2021年7月　年4回季刊発行

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.29 No.2 | Jul. 2021

DOCOMO Today

- 5G時代のAIサービスの進化

Technology Reports（特集）

5G evolution & 6G特集（1）

- 5G evolution & 6Gへの動向と目指す世界
- 5G evolution & 6Gに向けた透明RIS技術の研究
- 5G evolution & 6Gに向けたNTN技術の研究
- 5Gの高度化に向けたミリ波帯基地局連携技術による高速移動環境での通信性能向上

Technology Reports

- アジャイルアプリ開発体制の効率的なリモートワーク環境への移行事例
- UWB測距技術を用いたおサイフケータイのタッチレス機能実用化検討

NTT docomo

5G時代のAIサービスの進化

サービスイノベーション部　部長
太田 賢（おおた けん）

第5世代移動通信システム（5G）の時代が始まり，高速大容量・低遅延のネットワークを基盤として，AIやクラウドを活用したデジタルトランスフォーメーション*1が世界中で進んでいます．IDC（International Data Corporation）の世界AI市場に関する調査では，AI関連ソフトウェア，サービスなどの総売上高が，2021年の3725億ドル（約35兆556億円）から，2024年には5543億ドル（約59兆3323億円）へと大きく成長することを見込んでいます［1］．一方，国内市場に目を向けると，富士キメラ総研の調査では，2020年度の1兆1084億円から，2025年度には1兆9357億円へと約2倍弱に拡大すると予測しています［2］．AIへの期待感で漠然と導入を検討するフェーズから，ベンダ側のノウハウ蓄積やソリューション化と合わせて，具体的な業務課題の解決に向けた実証実験および本格導入が拡大するフェーズへと進んでいく流れです．

現在のAIソフトウェアは，機械学習，画像認識，自然対話が主な機能として提供されており，ビジネスプロセスの最適化，需要予測，レコメンドやパーソナライゼーションによる顧客体験の向上など，さまざまな用途に活用されています．

ドコモでのAI活用事例として，画像認識AIの「ドコモ画像認識プラットフォーム」と自然対話AIの「AI電話サービス」の2つを紹介します．

「ドコモ画像認識プラットフォーム」は，画像認識の学習モデル作成とAPIを，クラウドサービスとして提供しており，開発者は開発・運用コストを抑えて，画像認識エンジンを簡単，迅速に開発できます．ドコモ網とクラウドを直結した経路を利用して低遅延，高セキュリティが要求されるソリューションにも対応可能です［3］．

「AI電話サービス」は，予約や問合せ，会社の代表電話など従来の電話応対業務をAIが代行するものです．クラウドを利用するため，コールセンターをもたない自治体や小売店・飲食店などでも利用が可能で，高齢者の見守りにも活用できます［4］．

この2つの事例とも，ドコモの研究開発部門と法人部門で組織横断のチームを構成し，法人のお客様の課題解決を図る「トップガン」の取組みによって創出されています．AIを実用化する上ではお客様との対話や実証実験を通じて，現場にどんな機能，精度が必要なのかを見極め，一緒に創り上げていく協創プロセスが不可欠です．また，技術の磨き込み，さまざまなパートナーとの交流も重要であり，ドコモ研究開発部門の若手を中心に，Incrementsが運営するエンジニアリング関連の知識を記録・共有できるサービス「Qiita」で技術情報の発信もしています［5］．

今後，AIはさらに社会に浸透し，金融，まちづくり，交通，エンターテインメント，教育，スポーツ，エネルギーなどさまざまな業界や，社会の課題解決に貢献することが期待されています．ドコモ研究開発部門は，AIの先進技術の開発とお客様との協創を通じてAIサービスを進化させ，新たな価値創出に貢献してまいります．

文　献

［1］ IDC：“IDC Forecasts Improved Growth for Global AI Market in 2021,” Feb. 2021.
https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47482321

［2］ 富士キメラ総研：“『2020 人工知能ビジネス総調査』まとまる，” Oct. 2021.
https://www.fcr.co.jp/pr/20107.htm

［3］ NTTドコモ報道発表資料：“（お知らせ）「ドコモ画像認識プラットフォーム」の機能を拡充―国内トップクラスの豊富なエンジンと支援機能で，幅広い課題を解決―，” Feb. 2021.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2021/02/24_00.html

［4］ NTTドコモ報道発表資料：“（お知らせ）AIが電話応対業務を代行する「AI電話サービス」の提供を開始―コールセンターの電話応対業務を自動化，コロナ禍での出社制限や高齢者の見守りにも活用―” Dec. 2020.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2020/12/10_00.html

［5］ NTTドコモ：“NTTドコモR&D - Qiita.”
https://qiita.com/organizations/nttdocomo-tech

*1 デジタルトランスフォーメーション：IT技術を活用してサービスやビジネスモデルを変革させ，事業を促進するとともに人々の生活をあらゆる面で良い方向に変化させること．

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

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル
Technical Journal
Vol.29 No.2 Jul. 2021

[Contents]

DOCOMO Today

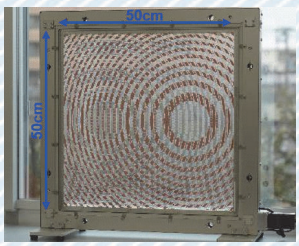
5G時代のAIサービスの進化　太田 賢　1

特別寄稿

移動通信の夢　―究極の電話―　今井 哲朗　4

Technology Reports（特集）

5G evolution & 6G特集(1)



(P.15)

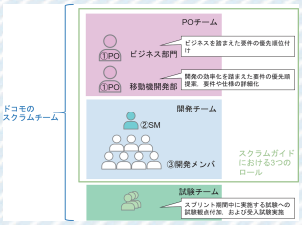
5G evolution & 6Gへの動向と目指す世界　6
5G evolution & 6G　要求条件　無線技術

5G evolution & 6Gに向けた透明RIS技術の研究　15
5G evolution & 6G　ミリ波　メタサーフェス

(P.24)

5G evolution & 6Gに向けたNTN技術の研究　24
NTN　HAPS　超カバレッジ拡張

5Gの高度化に向けたミリ波帯基地局連携技術による
高速移動環境での通信性能向上　36
デジタルビームフォーミング　基地局連携　屋外伝送実験



(P.44)

Technology Reports

アジャイルアプリ開発体制の効率的なリモートワーク環境への移行事例 44

アジャイル　リモートワーク　アプリ開発

UWB測距技術を用いたおサイフケータイのタッチレス機能実用化検討 56

UWB　測距技術　おサイフケータイ

(P.64)

(P.66)

News

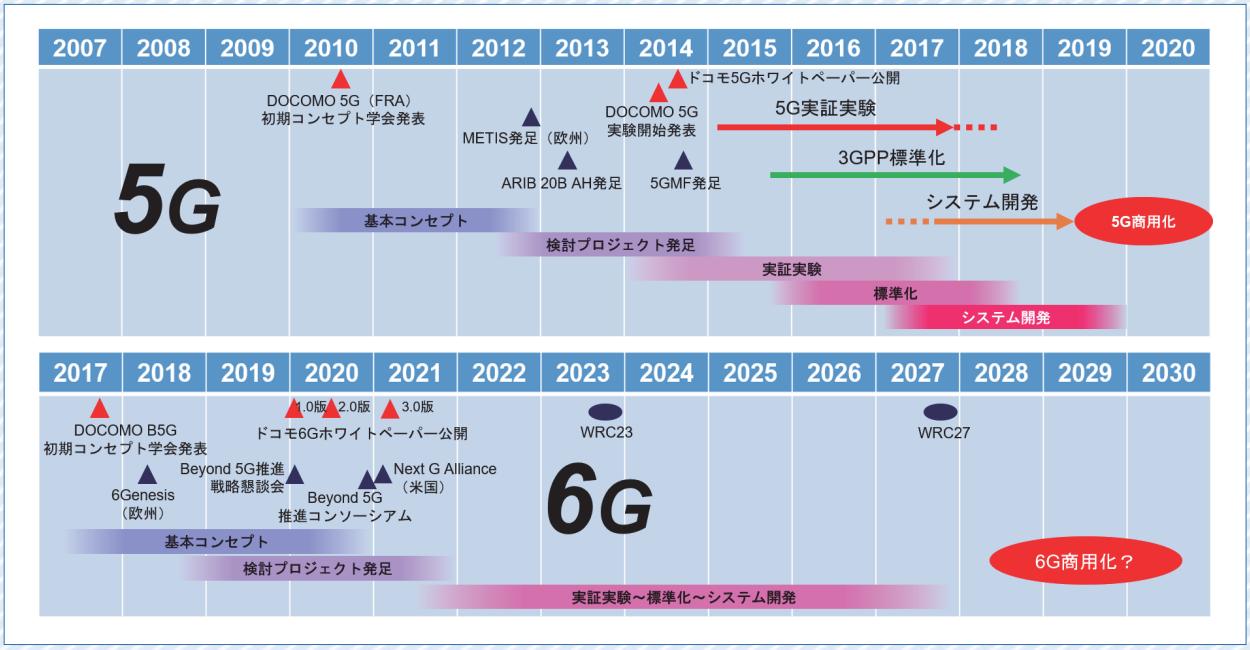
第66回「前島密賞」受賞 63

令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
「科学技術賞（開発部門）」受賞 64

NTTが第10回「Clarivate Top 100 Global Innovator 2021」を受賞 65

「みまもり電話」がさまざまな賞を受賞 66

第36回電気通信普及財団賞「テレコムシステム技術賞」受賞 68



Technology Reports（特集） 5G evolution & 6Gへの動向と目指す世界（P.6）
5G開発経緯と6G関連スケジュール

特別寄稿

移動通信の夢　―究極の電話―

東京電機大学　工学部　情報通信工学科　教授　今井（いまい）　哲朗（てつろう）さん

「移動通信の夢　―究極の電話―」は，もともと1960年に米国AT＆Tベル研究所の初代所長Frank B. Jewett氏がBell Laboratories Record誌に寄せた記事のタイトルで，その内容は「人間が生まれると，腕時計大の電話機とその人固有の番号が与えられる．彼はそれで，自由に世界のどこの人とも話ができる．もし，ある人の応答がなければ，その人はもうこの世にいないことを知る」というものでした．それから半世紀以上が経った現在，Frank B. Jewett氏の夢は現実のものとなっています．ドラマからは惹かれあう男女が出会えない“すれ違い”による悲劇のストーリーは影を潜め，また日常で携帯電話がつながらないと不安になるのは，私だけでは無いと思います．私がこの記事を知るきっかけになったのは，奥村善久先生（元日本電信電話公社電気通信研究所移動無線研究室長，現金沢工業大学名誉教授）の2013年チャールズ・スターク・ドレイパー賞記念講演においてでした．先生は「世界初の自動車携帯（セルラー）電話ネットワーク，システムおよび標準規格に対する先駆的貢献」により本賞を受賞され，記念講演の中で，Frank B. Jewett氏の言葉が移動通信システムの開発に取り組むきっかけになったと述べられていました．なお，先生の移動通信システムへの取組みについては文献［1］に詳しく記載されています．

私の電波伝搬への研究の原点を振り返ると，子ども時代だった1970年代にさかのぼります．当時の子どもたちの欲しいものはトランシーバーやラジコンカーであり，無線で会話したり物を動かしたりすることに不思議と憧れを抱いていた時代だったと思います．当時小学生だった私もご多分に漏れず，トランシーバーやラジコンカーのおもちゃを買ってもらいました．これらを手に入れてまず試したことは，どの距離まで会話もしくは制御ができるかを確認することでした．見通しがあれば，トランシーバーによって100mくらいは会話ができたと思います．またトランシーバーでは，20mくらいでも少し路地に入ると会話ができなくなること，しかしその時でも相手が2階のベランダに移るとふたたび会話ができるようになることも確認しました．当時の私の興味はここまででしたので，なぜこれを夏休みの自由研究の課題として深く探究しなかったのか，いまさらながら残念に思います．私と電波伝搬については，同じころにもう一度ニアミスがあります．家にあったラジカセをカゴに載せて自転車を走らせていた時の話です．ふと自転車に乗りながらラジオを聞こうと思い電源を入れたところ，止まっているときには音声が聞こえるのに，走らせると雑音が大きくなって聞こえなくなる，という現象に気付きました．この時も深く探究はしませんでしたが，その後，ずっと私の頭の片隅には残っていました．今考えれば，これはフェージング[*1]による影響だったと思います．

1980年代になると，私の欲しいものはウォークマンやステレオコンポ，ビデオデッキへと移り，無線機器と触れ合うことはなくなりました．ふたたび無線に興味をもつようになったのは，1987年に大ヒットした映画「私をスキーに連れてって」を観てからとなります．この映画ではアマチュア無線がさまざまな場面で活躍します．その影響から，スキー場のゲレンデでは小電力トランシーバー（免許不要）で連絡を取り合う風景が多く見られるようになりました．無線のパーソナル化の兆しが見えていたといったところでしょうか．

私が本格的に無線通信にかかわるようになるのは，1991年にNTT無線システム研究所に入所し，移動通信の部署に配属されてからとなります．この年はドコモが分社する前年であり，第2世代移動通信システム（2G）がサービスされる2年前となります．担当した業務がストリートマイクロセル[*2]設計法の検討であり，低位置の基地局アンテナからの電波の伝搬特性を明確化することから着手しました．以降，電波伝搬とセル設計が私の専門分野となり，小学生の頃に探った「電波はどこまで届くのか，受信レベルはどのように変動するのか」といった特性を，通信環境や周波数を変えながら研究することになります．

Profile

1991年東北大学工学部電気工学科卒．同年NTT無線システム研究所入所．1992年分社化によりNTT移動通信網（現NTTドコモ）へ転籍．2002年東北大学大学院工学研究科博士課程終了．博士（工学）．2019年東京電機大学教授．現在に至る．主に移動通信における電波伝搬と無線回線設計法の研究に従事．電子情報通信学会業績賞，論文賞，通信ソサイエティBest Tutorial Paper Awardなどを受賞．

それではここで，2Gからのシステムについて，携帯電話の進化を中心に見ていきたいと思います．

2G（1993～2012年）の時代では，第1世代移動通信システム（1G）と同様に“いつでも，どこでも，誰とでも”のスローガンの下，通信エリアが屋外から屋内へと広がりました．iモードにより携帯電話がインターネットに接続され，メールの送受ができるようになったのもこの時代からとなります．

次の第3世代移動通信システム（3G）（2001年～）と第4世代移動通信システム（4G）（2010年～）の時代は“どんな情報でも”がスローガンであり，伝送速度の高速化が図られました．

まず3Gの時代では，携帯電話にカメラ機能が付いたことで，ユーザは画像データを頻繁にやりとりするようになりました．また，「おサイフケータイ」と呼ばれるFeliCa®＊3チップ搭載の携帯電話も出てきて，ユーザは携帯電話さえ持っていれば，現金を使わずに移動や買い物ができるようになりました．そういえば，携帯電話で地上デジタルテレビ放送（ワンセグ）も視聴できました．このころの携帯電話はガラケーと揶揄されましたが，とてもすばらしいものだったと思います．また，個人的に特に印象に残っているのは，2006年にHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）＊4サービスが始まり，テザリングにより遠隔のPCへリモートアクセスすることがスムーズになったことです．出張先での仕事の仕方がガラリと変わりました．

続いて，4Gの時代になると通信速度はより高速になり，ちょうど同時期に普及し始めたスマートフォンとの相性も良かったことから，動画配信サービスのストリーミングやオンライン会議などの動画データの通信が普及しました．また，当初はイヤホンマイクを使って手ぶらで会話（電話）をしている人を見ると違和感を覚えましたが，今ではそれも一般的な風景となっています．

さて，2020年から第5世代移動通信システム（5G）のサービスが始まり，研究開発の現場ではすでにBeyond5G & 6Gが検討されています．ドコモのホワイトペーパー［2］［3］にあるように，5G以降は“どんなモノとでも，どんなコトでも”といった時代になると想定されています．新サービスはもちろんのこと，それに伴って携帯電話／携帯端末がどのように変わっていくのか楽しみです．テレビアニメ「電脳コイル」のように，子どもたちがスマートグラスを付けて遊びまわっている世界も，すぐそこまで来ているように思います．それではその先は…．

1960年にFrank B. Jewett氏の夢見た究極の電話が現実になるのに，30年ほどかかりました．今，皆さん1人ひとりが夢見ている究極の電話はどのようなもので，いつごろ実現するでしょうか．少しのあいだスマートフォンから目を離して，30年後の未来に思いを馳せるのも良いと思います．

文　献

［1］ 奥村 幸彦：“開発物語　移動電波伝搬「奥村カーブ」の確立と世界初商用セルラ電話の誕生に向けて，”電子情報通信学会　通信ソサイエティマガジン，No.29，夏号，2014.

［2］ NTTドコモ：“ドコモ5Gホワイトペーパー．”
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_5g/index.html

［3］ 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

＊1 フェージング：無線通信において，伝搬経路の異なる複数の電波が到達し，それらの干渉により振幅や位相が変化する現象．

＊2 ストリートマイクロセル：周辺建物より低い位置に基地局アンテナを立て，道路に沿って数十メートルから百メートル程度の範囲をカバーするセル．

＊3 FeliCa®：ソニー㈱が開発した非接触型ICカード技術方式．同社の登録商標．

＊4 HSDPA：W-CDMA方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式．

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

Technology Reports（特集）　5G evolution & 6G　要求条件　無線技術
5G evolution & 6G特集(1)

5G evolution & 6Gへの動向と目指す世界

6G-IOWN推進部　岸山 祥久　須山 聡
永田 聡

日本国内では，2020年3月に5Gの商用サービスが開始されたところであるが，世界中では次世代の移動通信システムである「6G」および，2030年代の情報通信技術に関する検討の機運が高まっている．本稿では，6Gの研究開発に関する国内外動向やスケジュール展望，および，「ドコモ6Gホワイトペーパー」で提案した5G evolution & 6Gのコンセプトについて概説する．

1. まえがき

移動通信システムは，これまで約10年ごとに新世代の方式へと進化しつつ発展してきた．第1世代移動通信システム（1G）から第2世代移動通信システム（2G）にかけて（1980～90年代）は，音声通話がメインで簡単なメールができる程度であったが，2000年代の第3世代移動通信システム（3G）から写真，音楽，動画などのマルチメディア情報を誰でも通信できる時代になり，2010年からサービスが開始された第4世代移動通信システム（4G）では，LTE（Long Term Evolution）方式による100Mbpsを超える無線通信技術がスマートフォンの爆発的な普及を支えた．そして，第5世代移動通信システム（5G）による商用サービスが，国内では2020年3月から提供され，最大通信速度は4Gbpsを超えるところまできた．

5Gには，高速・大容量，低遅延，多数端末同時接続といった技術的特長があり，4Gまでのマルチメディア通信サービスをさらに高度化することに加え，人工知能（AI：Artificial Intelligence）やIoT（Internet of Things）とともに，これからの産業や社会を支える基盤技術として新たな価値を創出することが期待されている．特に，5GとAI技術の組合せは，実世界をサイバー空間上に再現し，そこから「未来予測」や「新たな知」を獲得するサイバー・

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

フィジカル融合*1を高度化することで，さまざまな産業分野において新規サービスやソリューションの創出に繋がると期待されている．このような動向は，2030年代まで継続すると考えられ，今後の5G高度化（5G evolution）および，第6世代移動通信システム（6G）が2030年代の産業や社会を支える基盤技術となるよう，研究開発を推進する必要がある．本稿では，6Gに関する国内外動向や予想されるスケジュール，および，「ドコモ6Gホワイトペーパー［1］」で提案した5G evolution & 6Gのコンセプトを概説する．

2. 6G関連動向とスケジュール

5Gの開発経緯と6G関連スケジュールを**図1**に示す．ドコモでは，4GのLTEサービスが始まった2010年より，2020年ごろの実現をめざして5Gに向けての検討を開始した．2014年には5Gホワイトペーパーを公開し，世界主要ベンダとの協力による5G実証実験についても開始を発表した．5Gの国際標準化については，3GPP（3rd Generation Partnership Project）*2における議論が2015年ごろから開始され，5G最初の国際標準規格であるRelease 15仕様を基に，海外では2019年に5Gの商用サービスが開始された［2］．

これに対し，2030年代に向けた6G議論の立ち上がりは，5Gに比較すると世界的に早い傾向がある．これは，5Gにおける世界的な開発競争の影響によるものと考えられる．5Gでは，2020年の8年前にあたる2012年ごろから，徐々に国内外での検討プロジェクトが立ち上がっていった．一方，6Gの議論はフィンランドのOulu大学を中心とする「6Genesisプロジェクト」のように，2030年の12年前にあたる2018年ごろから動きが生じており，2019年には米国で

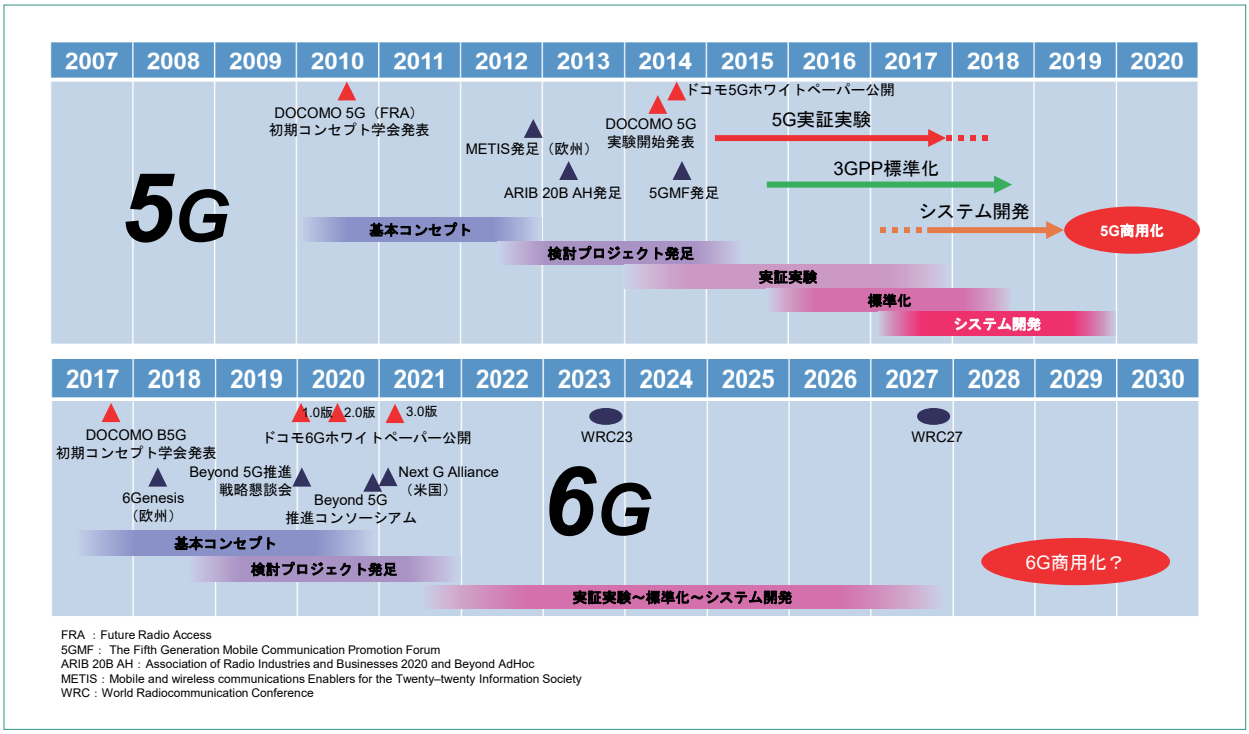


図1　5G開発経緯と6G関連スケジュール

*1　サイバー・フィジカル融合：現実空間（フィジカル空間）の情報をさまざまなセンサなどから収集し，仮想空間（サイバー空間）と結びつけることで，より良い高度な社会を実現するためのサービスやシステムのこと．

*2　3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体．

も，当時のトランプ大統領が自身のツイッターで6Gへの取組みを強化する旨を表明，FCC（Federal Communications Commission）[*3]がテラヘルツ波[*4]を研究用途に開放する旨を公表するなど，**図2**にも示すように世界的に早期から動きがみられた［3］．日本でも，総務省が2020年1月より，Beyond 5G[*5]に関する総合戦略の策定に向けた「Beyond 5G推進戦略懇談会」を立ち上げ，2030年代の社会において通信インフラに期待される事項や，その実現に向けた政策の方向性などに関するロードマップを公表した［4］．さらに，2020年12月には，6Gに向けた産学官の連携を強力かつ積極的に推進するため，「Beyond 5G推進コンソーシアム」が設立された［5］．

ドコモでは，2017年ごろからBeyond 5Gに関する検討を開始しており［6］，2020年1月には，「ドコモ6Gホワイトペーパー」の初版を公開し，現在3.0版までアップデートを行っている［1］．さらに，図2に示すとおり，国内外の研究機関や主要ベンダもBeyond 5Gや6G関連のホワイトペーパーなどを続々と発表しており，まさにホワイトペーパーラッシュともいえる状況である．このように，5G検討の立上げ時に比較すると，6Gに向けては世界的により積極的な動向が伺える．

今後は，2030年までの6G実現に向けた，実証実験や国際標準化が進められていくものと想定される．5G evolution & 6Gで想定される3GPPでの標準化スケジュールを**図3**に示す．

3. 5G evolution & 6Gで目指す世界

以下では，「ドコモ6Gホワイトペーパー」で提案した5G evolution & 6Gのコンセプトについて解説する．

5G evolutionを経て6Gで実現を目指す6つの要求条件を**図4**に示す．これらは5Gの性能をさらに高め

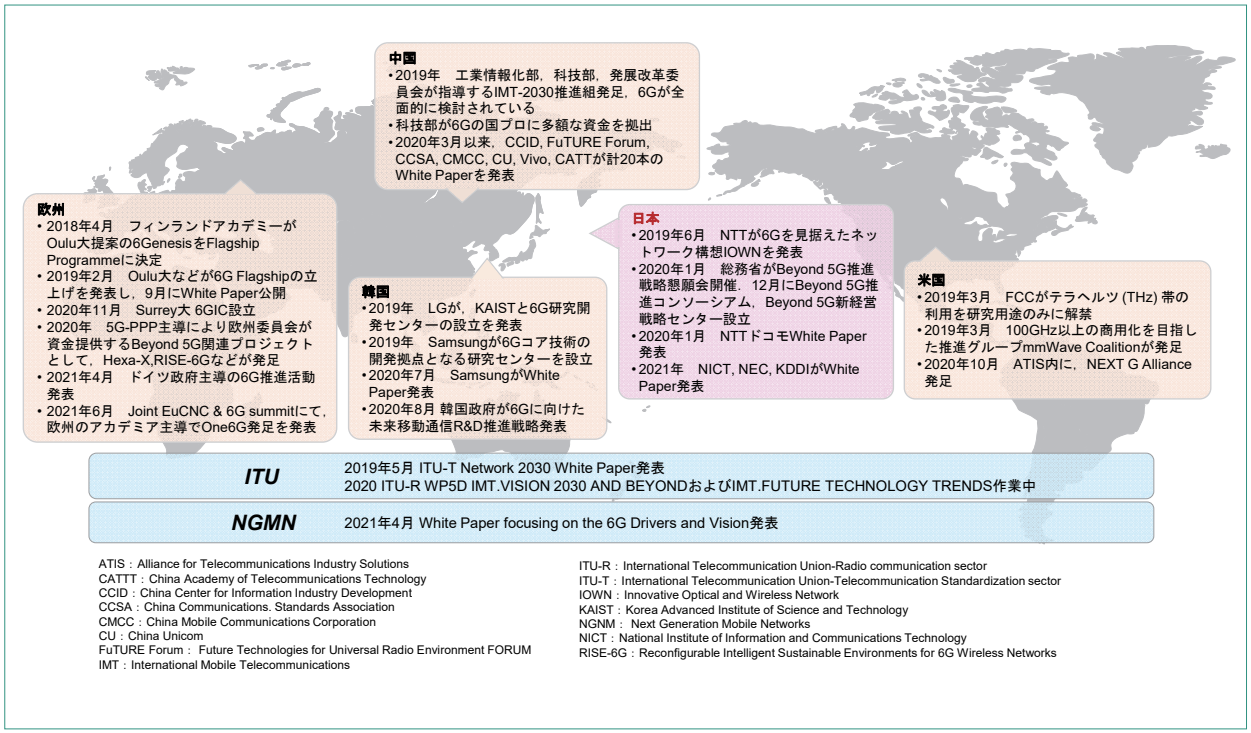


図2　Beyond 5G & 6Gに向けた世界動向

＊3　FCC：アメリカにおける連邦通信委員会．テレビ・ラジオ・電報・電話などの事業の許認可権限をもつ．

＊4　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．

＊5　Beyond 5G：5G以降の無線通信システムを表す用語として広く用いられており，「6G」とほぼ同義である．

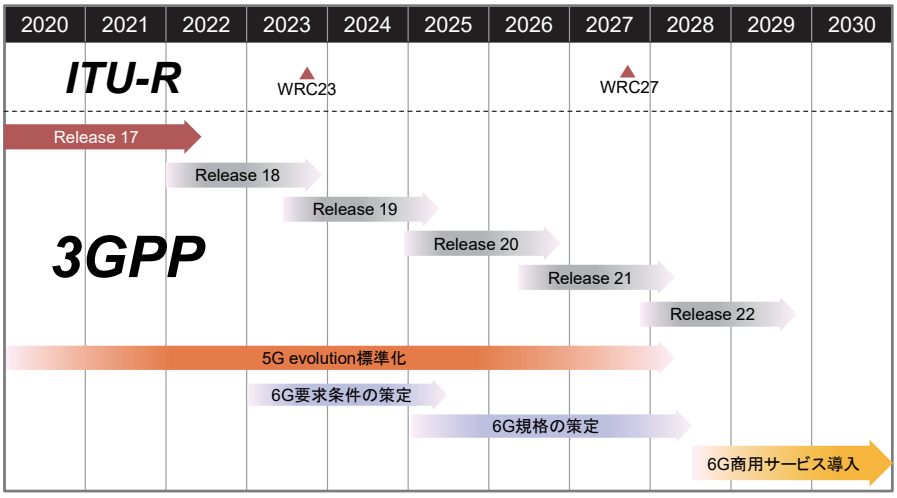


図3　5G evolution＆6Gで想定される標準化スケジュール

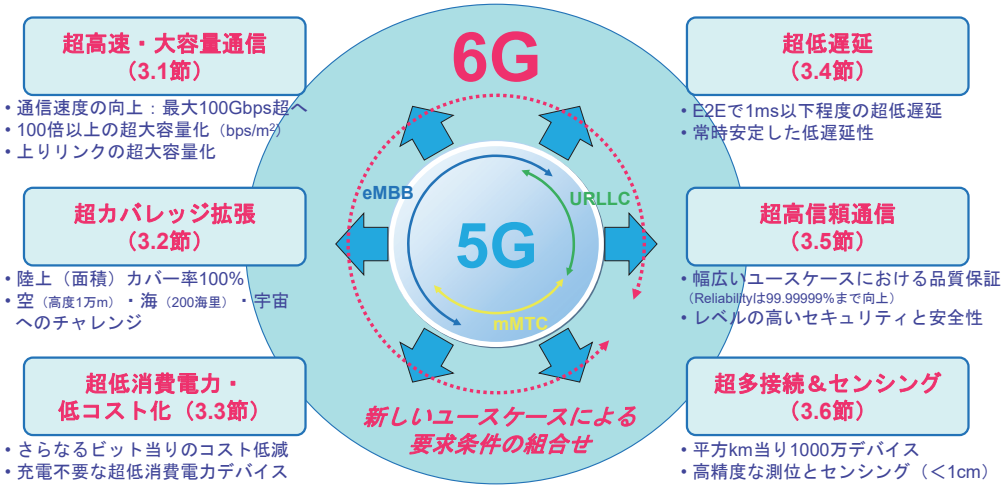


図4　6Gで目指す要求条件

た要求条件を含むとともに，5Gまでにはない新領域への挑戦も加わり，より多岐に広がるものと想定される．以下，各々について期待されるユースケースを交えつつ概説する．

3.1　超高速・大容量通信

通信速度の高速化および通信システムの大容量化は，移動通信システム全世代にわたる普遍的な要求条件である．6Gでは，究極に速い通信速度および，

多数のユーザがそれを同時に享受可能な超大容量通信の実現が考えられ，具体的には100Gbpsを超える通信速度および100倍以上の超大容量化の実現を目指す．通信速度が人間の脳の情報処理速度のレベルに近づくことで，単なる映像伝送（視覚・聴覚）だけではなく，現実の五感による体感品質の情報伝送，さらには，雰囲気や安心感などの感覚も含めた「多感通信」のような拡張の実現も考えられる．このような，従来にはない超高速・大容量通信のサービスを具現化するには，ユーザインタフェースも「スマートフォン」を超える必要がある．例えば，3Dホログラムの再生を実現するデバイスや，メガネ型端末のようなウェアラブルな端末の進化が期待される．さらに，このような新体感サービスは超大容量通信によって，複数ユーザ間でもリアルタイムに共有され，サイバー空間上での共体感や協調作業など，新たなシンクロ型アプリケーションの実現も期待される．

また，産業向けユースケースやサイバー・フィジカル融合などのトレンドを考慮すると，さまざまな実世界のリアルタイム情報をネットワーク上の「頭脳」であるクラウドやAIに伝送する必要があるため，上りリンク*6における大幅な高速・大容量化が特に重要である．

3.2 超カバレッジ拡張

将来の通信は空気と同様，あって当り前のものとなり，かつ電力や水と同様，もしくはそれ以上に重要なライフラインとなり得るため，6Gでは，あらゆる場所で移動通信サービスが享受可能になるようサービスエリアを究極にまで拡大することを目指す．世界の陸上面積カバー率は100％を目標とし，それ以外の環境での通信エリアの構築や宇宙ビジネスの発展を見据え，現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などを含むあらゆる場所へのカバレッジ拡張も目指す．これによって，さらなる人・物の活動環境の拡大と，それによる新規産業の創出にも期待できる．例えば，ドローン宅配のような物流のユースケースや，農業・林業・水産業といった第1次産業における無人化や高度化のユースケースが有望である．また，将来的には空飛ぶ車や宇宙旅行，海中旅行など，2030年代の未来的ユースケースへの応用にも期待できる．

3.3 超低消費電力・低コスト化

移動通信システムにおけるネットワークおよび端末の低消費電力・低コスト化は，地球環境問題などに配慮した，世界が目指す持続可能な社会の実現に向けて重要な挑戦である．

ネットワークにおいては，今後さらに通信量が増えることを想定し，単位通信速度（ビット）当りに要する消費電力量やコストの大幅な低減を目指す．例えば，通信のトラフィック量が100倍に増大する場合の設備投資および運用コストは，ビット当りのコストを100分の1以下に低減しなければ，高性能化と経済化を両立することができない．

さらに，将来的には無線の信号を用いた給電技術の発展やデバイスの消費電力量の低減技術によって，端末が充電不要になるような世界も期待できる．これは，サイバー・フィジカル融合の高度化によってセンサなどの端末数が増大することや，ユーザインタフェースがウェアラブルなものへと進化していくユースケースを想定すると，より必要性が高まるものと考えられる．

3.4 超低遅延

サイバー・フィジカル融合において，AIとデバイスを繋ぐ無線通信は，人間で例えると情報伝達をする神経に相当するといえる．リアルタイムかつインタラクティブなAIによるリモートサービスをより高度に実現するには，常時安定したE2E（End to End）での低遅延が基本的な要件になる．目標はE2Eで1ms以下の超低遅延の実現である．これに

*6 上りリンク：端末からネットワーク方向への情報の流れ．

よって，サイバー空間からの低遅延なフィードバックによる「違和感」のないサービスを実現することができ，AIによって遠隔制御される機器やロボットが，人間に近い，もしくは人間を超えるような俊敏な動作や機微を読み取るような対応ができる世界も期待される．例えば，声のトーンや表情などの情報からユーザの望むことを瞬時に判断し，人間と同等以上に気の利く応対をする接客などが，AIによるロボットの遠隔制御で実現されるかもしれない．特にアフターコロナの世界では，このような超低遅延通信によるテレワーク，遠隔操作，遠隔医療，遠隔教育など，さまざまな分野での応用が期待される．

3.5 超高信頼通信

産業やライフラインのための用途に無線通信を用いる場合，その信頼性が重要な要件である．特に産業向けユースケースの中には，産業機器の遠隔制御や工場自動化など，通信の品質や可用性が安全性や生産性に大きく影響するものが存在する．従って，必要な性能や安全性を担保するために超高信頼通信の実現は重要な要求条件であり，6Gでは5Gよりもさらにレベルの高い信頼性や高セキュリティの実現が期待される．5Gにおける超高信頼低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）[*7]では，信頼度（Reliability）として99.9999％までの実現が検討されており，6Gではさらに一桁の改善（99.99999％）が目標値として想定される．

また，現在は「ローカル5G」のように，公衆網のベストエフォート型サービスとは異なる産業向けに特化したネットワーク（NPN：Non-Public Network）が注目されており，工場などの限られたエリアでのURLLC技術が主に検討されている．一方で，将来的にはロボットやドローンの幅広い普及や，空・海・宇宙などへの無線カバレッジの拡大に伴い，より広域での高信頼通信の実現が求められるものと考えられる．

3.6 超多接続＆センシング

サイバー・フィジカル融合の高度化によって，人やモノの通信に関連する超多数のデバイスが普及していくものと想定され，5Gの要求条件のさらに10倍（＝km^{2}当り1000万デバイス）の究極の多接続が6Gの要求条件になるものと考えられる．人に対しては，ウェアラブルデバイスや人体に装着されたマイクロデバイスにより，人の思考や行動をサイバー空間がリアルタイムにサポートするようなユースケースが考えられる．また，車を含む輸送機器，建設機械，工作機械，監視カメラ，各種センサなど，あらゆるモノがサイバー空間と連動し，産業や交通，社会課題の解決，および人の安全安心で豊かな暮らしをサポートするような世界の実現が期待される．

さらに，無線通信のネットワーク自身が，電波を用いて端末の測位や周辺の物体検知など，実世界をセンシングする機能を備えていくような進化も想定される．測位については，環境によっては誤差センチメートル以下の超高精度の実現が期待される．無線センシングにおいても，電波とAI技術の併用によって，高精度な物体検知に加えて物体識別や行動認識などを実現することも期待される．

4. 5G evolution & 6Gにおける無線技術の発展

過去の移動通信の世代から6Gまでの技術発展イメージを**図5**に示す．旧世代では各世代の無線アクセス技術（RAT：Radio Access Technology）[*8]を象徴する1つの代表的な技術が存在したが，4G以降はOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）[*9]方式をベースとした複数の無線技術の組合せでRATが構成されており，拡張的な技術発展

＊7 超高信頼低遅延通信（URLLC）：低遅延かつ，高信頼性を必要とする通信の総称．

＊8 無線アクセス技術（RAT）：NR，LTE，W-CDMA，GSMなどの無線アクセス技術のこと．

＊9 OFDM：デジタル変調方式の1つで，情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式．高い周波数利用効率での伝送が可能．

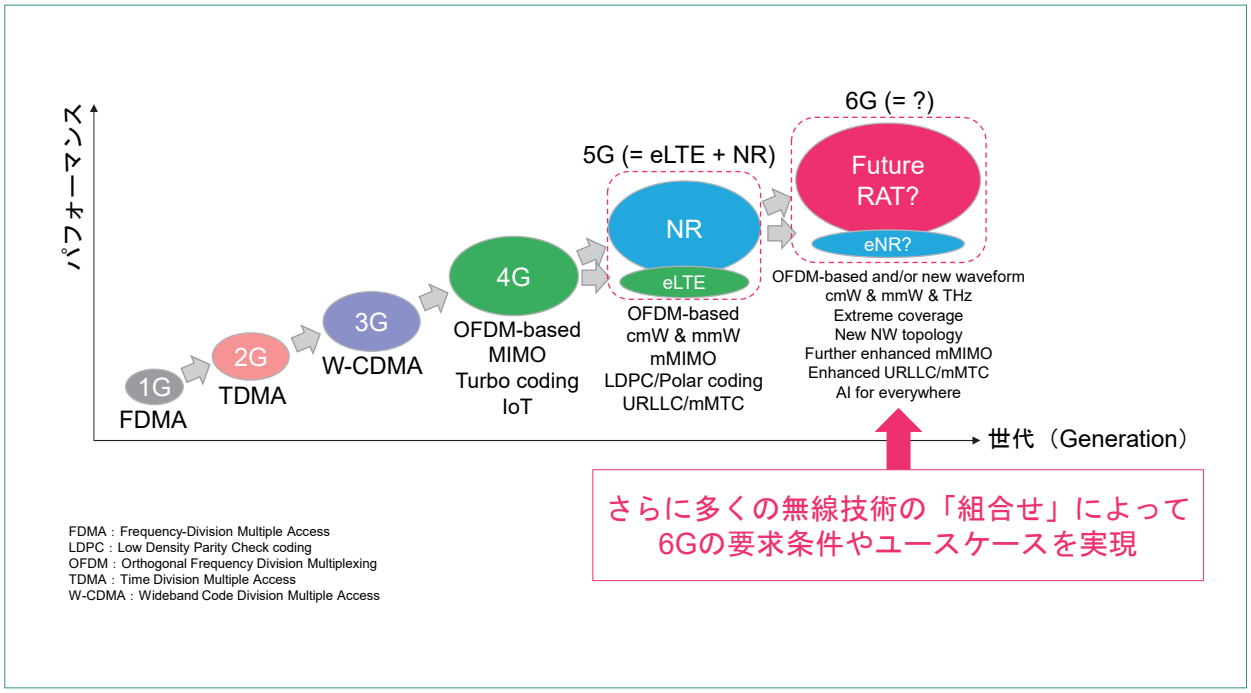


図5　移動通信システムにおける6Gへの技術発展

になっている．これは，OFDM方式をベースとした無線技術ですでにシャノン限界*10に近い周波数利用効率*11が実現できている一方，移動通信システムに求められる要求条件や，周波数帯，およびユースケースは継続的に拡張されているためである．

従って，6Gでは5G evolutionを経て，さらに多くの無線技術の「組合せ」が必要になるとともに，前述の要求条件やさまざまなユースケースを実現していくために，移動通信以外の技術も含めた「組合せの拡張」についても考慮する必要があると考えられる．また，5GはLTEの高度化とNR（New Radio）*12の組合せによって定義されたが，5GのNRは将来の新技術導入を考慮した拡張性に優れた設計になっているため，6GのRATの定義についても今後議論が必要である．

5G evolution & 6Gに向けて検討が必要な技術領域を**図6**に示す［1］．

空間領域の分散ネットワーク高度化技術（New Radio Network Topology）では，できるだけ近い距離や見通し環境（ロスの少ないパス）で通信すること，および，できるだけ多数の通信路をつくり，パス選択の余地を多くする（冗長性を増やす）ことで，超高速・大容量化（特に上りリンク）や無線通信の信頼性向上を追求する．空間領域で分散した無線ネットワークのトポロジー*13を構築するための分散アンテナ展開を，いかに経済的に実現するかが課題である．

非陸上（NTN：Non-Terrestrial Network）を含めたカバレッジ拡張技術では，静止衛星，低軌道衛星，および高高度プラットフォーム（HAPS：High-Altitude Platform Station）の利用を視野に入れることで，山間・僻地，海上，宇宙空間までカバーすることが可能である．すでに，3GPPではこれら衛星やHAPSを用いたNRのNTNへの拡張検討が開始されている．

また，周波数領域のさらなる広帯域化および周波

*10 シャノン限界：帯域幅とSN比より理論的に導出された，転送可能な情報の最大量．シャノンの通信路容量として知られている．
*11 周波数利用効率：単位時間，単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数．
*12 NR：5G向けに策定された無線方式規格．4Gと比較して高い周波数帯（例えば，3.7GHz帯や28GHz帯）などを活用した通信の高速化や，高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にする．
*13 トポロジー：機器の位置関係やネットワーク構成．

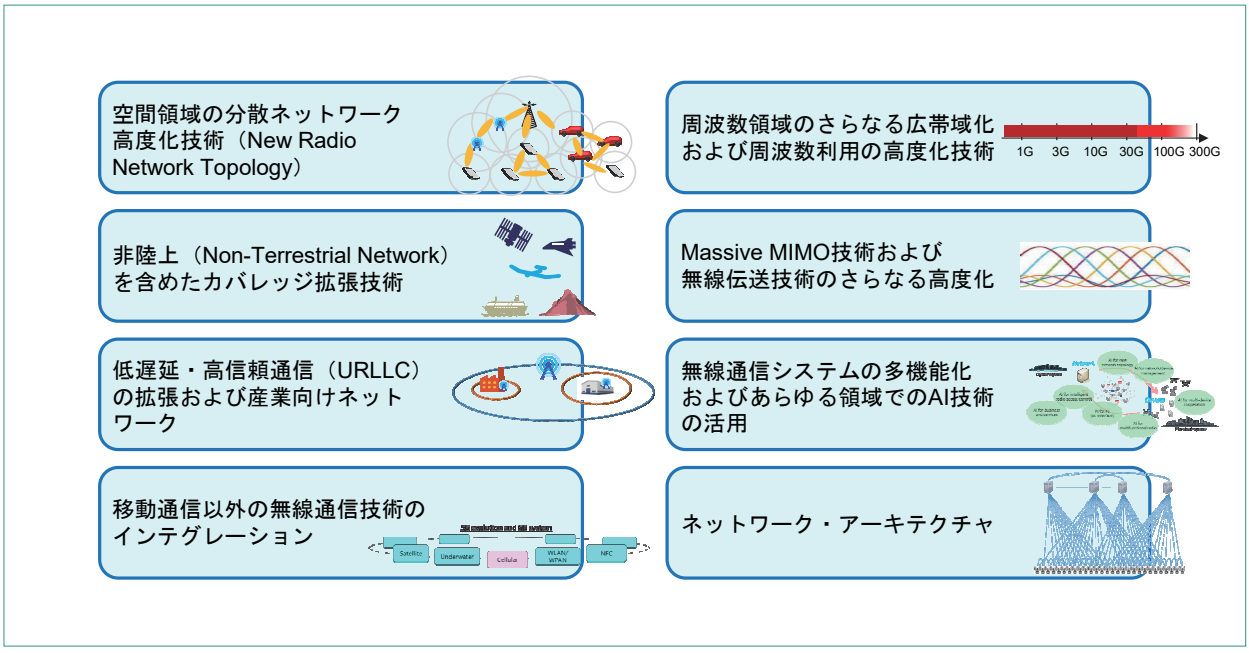


図6　5G evolution & 6Gに向けて検討が必要な技術領域

数利用の高度化技術では，6G向けに5Gよりさらに高い周波数帯であるミリ波や100～300GHzのいわゆるテラヘルツ波に適した無線技術を確立する．加えて，それらを検討する上で重要となる電波伝搬特性の明確化，伝搬モデルの構築，デバイス技術における課題解決などの検討も重要である．

無線通信システムの多機能化およびあらゆる領域でのAI技術の活用では，電波で測定した情報に加えて，映像や多様なセンシング情報をAI技術で解析し，無線通信制御の高度化，高精度な測位・測距，物体検出，無線給電などに活用する．

加えて，6Gではネットワーク全体における機能配置の最適化，装置の汎用化も考慮しながら，将来の要求条件のさらなる高まりや市場変化の速さに追従するため，ネットワーク・アーキテクチャの抜本的な見直しも含めた検討が必要であり，その設計にも多くの課題が存在する．

本稿では，各技術領域についての詳細は割愛するが，関連する研究開発の活動について本特集号の別記事で解説していく［7］～［9］．

5. あとがき

本稿では，5G evolution & 6Gに関する国内外動向やスケジュール展望，および，「ドコモ6Gホワイトペーパー」で提案したコンセプトを概説した．現在，Beyond 5G推進コンソーシアムや国内外における6G関連プロジェクトでの検討が精力的に進められていることもあり，引き続き，さまざまな業界の関係者や産学官における6G議論の推進に寄与していきたい．

文　献

［1］ NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G，” Jan. 2020.
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html
［2］ 岸山，ほか：“これまでの取組み，” 本誌，Vol.28，No.2，pp.8-15，Jul. 2020.

［3］ 総務省：“令和2年版情報通信白書,” Aug. 2020. https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/index.html
［4］ 総務省：“「Beyond 5G推進戦略 ―6Gへのロードマップ―」の公表,” Jun. 2020. https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000364.html
［5］ Beyond 5G推進コンソーシアムホームページ. https://b5g.jp/
［6］ 岸山：“Beyond 5G無線アクセス技術の初期考察,” 信学ソ大BS-2-2, Sep. 2017.
［7］ 来山，ほか：“5G evolution＆6Gに向けた透明RIS技術の研究,” 本誌，Vol.29，No.2，pp.15-23，Jul. 2021.
［8］ 外園，ほか：“5G evolution＆6Gに向けたNTN技術の研究,” 本誌，Vol.29，No.2，pp.24-35，Jul. 2021.
［9］ 奥山，ほか：“5Gの高度化に向けたミリ波帯基地局連携技術による高速移動環境での通信性能向上,” 本誌，Vol.29，No.2，pp.36-43，Jul. 2021.

Technology Reports（特集）　5G evolution & 6G　ミリ波　メタサーフェス
5G evolution & 6G特集(1)

5G evolution & 6Gに向けた透明RIS技術の研究

6G-IOWN推進部　来山 大祐†1　濱 優人　宮地 健介　岸山 祥久

5Gの商用導入が世界的に開始され，現在は5Gのさらなる発展としての5G evolutionと次世代移動通信システムである6Gに向けた研究がさかんになってきている．本稿では，5G evolution & 6Gに向けて議論されている「New Radio Network Topology」において重要となるIREというコンセプトについて解説する．また，IREの実現に向けて重要になるRISと，これを構成する要素技術であるメタマテリアル／メタサーフェス技術に関して，ドコモの取組み内容を述べる．

1. まえがき

ドコモは，2020年3月より第5世代移動通信システム（5G）の商用サービスを開始した．これによりVR（Virtual Reality）/AR（Augmented Reality）/MR（Mixed Reality）などのXR*1の応用やIoT（Internet of Things）デバイスによる産業／インフラの高度化など，さまざまな分野への5G技術の適用に期待が高まっている［1］．このような状況の中，ドコモは5Gで利用されるミリ波*2帯の電波を用いて，高速・大容量，低遅延，高信頼などの5Gの可能性を実証してきた［2］［3］．

一方，これらの検証を通して，セルラ方式の無線通信でミリ波帯を有効活用する上での課題も明らかになった．ミリ波帯は電波伝搬の直進性が強く，その振舞いが光に近くなるため，遮蔽物の陰への回り込み（回折）が小さい．そのため基地局アンテナから見通し外となる場所をどのようにエリア化するかが，ミリ波帯をセルラ方式の無線通信で活用する上での鍵といえる．

本稿では5G evolution & 6G実現に向けた重要課題の1つであるミリ波帯のエリア形成について，有望なアプローチとして注目されているIRE（Intelligent Radio Environment）の概念を示し，IREの実現に

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

†1　現在，日本電信電話株式会社　NTT先端集積デバイス研究所

*1　XR：VR，AR，MRといった仮想空間と現実空間との融合で新たな体験を提供する技術の総称．

必須となるRIS（Reconfigurable Intelligent Surface）とその要素技術であるメタマテリアル*3／メタサーフェス*4技術について，ドコモの取組み内容を通して解説する．

2. IREとRIS

2.1 IRE

近年，ミリ波帯における見通し外カバレッジの課題に対して，電波環境を適応的／動的に制御しようと試みるIREに向けた研究がさかんになっている［4］．ドコモが発表した第6世代移動通信システム（6G）に向けたホワイトペーパー［1］においても，ネットワークとの接続経路を増やすような新しい無線ネットワークの形「New Radio Network Topology」が提言されており，その中で電波環境の制御が議論されている．遮蔽物により電波が遮られてしまうという課題は，送受信機技術の進化だけでは解決が困難であり，新たな無線ネットワーク体系を構築する必要がある．

そこで，従来考えられていた無線環境は制御不可能であるという仮定から脱却し，制御可能な要素と見なすことで無線ネットワークの大幅なパフォーマンス向上を目指す検討が精力的になされている．このようなアプローチは，これまでの無線ネットワーク体系との概念的な違いを強調するために，「インテリジェント無線環境（IRE）」や「スマート無線環境（SRE：Smart Radio Environment）」と呼ばれている．IREの概念図を**図1**に示す．IREにおいては，例えば遮蔽物がある場合には，送信機（Tx：Transmitter），受信機（Rx：Receiver）だけでなく伝搬チャネル*5（H）も含めた最適制御をすることで，遮蔽物の迂回が可能な伝搬ルートを確保する．

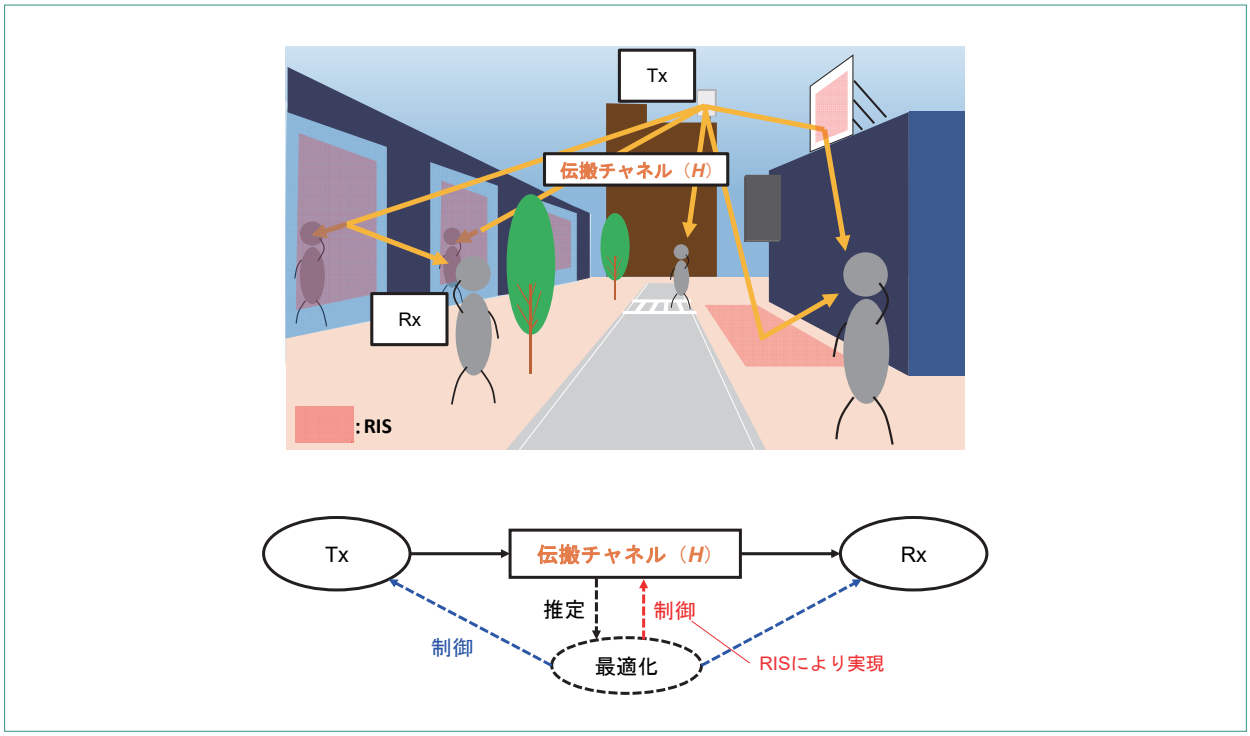


図1　IREの概念図

＊2　ミリ波：周波数帯域の区分の1つ．30GHzから300GHzの周波数であり，5Gで使用される28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ．

＊3　メタマテリアル：電磁波に対して自然界の物質にはない振舞いをする人工物質のこと．

＊4　メタサーフェス：波長に対して小さい構造体を周期配置して任意の誘電率・透磁率を実現する人工媒質（メタマテリアル）の一種で，構造体の周期配置を2次元とした人工表面技術．

＊5　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．通信路の特性は伝達関数Hにより表現される．

2.2 RIS

RISは，上記IREを実現するための重要技術である．RISは電磁波を散乱する多数の素子で構成され，面的な散乱特性の分布を設計／制御可能な「メタマテリアル／メタサーフェス技術」が利用されることが多い．またメタサーフェスは薄い板形状であり，ベース材料の選択次第では柔軟性があるシートの形状で作製することも可能なため，構造物に沿った形での設置が可能である．このため，既存の構造物の形状を維持したまま電波の散乱特性を制御できる．これはTx – 伝搬チャネル – Rxのうち，伝搬チャネルを制御していることを意味する．RISは一般的に，以下の動作を定期的に繰り返すことにより無線環境を適応的に制御することが想定されている．

①RISの動作を決定するために必要な無線チャネルの特性を推定

②所望の伝搬チャネルが得られるように，推定された情報に基づいてRIS表面の散乱強度／位相分布を制御

本手順の具体的な実装についてはさまざまなアプローチが研究されている．なお，RISと同様の技術を指す用語としてLIS（Large Intelligent Surface）や，反射波の制御のみに着目したIRS（Intelligent Reflecting Surface）などがある．

⑴RISサイズの影響

基地局（BS：Base Station）– 移動局（MS：Mobile Station）間が見通しではなく，反射板やリピータ[*6]などで電波を中継する場合（BS – 反射板など – MS），パスロス[*7]が「BS – 反射板など」と「反射板など – MS」の2回発生する．伝搬による電波のエネルギー密度の低下量は波源に近いほど大きい．そのため，合計の経路長が同一であったとしても，「BS – MS」のパスに比べて「BS – 反射板など – MS」のパスのほうが，通常パスロスが大きくなり受信電力の低下を招く．この傾向はRISに対しても当てはまる．

RISを介するパスロスは通常の金属反射板と同様にそのサイズに影響されるが，RISの場合はサイズだけでなく位相制御の方法によってもパスロスが異なる．そこでまずは，RISサイズが受信電力へ与える影響について，RISを介することにより生じる2回のパスロス（以下，二重パスロス）と同一経路長の直接波のパスロスとの関係を解析した結果を基に紹介する［5］．本解析では，以下について計算した．

⑷BS – MS間の距離が200mで直接波を受信する場合

⑸BS – RIS間の距離が100m，RIS – MS間が100mで，RISを介したパス以外は存在しない場合（合計の経路長200m）

計算機シミュレーションによって求めた，28GHz帯におけるRISサイズと各径路におけるパスロスの関係を**図2**に示す．なお，本計算では，RISの形状を正方形，反射率を100％とし，BS – RIS – MSは同一直線上にあると仮定する．実際は同一直線上にはならず，RISをBS/MSに対して角度を付けて設置することが想定され，その際は角度が付いた分，実効的な面積が小さくなる．

特殊な位相制御を実施しない伝搬方向のみの制御（図2の青線）に着目すると，RISがあるサイズ（図中①）より小さい場合には同一経路長の直接波のパスロスに対してRISを介した二重パスロスが著しく大きいことが分かる一方で，①よりRISサイズが大きくなると，二重パスロスが同一経路長の直接波のパスロスに漸近していく様子が確認できる．なお，後述するが，MSの受信電力が最大となるようにRISを最適制御した場合の二重パスロスが図2の赤線となり，この最適制御をした二重パスロスと直接波のパスロスが同一となる図中①のRISサイズを解析的に求めると，RISの1辺の長さがフレネル半径[*8]となる．図に示すとおりRISを最適制御しない場合で

＊6 リピータ：基地局／移動局からの信号を電力増幅して移動局／基地局への送信を行う物理層の中継機器．

＊7 パスロス：送信電力と受信電力との差分から推定される伝搬経路損失．

＊8 フレネル半径：第1フレネルゾーン（＊9参照）の半径．

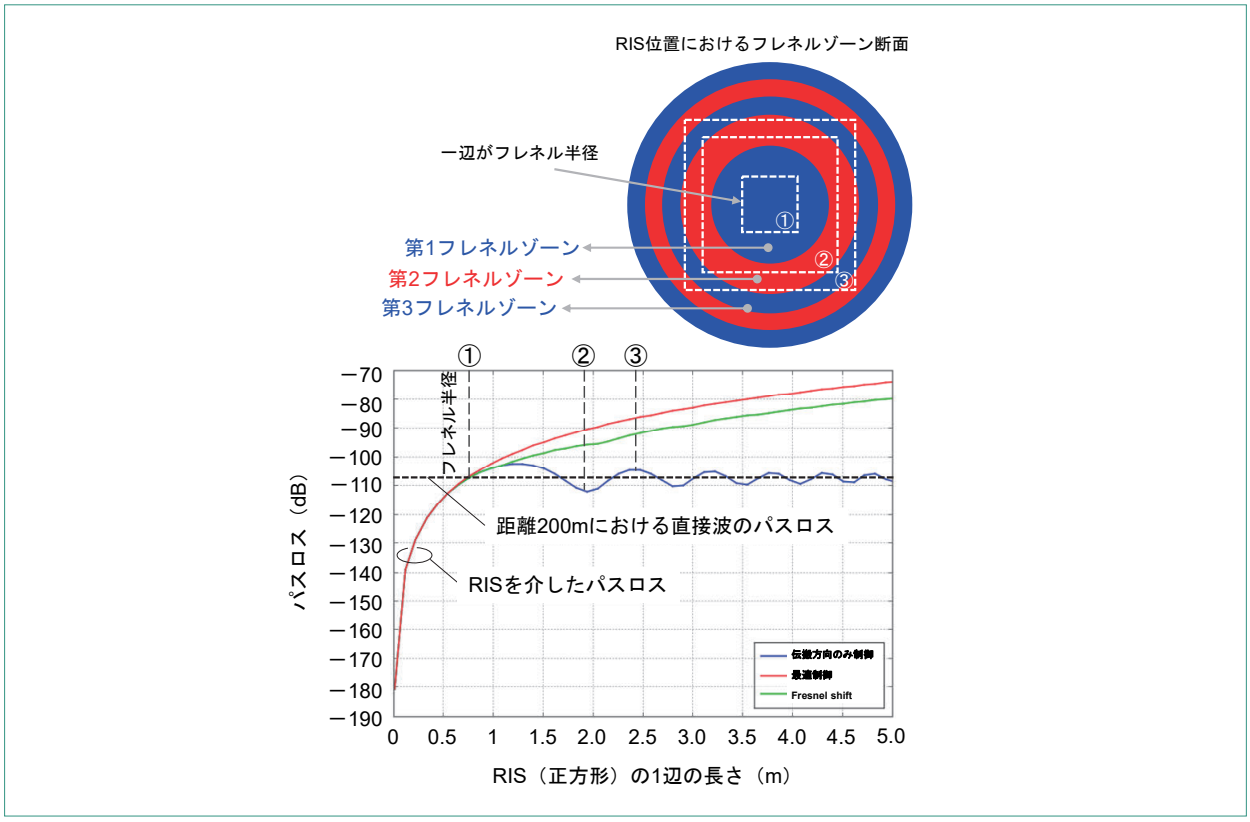


図2　RISサイズとパスロスの関係

あっても，直接波のパスロスと同等のパスロスとなるRISサイズはフレネル半径とほぼ一致しており，RISが本サイズよりも大きければ同一経路長の直接波と同等の電力を受信できることになる（図2の青線）．

なお，RISサイズが増加して二重パスロスが直接波のパスロスに漸近していく過程でパスロスが増減するのは，奇数次と偶数次のフレネルゾーン*9を介した信号が受信点において互いに打ち消し合うことに起因する．

⑵RISによる位相制御の効果

BS − RIS − MSの伝搬パスを，RISを構成する素子ごとに分解して考え，受信点において各パスの波の位相が一致するようにRISを位相制御することにより，BS − RIS − MS経路の受信電力を最大化できる（図2の赤線）．このように最適制御をすることにより，受信電力が直接波パスの値に収束することなくRISサイズと正の相関をもつようになる．なお，RISサイズがフレネル半径程度以下であれば，従来の方向のみの制御（図2の青線）と最適な位相制御による差はほとんど見られないため，方向のみの制御で十分である．

RISを受信電力の観点で最適制御する場合は，上記のとおりRISの各素子における位相変化量を最適な値に設定する必要があり，制御が複雑となる可能性がある．そこで，より簡易な制御の実現に向けて，方向のみの制御に対して，0/π（rad）の2値の位相補正のみを加えることで受信電力を大幅に改善する手法についても紹介する．図2に示したように，方向のみ制御の場合，RISサイズの増大に伴ってパ

*9　フレネルゾーン：送受信点間の最短距離（ここではRISを介した最短距離）に対して経路長差が半波長以下，つまり信号の位相差がπ（rad）以下となる範囲を第1フレネルゾーンと言う．経路長差が半波長の$n-1$倍以上でn倍以下の範囲を第nフレネルゾーンと言い，同一フレネルゾーンを介する信号は互いに強め合って合成される．

スロスは増減を繰り返す．そこで，この原因となっている偶数次のフレネルゾーンを介した波の位相をπ（rad）シフトさせる（以下，Fresnel shift）ことで受信電力が著しく改善する（図2の緑線）．このFresnel shift法は，いずれの距離に位置するユーザに対しても，最適制御した場合と同様にRISサイズに応じた受信電力の向上が可能であることが分かる．本手法の詳細は文献［5］を参照されたい．

3. 透明RISの実現に向けたメタサーフェス技術の検討

前述したとおりメタマテリアル／メタサーフェス技術は，RISを実現するためによく利用される技術である．

メタマテリアルは，電磁波に対してその波長よりも十分に小さい構造を周期的に配置することで，その人工周期構造体が実効的に負の屈折率を有する材料として振る舞うなど，通常の物質では実現できない特性が得られることから，2000年ごろからその技術が精力的に研究されている［6］．当初，メタマテリアル技術の実証はマイクロ波帯（5GHz）にて行われたが，2010年ごろからはミリ波・テラヘルツ波*10帯での検討がさかんになってきている［7］．これは，ミリ波・テラヘルツ波帯のメタマテリアルを構成する素子構造が，mm～μmオーダと既存の製造プロセスで容易に作製可能なサイズであること，従来の無線通信で利用されている周波数帯と同様に，金属の電気抵抗をほぼ無視できる周波数領域であることなどが要因と考えられる．

なお，メタマテリアルが3次元の人工周期構造であるのに対して，2次元の人工周期構造体はメタサーフェスと呼ばれることが多い．メタサーフェス上の反射位相分布を制御することで，反射波の伝搬を制御することができる（**図3**）．

現在，メタマテリアル／メタサーフェス技術は，各種研究機関の6G向けホワイトペーパーにおいて重要な技術として記載されている．

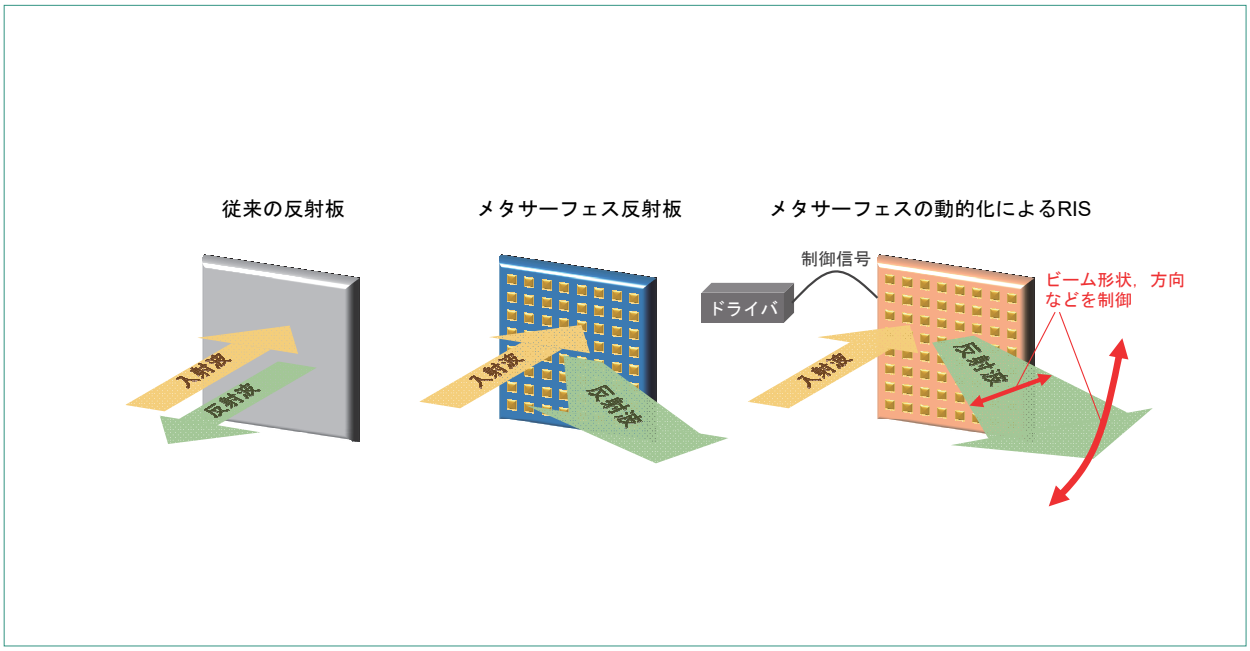


図3　メタサーフェス技術を用いたRISの概念図

*10 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．

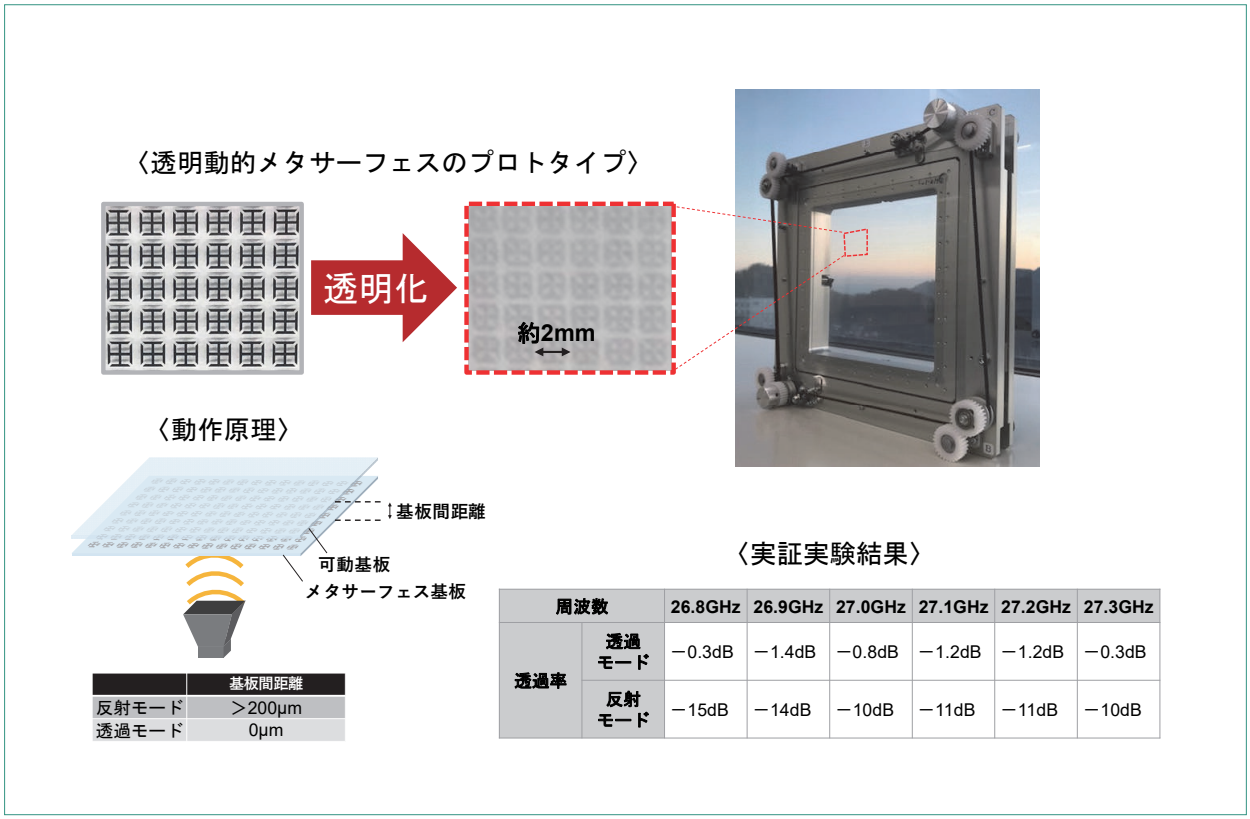
そこで以下では，ドコモにおけるRISの実現に向けたメタサーフェス技術の取組み内容について解説する．

3.1　透明動的メタサーフェス

ドコモでは，2018年から見通し外におけるミリ波のエリア構築に向けて，動的な制御を考えない静的なメタサーフェス反射板について検討している［8］．しかし，この際に検討したメタサーフェス反射板は，設置場所・基地局位置・対策箇所から算出される入射／反射角に応じて反射位相分布を設計する必要があり，また反射板の裏が新たな見通し外になるといった課題があった．加えて反射板は，街中の景観に溶け込むような意匠であることも求められる．

そこで，我々はAGC株式会社の協力の下，RISのプロトタイプとして，高い透明性を維持しながら電波の反射・透過を動的制御可能な「透明動的メタサーフェス」を開発／検討している（**図4**）［9］．メタサーフェス基板を透明化したものに透明なガラス基板を重ね，ガラス基板を微動させることで，入射電波を透過するモード，電波の一部を透過し一部を反射するモード，すべての電波を反射するモードの3パターンを動的に制御することを可能とした．

従来のメタマテリアル／メタサーフェス動的化手法としては，金属パターンの抵抗／電気容量成分を，半導体素子を用いて制御する方法が主流であった．今回の透明動的メタサーフェスの動的化手法は，半導体素子を用いたこれまでの手法に対して，「透明性を維持したまま動的制御が可能」「基板の大面積化が容易」という優位性があり，設置の際に景観や



	基板間距離
反射モード	＞200μm
透過モード	0μm

周波数		26.8GHz	26.9GHz	27.0GHz	27.1GHz	27.2GHz	27.3GHz
透過率	透過モード	−0.3dB	−1.4dB	−0.8dB	−1.2dB	−1.2dB	−0.3dB
	反射モード	−15dB	−14dB	−10dB	−11dB	−11dB	−10dB

図4　透明動的メタサーフェスの取組み

既存のデザインへの影響を抑えることができる．

実証実験においては，透過モードの際に透過率約－1.4dB以上，反射モードの際に透過率－10dB以下（これより計算される反射率：－1dB以上）の性能を400MHz以上の帯域で達成できることを確認している（図4）．

今後は，透明RISの実現に向けて透過／反射方向の制御機能の実装などさらなる高機能化を検討していく．

3.2 透明メタサーフェスレンズによる窓の電波レンズ化

ミリ波帯の電波は，現在LTEで使用されている周波数帯や，Sub6*11帯の電波と比較し，直進性が高く，減衰しやすいという特徴がある．そのため，屋外基地局アンテナから発信された電波は建物の窓ガラスに到達するまでに減衰し，さらに減衰した微弱な電波は広がることなく屋内に入り込むため，屋外基地局アンテナによる屋内のエリア化は困難となる．

そこで，屋内側から窓ガラスに貼付け可能なフィルム形状で，窓ガラスを通るミリ波を屋内の特定の場所（以下，焦点）に集めることができる「透明メタサーフェスレンズ」をAGC株式会社と共同で開発した［10］．窓ガラス全面を通る微弱な電波を焦点に集めることで電力を高めることができるため，焦点位置にリピータやリフレクタ*12，RISなどのエリア改善ツールを置くことで，屋外の基地局アンテナによる建物内のエリア化が実現できると考えている（**図5，6**）．本メタサーフェスレンズを用いた実

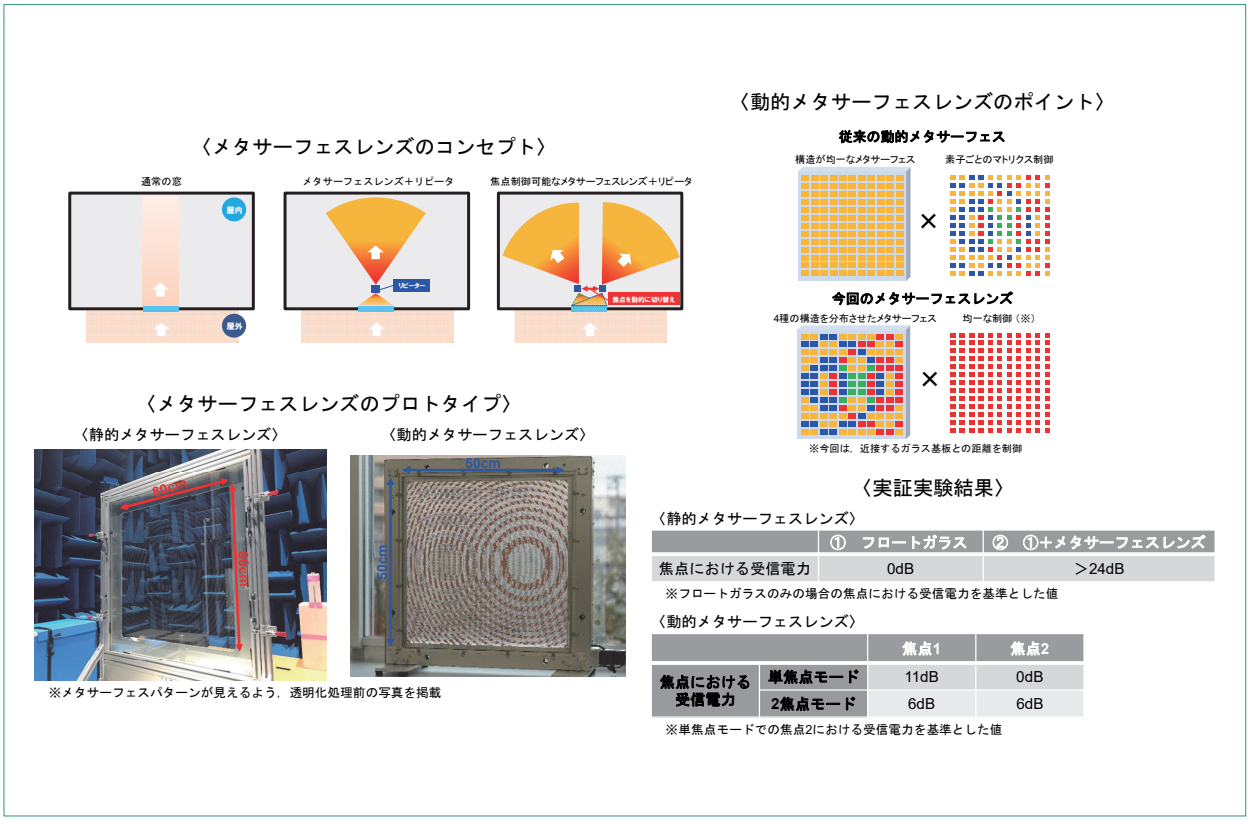


図5　透明メタサーフェスレンズによる窓の電波レンズ化

*11 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．

*12 リフレクタ：本稿では，従来の金属反射板やメタサーフェス反射板を含めてリフレクタと呼称する．

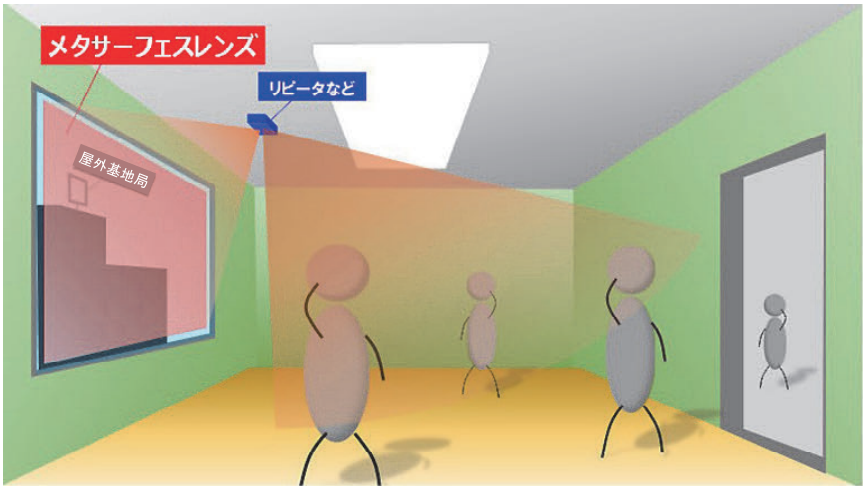


図6　透明メタサーフェスレンズの利用イメージ

証実験では，焦点における受信電力が通常の透過ガラスを用いた場合に対して24dB以上向上することを確認している．

さらに，焦点を動的に制御する機能についても検証した．従来，電波の透過／反射波方向を制御する際は，同一の素子を均一に配列することでメタサーフェスを構成し，素子ごとに異なる制御信号を与えることで実施した．今回の動的メタサーフェスレンズでは，4種類の構造の異なる素子を適切に配置することで，全素子に同一の制御信号を与えたとしても，焦点位置を切替えられること（今回は単焦点⇔2焦点の切替え）を実証した（図5）．単焦点モードにおいては，焦点1の受信電力が焦点2の受信電力に対して11dB高い結果となっており，焦点1のみが焦点として機能している．一方で，2焦点モードにおいては，焦点1と焦点2の両焦点にて，単焦点モードの焦点2によりも受信電力が6dB高くなっており，焦点が2つ形成されていることが分かる．制御が簡単にできることで，大きな面積のメタサーフェスレンズでも焦点を動的制御できる可能性がある．

4. あとがき

本稿では，5G evolution & 6G実現に向けた課題の1つであるミリ波帯における見通し外カバレッジについて，有望なアプローチとして，無線環境の適応的な制御を試みるIREの概念を示し，IREの要素技術であるRISとその基となるメタマテリアル／メタサーフェス技術について解説した．ある有限の面積を有したリフレクタやRISで伝搬環境に影響を与える場合，その面積が波長に対して大きいほど，つまり周波数が高いほど制御性が増す．ここで解説した技術は5Gのみならず，利用周波数がより高くなると予想される6G以降の無線システムにおいても，エリア構築における基盤技術の1つになることが期待される．

今後は，本稿で解説したRIS技術の実環境における効果の実証に取り組むとともに，6Gに向けて，RISのさらなる高周波数化を検討していく．

文　献

［1］ NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G，” Feb. 2021. https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html

［2］ D. Kitayama, K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, M. Inomata, T. Imai, Y. Kishiyama, H. Murai, S. Itoh, A. Simonsson and P. Okvist：“High Speed Mobility Experiments on Distributed MIMO Beamforming for 5G Radio Access in 28-GHz Band,”IEICE Trans. Commun., Vol.E102-B, No.8, Aug. 2019.

［3］ D. Kurita, K. Tateishi, D. Kitayama, A. Harada, Y. Kishiyama, H. Murai, S. Itoh, A. Simonsson and P. Okvist：“Indoor and Field Experiments on 5G Radio Access for 28-GHz Band Using Distributed MIMO and Beamforming,” IEICE Trans. Commun., Vol.E102-B, No.8, Aug. 2019.

［4］ M. D. Renzo, A. Zappone, M. Debbah, M. S. Alouini, C. Yuen, J. de Rosny and S. Tretyakov：“Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces:How It Works, State of Research, and The Road Ahead,”IEEE Journal on Selected Areas in Commun, Vol.38, No.11, pp.2450-2525, Nov. 2020.

［5］ 濱 優人，来山 大祐：“5G Evolution and 6Gに向けたReconfigurable Intelligent Surfaceを用いたカバレッジ拡張に関する取り組み，”信学技報，Vol.120，No.406，SRW2020-81，pp.98-103，Mar. 2021.

［6］ D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser and S. Schultz：“Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity,” Phys. Rev. Lett., Vol.84, No.18, pp.4184-4187, May 2000.

［7］ D. Kitayama, M. Yaita and H.-J. Song：“Laminated metamaterial flat lens at millimeter-wave frequencies,” Opt. Express, Vol.23, pp.23348-23356, Sep. 2015.

［8］ D. Kitayama, D. Kurita, K. Miyachi, Y. Kishiyama, S. Itoh and T. Tachizawa：“5G Radio Access Experiments on Coverage Expansion Using Metasurface Reflector at 28 GHz,” 2019 IEEE APMC, pp.435-437, 2019.

［9］ NTTドコモ報道発表資料：“世界初，28GHz帯5G電波の透過・反射を動的制御する透明メタサーフェス技術の実証実験に成功，”Jan. 2020.

［10］ NTTドコモ報道発表資料：“メタサーフェス技術により窓ガラスの電波レンズ化に世界で初めて成功，”Jan. 2021.

Technology Reports（特集）　NTN　HAPS　超カバレッジ拡張
5G evolution & 6G特集(1)

5G evolution & 6Gに向けたNTN技術の研究

6G-IOWN推進部　外園 悠貴（ほかぞの ゆうき）　岸山 祥久（きしやま よしひさ）
浅井 孝浩（あさい たかひろ）

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

1. まえがき

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

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

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

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

＊1　超カバレッジ拡張：基地局が移動局端末との通信を行うことができるエリアを，現在の移動通信システムがカバーしていない空・海・宇宙などを含むあらゆる場所へ拡張すること．
＊2　高高度プラットフォーム（HAPS）：ソーラープレーン型の航空機や飛行船などを利用して，成層圏環境での運用が想定される空中プラットフォーム．

図1　超カバレッジ拡張

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

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

空・海・宇宙を含むあらゆる場所でのユースケースを想定した「超カバレッジ拡張」では，ドローンや空飛ぶ車，船舶，宇宙ステーションなど，これまでの移動通信ネットワークではカバーできなかったエリアへカバレッジを拡張する．超カバレッジ拡張の実現に向けては，少なくとも数十km程度以上の長距離無線伝送を高効率に実現する技術が必要になると考えられる．

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

①GEOは，高度約36,000kmの軌道上にある静止衛星である．衛星から地上局アンテナ間の片道電波伝搬時間が約120msと比較的長いものの，3～4機で地球全体をカバーし，かつ常時通信が可能であることから，現在でもモバイルバックホール*4として地上ネットワークを補完している．6G時代ではさらなる大容量化が必要となることから，衛星の電力・周波数をマルチビーム間で最適化することでシステム容量を向上させる超高スループット衛星（VHTS：Very High Throughput Satellite）の実現が検討されている［3］．

②LEOは，高度数百～約2,000kmの周回軌道上にある衛星であり，GEOと比較して低高度，かつ片道電波伝搬時間が数msという低遅延の特長を活かし，現在は衛星携帯電話や衛星センシング*5で利用されている．衛星製造コストの低廉化やMIMO（Multi Input Multi Output）*6などの適用による通信容量の拡大，また将来的に複

＊3　非陸上ネットワーク（NTN）：衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して，通信エリアが地上に限定されず，空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク．
＊4　バックホール：移動通信ネットワークにおける，多数の無線基地局とコアネットワークとの間の高速大容量な情報伝送をサポートする固定回線を表す．
＊5　衛星センシング：衛星に搭載している測定器によって，宇宙から大気や地表の状況を観測する技術．
＊6　MIMO：同一時間，同一周波数において複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い，通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号技術．

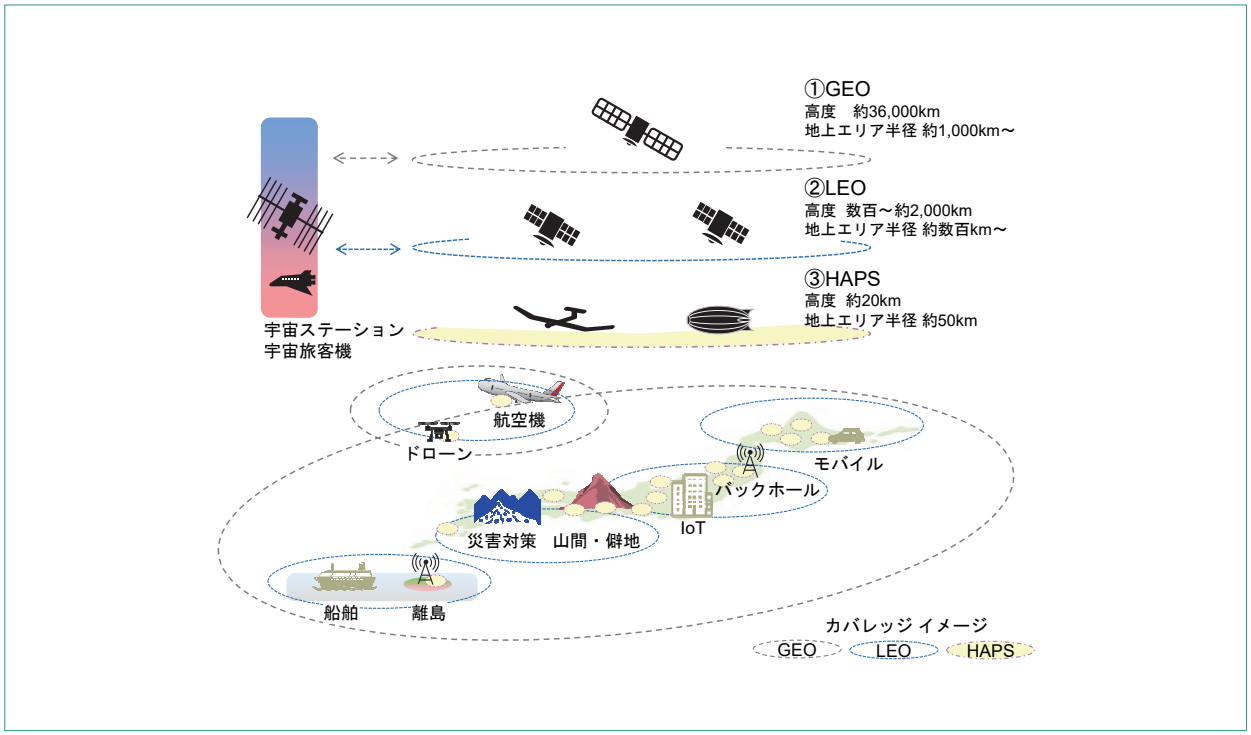


図2　衛星やHAPSを用いる空・海・宇宙へのカバレッジ拡張イメージ

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

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

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

3. HAPSのユースケースとネットワーク構成および制御技術

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

3.1　HAPSのユースケース

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

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

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

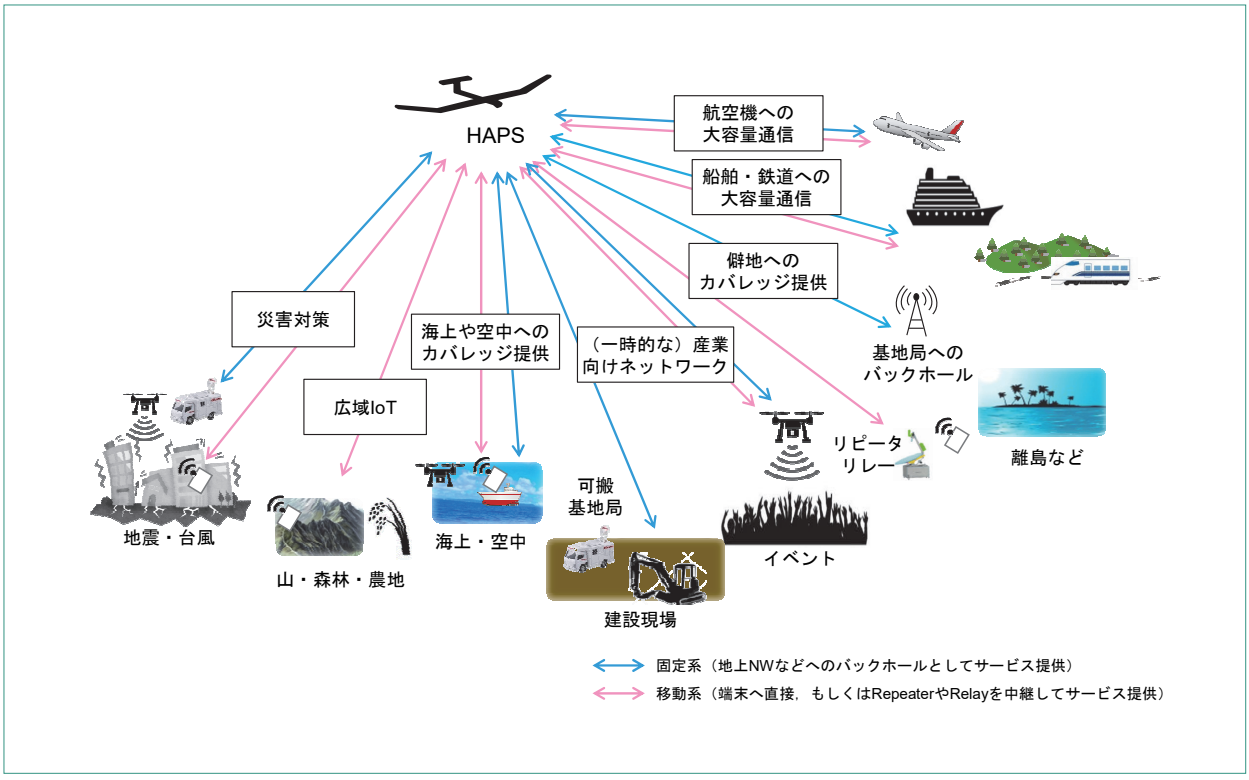


図3　HAPSで期待されるさまざまなユースケース

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

HAPSシステムの要求条件はユースケースごとにさまざまである．**図4**に示すとおり，ユースケースごとに求められる通信速度や帯域幅は異なる．固定系と移動系のあらゆるユースケースに対応できる柔軟な通信方式とシステムが望ましい．

例えば，5G基地局へのバックホール用途での通信速度は，1サービスリンク*10当り1Gbps以上が最低限必要であると考えられる．さらに複数のサービスリンクを同時提供するためには，フィーダリンク*11の通信速度はさらに速く（数Gbpsから数十Gbps），かつ可能な限り天候などの影響によらず安定している必要がある．

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

---

*9　ミリ波：周波数帯域の区分の1つ．30GHzから300GHzの周波数であり，5Gで使用される周波数である28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ．

*10　サービスリンク：NTN通信システムの中で，衛星またはHAPSと端末間の通信経路を指す．

*11　フィーダリンク：NTN通信システムの中で，衛星またはHAPSと地上基地局（ゲートウェイ）間の通信経路を指す．

*12　パブリックセーフティ：防災，警察，消防，救急などの公共安全．

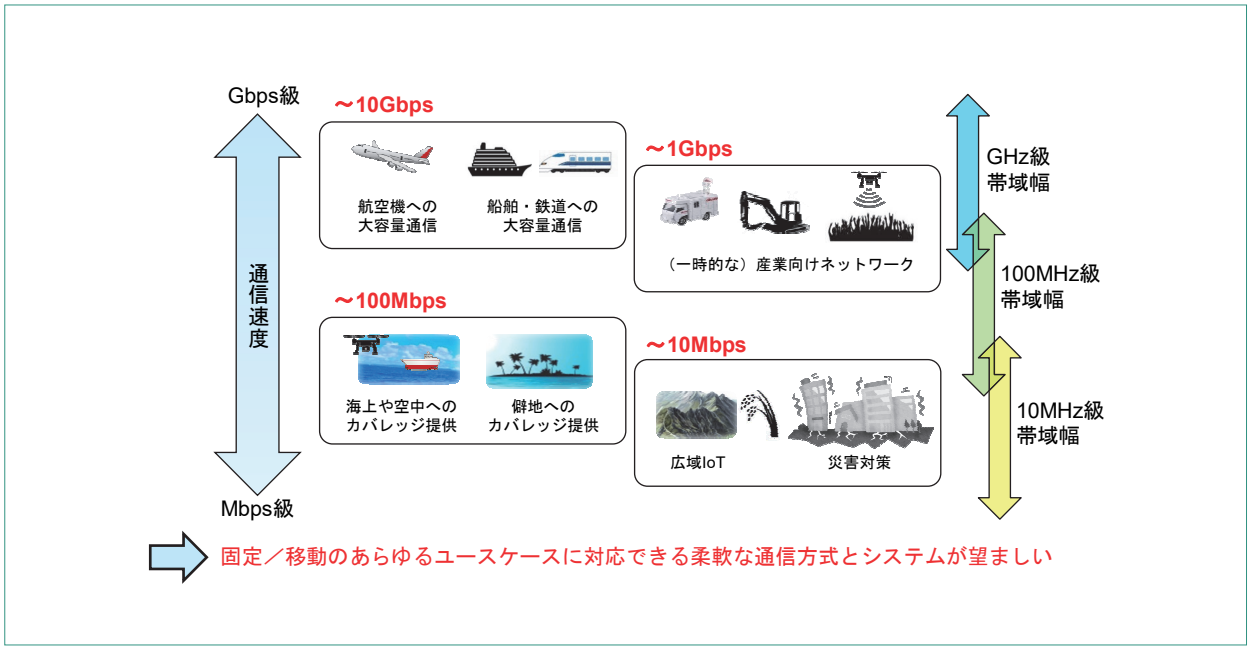


図4　HAPSユースケースごとの要求条件

3.2　5G網と連携したネットワーク構成と制御技術

⑴HAPS搭載局の分類

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

①中継型の場合は，搭載装置が比較的少なく，HAPS搭載局のサイズ・重量・消費電力の制限が厳しい場合に有効である．

②基地局型の場合は，アンテナ装置の搭載に加え，多くの基地局機能をHAPSへ搭載するほどHAPS側でさまざまな制御が可能になり，かつフィーダリンクの情報量を削減できる．一方，搭載機能が増えるほど搭載局のサイズ・重量・消費電力が大きくなる．

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

⑵5G網と連携したネットワーク構成例

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

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

表1　HAPS搭載局の比較まとめ

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

BBU：Base Band Unit　　PAPR：Peak to Average Power Ratio
FL：Feeder Link　　SL：Service Link

※1　中継型（#1，2）は無線規格によらない（複数の無線規格での）運用ができる可能性もある．
※2　通信速度の要求が高いほど，基地局型に比較して中継型の相対的なメリットが大きくなると予想される．
※3　6Gなど，将来的にはシングルキャリアの波形がNTNで採用される可能性もある．

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

図5の構成以外にも，スタンドアローン*19な5G基地局をHAPSに使用する構成や，5G無線の中継装置（Repeater）をHAPSに搭載する「中継型」の構成も有力な候補として検討している．各構成において，モビリティサポート，サイトダイバーシチ技術および周波数共用技術*20などと合わせて，GEO/LEOとの連携や装置重量・消費電力などHAPSへの搭載要件を考慮した総合的な検討が今後必要である．

4. 小型飛行機を用いた39GHz帯伝搬測定実験

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

＊14　DU：無線基地局のリアルタイムなデータリンク層制御などを行う機能部．
＊15　RU：無線基地局の無線部．
＊16　CU：無線基地局のノンリアルタイムのL2（Layer 2）機能，RRC（Radio Resource Control）機能などを実装する集約ノード．
＊17　サイトダイバーシチ：雨や障害物により電波の減衰が大きい時に，複数の地上局を切り替えることで，通信品質を向上させる技術．
＊18　モビリティサポート：端末が通信のエリアを移動した際に，通信が途切れる前に接続先の基地局を切り替えることで，通信を継続可能とする技術．

での電波伝搬測定の実証実験を実施した［10］．HAPS実機を利用する前の初期実験として，地上から上空約3km先の小型飛行機に搭載した受信装置に向けて，5Gでの高速通信に適したミリ波（39GHz帯），および比較のためミリ波よりも電波が飛びやすい低い周波数（2GHz帯）を利用した電波伝搬を測定した．市街地では建物などの障害物や反射波の影響，山林では地形や樹木の影響，離島では海上からの低い仰角や雲の影響などを測定した．その結果，「さまざまな環境による39GHz帯と2GHz帯の電波の飛びやすさ」や「飛行機の旋回が電波の飛びやすさへ与える影響」などが明らかとなった．

4.1　測定環境と測定項目

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

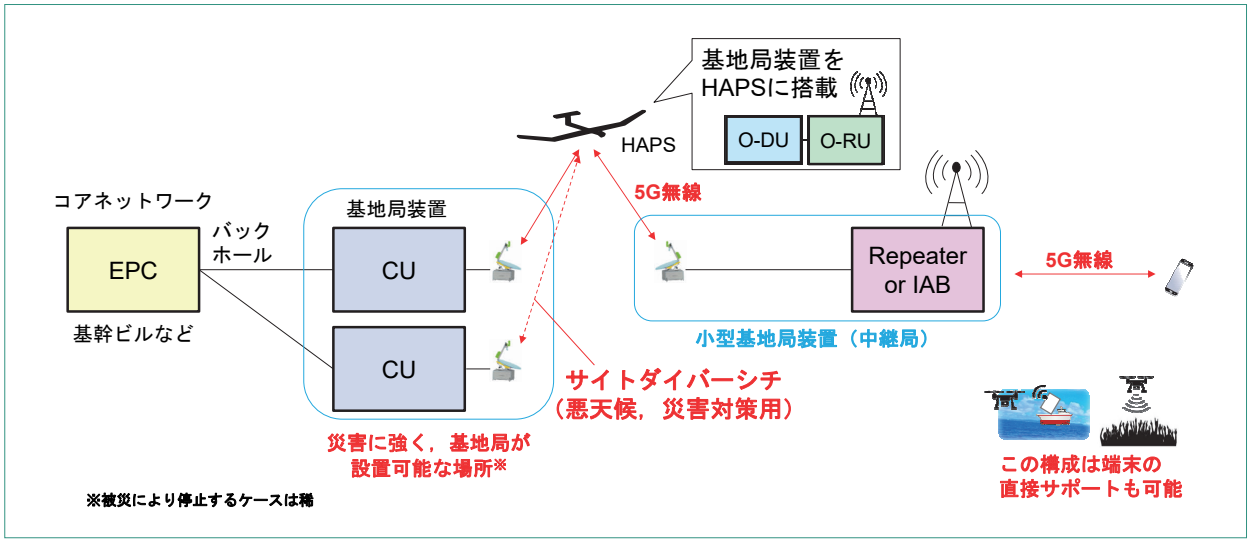


図5　HAPSをバックホールに用いる場合の連携構成例

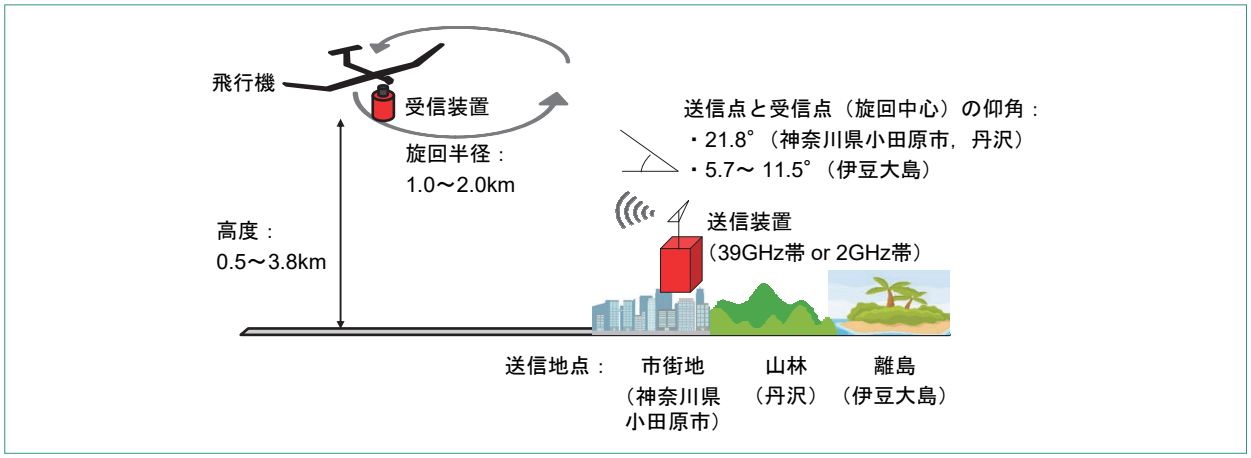


図6　上空伝搬測定の実験イメージ

＊19 スタンドアローン：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し，NR単独で運用する形態．

＊20 周波数共用技術：2つのシステムが同じ場所で同一周波数を利用するときに発生する干渉の影響を抑え，周波数共用を可能とする技術．本稿では，主にHAPSシステムと地上移動通信システム間の周波数共用を想定．

ら見た小型飛行機（受信地点）への仰角は，高度20kmで旋回するHAPSのユースケースと同等になるように決定した．具体的には，市街地と山林のユースケースでは高度20kmに対しカバレッジ半径50kmを想定し（仰角：21.8°），離島のユースケースでは高度20kmに対しカバレッジ半径200kmを想定した（仰角：5.7～11.5°）．また，見通しの環境に加えて，**図7**に示すように各ユースケースにおける建物や樹木などの遮蔽物を挟む形で，受信電力の測定を行った．

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

(a)市街地での実験における建物　(b)山林での実験における樹木

(c)山林での実験における山　(d)離島での実験における雲

図7　さまざまな障害が存在する実験環境

表2　上空伝搬試験における実験装置の主な仕様

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

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

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

4.2 評　価

⑴概　要

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

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

⑵小田原における実験結果

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

表3　上空電波伝搬測定の結果まとめ

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

＊22 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量．
＊23 レドーム：アンテナを保護する囲い．電波を透過しやすい材料で作られている．
＊24 累積分布：確率変数がある値以下をとる確率を表したもの．
＊25 中央値：有限個のデータを昇順（または降順）に並べたとき，中央に位置する値のこと．
＊26 偏波損：電波が空間を伝搬するときの電界の振動方向（偏波）によって，受信アンテナの受信電力に損失が生じること．

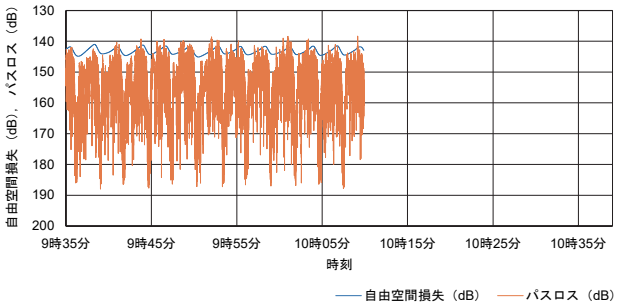


図8　神奈川県小田原市（見通し）／旋回直径2km時における39GHz帯の伝搬損失時系列データ

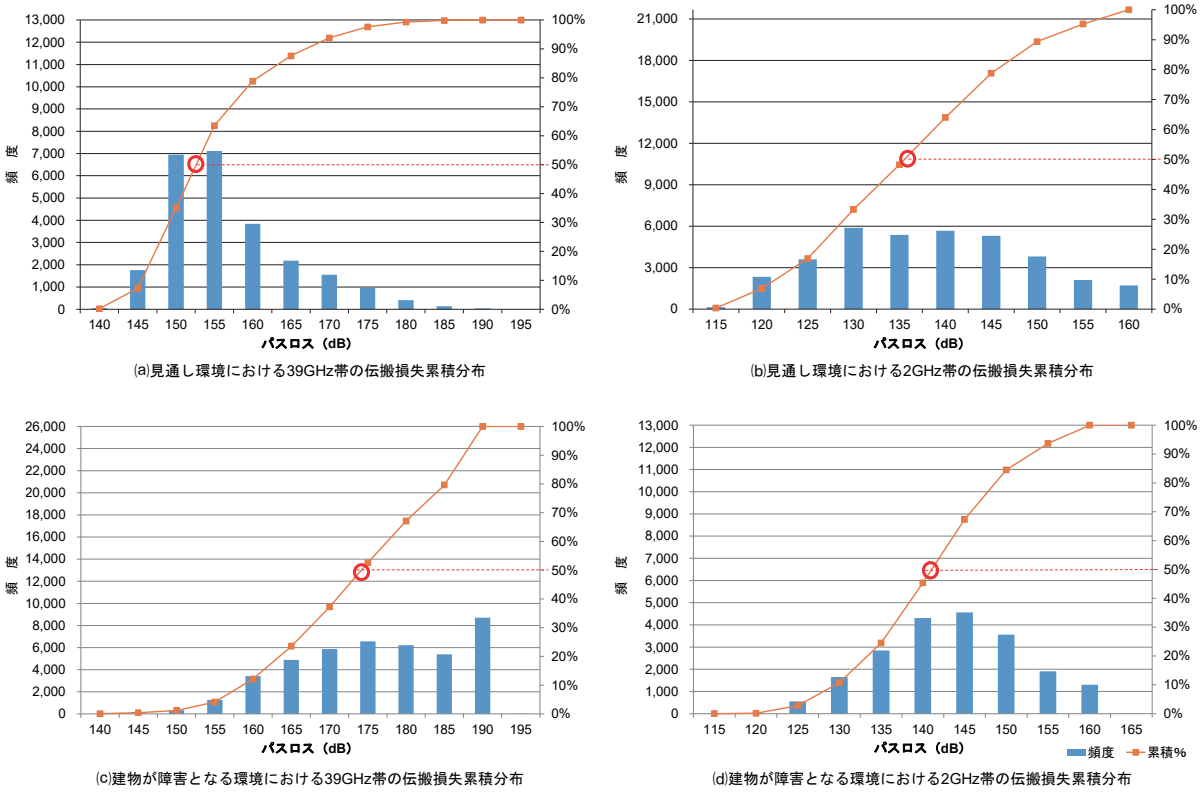


図9　神奈川県小田原市／旋回直径2km時における伝搬損失の累積分布

が考えられる．

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

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

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

5. あとがき

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

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

文　献

[1] NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G，”第3版，Mar. 2021.
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html

[2] 鬼沢 武，立田 努，北 直樹，山下 史洋：“固定無線，衛星通信システムにおける最近の研究開発について，”信学技報RCS2019-32，pp.53-58，May 2019.

[3] J. Bejarano, C. Nieto and F. Piñar：“MF-TDMA Scheduling Algorithm for Multi-Spot Beam Satellite Systems Based on Co-Channel Interference Evaluation,” IEEE Access, vol.7, pp.4391-4399, Dec. 2018.

[4] B. Di, H. Zhang, L. Song, Y. Li and G.Y. Li：“Ultra-dense LEO：integrating terrestrial-satellite networks into 5G and beyond for data offloading,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.18, Issue 1, pp.47-62, Dec. 2018.

[5] HAPS Alliance：“Introducing the HAPS Alliance.”
https://hapsalliance.org/

［6］ 3GPP, RP-193234：“Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN),” Dec. 2019.
［7］ 鈴木 淳，北之園 展，高盛 哲実，森田 靖彦，岸山 祥久，外山 隆行，三浦 龍：“高高度プラットフォーム（HAPS）による5G網と連携した38GHz帯の無線通信システム開発―5G網の高速大容量バックホール回線に係る検討―,” 2021信学総大B-3-1，Mar. 2021.
［8］ 外園 悠貴，岸山 祥久，浅井 孝浩，鈴木 淳，北之園 展：“高高度プラットフォーム（HAPS）による5G網と連携した38GHz帯の無線通信システム開発―HAPSネットワーク構成と制御技術の検討―,” 2021信学総大B-3-2, Mar. 2021.
［9］ ウメシュ，ほか：“O-RANフロントホール仕様概要,” 本誌，Vol.27，No.1，pp.43-55，Apr. 2019.
［10］NTTドコモ報道発表資料：“上空からの通信エリア化に向けた39GHz帯の電波伝搬測定実証実験,” Mar. 2021.

Technology Reports（特集）　デジタルビームフォーミング　基地局連携　屋外伝送実験
5G evolution & 6G特集(1)

5Gの高度化に向けたミリ波帯基地局連携技術による高速移動環境での通信性能向上

6G-IOWN推進部　奥山 達樹（おくやま たつき）　須山 聡（すやま さとし）
野中 信秀（のなか のぶひで）　浅井 孝浩（あさい たかひろ）

現在5Gでは商用サービスが提供されているが，将来の多様な需要に応じるためには，5Gのさらなる高度化が必要である．その検討の一環として，高速で移動する複数端末への広範囲でのミリ波帯高速通信の提供が考えられている．高速移動環境では，複数の基地局を連携させることによる広範囲でのエリア構築が必要である．さらに，複数端末との同時通信を実現するには，各端末に送信した信号がお互いに干渉しないように，干渉を抑圧する必要もある．そこで，デジタル信号処理でビームを生成・制御するデジタルビームフォーミングを基地局に適用することで，端末間の干渉を抑圧しながら複数の基地局を連携させるミリ波帯基地局連携技術を考案し，屋外伝送実験により広範囲において高い通信速度が実現できることを明らかにした．

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）では，6GHz以下の周波数帯や，28GHzといったミリ波*1帯を用いた高速通信の実現が進められている．ミリ波のような高周波数帯の大きな伝搬損失*2を補償するため，Massive MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）*3を用いたビームフォーミング（BF：BeamForming）*4技術が5G無線アクセス技術として研究されてきた．

ドコモでは，3.7，4.5，28GHz帯を用いて5Gの商用サービスを展開している．ここで，28GHz帯は利用可能な帯域幅が3.7，4.5GHz帯よりも広く，高速通信が期待できる一方で，直進性の強さや伝搬損失の大きさから，広いエリアにおいて安定的に高速通信を提供する上では技術的な課題が存在する．しかしながら，今後，5Gのさらなる高度化を図るためには，ミリ波帯の活用が重要である［1］．

本稿では，デジタル信号処理によりBFを行うデ

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

＊1　ミリ波：周波数帯域の区分の1つ．30GHzから300GHzの周波数であり，5Gで使用される28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ．
＊2　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．

ジタルBFを実装した複数の28GHz帯実験用基地局装置を利用し，高速移動する複数の端末に対して，端末間で発生する干渉を抑圧しながら，基地局を連携させることで，広範囲に高速通信を提供できることを屋外伝送実験により実証したので，その実験結果について解説する．

2. デジタルBFによるミリ波帯基地局連携技術を搭載した実験装置の概要

2.1 高速移動環境へのデジタルBFと基地局連携の適用効果

ミリ波帯の活用による，さらなる高速通信の実現に対しては，解決すべき次のような課題がある．

①同時に複数の端末と通信する（マルチユーザMIMOを実現する）ことで，基地局当りの通信速度の向上が期待できるが，端末間で発生する干渉の抑圧が必要となる．

②例えば，時速100kmで高速道路などを移動中の車両内の端末に対して基地局が通信を行うとき，通信を広範囲に提供するためには複数基地局の連携が必要となる．

端末間干渉を抑圧する方法にはさまざまな手法があり，例えば，異なる端末への信号をそれぞれ異なるビームを用いて送信する方法がある．しかし，当然ながらビーム同士の干渉も発生するため，干渉が適切に抑圧されるとは限らない．また，ミリ波帯は伝搬損失が大きいため基地局当りのサービスエリアを拡げにくく，端末が高速移動する環境では，端末がそのエリア内に存在する時間が短くなるため，基地局の切替りが頻発する．

以上のことから，高速移動する複数端末に対して高速通信を提供するためには，端末間干渉を抑圧しつつ，基地局の切替り時においても安定して高速通信を維持していくことが重要である．そこで，本稿では，基地局の機能としてアナログ回路によるBF（以下，アナログBF）を実装するのではなく，デジタルBFをミリ波帯で利用するMassive MIMO実験装置を開発した．

一般的には，アナログBFの動作は，あらかじめ定められたビーム候補から利用するビームを基地局が選択する．そのため，ビーム方向の情報のみがあれば良く，装置構造を簡単化できるというメリットがある一方，電波伝搬状況に最適化されているわけではないという課題がある．

それに対してデジタルBFでは，電波伝搬状況に応じて最適なビーム形状（数や方向）を算出して通信を行う．そのため，通信品質の向上が期待できる一方で，伝搬路情報の推定が必要であり，端末が高速移動する環境では電波伝搬状況の変動が激しく，それへの追従が難しいという課題がある．ただし，デジタルBFでは，デジタル信号処理で実現されるため，ビームの生成・制御において，端末間の干渉抑圧を組み込むことや，複数端末が存在する環境で最適なBFを行うことも可能であり，今後，通信性能を向上していく上では重要な技術である．

また，基地局連携として，デジタルBFのために利用する伝搬路情報から得られる情報（受信電力や送信可能な空間多重数など）を活用し，通信に利用する基地局を瞬時に切り替える，あるいは，複数の基地局から同時に送信するといった制御を行うことで，エリア内での安定的かつ高速な通信が実現できると考えられる．

2.2 デジタルBFの概要

デジタルBFは，アナログBFと異なり，ビームをデジタル信号処理により生成・制御する．アナログBFでは，各アンテナ素子に接続された移相器[*5]と増幅器[*6]を活用し，各アンテナ素子から放射される電波の重ね合せにより特定方向に強い電波の指向性を形成する．ただし，電波の重ね合せであるために，

＊3 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．

＊4 ビームフォーミング（BF）：送信信号に指向性をもたせることで，特定方向の信号電力を増加／低下させる技術．複数のアンテナ素子（RF装置）の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと，ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在する．

ある方向のビーム形状は常に同一となる．一方，デジタルBFでは，基地局と端末間の伝搬路情報を利用し，最も受信電力が高くなるような重み係数を算出し，それを送信する信号にデジタル信号処理で乗算することでビームを形成する．そのため，デジタルBFでは端末が静止していたとしても，端末の周辺環境が変動した場合には，その変動に応じて最適なビームを再形成することができる．また，デジタル信号処理であるため，複数の信号のMIMO多重や，端末間の干渉抑圧も高精度に実現可能である．デジタルBFの干渉抑圧のイメージを**図1**に示す．アナログBFでは，図1(a)のように特定方向にビームを向けた場合，そのビーム形状は常に固定パターンである．そのため，環境によっては端末間で干渉が発生し，その影響が大きい場合には通信性能が大きく劣化する．一方，デジタルBFの場合，周辺環境に応じてビーム形状を適正化できる．図1(b)のイメージでは，端末間の干渉を抑圧できるようなビーム形状を形成することで，干渉抑圧しない場合と比較して通信品質の向上が可能である．

ただし，デジタルBFを実現するためには，基地局と端末間の伝搬路情報を詳細に把握する必要がある．この伝搬路情報は伝搬路行列から推定される．伝搬路行列は，行数が端末のアンテナ素子数（以下，素子数），列数が基地局の素子数である．5Gでは基地局は超多素子アンテナとなるため，膨大なサイズの行列を推定することが求められる．加えて，端末やその周辺環境の時間変動が穏やかであれば，伝搬路情報の推定も可能であると考えられるが，高速移動環境などの時間変動が激しい場合には，推定した時点と実際に信号を送信する時点での伝搬路情報にかい離が生じ，必ずしも最適なビームを形成できるとは限らない．

そこで，推定する行列サイズを縮小しつつデジタルBFの利点を得ることを目的に，多素子アンテナであらかじめ定めた方向に複数のビームを形成しておき，その複数のビームと端末との間の伝搬路情報を推定する技術を採用した［2］．このようにすることで，推定するべき行列のサイズを，端末素子数×基地局素子数から，端末素子数×ビーム数にまで削減することができる．端末素子数×ビーム数の行列を用いてデジタル信号処理を行うことで，全素子を利用する場合からの品質劣化を最小限にしつつ，短時間での伝搬路情報の推定，およびビーム形成・制

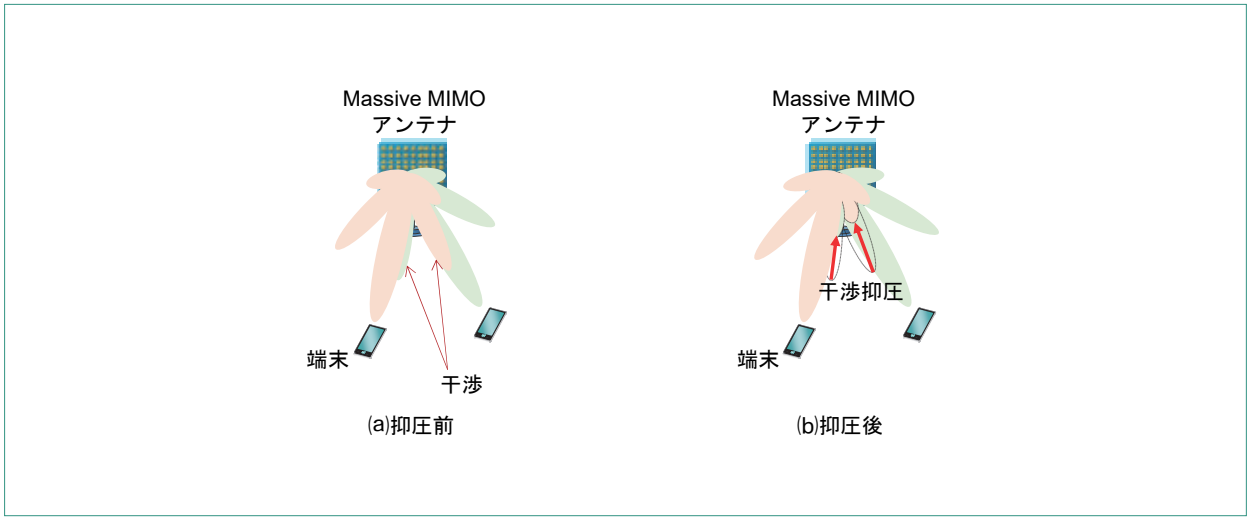


図1　デジタルBFによる干渉抑圧イメージ

＊5　**移相器**：アンテナにおいては，各アンテナ素子に掛けられる位相を変える回路のことを指す．
＊6　**増幅器**：信号を増幅させる回路のことを指す．

御や端末間の干渉抑圧などのデジタル信号処理を可能とし，高速移動環境であってもデジタルBFによる伝送を実現した．

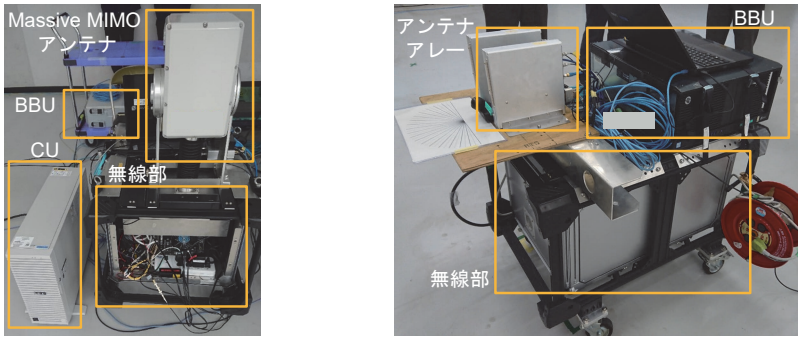
2.3 実験装置の概要

開発した実験装置の基地局と端末の外観を**写真1**に，主要諸元を**表1**に示す．

基地局は，240素子のMassive MIMOアンテナがベースバンドユニット（BBU：BaseBand Unit）*7に接続される．このBBUにおいて，デジタルBFのウェイト計算が行われる．また，集約装置（CU：Central Unit）*8には複数のBBUが接続され，CUが複数基地局の連携における制御機能を担っている．

端末については，縦15素子のアンテナアレー*9を4枚有する．4枚のうち，参照信号*10の送信には2枚のみの30素子を利用するが，受信時には4枚利用することで受信利得を向上させることが可能である．これらのアンテナアレーは無線部*11を経てBBUに接続される．

本実験装置では，端末が定期的に送信する参照信号を活用し，基地局において伝搬路情報を推定する．その推定結果からデジタルBFウェイトの生成を行い，最大で端末当り2ストリームの信号を送信する．端末は，2ストリーム合計で最大705Mbpsのスルー



(a)基地局　　(b)端　末

写真1　実験装置

表1　実験装置諸元

中心周波数	27.6GHz
帯域幅	100MHz （100MHz×1CC）
基地局素子数	240 （垂直15×水平16）
端末素子数	60 （垂直15×水平4） ※送信時は30素子
ストリーム数	2
基地局最大送信電力	27dBm
端末最大送信電力	18dBm
端末最大レート	705Mbps

*7　ベースバンドユニット（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　集約装置（CU）：ベースバンドユニットと接続され，無線リソース制御を行う装置．
*9　アンテナアレー：複数のアンテナ素子やアンテナパネルを並べて配置したアンテナ群．
*10　参照信号：基地局から端末に設定される既知信号．
*11　無線部：フロントホールを介してベースバンドユニットと接続される無線装置．

プットを達成できる．また，端末は，ストリームを受信したらBBUにおいて受信フィルタ*12を計算し，送信された信号を検出してスループットの測定を実施する．

3. ミリ波帯屋外伝送実験の概要と結果

3.1 実験環境

複数端末が高速で移動する屋外環境において，複数基地局を連携させた場合のスループットを評価するための伝送実験を実施した［3］．その実験模様を**写真2**に示す．3台の基地局を利用し，各基地局はトラックの荷台部分に仮設した．また，端末は合計2台を用い，高速移動させるため，1端末をそれぞれ1台の車両に設置した．このとき，基地局と端末のアンテナ高はどちらも2.2mである．

実験構成を**図2**に示す．2台の端末は時速90kmで等速移動し，3台の基地局の横を通過する．3台の基地局はそれぞれ0，200，400mの位置に設置した．このとき，各端末へは2ストリームずつ送信するものとした上で，さらに，各ストリームを異なる基地局から送信する分散MIMO技術を適用した．具体

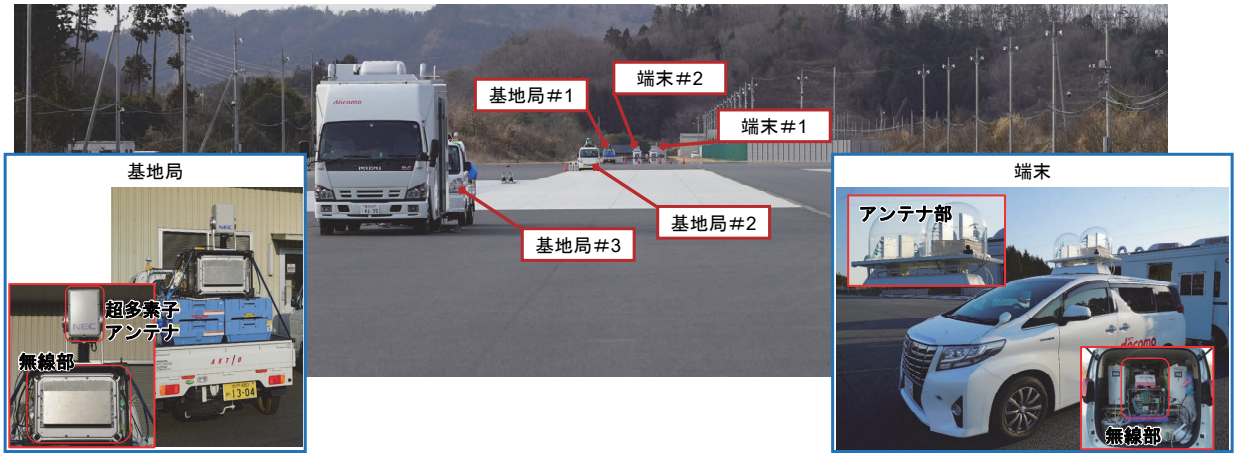


写真2　実験模様

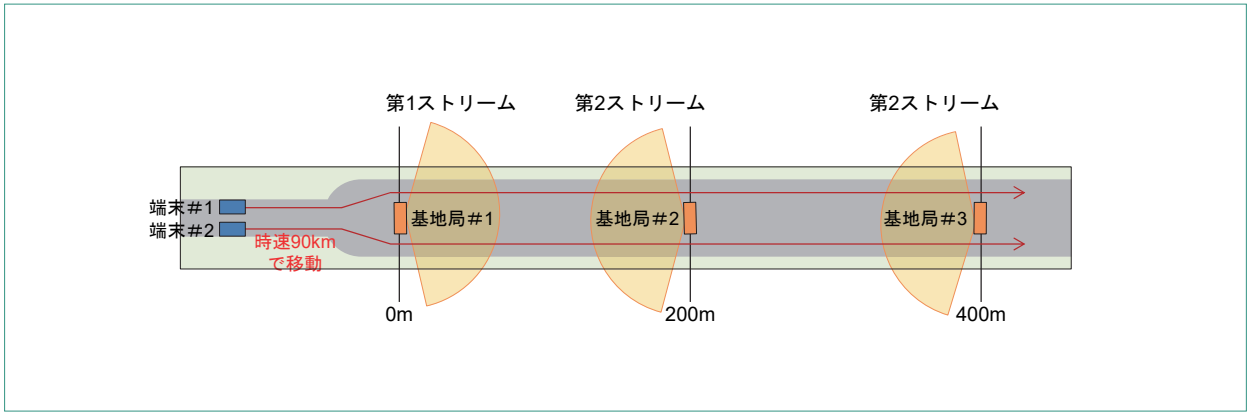


図2　実験構成

*12 受信フィルタ：MIMO通信では，複数アンテナによる送受信により複数ストリームの送信や，所望信号の受信電力向上が可能となる．一方で，複数アンテナの送受信により，複数ストリームの情報は複雑に重なり合った状態で受信されるため，その重なりを緩和し所望信号の推定を行いやすくするために使用されるフィルタのこと．

的には，基地局＃1は常に各端末の第1ストリームを送信するものとし，基地局＃2と基地局＃3は第2ストリームを送信する．このように複数の基地局から異なるストリームを送信することで，各基地局からの伝搬路情報の相関が下げられ，MIMO空間多重されたストリームの分離が容易になる．さらに，基地局連携技術として，基地局＃2と基地局＃3を高速に切り替える，あるいは，基地局＃2と基地局＃3から同時に送信する，という2種類の方法を実装した．本実験では，端末が時速90kmで高速移動したときの下りリンクスループットを評価した．

3.2　実験結果

⑴基地局連携の検証実験

基地局連携の効果を確認するため，図2における基地局＃2を利用しない（基地局連携しない）場合と，すべての基地局を利用する（基地局＃2と基地局＃3が連携する）場合とを比較した．基地局連携の効果のみを見るため，本実験では端末＃2のみを利用し，それを時速90kmで移動させた．また，基地局＃1は第1ストリームを，基地局＃2あるいは基地局＃3は第2ストリームをそれぞれ送信するものとし，基地局連携を行う場合は，基地局＃2と基地局＃3のうち，CUが伝搬路情報から通信品質を向上できると判断した基地局からストリームを送信するものとした．

端末位置が0～400mにおけるスループットを**図3**に示す．同図から，基地局連携を行わない場合，100mの位置で大きくスループットが劣化しているが，基地局連携を行うことで劣化させずに通信できていることが分かる．これは，基地局＃2が200mの位置に設置され，基地局連携（基地局高速切替え）を行ったことで，ある基地局の通信性能が劣化し得る環境や端末位置であっても，異なる基地局からの通信を行えた効果である．このように，基地局連携により，エリア内で広範囲に高速通信を実現できることが確認できた．

⑵2端末多重時の基地局連携（基地局高速切替え）実験

基地局＃2と基地局＃3を通信品質に応じて高速に切り替えた場合の，2端末それぞれの2ストリーム合計のスループットを**図4**に示す．基地局＃2のアンテナアレーは図2の左方向を向いているため，端末は200m付近で基地局＃2から基地局＃3へ切り替え

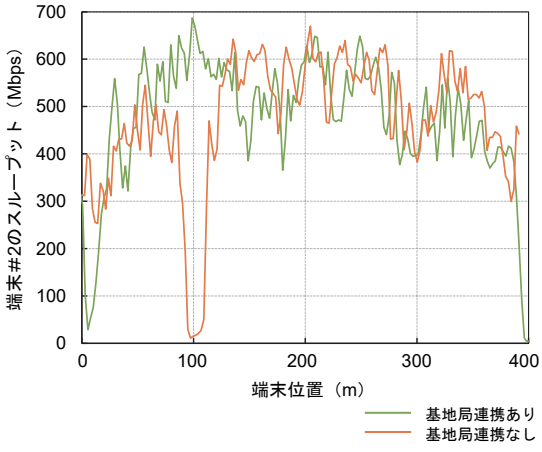


図3　基地局連携の効果

ていると考えられる．そこで，200m付近のスループットを確認すると，端末＃1，端末＃2のどちらの場合も，スループットの大きな劣化は見られず，比較的安定して基地局の切替えが実現できている．

以上の結果から，2台の端末が時速90kmで高速移動する環境であっても，デジタルBFにより端末間干渉を抑圧することで2台の端末との同時通信を実現しつつ，基地局切替えによりエリア内において安定して高いスループットを達成できることが分かる．

(3)2端末多重時の基地局連携（基地局同時送信）実験

基地局＃2と基地局＃3を同時送信させた場合のスループットを**図5**に示す．基本的な条件は図4と同じであるが，第2ストリームの送信に関して，基地局＃2と基地局＃3が同時に同一信号を送信しているため，端末での受信電力の向上が期待できる．

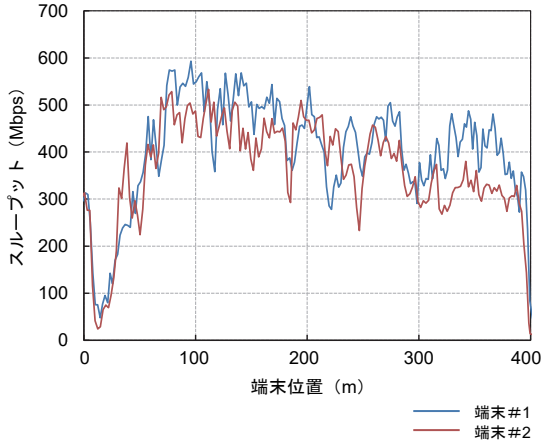


図4　時速90kmでの基地局高速切替え時のユーザスループット

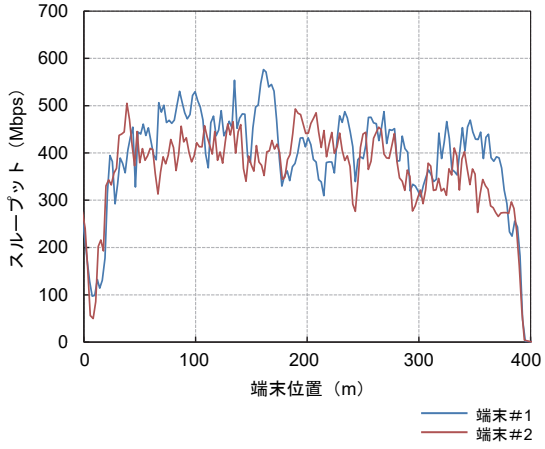


図5　時速90kmでの基地局同時送信時のユーザスループット

結果から，0～200mの範囲のスループットでは，同時送信は問題なく動作していることが確認できる．さらに，図4の場合と比較すると，例えば0～50m付近にかけてスループットが多少ではあるものの向上していることが確認できる．これは，同時送信により受信電力が向上するとともに，周辺環境によって一方の基地局からの信号の通信品質が劣化したとしても，他方の基地局からの信号が存在するため，全体としての通信品質の劣化を抑えられたものと考えられる．ただし，50mから200mの位置では，図5のスループットは必ずしも図4のスループットよりも高い値を維持していない．これは，本環境では見通し波が支配的ということもあり，基地局＃2と基地局＃3の信号が重畳されている電波が，互いに打ち消し合うような位置となることもあるためである．しかしながら，同時送信により高速移動環境でのスループットを安定化できていると考えられる．

以上の実験結果から，基地局連携として同時送信させる場合の有効性が実証された．

4. あとがき

本稿では，5Gのさらなる高度化に向けて，ミリ波帯でのデジタルBFの適用により複数端末間の干渉抑圧を行いつつ，基地局連携技術の適用により広範囲で安定したスループットの提供を目指した研究開発について解説した．デジタルBFによる基地局連携技術を実装したミリ波帯実験装置を開発し，屋外伝送実験により，時速90kmで高速移動する2台の端末間の干渉を抑圧しつつ，3台の基地局を利用し，基地局間の高速切替え，あるいは，基地局の同時送信を行う基地局連携技術により，広い範囲で安定して高いスループットを提供できることを明らかにした．今後は，さまざまな基地局の設置方法での基地局連携技術の効果を検証していく予定である．

本稿には，総務省からの委託を受けて実施した「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」の成果の一部が含まれている．

文　献

[1] NTTドコモ：“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

[2] S. Yoshioka, S. Suyama, T. Okuyama, J. Mashino and Y. Okumura：“Digital Beamforming Algorithm for 5G Low-SHF Band Massive MIMO,” IEICE Trans. on Commun., Vol.E102-B, No.8, pp.1371-1381, Aug. 2019.

[3] NTTドコモ：“時速90km以上の高速で走行する複数の車両に搭載した通信端末でミリ波を用いて安定的な高速5G通信実験に成功,” May 2021. https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210330_00.pdf
（実験動画URL：https://youtu.be/q86dRrs0rSw）

Technology Reports

アジャイル　リモートワーク　アプリ開発

アジャイルアプリ開発体制の効率的なリモートワーク環境への移行事例

移動機開発部　福囿 貴嗣　大貫 詠子
若山 希樹

アジャイル開発においては，メンバが同一拠点に集合し作業を行うことが一般的であるが，新型コロナウイルス感染拡大を回避するため，リモートワークを取り入れた開発体制が必要となる．そこで効率を落とさず開発を行うために，ドコモでは，Webタスク管理・自動化ツールやWeb会議など関連ツールを組み合わせてリモートワークを行うようにした．これにより，品質を保ちかつコロナ禍以前と変わらない短周期でのリリースを可能とした．

1. まえがき

ドコモテレビターミナルは，ドコモが販売しているテレビ向けデバイスである．TVに接続することでひかりTV for docomoをはじめとしたさまざまな映像サービスを視聴可能である．

ドコモテレビターミナルアプリは，ドコモテレビターミナルを操作するスマートフォン用のアプリであり，ドコモテレビターミナルのリモコン操作や録画コンテンツの持出しなど数多くの機能がある．また，ドコモテレビターミナルアプリは，市場環境の変化に合わせて次々とバージョンアップする動画サービスに対応するため，優先度をつけ必要な機能から短周期に開発を行うアジャイル方式での開発が有効である．

アジャイル開発では，短周期な開発を行うため，コミュニケーションを密にとれる環境が必要であり，同一拠点で開発を行うことが一般的である．ドコモテレビターミナルアプリにおいても開発チームを1拠点に集め，コミュニケーションが密にとれる環境で開発を行ってきた．

ところが，首都圏において新型コロナウイルス感染者が増加したため，アジャイル開発チーム内における新型コロナウイルス感染のリスクを踏まえ，2020年2月から開発ツールやコミュニケーション手段などの整備を実施した上で，原則開発メンバはリモートワークにて開発を行うこととした．

本稿では，ドコモテレビターミナルアプリのア

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

ジャイル開発の実践事例，および開発のリモート化に伴う工夫点について解説する．

2. アジャイル開発概要

2.1 アジャイル開発のフレームワーク

アジャイル開発とは，短期間で開発を繰り返すソフトウェア開発手法の総体であり，アジャイル開発で名声のある人たちが「アジャイルソフトウェア開発宣言」という形で，アジャイルソフトウェア開発に共通する価値観と行動原則を宣言したことが始まりである［1］．

アジャイル開発は，短期間での開発を繰り返して進めていくため，ウォーターフォール開発*1に比べ変化に強いという特長があり，市場のユーザニーズの変化にいち早く柔軟に対応できる．

アジャイル開発には，スクラムやエクストリーム・プログラミング*2，カンバン*3などのさまざまなフレームワークがあり，我々のプロジェクトではその中でも軽量で理解しやすい（が，習得はなかなか難しい）スクラムというフレームワークを採用し開発を進めてきた．

スクラムは，「スクラムガイド」に理論や定義が記載されており［2］，適宜内容の改定が行われている．スクラムは，チームが正しく進捗しているか確認する「検査」，検査の結果プロセスの改善を行う「適応」，現在の状況や問題点などがすべて見える化されている「透明性」の3つを原則とし，3つのロール，5つのイベント，3つの成果物が定義されている．

2.2 スクラムのプロセス概要

(1)スクラムにおける3つのロール（**図1**）

①プロダクトオーナー（PO：Product Owner）：スクラムチームから生み出されるプロダクトの

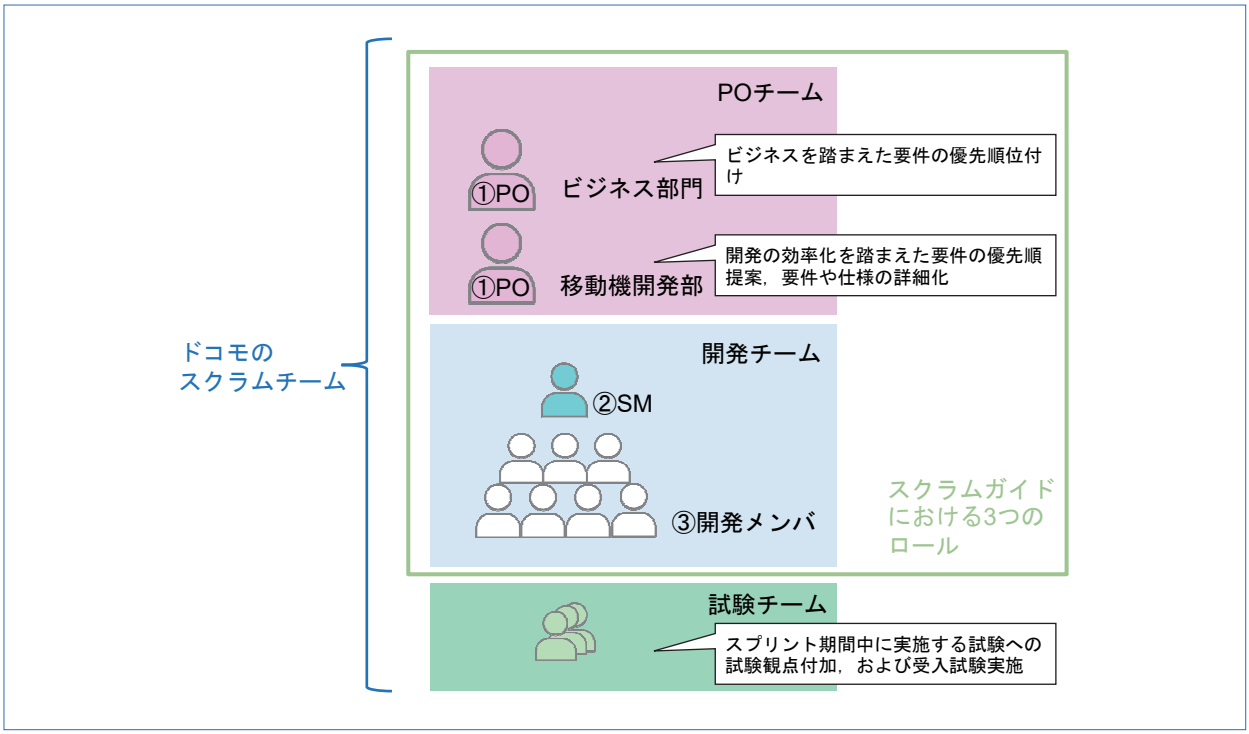


図1　体制図

＊1　ウォーターフォール開発：要件定義，設計，実装，評価を工程ごとに順序立てて実施していく開発手法．

＊2　エクストリーム・プログラミング：アジャイルソフトウェア開発手法の一種で，効率的に開発を行うための経験則を極端（エクストリーム）なまでに実践する手法．

＊3　カンバン：アジャイルソフトウェア開発手法の一種で，作業項目を「かんばん」というリストで可視化することで，作業を継続的に実施・改善する手法．

価値を最大化することに責任をもつ．プロダクトの責任者であり，プロダクト全体の機能ごとの要件を記載したプロダクトバックログを作成し，優先順位付けを行う．

②スクラムマスター（SM：Scrum Master）：スクラムの理解と実践を推進し，プロセスがうまく回るようにすることに責任をもつ．チームの進捗を妨げるものを排除したり，チームが改善できるよう手伝ったりすることで自己管理型および機能横断型のチームに導き，スクラムチームが有効に機能するように取り計らう．

③開発メンバ：開発メンバはプロダクトの実現者であり，上下関係はない．全員が揃うことでプロダクト作成能力が満たされる．POと合意したプロダクトバックログ項目を完成させるよう最大限努力し，常に改善をする責任をもつ．

⑵スクラムにおける5つのイベント

①デイリースクラム：開発チームの状況を3つの質問（昨日やったこと，今日やること，困っていること）で毎日検査する場．最長15分で延長無し．

②スプリント[*4]レビュー：開発チームのスプリント成果物（アプリ）をPOが確認する場．関連のあるステークホルダにも披露する．その後，フィードバックをもらい，見直すこともある．

③スプリントプランニング：計画会議とも呼ばれ，そのスプリントでの開発計画を立てる．POがプロダクトバックログのWhat，Whyを話し，開発チームがHowを話す．また，開発チームはこのスプリントで，プロダクトバックログの要件をどの程度達成できそうかを話す．

④スプリントレトロスペクティブ：振返りとも呼ばれ，さらにうまく仕事を進められるように改善を繰り返すためのイベントである．そのスプリントでうまくいったこと，今後の改善点を整理する．バグを直すのではなく，バグが生まれるプロセスを直す．我々のプロジェクトでは，KPT法[*5]を利用し，メンバへこの後のスプリントで継続すること，改善することの共有・合意を行っている．

⑤バックログリファインメント[*6]：次回以降のスプリントに向け，プロダクトバックログの手入れをする．

⑶スクラムにおける3つの成果物

①プロダクトバックログ：プロダクト全体の機能ごとの要件を記載したもの，いわゆる欲しいものリストのことである．価値の高い機能から優先順位をつけて並べ，リストの上位から順に開発する．優先順位は常に更新し，最新のものにする必要がある．

②スプリントバックログ：プロダクトバックログを具体的なタスクに分割したものである．

③スプリント成果物：スプリント単位で開発チームが作成したものであり，リリース判断が可能な成果物である．アプリ開発では，動くアプリとドキュメントにあたる．

2.3 本プロジェクトの体制

我々のプロジェクトでは，ビジネス部門および移動機開発部がPOチームとしてスクラム開発を進めている．開発の効率化を踏まえた優先順位の提案を移動機開発部が行い，最終的にビジネスを踏まえた優先順位付けをビジネス部門が実施するという役割分担となっている．また，開発委託先のメンバでSMおよび開発チームを，試験委託先のメンバで試験チームを構成した（図1）．

3. 短周期リリースに向けた工夫

3.1 要件定義フェーズ

⑴開発優先順位付け

ビジネス部門は開発要望に対してビジネス優先度

＊4 スプリント：短く区切られた開発期間のことで，スクラムガイドでは1カ月以内に制限されている．

＊5 KPT法：プロジェクトの進め方に対して振返りを行うフレームワーク．スプリント期間中の取組みや進め方に対して「Keep（良かったこと）」「Problem（課題）」「Try（Problemに対する改善策）」を挙げて振返りを行う．

＊6 バックログリファインメント：スクラムで定義されているイベントの1つ．次回以降のスプリントに向け，プロダクトバックログの手入れをする．

を付与し，優先度の高い開発要望から順に移動機開発部と開発チームで要件の詳細分割を行う．詳細分割した要件をビジネス部門にフィードバックし，開発優先順位の決定を行う．

①ビジネス優先度付与

開発要望の各項目について，ビジネス部門は優先度，およびビジネスにどのような効果をもたらす開発要望なのかを，移動機開発部と開発チームに対して説明する．そうすることで，チーム全体で目的の共通認識をもつことができ，この後の工程で移動機開発部と開発チームが，適切に要件の詳細分割や開発優先度付けを行うことが可能となる．

②要件の詳細分割

ビジネス部門が付与した優先度の高い開発要望から順に移動機開発部と開発チームで要件の詳細化を行い，機能をさらに分割していく．移動機開発部はビジネス効果と開発規模，開発効率から判断して，分割した詳細機能に開発優先順位を付与する．分割した詳細機能と開発優先順位をビジネス部門にフィードバックし，最終的な開発優先順位の決定をビジネス部門が行う．

⑵一気通貫でのチケット[*7]管理

POチームから開発チームまですべてのメンバに対して，効率的にチケットを更新・共有する取組みを行った（**図2**）．チケット管理ツールに要件（What，Why）を親課題としてPOチームが記載した後，開発チームがどのように実現するかという作業内容（How）を詳細化して子課題として記載する．さらにソースコードレビューツール上で，どのように実装するかの議論を実施し，チケット管理ツールと連携することで，ソースコードの変更箇所がどの要件のどの作業によるものかを一気通貫で管理・把握できるようになった．

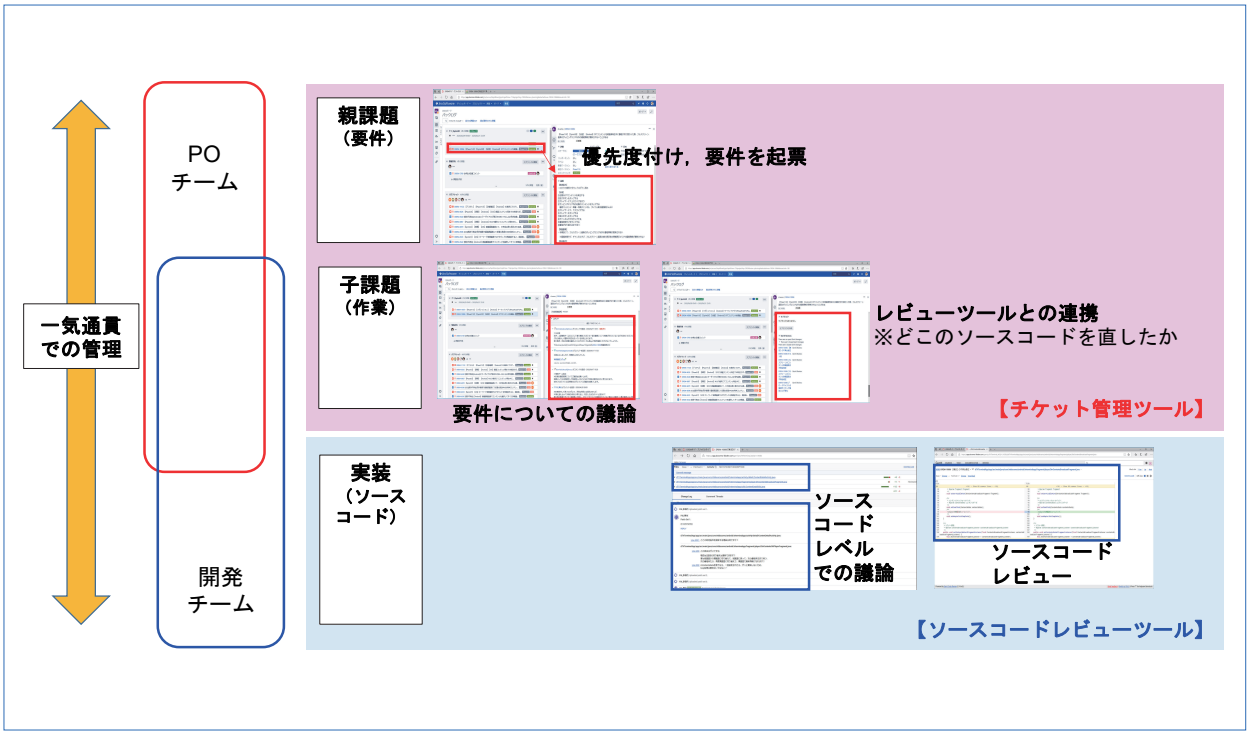


図2　一気通貫でのチケット管理

＊7　チケット：開発プロジェクトで発生した作業や課題などのタスク．

結果として，要件・作業・ソースコードの修正箇所における認識違いや漏れが起こりづらくなり．手戻りが減少した．

①要　件

要件の段階では，チケット管理ツールになるべく詳細に内容を記載するだけではなく，なぜその開発要望が出されているのか，という背景や目的についても注力してPOチームが記載を行うこととした．結果として具体的な作業に開発チームが落とし込む際に，各自がビジネス的な目線も踏まえた設計の検討が能動的に実施できるような環境が整えられた．

②作業内容

親課題を要件とし，開発チームが要件を踏まえた上で，ソフトウェアの実装に必要な作業内容を子課題として記載する．要件と作業内容とをリンクさせることで実装内容に漏れがないことを担保した．

さらに，作業内容とソースコードレビューツールとを連携させることでソースコードの修正箇所とマッピング，あとから振り返った際に経緯を把握することを可能とした．

③テキストチャットツールでの補完

軽微なQ＆Aなどについてはチケット化を行わず，テキストチャットツールでQ＆Aを実施する．テキストチャットツールは，メールやチケットツールと比較してあいさつ文などは不要であり，内容の分類などを厳密に行わずとも質問可能という特長がある．そのため，記載時間などのコミュニケーションコストが削減され，また詳細について決まっていない段階でもチャットを続けるうちに内容が固まってくるという効果もあり，チケット化する前の意識合せやチケット内容の詳細化などで利用している．

3.2　開発フェーズ

開発フェーズにおいては，個々の作業用端末に開発に必要なドキュメントやソースコードなどの情報を分散させず，クラウド上に情報を集中させ，メンバに共有できる仕組みを構築した．また，ビルド後の署名付与など連続して実行が必要なツールと連携して，ビルドを定期的に自動実行できるようにした．

⑴開発ツールのクラウド化

①ソースコードのクラウド管理

ソースコードについてはクラウド上に保管を行い，各自の作業用端末からロケーションを問わず容易にアクセスできるようにすることで，同じソースコードを開発チーム全員で共有できるようにした．また，商用ブランチ*8や開発ブランチを明示的に表示することで，リグレッション*9などを防ぐ工夫を行った．

②レビュー回覧ツール

ソースコードについて，開発チーム有識者でレビューを行うが，広くチーム内の意見が確認できるように誰が回覧し，どこを指摘し修正したかのログが追えるようなツールを導入した．これにより修正箇所の漏れをなくし，またレビューの進捗をチーム内で十分に管理できるようになった．

③ソースコード解析や難読化*10

ビルド*11前にソースコードの静的な構文解析*12を実施しているが，各自の作業用端末で実施すると結果が共有されない．そこで，解析結果をクラウド上に表示し各人が確認するフローとすることで結果の横展開がされるようになった．

また，リバースエンジニアリング*13による解析を避けるために商用提供前にアプリを難読化しているが，難読化漏れが発生しないよう，クラウド上のツールで難読化を施し，結果をログとしてサーバに残すことで，難読化実行状況

*8　ブランチ：バージョン管理を行う際に，マスターとする履歴から分岐して記録すること．例えば，商用提供されているバージョンを商用ブランチ，まだ商用提供されておらず開発中のバージョンを開発ブランチなどと称する．

*9　リグレッション：ソフトウェアをバージョンアップした際に，性能が低下したり，機能などが改悪されたりすること．主に過去の不具合が復活することで生じる．

*10　難読化：悪意のあるユーザによるアプリの解読や改ざんが困難となるよう，ソースコードに対しプログラムの動作を変えずに人間に理解しづらい加工を行うこと．

*11　ビルド：ソースコードを基に，端末上で実行可能なファイルや配布パッケージを作成する処理や操作．

が開発チームメンバで共有できるようになった．

⑵ツールの自動化

①ビルドの自動実行

一般的には開発チームメンバが，必要に応じて個々にアプリをビルドすることが多いが，その場合，メンバによって検証を行うバージョンが異なってしまうなどの課題がある．そのため，システム上で定期的（具体的には1日1回夜間）に自動でビルドを実行し，そのアプリを最新版として翌日作業を行うというルールを導入した．チーム全体が最新版のアプリを共有することができ，古いアプリで検証作業を進めることによるリグレッションの発生も無くなった．また，変更箇所の履歴をサーバ上のログとして残し，共有することで，ソースコード変更の気付きを開発チーム全体に与えるとともに，変更箇所の見逃しが減少した．

②署名自動化

ドコモがサービスを提供しているアプリであることをユーザに明示するために，アプリに対して署名を付与している．今までは開発チームがビルドしたアプリを，移動機開発部が署名付与サーバにアップロードし，署名付与を実施していた．しかし，開発チームとのファイルの受渡しなどの手間をなくし迅速に開発を行うために，クラウド上に商用ブランチとして保管されているソースコードのビルドを移動機開発部が実施するようにした．さらに，ビルドを実施した後，自動で署名付与サーバにアプリを送信して署名をアプリに付与するスクリプト＊14を作成することで，手動での署名付与作業を削減した．

3.3 試験フェーズ

従来は，すべての要件の開発が完了した最終スプリント後に，受入試験としてすべての要件の動作確認を行い，マーケットリリース判断を行っていた．そのため，受入試験にかかる時間が長く，開発終盤で検出する不具合が多く存在した．このやり方では手戻りが発生し，マーケットリリースまでに不具合修正の時間がかかってしまい，短周期リリースは実現できない．

そこで，不具合をなるべく早い開発段階で検出できるように，受入試験でまとめて実施していた一部の試験を，スプリント期間中の前工程で実施することとした．

⑴ユーザシナリオ試験

図3(a)に示すとおり，試験フェーズ改善前は全機能実装が完了した最終スプリント後にまとめてユーザシナリオ試験を実施していたため，試験にかかる時間が長く，開発終盤に不具合が多く検出されていた．そこで，スプリントごとに，開発した要件のユーザシナリオ試験を実施する方針に変更した（図3(b)）．その結果，開発の早い段階で不具合を検出し，修正することが可能となった．また，全機能実装後の要件確認を探索的試験＊15に変更することで試験にかかる時間の短縮が可能となった．

⑵リグレッション試験

リグレッション試験もユーザシナリオ試験同様に，試験フェーズ改善前は全機能実装が完了した最終スプリント後に試験を開始していたことで，開発終盤にて不具合が検出されている状況だった（図3(a)）．

そこで，各スプリント完了時に成果物に対してリグレッション試験を実施する方針に変更した．試験工数を考慮して，リグレッション試験については試験の自動化も併せて行った．その結果，開発の早い段階で不具合を検出し，修正することが可能となり，開発終盤で不具合を検出することはほとんどなくなった（図3(b)）．

⑶効　果

各スプリント完了時に，成果物が市場品質レベルまで上がっていることを確認済みのため，全機能実

＊12 構文解析：ソースコードを解析して，ルールや文法に違反している箇所を発見すること．

＊13 リバースエンジニアリング：ソフトウェアの動作を観察したりソースコードを解析したりすることで，当該アプリケーションの技術情報を調査し明らかにすること．

＊14 スクリプト：単純な処理を行うプログラムを記述するための，簡易プログラミング言語をスクリプト言語といい，そのスクリプト言語で記述されたプログラムをスクリプトと呼ぶ．

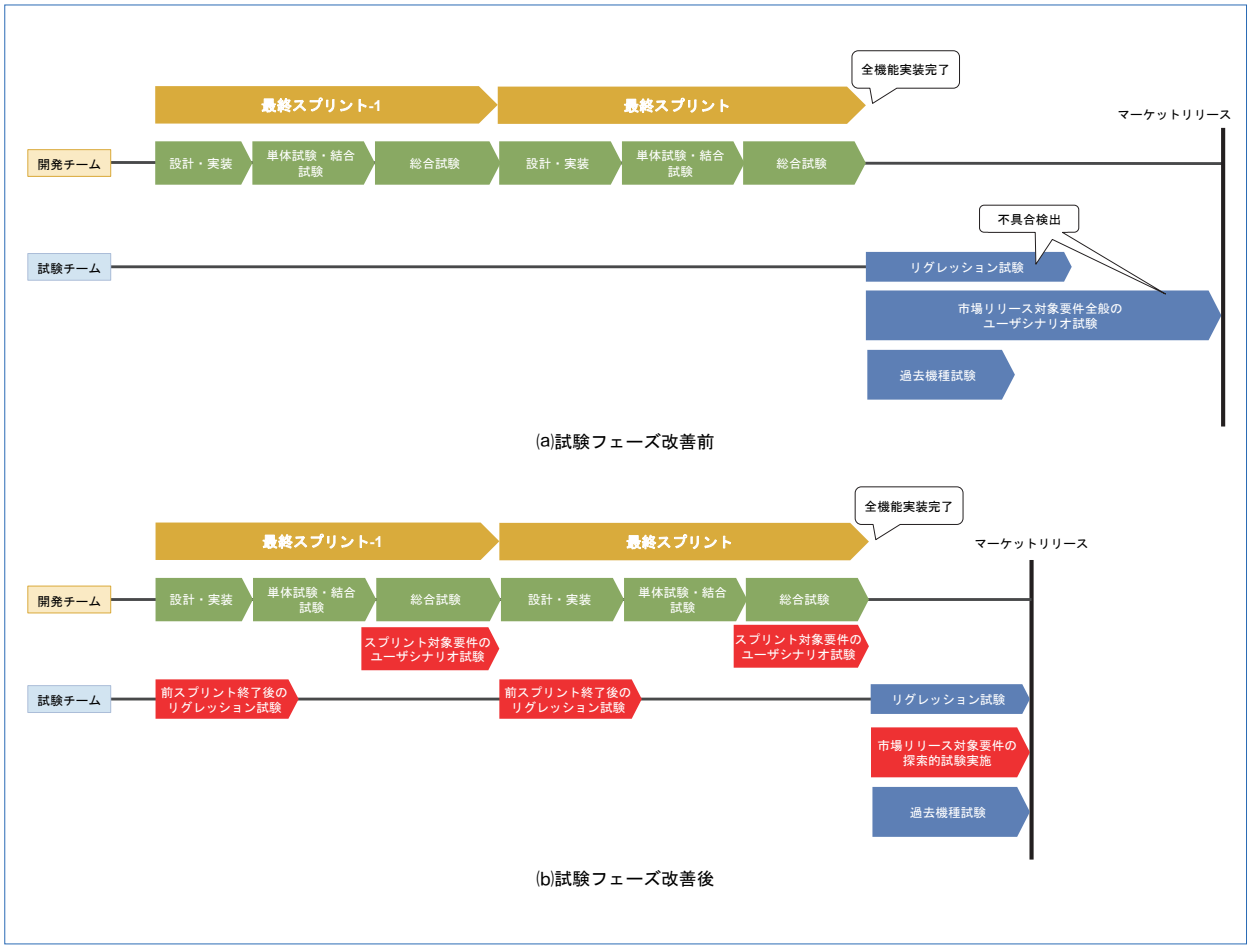


図3　試験フェーズ改善による試験時間短縮

装完了後は，マーケットリリース前の最終品質確認として最低限の動作確認のみ実施した．以前は，全機能実装後の試験に平均1カ月程度かかっていたが，3営業日程度まで短縮できた．

4. 開発のリモート化に伴う変化

4.1　概　要

アジャイル開発チームで新型コロナウイルスの集団感染が発生するリスクを考慮し，リモートワークでの開発に移行した．その際，各種スクラムイベントも対面前提からリモート開発に適した手法に変更した．コミュニケーションやセキュリティなどリモートワーク特有の課題もあったが，生産性を落とさない工夫を行うことで円滑な移行を可能とした．

4.2　リモートワーク移行事例

⑴各種スクラムイベント

①デイリースクラム

リモートワーク移行前は，全メンバがチケット管理ツールを表示した大画面モニターの前に集合し，各メンバの進捗を確認していた．リモートワーク移行後はWeb会議システムを導入し，チケット管理ツールを画面共有しながら

＊15 **探索的試験**：事前にテストケースを作成するのではなく，ソフトウェアの振舞いやテスト結果を確認しながら試験を実行する手法．事前の試験設計やパターン網羅的な試験を行わないため，従来の記述式試験と比べてスピーディに実施でき，アジャイル開発との相性がよい．

各メンバの進捗を確認することで，リモートワーク移行前と同様にデイリースクラムが運用できるようにした．

②スプリントプランニング，スプリントレトロスペクティブ

この2つのイベントについては，メンバ同士の議論が多いスクラムイベントのため，顔を見せた状態でWeb会議を実施している．リモートワーク移行初期の頃は顔を見せない状態でWeb会議を実施していたが，お互いの反応や考えが音声だけでは読み取れないことから，不安感やモチベーションへの影響もあり，段々と活発な議論ができなくなってきていた．

そこで，原則顔を見せた状態でWeb会議に参加することをルール化した．お互いに顔を見せ合うことで，音声以外の情報である表情，ジェスチャー，視線などから視覚的な付加情報を得ることができる．その結果，リモートワーク移行前と同程度まで活発な議論ができるようになった．

スプリントレトロスペクティブについては，リモートワーク移行前は付箋と模造紙を使いながらKPT法を実施していた．リモートワーク移行後は物理的なツールが利用できないため，スプレッドシート＊16を代用することで，リモートワーク移行前と同様にスプリントレトロスペクティブが運用できている．また，スプレッドシートを利用することの副次的効果として，電子化されているため過去経緯の確認が容易となった．

③スプリントレビュー

リモートワーク移行前においては，スプリントレビューの場で実機を使った動作確認を行い，その場でPOチームが受入判断を行っていた．一方，リモートワーク移行後ではテスト配信ツールを使ってスプリント成果物であるアプリを配信し，各自が自宅で実機にアプリをダウンロードして動作確認ができるようにしている．また，デモ動画を準備し，スプリントレビュー内で流すことでメンバ間の認識齟齬が起こらないように工夫している．

これらの取組みによって，リモートワーク移行前と同様に，スプリントレビューの場でPOチームが受入判断を行うことが可能となっている．

④バックログリファインメント

リモートワーク移行前は対面で実施していたバックログリファインメントについても，リモートワーク移行後はWeb会議システムを導入することで，移行前と同様に運用ができている．

(2)その他

①スクラムイベント外のコミュニケーション

ボイスチャット機能を有するツールを利用することで，勤務時間中はチーム全員が常時音声接続状態にしている．そうすることで，少しの疑問点が発生した場合にも気軽に声がけができ，リモートワーク移行前の同一拠点のときに近い状態のコミュニケーションが可能となる．

また，音声以外のリアルタイムコミュニケーション方法として，テキストチャットも利用している．操作手順や不具合原因など複雑な説明が必要な際には，音声コミュニケーションの補助ツールとしてテキストチャットを利用するとコミュニケーションが円滑に進む．リモートワーク移行前ではホワイトボードを使いながら意識合わせをしていたが，リモートワーク移行後ではテキストチャットを代用している．

②ワークショップ

これまで，定期的に開発に関する課題を各グループに分かれてディスカッションし，それを開発にフィードバックするというようなワークショップを開催することで，メンバの関係性を

＊16 スプレッドシート：Webアプリケーションの一種．複数人による同時編集ができ，リアルタイムで誰がシートのどの部分を編集しているか分かるため，付箋や模造紙の代用として効率的に作業が可能．

深め，自己組織化[*17]を進めてきた．リモートワーク移行後は対面での開催が難しくなったため，拠点開発時に培った関係性がリモートワーク移行後も活かされて，忌憚なく意見を言い合えるような雰囲気を醸成することにより，リモートワーク下でも生産性を維持することに繋がっている．

今後，メンバの入替えが発生した場合も引き続き関係性を維持できるように，リモートワークでのワークショップ開催も検討している．

③セキュリティ

リモートワークでの開発をする上で，重要となるのが情報セキュリティのリスクである．拠点に集合して開発していた際には，その居室に入るためにIDカードが必要で，プロジェクトに関係のない人は出入りができない環境であったが，在宅の場合，家族などこのプロジェクトに関係しない人も出入りできる可能性のある環境で開発を実施することとなる．物理的な対策も同様だが，一定のルールを設け，開発チームのメンバがそのルールを確実に守っていくことが重要になる．総務省から出ているテレワークセキュリティガイドラインでは，「ルール」「人」「技術」のバランスが取れた対策の実施が推奨されている［3］．我々のプロジェクトでも，早期から開発チームと連携し，以下のとおり情報セキュリティリスクへの対策を検討してきた．

(a)セキュリティ運用ルールの策定

運用ルールの策定にあたっては，本プロジェクトに携わる各社のセキュリティ部門が設定しているガイドラインの内容を参考にまとめた．

具体的には，隔離された個室などセキュリティの保たれた環境で作業を行うことや，必ず貸与されたPCを使用し，個人のPCの使用は禁止とすること，フリーソフトのインストール禁止，宅外への持出し禁止などである．

これらの運用ルールを1項目ごとにチェックリスト化した．最初にチーム全体で読合せを行い，その後は月に1回，各自にチェックしてもらうことで，個人への意識付けを定期的に行うとともに，適切に運用されていることを確認している．

(b)ソースコードとドキュメントの管理

ソースコードはクラウド上に保管している．クラウド上の開発環境へは，個人に割り振られたIDとパスワード，そしてクライアント証明書での認証をした上で，VPN（Virtual Private Network）接続[*18]でのアクセスとすることで，セキュリティを保つことができている．

仕様書や設計書などのドキュメントについては，開発ベンダ拠点のサーバに格納し，その拠点のPCを自宅から遠隔操作するリモートデスクトップ方式を利用してサーバの情報を閲覧，編集するルールとし，自宅への物理的な持出しを禁止した．

(c)デバイスの管理

リモートワークでの開発にあたり，個人で購入したPCの使用を禁じ，会社から貸与されたPCを利用するよう決定した．また，本アプリの開発においては，各種スマートフォン・タブレットなどによる動作確認が必要になる．そのため，スマートフォンなどのアプリの確認用のデバイスも各自持ち帰ることが必要であった．これらのデバイスの管理としては，適切に運用されているかのチェックのため，毎朝ビデオ通話でPCおよびデバイスの所在と電源が入るか，などの目視チェックを実施している．これにより，紛失・故障リスクの低減，また万が一，紛失・故障をしたときに迅速な対応ができる．

＊17 自己組織化：チームにマネージャーを置かず，メンバが自律的にプロジェクトを運営すること．メンバが自ら計画を立て，日々の進捗を共有し，課題を解決していく．

＊18 VPN接続：インターネットなどの公衆回線網上で，認証技術や暗号化などの技術を利用し，保護された仮想的な専用線環境を利用し接続する方法．

5. アジャイルリモートワーク化における生産性と品質

5.1 生産性

拠点に集合して開発していたときと，リモートワークへ移行してからのチームの生産性について，検証した．

⑴ベロシティ推移

スクラム開発では，スクラムチームがスプリント中に完了する平均作業量をストーリーポイントで相対的に表したベロシティという数値がある．ベロシティは，次のスプリントでどのくらいの作業（チケット）が完了できそうか検討する際の参考値としたり，チームの成長度合いを把握したりするために利用される．

ドコモテレビターミナルアプリの開発チームにおけるベロシティおよび，1人当りの対応ストーリーポイントの推移を**図4**に示す．本プロジェクトではリモートワークへの移行と同時期に開発チームの人数に変更があったため，チーム全体のベロシティではなく，1人当りの対応ストーリーポイントにてリモート化前後の推移を確認した．リモートワークへの切替直後は一時的に落ちこんだがその後は回復し，リモート化前と同水準で推移しており，チームとしての生産性を落とさずに稼働できていたことが分かる．

生産性を落とさずに稼働することができたため，アプリのリリース日程やリリース頻度への影響もなかった．

⑵幸福度推移

幸福度とは，個人がどのくらい幸福であると感じているかを作業内容や役割，働きやすさなどを踏まえて5段階でスコアリングしたもので，組織が活気に満ちて働けているかの指標となる．我々のプロジェクトでは，スプリントごとに開発チームのメンバへ幸福度をヒアリングし，アベレージを算出して傾向を分析している（**図5**）．

リモートワーク移行直後は，環境変化への戸惑いの声が多く，一時的に落ち込んだがその後回復し，在宅での開発に関しては，家族と過ごす時間が増えたなどのポジティブな意見を多く聞くことができた．アジャイル開発では，チームの幸福度が高いほど生

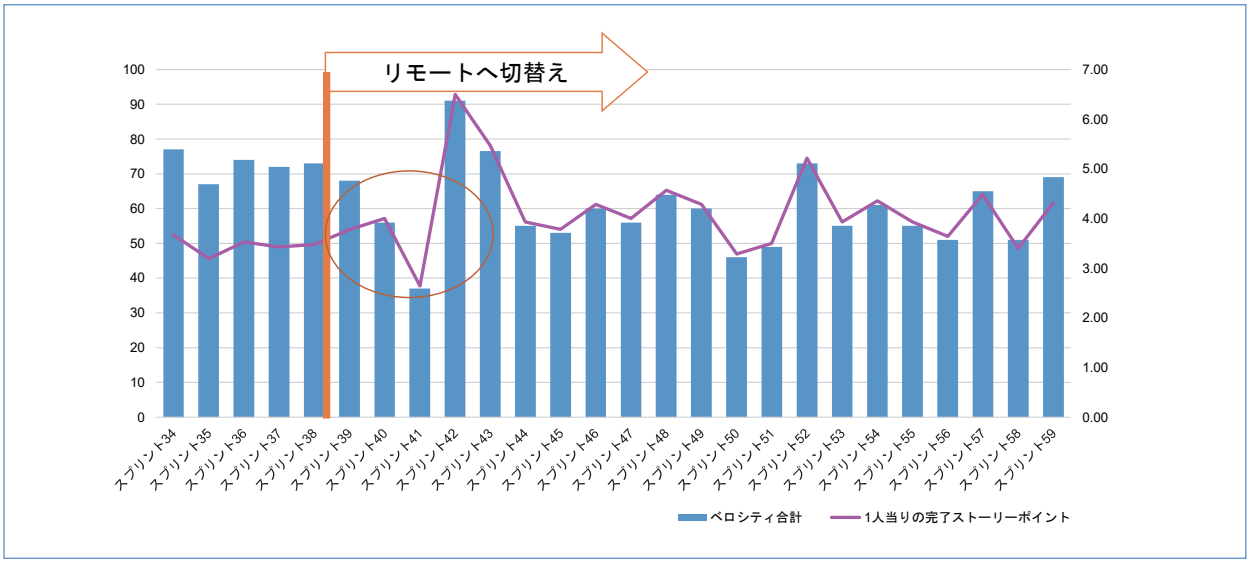


図4　ベロシティ推移

産性が向上するといわれており，幸福度の推移をみると前述で示したベロシティの推移とも類似していることが分かる．

5.2 品　質

リモートワークへの移行前と移行後でアプリの品質に変化があったかどうかについて検証するため，開発フェーズで混入したkStep数当りのバグの摘出率推移を**図6**に示す．本アプリでは1件／kStep以下を品質目標としているが，すべてのスプリントにおいて1件以下を達成しており，リモートワーク切替え前後を比較しても品質の低下はないものと見るこ

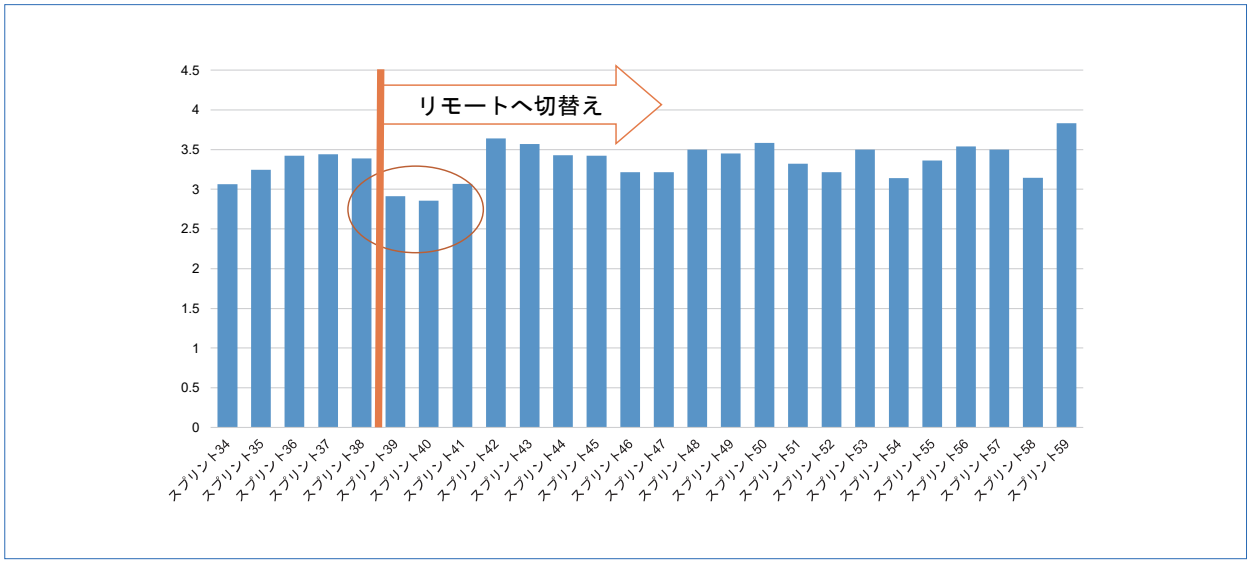


図5　幸福度推移

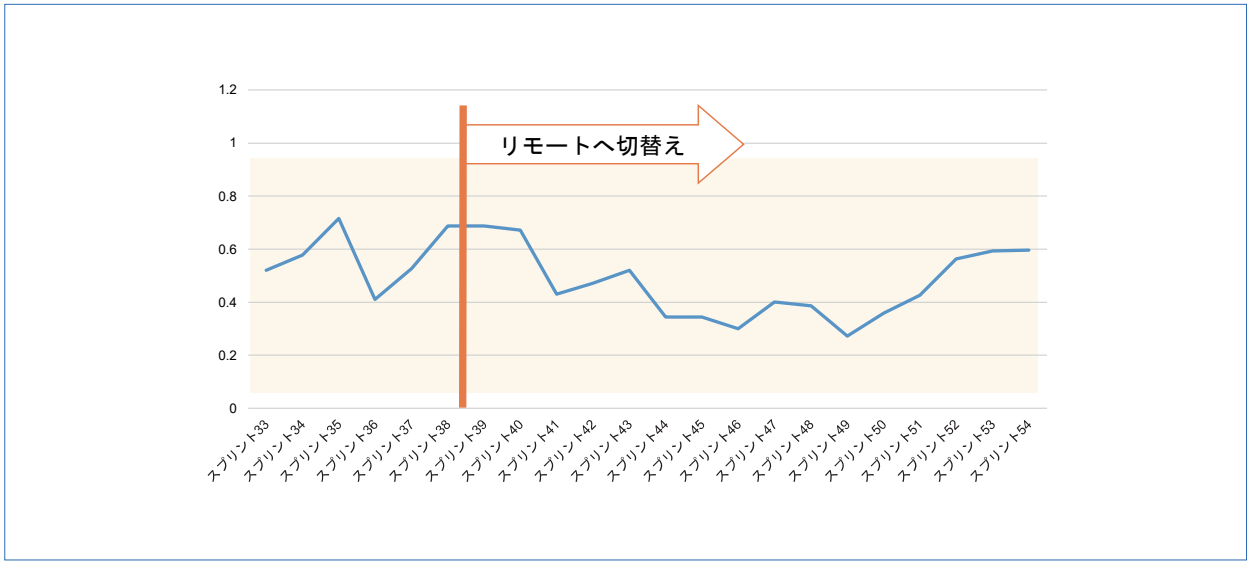


図6　開発フェーズで混入したkStep数当りのバグの摘出率推移

とができる.

6. あとがき

本稿では，アジャイル開発プロジェクトの効率的なリモート開発への移行の事例について解説した．リモート開発においても短周期リリースおよび品質と生産性の維持を実現することができた．アジャイル開発は常に改善を続けていく手法であり，より効率的な開発の実現に向けて今後も引き続き改善の取組みを行っていきたい.

文　献

[1] アジャイルソフトウェア開発宣言.
https://agilemanifesto.org/iso/ja/manifesto.html

[2] Ken Schwaber and Jeff Sutherland：“スクラム公式ガイド：ゲームのルール，”Nov. 2020.
https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Japanese.pdf

[3] 総務省：“テレワークセキュリティガイドライン.”
https://www.soumu.go.jp/main_content/000545372.pdf

Technology Reports

UWB　測距技術　おサイフケータイ

UWB測距技術を用いたおサイフケータイのタッチレス機能実用化検討

移動機開発部　村上 真衣子　合田 晶生
澤瀬 順一

近年，決済のキャッシュレス化が推進されており，QR／バーコード決済など新技術の利用も拡大している．ドコモは従来，非接触の決済サービス「おサイフケータイ」を提供してきたが，さらなる利便性と新たなユーザ体験の実現を目指し，現在高精度な測距が可能な無線技術「UWB」を活用し，指定場所に立つ，あるいは通過するだけで決済できるタッチレス機能に対応したおサイフケータイ技術の実用化検討を進めている．本稿では，その内容について解説する．

1. まえがき

近年UWB（Ultra Wide Band）という中距離無線技術が，さまざまなスマートフォンに搭載され始めて注目を浴びている．UWBは電波特性を活かした高精度な測距機能を有しており，さまざまなユースケースへの活用が期待されている．また日本では，決済のキャッシュレス化が進化しており，既存のクレジットカードや電子マネーに加えQRコード／バーコード決済などの利用が拡大している．これらの背景を踏まえ，ドコモでは現在提供しているおサイフケータイとUWBを組み合わせ，新しい決済手段としてタッチレス機能に対応したおサイフケータイの実現を目指している．本稿では，UWBの測距技術を活かした決済分野の新しいユースケースや，UX（User experience）*1の創出に向けた検討内容や技術検証内容，課題について解説する．

2. UWBを活用した『決済：おサイフケータイのタッチレス対応』

2.1 UWBとは

UWBは，超広帯域中距離無線通信技術のことである．UWBを規格化した標準仕様IEEE（Institute of

©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エア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標．

*1 UX：ある製品やサービスの利用・消費を通じて得られる体験の総称．

Electrical and Electronics Engineers）[*2] 802.15.4aにおいては，3.1～10.6GHzの帯域を利用する通信とされ，帯域の広さを利用した高速通信とともに，対象物との高精度な距離や角度の測定機能を有する．測距機能はTime of flightという信号が伝搬する時間を測定し，伝搬速度と掛け合わせることよって距離を算出する方式を用いている．

UWBは，日本の電波法において2006年に通信用途（3.4～4.8GHz帯，7.25～10.25GHz帯），2010年に衝突防止用車載レーダー用途（22～29GHz帯），2013年にセンサ用途（7.25～10.25GHz帯）での制度化が行われてきたが，通信用途やセンサ用途においては屋内での利用に限定されていた．その後さまざまな用途への利用が期待され，屋外利用のニーズが高まってきたことから，2019年5月に新たな法改正が行われ，7.587～8.4GHz帯における屋外利用が可能になった．この法改正を皮切りに，さまざまなスマートフォンや周辺機器にUWBが搭載され始めている．

2.2 国際標準化団体における活動状況

日本における電波法改正の前後から，UWBに関連する国際標準化団体の活動も活発になってきている．各団体の活動概況を以下に述べる．

・IEEE802.15.4［1］

IEEE802.15.4ではバッテリを必要としない，または非常に限られたバッテリ消費量しか必要としない機器同士の，低データレートの無線接続や精密な測距を可能とするための物理層[*3]および論理層[*4]の仕様が定義されている．IEEE802.15.4のワーキンググループの中でUWBの標準化が進められている．

802.15.4a［2］では測距を行う物理層の制定がなされており，2020年8月に仕様が公開された802.15.4z［3］では802.15.4aで定められた物理層のセキュリティ強化や，論理層の制定がなされた．

・CCC（Car Connectivity Consortium）［4］

CCCは，スマートフォンと車が連携するユースケースや，サービスレイヤ[*5]の関連仕様を策定する国際業界団体である．IEEE802.15.4zをベースに，UWBとBLE（Bluetooth Low Energy）[*6]を利用するデジタルキーの次世代仕様の策定を予定している．自動車メーカや車載機器メーカ，部品メーカ，スマートフォンメーカなど129社（2021年3月時点）の企業が参加中である．

・FiRa（FiRa Consortium）

FiRaは，UWBを利用するユースケースの実現にむけた，UWB製品間の相互運用性の確保を目指す業界団体である．IEEE802.15.4zをベースにした認証プログラムの制定を予定している．UWBを利用する企業（部品メーカ，スマートフォンメーカ，電気機器メーカなど）65社（2021年3月時点）が参加中である．

現状，UWBを利用するユースケースのうち最も仕様化が進んでおり実用化の目処が立っているのは，CCCで議論されている車のデジタルキーとしての利用である．従来，車のデジタルキーは，LF（Low Frequency）[*7]の無線を利用しドアを解錠しているが，リレーアタックという，鍵が発信する電波を傍受し中継することで，持ち主が離れた状態であっても，第三者がその電波を中継して解錠する手口により車が盗まれる事件が発生している．この点UWBでは，Time of flightによる測距機能を用いることで本物の鍵からの距離を欺くことができないため，リレーアタック防止につながる．

他のUWBを利用するさまざまなユースケースに関してはFiRaで策定中であり，無人店舗，家の鍵など多岐にわたりUWBの利用が検討されているが，2021年3月時点では実用化はまだ少し先となる状況

＊2 IEEE：電気情報工学分野の技術を発展させることを目的とした世界最大の技術専門組織（国際学会）．
＊3 物理層：通信機能を分類定義したOSI参照モデルの第一層で，物理的な接続や伝送方式を定めたもの．
＊4 論理層：通信機能を分類定義したOSI参照モデルの第二層の一部で，物理的に接続された機器間での通信が滞りなく行えるよう識別や衝突回避の方式を定めたもの．
＊5 サービスレイヤ：各サービスで利用するプロトコルを規定するレイヤ．
＊6 BLE：低電力消費・低コスト化の図られた近距離無線通信技術規格．
＊7 LF：長波．30～300kHzの周波数帯の電波．

である．

2.3 従来のおサイフケータイの仕組み

おサイフケータイは，携帯電話端末に埋め込まれたモバイルFeliCa®[*8]チップを利用した非接触決済サービスである．ソニー株式会社が開発した非接触ICカード技術「FeliCa」を基礎技術としており，フィーチャーフォンやスマートフォンとFeliCaチップを組み合わせた利便性の高い使い方として，1つの端末で複数の決済サービスが利用できる．また，本人認証によるロック解除などの安心・安全機能を盛り込んでいる．2004年7月にmova 506iシリーズに搭載されたことを皮切りに多くのi-mode端末へ搭載され，2010年にはAndroid端末でも提供を開始した．現在では，ドコモ端末だけではなく，他通信キャリアの端末やSIM（Subscriber Identity Module）フリー[*9]端末など，国内で流通する多くの端末がおサイフケータイに対応している．

おサイフケータイを実現する主要なハードウェア構成要素としては，eSE（embedded Secure Element）とCLF（Contactless Frontend）の2つが挙げられる（**図1**）．eSEは耐タンパ性[*10]を備え高いセキュリティを有するチップであり，セキュリティが要求されるアプリケーションの実行やデータの保管を行う．CLFは端末外部との非接触通信のフロントエンドを司る無線チップである．無線技術はNFC（Near Field Communication）Forum[*11]仕様に準拠しており，13.56MHzの周波数帯の電磁波を使用して，対向機器と数cm以内の距離に端末がある場合にFeliCaコマンドの送受が行われる．その後FeliCaコマンドはeSEに送られ，eSE内のモバイルFeliCaアプリケーションがコマンドの解釈や応答，記録された電子マネー残高情報の更新といった一連の処理を行う．これにより，単体のFeliCaカードと同等の決済動作をモバイル端末上で実現している．

もともとドコモは，モバイルFeliCa向け専用品として開発されたeSEを利用していたが，2019年からはGlobalPlatform[*12]規定の標準仕様に準拠した汎用セキュアチップの採用が進んでいる．これにより端末ハードウェアのグローバルモデル・日本向けモデル間での共通化が可能となり，端末メーカにとっては従来よりもおサイフケータイの対応がしやすくなった．また，この汎用eSEチップ上にはおサイフケータイ以外のサービスアプリケーションも搭載することが可能であるため，デジタルキーや本人認証といった，FeliCaによる決済サービス以外のさまざまなセキュアサービスへの活用可能性が拓かれたことも，特筆すべき点である．

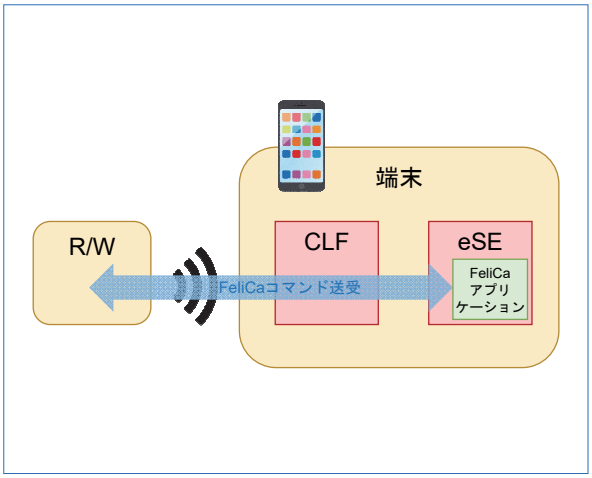


図1　おサイフケータイの構成

2.4 おサイフケータイのタッチレス対応における従来のおサイフケータイからの変化点

ドコモでUWBとおサイフケータイを組み合わせたタッチレス対応を検討している背景には，手が塞がっているときや，バッグの奥にスマートフォンをしまっているとき，あるいはドライブスルーで運転と並行して対応する必要があるときなど，スマートフォンを取り出してかざすという行為が容易ではない場合でも簡単に決済できるようなUXを提供したいという考えがあるからである．

＊8　FeliCa®：ソニー㈱ が開発した非接触型ICカード技術方式，同社の登録商標．
＊9　SIMフリー：違う通信キャリアのSIMを挿入しても利用できない制限がかかっていない状態．
＊10　耐タンパ性：内蔵するプログラム，データなどの不正な参照や書換えを防止する性質．
＊11　NFC Forum：NFCと呼ばれる近距離無線技術の普及および技術仕様策定を目的とする国際標準化団体．
＊12　GlobalPlatform：クレジットカードやSIMカードを始めとしたICカードやセキュリティ技術の試用策定を行う国際標準化団体．

かざすという行為には，決済データをやり取りするだけでなく本人の決済意思を確認する役割も含まれているため，タッチレスの場合，その決済意思確認をほかの行動で取得する必要が生じる．そこで，高精度な測距性能をもつUWBを活用し，特定のエリアを設けてそのエリアにユーザがとどまる，または通過することで，決済の意思表示をしているものとみなすこととした．意思確認方法の違いを**図2**に示す．

これらを実現するための仕組みとしては，前述した従来のおサイフケータイにおける無線での決済情報のやり取りをNFCの代わりにBLEで実施し，それに加えてUWBによる測距機能を組み合わせることとしている．従来のおサイフケータイとの違いを**図3**に示す．ここでBLEを利用している理由は，現状UWBでの測距データ以外の通信については，国際標準化が完了していないため相互運用性に課題が残ってしまうためである．

3. タッチレス対応の具現化のためのアクション

3.1 実用化に向けた課題

前述したとおりUWBは，今後さまざまなユースケースへの活用が進められていくと期待されているが，実際に社会インフラとして身の回りに普及していくためには3つの条件が必要である．

・1つ目は，国際標準規格の策定である．無線機器同士の場合，無線性能基準や通信プロトコル規定など，どのような組合せでも通信が成立し相互運用性が確保されるよう“最低限の約束ごと”が必要となる．このような決まりは国際標準化団体で規定されることが多い．UWBに関する技術仕様を規定している団体としては前述

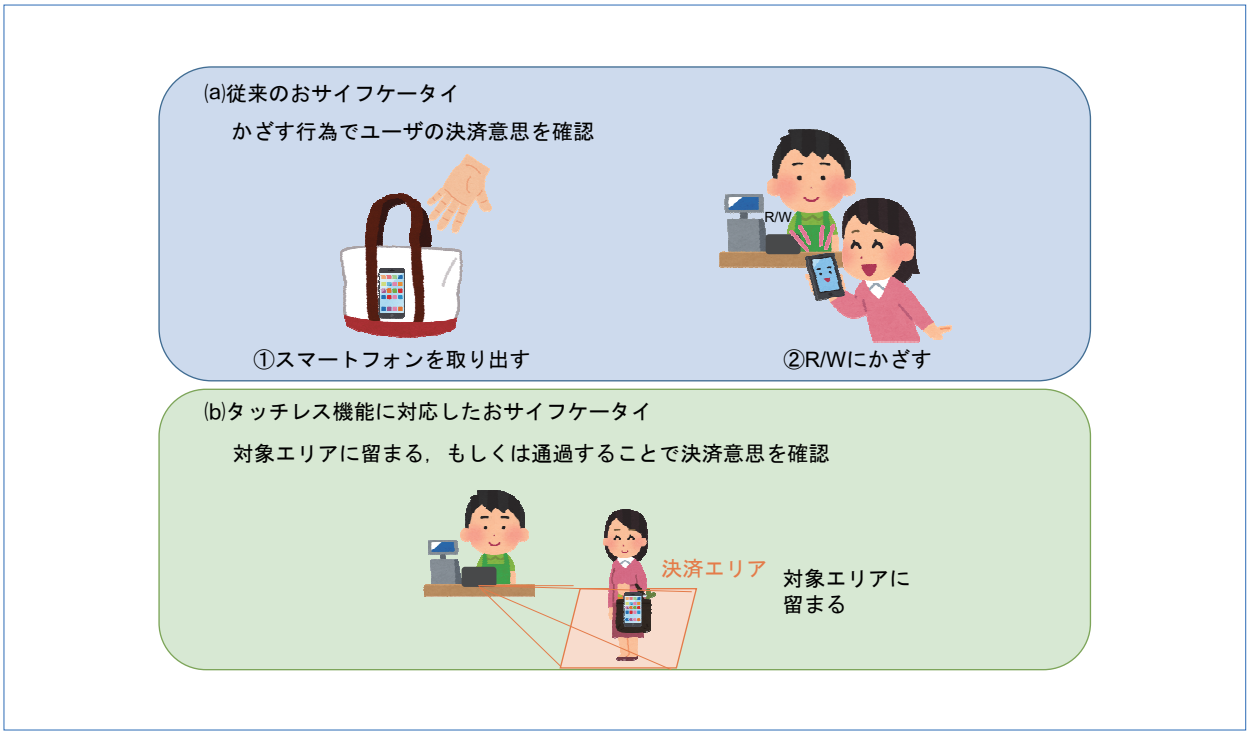


図2　決済意思確認方法の違い

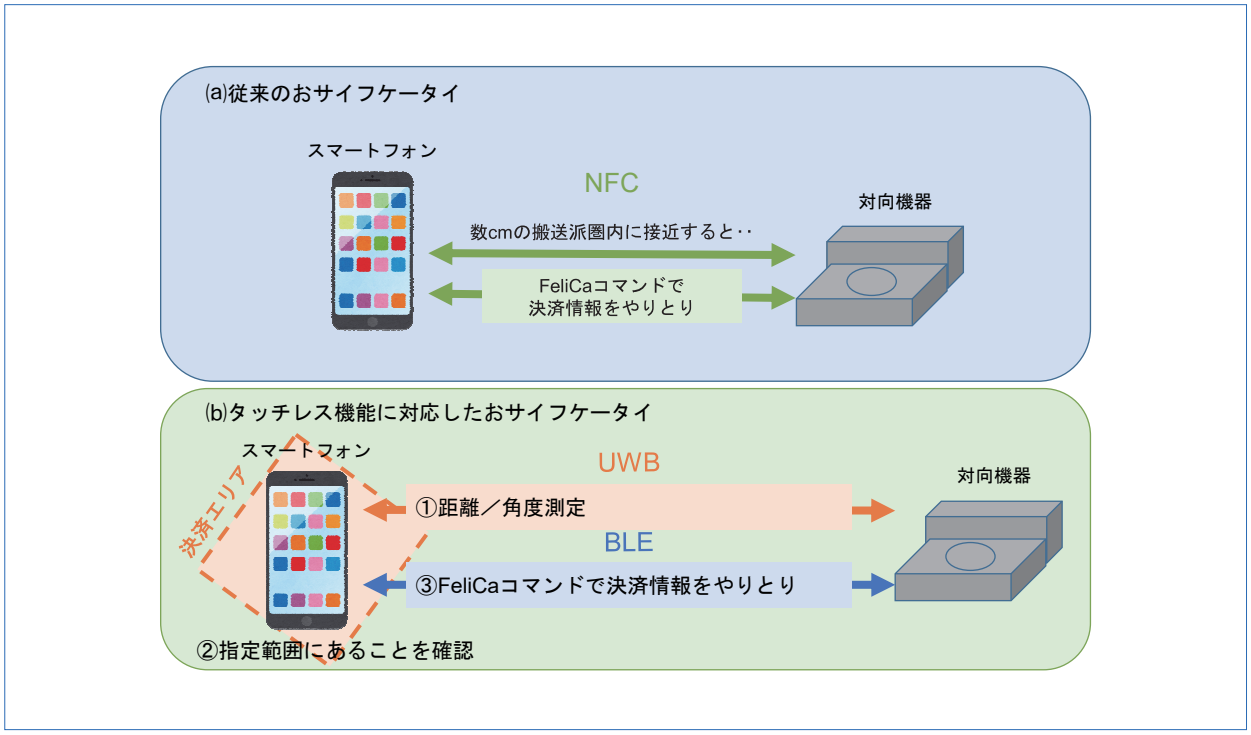


図3　方式比較

のIEEE，CCC，FiRaなどがある．ベースとなる物理層，論理層の仕様はIEEEにより規定が完了したが，より上位層でサービススペックにかかわるような仕様群は，CCCやFiRaが策定を進めている最中である．

・2つ目は，UWB対応機器の普及である．大きく分けると，エンドユーザが利用するスマートフォン端末と，通信相手となる対向機器に分けられる．前者は，2020年ごろより一部の端末メーカがスマートフォンへのUWB搭載を始めたがまだまだ限定的な状況であり，対応機種・対応メーカの拡充が必須となる．後者の対向機器としては，小売店のPOS（Point Of Sales）レジ[*13]に接続される決済端末，デジタルキー開錠対応の車載機器，街頭で広告表示するデジタルサイネージ[*14]端末など，ユースケースに合わせたさまざまな機器がある．これらは各々のサービスのニーズや商流，費用対効果など複雑な要素が導入に影響し，普及は容易ではない．

・3つ目は，UWB搭載機器を利用したサービス事業者の出現である．単にUWB搭載機器があるだけではエンドユーザに便益をもたらさないが，これを利用したサービスが開始されて初めてエンドユーザへの利便性提供，およびサービス事業者のビジネス収益に繋がる．この判断のためにはスマートフォンと対向機器のセットが十分に市場に行き渡り，サービス提供の基盤として成立することが必要となる．

これらの3つの条件は“順を追って”満足されるものではない．「標準仕様が決まったから製品が開発できる」「スマートフォンが普及したからサービス開始する」「サービス需要があるから製品を開発する」「実製品・サービスによるトライアンドエ

＊13 POSレジ：販売時点情報管理機能を備え，金銭や物品の販売・在庫状況をリアルタイムに管理するシステム．
＊14 デジタルサイネージ：デジタル技術を用いた広告媒体のこと．ディスプレイやプロジェクタを用い，時間や場所などに応じて表示する広告内容を変化させることが可能であり，従来のポスターなどとは異なる広告メディアとして注目されている．

ラーにより仕様が成熟する」といったように，互いにいわゆる“鶏が先か，卵が先か”の関係にある．

ビジネスシーンにおいてこういった課題がよく発生することを，ドコモでもおサイフケータイをはじめとしたさまざまな新技術・新サービスの誕生時において，幾度も経験している．そのため今回は，まず動く検証装置をドコモが開発し，早い段階からサービス事業者とも協調しながら意見交換を進め，彼らのサービスへの導入イメージについても共に考えることで，二人三脚で，早期に“鶏が先か，卵が先か”という状況から脱却することを狙っている．

3.2 UWBを搭載した試作スマートフォンの開発と評価

動く検証装置，すなわちタッチレス対応のおサイフケータイを検証できる装置とは，UWBを搭載し，おサイフケータイのタッチレス機能を有するスマートフォンと，そのスマートフォンと同じ無線およびプロトコルで通信が可能な対向機器である．この2点はまだ世の中に存在しないため，今回UWB検討のパートナーとなる4社の協力の下で，検証に向けたハードウェアおよびソフトウェアを開発した．

パートナーである4社の役割は以下のとおりとしている．

- ソニー株式会社 ：UWB対応対向機器の試作機およびソフトウェアの開発
- フェリカネットワークス株式会社：UWB対応FeliCaミドルウェア＊15，アプリケーションの開発
- NXP Semiconductors：UWB向けICチップおよびUWBに関する開発環境／技術情報の提供
- SHARP株式会社：UWB対応スマートフォン試作機およびソフトウェアの開発

今回，上記の体制にて試作開発したスマートフォンと対向機器の検証観点は大きく2つある．

- 1つ目は，ユーザの決済意思を特定できるほどの測距精度を，どのようにして達成するかという点である．我々は誤決済防止のため決済意思を示したとみなすエリアが，人1人分のスペースであることが必要だと考え，距離の誤差が±10cmであること，角度の誤差が±10度であることを精度目標とした．
- 2つ目は，スマートフォン搭載における課題解決である．新たにUWBという無線を搭載するため，ほかの無線との干渉がないような設計，およびUWB利用時の電池消費量が極端に大きくならないような仕様策定や設計を目標とした．

上記の目標の下，設計し試作開発したスマートフォンと対向機で測距を実施した結果，間に障害物がなくスマートフォンを固定した試験環境においては，距離や角度の測定誤差を目標値内に収め，指定した範囲での決済処理が実行できた．ほかの無線への干渉に関しても問題ないことが確認でき，電池消費量においても測距を行っていない時間は，UWBチップの電源を落とすといった工夫から，最小限の電力消費に留めることができた．

3.3 サービス提供パートナーとの検証

前述した性能目標はクリアできたが，実用化に向けてはさらなる課題もある．ユーザが実際にこのタッチレス対応のおサイフケータイを利用するすべての環境下において，高い確率で失敗することなく利用できる必要があるため，さまざまな環境にスマートフォンをおいて試験をする必要がある．例えばバッグに入れたときを想定し，バッグの中でのスマホの向きはどうか，バッグの素材はなにか，バッグの中身でなにか無線への影響がありそうなものはあるか，など利用のパターンとスマートフォンの置かれる環境の組合せ，測距などの無線通信に影響を与え得る要因は数多くある．また，利用シーンとし

＊15 ミドルウェア：OSと実際のアプリケーションとの間に位置し，さまざまなアプリケーションに対して共通の機能を提供するソフトウェアのことで，アプリケーション開発の効率化が可能となる．

て現在おサイフケータイが利用されている場所を考えると，小売店のレジの前，駅構内の改札付近，自販機の前など多くの場所があり，無線通信に影響を与え得るさまざまな要因が想定される．

現状の試作機のスペックでは，ズボンの後ろのポケットに入れたまま決済するときのように，対向機器とスマートフォンの間に人間が入り人体に電波が遮断されてしまうケースでは，スマートフォンの位置検知が難しくアンテナ再配置などのハードウェアとしての改善が必要な結果となった．利用シーンによっては，ある場所を通過する間に位置判定と決済処理が終わっている必要があるケースも存在し，高い処理速度が求められるため，検知範囲と処理開始位置も見直す必要がある．

今後は，実際におサイフケータイが利用されているさまざまな環境において，ユースケースに照らして検証を実施しどのような改善が必要かを洗い出していく必要がある．

そのために引き続きさまざまなパートナーと協力関係を築き，さまざまなサービスにおいて利用可能となるよう幅広く検証を進めていきたい．

4. あとがき

本稿では，UWBの測距技術を用いて，おサイフケータイのタッチレス機能という決済分野の新しいユースケースを創出する際の，新たなUX提供に向けた検討内容や技術検証内容，課題について解説した．おサイフケータイのタッチレス対応により決済行為をよりシームレスなものとしていくため，今後は実用化に向けて以下の観点を重点的に検証していく．

・さまざまな環境下で問題なく使えるか（可用性）
・他人の端末で，自分の決済処理が行われないか（セキュリティの担保）

本稿では決済に焦点を当てた内容を記載したが，UWBの高精度な測距機能は決済以外の分野にも応用できる技術であるので，段階的にUWBを利用するユースケースの拡大（広告配信やデジタルキー）などにも取り組みたい．また，ハード側の環境構築のために市場動向を見ながら，UWB端末の導入に関しても積極的に検討していく．

文　献

[1] IEEE 802.15.4-2020：“IEEE Standard for Low - RateWireless Networks,” Jul. 2020.
[2] IEEE 802.15.4a-2007：“Amendment 1：Add Alternate PHYs,” Aug. 2007.
[3] IEEE 802.15.4z-2020：“Amendment 1：Enhanced Ultra Wideband(UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques,” Aug. 2020.
[4] Car Connectivity Consortium：“Digital Key Release 2.0 White Paper,” 2020.

第66回「前島密賞」受賞

前・ドコモ取締役常務執行役員R&Dイノベーション本部長（CTO）の中村 寛†，6G-IOWN推進部の中村 武宏，無線アクセス開発部の安部田 貞行，ネットワーク開発部の音 洋行，移動機開発部の樋口 健は，「第5世代移動通信システム（5G）の開発と大容量無線アクセスの実用化」への功績が認められ，2021年4月9日に公益財団法人通信文化協会より第66回「前島密賞」を受賞しました．

前島密賞とは，逓信事業の創始者「前島 密」氏の功績を記念し，その精神を伝承発展せしめるため1955年に設けられ，情報通信および放送の進歩発展に著しい功績があった者に，公益財団法人通信文化協会により授与されるものです．ドコモは，昨年の「第5世代移動体通信システムの実用化に向けた国際標準仕様策定」に続き11年連続の受賞となりました．

受賞の対象となった「第5世代移動通信システム（5G）の開発と大容量無線アクセスの実用化」は，ドコモが2019年9月にプレサービス，2020年3月に商用サービスを開始した5Gの研究開発の功績に関するものです．中村らは，5Gの実用化に向け，高周波数帯の導入を可能とする新たな技術・方式について研究開発を行い，国際標準化活動からサービス応用，ビジネス創出に至る幅広い取組みを推進しました．各受賞者の具体的貢献は以下のとおりです．

中村 寛は，CTOとして各開発部の装置開発をけん引，5Gの実用化を全体統括しシステムを実現させました．多様な業界とのパートナーシップによる5Gユースケース開拓のための実証試験の推進を先導するとともに，国内外に実証試験の成果と5Gの幅広い有用性をアピールし，5G実現に寄与しました．

中村 武宏は，高周波数帯の活用などを中心とした5Gの技術研究を行い，国内外の主要ベンダと実験協力体制を構築し世界レベルでの実証実験を成功させ，5Gの実用化に向けた技術開発において主導的な役割を果たしました．また，国内での5Gコンセプト作りと業界間の連携，国際的な5G連携に貢献しました．

安部田は，LTE/LTE-AdvancedとNRとの連携技術や無線アクセスネットワークの標準仕様の策定に貢献しました．また，実用化開発においては，エンドエンドの高速化の担保のために検証過程でのボトルネックの明確化および対策開発を主導し，安定した高速・大容量の5Gサービスを実現しました．

音は，既存の通信事業者が早期に5Gを導入できるよう，4G基地局／コアネットワークと5G基地局の組合せで運用するノンスタンドアローン運用の検討を主導し，世界的な5G商用導入の加速に繋げました．また，実用化開発においては，ボトルネックの明確化および対策開発を主導し，安定した高速・大容量の5Gサービスを実現しました．

樋口は，大容量通信を高周波数帯で実現する際に課題となる端末の送信出力や消費電力，無線測定手法について，国際標準化と商用開発の両面で世界をリードしました．また，アンテナ特性込みのOTA（Over The Air）*1規定の導入の推進などにより，端末価格の低廉化や高周波数帯利用を実現しました．

国際標準化と商用開発の両面で世界をリードするこれらの貢献が評価され，今回の受賞となりました．

代表者・中村 寛による受賞模様

†1　現在，ドコモ・テクノロジ株式会社　代表取締役社長

*1　OTA：測定アンテナと対向し，基地局または端末のアンテナで送信／受信される電波の特性を測定する方法．NRの基地局および端末では，アンテナコネクタをなくした装置構成が定義され，本試験法による規定が設けられた．

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

令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞（開発部門）」受賞

2021年4月6日に令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰が発表され，ネットワーク開発部の音洋行，中島 佳宏，多摩支店の長谷川 伸也，ドコモ・テクノロジ株式会社の内山 靖之，日本電信電話株式会社の尾花 和昭氏が，「複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発」の功績により，「科学技術賞（開発部門）」を受賞しました．

科学技術分野の文部科学大臣表彰とは，「科学技術に関する研究開発，理解増進等において顕著な成果を収めた者について，その功績を讃えることにより，科学技術に携わる者の意欲の向上を図り，もって我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とする」もので，文部科学大臣から授与されます．

今回受賞した「複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発」は，移動体通信を構成するパケット交換や音声通信などの複数ベンダのコアネットワーク機能を，汎用ハードを用いた仮想化基盤上で動作させるものです．移動体通信をより強靭で，柔軟かつ経済的に実現するネットワーク仮想化（NFV：Network Functions Virtualisation）の基盤技術を実現し，またNFVの国際標準化を主導したことが評価されました．

本成果は，安定した通信サービスの継続的な提供に貢献しているだけでなく，通信事業者におけるNFV商用化の，世界の先行事例であり，業界における変革のロールモデルとして，移動体通信業界に寄与しています．

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

賞状
科学技術賞
開発部門
音 洋行 外四名 殿
複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発
本業績は令和三年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において審査の結果我が国の科学技術の振興発展に顕著な貢献をされたと認められましたのでこれを賞します
令和三年四月十四日
文部科学大臣 萩生田 光一

賞状
科学技術賞
開発部門
長谷川 伸也 殿
複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発
本業績は令和三年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において審査の結果我が国の科学技術の振興発展に顕著な貢献をされたと認められましたのでこれを賞します
令和三年四月十四日
文部科学大臣 萩生田 光一

賞状
科学技術賞
開発部門
内山 靖之 外四名 殿
複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発
本業績は令和三年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において審査の結果我が国の科学技術の振興発展に顕著な貢献をされたと認められましたのでこれを賞します
令和三年四月十四日
文部科学大臣 萩生田 光一

賞状
科学技術賞
開発部門
尾花 和昭 外四名 殿
複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発
本業績は令和三年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において審査の結果我が国の科学技術の振興発展に顕著な貢献をされたと認められましたのでこれを賞します
令和三年四月十四日
文部科学大臣 萩生田 光一

賞状
科学技術賞
開発部門
中島 佳宏 外四名 殿
複数ベンダの通信機能が動作するNFV基盤の開発
本業績は令和三年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において審査の結果我が国の科学技術の振興発展に顕著な貢献をされたと認められましたのでこれを賞します
令和三年四月十四日
文部科学大臣 萩生田 光一

NTTが第10回「Clarivate Top 100 Global Innovator 2021」を受賞

2021年2月，NTTはクラリベイト社（本社：英国ロンドン）が選考する「Clarivate Top 100 Global Innovators™ 2021」を受賞しました．2012年から引き続き10年連続の受賞となります．

この賞は，特許の「成功率（発明数や，特許取得率）」「グローバル性（日米欧中での出願状況）」「影響力（他社出願における自社発明の引用）」の3つの指標に基づき，クラリベイト社が独自にイノベーションランドスケープの頂点に立つ企業として選定した100社に与えられるもので，10年連続での受賞となりました．

本賞の受賞は，NTTグループ全体が取り組む研究開発の先進性と，それによって生み出される発明・成果の価値がグローバルに認められたものです．

ドコモは，NTTグループの一員として第5世代移動通信システム（5G）などのモバイル通信分野の基本技術をワールドワイドに多数特許出願しております．今回の受賞において，ドコモのR＆D活動の取組みも重要な要素として評価されています．

ドコモは今後も，自らが描くモバイル通信の未来を切り開くため，R＆D技術力を培い，研究開発に取り組んで参ります．

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

「みまもり電話」がさまざまな賞を受賞

5G・IoTビジネス部の小栗 伸，近藤 淳，吉野 僚太朗が企画開発した「みまもり電話～AI活用した地域ケアシステム～」が，2020年度「グッドデザイン賞」，ASPIC IoT・AI・クラウドアワード2020「AI部門 準グランプリ」，MCPC award 2020「AI＆ロボット委員会特別賞」を受賞しました．

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．

⑴2020年度「グッドデザイン賞」

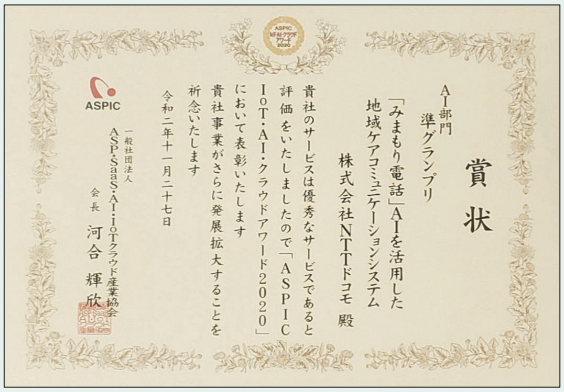
2020年10月1日に本サービスが，公益財団法人日本デザイン振興会より2020年度「グッドデザイン賞」を受賞しました．

グッドデザイン賞は，製品，建築，ソフトウェア，システム，サービスなど，私たちを取りまくさまざまなものごとに贈られます．かたちのある無しにかかわらず，人が何らかの理想や目的を果たすために築いたものごとをデザインととらえ，その質を評価・顕彰しています．

審査員のコメントは以下のとおりです．「開発されたばかりでまだ市場での実績はないが，このユニークなサービスが賞賛されることは間違いない．最新の人工知能（AI）技術を利用し，人間中心のデザインアプローチを取り入れたこのモニタリングサービスが提示するメリットは，多くの家族の反響を呼び，高齢者ケアにおいて重要な役割を果たすようになるだろう．」

⑵ASPIC IoT・AI・クラウドアワード2020「AI部門 準グランプリ」

2020年11月27日に「みまもり電話～AI活用した地域ケアシステム～」が，ASPIC IoT・AI・クラ


賞状

AI部門
準グランプリ

「みまもり電話」AIを活用した
地域ケアコミュニケーションシステム

株式会社NTTドコモ 殿

貴社のサービスは優秀なサービスであると評価をいたしましたので「ASPIC IoT・AI・クラウドアワード2020」において表彰いたします
貴社事業がさらに発展拡大することを祈念いたします

令和二年十一月二十七日

ASPIC

一般社団法人
ASPIC SaaS・AI・IoTクラウド産業協会
会長 河合 輝欣

ウドアワード2020「AI部門　準グランプリ」を受賞しました.

ASPIC　IoT・AI・クラウドアワードでは，一般社団法人ASP・SaaS・AI・IoTクラウド産業協会（ASPIC：ASP-SaaS-IoT Cloud CONSORTIUM）が，総務省などの後援により，日本国内で提供されているASP・SaaS/IaaS・PaaS/IoT/AIのサービスとデータセンターを選定し表彰しています.

⑶MCPC award 2020「AI＆ロボット委員会特別賞」

2020年10月29日に「みまもり電話～AI活用した地域ケアシステム～」が，MCPC award 2020のAI＆ロボット委員会特別賞を受賞しました.

モバイルコンピューティング推進コンソーシアム（MCPC：Mobile Computing Promotion Consortium）では，2003年以降，「MCPC award」を主催し，モバイルシステムの導入によりIoT/AI分野での業務効率化，業績向上，顧客満足度向上，社会貢献の推進，先進的なモバイル活用などの成果を上げた事例を顕彰し，モバイルソリューション，IoT/AIシステムのさらなる普及促進を図っています.

表彰状

MCPC award 2020
サービス&ソリューション部門
AI&ロボット委員会特別賞

株式会社 NTTドコモ 殿

貴殿が提供するプロダクトはこれまでにない新しい価値や可能性をユーザーにもたらしIoT/AIシステムならびにモバイルコンピューティングの普及促進に多大な貢献を果たすものでありますよってここにその栄誉を称え表彰いたします

令和2年11月26日

モバイルコンピューティング推進コンソーシアム
会長 安田靖彦

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

第36回電気通信普及財団賞「テレコムシステム技術賞」受賞

2021年3月26日に公益財団法人電気通信普及財団より，先進技術研究所5G推進室（現，6G-IOWN推進部）の小原 辰徳[†1]，須山 聡，沈 紀惲[†2]，奥村 幸彦[†3]が，入賞論文「Joint Processing of Analog Fixed Beamforming and CSI-Based Precoding for Super High Bit Rate Massive MIMO Transmission Using Higher Frequency Bands」（電子情報通信学会，IEICE Trans. Communications, Vol.E98-B, No.8, Aug. 2015.）の研究に対し，第36回（2020年度）電気通信普及財団賞「テレコムシステム技術賞」を受賞しました．本賞は，情報社会の進展に貢献する情報通信技術の開発，応用などについて技術的，工学的観点からの優れた研究に与えられるもので，ドコモとしては2002年度以来2度目の受賞となります．

今回の入賞論文では，高周波数帯を用いた無線アクセス方式において重要な技術である超多素子アンテナ（Massive MIMO：Massive Multiple Input Multiple Output）によるアナログビームフォーミングと，電波伝搬路情報を用いたデジタルプリコーディング[*1]を効率的に組み合わせる手法を提案しています．今後ますます増加する移動通信トラフィックに対応する上で，無線伝送信号の広帯域化が可能な高周波数帯の活用と多数データ系列の並列伝送が有効ですが，電波減衰の補償および無線機のコスト低減が大きな課題となります．これらの課題に対して，本提案手法を採用することにより，高周波数帯における超高速ビットレート無線伝送をより低コストかつ低計算量で実現できます．論文では，提案手法のリンクレベルシミュレーションにより，20GHz帯で400MHz帯域幅を用いて30Gbps近いスループットを実現できることを明らかにしており，テレコムシステム技術賞にふさわしい研究として高く評価されました．

代表者・小原による受賞模様

†1　現在，無線アクセス開発部
†2　現在，情報システム部
†3　現在，ドコモ・テクノロジ株式会社 携帯事業部

*1　デジタルプリコーディング：複数ストリームを空間的に多重化して無線伝送する際，移動端末が受信した参照信号を用いて基地局と移動端末間の電波伝搬路情報を推定し，基地局へフィードバックされた同情報を用いて各ストリームが直交化されるよう，基地局からの送信信号に対して行うデジタル信号処理．

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

表　彰　状

小原辰徳 殿

「Joint Processing of Analog Fixed Beamforming and CSI-Based Precoding for Super High Bit Rate Massive MIMO Transmission Using Higher Frequency Bands」

共著者　須山　聡　沈　紀惲　奥村幸彦

あなたは第36回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）論文募集において電気通信についての工学的技術的観点からの研究の振興と促進に寄与する論文を寄せられ審査の結果 優秀 と認められました
ここに賞状を贈りこれを賞します

2021年3月吉日

公益財団法人 電気通信普及財団
理事長　武内 信

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル　Vol.29 No.2

2021年７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エア，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.