

5G で楽しむスタジアム観戦

Watching a Game/Event in a Large Stadium by Use of 5G

村田博司



スタジアムでは、オリンピック・パラリンピックや、野球、サッカー、コンサートなど、大勢の観客が集まるイベントが開催される。このとき、比較的狭いエリア（たかだか数百 m 平方程度）に数万人もの観客が集中することになるために、従来の無線通信システムを用いた場合にはかなりの電波干渉、ふくそうが生じることが懸念される。それゆえ、スタジアムは、5G の特長・優位性を発揮できる環境であると考えられる。実際の大規模なスタジアムにおいて快適な通信環境を実現するためには、無線技術と光ファイバ通信技術との融合がポイントになると考えられる。本稿では、4 万人収容大規模サッカースタジアムにおいて実施した無線・光融合 5G 通信実験について紹介する。

キーワード：ミリ波、光ファイバ無線、高密度ユーザ環境、端末位置推定技術

1. はじめに

5G は、その大きな特長である「超高速性（最大 10 Gbit/s）」、「多数同時接続性（100 万台/km²）」、「超低遅延（～1 ms）」のゆえに、従来の携帯電話やスマートフォンの範ちゅうを超えた様々な応用が期待されている⁽¹⁾。特に、多数同時接続性は、数百 m 平方程度の比較的狭いエリアで多くの人々（数千～数万人）が同じコンテンツを楽しむ環境（例えば、スポーツスタジアム、ショッピングモール、コンサート会場等）において、従来にはない新しい無線通信サービスを提供できる可能性がある。例えば、スタジアムにおいて観客のリクエストに応じて高精細で迫力のあるリプレイ映像等を提供することができれば、観戦の楽しさが倍増すると考えられる。

筆者らは、昨年までの 3 年間、「比較的狭いエリアに多くのユーザが集まっている環境」（ここでは、「高密度ユーザ環境」と呼ぶ）における 5G 無線のための日欧国際共同研究プロジェクト（プロジェクト名：RAPID）を推進した。このプロジェクトでは、スタジアムや

ショッピングモールのような高密度ユーザ環境において 5G 無線通信システムを構築するために、フォトリソグラフィ技術やフォトニクス技術を用いた無線フロントホールリンクと新しいデバイス・モジュール技術の研究開発を行った。そして、実際の「高密度ユーザ環境」として、大規模サッカースタジアム（日本・大阪府）と、大形ショッピングモール（ポーランド・ワルシャワ市）においてフォトリソグラフィベース 5G 無線通信実験とデモンストレーションを行った。本稿では、スタジアムにおける 5G 実験について紹介する。

2. スタジアムでの無線伝搬

近年の大規模スタジアムは、Wi-Fi 等の無料無線通信サービスを提供していることが多いが、Wi-Fi の通信環境は必ずしも良好とは言えないようである。本来、Wi-Fi は室内等の比較的狭い空間での利用を想定しているためである。一方、近年の大規模スタジアム^(注1)では、フィールドで繰り広げられるイベントを観戦しやすいよ

村田博司 正員 三重大学大学院工学研究科電気電子工学専攻
E-mail: murata@elec.mie-u.ac.jp
Hiroshi MURATA, Member (Graduate School of Engineering, Mie University, Tsu-shi, 514-8507 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.101 No.11 pp.1091-1094 2018 年 11 月
©電子情報通信学会 2018

(注1) 欧米には、かなり大規模なスタジアム・球技場があるが、収容人数は 10 万人程度が上限のようである。これは、光速と音速の差による制約と考えられる。試合での選手の動きなどの視覚情報は光速で伝わるのに対して、歓声等は音速（秒速 300 m 程度）で伝わるので、音声情報には遅延が生じる。それゆえ、多数の観客が一体感を持って観戦するためには、スタジアムの物理的サイズに上限があることになる。

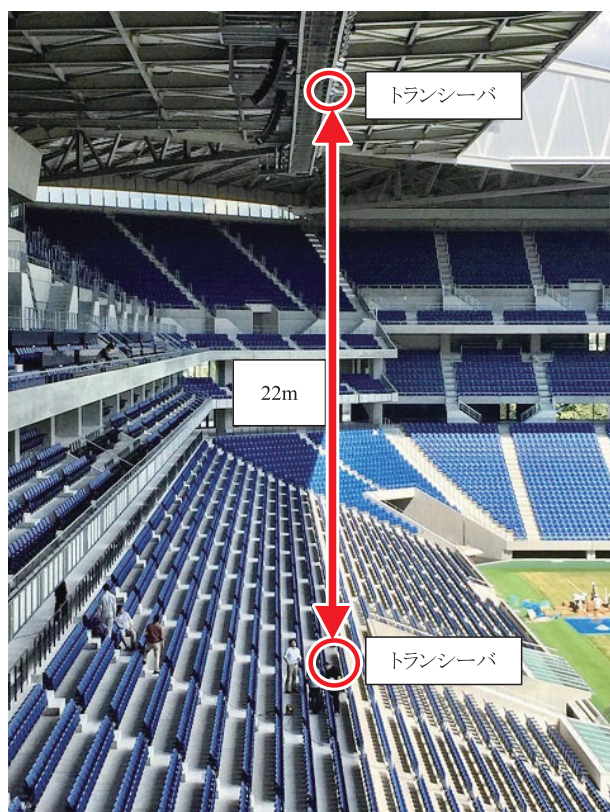


図1 サッカースタジアムでのミリ波通信基礎実験の様子

うに、観客席とフィールドとの間には壁や柱等の建築構造物がほとんどない仕様になっている。つまり、フィールドと観客席とをシームレスにつなぐ広い空間が設けられている。観戦には最適であり、また、電波伝搬の点においても障害物が非常に少ない構造と言える。したがって、室内空間のための無線通信システムでは、アクセスポイント及び端末相互の干渉が生じやすい。観客数が少ない場合には大きな問題にはならないが、数万人もの観客が集まる場合には、多くの観客が持参しているスマートフォンからのWi-Fi等の無線信号がフィールド上を飛び交うことになり、多くの電波干渉、ふくそうが生じてしまう。

5Gにおいては、搬送波周波数が4GやWi-Fiに比べて一桁高くなるために、電波伝搬における直進性を高めて、干渉を大幅に低減するとともに、観客席の周りの自由空間を異なる通信路として利用する空間多重通信方式を用いることができる。そこで、実際の大規模スタジアム（4万人収容）において、ミリ波を使った無線通信の基礎実験を行った。

大阪府の市立吹田サッカースタジアム（当時）において、通信実験を行った。スタジアムの天井の裏にあるキャットウォークにミリ波帯通信機（60 GHz 帯特定小電力無線、10 mW）を取り付け、もう一方の通信機をメインスタンドに配置した（図1）。また、メインスタ

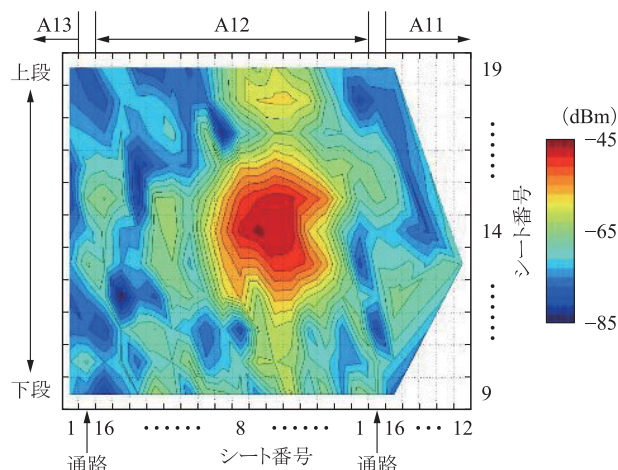


図2 観客席で測定したミリ波通信信号の強度分布

ンドには移動式の測定器（スペクトルアナライザ）を設置して、ミリ波信号強度も測定した。測定結果を図2に示す。直進性の高いミリ波を用いることで、特定のシートエリアのみ（図2の場合は4シート程度）にミリ波ビームを選択的に照射することで、不要干渉を低減するとともに高速データ通信（ >1 Gbit/s）を行えることを実証した。ミリ波のビーム制御により、観客の視線を遮ることなく、多数の小形セルを配置することが可能と考えられる。

一方、スタジアムに設置されているWi-Fiの評価試験も行った。Wi-Fiについては、予想どおり、観客数が多くなると干渉・ふくそうが頻発する結果が得られた。

3. 大規模スタジアムでの5G無線実験

更に、光ファイバ無線（RoF: Radio-over-Fiber）技術によるフォトニックベースフロントホールを用いた5G無線通信実験を行った⁽²⁾。高密度ユーザ環境では、多くの小形無線セルを配置して運用することが求められる。これには、シンプルなりモートアンテナユニット（RAU）を多数設置して、中央局（CS）とRoFによって接続する構成が有効と考えられる。RoFによる光アナログ伝送を用いることで、RAUには無線信号のデジタル変復調器が不要となる。したがって、RAUを光・ミリ波変換素子と増幅器、アンテナから成るシンプルな構成とすることができ、設置及び運用のコストの面で非常に有利と考えられる。また、中央局から複数のRAUを制御してMIMOアンテナとして協調させることで、通信速度を上げることも可能である⁽³⁾。

図3に示すように、屋外での通信実験等のために、測定機器を設置した試験車両（小型バス）を、スタジアムのピッチの近くの通路（コーナフラッグから10 mほどの場所）に設置した。試験車両の内部には、通信用デー

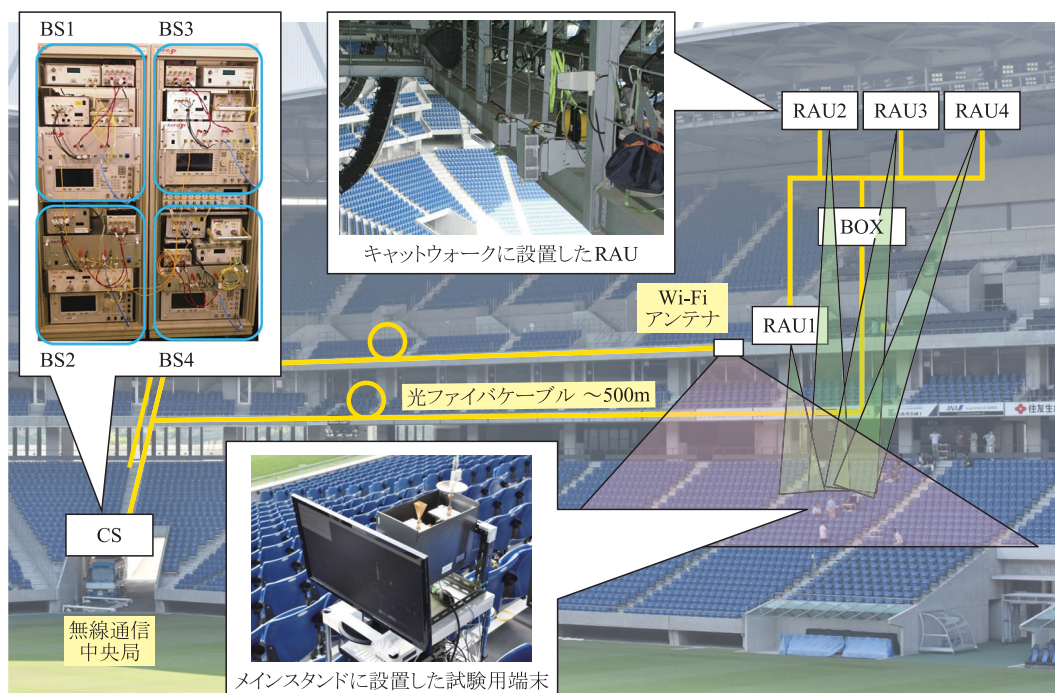


図3 市立吹田サッカースタジアムでのミリ波無線通信実験

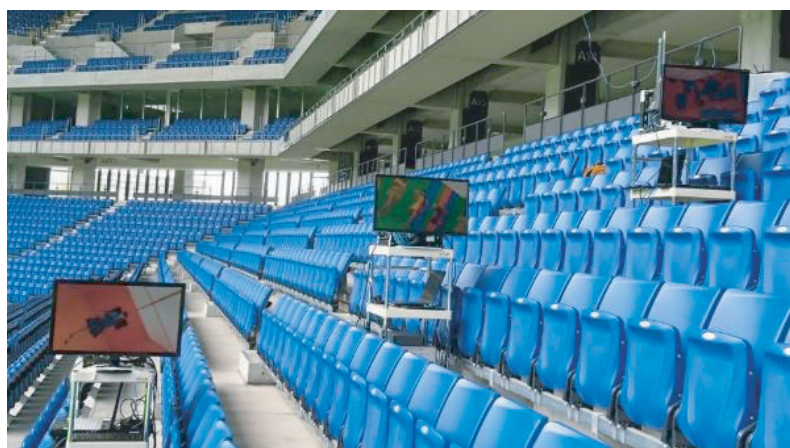


図4 ミリ波を用いた4K画像の再生の様子

タサーバ、無線信号生成器、レーザ光源、光変調器・光検出器等を設置して、試験用無線通信システムのCSとした。更に、スタジアムの屋根の裏側にあるキャットウォーク部分（照明機器、音響機器等が設置されている）に、複数のRAUを配置して、親局から単一モードファイバ（長さ約600m）を用いて接続した。ミリ波としては、60GHz帯の小信号無線システムをアナログRoFリンクにより延伸して、一方の通信機をスタジアムの天井裏のキャットウォークの部分に、他方の通信機をメインスタンド部分に設置した。複数のRAUを用いることで、セル間の干渉の影響及び協調動作の可能性の評価を行った。

4日間の実験の結果、実際の大規模スタジアムにおいてミリ波を使った4K動画の低遅延伝送を実証した（図4）。また、既存の無線通信システムとミリ波無線リンクを自動的に切り換えるモバイルIPの実証試験も行い、平均1.4ms程度の切り換えが可能であることを確かめた。

RoFリンクに光波長多重（WDM）技術を用いれば、1本の光ファイバを用いて、100チャンネル程度の5G無線回線を収容可能と考えられる。数万人収容のスタジアムであれば、100本程度の光ファイバリンクが必要と試算される。

5G無線関係のプロジェクトでは、ミリ波のビーム

フォーミング制御をうたったものが多い。しかし、ビームフォーミング技術を効率的に利用するためには、無線端末の位置を知る必要がある。RAPID プロジェクトでは、端末からの信号を複数のアンテナユニットで受信して時間遅延を測定することにより、高精度に端末の位置を推定できることを実証している⁽⁴⁾。この技術を、上述のような大規模スタジアムにおいてフォトニックベースフロントホールとともに実装すれば、精度 10 cm 程度で端末位置を推定できると予想される。端末がスタジアムのどのシート上にあるのかを検出することが可能と言える。

スタジアムでの実験により、ミリ波を用いた空間多重無線通信とフォトニックベースリンクの有効性を確かめることができた。小形無線セルのためのミリ波ビーム制御技術を RAU に実装することは比較的容易だと考えられるが、スマートフォンやタブレットなどのユーザ端末にビーム制御・モニタ機能を持たせることは技術的、経済的にハードルが高いと思われる。そのため、CS から端末への下り回線はキャットウォークに設置した RAU を経由して通信を行い、端末から CS へはユーザのシート近傍に設置したパッシブ RAU を経由する非対称通信方式が有効と考えられる⁽⁵⁾。例えば、シートの背面等にアンテナ電極光変調器と WDM 用の Add/Drop フィルタを用いる構成を用いることができる。現在、非対称無線リンク実現のための評価実験を進めている。

4. むすびと今後の展望

スタジアムは、5G の多数同時接続性という特長を発揮できる重要なプラットフォームである。今後は、オリンピック・パラリンピックや、サッカー、野球の試合観戦において 5G 技術が欠かせないものとなるかもしれない。

い。

謝辞 本稿の内容は、情報通信研究機構の委託研究「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発および実証」において得られたものである。この研究プロジェクトで御協力頂いた各位に感謝します。また、スタジアムでの実験に御協力頂いたガンバ大阪をはじめとする関係各位にも感謝します。

文 献

- (1) C.-L.I, C. Rowell, S. Han, Z. Xu, G. Li, and Z. Pan, "Toward green and soft : A 5G perspective," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 66-73, 2014.
- (2) H. Murata, Y. Otagaki, N. Yonemoto, Y. Kakubari, K. Ikeda, N. Shibagaki, H. Toda, H. Mano, U. Habib, and N. Gomes, "Millimeter-wave communication system using photonic-based remote antennas for configurable network in dense user environment," Proc. 2017 IEEE Conference on Antenna Measurement & Applications (2017 IEEE CAMA), no. MB1.4, pp. 24-27, Tsukuba, Japan, Dec. 2017.
- (3) N.J. Gomes, P.P. Monteiro, and A. Gameiro, Next Generation Wireless Communications Using Radio over Fiber, A John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- (4) Y. Kakubari and N. Yonemoto, "MMW mobile terminal positioning using remote receivers," Proc. 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), no. TB3.4, pp. 341-344, Tsukuba, Japan, Dec. 2017.
- (5) 大田垣祐衣, 井上敏之, 村田博司, 真田篤志, "アレイアンテナ電極電気光学変調器を用いたギガビット信号の伝送," 2017 信学ソ大, no. C-14-5, Sept. 2017.

(平成 30 年 7 月 9 日受付 平成 30 年 7 月 23 日最終受付)



むらた ひろし
村田 博司 (正員)

1991 阪大大学院基礎工学研究科電気工学分野博士前期課程了。1992 阪大・基礎工・助手。マイクロ波フォトニクス、特に無線・光融合デバイスとその応用システムの研究に従事。2014~2017 日欧国際共同研究プロジェクト RAPID の代表を務める。2018 から三重大大学院工学研究科電気電子工学専攻教授。