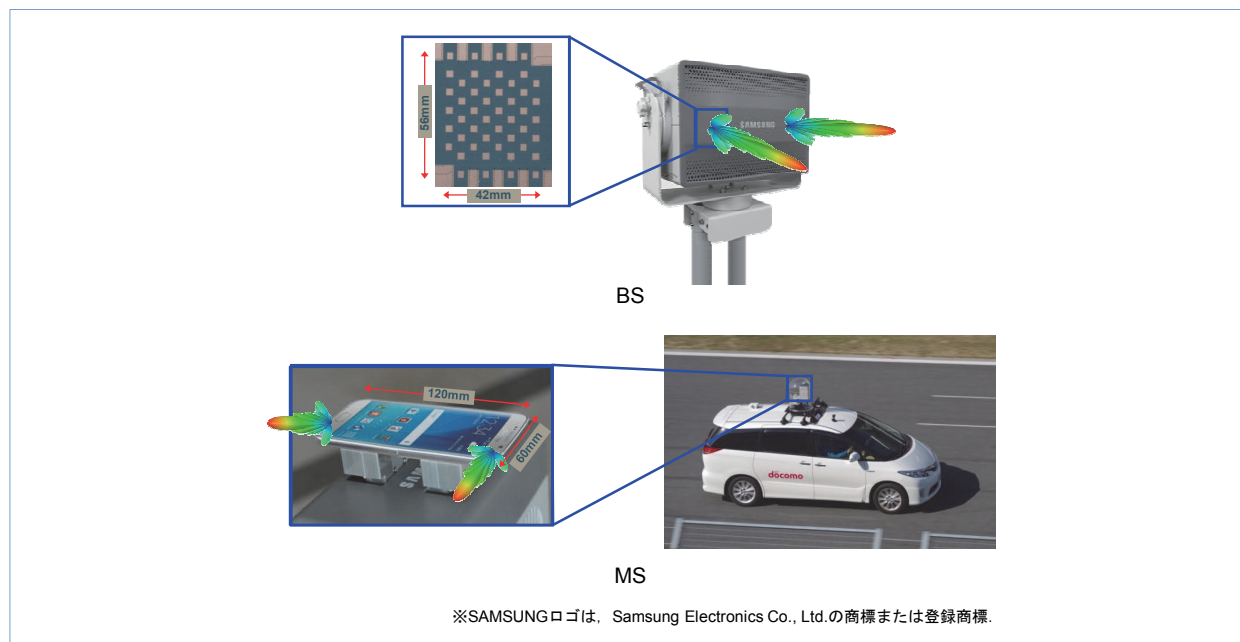


図6 装置外観

各サブアレーにおいて、図7に示すビーム候補
(BS：水平8×チルト*16 2=16ビーム，MS：水平8

ビーム) から、受信電力を最大にするビームを10ms
ごとに選択し、移動環境におけるビーム追従を実現

表1 装置諸元

主要諸元	BS	MS
中心周波数	27.925GHz	
帯域幅	800MHz	
複信方式	TDD	
変調方式	64QAM/OFDM	
チャンネル符号化(符号化率)	LDPC符号(1/2, 3/4)	
サブアレー当りのアンテナ素子数	8×6 (=48)	4
サブアレー数	2	2
空間多重数	2	
アレー利得	21dBi	10dBi
サブアレー当りの送信電力	37dBm	26dBm

LDPC (Low-Density Parity Check) 符号：誤り訂正符号の1種で、非零成分の密度が低い疎なパリティ検査行列を用いる線形符号。
OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing

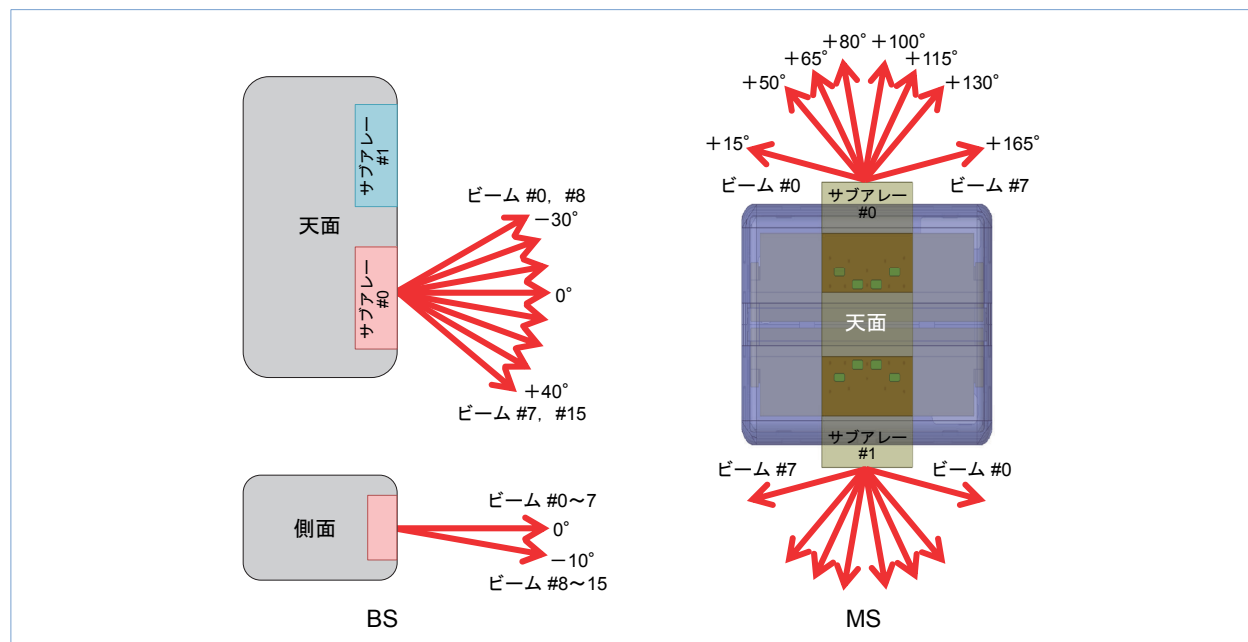


図7 各装置のビームパターン

*16 チルト：アンテナから放射される電波の、最大放射方向の垂直面内における傾き角。

する。例えば、150km/hでは10msの間に0.42m程度の移動距離となり、BSから10m離れた地点では10ms間に移動した範囲を見込む角度が 2.4° 程度となる。MSのビームよりも狭角のビーム形成のできるBSにおいて、ビーム半値角^{*17}は 10° であるため、10msごとにビーム選択をしていれば十分移動に追従できる計算となる。本装置は2ストリームのMIMO伝送に対応しており、64QAM^{*18}の符号化率^{*19}3/4では、最大伝送レートは3.77Gbps、64QAMの符号化率1/2では最大伝送レートは2.59Gbpsとなる。

静岡県駿東郡小山町にある富士スピードウェイにおいて伝送実験を行った。実験環境の俯瞰図と平面図を図8に示す。ホームストレートを挟む形でグラウンドスタンドとコントロールセンター・パドックが配置されている。グラウンドスタンドにBSを設置し、アンテナユニットのチルト角 θ_{tilt} を 18° 、アンテナ正面の道路方向に対する水平角 θ_{azim} を 11° になるように設定した。BSアンテナ高は測定車走行面から15.8mである。MSは測定車のルーフトップ上に設置し、アンテナを進行方向に対して 90° の方向に向けた。MSアンテナ高は測定車走行面から2.4mである。

測定車はBS設置位置を基準として1,000m前付近（ $x=0$ m地点）からホームストレート上を走行した。

3.2 実験結果

取得した伝送特性を図9に示す[10]。図9(a)は、MIMO、64QAM、符号化率1/2に固定したときのスループット、図9(b)はMSの移動速度を示しており、各々横軸はホームストレート上のMSの位置である。符号化率3/4では高速移動により伝送特性劣化が大きかったため、符号化率は1/2とした。

図より150km/h超の領域においても、 $x=820$ m付近では2.59Gbpsの高速伝送を達成したことが分かる。一方、距離減衰により $x<500$ mの領域では受信電力が低いため、最大スループットは2Gbps程度となっている。この領域には特に建物などの反射物はないものの、MIMO伝送は行えており、直接波と道路による大地反射の2パスが選択されたと考えられる。また、 $500<x<900$ mの領域では、MSがBSに近づく受信電力が高くなるため、MS移動速度が150km/hを超える領域でも規格上の最大スループット2.59Gbpsが得られたと推察される。この領域

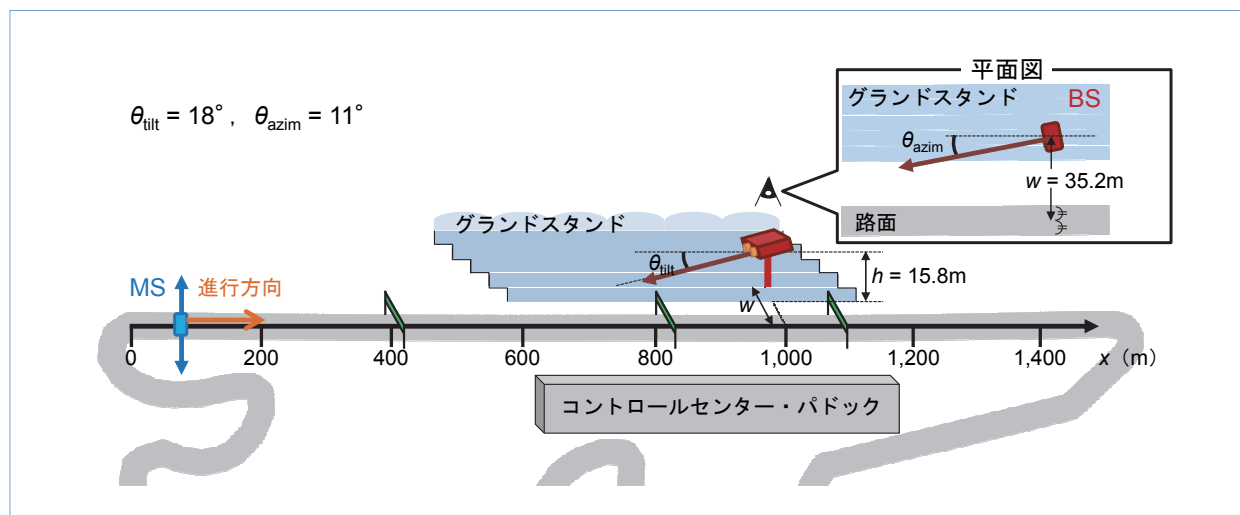


図8 実験環境

^{*17} 半値角：アンテナから放射されている電力がその最大値から半分になるまでの角度範囲。指向性の鋭さを表す。

^{*18} 64QAM：64値直交振幅変調。位相と振幅の異なる64通りの組合せに対してそれぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に6bitの情報を送信可能な変調方式。

^{*19} 符号化率：情報ビット数と、その情報ビットを誤り訂正符号化した後のビット数との比。例として、符号化率が3/4の場合は、情報ビット数3に対し、誤り訂正符号化により4ビットを生

成する。

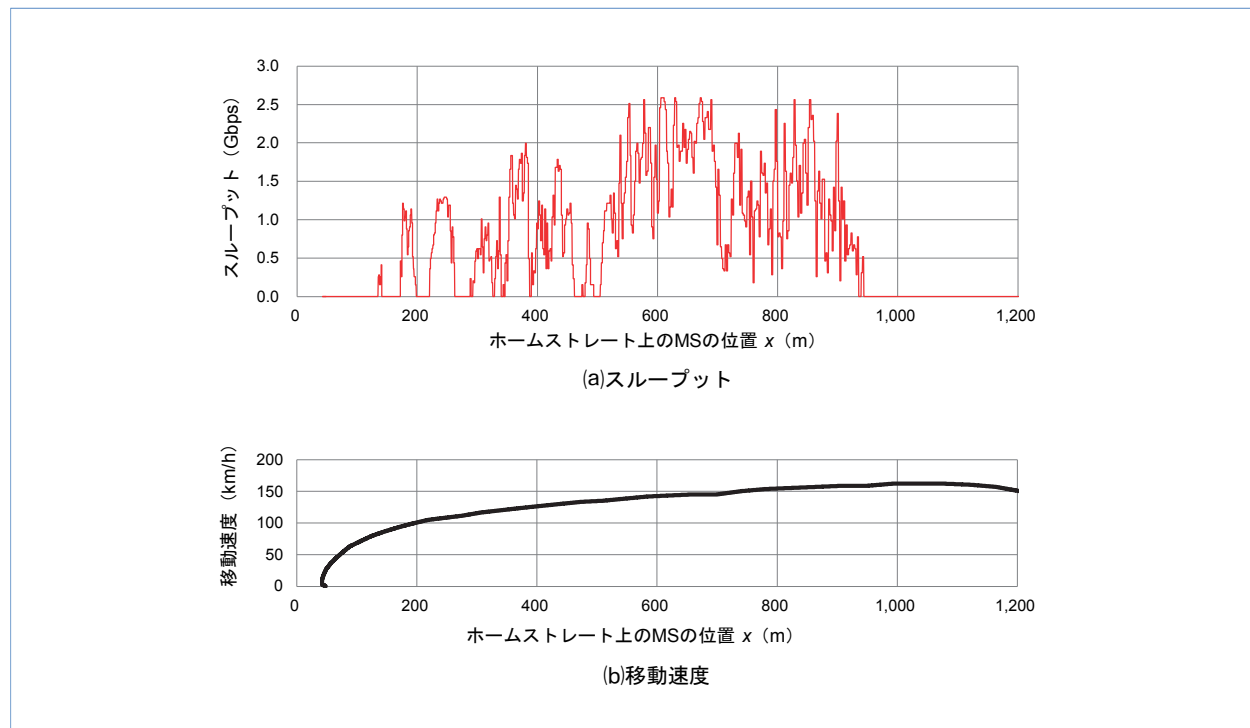


図9 高速移動実験結果

では、直接波と建築物（パドックなど）による反射波による2パスを有効に活用することによりLOSにおいてもMIMO伝送を実現されたと考えられる。なお、 $x=700\text{m}$ 付近では、ホームストリート上に設置されたゲートの影響により直接波がブロックされ、スループットが急激に劣化している。ただし、適応変調符号化^{*20}機能や、ランク適応制御^{*21}機能により急激なスループットの落ち込みを緩和できる可能性がある[11]。また、 $x>900\text{m}$ の領域では $x=1,000\text{m}$ の位置に設置したBSのビームがカバーする範囲から外れるため、大幅にスループットが低下している。

結果について紹介してきたが、5Gでは6GHz以下の比較的既存バンドに近い周波数帯も候補バンドとなっている。このような周波数帯では1GHz近くの広い周波数帯域幅を確保することは困難であるため、5Gで要求される超高速・大容量な通信を実現するには大幅な周波数利用効率の向上が必要である。ドコモでは、横浜市のみなとみらい21地区でのファウェイとの共同実験により、45GHz帯を用いたMassive MIMO伝送技術による周波数利用効率の改善効果について検証を進めているので[12][13]、その実験概要と結果について解説する。

4. さらなる周波数利用効率向上の実証実験

ここまでは、6GHzを超える高周波数帯での実験

4.1 実験概要

本実験における装置諸元を表2に示す。周波数は45GHz帯を適用し、システム帯域幅は200MHzとした。BSおよびMSの外観および本実験環境における

*20 適応変調符号化：無線伝搬路の状況に応じて変調方式および符号化方式を適応的に変化させる方法。伝搬環境が劣悪な場合は信頼性を高め、伝搬環境が良好な場合は高いスループットを得られるように、変調多値数や符号化率を変更する。

*21 ランク適応制御：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。

表2 装置諸元

項 目	値
周波数帯	4.55~4.75GHz
サブキャリア間隔	15kHz
TTI長（スロット長）	0.5ms
TTI当りのOFDMシンボル数	7
CP長	Long CP : $5.2\mu\text{s}$ (160サンプル) Short CP : $4.17\mu\text{s}$ (128サンプル)
変調符号化方式	LTE
システム帯域幅	200MHz
CC当りの帯域幅	20MHz
CC当りのサブキャリア数	1,320 (110RB)
システム全体のサブキャリア数	$1,320 \times 10$
スロット構成比（Normal）	DL : S : UL = 5 : 1 : 1
スロット構成比（Special）	DL : S : UL = 4 : 2 : 1
アンテナ素子数	BS : 192, MS : 8
アンテナ素子間隔	BS : $3.72\text{cm} \times 5.21\text{cm}$, MS : 12.5cm
アンテナチルト角	16.4°
アンテナ設置高	BS : 108m, MS : 3.2m
最大送信電力	BS : 46dBm, MS : 23dBm
最大送信ストリーム数	MS当り3, BS当り24

CP : Cyclic Prefix

TTI : Transmission Time Interval

BS設置位置を図10に示す。本実験におけるBSのアンテナ装置は $8 \times 4 \times 2$ （水平方向×垂直方向×偏波）の64個のアンテナユニットから構成され、各アンテナユニットは3個のアンテナ素子からなる。従って、BSは192個のアンテナ素子からなるMassive MIMOのアンテナ構成である。アンテナ高は約108mで、アンテナチルト角は 16.4° （機械チルト： 10.4° ，電気チルト： 6° ）とした。また、MS側のアンテナ構成は素子数が8のリニアアレーアンテナ^{*22}（アンテ

ナ素子間隔は約12.5cm）とした。BSおよびMSの最大送信電力はそれぞれ46dBmおよび23dBmである。下りリンクのMIMO伝送におけるMS当りの最大送信ストリーム数は3であり、MU-MIMOによって複数MSへ同時送信することができるBS当りの最大送信ストリーム数は24である。

MU-MIMOにおけるストリーム間干渉およびMS間干渉のない直交されたビームを生成するため、プリコーディング^{*23}手法として伝搬チャネルの特異

^{*22} リニアアレーアンテナ：アンテナ素子を一定間隔で直線状に並べた形状のアンテナ。

^{*23} プリコーディング：MIMOにおいて、送信する前の信号に無線伝搬路に応じた重みをあらかじめ乗算することで、受信品質を向上させる処理。

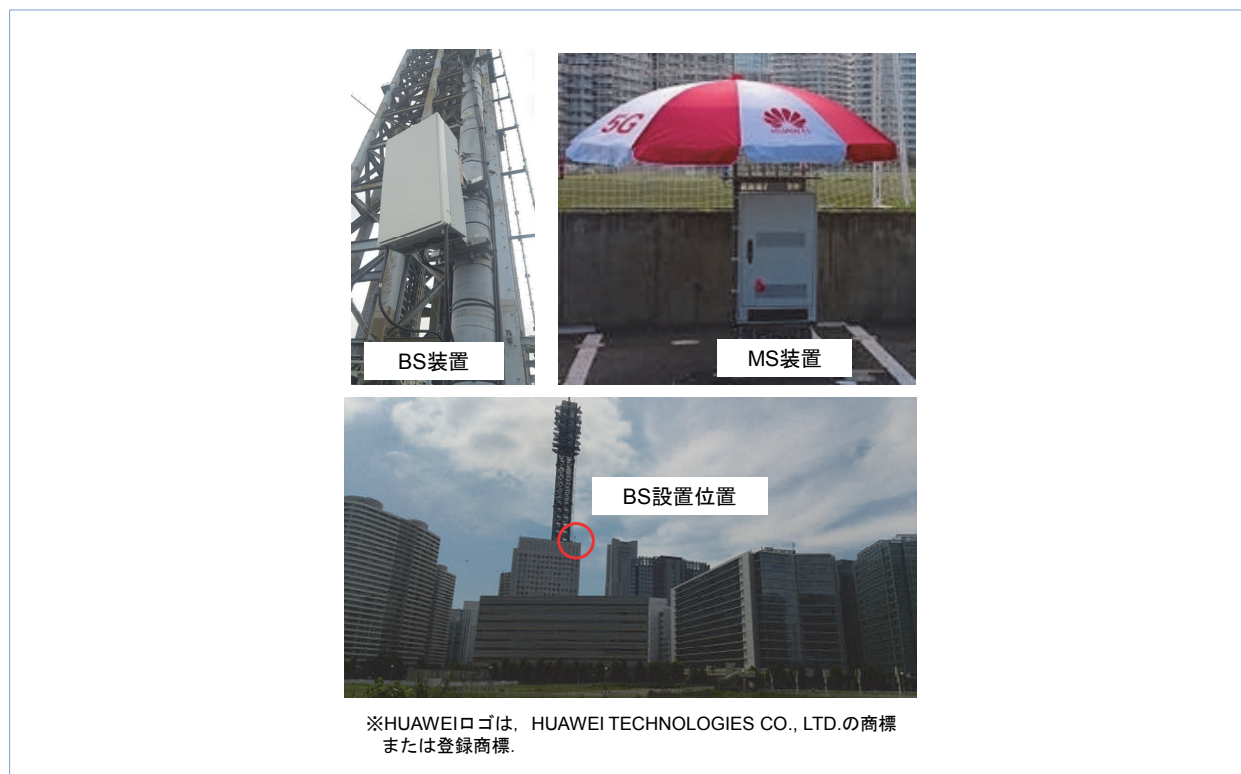


図10 BSおよびMSの外観

値分解 (SVD : Singular Value Decomposition)^{*24}を用いるEZF (Eigen Zero Forcing)^{*25}を適用した。ここで、伝搬チャネルの推定にはTDD (Time Division Duplex)^{*26}における上下チャネルの相反性^{*27}, すなわち, 上りリンクの信号で下りリンクの伝搬チャネルを測定することができる特性を活用した。また, 上下チャネルの相反性を保持するため, 基地局側に上下リンクのRFキャリブレーション^{*28}を導入した。

実験環境を図11に示す。基地局からMSまでの最大距離は約590mとし, 実験対象エリアはおおよそ10万㎡と国内の5G伝送実験の環境としては最大規模である。実験エリア内の1カ所に200MHzの最大帯域幅を用いるハイエンド端末を想定したMSを配置し(図中のMS11), 残り11カ所に200MHzの帯域幅の

うち下側100MHzの周波数を用いるMSおよび上側100MHzの周波数を用いるMSをペアでそれぞれ配置した。従って, エリア内に配置したMSの合計は23台である。また, 本実験ではLoSで測定を行い, 同じ周波数を用いるMS間の距離が水平方向および垂直方向に50m以上は確保できるように各MSを離して配置した。

4.2 実験結果

本実験においてMU-MIMOにおけるシステムスループット(全MSの合計スループット)特性を評価した。本実験装置における測定結果の出力画面を図12に示す。結果より, 1秒当りの平均システムスループットの最大値として11.29Gbpsを実現でき, 大規模なMU-MIMO送信においてTDDの上下リンクチャ

*24 特異値分解 (SVD) : 線形代数における, 複素数あるいは実数を成分とする行列に対する行列分解の一手法。

*25 EZF : 送信側において, プリコーディングあるいはビームフォーミングを行う際に, チャネル行列の一般逆行列を用いて, ユーザ間干渉が完全に0となるような重み係数を生成する方法。

*26 TDD : 双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し, 異なる時間を割り当てることにより

双方向通信が可能。

*27 相反性 : 一対向の送受信機における各受信信号が, 同一の影響を受けること。例えば, 上りリンクと下りリンクにおいて同一RF (Radio Frequency) キャリア周波数を用いるTDD方式では, 干渉の影響がない場合, 基地局受信と移動局受信のそれぞれの受信信号が受けるチャネル変動は同一となるため, 伝送路の相反性が成り立つ。

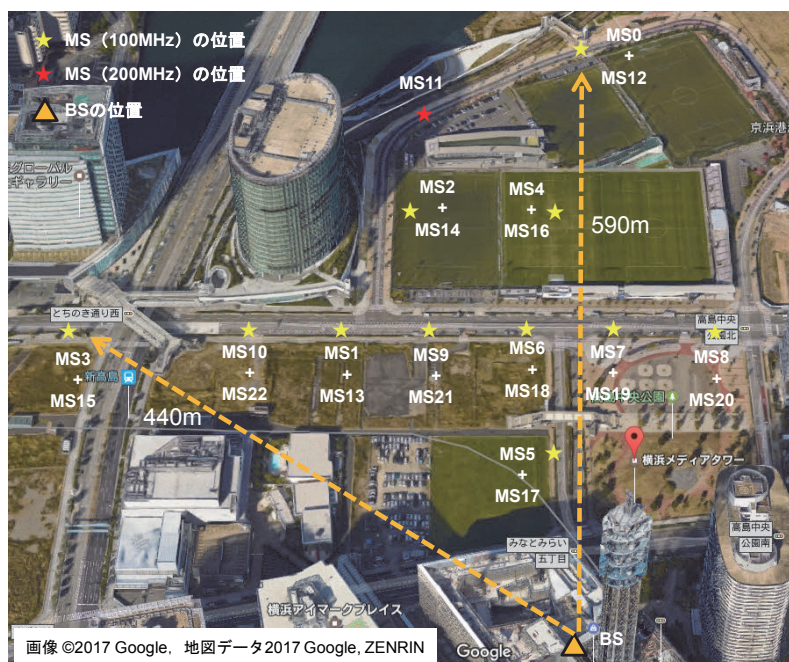
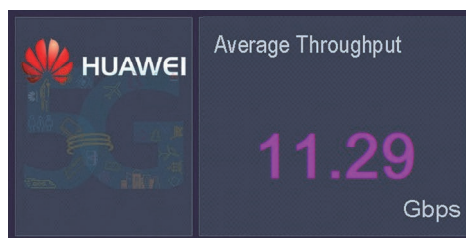


図11 実験環境



※HUAWEIロゴは、HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.の商標または登録商標。

図12 実験装置における測定結果

ネルの相反性の活用が可能であることを実証した。これは、周波数利用効率に換算すると79.82bps/Hz/cellに相当し、結果として6GHz以下の周波数帯においてLTE-Advancedの4×4 MIMOの理論値(15bps/Hz/cell)の約5倍の周波数利用効率を実現

できた。

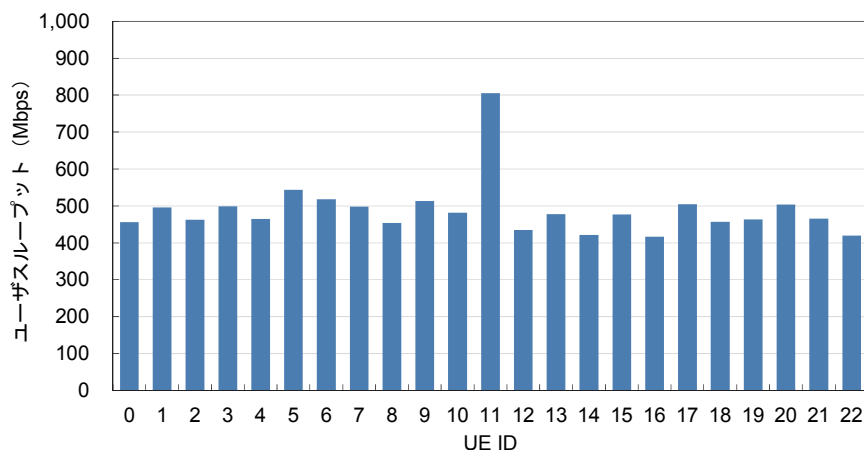
MSごとのスループット特性を図13に示す。結果より、23個のMSとの同時通信をサポートしつつ、各MSへ500Mbps程度のスループットを大きなばらつきなく提供できており、200MHzの帯域幅を用いるハイエンドMS（MS11）には約800Mbpsのスループットを提供できていることがわかる。

5. あとがき

本稿では、世界主要ベンダと取り組んでいる5G伝送実験について、現在までの最新の実験結果から主なものを紹介した。今後も5Gおよびその発展(5G+^{*29})における無線技術の確立のため技術検討や実験を推進するとともに、2017年5月からは、「5Gトライアルサイト」と称し、5Gを活用した新た

*28 キャリブレーション：適切に電波を放射するために、複数のアンテナ素子を配置することなどによるアンテナごとの特性の偏りをあらかじめ補正すること。

*29 5G+：5Gの発展を表す略称。



※23ユーザと同時に通信しながら、実験エリアに配置した各MSで400Mbps以上のユーザスループットを達成。
 ⇒100MHz MSでは最大で543.8Mbps、最低で416.3Mbps
 ⇒200MHz MS (MS11) で804.9Mbps

図13 ユーザスループット特性の実験結果

なサービス・コンテンツをさまざまな業界のパートナー企業と幅広く連携して開発し、一般のユーザにも5Gを体験いただける環境を構築していく予定である [14] [15]。

文 献

- [1] 5GPPP: “Second Global 5G Event on 9-10 November 2016, Rome (Italy).”
<https://5g-ppp.eu/event/second-global-5g-event-on-9-10-november-2016-in-rome-italy/>
- [2] 岸山, ほか: “ドコモの5Gに向けた取組み—2020年での5Gサービス実現に向けて—,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.6-17, Jan. 2016.
- [3] 須山, ほか: “5Gマルチアンテナ技術,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.30-39, Jan. 2016.
- [4] 原田, ほか: “世界主要ベンダとの5G伝送実験,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.59-68, Jan. 2016.
- [5] NTTドコモ報道発表資料: “世界初, 屋外環境で通信容量20Gbpsを超える5Gマルチユーザ通信実験に成功—2台同時接続で1台平均10Gbps超の通信速度を実現—,” Feb. 2016.
- https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2016/02/22_01.html
- [6] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, S. Parkvall, J. Furuskog and P. Nauc  r: “5G Experimental Trial Achieving Over 20 Gbps Using Advanced Multi-antenna Solutions,” IEEE VTC2016-Fall, Sep. 2016.
- [7] D. Kurita, K. Tateishi, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, A. Simonsson and P.   kvist: “Indoor and Outdoor Experiments on 5G Radio Access Using Distributed MIMO and Beamforming in 15 GHz Frequency Band,” IEEE Globecom 2016 WS, Dec. 2016.
- [8] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada and Y. Kishiyama: “Performance Analysis on Beam Tracking Using CSI Feedback for 5G Radio Access,” 信学技報, Vol.116, No.383, RCS2016-231, pp.129-134, Dec. 2016.
- [9] T. Obara, Y. Inoue, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee and Y. Okumura: “Experiment of 28 GHz Band 5G Super Wideband Transmission Using Beamforming and Beam Tracking in High Mobility Environment,” IEEE PIMRC, Sep. 2016.
- [10] 佐藤 圭, 増野 淳, 須山 聡, 井上 祐樹, 奥村 幸彦:

- “5G実現に向けた28GHz帯超広帯域MIMO伝送のフィールド実験～富士スピードウェイにおける高速走行実験①～,” 電子情報通信学会総合大会B-5-76, Mar. 2017.
- [11] 増野 淳, 佐藤 圭, 須山 聡, 井上 祐樹, 奥村 幸彦: “5G実現に向けた28GHz帯超広帯域MIMO伝送のフィールド実験～富士スピードウェイにおける高速走行実験②～,” 電子情報通信学会総合大会B-5-77, Mar. 2017.
- [12] 齋藤 祐也, ベンジャブール アナス, 岸山 祥久, 王新, 侯 曉林, 蔣 恵玲, L. Lu, B. Li, W. Liang, L. Gu, 崔 洋, 鹿島 毅: “4.5GHz帯におけるMassive MIMOの特性に関する屋外伝送実験評価,” 信学技報, Vol.116, No.396, RCS2016-240, pp.25-30, Jan. 2017.
- [13] 齋藤 祐也, ベンジャブール アナス, 岸山 祥久, 王新, 侯 曉林, 蔣 恵玲, L. Lu, B. Li, W. Liang, L. Gu, 崔 洋, 鹿島 毅: “TDD下りリンクにおける大規模マルチユーザMassive MIMOの屋外伝送実験評価,” 信学技報, Vol.116, No.479, RCS2016-323, pp.187-192, Mar. 2017.
- [14] NTTドコモ報道発表資料: “5Gを活用したサービス創出に向けてパートナー企業との連携を促進—一般のお客様にも体験いただける5Gトライアル環境「5Gトライアルサイト」を構築—,” Nov. 2016.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2016/11/09_00.html
- [15] NTTドコモ: “5Gトライアルサイト.”
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/docomo5g/trial_site/index.html

視野特性を考慮した ヘッドマウントディスプレイの 広視野角化手法

先進技術研究所 やまだ 山田 わたる 渉 まなべ 真鍋 ひろゆき 宏幸

現在、ヘッドマウントディスプレイの普及が急速に進んでいる。ヘッドマウントディスプレイの特長である没入感や存在感を高めるためには、視野角を広くする必要があるが、複数枚のディスプレイや複雑な光学系が必要となり、製造コストや重量の点で課題があった。そこでドコモでは、中心視野と周辺視野の特性の違いに着目し、異なる倍率のレンズを配置することで、安価かつ軽量にヘッドマウントディスプレイの視野角を広げることが可能な手法を開発した。

1. まえがき

ヘッドマウントディスプレイ（Head-Mounted Display）とは、頭部に装着することでユーザに映像を提示するタイプのディスプレイ装置である。近年、高精細なディスプレイや、処理速度の高いCPU・GPUなどの低価格化によって、消費者向けのヘッドマウントディスプレイが数多く発売されるようになった。

図1に示すPlayStation® VR^{*1}やGoogle CardboardTM^{*2}などのヘッドマウントディスプレイは没入型または非透過型ヘッドマウントディスプレイと呼ばれ、不透明なディスプレイをユーザの眼球の前に置き、映像を提示する仕組みである。

現在、市販されている没入型のヘッドマウントディスプレイは、その実装形態によって大きく2種類に分けることができる。

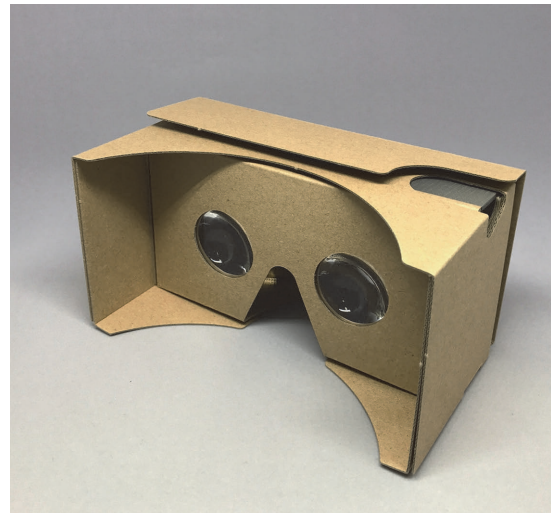
- ①1つは、ヘッドマウントディスプレイ向けに設計された専用のディスプレイやCPUなどがあらかじめ組み込まれたタイプのヘッドマウントディスプレイ（以下、一体型のヘッドマウントディスプレイ）である。一体型のヘッドマウントディスプレイは、先ほど挙げた例のうち、PlayStation VRが該当する。
- ②もう1つのタイプは、Google Cardboardのようにレンズとケースのみを提供し、それに対してスマートフォンを後付けすることでヘッドマウントディスプレイとして利用するタイプ（以下、

*1 PlayStation® VR：(株)ソニー・インタラクティブエンタテインメントより発売されているVRシステム。PlayStationおよびそのロゴは同社の登録商標。

*2 Google CardboardTM：Google, Inc.より提供されているヘッドマウントディスプレイで、同社の商標または登録商標。



(a)Play Station VR



(b)Google Cardboard

※SONYおよびSONYロゴはソニー株式の登録商標。

図1 市販されているヘッドマウントディスプレイの例

後付け型のヘッドマウントディスプレイ)である。後付け型のヘッドマウントディスプレイの最大の利点は、ユーザが普段使っているスマートフォンを利用できるため、非常に安価に実現できることである。しかし、一体型のヘッドマウントディスプレイは両目それぞれに専用の高解像度なディスプレイを利用することも可能なのに対し、後付け型のヘッドマウントディスプレイは、通常のスマートフォンを利用するため1台のディスプレイしか搭載できない。また、このディスプレイはヘッドマウントディスプレイ向けに設計されたものではない。よって、後付け型のヘッドマウントディスプレイは、専用のサイズと解像度をもったディスプレイを搭載可能な一体型に比べて性能は劣る。

ヘッドマウントディスプレイの性能に対する評価基準はさまざまなものがあるが、特に重要なものとして視野角がある。ヘッドマウントディスプレイに

おける視野角とは、ヘッドマウントディスプレイを装着した際に、ユーザが見える範囲を示す指標である。視野角が広がると、バーチャルリアリティ(VR: Virtual Reality)環境において、不快感や吐き気を催すいわゆるVR酔い(VR Sickness)と呼ばれる症状が引き起こされやすくなるものの、没入感と存在感を向上させることができるとされている[1]。没入感とはユーザがVR環境に入り込んでいることを示す度合いであり、存在感とはVR環境上の物体や人物がいかにかそこにあるかのように見えるかを示す度合いである。没入感と存在感はどちらもVR環境下におけるユーザ体験の質に大きく影響するため、それらを向上させる広い視野角の実現に向けて、従来から多くの研究がなされてきた。

しかし、それらの研究の多くは複雑な光学系(屈折や反射などを利用した器具や装置の総称)や複数枚のディスプレイが必要になるなど、コストや重量の増加などの理由から実用化することは難しかった。

そこでドコモでは、人間の視野の特性に着目して、

安価かつ軽量にヘッドマウントディスプレイの視野角を広げる手法を提案してきた [2]。提案手法では、両眼の前面に配置された凸レンズに加えてより高倍率なフレネルレンズ (Fresnel Lens)^{*3}を周囲に配置する。そして周辺視野領域にフレネルレンズを通してボケた映像をユーザに提示することで、視野角の広角化を実現している。本稿では本技術と対応する手法について解説をする。

2. 人間の視野特性と関連技術

2.1 中心視野と周辺視野

諸説はあるものの、人間の視界はおよそ水平方向に180度、垂直方向に90度と言われている。しかし、人間はその視界中のものをすべて平等には認識していない。モノを注視している人間の視野は、注視しているモノとその近傍の中心視野と、その外側の領域の周辺視野の2種類に分けることができる。中心視野と周辺視野では、形状や色の知覚、時間的変化に対する反応など、さまざまに異なる特徴があることが知られている [3]。その特徴の1つとして、解像度がある。人間は、中心視野に比べて周辺視野の解像度が低く、曖昧にしか認識できない。

そこでそのような特性に着目したヘッドマウントディスプレイの研究が提案されている。

2.2 関連技術

Robertら [4] は、ユーザの眼前の凸レンズの外側に、多数のフルカラーLED (Light Emitting Diode) と拡散板^{*4}を備えつけたヘッドマウントディスプレイの提案をしている。この研究では、ヘッドマウントディスプレイ内の映像と、凸レンズ周囲のLEDの色を同期させる。同期したLEDの光が、ユーザの周辺視野領域に照射され、それが解像度の低い映像のように見えるため、ユーザにはあたかも視野角が広がったかのように見える。この手法は、ユー

ザが周辺視野領域を曖昧にしか認識できないという特性によって、解像度の低い映像でも映像全体としての不自然さが抑えられることを利用している。またこの手法は複雑な光学系や大幅な重量の増加などは必要としないが、多数のフルカラーLEDや、映像とLEDの同期処理用のマイクロコントローラなどの多数の電子部品、およびそれらの駆動用のバッテリーが必要になる。そのため、後付け型のヘッドマウントディスプレイに適用することは、製造コストの面から困難である。

2.3 提案手法

そこでドコモは、倍率の異なった2組のレンズを用いた、一体型および後付け型のいずれにも適用可能な、安価かつ軽量に視野角を広げる手法を提案している。この手法はRobertらの手法のように、ユーザは周辺視野領域を曖昧にしか認識できない特性を利用している。

図2は提案手法のプロトタイプである。提案手法では、図2のように、倍率の異なる2種類のレンズを備えている。1つはユーザの両眼の前面に配置されている凸レンズである。この凸レンズ (焦点距離^{*5}44mm, 直径25mm) は、ユーザの中心視野領域に明瞭な映像を提示するために備えられている。もう1つのレンズは、凸レンズを囲む、より高倍率なフレネルレンズ (焦点距離25mm, 幅70×高さ68×厚み2mm) である。この高倍率なフレネルレンズは、ユーザが曖昧に認識している周辺視野部分に広くボケた映像を提示するために備えられている。またフレネルレンズを用いている理由としては次が挙げられる。ディスプレイのサイズが限られているため、より広範に映像を提示するためには倍率を上げ、レンズ自体を大きくする必要がある。しかし、通常の凸レンズだと倍率の上昇に伴い、レンズの厚みも増えてしまうため、重量が大きく増大してしまう。そこで倍率が上昇しても、薄く軽量にできるフレネル

^{*3} フレネルレンズ (Fresnel Lens) : 同心円状に刻まれた溝によって光を屈折させ、発散または集光するレンズ。通常のレンズに比べて、薄型かつ軽量にできるという特徴がある。

^{*4} 拡散板 : 入射した光を拡散させ、光の指向性を弱める板のこと。

^{*5} 焦点距離 : 凸レンズの場合、平行光がレンズの光軸に入射したとき、ある1点に収束する。この収束する点を焦点と呼ぶ。焦点距離とはレンズの中心から焦点までの距離のことである。

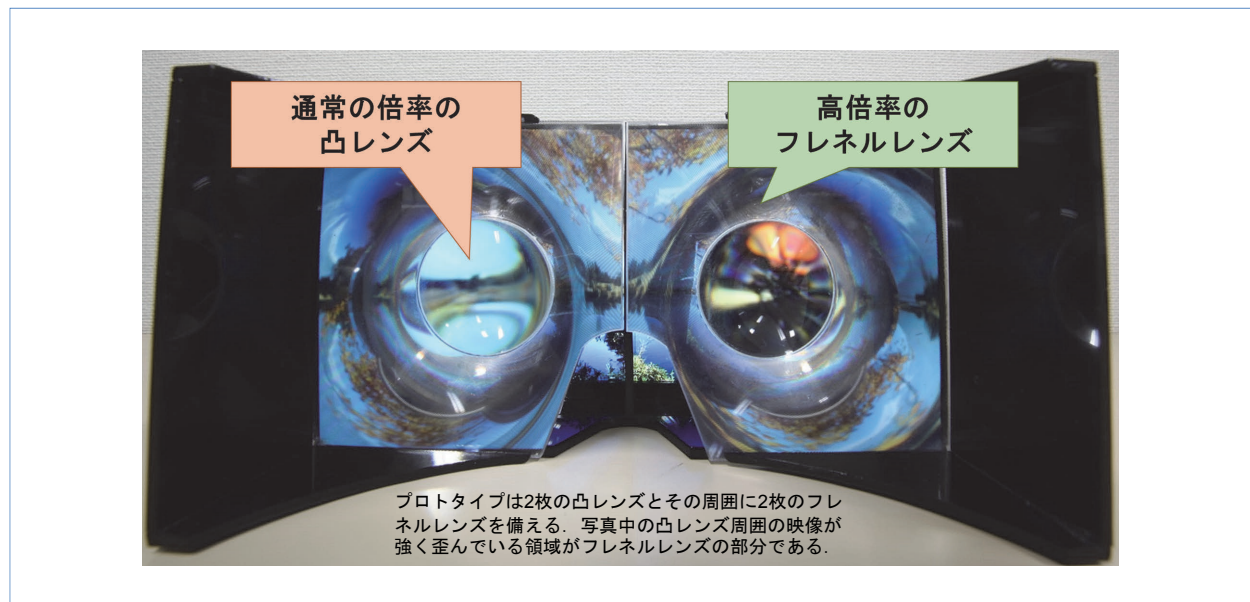


図2 プロトタイプ

レンズを用いている。なお各レンズの中心は、それぞれディスプレイの表面から39mm離れている。

この仕組みは、近視用眼鏡のアナロジーで説明することができる。眼鏡を通して見える領域は明瞭に風景が見えるのに対して、眼鏡の外側の領域はボケて見える。眼鏡の外側のボケて見えている領域が全く見えないと、ユーザは視界が狭いと感じるだろう。つまり、提案手法は、近視用の眼鏡の内側に相当する凸レンズ部分に加えて、眼鏡の外側に相当する場所に映像を生成するための高倍率なフレネルレンズを備えることで広い視野角度を実現している。なお、図2を見ると、フレネルレンズ部分の映像が非常に強く歪んでいるが、これは離れて撮影したためであり、実際の装着時にはこのように映像が提示されるわけではない。

図3(a)はプロトタイプの凸レンズとフレネルレンズの両方を備えたものの近接撮影写真である。図3(b)はプロトタイプのフレネルレンズを不透明な黒い板に置換して、撮影した画像である。どちらの写真も凸レンズを通して見えるディスプレイ上に焦点を合

わせて撮影した。どちらも凸レンズから見える映像は明瞭に見えるが、図3(b)では凸レンズの周りが黒いのにに対して、図3(a)では写真のボケた映像がフレネルレンズを通して見えている。このようにユーザが提案手法のプロトタイプを装着した際には、図3(a)のように周辺視野にボケた映像が提示され、視野角が広がる。

なお、周辺視野に提示されるボケた映像にはいくつかの特性がある。例えば、周辺視野領域の映像は、凸レンズよりも焦点距離が短いフレネルレンズを通して見えるため、一部の映像が両方のレンズで重複かつ非連続に見える（図3(a)）。またフレネルレンズを通して見える映像は高い倍率で拡大して表示をするため、ディスプレイの各ピクセルの境界が目立つようになる。しかし、実際には、フレネルレンズの映像はボケて見えるためピクセルの境界は隠れてほとんど見えない。

以上のように提案手法では、通常の後付型のヘッドマウントディスプレイに対して、高倍率のフレネルレンズを追加し、周辺視野領域にボケた映像を表



(a)凸レンズとフレネルレンズの両方を備えたプロトタイプ



(b)フレネルレンズを不透明な黒い板に取り替えたプロトタイプ

図3 プロトタイプの凸レンズの近接撮影写真

示することで、視野角を広げる。提案手法の特長として、2種類の倍率の異なるレンズのみが必要であり、複雑な光学系や電子パーツなどを必要としない点が挙げられる。そのため製造コストおよび重量の面で優れている。さらに専用の映像再生ソフトウェアなどは必要ないため、提案手法は既存のコンテンツをそのまま流用できるといった実用化における強みもある。

3. あとがき

本稿では、2種類の倍率の異なるレンズを用いて、安価かつ軽量に視野角を広げる技術の解説をした。今後は、より詳細な光学系の設計の研究開発を行い、技術の高度化を進めるとともに、新たなVRサービスの創造に向けた事業化検討に取り組んでいく。

文 献

- [1] J. J.-W. Lin, H. B. L. Duh, D. E. Parker, H. Abi-Rached and T. A. Furness: "Effects of field of view on presence enjoyment memory and simulator sickness in a virtual environment," In Proc. of IEEE Virtual Reality 2002, pp.164-171, Mar. 2002.
- [2] W. Yamada and H. Manabe: "Expanding the Fields-of-View of Head-Mounted Displays with Peripheral Blurred Images," In Adjunct Proc. of 29th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.141-142, Oct. 2016.
- [3] 石黒 祥生, 暦本 純一: "Peripheral Vision Annotation : 拡張現実感環境のための視線計測による周辺視野領域情報提示手法," 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.4, pp.1328-1337, Apr. 2012.
- [4] R. Xiao and H. Benko: "Augmenting the Field-of-View of Head-Mounted Displays with Sparse Peripheral Displays," In Proc. of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1221-1232, May 2016.

Topics

フレキシブルディスプレイを用いた 未来のスマートフォンコンセプトと新たなUX

移動機開発部 たきもと 滝本 まこと 真

近年、複数のディスプレイメーカーより折り曲げることのできるフレキシブルディスプレイに関する発表が行われており [1]、製品化に向けた研究開発が盛んになっている。現在発売されているスマートフォンにおいても、一部の機種にてディスプレイの端が曲がった形状のものなども登場しており [2]、またスマートフォンへの適用を前提としたフレキシブルディスプレイに関する多くの特許技術が公表されている。

このような動向を踏まえ、ドコモは今後のフレキシブルディスプレイの活用を見据え、ディスプレイの一部をロール形状に巻き取ることができるロール型デバイスのコンセプトを考案し、ディスプレイのサイズに合わせて、最適に表示されるUI (User Interface) 技術を開発した。

本稿では、ロール型端末に至った経緯と、新たなUX (User Experience)^{*1}を実現するためのUI技術について解説する。

なお、本開発におけるフレキシブルディスプレイ

パネルについては、株式会社半導体エネルギー研究所より提供されたfoldable display[®]^{*2} [3] を使用した (表1)。

(1)開発の方針

本開発では、見る人が未来への期待と驚きを感じることのできる、新たなUXを実現することを目的としたため、未来のスマートフォンを志向したデバイスコンセプト・UIの具現化に、主眼を置いて検討を行った。

(2)デバイス形状の検討

フレキシブルディスプレイは単純に折り曲げるだけでなく、ねじる・巻くといったことが可能である。フレキシブルディスプレイを用いた筐体の検討においては、以下3点に着目して検討を行った。

- ・フレキシブルである特長が活かされること
- ・驚きと期待が感じられるデバイスであること
- ・実用性があるもの

ここで、フレキシブルの特長および、潜在的な

表1 foldable display諸元

ディスプレイサイズ	8.7インチ
解像度	1,920×1,080pix
曲率半径	2mm
屈曲耐性	10万回以上※

※曲率半径が2mmの場合。

ユーザビリティ向上を考慮しコンセプトを検討したところ、有望な素案として、①三つ折り型と②ロール型の2つを考案した。

①三つ折り型は図1にあるように、ディスプレイを三つ折りにした状態でもディスプレイが表に配置されることで、通常のスマートフォンのような操作を可能としつつ、広げることでタブレットサイズまでディスプレイが大きくなることを特長としている。

②ロール型は図2にあるように、軸にディスプレイを巻き取り、それを引き伸ばすことでスマートフォンサイズからタブレットサイズまで、無段階に延伸できることを特長としている。

上記2つの形状について比較検討を行い、筐体検討の着目点により適しているロール型を採用して開発を進めた。

(3) ロール型筐体に合わせたUIの開発

前述のとおり、ロール型筐体に関してはスマートフォンサイズ、タブレットサイズの2種類ではなく、ユーザの好きなディスプレイサイズにできるものとしたが、未来のスマートフォンを考えるのであれば、そこに驚きや操作における心地良さなどの要素を加えるべきと考え、そのディスプレイサイズに応じて、コンテンツのレイアウトや表示内容が動的に、かつ最適に表示されるUIを考案し実現方法を検討した(図3)。

・ポテンショメータ^{*3}の具備

上記コンセプトの実現において、まずディスプレイパネルを巻き取る軸に、どれだけ回転したかをセンシングできるポテンショメータを具備させ、その回転量と巻き取り径を測定すること

^{*3} ポテンショメータ：回転角や移動量をセンシングする素子。



図1 三つ折り型



図2 ロール型

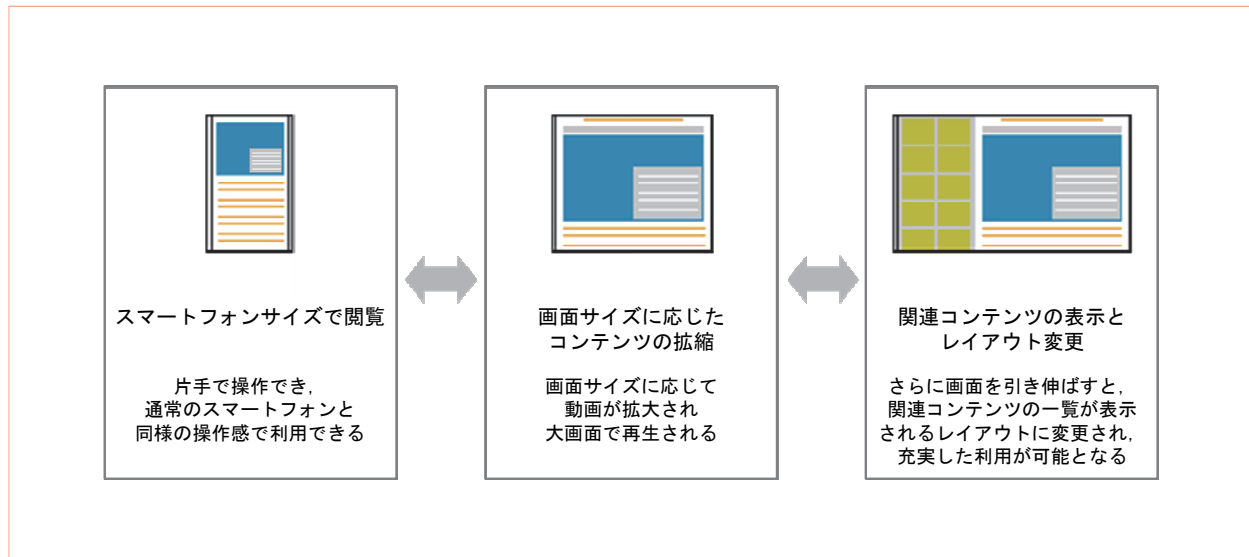


図3 ディスプレイサイズに追従し最適に表示されるUI

で、ディスプレイ平面部のサイズを算出可能とした。

・レスポンスWebデザインの採用

次にディスプレイに表示されるコンテンツであるが、既存コンテンツでも対応可能とするためHTML (HyperText Markup Language) 5^{*4}とCSS (Cascading Style Sheets) 3^{*5}を利用したレスポンスWebデザインに着目した。レスポンスWebデザインとは、PCのWebブラウザにおいて、ブラウザのウィンドウ幅によってコンテンツの表示内容およびレイアウトが変更されるものだが、そのウィンドウ幅を、前述のディスプレイサイズの算出値に置き換えることに着目し、開発を実施した。

・コンテンツ表示の流れ

それぞれの装置の働きとディスプレイにコンテンツが表示される流れを以下に解説する。

(a)ディスプレイサイズの算出

フレキシブルディスプレイ筐体のディスプレイパネル巻取り軸に具備したポテンショメータにて、ディスプレイの巻取り動作を検知。センシングしたデータ（ポテンションメータ値）をUIソフトウェアに通知（図4①）。

そのデータにしきい値以上の変化があった場合、ポテンショメータ値と巻取り径から、ディスプレイサイズを算出（図4②）。算出さ

れたディスプレイサイズをWebブラウザのウィンドウ幅として、Webブラウザソフトに通知（図4③）。

(b)コンテンツレイアウト・表示内容変更

Webブラウザ上で表示されるコンテンツは、レスポンス機能に対応させているため、通知を受けるとウィンドウ幅に応じたコンテンツのレイアウト・表示内容の変更を行う（図4④）。

(c)フレキシブルディスプレイへの表示

上記変更を行ったWebブラウザのウィンドウをフルスクリーン出力し、ウィンドウ幅をフレキシブルディスプレイの平面部のディスプレイサイズと一致させて表示する（図4⑤）。巻き取る、引き伸ばすごとに(a)～(c)が繰り返され再描画が行われる。

以上により、ディスプレイサイズに応じてコンテンツが動的かつ、最適に表示されるUIが完成した（写真1）。

プロトタイピング^{*6}を通じ、フレキシブルディス

^{*4} HTML5：Webページを作成するための言語の1つ。

^{*5} CSS3：Webページのスタイルを指定するための言語の1つ。

^{*6} プロトタイピング：検証・フィードバックのため、検討早期に実働モデルを製作する手法。

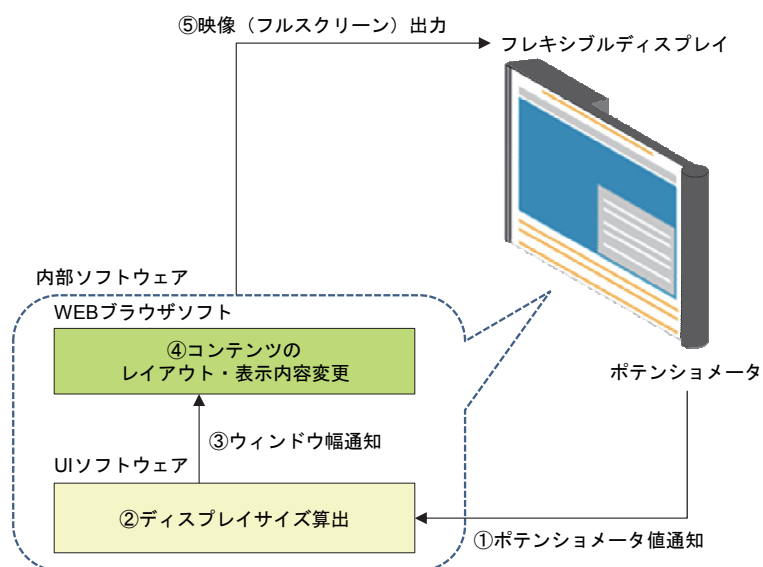


図4 追従するUIの仕組み



スマートフォンサイズで動画視聴している様子



引き伸ばされるディスプレイに応じて追従するコンテンツ



タブレットサイズまで引き伸ばされ、全画面での動画視聴



さらに引き延ばすことで、レイアウトが変更。左から関連コンテンツのリンクが表示

写真1 プロトタイプ

プレイを用いたコンセプトを手にとることのできる形に具現化し、またそのコンセプトデバイス上で動く快適で新しいUIを実装することで、スマート

フォンの未来と驚きを感じることのできるUXを実現した。

なお、本フレキシブルディスプレイを用いたス

スマートフォンの商用化については、ユーザの取扱いを考慮した耐久性、ディスプレイへの引っかかり硬度、落下耐性など、さらなる検討が必要となる。

今後は上記検討とともに、ユーザに新たな驚きと快適さを提供できるUX創出に向けて、さらなる検討を進めていく。

文 献

[1] 田中 直樹：“主戦場のフレキシブルで液晶が有機ELに

挑戦状,” 日経エレクトロニクス, 2016/07号, pp.44-49, Jul. 2016.

[2] NTTドコモ：“Galaxy S7 edge SC-02H.”
https://www.nttdocomo.co.jp/product/smart_phone/sc02h/topics_01.html?icid=CRP_PRD_sc02h_topics_up

[3] 株式会社半導体エネルギー研究所：“OSディスプレイ研究開発.”
https://www.sel.co.jp/technology/os_display.html

Topics

M2M機器向けフィルム型広帯域マルチバンドアンテナ

先進技術研究所

鈴木 恭宜

すみ 角

まこと 誠

第二法人営業部

おだ 小田

ひろあき 浩昭

インターネットと携帯電話の技術の進展に伴い、M2M (Machine to Machine)^{*1}サービスは国内のみならず国外でもさかんに利用されるようになってきている。M2M機器によるモニタリングには、車両のように移動する物体に対して、あるいは産業機械のように固定している物体に対して行われる。また、各国の携帯電話周波数帯がおおよそ一致している中で、一部の国ではこの周波数帯が異なり、トラックなどの車両の場合は、利用されている周波数帯が異なる複数の国でM2M機器によるモニタリングを行うこともある。

このような環境のもと、M2M無線モジュールは複数の無線システムに対応し、複数の周波数帯に対応した広帯域マルチバンドアンテナを備える必要がある。さらに、車両や産業機械にはアンテナ設置の場所とスペースに制限がある場合があり、従来よりも設置性に優れたアンテナが求められている。

また、車両や産業機械の利用形態によっては、M2M機器は必ずしも電波の強い場所で利用されるとは限らない。このため電波の弱い場所でも安定した通信を可能にする高利得なアンテナが求められる。

そこでドコモでは、携帯電話周波数帯とWi-Fi[®]^{*2}に対応したM2M機器向けフィルム型広帯域マルチバンドアンテナを開発した。本稿では、フィルム型広帯域マルチバンドアンテナのアンテナ構成と、ユースケースについて概説する。

(1)アンテナ構成

①アレーアンテナ

本稿で紹介するフィルムアンテナでは、マルチバンド化および高利得化を両立するためにアレーアンテナ^{*3}構造を採用している。図1に素子アンテナのイメージを示す。図1(a)は低域(800~900MHz帯)および高域(1,700~2,600MHz帯, Wi-Fi)を1素子で実現する広帯域型、図1(b)は広帯域型から低域(800~900MHz帯)用素子を省略したもので、高域を1素子で実現する高域型を示す。両者ともにダイポールアンテナ^{*4}をベースに素子設計を行っている。

通常の基地局アンテナの場合、配置するスペースが潤沢にあり、低域アレーと高域アレーを別々に配置するが、M2Mアンテナの場合スペースが限られることが多いため、図2のように低域アレーと高域アレーを重ねて配置することにより、省スペース化を図っている。一般的にアレーアンテナの素子同士の間隔は、素子数にもよるが0.5~0.9波長程度が目安とされている。また、素子間隔が0.8~0.9波長で指向性^{*5}利得が最大となり、それを超えるとグレーティングローブ^{*6}の影響で指向性利得が急激に低下する[1]。これら特性を考慮し、高域3素子アレーに対して低域2素子アレー、と周波数ごとに異なる素子数で構成している。この理由とし

*1 M2M：機器間の通信を意味する。人間の介在なしに機器同士がコミュニケーションして動作するシステム。

*2 Wi-Fi[®]：Wi-Fi Allianceの登録商標。

*3 アレーアンテナ：複数の素子を配列したアンテナのこと。

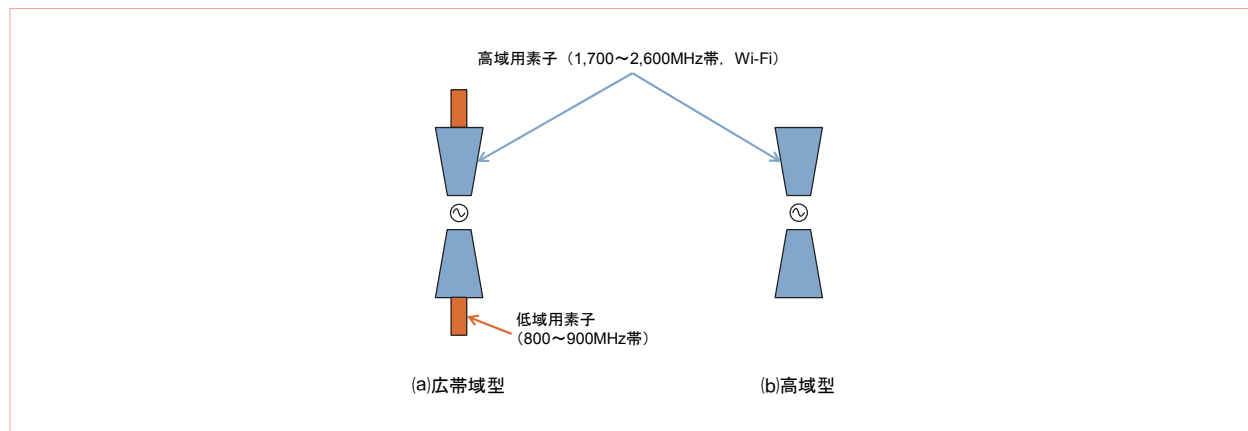


図1 素子アンテナ（イメージ）

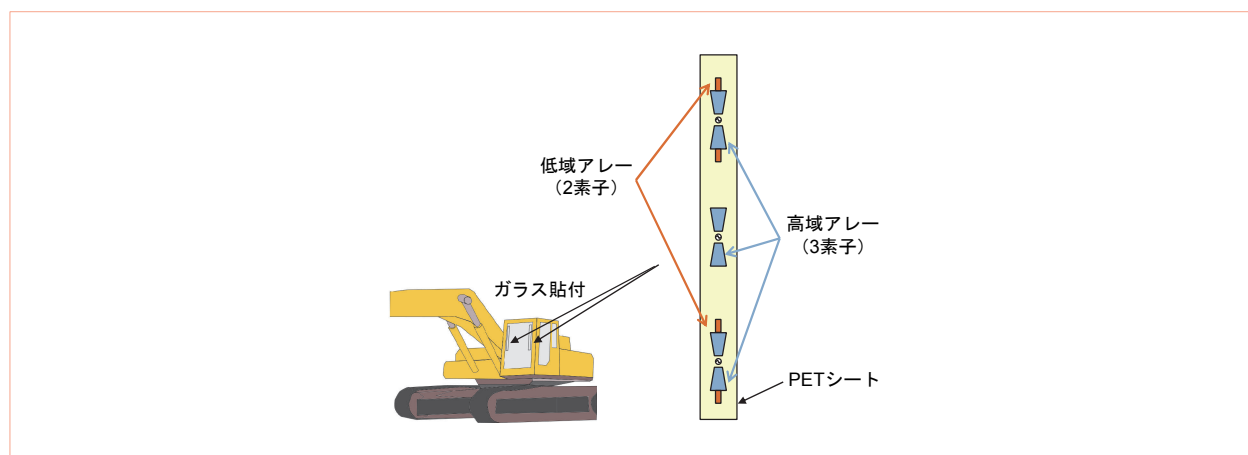


図2 フィルム型広帯域マルチバンドアンテナ

では、低域3素子アレーとした場合、低域の波長が長いので、波長で正規化した素子間隔は小さくなり、放射パターンが著しく劣化して利得が低下するからである。また、おのおのの素子間隔をあらかじめ最適化することにより、全帯域においてグレーティングローブを抑制しながら利得が最大化するように調整している。

②PET（PolyEthylene Terephthalate）シートの利用

本アンテナでは、車両のガラスへの貼付けを想定してアンテナを通常のプリント基板ではなく、0.1mmのPETシートを利用している。さらに、あらかじめガラスの誘電率を考慮して、素子サイズの最適化を行っている。

③3合成回路

高域と低域で異なる素子数であることから、アンテナの給電回路には、受信信号について、

高域3素子アレーには3合成回路、低域2素子アレーには2合成回路がそれぞれ必要である。今回、3合成回路の工夫により、低域にて2合成動作、高域にて3合成動作を実現した。具体的には、1つの出力端子に低域を阻止するフィルタを設け、高域のみの受信信号を伝達するようにした。残りの2つの出力端子は、低域と高域の受信信号をそのまま伝達する。これにより、単

- *4 ダイポールアンテナ：アンテナの中でもっとも簡易なもの。ケーブル（給電点）の先に2本の直線状の導線（エレメント）をつけたアンテナである。
- *5 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。
- *6 グレーティングローブ：等間隔に素子アンテナが配列されたリニアアレーの放射パターンは、素子間隔、素子数、ビーム走査量によって決定される。可視領域にあるものが実際の空間に放射され観測されるが、組合せによっては不可視領域にある所望方向の放射であるメインローブとは別の大きなローブ（ビーム）が可視領域に現れ、所望の方向の利得が減少することがある。これをグレーティングローブと呼ぶ。

一の3合成回路にて、高域と低域の受信信号を効率よく合成できる。3合成回路出力はM2M無線モジュールに接続される。なお合成回路は送信信号に対して分配回路として動作するため、送信と受信で同一の給電回路を利用できる。

(2)ユースケース

フィルムによるアンテナの薄さや透明度を活かし以下の応用例が考えられる。

・自動車などのガラス面

インフォテイメント^{*7}が徐々に浸透していくなか、移動中の車内でも助手席・後部座席で動画コンテンツを楽しむことが日常になると想定され、限られた車両スペースで視認性を保つことができる車両のガラス面への適用が考えられる。

・監視装置

路上などに設置された監視装置などは景観に配慮した工夫が施されているが、フィルムであれば、貼付け場所を工夫することにより、景観を損なわず遠隔監視が可能となる。

・その他

フィルムであれば、貼付け方法により盗難防

止などの対策も可能となることが想定される。

また、近年ではガラスを多用する建物などもあり、それらへの有効活用が見込める。

本稿では、携帯電話周波数帯とWi-Fiに対応した、フィルム型広帯域マルチバンドアンテナについて概説した。アレーアンテナ構造により、これまでにない高利得を実現し、また、PETシートの利用により設置性に優れ、ガラスへの貼付けを可能にするとともに、グローバルで利用されるM2M機器との安定した通信を可能とした。今後のグローバルM2M機器の利用拡大につながることが期待される。

文 献

- [1] 電子情報通信学会：“アンテナ工学ハンドブック（第2版）,” オーム社, pp.399-409, 2008.

^{*7} インフォテイメント：情報（インフォメーション）と娯楽（エンターテインメント）を融合したサービスで、例えば、車内での映像・音楽の鑑賞や、地図・渋滞情報の閲覧などを複合したサービスを指す。

Topics

ビジネスシーンにおける機械翻訳を使いやすくする Microsoft Office用翻訳アドイン

サービスイノベーション部 ^{しみず たかし} 清水 貴司 ^{ち ち わ} 千々和 ^{ゆうき} 祐貴 ^{お の たかや} 小野 隆哉

ドコモはこれまで、言語の壁を越えたコミュニケーションの実現のため、コンシューマ向け翻訳サービスとして、「はなして翻訳」「メール翻訳」「うつして翻訳」「Jspeak」「てがき翻訳」を提供している。また、訪日外国人の対応を支援する企業向け翻訳サービスとしては「はなして翻訳 for Biz」を提供している。これらはすべて日常生活または旅行のシーンで利用されることを想定したサービスである。

一方、企業のグローバル化が進み、母国語以外の言語で記載されたビジネス文書やメールをやり取りする機会は確実に増加している。

これらの文書の翻訳においては、多くの場合①翻訳者への翻訳依頼、もしくは②Web上の機械翻訳サービスが用いられる。

- ①は時間がかかり、金銭的成本も発生する。
- ②は時間的・金銭的成本は低いものの、大抵の場合、ブラウザよりファイルをアップロード、もしくは翻訳対象テキストをブラウザのテキストボックスにコピー＆ペーストする作業が発生する。文書作成アプリケーションとブラウザの2つを交互に操作するのは、手間のかかる作業といえる。

また、ビジネスシーンにおける文書には、以下のような特徴がある。

- (a)申請書やスライドなど、文章だけではなくレイアウトが意味をもつ場合がある。
- (b)メールの作成にあたって、文章の追加修正などが頻繁に行われる場合がある。
- (c)業種、職種が多岐にわたり、それぞれに適した文体、訳語が必要になる場合がある。

そのため、ビジネスシーンにおける機械翻訳には、(a)レイアウトに影響を及ぼさないこと、(b)文章の作成を補助する機能、(c)業種・職種に合わせた優れた翻訳精度^{*1}が求められる。

こうした状況を踏まえ、ドコモは母国語以外の言語で記載されたビジネス文書やメールの機械翻訳を使いやすくすべく、これらの作成に広く利用されているMicrosoft® Office®^{*2}用のアドイン^{*3}を株式会社みらい翻訳と共同で検討した。本アドインは、みらい翻訳にて開発、販売を行っている [1]。

アドインと機械翻訳の組合せによって、Microsoft Officeのアプリケーションの中で翻訳に必要な操作を完結し、翻訳結果が得られるまでの時間を短縮させることが可能となる。

本稿では、開発したアドインの機能と翻訳精度向上のための改善方法について解説する。

(1)アドインの機能

Microsoft® PowerPoint®^{*4}へアドインを導入したイメージを図1に示す。

^{*1} 翻訳精度：本稿では、翻訳内容の伝達度合、翻訳文の流暢さ、翻訳適用分野への適応具合（文調や、専門用語への対応具合など）を総合して「翻訳精度」としている。

^{*2} Microsoft® Office®：米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標。

アドインを導入すると、図1のようにリボン部に「みらい翻訳」と記されたタブと、翻訳に必要な各種ボタン類が追加される。ここから翻訳する原文の言語（原語）と翻訳先の言語（訳語）、後述する翻訳モデルを指定する。

言語と翻訳モデルの指定が完了したら、文書全体、選択しているページのみ、選択している文章のみの3パターンから翻訳対象を指定する。文書全体、および選択ページのみの翻訳では、翻訳結果は原語とは別ファイルに出力される。

本アドインによる翻訳処理の流れを図2に示す。翻訳対象を指定すると、処理が開始される（図2①）。

アドインは文書の中からテキスト部分を抽出し、翻訳サーバへ送信する（図2②）。翻訳サーバでは、指定された言語、翻訳モデルにて翻訳を行い（図2③）、翻訳結果をアドインへ返信する（図2④）。翻訳結果を受け取ったアドインは、翻訳結果を元のテキストと差し替える（図2⑤）。このような処理を行うことで、レイアウトが複雑な文書や太字などの書式も元のまま、翻訳を行うことが可能である。なお、選択

*3 アドイン：既存のソフトウェアへ機能を追加するためのプログラムのこと。

*4 Microsoft® PowerPoint®：米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標。



図1 アドイン導入イメージ

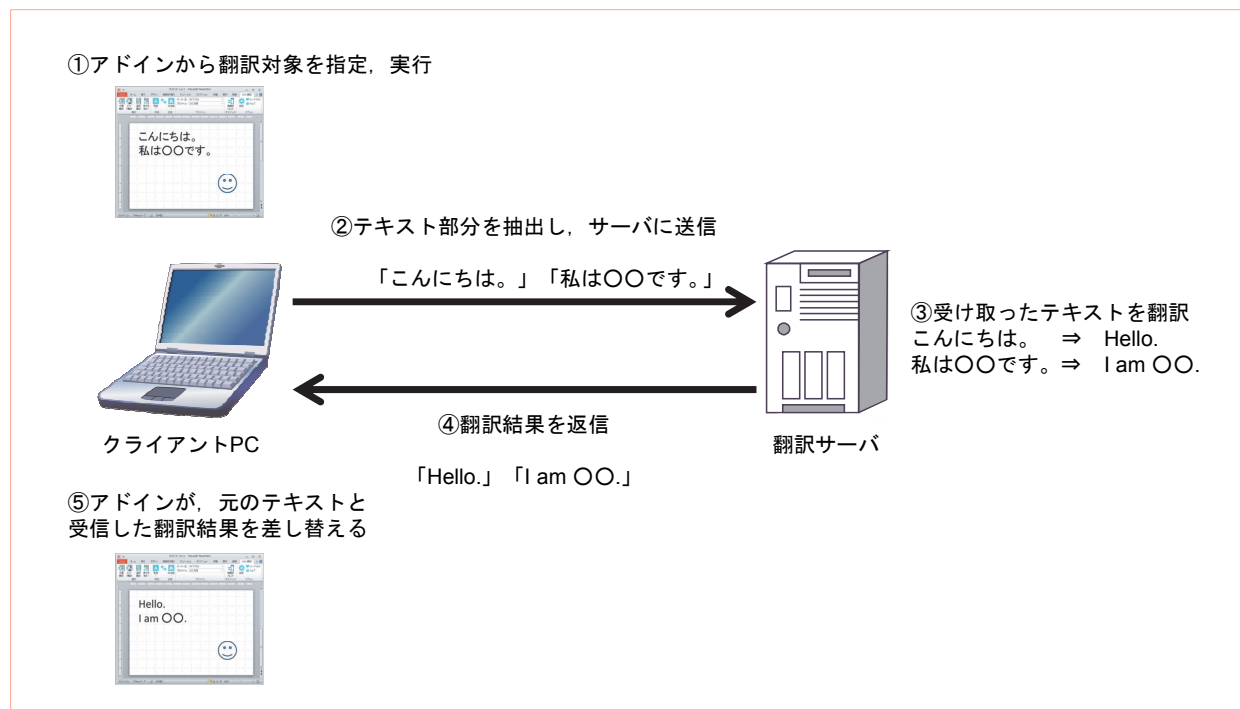


図2 翻訳処理の流れ

している文章のみを翻訳対象とする場合には、元のテキストを残すこともできる。

また、文章作成時の補助機能も備えており、メール（Microsoft® Outlook®^{*5}）では、入力した文章を機械翻訳するだけでなく、あらかじめアドインに登録している類似文を例文としてリスト表示することができる。リストの中に利用したい表現があれば、その例文を選択することで、機械翻訳することなく、作文を行うことが可能である（図3）。

(2)翻訳精度の向上

本アドインはビジネス文書とメールが対象のため、その点に特化した改善を行った。

- ①1つは前述した翻訳モデルの活用である。翻訳モデルとは、単語の並びと訳語の組合せに確率を付与したものであり、文章のタイプに応じて調整されている。たとえば、特許文書のような独特な表現を用いる文書では、それに対応した翻訳モデルを選択することで、汎用のものに比べて翻訳精度を高めることができる。また、各企業で保有する対訳文や本アドインの利用ログを用い、さらにその企業に適した翻訳モデルにチューニングすることも可能である。

- ②もう1つは、商品やサービス名、業界特有の用語などを登録する辞書と、決まった言回しがある場合に登録する定型文の活用である。これら登録される用語等は企業や業界に特有のものも多く、未知語^{*6}あるいは誤訳のもとになる可能性があるため、辞書や定型文へ登録することに

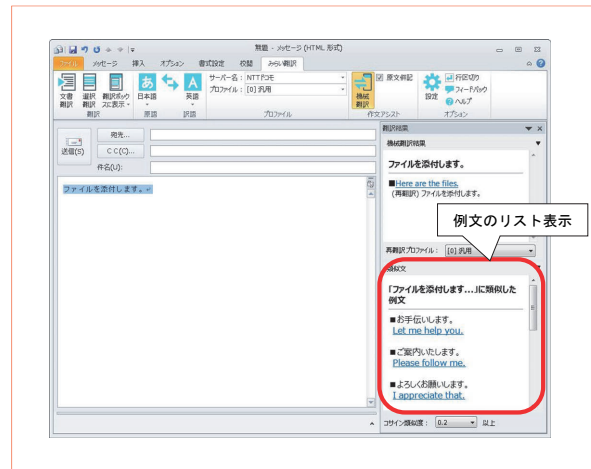


図3 Outlookにおける文章作成補助機能

より、改善を図る。

本稿では、ビジネス文書やメールを対象とした、Microsoft Office用のアドインの機能、翻訳精度の向上について解説した。今後もさらなる利便性向上と翻訳精度の向上に取り組んでいく。

文 献

- [1] みらい翻訳：“製品紹介 | みらい翻訳 | イノベーティブな機械翻訳.”
<https://miraitranslate.com/products/office>

*5 Microsoft® Outlook®：米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標。

*6 未知語：翻訳モデルや辞書に含まれない単語、特に固有名詞などを指す。

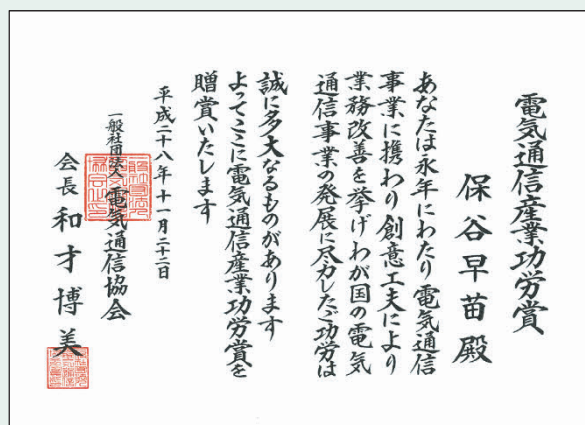
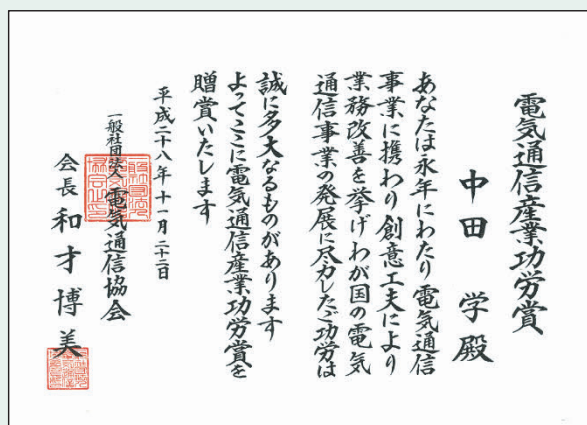
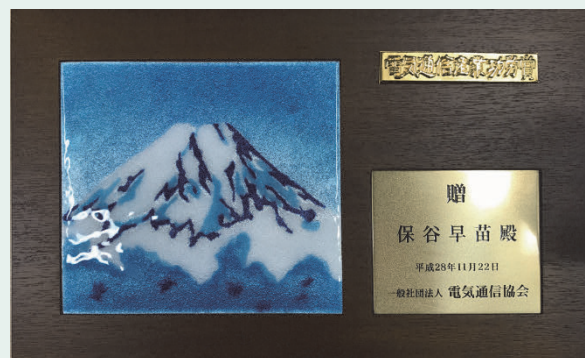
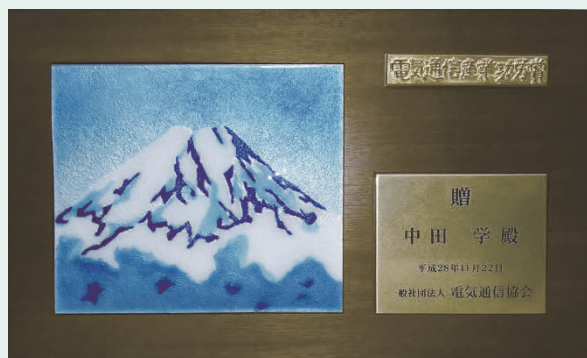
第49回「電気通信産業功労賞」受賞

2016年11月22日に開催された第49回電気通信産業功労賞贈賞式において、ドコモ・テクノロジー株式会社 中田 学氏が「PDC端末向けブースタの実用化やスマートフォン向けログ収集機能を導入した功績」により、移動機開発部 保谷 早苗氏が「MPEG-4の標準化やiモーションの実用化を主導した功績」によりそれぞれ電気通信産業功労賞を受賞しました。同賞は、電気通信技術の普及・啓発活動などに取り組む一般社団法人電気通信協会（昭和13年設立）が表彰しているもので、電気通信事業またはこれに関連する事業に従事し、創意工夫により業務改善をあげ、あるいは機器の開発・改良により、事業の発展に貢献された方の功績を顕彰するものです。

「PDC端末向けブースタの実用化やスマートフォン向けログ収集機能を導入した功績」については、

基地局装置におけるPDC（Personal Digital Cellular）端末向けブースタの実用化やPDC・FOMA端末の企画・開発を行い、2G・3Gサービスの円滑な導入に大きく貢献したこと、また、スマートフォン向け基盤アプリケーションとしてログ収集機能を導入し、移動端末の商用不具合の早期検出と解析を可能としたことが評価されて受賞となりました。

「MPEG-4の標準化やiモーションの実用化を主導した功績」については、MPEG-4（Moving Picture Experts Group phase 4）音響に関する研究開発に携わり、MPEG-4オーディオ符号化誤り耐性技術の標準化に大きく貢献したこと、また、FOMA端末での動画配信サービスiモーションの実用化を主導し、2001年11月のサービス提供に大きく貢献したことが評価されて受賞となりました。



NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.25 No.1

平成29年 4 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
TEL. 03-5156-1749

発行 一般社団法人 電気通信協会
〒163-1455
東京都新宿区西新宿 3-20-2
東京オペラシティタワー13階
(東京オペラシティ郵便局私書箱2522号)
TEL. 03-5353-0184

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会社名，商品名は，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。

© 2017 NTT DOCOMO, INC.