

2020年のサービス実現に向けた5G技術特集

世界主要ベンダとの5G伝送実験

「5G」ではさらなる高速化・システムの大容量化のみならず、超多数デバイス接続のサポートや、さらなる低遅延伝送への要求など、これらを実現するための要素技術も多岐にわたり、幅広い周波数帯を対象とする必要がある。そこで、効率的な技術検証を行うために、複数の有力ベンダとの5G実験に関する協力関係を構築した。本稿では、世界の主要ベンダとの協力による5G伝送実験について概説し、高周波数帯活用のためのマルチアンテナ伝送技術の検証を中心に、各社との共同実験により得られた成果を紹介する。

先進技術研究所 5G推進室

はらだ 原田	あつし 篤	いのうえ 井上	ゆうき 祐樹
くりた 栗田	だいすけ 大輔	おぼら 小原	たつり 辰徳

1. まえがき

「5G」*1ではLTEと比べ1,000倍以上の飛躍的なシステム容量の増大をめざしている。このため、1GHzを超える超広帯域伝送の実現を視野に入れ、EHF (Extremely High Frequency)*2帯までもターゲットに含む高周波数帯の移動通信用途での積極的活用を実現すべく技術開発が行われている。一方でシステムへの要求は、大容量化のみならず、超多数デバイス接続のサポートやさらなる低遅延伝送の実現など、より一層多様

化し、それらを実現するための要素技術も多岐にわたっている。また、2020年の5Gサービス実現に向け、早期に技術検証実験を開始し技術検討を加速させる必要があるなかで、従来のようにドコモ社では広範な検証項目に対し適時に対応できない恐れがある。そこで、ドコモでは5Gのエコシステム*3を早期に創出すべく、また、効率的・効果的な技術検証を実現するため、世界の主要なベンダと協力して5Gのキーとなる要素技術を検証する伝送実験を行っている。2015年12月末時点では13社

と個別の実験協力を合意しており、一部ベンダとは2015年初頭より屋外での伝送実験を開始した[1] [2]。

本稿では、これらの5G伝送実験について概説し、高周波数帯活用のためのマルチアンテナ伝送技術に関する実験結果を中心に、ベンダ各社との共同実験により得られた成果を紹介する。

2. 5G実験協力の概要

現在、ベンダ各社とともに取り組んでいる5G伝送実験を大別すると、①既存のセルラバンドを含む幅広い

*1 5G：第4世代移動通信システムの後継にあたる次世代移動通信システム。

*2 EHF：30～300GHzの周波数の電波。ミリ波とも呼ばれる。

*3 エコシステム：複数の企業が事業活動等の分野で連携して、お互いの技術や資産を活かし、消費者や社会までも巻き込んで、研究開発から販売、宣伝、消費にいたる一連

の流れを形作る共存共栄の仕組み。

周波数帯に適用可能な周波数利用効率改善技術に関する実験協力、② EHF帯を含む高周波数帯の活用に関する実験協力、③5G端末デバイスの検討に向けたキーデバイス(チップセット*4)ベンダとの実験協力、④5G無線アクセス技術および超高周波帯での無線装置の性能を評価するための測定技術に関する測

定器ベンダとの実験協力に分類される(表1)。

①は、ブロードバンド通信やM2M(Machine to Machine)*5など、利用形態に適した無線伝送方法や信号波形の設計をはじめ、超高密度に配置した光張出しスモールセル*6によるシステム容量の増大化技術やMIMO (Mul-

multiple Input Multiple Output)*7伝送における、さらなる周波数利用効率の向上など、さまざまな要素技術の検証を対象としている[3]~[7]。

②は、現在利用されている周波数よりも高い、例えば6GHzを超える周波数を有効活用するための無線インターフェース設計を

表1 5G伝送実験概要

	協力ベンダ	実験概要
①幅広い周波数帯に適用可能な周波数利用効率改善技術の実験	アルカテル・ルーセント (仏)	・ブロードバンド通信やM2M通信に適した新しい信号波形の候補についての実験
	富士通 (日)	・単位面積あたりのシステム容量増大のための、超高密度配置された光張出し基地局における複数光張出し局間での協調無線リソーススケジューリング技術についての実験
	ファーウェイ (中)	・TDDのチャンネル可逆性を利用したMU-MIMOや新しい信号波形、多元接続の高度化に関する実験
	NEC (日)	・単位面積あたりのシステム容量増大のための、スモールセル向け超多素子アンテナを使用した時間領域において指向性を制御するビームフォーミング技術についての実験
②高周波数帯の開拓に重点を置いた実験	パナソニック (日)	・高周波数帯や無線LANの周波数帯など複数の周波数を組み合わせて効率的に通信を行うシステム制御技術や、5Gの通信技術に先進画像応用技術などを組み合わせたシステムソリューションの実験
	エリクソン (スウェーデン) (3.1節)	・高周波数帯の利用を想定した新無線インターフェースのコンセプトおよび空間多重とビームフォーミングを併用するMassive MIMO技術についての実験
	サムスン電子 (韓) (3.2節)	・高周波数帯における安定した超広帯域伝送を実現する、デジタルとアナログを組み合わせたハイブリッドビームフォーミングおよび移動局を追従するビーム制御技術についての実験
	三菱電機 (日) (3.3節)	・高周波数帯の超高速伝送を実現する、超多素子アンテナを用いるマルチビーム多重化技術について、多素子アンテナを仮想的に複数配置することで超多素子アンテナを実現する基礎的実験
③5G端末デバイスに関する実験	ノキアネットワークス (フィンランド) (3.4節)	・EHF波帯の移動通信での有効利用を想定した超広帯域無線伝送の実験
	インテル (米)	・高速・大容量・低遅延・高信頼といった5Gのコンセプトを実現するスマートフォンやタブレットなどの携帯電話端末向けの小型・低消費電力チップセットの試作などを含む実験
	クアルコム (米)	・数Gbpsのピークデータレートを伴うモバイルブロードバンドの拡張を提供可能な小型・低消費電力の5Gデバイス実装の検討および実験を視野に入れた協力
④超高周波帯での無線装置の性能評価に関する実験	キーサイト・テクノロジー (日)	・高周波数帯での超広帯域通信における、基地局と端末の通信性能を測定する技術の検討 ・Massive MIMOのアンテナ性能の測定技術についての実験 ・高周波数帯における電波伝搬特性の測定と解析、信号波形の生成と解析
	ローデ・シュワルツ (独)	・高周波数帯での超広帯域幅におけるMassive MIMOなどの基地局と端末のアンテナ性能、基地局の通信の性能評価技術の検討 ・高周波数帯における電波伝搬特性の測定と解析、信号波形の生成と解析

*4 チップセット：移動端末ソフトウェアや各種ハードウェアの処理を制御するための装置。CPUおよび制御回路を含む一連の装置をまとめてチップセットと呼ぶ。

*5 M2M：人間による通信操作を介在しない機械通信の総称。

*6 スモールセル：送信電力が小さく、マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称。

*7 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

上を実現する信号伝送技術。

む広帯域移動通信技術，具体的には高周波数帯における電波伝搬損失の補償に有効な超多素子アンテナを用いたMIMO（Massive MIMO^{*8}）による超高速大容量伝送技術やEHF波帯の移動通信への応用をめざした要素技術の検証を行っている。

③は，小型・低消費電力の5Gデバイス実現に向けたキーデバイスの試作などに関連した実験を行う予定である。

④は，EHF波帯における電波伝搬の解明や超多素子アンテナにより構成されるアクティブアンテナシステムの無線性能の評価手法に関する実験を行う予定である。

3. 実験結果

本稿では前述した5G伝送実験のうち，中・長期的な高速・大容量化の実現に不可欠である②の高周波数帯の開拓に重点を置いた実験について解説する。

3.1 15GHz帯伝送実験

エリクソンと共同で行っている15GHz帯を用いた5G無線インタフェースコンセプトの検証実験の概要を以下に解説する[8]~[10]。

(1)実験概要

15GHz帯を用いた5G実験装置の基本仕様を表2に，基地局および移動局装置を図1にそれぞれ示す。周波数が連続する4つのコンポーネントキャリア（CC：Component Car-

表2 実験装置基本仕様

無線アクセス	OFDMA
複信方式	TDD（上り／下り比率=2：48）
キャリア周波数	14.9GHz
システム帯域幅	400MHz
送信電力	基地局：2.14W（33.3dBm） 移動局：2.24W（33.5dBm）
送受信アンテナ数	4
CC数	4
サブキャリア間隔	75kHz
サブフレーム長	0.2ms
シンボル長	13.3 μ sec+CP0.94 μ sec
データ変調	QPSK，16QAM，64QAM

OFDMA：Orthogonal Frequency Division Multiple Access

TDD：Time Division Duplex

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying



rier)^{*9}（帯域幅100MHz）をキャリアアグリゲーション^{*10}しており，システム帯域幅は400MHzとなる。基地局と移動局は送受信用のアンテナを4つ搭載し，4ストリーム^{*11}の

MIMO伝送を行う。5Gでは高周波数帯を利用したスモールセルエリアの展開が検討されており，本実験装置を用いて15GHz帯におけるさまざまなスモールセル環境での実証実

*8 Massive MIMO：非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。

*9 コンポーネントキャリア（CC）：キャリアアグリゲーション（*10参照）において束ねられるキャリアを表す用語。

*10 キャリアアグリゲーション：複数のコンポーネントキャリアを用いて同時に送受信することで，LTEとの後方互換性を保ちながら広帯域化を実現する技術。

*11 ストリーム：MIMOに用いられる伝搬路の

チャンネルに送信されるデータ列。

験を神奈川県横須賀市のYRP地区で実施した。実験は図2に示す通り、(a)ロビー（屋内環境）、(b)中庭（屋外および屋外-屋内）、(c)建物間および(d)駐車場（屋外）の4カ所のスモールセル環境で実施した。

(2)実験結果

図2にスループットの実験結果をあわせて示す。(a)ロビーでは静止時に最大4.3Gbpsのスループットを実現している。一方、柱の陰ではスループットが減少しており、15GHzでは直接波が支配的であることが確認できる。(b)中庭における最大スループットは3.6Gbpsであり、基地局正面において、中庭（屋外）とガラス窓を隔てた廊下（屋外-屋内）のスループットが等しいことが確認できる。廊下ではガラス窓を隔てるため受信電力が減少する一方、チャンネル相関^{*12}が低減し、ロビー・中庭では、直接波が支配的であるため受信電力が強い一方、天井・壁などからの反射波が得られるものの反射波の電力が小さいためチャンネル相関

が高くなり、スループットが低減するからである。これに対し、(c)建物間（屋外）での実験では、チャンネル相関を低減するために、基地局のアンテナ素子間隔を5λから21.5λに変更しており、最大5.5Gbpsのスループットを実現した。最後に(d)屋外駐車場では、見通し内環境であるため、チャンネル相関が非常に高く、最大スループットは2.8Gbpsとなった。一方、基地局から100m以上離れた場所においても平均2Gbpsのスループットを実現した。

以上のように、15GHz帯を用いた5G屋内外伝送実験を実施し屋外にて基地局アンテナの素子間隔を21.5λとすることで、5Gbpsを実現した。一方、高周波数帯特有の伝搬特性に起因する伝搬損失およびチャンネル相関の増大も確認された。今後は、これらの課題解決に向けて、基地局間協調^{*13}技術、分散MIMO^{*14}、ビームフォーミング^{*15}の技術検証を進める予定である。

3.2 28GHz帯伝送実験

サムスン電子と共同で行っている28GHz帯を用いた広帯域伝送実験の概要を以下に解説する[11][12]。

(1)実験概要

表3に各種諸元を図3に実験装置の外観を示す。中心周波数は27.925GHz、帯域幅が800MHzの広帯域伝送を行う。アンテナ構成は、基地局に48素子の平面アレーアンテナ^{*16}を2つ、端末に4素子の線形アレーアンテナを2つ搭載している。1つのアレーアンテナで1ビームを形成し、最大2ストリームのビーム多重伝送が可能である。基地局・端末双方でビームフォーミングを行うことが特徴の1つであり、より高いビーム利得^{*17}を得ることができる。複数のビーム候補の中から、受信電力が最大となるよう、基地局および端末のビームの組合せを選択する。高周波数帯におけるMassive MIMOを用いたビームフォーミングの効果を検証するため、韓国・水原にあるサムスンデジタルシティにて屋外伝送実験を実施

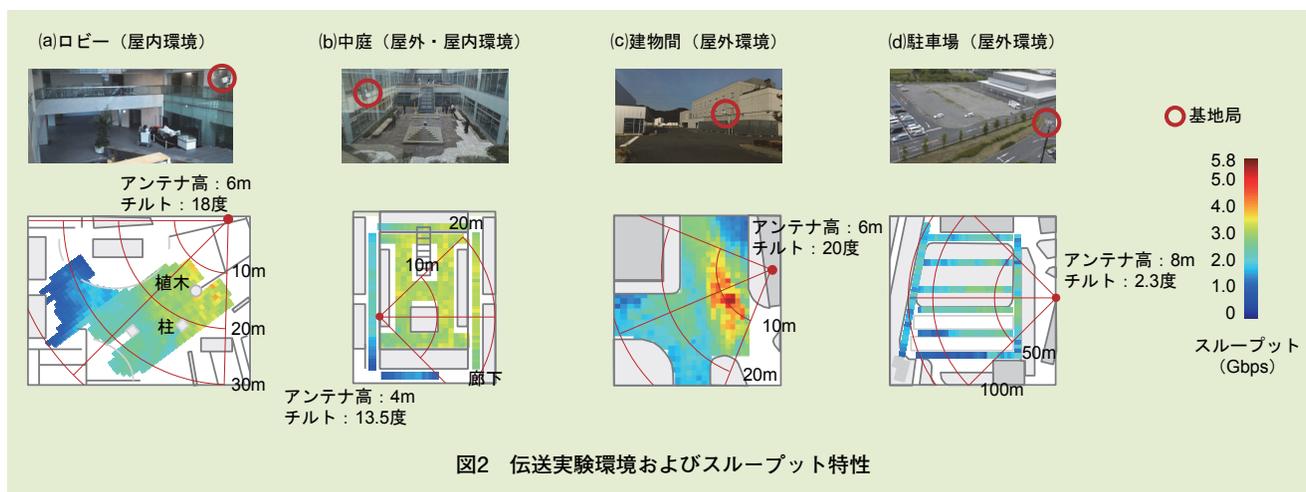


図2 伝送実験環境およびスループット特性

*12 チャンネル相関：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。
 *13 基地局間協調：あるUEに対して、複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術。複数のセルが協調して送受信を行うことにより、他セル干渉低減および所望信

号電力の増大を実現する。
 *14 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの移動局に送信しMIMO伝送を行う技術。
 *15 ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加/減少させる技術。

*16 アレーアンテナ：複数の素子を配列したアンテナのこと。
 *17 利得：アンテナの放射特性の1つで、アンテナの最大放射方向の放射強度が基準アンテナの何倍あるかを示す指標。

した。

(2)実験結果

図4に実験環境および下りリンクスループットの実験結果を示す。この実験では、最大16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*18変調の適応変調符号化*19を用いた1ストリーム伝送 (最大スループット: 1.27Gbps) を行っている。基地局を高さ23.5mの建物屋上に配置し、端末は基地局から約200m離れた道

路上を3km/hで移動しながらスループット測定を行った。見通し内環境では、ビームフォーミングの効果により、基地局から200m以上離れた地点においてもほぼ1.2Gbpsの最大スループットを達成できることが分かる。一方、建物によって遮られた見通し外環境においては、シャドウイング損失*20によりスループットの低下がみられる。しかしながら、このような見通し外環境でも基地局

との通信は持続できており、かつ300Mbps程度の比較的高いスループットが得られることが確認できる。これは、基地局からの直接波は受信できないものの、ビーム選択により周囲の建物からの反射波を受信できているためである。

本実験により、28GHz帯におけるMassive MIMOを用いたビームフォーミングによる広帯域伝送の可能性を明らかにした。今後はストリーム多重による高速伝送、端末の高速移動に対するビーム追従性能の検証を行う。

3.3 44GHz帯マルチビーム多重基礎実験

三菱電機と共同で行っている44GHz帯マルチビーム多重技術の基礎実験について以下に解説する[13]~[15]。高周波数帯における電波伝搬損失の補償と飛躍的な周波数利用効率の向上を実現するため、Massive MIMOを用いたマルチビーム多重技術に着

表3 実験装置諸元

各諸元	基地局	端末
アクセス方式	OFDMA	
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM	
複信方式	TDD	
中心周波数	27.925GHz	
帯域幅	800MHz	
1アレーあたりのアンテナ素子数	8×6 (=48)	4
アレーアンテナ数	2	
アレー利得	21dBi	7dBi
ビーム幅	10°	水平: 20° 垂直: 60°
MIMO構成	最大2ストリーム多重	

dB: deciBel isotropic

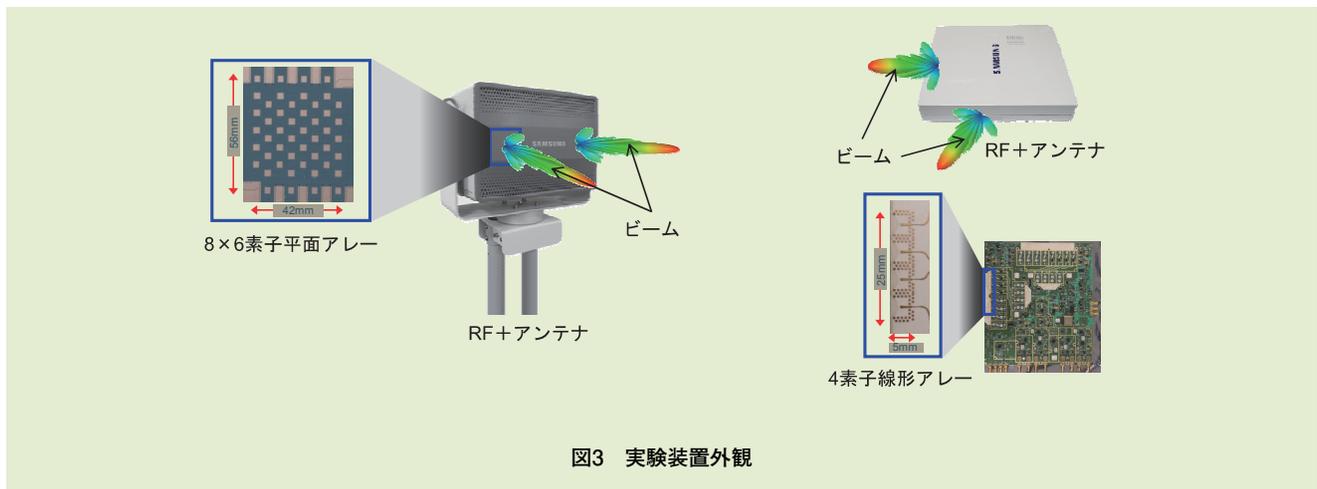


図3 実験装置外観

*18 16QAM: デジタル変調方式の1つ。振幅と位相の異なる16通りの信号を組み合わせることにより、同時に4ビットの情報を送信可能。

*19 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、変調方式と符号化方式を適応的に変化させる。

*20 シャドウイング損失: 移動通信端末が建物の影などに入ることによって受信電力が低下する現象をシャドウイングと呼び、受信電力の低下量を損失と呼ぶ。

目し、44GHz帯におけるマルチビーム多重技術の可能性を検証するための屋外基礎実験およびその測定データを用いたシミュレーション検討について概要を紹介する。

(1)APAA-MIMO

本実験では、アクティブ・フェーズド・アレー・アンテナ (APAA)*21によるアナログビームフォーミングとデジタル信号処理によるMIMOプ

リコーディングを組み合わせたハイブリッドビームフォーミング構成であるAPAA-MIMOを検討している。5Gで要求される超大容量伝送を実現するためには、広帯域化に加えて周波数利用率のさらなる向上が必要であり、APAAで生成されるマルチビームを用いて、より多くのストリームをMIMO空間多重する必要がある。APAA-MIMOではマルチ

ビーム間で発生する干渉をプリコーディングにより抑圧することが可能である。

(2)実験概要

APAA-MIMOによるマルチビーム多重技術を検証するため、図5に示す44GHz帯APAAを用いた屋外基礎実験を行っている。表4に基礎実験における実験装置の諸元を示す。APAAは8×6 (=48) 素子の平面

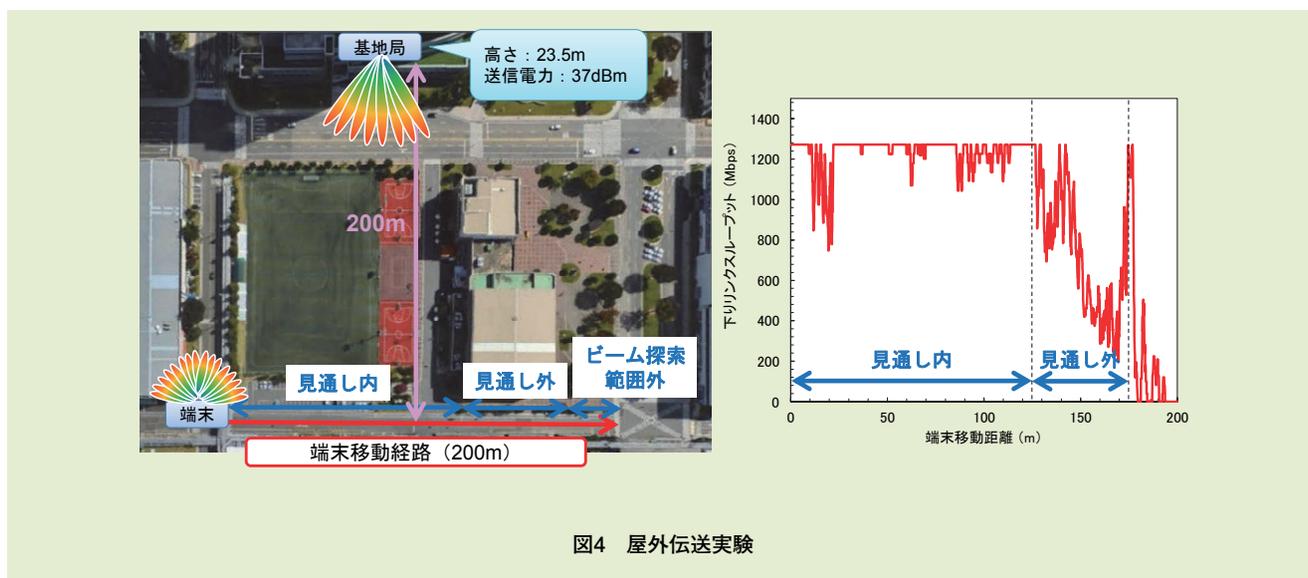


図4 屋外伝送実験

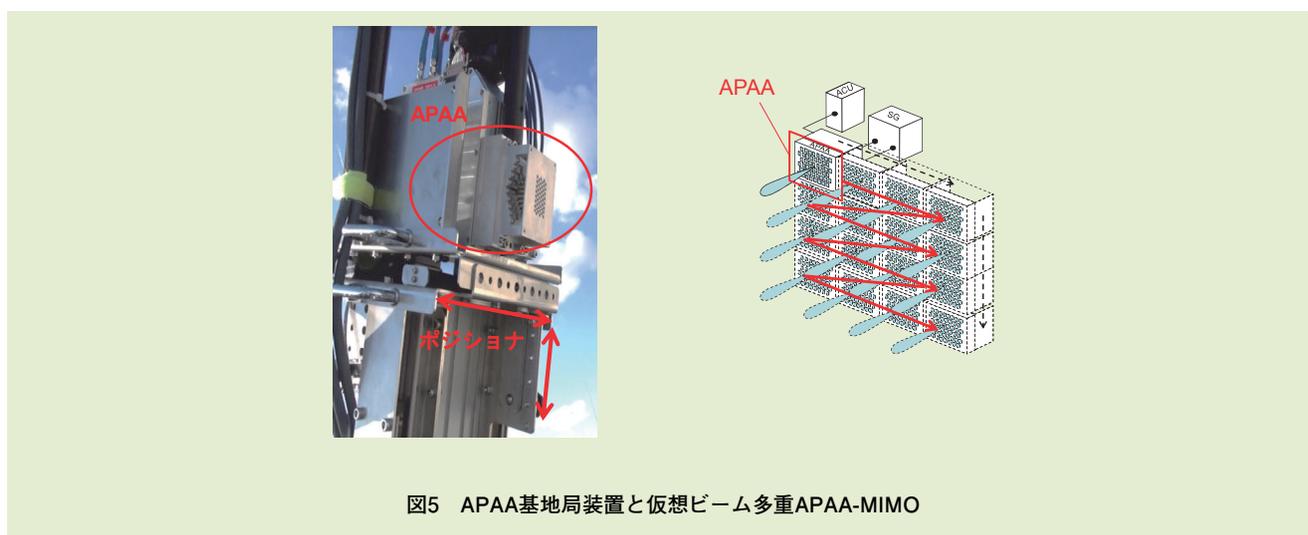


図5 APAA基地局装置と仮想ビーム多重APAA-MIMO

*21 アクティブ・フェーズド・アレー・アンテナ (APAA)：アンテナ素子ごとに増幅器・移相器を備えており、電波の指向性(ビーム)を電子的に制御することが可能なアレーアンテナ。

アレー構成となっており、全素子を用いて1つのビームを生成する。マルチビーム多重の検討を行うため、図5に示すように、ポジションナを用いてAPAAを移動させて、仮想的に48×16(=768)素子を用いた16ビーム多重の性能評価をめざす。まずは、その基礎実験として、兵庫県尼崎市の三菱電機の工場内にて、APAAでアナログビームフォーミングを動作させたときの屋外伝搬測定を行い、その測定データに基づいたシミュレーションにより、16ユーザ多重時の伝送特性を評価した。

(3)実験結果

その評価結果を図6に示す。基地局に近い地点のユーザは2Gbps前後、基地局から100m程度離れた地点のユーザでも1Gbps前後の高いスループットを達成でき、全ユーザの合計スループットは21.1Gbpsに達することを確認できた。

今後は、さらなる伝送実験および伝搬実験を通して、シミュレーションと組み合わせながら、APAA-MIMOのアンテナ・回路構成の最適化、多重できるビーム数の最大値、アナログビームフォーミングのビーム探索間隔・範囲、プリコーディングの最適化、ユーザ多重制御の検討を行う。

3.4 70GHz帯ミリ波伝送実験

ノキアネットワークスと共同で行っている70GHz帯ミリ波伝送実験におけるビームフォーミングの技

術検証について以下に解説する[16][17]。本実験ではスモールセルや屋内・ホットスポット*22での利用を想定したカバレッジや移動性能を実現するためのビームフォーミング技術の実験を行っている。

(1)実験概要

実験装置の基本仕様を表5に、基地局および移動局装置を図7にそれぞれ示す。装置の中心周波数は73.5GHz、システム帯域幅は1GHzである。基地局装置では、水平±17.5度、垂直±4.0度の範囲で、半値幅*23 3度のビームを制御する。基地局のビームは64通り(垂直方向

4通り、水平方向16通り)の候補の中から移動局の受信品質が良いビームが選択される仕組みを持つ。

ミリ波での伝送特性およびビームフォーミングの評価にあたり、さまざまなスモールセル環境での実証実験を神奈川県横須賀市のYRP地区で実施した。実験の様子を図8に示す。ここでは、(a)中庭(屋外見通し内環境)、(b)ロビー(屋内見通し内および見通し外環境)、(c)地下駐車場(屋内見通し内および見通し外環境)での結果を示す。各環境において基地局からの距離がおおよそ20m、(20m, 35m)、(40m, 60m)の直線

表4 実験装置諸元

中心周波数	44GHz	
基地局アンテナ	APAA	
	アンテナ素子数	8×6(=48)
	空中線利得	17.2dBi
受信局アンテナ	ホーンアンテナ	
	受信アンテナ利得	20.4dBi

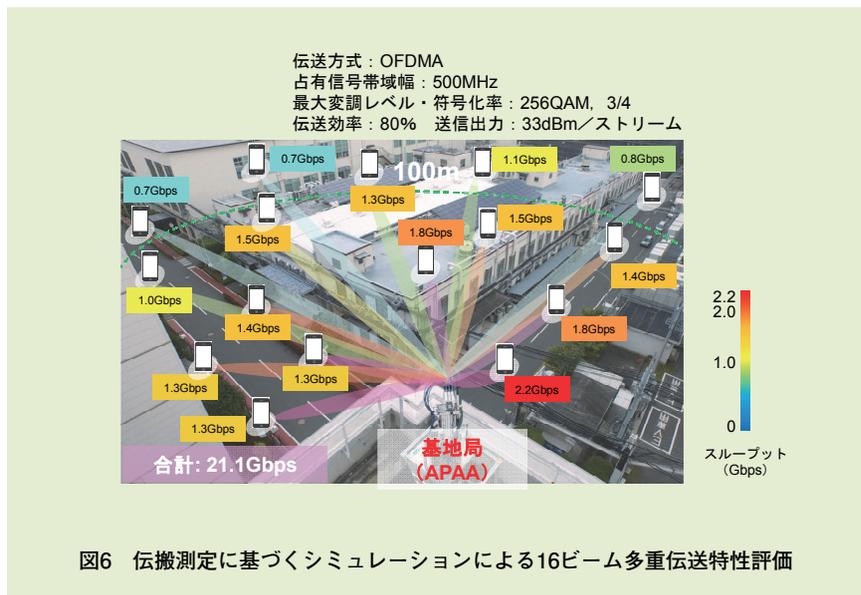


図6 伝搬測定に基づくシミュレーションによる16ビーム多重伝送特性評価

*22 ホットスポット：駅前広場など、トラフィックが集中して発生する場所。

*23 半値幅：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。

コース上で評価した。移動局の移動速度は歩行速度を想定した約4km/hとした。移動局の移動に伴い最適なビームが変化し、それにあわせて基

地局のビームが適切に追従した。

(2)実験結果

図9に各環境におけるスループットの累積分布特性 (CDF: Cumulative Distribution Function)*24を示す。CDFによりコース上のスループットの分布の割合を確認することができる。いずれの環境においても装置の最大伝送スループットである2Gbps以上を達成しておりコースによりその割合が異なることが確認できる。特に、見通し内環境においてはコース上の多くの領域で最大スループットを達成した。

現在、図10に示すようなビーム状態の可視化システムを開発し、ミリ波の伝送特性の解明を進めている。さらに、より実際の環境に近い市街地環境での検証も行っている。今後

表5 実験装置基本仕様

無線アクセス	NCP-SC
複信方式	TDD (上り/下り比率=12:188)
中心周波数	73.5GHz
システム帯域幅	1GHz
送信電力	23.6dBm (0.229W)
送受信アンテナ数	1
TTI長	100μsec
データ変調	BPSK, QPSK, 16QAM

BPSK: Binary Phase Shift Keying
NCP-SC: Null Cyclic Prefix Single Carrier



基地局装置

移動局装置

図7 実験装置外観



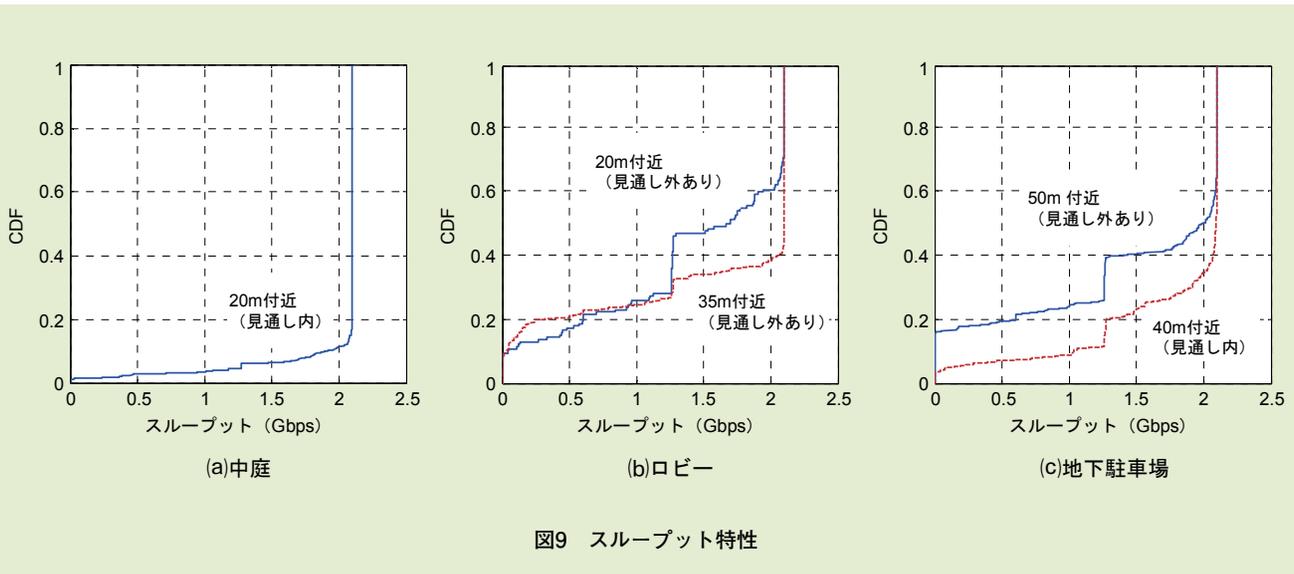
(a)中庭：セル半径20m
(屋外見通し内環境)

(b)ロビー：セル半径35m
(屋内見通し内および見通し外環境)

(c)地下駐車場：セル半径60m
(屋内見通し内および見通し外環境)

図8 伝送実験環境

*24 累積分布特性 (CDF)：確率変数がある値以下の値をとる確率を表したもの。



はより見通しの確保ができる複数の
基地局によるマルチサイト化の検証
も行う予定である。

4. あとがき

本稿では、現在ドコモが取り組ん
でいる、主要ベンダとの協力による
5G伝送実験について概説し、高周
波数帯の活用に向けた要素技術の検
証実験を中心に紹介した。得られた
実験結果はドコモが提唱する5Gコ

ンセプトの検証結果として、世界の
5G関連の研究団体や国際会議、
2016年以降本格的に開始される5G
の標準化活動などの場での議論に寄
与していくとともに、より高度な技
術の創出に向けた検討において活用
する予定である。

文 献

[1] NTTドコモ報道発表資料：“5Gの屋外
実験で4.5Gbpsの超高速通信に成功

ー東京2020オリンピック・パラリン
ピックまでにサービスの提供開始をめ
ざすー,” Mar. 2015.

[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/03/02_00.html)
[release/2015/03/02_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_)

[2] NTTドコモ報道発表資料：“世界主要
ベンダーとの5G実験を拡大,” Jul.
2015.

[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/07/22_00.html)
[release/2015/07/22_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_)

[3] A. Benjebbour, A. Harada, Y. Kishiyama,
Y. Okumura, J. Ma, J. Qiu, D. Chen,
L. Lu and T. Kashima: “Large Scale

- Experimental Trial of 5G Air Interface,” 信学ソ大, Sep. 2015.
- [4] 小林 崇春, 澤本 敏郎, 瀬山 崇志, 伊達木 隆, 関 宏之, 小林 一成, 箕輪 守彦, 須山 聡, 奥村 幸彦: “5G 超高密度セルにおける協調ビームフォーミングの検討と屋内実験,” 信学技報, RCS2015-18, Apr. 2015.
- [5] 筒井 正文, 安藤 和明, 秋山 千代志, 伊達木 隆, 関 宏之, 箕輪 守彦, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦: “5G 超高密度分散アンテナシステムにおける広帯域MIMO伝送特性の屋内実験検証,” 信学技報, RCS2015-180, Oct. 2015.
- [6] シン キュン, 須山 聡, 丸田 靖, 奥村 幸彦: “5GHz帯超多素子アンテナを用いた5G基礎伝送実験,” 信学総大, B-5-93, Mar. 2015.
- [7] ジャン イー, 丸田 靖, 望月 拓志, 平部 正司, シン キュン, 須山 聡, 奥村 幸彦: “超多素子アンテナ試作とビーム多重動作検証,” 信学総大, B-5-94, Mar. 2015.
- [8] T. Nakamura, Y. Kishiyama, P. Stefan, D. Erik and F. Johan: “Concept of Experimental Trial for 5G Cellular Radio Access,” 信学ソ大, B-5-58, Sep. 2014.
- [9] 立石 貴一, 栗田 大輔, 原田 篤, 岸山 祥久, 奥村 幸彦: “15GHz帯を用いた5G無線アクセスにおける屋内スモールセル環境の下りリンク伝送実験結果,” 信学技報, RCS2015-19, Apr. 2015.
- [10] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Parkvall, E. Dahlman, J. Furuskog: “Field Experiments on 5G Radio Access Using 15-GHz Band in Outdoor Small Cell Environment,” IEEE PIMRC 2015, Aug. 2015.
- [11] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee, Y. Okumura: “Indoor and Outdoor Experimental Trials in 28-GHz Band for 5G Wireless Communication Systems,” IEEE PIMRC2015, Aug. 2015.
- [12] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee and Y. Okumura: “Outdoor Experiment of Beamforming in 28 GHz Band for 5G Systems,” 信学ソ大会, B-5-68, Sep. 2015.
- [13] 須山 聡, 小原 辰徳, 岡崎 彰浩, 中川 兼治, 井浦 裕貴, 平 明德, 奥村 幸彦, 岡村 敦, 石岡 和明: “5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44GHz帯屋外基礎実験(1),” 信学ソ大, B-5-69, Sep. 2015.
- [14] 岡崎 彰浩, 中川 兼治, 井浦 裕貴, 平 明德, 石岡 和明, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦: “5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44GHz帯屋外基礎実験(2),” 信学ソ大, B-5-70, Sep. 2015.
- [15] 中川 兼治, 岡崎 彰浩, 井浦 裕貴, 平 明德, 石岡 和明, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦: “5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44GHz帯屋外基礎実験(3),” 信学ソ大, B-5-71, Sep. 2015.
- [16] Y. Kishiyama, T. Nakamura, A. Ghosh and C. Mark: “Concept of mmW Experimental Trial for 5G Radio Access,” 信学ソ大, Sep. 2014.
- [17] Y. Inoue, Y. Kishiyama, Y. Okumura, James Kepler and Mark Cudak: “Experimental Evaluation of Downlink Transmission and Beam Tracking Performance for 5G mmW Radio Access in Indoor Shielded Environment,” IEEE PIMRC 2015, Aug. 2015.