

ローカル 5G における周波数共用のための 与干渉制御技術に関する検討

金本 英樹^{†1,a)} 長谷川 嶺^{†1)} 守内 祐三^{†1)} 志水 紀之^{†1)} 安永 毅^{†1)}

概要：ローカル 5G はある特定エリアでのサービスが想定され、近年注目を集めている周波数共用技術が適用可能であると考えられる。この共用周波数を効率よく利用するためには、システム間の干渉制御の高度化が必要となる。本稿ではこの与干渉の制御に着目し、与干渉の制約がある条件下において、ビームフォーミング制御を含めたエリア構築および与干渉制御に関する検討をまとめる。エリア固有の伝搬条件にて電波伝搬シミュレーション評価を行い、ビーム毎の電力制御により期待通り与干渉レベルを管理可能なことを確認した。この提案手法により与干渉制約を守りつつ伝送効率の向上を期待できることを確認したので報告する。

キーワード：ローカル 5G, 周波数共用, ミリ波, 与干渉

A Study of the Interference Control for local 5G with Shared Spectrum

HIDEKI KANEMOTO^{†1,a)} REI HASEGAWA^{†1)} YUZO MORIUCHI^{†1)}
NORIYUKI SHIMIZU^{†1)} TAKESHI YASUNAGA^{†1)}

Abstract: Local 5G is expected as a system to provide a communication service within a certain specific area and it is also supposed to apply the spectrum sharing which is attractive techniques to utilize the frequency resources. In order to utilize those shared spectrum, it is required to improve the interference control among systems which use the shared spectrum. We focus on this interference control and discuss about the construction of communication area with beam forming and interference control under the limitation of the interference level for other systems. We propose the power control scheme of each beam which is appropriate to cover the specific area. We show that proposed scheme has a good performance with millimeter wave propagation simulation and also confirm that the interference can be eliminated by experiments with 28GHz band.

Keywords: local 5G, Shared Spectrum, millimeter wave, Interference Control

1. はじめに

近年、高速大容量コンテンツの普及に伴い、移動通信トラフィックは増加の一途を辿っている。2019 年 4 月には、新たに第 5 世代移動通信システム (5G) に対する携帯電話事業者への周波数割り当てがなされ[1], 5G が本格的に普及するに従い、より一層の高速大容量化及び周波数資源の逼迫が続くことが想定される。2019 年 11 月に開催された国際電気通信連合 (ITU) の世界無線通信会議 (WRC-19) では、5G の追加割り当て周波数帯が特定されたが[2], これらの周波数帯の多くは、移動通信業務以外に割り当てられており、利用には周波数共用の実現が重要である。日本国内では、総務省による周波数再編アクションプランに基づき周波数のダイナミックな共用および干渉回避技術の研究開発および実証実験が推進されており、2.3GHz 帯, 2.6GHz 帯, 5.8GHz 帯, 5.9GHz 帯, 26GHz 帯, 28GHz 帯及び 38GHz 帯がターゲットとなっている[3][4]。このうち 28GHz 帯は、既存の無線システム (PU:Primary User) として電気通信業務 (固定衛星), 電力データ通信システム, 固定無線アクセ

スシステム, 衛星間通信, 地球探査衛星が割り当てられており, 5G の導入にあたっての技術的条件検討の結果, 5G の設置場所の管理や個別の干渉調整により共用が可能とまとめられている[5]。この 28GHz 帯の一部においては、地域ニーズや個別ニーズに応じて自治体や事業者など様々な主体が利用可能なローカル 5G へ割り当てがなされており、さらにその使用周波数帯の拡張が検討されている[6]。ダイナミックな周波数共用を実現するシステムとして、電波センサーによる測定およびデータベースを基にした共用周波数管理システムが検討されており、空き周波数リソースの探知や干渉等を考慮した周波数リソースの割り当てに加えて、割り当てを受けた共用周波数を高効率に利用する技術が必要となる[4]。今後ローカル 5G の活用が本格化するに伴い、前述の PU に加えて他のローカル 5G との間の干渉調整も必要となり、共用周波数を高効率に利用するためには、システム間の干渉制御の高度化が求められていると言える。本稿では、ローカル 5G が PU など他システムと周波数を共用するため、利用許可を与えられた限定的な空間 (限定エリア) において与干渉を制御し、共用周波数を最大限

^{†1} パナソニック株式会社 コネクティッドソリューションズ社 イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company, Panasonic Corporation.

a) kanemoto.hideki@jp.panasonic.com

利用可能とする与干渉制御技術について報告する。

2. 周波数共用に必要な与干渉制御

ローカル 5G のユースケースとして、工場やショッピングモールなどの屋内環境の他、屋外工事現場などが想定されている。屋内環境においては壁や床、什器、設備等が、また屋外環境においては建物や樹木などが電波伝搬特性に影響する。このローカル 5G が PU と周波数を共用する場合、限定エリアから外への電波の漏れ出し、すなわち PU に対する与干渉を考慮する必要がある。限定エリア内だけでなく、これら外部への与干渉も上述の電波伝搬特性の影響を受けると考えられ、ローカル 5G における共用周波数の有効活用においては、これらの与干渉を限定エリア個別の伝搬特性に応じて適切に制御する必要があると言える。

ローカル 5G の運用にあたり関連する法令が改正されると共にガイドラインが策定され、周波数共用に影響する自システムのカバーエリアと調整対象区域が定義付けされているが、アンテナ指向性や個別の建物の損失等を加味せず固定的な建物侵入損および最大送信電力で定義したものとなっている[7]。PU 等の他システムへの与干渉を抑制するために、想定される最大干渉電力を基準にローカル 5G 全体の送信電力を一律に低減することは、限定エリア全体の周波数利用効率を低下させるという問題がある。そこで本稿では、5G NR において活用されているビームフォーミング伝送において、ビーム毎のカバーエリア境界面への到達電力が許容干渉レベル以下となるようにビーム電力を個別に調整する技術を提案する。この与干渉制御の概念を図 1 に示す。

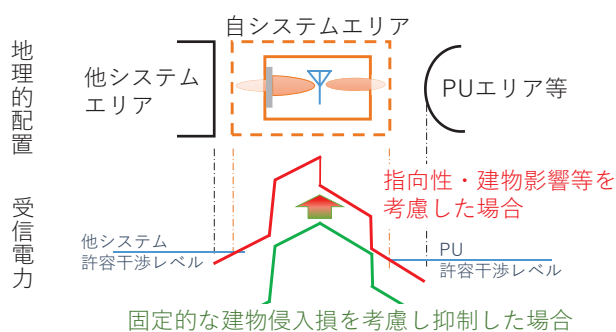


図 1 与干渉制御の概念図

Fig. 1 Image of Interference Control

本技術ではまず、対象とする建物等のモデルについて電波伝搬シミュレーションを実施し、屋内に配置した基地局から無指向性アンテナによって運用上の最大実効放射電力を放射した場合の限定エリア外への与干渉電力をシミュレーションし、伝搬パスの放射方向と PU 保護領域境界での与干渉電力との対応を得る。その後、この対応に基づき与干渉電力が所定値以下となるよう各ビームの最大送信電力

制約を決定し、決定したビームごとの最大送信電力制約を満たすようビームフォーミング制御を行う。この技術により、限定エリア特有の伝搬条件を正しく反映し与干渉電力を所定値に抑えるとともに、限定エリア内での高効率な周波数利用の実現が期待される。

3. 伝搬シミュレーション評価

3.1 仮想モデルによる評価

提案技術の有用性を確認するため仮想的な限定エリア構造物モデルを使用し計算機シミュレーションによる評価を行った。図 2 に示す仮想建物モデルを含んだ限定エリアを用いた。

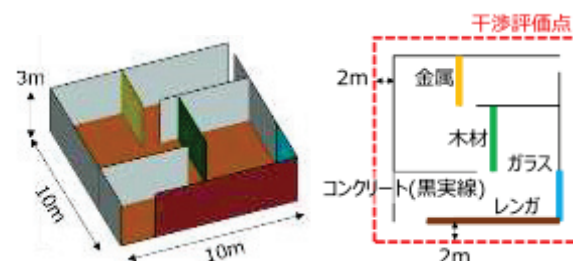


図 2 仮想建物モデル俯瞰図（左）および見取り図（右）

Fig.2 Overhead View and Floor Plan of Building model

仮想建物は縦 10m×横 10m×高さ 3m の構造物であり、素材による伝搬特性の変化の特徴を確認するため、コンクリート・ガラス・木材・レンガ・金属・床材・天井材から成る壁を有する。これらの壁材は ITU-R P.2040 により勧告される誘電率および導電率の値に基づいて設定した[8]。なお、全ての壁材の厚みは 0.3m とした。この仮想建物の外周から 2m 離隔した点を干渉評価点とし、建物内に設置した基地局の電波放射に対する建物外での受信電力を評価した。表 1 に伝搬シミュレーションに対する設定諸元を示す。

表 1 伝搬シミュレーション評価における設定諸元

Table 1 Specifications for propagation simulations

項目	値
中心周波数 [MHz]	28000
帯域幅 [MHz]	100
送信電力 [dBm]	25
送/受信アンテナ利得 [dB]	0
送/受信アンテナパターン	等方性パターン
受信アンテナ感度 [dBm]	-120
受信機雑音指数 [dB]	6
アンテナ設置高 [m]	1.5
最大反射回数	6
最大透過回数	2

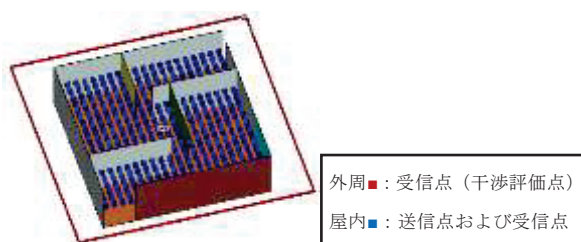


図3 送受信点配置

Fig.3 Location of Tx point and Rx points for Virtual model

図3に送受信評価点の配置図を示す。屋内に0.5m間隔で計400点の送信点および受信点をそれぞれ配置し、干渉評価点には受信点を0.1m間隔で計560点配置した。本報告では、等方性アンテナ送信での伝搬シミュレーション結果とビームパターンのデータを用いて、所望のビームパターン送信での伝搬シミュレーション結果を擬似的に得た。今回用いたビーム指向性パターンを図4に示す。

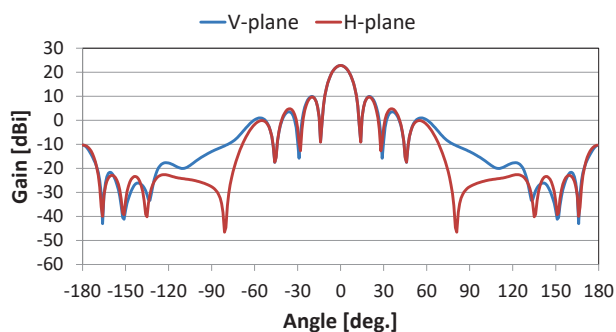


図4 ビーム指向性パターン

Fig.4 Beam Pattern of Directional Antenna

本検討では、ビーム指向範囲を水平±180°（分解能1度）とし、見取り図上での右向きを0とし左回りに1度刻みで359までビームに対しIDを付与した。なおビーム方位角によるパターン変形は無視した。以上の諸元により伝搬シミュレーションを行った。

干渉評価にあたっては、許容干渉レベルとしてローカル5Gガイドラインを参照し-90dBmと設定した[9]。また、屋内カバー率は、全屋内評価点400点のうち、スループット440Mbpsの通信品質に相当するCNR = 20dB達成の評価点数の割合で求めた。なお、式1より本シミュレーション諸元においては、受信電力 $P_r = -67.8$ dBmがCNR = 20dBに相当する。

$$\text{CNR} = P_r - P_n = P_r - (kT + 10 \log B + N_f) \quad \dots \text{式1}$$

ここで、

k : ボルツマン定数

T : 絶対温度 [K] ($T=300\text{K}$)

B : 受信機の雑音帯域幅 [Hz]

P_n : 受信雑音電力 [dB]

N_f : 受信機の雑音指数 [dB]

図5に、ビームフォーミングアンテナ使用時の最大EIRPを等方性アンテナで放射した場合の受信電力分布を示す。なお、一例として☆位置に送信点を配置した場合を示すものとする。建物外周の干渉評価点のうち、図左および上側においては、許容干渉レベルである-90dBm未満の受信電力となっていることが確認できる。送信点から見て図左および上側方向の壁面には、透過損が比較的大きなコンクリートが配置されているため電力の漏洩が少ないことが理由と考えられる。一方で、図右側または下側においては、許容干渉レベルである-90dBmを超える受信電力となっている。図右側の壁面には木材やガラス、図下側の壁面にはレンガといった透過損が比較的小さい壁材が配置されている。また、図右および下側いずれの壁面にも開放部が存在していることから、これらの壁面は電力が漏洩しやすい方位であると言える。したがって、図右および下側方向の干渉評価点において-90dBm以下の受信電力となるよう送信電力を制御する必要がある。

全ビーム一律電力制御法は、全干渉評価点のうち許容干渉レベルの最大超過量分だけ全てのビームの送信電力を低減する手法である。図5において、干渉評価点における最大受信電力は-53.0dBmであるため、許容干渉レベル-90dBmに対しては37.0dBの超過である。したがって、全ビームの送信電力を一律に37.0dB低減させる。

一方で、ビーム毎電力制御法は、ビームID毎に全干渉評価点中の許容干渉レベル最大超過量を算出し、その分だけ送信電力を低減する手法である。図5におけるビームID毎の全干渉評価点中の最大受信電力は図6に示す通りである。この最大受信電力の許容干渉レベル-90dBmに対する超過量分だけ、各ビームの送信電力を低減する。なお、最大受信電力が-90dBmに満たない場合の超過量は0dBとする。図7に各送信電力制御法によるビームID毎の最大可能送信電力を示す。

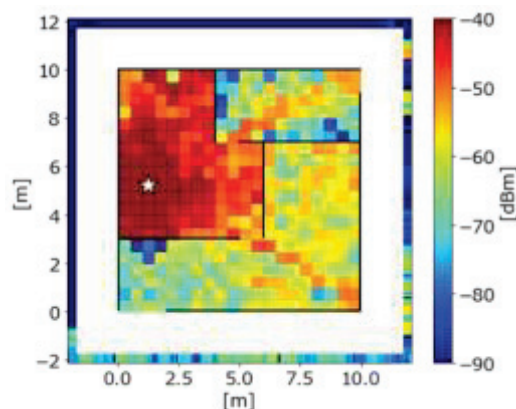


図5 受信電力分布図 (☆: 送信点)

Fig.5 Rx Power Distribution Map

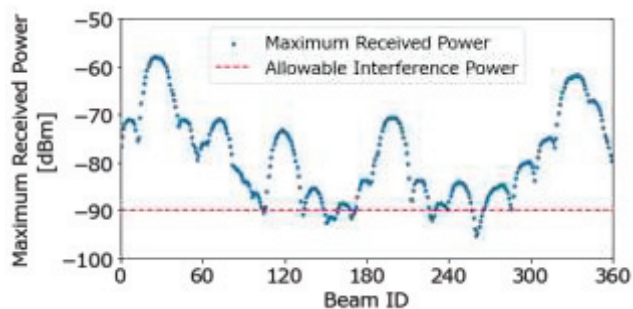


図 6 ビーム ID 毎の全干渉評価点中の最大受信電力
Fig.6 Maximum Rx Power of each Beam

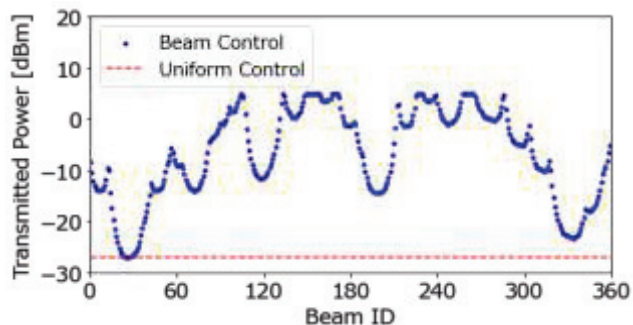


図 7 最大可能送信電力（アンテナ利得は含まない）
Fig.7 Maximum Available Tx power (w/o Antenna gain)

図 8 および図 9 に全ビーム一律電力制御法とビーム毎電力制御法による送信電力制御後の受信電力分布をそれぞれ示す。また、各送信電力制御法適用時の屋内通信品質（面積カバー率および平均スループット）を表 2 に示す。

いずれの送信電力制御法も干渉評価点における受信電力は全て許容干渉レベル以下に抑えることができていたが、全ビーム一律電力制御法は、屋内の面積カバー率が 2.8%しかない。一方で、ビーム毎電力制御法は、約 13 倍である 36.2%の面積カバー率を得た。また、エリア全体での平均スループットについても、ビーム毎電力制御法が約 2.7 倍大きな値となった。

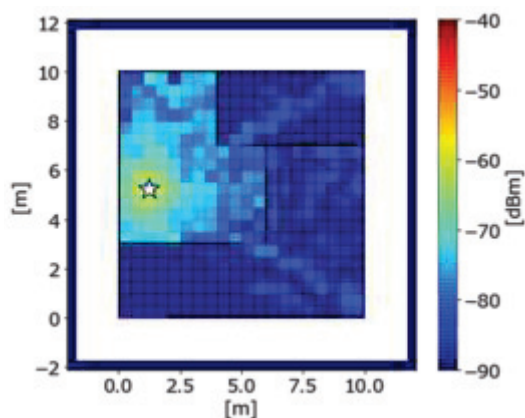


図 8 全ビーム一律電力制御法による送信電力制御後の受信電力分布（☆：送信点）
Fig.8 Rx Power Distribution Map for Uniform Tx Power Control for all Beam

図 8 全ビーム一律電力制御法による送信電力制御後の受信電力分布（☆：送信点）
Fig.8 Rx Power Distribution Map for Uniform Tx Power Control for all Beam

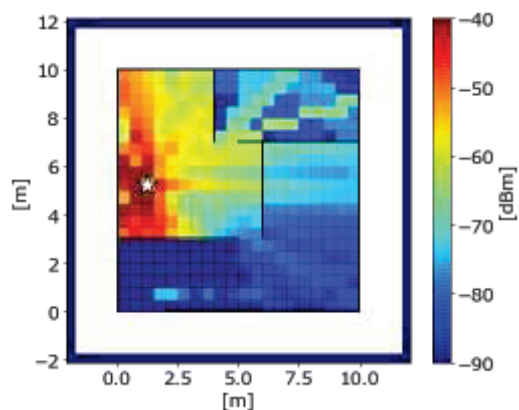


図 9 ビーム毎電力制御法による送信電力制御後の受信電力分布（☆：送信点）
Fig.9 Rx Power Distribution Map for Individual Tx Power Control for each Beam

図 9 ビーム毎電力制御法による送信電力制御後の受信電力分布（☆：送信点）
Fig.9 Rx Power Distribution Map for Individual Tx Power Control for each Beam

表 2 各送信電力制御法適用時の屋内通信品質（☆位置での送信の場合）
Table.2 Communication Quality of Each Tx power Control

電力制御法	全ビーム一律	ビーム毎
面積カバー率	2.8 %	36.2 %
平均スループット	112.4 Mbps	300.0 Mbps

3.2 基地局配置に関する評価

前節の結果より、特定の送信点にておいてビーム毎電力制御法によって伝送効率改善効果があることを示した。一方で、与干渉を考慮した上で伝送効率が最大となるような送信点配置の選択法については検討の余地がある。伝送効率の向上を主眼においた従来の送信点配置では検討されていなかった、与干渉を低減させる配置の選択手法のひとつとして、限定エリア外からエリア内に向けた電波の逆放射シミュレーションを用いる手法について検討する。

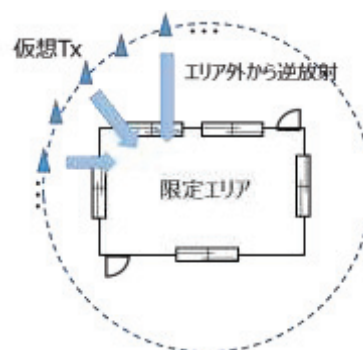


図 10 逆放射法の概念図

Fig.10 Image of Reverse Transmission Scheme

建物モデルを用いた電波伝搬シミュレーションを限定エリア全範囲の送受信点に対して行えば、伝送効率が最適となる基地局配置を総当り的に探索することが可能である。

しかし一般に、電波伝搬シミュレーションは構造物の面数や送受信点の組み合わせ数によっては計算量が膨大になるため、総当り的な探索法での限定エリア設計は、十分な計算資源が用意できない場合には適していない。そこで、図10に示すように、限定エリア外に仮想的な送信機を想定し、エリア内に向かって電波を放射する。このとき、エリア内の各評価点に到達する伝搬パスは、建物構造を反映しエリア内における電波の広がりやすさという特徴を持つと考えられる。本検討では、エリア外からあるエリア内の点に向けて逆放射したときの建物侵入損が小さくなるような点が、伝送効率が高い送信点であると予想し、シミュレーションを行った。建物モデルは図2と同じものを使用し、仮想送信点は建物中央から半径50mの円周上に4~360個を等間隔で配置した。建物侵入損は配置した全ての仮想送信点による伝搬パスの平均値として評価した。図11に建物モデルによる逆放射時の平均建物侵入損を示す。

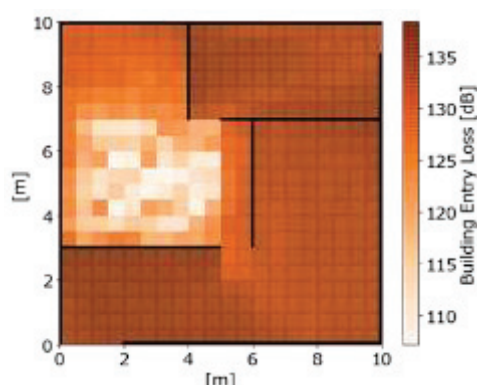


図11 平均建物侵入損

Fig.11 Average of Penetration Loss from Reverse Tx Scheme

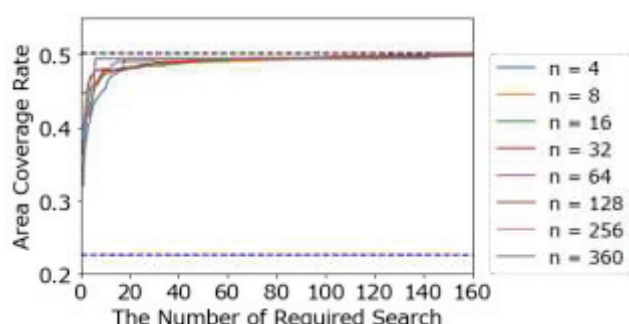


図12 平均建物侵入損昇順探索による発見可能な最大エリアカバー率

Fig.12 Area Coverage Rate with Reverse Tx scheme

図11より、中央左寄りの白い部分は平均建物侵入損が小さく、伝送効率が高い送信点配置であると予想される。この中から平均建物侵入損が小さい順に、実際にその点に基地局を配置した場合のエリアカバー率をシミュレーションし、総当り的に求めた真に最適な基地局配置との比較を行

った。図12は、平均建物侵入損が小さい順に探索した個数を横軸に、探索した送信点配置の中で最も高いエリアカバー率を縦軸にとったグラフである。例えば、仮想送信点を4個配置した場合には、エリア内評価点数の10%にあたる40点ののみに対して送信シミュレーションを行うだけで、エリアカバー率49.0%を達成可能な基地局配置を特定できることを示している。無作為に配置を選定した場合のカバー率は22.6%、総当り的に求めた真に最大のエリアカバー率が50.3%であることを考えれば、最適な基地局配置に非常によく近似できていると言える。また、総当り的に求める場合、全評価点の400点に対して送信シミュレーションを行う必要があるが、逆放射法では例えば上記の条件の場合、評価点40点+仮想送信点4点=44点の送信シミュレーションのみで近似的に最適な基地局配置を求めることができるため、計算量は1割程度と大幅な削減が可能である。ここで用いた建物モデルに対して、探索数や仮想送信点数を増やすことで、よりカバー率の高い配置への収束していく傾向が確認できたが、計算量とはトレードオフの関係にあり、これらのパラメータの最適化や、他の建物モデルへの展開などは今後の課題である。また、今回は平均建物侵入損を指標に探索優先度を考えたが、カバー率に対して相関の高い指標を特定することで、所要探索数を大幅に減らせる可能性がある。

3.3 フィールド実証実験に向けた評価

与干渉を考慮した送信電力制御としてビーム電力制御法の有用性を確認するため、4節において後述するフィールド実証実験を行った。本節では、フィールド実験と同等の条件を入力した伝搬シミュレーションを行い、建物3Dモデルを用いた電波伝搬シミュレーションが電力制御値の算出に有効であるかどうかを確認する。評価環境を図13に示す。

会議室A・Bの内壁は主に石膏で構成され、南側にはガラス窓がある。また、議室Aの窓の前には内壁と同じ材質でできた映像投影用のスクリーンがある。本検討では、電力制御の効果を確認しやすくするため、会議室Aの東側(B側)にホワイトボード(図中WB)を並べて会議室Bへの伝搬パスを限定した。南側の3m幅のみ隙間を開け、そこからB側へ透過パスが生じるように配置した。なお、伝搬シミュレーションは与干渉に最も影響する水平方向の成分に着目して行っており、会議室内の机・椅子等の備品は無視した。

シミュレーションの無線諸元は表3の通りである。

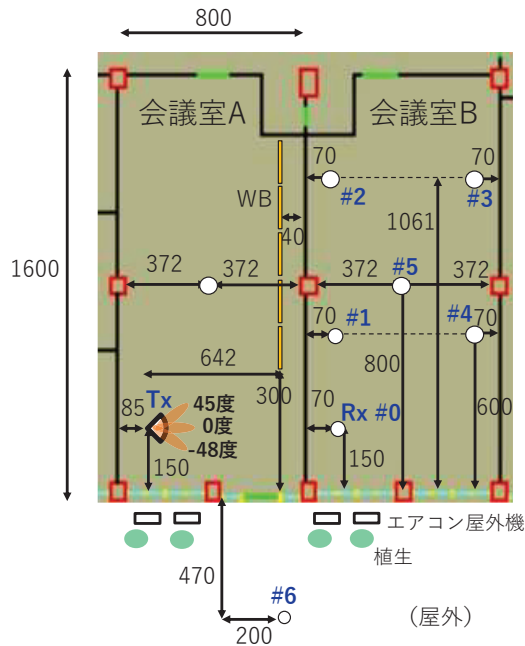


図 13 送受信点配置 (単位: cm)

Fig.13 Location of Tx point and Rx points for Practical Model

表 3 フィールド実証実験に向けた伝搬シミュレーションの無線諸元

Table 3. Specifications for propagation simulations for Practical Model

項目	値
中心周波数 [MHz]	28250
帯域幅 [MHz]	100
送信電力 [dBm]	5
送信アンテナパターン	図 4 に示すもの
送信アンテナ利得 [dBi]	23 (最大値)
受信アンテナパターン	等方性パターン
受信アンテナ利得 [dBi]	0
受信アンテナ感度 [dBm]	-120
受信機雑音指数 [dB]	10
アンテナ設置高 [m]	1.5
最大反射回数	6
最大透過回数	3

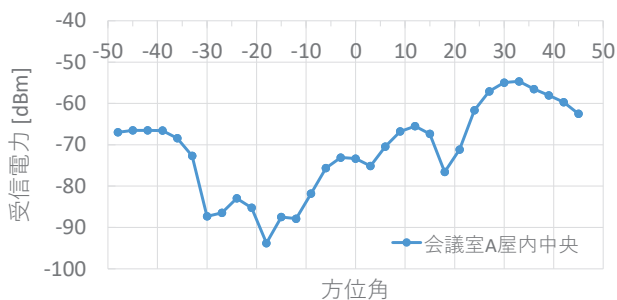


図 14 会議室 A 屋内中央での受信電力

Fig.14 Rx Power for each Beam on Center of room A

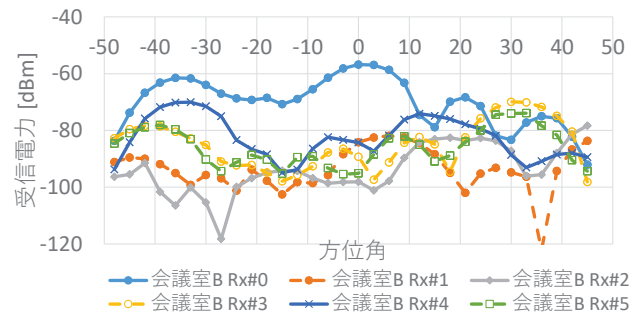


図 15 会議室 B 屋内での受信電力

Fig.15 Rx Power for each beam on room B

評価結果を図 14 および図 15 に示す。会議室 A 室内中央は、方位角+33 度においてメインビームによる直接波受信が最大電力となり、CNR=20dB 以上となる通信カバーエリアに含まれている。また、窓側へ向けた場合にも比較的大きな受信電力となっているが、伝搬パスの解析により、窓ガラスやホワイトボードによる反射波の影響が大きいことがわかっている。また会議室 B 屋内#0 地点では、送信機正面の方位角 0 度方向が受信電力最大となっているほか、-36 度や+21 度付近でも受信電力グラフの山が確認できる。これは、窓ガラスやスクリーンによる反射・透過波に加え、ビームパターンのうちサイドローブからの放射波の影響である。

4. フィールド実証実験

提案手法の検証のため、屋内環境においてフィールド実証実験を行いその有用性を確認したので次に報告する。実験装置の機能ブロック構成を図 16 に示す。送信装置はビーム毎の送信電力を変化させ、受信装置はビームを識別して受信しその受信電力を測定する機能を有する。実験では図 13 に示した会議室 A を限定エリアと想定した環境にて測定を行った。

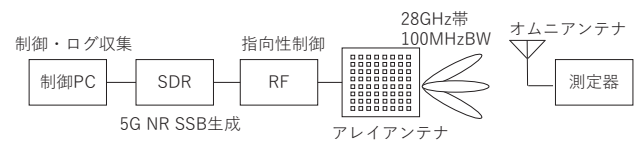


図 16 実験装置機能ブロック図

Fig.16 Functional block diagram of Experimental Equipment

会議室 A 中央および会議室 B の Rx#0 の各受信ポイントにおいて、送信機より 3 度間隔にて形成したビーム毎の受信電力を評価した。実験結果を図 17 から図 18 に示す。なお比較のため同ポイントについて電波シミュレーション評価結果も合わせて示している。

受信ポイント#0 は送信機の正面に位置しており、図 17 より 0 度のビームをもっとも強く受信しているほか、0 度

方向から離れる角度についても受信電力の山谷があり、シミュレーションと同等の傾向を示していることがわかる。-33 度付近の実測の落ち込みについては、シミュレーションにてモデル化できていなかった窓にかかるブラインドによる散乱の影響と推測される。図 18 に示す会議室 A 中央においても同様に、それぞれ送信点からメインビームの方向となる 30 度付近、-48 度から-30 度程度のビームが強く受信されており、シミュレーションと同傾向を示している。図 17 および図 18 の屋内の評価結果より、シミュレーションと実測は同程度の傾向を示しており、限定エリアの屋内の特徴を概ね表現できていると考えられる。

会議室 A の屋外である受信ポイント#6 に着目し、受信電力が大きく与干渉となりうるビームについて、送信電力を制御した場合の受信電力を評価し、結果を図 20 に示す。図 20 にて与干渉となりうる-48 度から-33 度のビームについて、送信電力を 15dB 低減した評価結果を重ねて示している。ビーム毎に送信電力を制御することによって、該当ビームの屋外における受信電力が低減できていることがわかる。

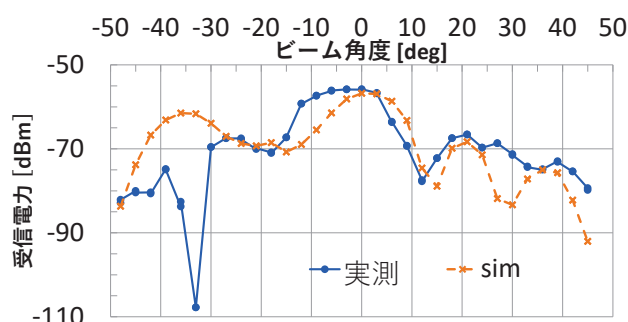


図 17 評価結果 (会議室 B, Rx#0)

Fig.17 Rx Power Measurement results (Rx#0, Room B)

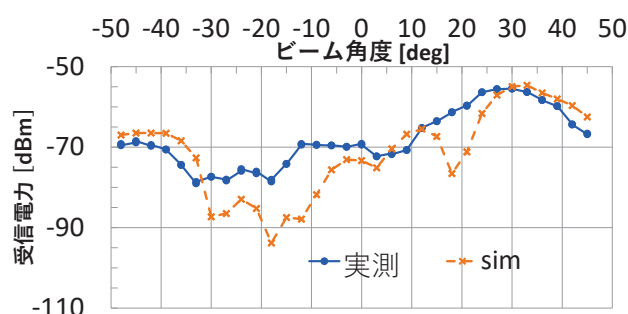


図 18 評価結果 (会議室 A 中央)

Fig.18 Rx Power Measurement results (Center, Room A)

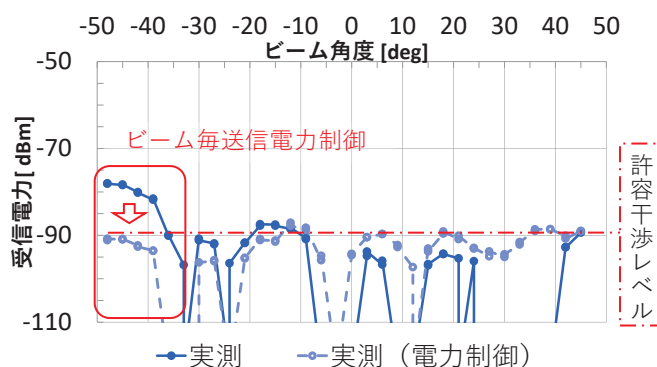


図 19 評価結果 (会議室 A 屋外, Rx#6)

Fig.19 Rx Power Measurement results (Rx#6, Room A outside)

5. まとめ

共用周波数の利用が許可された範囲 (限定エリア) から、外部の既存無線システムに与える与干渉を所定レベルに制御しつつ、限定エリア内の周波数利用効率の向上を図ることを目的とし、5G NR ビームフォーミング伝送にて、限定エリアの特有の伝搬条件を反映しビーム毎の電力を制御する方式について検討を行った。ローカル 5G の拡大に伴い必要になると予想される与干渉制御の概念についてまとめ、伝搬シミュレーションにより提案方式の有用性を示すとともに、28GHz 帯実験装置によるフィールド実証実験を行った。屋内および屋外におけるビーム毎の受信電力を評価し、伝搬シミュレーションとの比較検討の結果、屋内について伝搬シミュレーション評価によりその特徴を表現することが可能であること、またビーム毎の電力を制御することにより与干渉を低減でき、与干渉制約を守りつつ伝送効率の向上が期待できることを確認した。

今後はローカル 5G の様々なユースケースに対応し屋外を含めた伝搬シミュレーションによる提案手法の評価、および伝搬環境の動的な変動の対応等の、より実環境に近い条件において評価検討を行う予定である。

謝辞

本研究は、総務省「異システム間の周波数共用技術の高度化に関する研究開発」(JPJ000254)における受託研究の一環として実施されたものである。

参考文献

- [1] 総務省, “第 5 世代移動通信システム(5G)の導入のための特定基地局の開設計画の認定”, 2019 年 4 月
- [2] 総務省, “国際電機通信連合(ITU)2019 年世界無線通信会議(WRC-19)の結果”, 2019 年 11 月
- [3] 総務省, “周波数再編アクションプラン (令和元年度改訂版)”, 2019 年 9 月

- [4] 三菱総合研究所, “ダイナミック周波数共用シンポジウム”, 2019 年 10 月
- [5] 総務省, “「新世代モバイル通信システムに関する技術的条件」のうち「第 5 世代移動通信システム(5G)の技術的条件」”, 2018 年 7 月
- [6] 総務省, “ローカル 5G 検討作業班 報告書 概要 (案)”, 2020 年 5 月
- [7] 総務省, “ローカル 5G 導入に関するガイドライン”, 2019 年 12 月
- [8] ITU-R, “Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100MHz”, Recommendation ITU-R P.2040-1(07/2015)
- [9] 総務省, “電波法施行規則等の一部を改正する省令案及び関係告示の改正・制定案に対する意見募集の結果及び電波監理審議会からの答申ーローカル 5G 等導入のための制度整備ー”, 2019 年 11 月