

Technology Reports

超高速データ通信

高速移動対応

周波数利用効率向上

5Gシステムの最新無線アクセス技術と フィールド実証実験結果

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

先進技術研究所

5G推進室

岸山

よしひさ
祥久すやま
須山さとし
聡おくむら
奥村ゆきひこ
幸彦

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

1. まえがき

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

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

2. 超高速データ通信の実証実験

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

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

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

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

2.1 超高速MU-MIMO伝送の実験

(1) MU-MIMOの伝送機能および装置概要

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

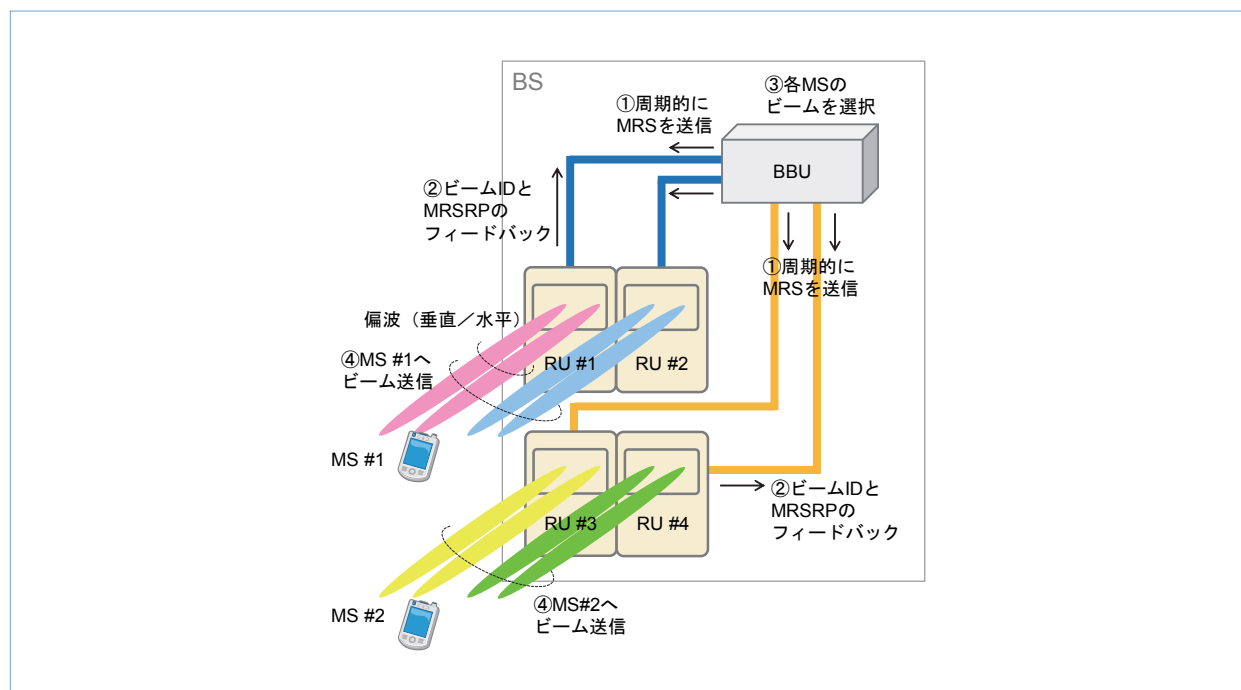


図1 本実験装置におけるMU-MIMOビーム伝送機能

- *2 ビームフォーミング：複数のアンテナの位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加／減少させる技術。
- *3 ストリーム：複数の送受信アンテナを用いるMIMO技術において空間多重される送信データ系列。
- *4 256QAM：QAM（直交振幅変調）とは、変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。256QAMの場合は256（2の8乗）種類のシンボルが存在するため、一度に8

ビットを伝送可能である。

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

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

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

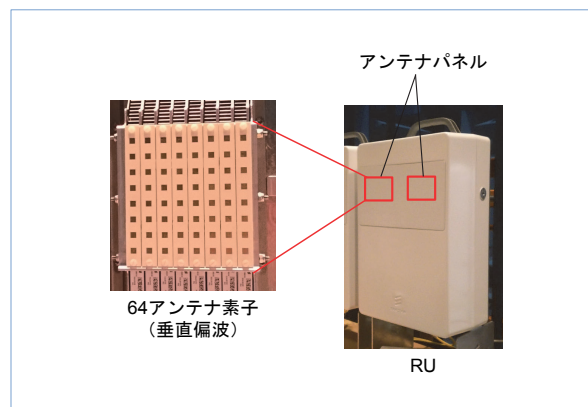


図2 RUの外観

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

(2)実験環境と測定結果

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

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

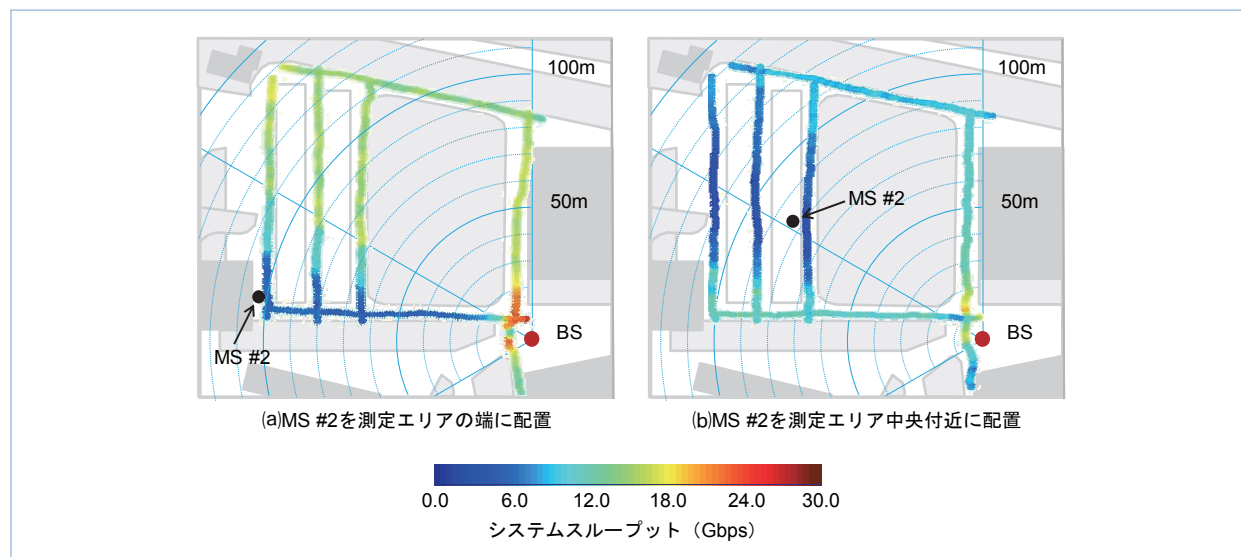


図3 超高速MU-MIMO伝送の実験結果

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

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

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

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

*¹¹ LOS: 送受信間に遮蔽物がなく、直接波での通信が可能な状態。

リアの中央付近にそれぞれ配置した。

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

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

2.2 Massive MIMO向け要素技術の実験

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

(1)分散MIMO技術

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

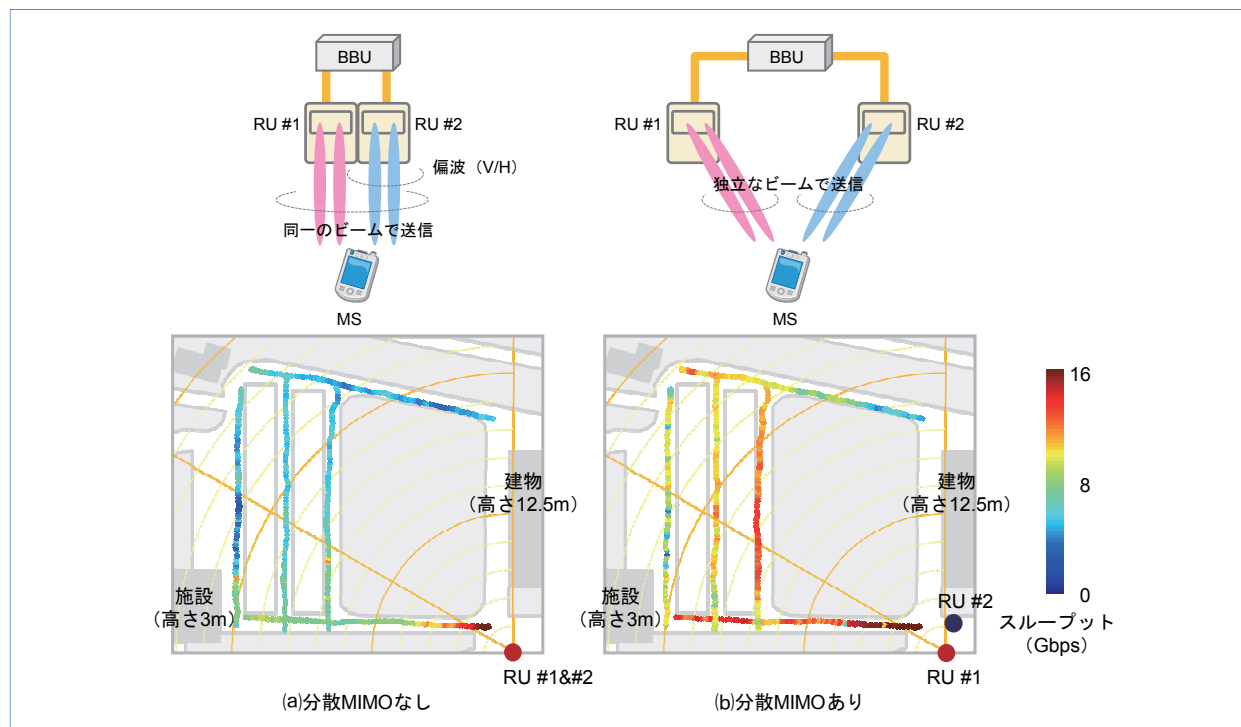


図4 分散MIMO技術の実験結果

- *12 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。
- *13 チャネル相関：複数の信号の類似性を示す指標であり、類似性（相関性）が高いと1に近い値をとり、類似性（相関性）が低いと0に近い値をとる。
- *14 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの移動局に送信しMIMO伝送を行う技術。

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

ループットを実現することができた。

(2)CSI推定によるRU間独立ビーム送信技術

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

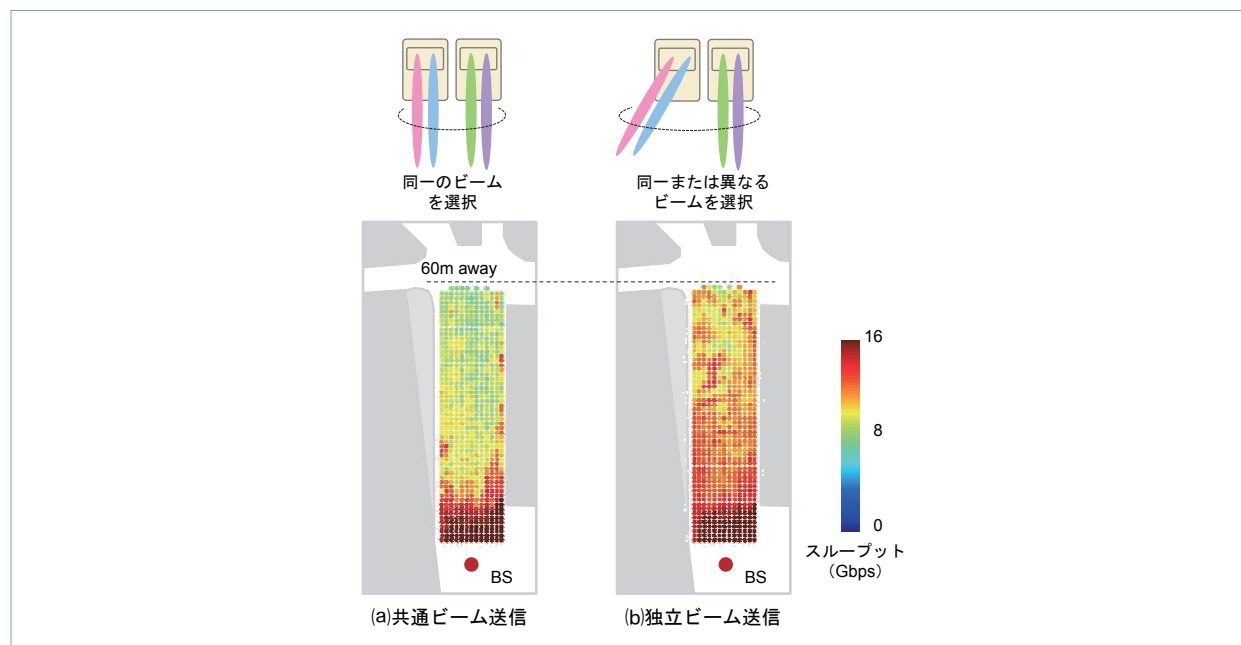


図5 CSI推定によるRU間独立ビーム送信技術の実験結果

*15 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

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

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

3. 150km/hでの移動時における 高速無線データ伝送の実証実験

28GHz帯は数百MHz級の超広帯域が利用できる

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

3.1 実験概要

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

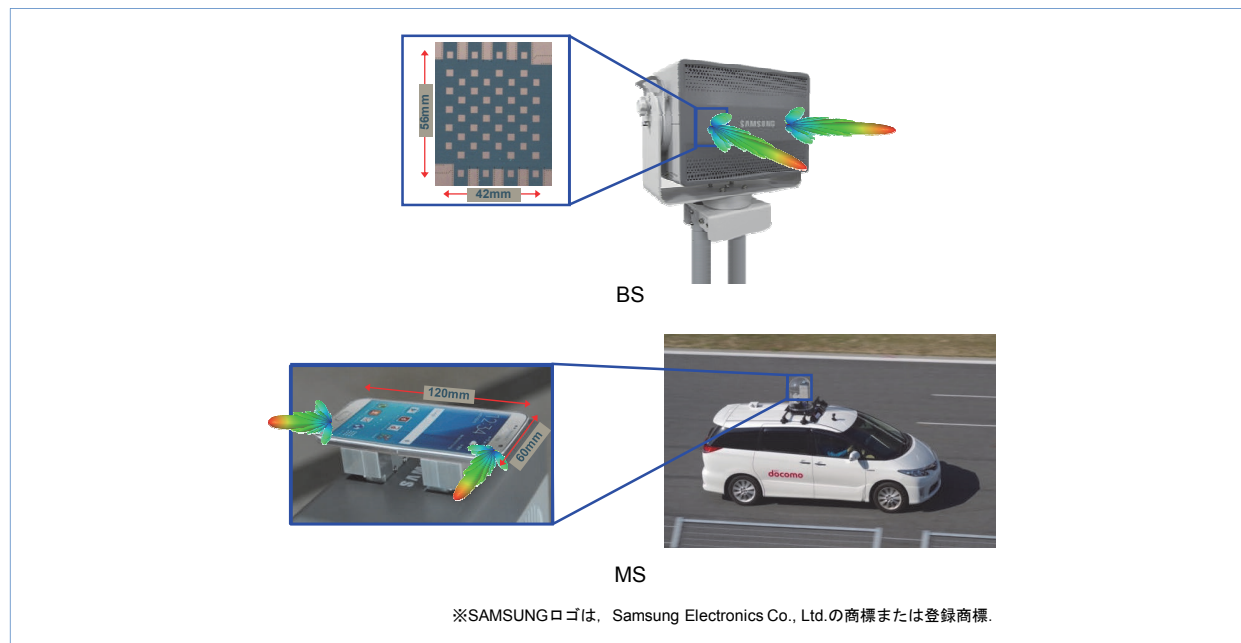


図6 装置外観

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

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

表1 装置諸元

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

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

OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing

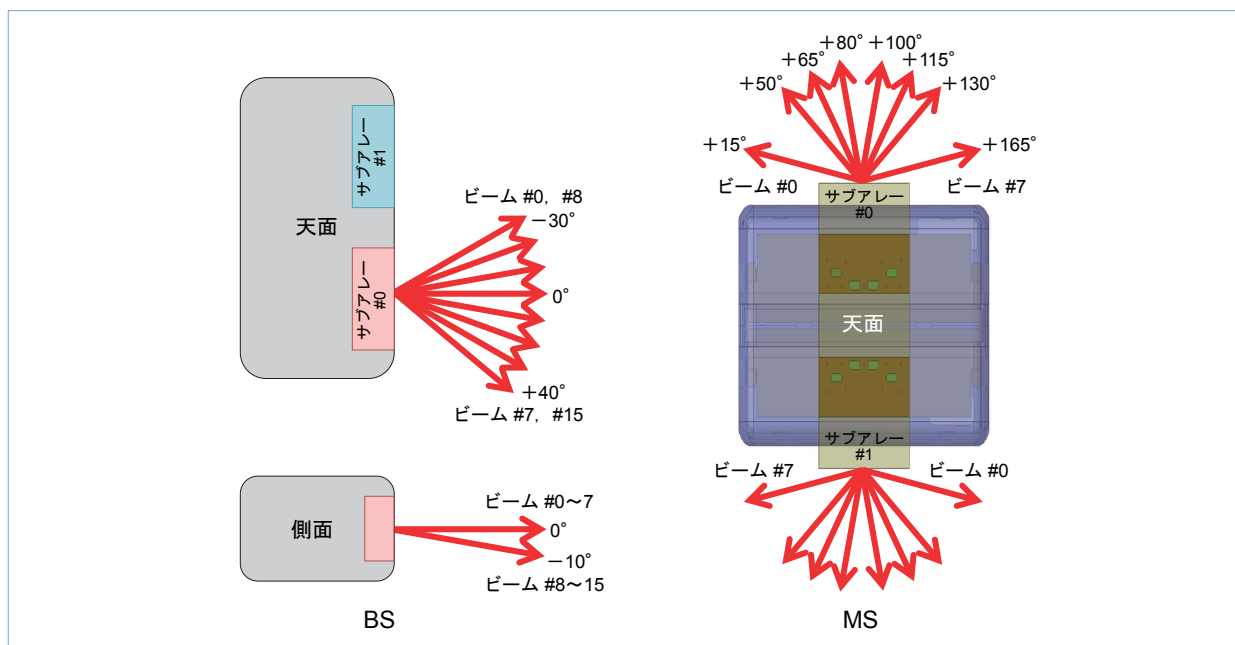


図7 各装置のビームパターン

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

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

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

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

3.2 実験結果

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

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

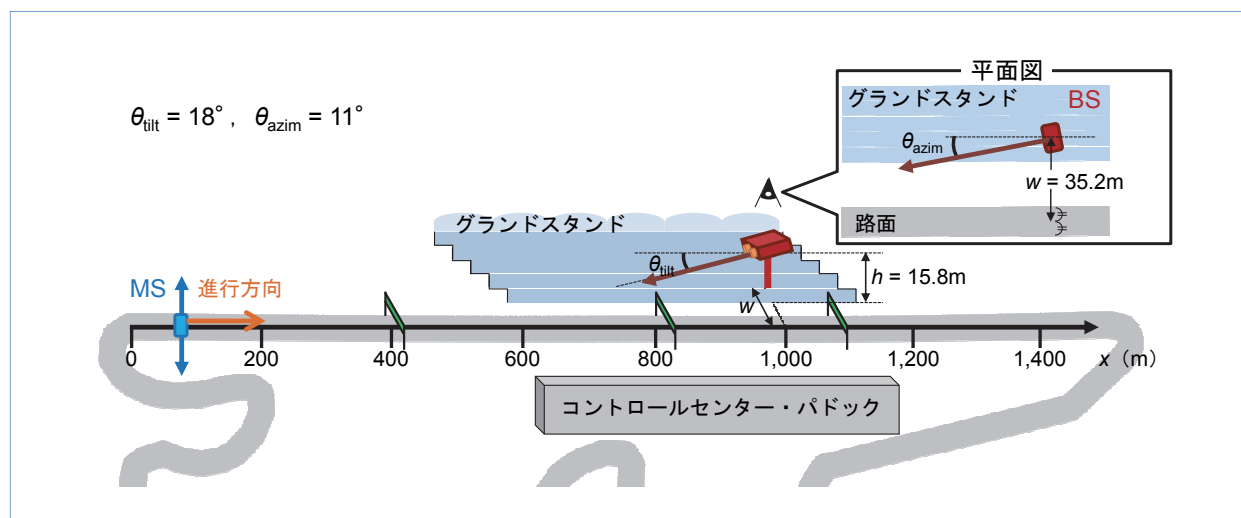


図8 実験環境

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

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

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

成する。

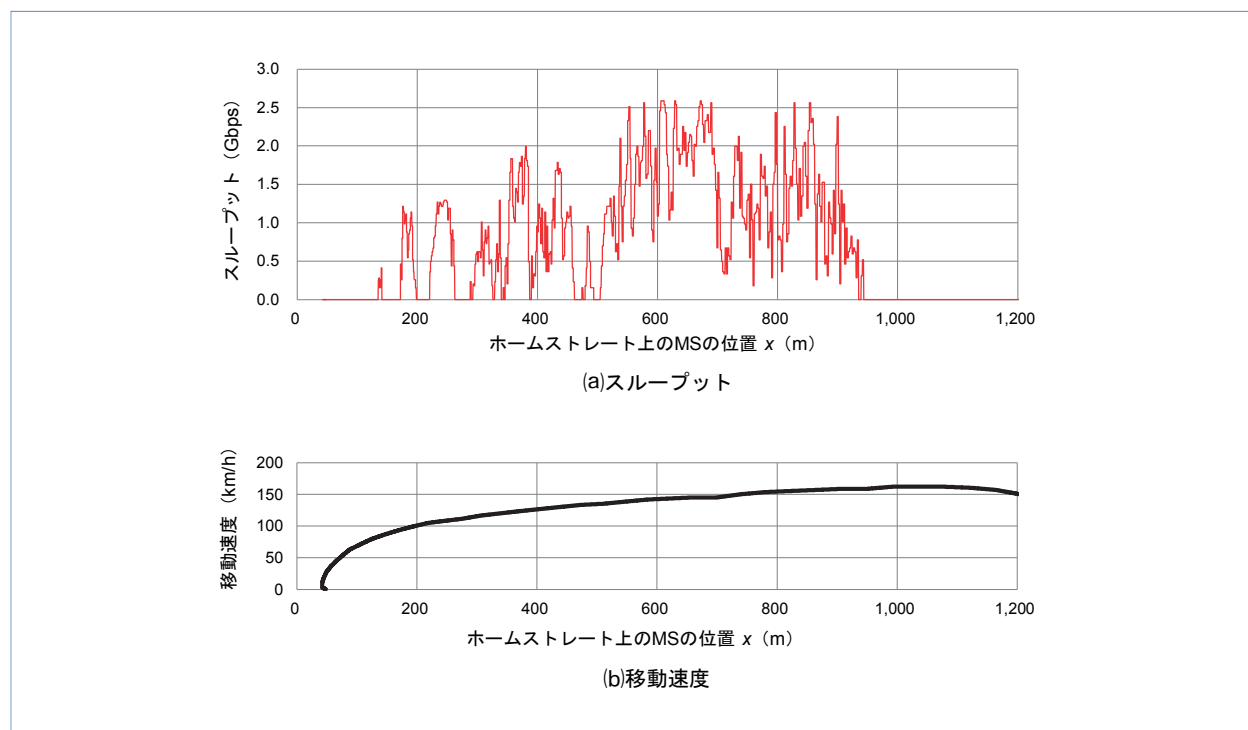


図9 高速移動実験結果

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

4. さらなる周波数利用効率向上の実証実験

ここまでは、6GHzを超える高周波数帯での実験

結果について紹介してきたが、5Gでは6GHz以下の比較的既存バンドに近い周波数帯も候補バンドとなっている。このような周波数帯では1GHz近くの広い周波数帯域幅を確保することは困難であるため、5Gで要求される超高速・大容量な通信を実現するには大幅な周波数利用効率の向上が必要である。ドコモでは、横浜市のみなとみらい21地区でのファウェイとの共同実験により、4.5GHz帯を用いたMassive MIMO伝送技術による周波数利用効率の改善効果について検証を進めているので[12][13]、その実験概要と結果について解説する。

4.1 実験概要

本実験における装置諸元を表2に示す。周波数は4.5GHz帯を適用し、システム帯域幅は200MHzとした。BSおよびMSの外観および本実験環境における

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

*21 ランク適応制御：無線伝搬路の状況に応じて空間多重ストリーム数を適応的に変化させる方法。空間多重に必要な固有空間の数（ランク）が大きな伝搬環境の場合は、高いスループットを得られるように、空間多重ストリーム数を大きくする。

表2 装置諸元

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

CP : Cyclic Prefix

TTI : Transmission Time Interval

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

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

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

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

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

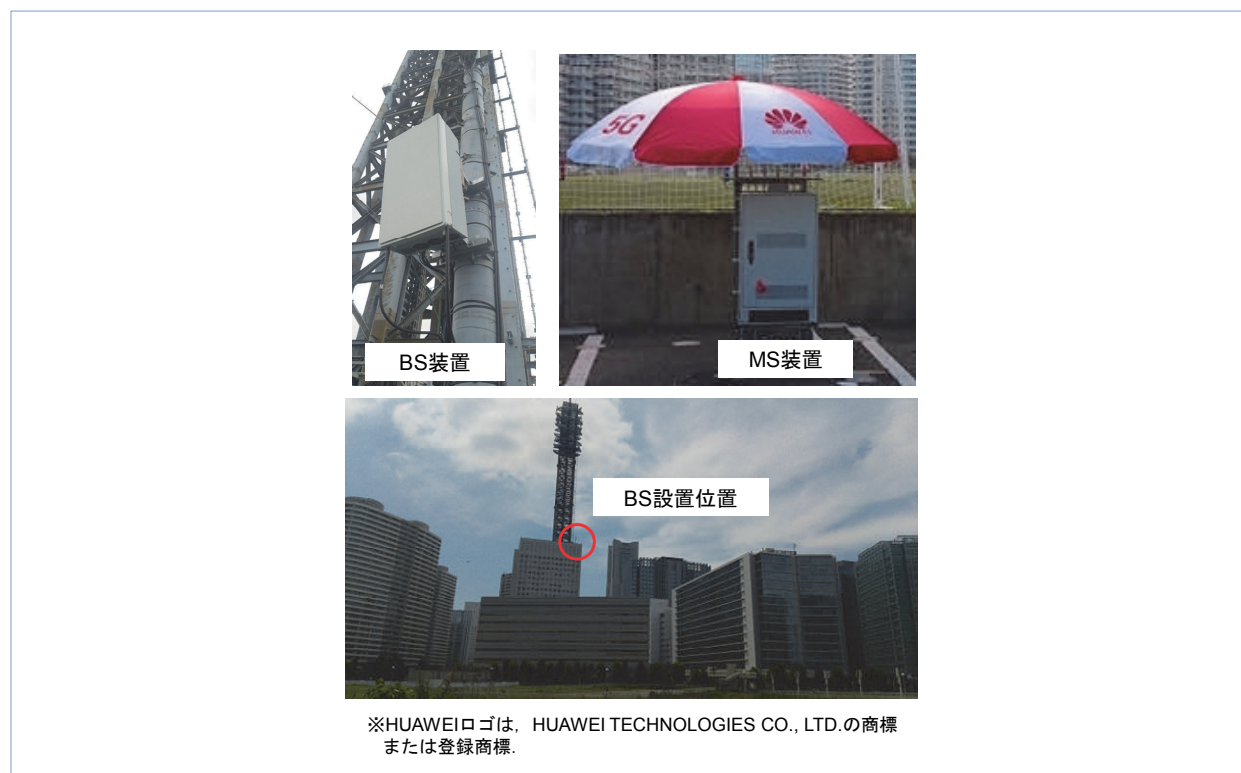


図10 BSおよびMSの外観

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

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

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

4.2 実験結果

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

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

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

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

双方向通信が可能。

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

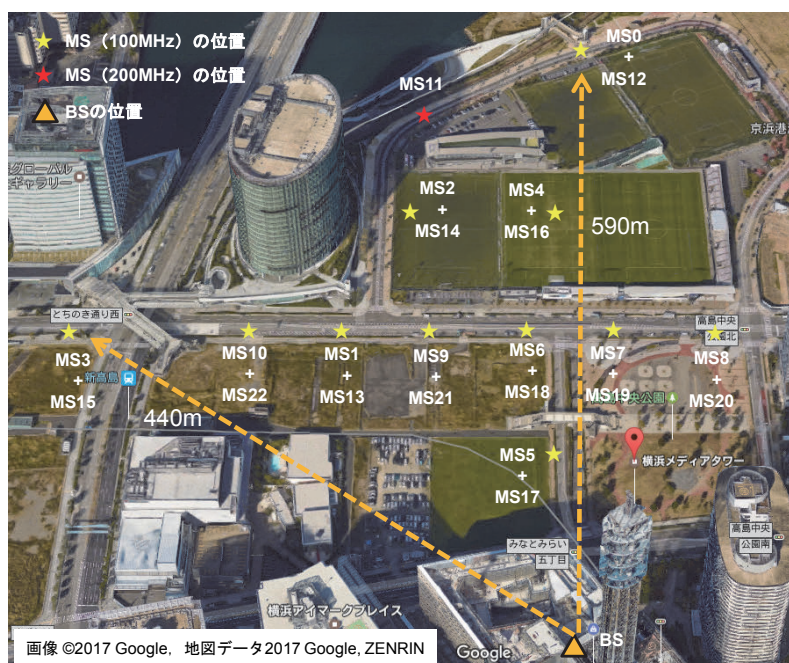


図11 実験環境



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

図12 実験装置における測定結果

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

できた。

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

5. あとがき

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

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

*29 5G+：5Gの発展を表す略称。

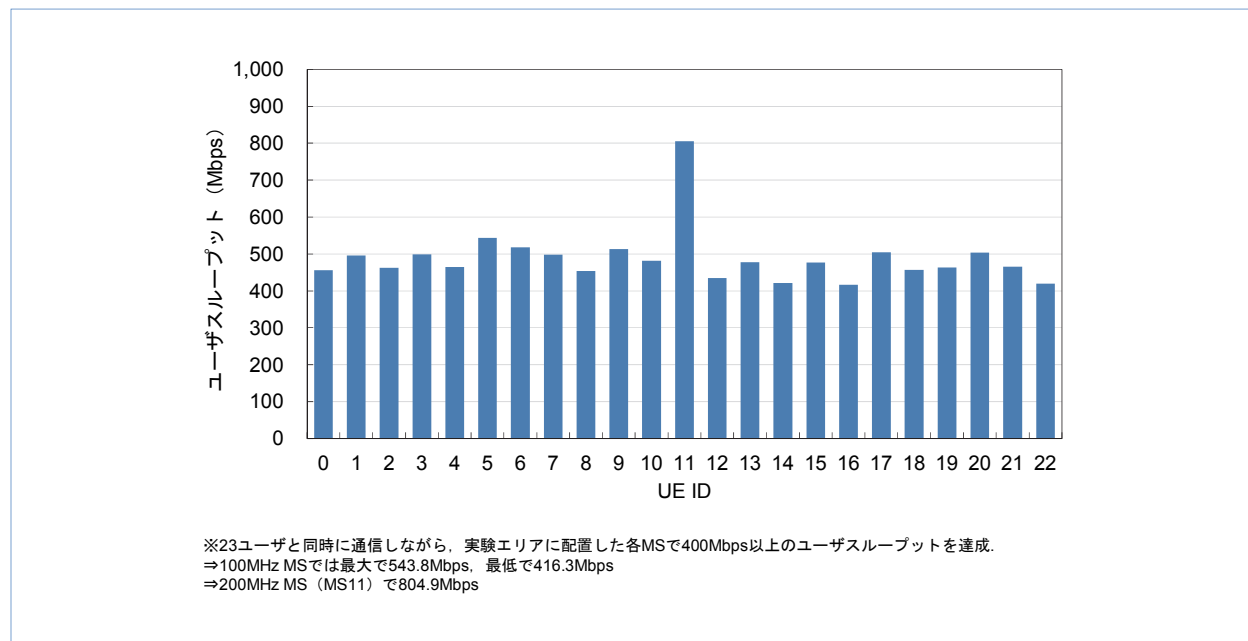


図13 ユーザスループット特性の実験結果

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

文 献

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

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