

28GHzにおけるアンテナの違いに対する伝搬特性

大島 一郎* 関野 昇* 今井 哲朗**

Propagation Characteristics for Different Antennas in 28 GHz Band

Ichiro Oshima, Noboru Sekino and Tetsuro Imai

ローカル 5G における 28GHz 帯のエリア設計を目的として、工場敷地の屋外エリアと屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行い、異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを示し、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP のチャンネルモデルとの比較を行った。屋外での測定結果より、パスロスはアンテナの種類によらず UMi のモデルでほぼ表現でき、また、屋内での測定結果より、無指向性アンテナの場合のパスロスは InF のモデルでほぼ表現できるが、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においてはモデルから離れる結果となった。

本論文は、2021 年 2 月発行の電子情報通信学会技術研究報告の同タイトルの研究報告 (AP2020-126, pp.56-61) を加筆・転載したものである (copyright©2021 IEICE)。

Propagation measurements were performed for local 5G area design in the 28 GHz band by changing the antenna type outdoors and indoors locations at a factory site. The differences in the received powers between different transmitting antennas was investigated. In addition, pathlosses were compared with those of the 3GPP channel model. The outdoor measurements show that the pathloss can be expressed approximately by the UMi model regardless of the antenna type. The results of the indoor measurements suggest that the pathloss from the omnidirectional antenna can be expressed approximately by the InF model; however, the pathloss of the horn antenna with sharp directivity deviates from the model.

1. まえがき

我が国の移動通信においては、2020 年 3 月から 5G (第 5 世代移動通信) の商用サービスが開始された。5G では新たに sub6 帯として 3.7GHz 帯と 4.5GHz 帯、そして 28GHz 帯が通信事業者に割り当てられている。商用サービスが開始される 10 年ほど前から、5G に関する多くの実証実験が行われており、ミリ波帯などの高い周波数帯での実験が成功している (例えば文献 (1))。また、それらの 5G の周波数帯において伝搬実験が行われている^{(2),(3)}。

2020 年 12 月には、Sub6 帯の 4.6 ~ 4.9GHz、28GHz 帯の 28.2 ~ 29.1GHz が、地域企業や自治体等が独自のネットワークを構築できるローカル 5G の無線シ

ステムに割り当てられた。ローカル 5G では、そのシステムの規模が小さいため、商用の 5G よりも設備投資を抑える必要がある。例えば、5G では 28GHz 帯においてビームフォーミングアンテナの使用が主流になっているが、ローカル 5G ではそのような高機能なアンテナ装置の導入が難しい。そのため従来の基地局アンテナの範疇において、様々な指向性のアンテナを使い分けていくことが必要となる。

本報告では、ローカル 5G の周波数帯のうち 28GHz 帯を対象とし、エリア設計の観点から、工場敷地の屋外エリアと工場の屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行った結果について示す。異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを明らかにするとともに、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP^{*1} のチャンネルモデルとの比較を行う。

* ワイヤレス研究所

** 東京電機大学

2. 測定環境と使用アンテナ

ローカル 5G の 28GHz 帯においては、屋外および屋内でのエリア化が認められている。今回の測定では、当社鹿沼工場の敷地の屋外エリアと屋内エリアを対象とした。図 1 に測定環境を示す。(a)屋外の測定環境は、およそ 100m × 240m の敷地内に複数の建物が並んでおり、建物間の通路を測定ルート(赤線)としている。ルートの経路長は約 900m である。(b)屋内の測定環境は、2 ~ 4m 程度の比較的大きな製品を組み立てる工場であり、30m × 90m の面積、約 5m の天井高となっている。作業エリアには組立途中の製品や棚などが置かれている。作業エリアの間の通路を測定ルートとしており、ルートの経路長は約 180m である。図の左側のエリアは、工場内建物の陰となり 100%NLOS (Non Line of Sight) と

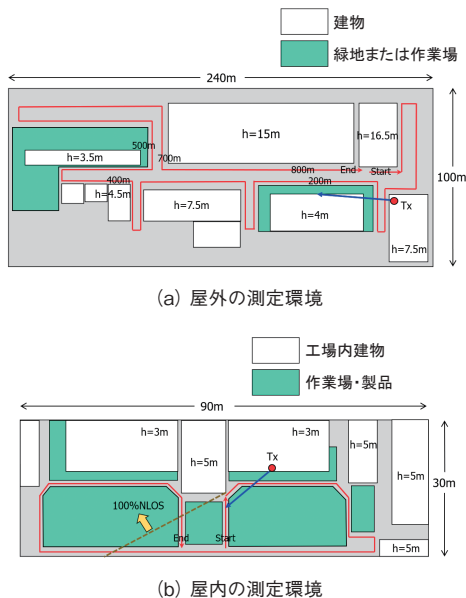


図 1 測定環境

表 1 測定諸元

項目	諸元
周波数	28.3GHz 100MHz 帯域
送信電力	20dBm (ケーブル損失 10.5dB)
送信信号	FR2 100MHz TM3.1 (64QAM)
送信アンテナ高	屋外 9.4m 屋内 3.5m
受信アンテナ高	1.5m
偏波	垂直偏波

* 1 3GPP : Third Generation Partnership Project

* 2 RSRP : Reference Signal Received Power

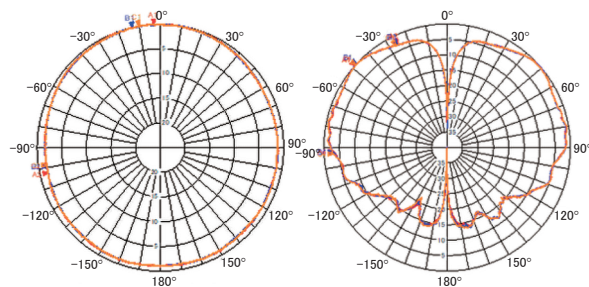
なっている。

表 1 に測定諸元を示す。中心周波数 28.3GHz の 100MHz 帯域の試験信号で送信し、5G 用スキャナを用いて RSRP * 2 (参照信号受信電力) を測定する。送信機の出力電力は 20dBm であるが、送信機 - アンテナ間のケーブル損失は 10.5dB であり、実質的に送信電力は減少している。送信アンテナは、図 1 に示すように建物の屋上に設置している。送信アンテナ高は、屋外の場合は 9.4m であり、屋内の場合は 3.5m である。受信アンテナは台車で移動し、高さは 1.5m で一定である。今回は垂直偏波での測定結果を示す。

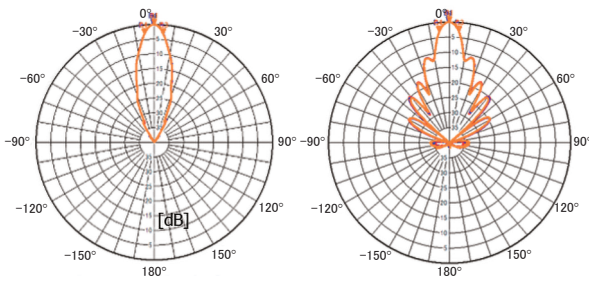
表 2 にアンテナの諸元を示す。送信アンテナは 2 種類とし、それぞれ無指向性アンテナ、ホーンアンテナとする。受信アンテナは無指向性アンテナであり、送信アンテナの無指向性アンテナと同一である。図 2 に送信アンテナの指向性を示す。無指向性アン

表 2 アンテナ諸元

アンテナ	諸元
送信アンテナ 1	無指向性アンテナ 利得 : 3.7dBi
送信アンテナ 2	ホーンアンテナ 機械チルト : 10° 利得 : 24.7dBi
受信アンテナ	無指向性アンテナ 利得 : 3.6dBi



(a) 無指向性アンテナ



(b) ホーンアンテナ

図 2 送信アンテナ指向性

テナは、地板付きモノポールアンテナであり、ダイポールと同様の指向性となっている。ホーンアンテナについては、水平面・垂直面ともに約 10° のビーム幅となっており、設置時に機械的に下向きに 10° チルトさせている。また、ビーム方向は、図1における青矢印の方向に向けている。さらに、青矢印の示した点がビームの最大放射方向の到達点を示している。

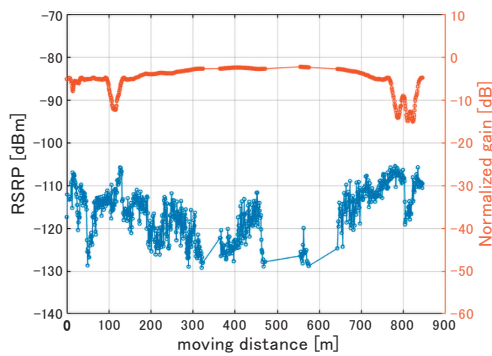
3. 測定結果

3.1 屋外測定結果

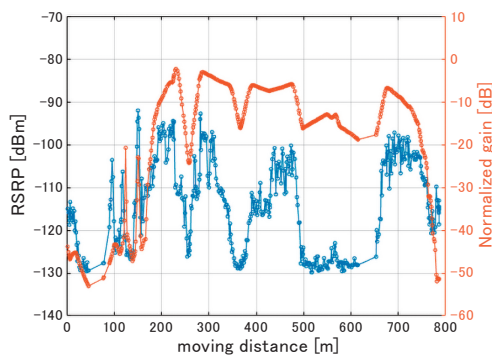
図3に、屋外環境で各送信アンテナを用いた場合のRSRPを示す。グラフの横軸は、測定ルートに沿った移動距離である。基本的には、図1(a)に示した測定ルートで移動しているが、重複してルートを移動している場合もあるため、各送信アンテナで移動距離が異なっている。およそ $0\sim 200\text{m}$ の区間と 800m 付近が送信アンテナに近い場所である。およそ $500\sim 700\text{m}$ の区間が送信アンテナから離れた場所であり非見通しとなっている。その他の区間については、見通しの場所と建物の陰などで非見通しとなっている場所が混在している。非見通しの区間においては、

受信電力が小さくなりスキナで受信できず、データが不在の箇所がある。また、グラフでは、受信位置方向における送信アンテナの指向性の相対利得(最大利得で正規化)を併記している。(a)無指向性アンテナでは、受信位置に対する相対利得の変動は少ないが、(b)ホーンアンテナでは、指向性が鋭いため、受信位置に対する相対利得の変動は激しくなっている。

各送信アンテナ使用時のRSRPの結果から、(a)無指向性アンテナの場合は、建物等の影響を受けているが基本的には送受信間距離に応じた受信電力となっている。(b)ホーンアンテナの場合は、ビーム方向に近い 200m 付近で高い受信電力となっているが、基地局から遠いエリア($400\sim 500\text{m}$ 付近)についても受信電力が高い状態である。これはホーンアンテナの利得が高く、基地局から遠いエリアでもメインビームの影響が依然として大きいためである。また、受信電力の大きさは、相対利得の変動と同一の傾向があり、指向性の影響を大きく受けているが、特に基地局に近いエリア($0\sim 200\text{m}$ の区間と 800m 付近)において、相対利得が低いにも関わらず、受信電力が上昇している。これは利得が低い方向であっても、建物等による反射により電力が上昇している

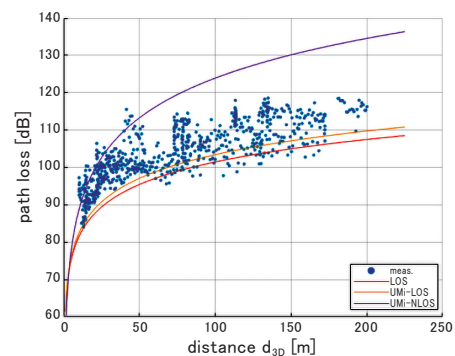


(a) 無指向性アンテナ

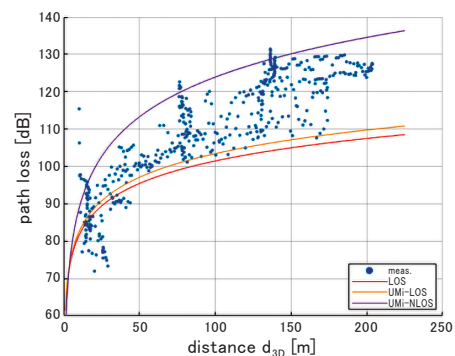


(b) ホーンアンテナ

図3 移動距離に対するRSRPと指向性(屋外)



(a) 無指向性アンテナ



(b) ホーンアンテナ

図4 パスロスとチャネルモデルの比較(屋外)

と推察される。

図4に各送信アンテナを用いた場合の送受信間距離に対するパスロスの散布図を示す。グラフには、3GPPのチャンネルモデル⁽⁴⁾のうち、UMi(Urban Micro)-Street Canyonのパスロスモデルを併記しており、UMi-LOSとUMi-NLOSを示している。さらに自由空間の伝搬損も併記している(LOS)。また、パスロスの測定データは、図3で示したアンテナ利得をRSRPの測定結果から取り除いたものである。いずれの送信アンテナの場合においても、ほとんどの値はUMi-LOSとUMi-NLOSの曲線間に分布しており、UMiのモデルで表現できているといえる。ただし、基地局に近い距離においては、ホーンアンテナの場合に、自由空間でのパスロスよりも大きくなる部分がある。これは、図3で見られた、相対利得が低いにも関わらずRSRPが上昇している現象が原因となっている。

以上より、本測定環境のような建物に囲まれた工場敷地の場合は、アンテナの種類によらずUMiのチャンネルモデルでほぼ表現できていると推定が可能であるといえる。

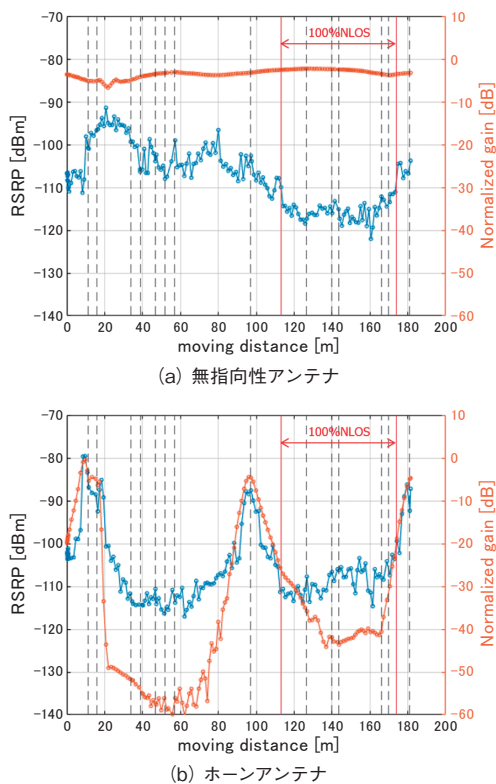


図5 移動距離に対するRSRPと指向性(屋内)

3.2 屋内測定結果

図5に、屋内環境で各送信アンテナを用いた場合のRSRPを示す。グラフの横軸は、図1(b)に示した同一の測定ルートでの移動距離であり、およそ115~175mの区間は完全な非見通し(100%NLOS)であり、その他の区間はLOSとNLOSが混在している。グラフでは、受信位置方向における送信アンテナの指向性の相対利得を併記している。屋外の場合と同様、(a)無指向性アンテナでは、受信位置に対する相対利得の変動は少ないが、(b)ホーンアンテナでは、指向性が鋭いため、受信位置に対する相対利得の変動は激しくなっている。

各送信アンテナ使用時のRSRPの結果から、(a)無指向性アンテナの場合は送受信間距離に応じた受信電力となっており、100%NLOSの区間では受信電力がより減少している。(b)ホーンアンテナの場合は、最大放射方向の到達点(図1(a)の青矢印が示す10m付近)とビーム方向(青矢印)の延長線上の地点(95m付近と180m付近)で受信電力が高くなっている。それに対し、相対利得が低いエリア(20~85m)や100%NLOSのエリア(115~175m)においては、受信電力は減少しているものの相対利得の減少分と同

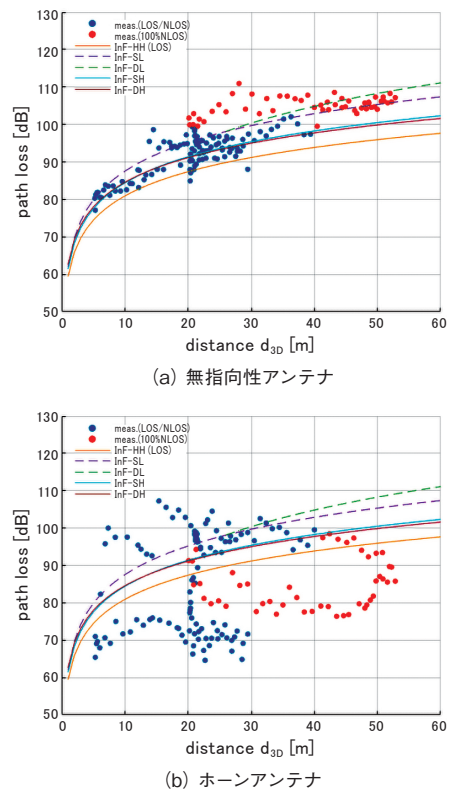


図6 パスロスとチャンネルモデルの比較(屋内)

表3 InF のチャンネルモデル

InF-SL	InF-DL	InF-SH	InF-DH	InF-HH
Sparse clutter, Low BS	Dense clutter, Low BS	Sparse clutter, High BS	Dense clutter, High BS	High Tx, High Rx
LOS and NLOS				100%LOS

比ではなく、10～20dB 程度上昇している。これは、壁や構造物での反射により受信電力が上昇していると推察される。

図6に各送信アンテナを用いた場合の送受信間距離に対するパスロスの散布図を示す。グラフには、3GPP のチャンネルモデル⁽⁴⁾のうち、表3に示す InF (Indoor Factory) のモデルを併記している。また、LOS/NLOS 混在区間と 100%NLOS 区間でドットの色を分けて表示している。このパスロスは、図5で示したアンテナ利得を RSRP から取り除いたものである。(a) 無指向性アンテナの場合には、InF-SH もしくは InF-DH の基地局アンテナが高い場合のモデル(比較的 LOS が多い環境)に沿った分布と、InF-SL の基地局アンテナが低い場合のモデル(比較的 NLOS が多い環境)に沿った分布が混在している。100%NLOS 区間については、それらのモデルよりも上昇する傾向がある。(b) ホーンアンテナの場合は、一部 InF-SL に沿った部分もあるが、大部分はチャンネルモデルに沿った分布とはなっていない。これは、図5(b)において相対利得の低いエリアで受信電力が上昇している部分が多くを占めていることが原因である。

以上より、屋内環境においては、無指向性アンテナの場合は、LOS/NLOS 混在区間では InF のチャンネルモデルにほぼ沿った分布となっているが、100%NLOS のような完全に遮られているエリアについてはそのモデルで表現できていないといえる。また、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においては、チャンネルモデルから大きく離れる傾向がある。そのため、チャンネルモデルによる受信電力の計算が適用できない場合があり、レイトレーシング法などの反射や回折を考慮した計算が必要と考えられる。

4. む す び

ローカル 5G の 28GHz 帯を対象とし、エリア設計

の観点から、工場敷地の屋外エリアと工場の屋内エリアについてアンテナの種類を変えて伝搬測定を行い、異なるアンテナで送信した場合の受信電力の違いを示し、送受信間距離に対するパスロスの結果について 3GPP のチャンネルモデルとの比較を行った。

屋外での測定結果より、建物に囲まれた工場敷地の場合は、アンテナの種類に関わらず UMi のチャンネルモデルでほぼ表現でき、チャンネルモデルによる受信電力の推定が可能であるといえる。

屋内での測定結果より、無指向性アンテナの場合は、LOS/NLOS 混在区間では InF のチャンネルモデルでほぼ表現できるが、100%NLOS のエリアについてはそのモデルで表現できていない。一方、指向性が鋭いホーンアンテナの場合においては、チャンネルモデルから大きく離れる傾向があるため、レイトレーシング法などの反射や回折を考慮した計算が必要と考えられる。

また、屋外での送信アンテナに近いエリアや、屋内において、鋭い指向性のアンテナの場合に、相対利得が低い方向においても受信電力が上昇する傾向が見られた。レイトレーシング法によるシミュレーションと実測の比較はすでに始めているが⁽⁵⁾、今後、この現象も含めて解析を行う予定である。

文 献

- (1) 岸山祥久, 須山聡, “5G 特集(1)—社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦— これまでの取り組み,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.2, Jul. 2020.
- (2) 杉村独歩, 芳野真弓, 萩原弘樹, 工藤友章, 小林敏幸, “28GHz 帯における屋内 LOS 環境のアンテナ指向性による伝搬測定,” 信学ソ大, B-1-27, Sep. 2019.
- (3) 芳野真弓, 杉村独歩, 室伏竜之介, 萩原弘樹, 工藤友章, “4.5GHz 帯 /28GHz 帯におけるアンテナ指向性による受信レベル変動,” 信学技報, A・P2019-1, pp.1-6, May 2019.
- (4) 3GPP TR 38.901 V16.1.0, “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz,” Dec. 2019.
- (5) H. Yamakura, G.S. Ching, Y. Kishiki, N. Sekino, I. Oshima, and T. Imai, “Evaluation of ray tracing simulation with urban microcell environment measurements at 5G Band,” ISAP2020, Jan. 2021.

☆☆



大島 一郎
平成7年入社
ワイヤレス研究所
移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
電子情報通信学会・IEEE 会員
博士(工学)



今井 哲朗
東京電機大学
電子情報通信学会・IEEE 会員
教授・博士(工学)



関野 昇
昭和62年入社
ワイヤレス研究所
マイクロ波帯アンテナおよび周辺装置の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員