

屋内に侵入したローカル 5G の電波の電波環境調査

松岡 剛志（九州産業大学 理工学部 電気工学科）

Tsuyoshi MATSUOKA, Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kyushu Sangyo University

石田 健一（九州産業大学 理工学部 情報科学科）

Kenichi ISHIDA, Department of Information Science, Faculty of Science and Engineering, Kyushu Sangyo University

永友 怜大（九州産業大学 理工学部 情報科学科）

Reo NAGATOMO, Department of Information Science, Faculty of Science and Engineering, Kyushu Sangyo University

田中 千織（九州産業大学 理工学部 情報科学科）

Chiori TANAKA, Department of Information Science, Faculty of Science and Engineering, Kyushu Sangyo University

松原 雅俊（株式会社 QTnet）

Masatoshi MATSUBARA, QTnet, Inc.

1 はじめに

ローカル 5G とは、企業・自治体などがスポット的に構築する 5G ネットワークのことで、2019 年 12 月からこの制度が開始された。海外ではプライベート 5G とも呼ばれている。運用母体が、ユースケースに応じてスペックを調整できるなど、自身のニーズに合致した 5G ネットワークを自ら構築できるのが特徴である [1]。

そうした中、九州産業大学（以降本学）は、2021 年 5 月に株式会社 QTnet と Sub6 帯のローカル 5G を利用した共同研究を開始し、ローカル 5G の様々なユースケースへの展開の可能性を検討している。2022 年 2 月に本学構内にローカル 5G の設備が設置され、学内のエリアにローカル 5G ネットワークが構築された。2023 年度に準同期通信が可能となる設備更新を行った。

我々のグループでは、学内に設置されたローカル 5G の屋外での電波環境の調査を行い、屋内 100 か所での電波強度の測定、サービスエリア内でのローカル 5G の電波の到来方向測定を行ってきた [2]。このような電波環境の調査は、無線通信サービスを展開する際に最も基本的な課題となっている [3]。

本稿では、屋外にあるローカル 5G 基地局を利用して、屋内でローカル 5G の通信する場合を想定し実施した、屋外から屋内に侵入したローカル 5G の電波の環境の調査について報告する。測定結果を元に、屋内の電波強度の空間分布および電波の到来方向特性を示すことで、屋外から屋内に侵入した電波の特性について論じる。

2 九州産業大学のローカル 5G システム

本学に設置されたローカル 5G システムは、制御信号とデータの両方の通信を 5G ネットワークのみで行うスタンドアローン（SA）方式で構成されて

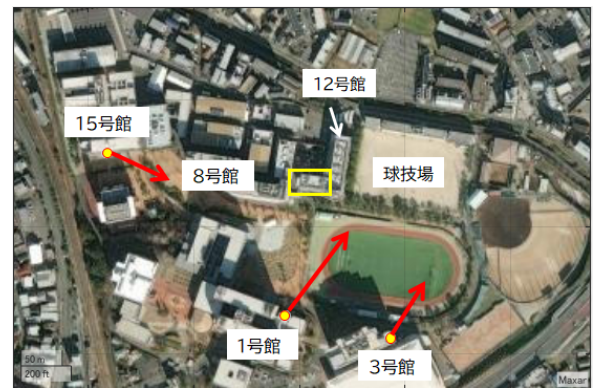


図 1 九州産業大学のローカル 5G システムの屋外基地局

いる。このシステムでは、同期方式に加えて準同期方式が利用でき、高速なデータアップロードが利用できる環境となっている。

基地局は、図 1 に示すように、屋外 3 局（1 号館、3 号館、15 号館の屋上）と屋内 2 局（大楠アリーナ・エントランスホールおよびメインアリーナ）に設置されている。図中の矢印は基地局のアンテナのメインビームの方向を示している。屋外にある基地局の仕様を表 1 に示す。移動端末とこれらの基地局間は Sub6 帯の 4.8～4.9 GHz の電波を使って通信する。

無線区間は 4.8～4.9 GHz の 100 MHz の帯域をサブキャリア間隔 30 kHz で OFDM で通信している。この帯域のうち、4.8504 GHz を中心とする 7.2 MHz の SS (Synchronization Signals) 帯域において、端末が電源投入時に通信に利用する周波数と受信タイミング等の検出を行うための信号および PBCH (Physical Broadcast CHannel) ブロックの信号が 20 ms 間隔で送信されている。これらの信号は通信の有無にかかわらず基地局から送信されている [4]。

表 1 九州産業大学のローカル 5G 基地局の仕様

基地局の建物	1 号館	3 号館	15 号館
送信電力 [dBm]	37	33	34
アンテナ利得 [dBi]	7.17		
アンテナ高 [m]	11.1	39.2	20.8
方位角 [度]	37	32	115
チルト角 [度]	7.5	20.8	10.7
半値角 [度]	約 60		
送信偏波	垂直・水平偏波		

3 電波環境の測定

3.1 測定場所

12 号館の 2 階の理工学部会議室を測定場所とした。この会議室は、図 1 の黄色の四角の部分にある。この会議室から 1 号館の基地局を見通し内に確認でき、他の基地局からのアンテナの指向方向にないため、会議室には主として 1 号館の基地局から放射された電波が侵入すると考えられる。

図 2 に会議室の見取り図を示す。会議室は奥行 6.4 m、幅 20 m、天井高 2.6 m の部屋であり、1 号館の方向にはアルミサッシの窓、奥行き 0.55 m の建築材の柱があり、廊下側には金属製の入り口、建築材および金属製の柱がある。

3.2 測定方法

電波環境は、リアルタイムスペクトラムアナライザ (Tektronix RSA306B) にアンテナの軸に垂直な平面の指向性が無指向のスリーブアンテナ (Micronix M309) および垂直面・水平面の半値角が約 22 度の 18 素子八木アンテナ (ナテック YA515AU-11j) を接続して測定した。

リアルタイムスペクトラムアナライザは、本学のローカル 5G の帯域全体で信号を確認するために中心周波数 4.85 GHz、周波数スパン 150 MHz、分解能帯域幅 RBW を 30 kHz と設定した。そして、周期的に送信されている SS 帯の 4.85 GHz の信号レベルを約 40 秒間複数回測定し、その時間内で測定した信号の最大レベルを測定値とした。

3.3 屋内の受信信号レベルの空間分布

会議室内で受信信号レベルの空間分布の測定は、窓から部屋奥に向かって、2 m、4 m、6 m 地点の測定ラインと、球技場側の壁から 2.5 m、4 m、5 m、5.5 m、7 m、8 m、9 m、11.3 m、12.5 m、13.5 m、14.5 m、15.5 m の地点の測定ラインの交点で行った。これらの測定点において、図 3 に示すように、スリーブアンテナを接続したリアルタイムスペクトラムアナライザを高さ 0.72 m の会議室のテーブルの上で発

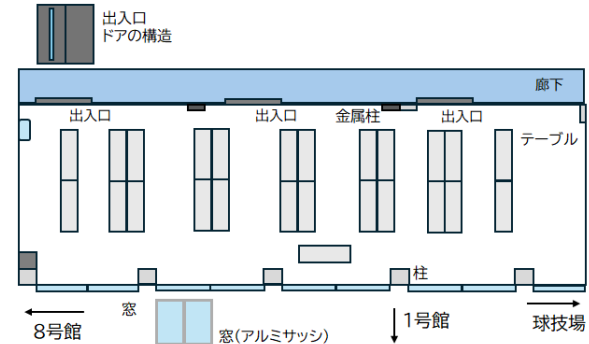


図 2 会議室の見取り図

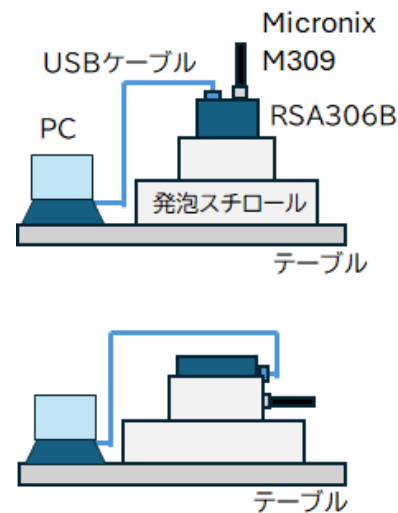


図 3 受信信号レベルの空間分布の測定（上：垂直偏波 下：水平偏波）

泡スチロールで固定して信号レベルを測定した。

図 4 に、会議室に侵入したローカル 5G の電波の受信信号レベルの空間分布の推定結果を示す。図中の縦横の線は測定ラインを示している。測定点間の受信信号レベルは、測定点での受信信号レベルを用いて線形補間して描いている。この図より部屋の 8 号館側より球技場側の方が強い電波が侵入していることがわかる。また、送信アンテナ方向と会議室の位置関係から、会議室にはやや左下から部屋に侵入していると考えられるため、建築材の柱の後ろであっても部屋奥に電波が到達していることがわかる。次に垂直偏波と水平偏波の受信信号レベルの空間分布を比較すると、会議室内に侵入する電波は垂直偏波の方が大きいことがわかる。

3.4 到来方向測定

到来方向測定では、水平にアンテナを向けた 18 素子八木アンテナをリアルタイムスペクトラムアナライザに図 5 の様に接続した。アンテナのメインビームの方向が廊下側の壁を向いているときのアンテナの向きを 0 度とし、床から約 1.5 m の水平面内

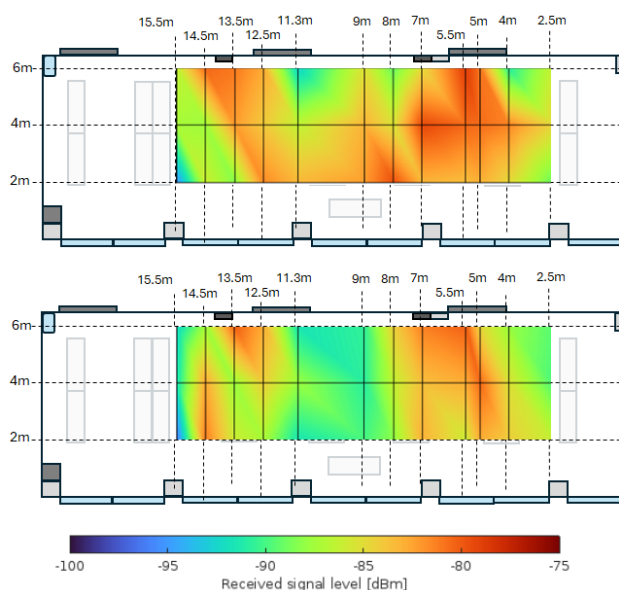


図4 理工学部会議室の受信信号レベルの空間分布（上：垂直偏波 下：水平偏波）

で方位角方向に時計回りに45度ずつアンテナを回転させながら信号レベルを測定した。したがって方位角180度の時、アンテナは1号館側の壁を向いていることになる。

図6のように、1号館側の壁から2m、5mの地点の測定ラインと球技場側の壁から0.8m、2.4m、5.1m、6.9m、9.1m、9.5mの地点の測定ラインの交点を測定点とした。測定点からみた送信アンテナの方向には、球技場側の壁から0.8m、5.1m、9.5mの地点では窓、2.4m、6.9mの地点では建築材の柱、球技場側の壁から9.1mの地点ではアルミ製の窓枠がある。各測定点での垂直偏波および水平偏波の到来方向特性を図7に示す。

全体的に測定点への到来電波は垂直偏波の方が水平偏波よりも強くかつ到来方向の指向性が緩やかであることがわかる。この結果は、垂直偏波の電波の空間分布が水平偏波よりも大きいという結果と一致している。また、1号館側の壁に近い（手前）の方が廊下側の壁に近い（奥）よりも、測定点間で方位角180度方向での信号レベルにばらつきがみられ、会議室に電波が侵入してくる1号館側の壁の影響を強く受けていると考えられる。

手前側の測定点では、送信アンテナの方向に窓がある場合は、方位角180度方向からは両偏波ともにほぼ同じ大きさで強い電波が到来し、方位角0度方向からは垂直偏波の方が到来していることがわかる。球技場の壁に一番近い窓1の地点では、両偏波ともに球技場側の壁の方向からは電波が到来していないこともわかる。送信アンテナの方向に建築材の柱がある測定点では、両偏波ともに方位角180度方向からの電波は柱で遮蔽され、方位角0度方向から到来する電波よりも弱いことがわかる。送信

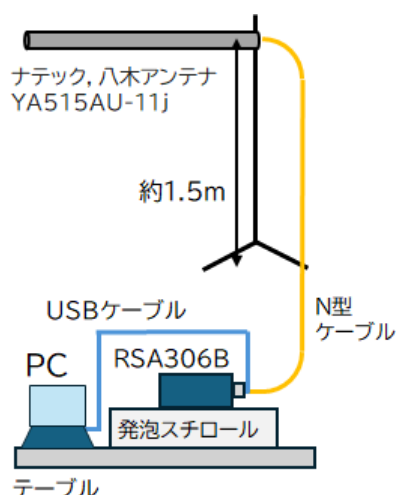


図5 電波の到来方向の測定方法

アンテナの方向に窓枠がある測定点では、垂直偏波は窓枠と同じ方向に電界が向いているため、窓枠の影響を強く受けて方位角180度からの到来電波が弱くなっているのに対し、水平偏波は窓枠の影響をほぼ受けていないことがわかる。

奥側の測定点において方位角180度から到来する電波のばらつきが手前の測定点の時よりも小さくなっているのは、回折波が到来しているため1号館側の壁の影響が小さくなっていると考えられる。また、手前の測定点に比べて、廊下側の方向からも電波が到達していることがわかる。特に球技場の壁から5.1m以上離れた測定点の窓2、柱2、窓枠、窓3の地点では廊下側の壁に金属製のドアがあるために、廊下側からの壁から比較的強い反射波が到達していると考えられる。

4 おわりに

九州産業大学に設置されたローカル5Gの屋外の基地局から建物部屋内に侵入した電波の測定を行った。スリーブアンテナを用いて垂直、水平偏波の信号レベルを測定し、部屋内での信号レベルの空間分布を推定した。その結果、電波が侵入する部屋の壁の構造が電波環境に影響すること、垂直偏波の方が水平偏波よりも屋内に侵入していることがわかった。次に、電波の到来方向測定により、部屋の内部に入ると電波の侵入する壁の影響を受けにくくなること、垂直偏波の方が水平偏波より屋内の周りの壁による反射波が大きいことがわかった。垂直偏波の方が周りの壁からの反射波が大きいという結果は、垂直偏波の電波が水平偏波よりも内部に侵入していることを説明している。

今回の実験では、電波伝搬の測定としては測定間距離も波長に比べて大きくかつ短時間で電波環境を評価したが、波長程度の細かい間隔で、かつ長時間の測定を行い、統計的な評価が必要となる。さら

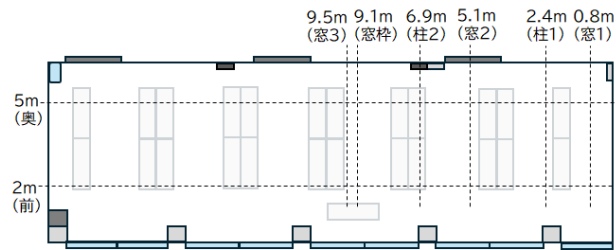


図6 電波の到来方向の測定点

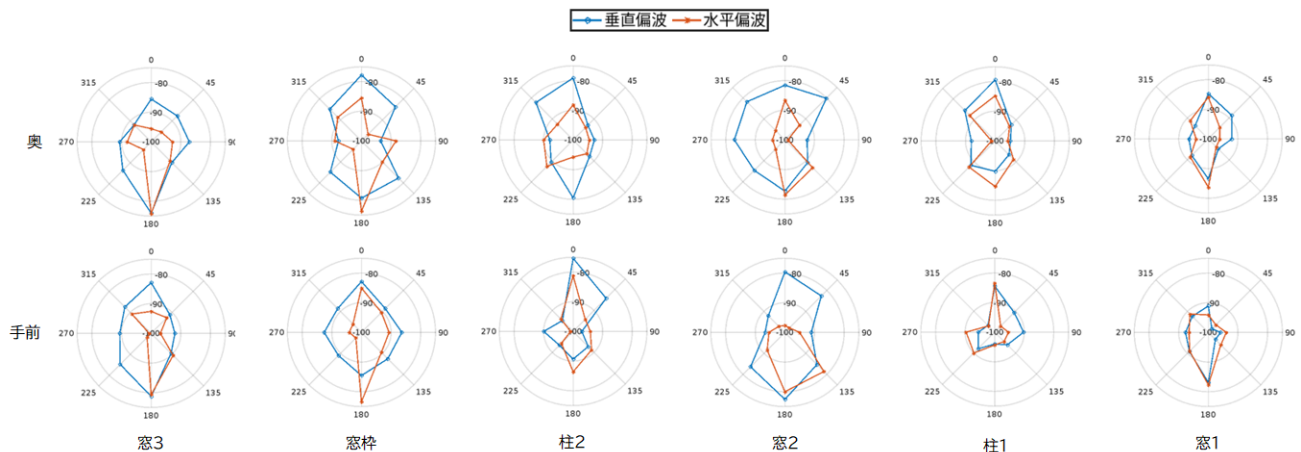


図7 電波の到来方向測定結果（受信信号レベル dBm）

に、垂直方向も含めた3次元的な電波環境の評価も必要となる。今後の課題としたい。

謝辞

本研究の一部は 令和6年度 KSU 基盤研究費「九産大が見せるローカル 5G を用いた未来」（代表：下川 俊彦教授）の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] “ローカル 5G の基礎知識”，テレコミュニケーション，vol.39, no.2, pp.9-21, 2022
- [2] 安部 他，“Sub6 帯 Local 5G の屋外電波伝搬特性”，電子情報通信学会九州支部学生会講演会，B-08, 2022.
- [3] 北尾 光司郎 他，“5G evolution & 6G のための電波伝搬研究の取組”，信学技報 AP2022-28, pp.95-100, 2022.
- [4] 武田 他，“5G における NR 物理レイヤ仕様”，NTT DO-COMO テクニカルジャーナル，vol.26, no.3, pp.47-58, 2018.