

60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの実伝搬環境における 長距離伝送特性評価

電子応用技術R&Dセンター 満 野 隆 史¹・杉 浦 遼 平²・川 原 一 真³・田 中 貴 之⁴・小 林 聖⁵

Evaluation of long-distance transmission characteristics in a 60GHz band millimeter-wave wireless communication module in an actual propagation environment

T. Mitsuno, R. Sugiura, K. Kawahara, T. Tanaka, and K. Kobayashi

60 GHz帯は広帯域な周波数チャネルを持つことから高速大容量の通信に適しており、高精細・低遅延画像伝送などのアプリケーションへの適用が期待されている。本稿は、これらのアプリケーションを利用するユーザが60 GHz帯無線通信の適用可能性を検討する一助として、当社が開発した技適証明取得済の60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールを用いた、屋外実環境での伝送特性評価結果について述べる。

The 60 GHz band has wide frequency channels, making it suitable for high-speed, large-capacity communications, and is expected to be applied to applications such as high-definition and low-latency image transmission. To help users of these applications consider the applicability of 60 GHz band wireless communications, this paper describes the transmission characteristics evaluation results in actual outdoor environments using 60 GHz band millimeter wave wireless communication modules developed by our company that have obtained technical compliance certification.

1. ま え が き

社会のスマート化を牽引する原動力として、あらゆる分野で高速大容量無線通信システムが必要になっている。5G／ローカル5Gに代表される免許制の無線通信システムに対し、免許不要で、低コストかつ容易に高速ネットワーク構築が可能な60 GHz帯ミリ波無線システムは、各種工事、建設、作業現場や、商工業施設のスマート化、高精細・低遅延画像伝送などの実現へ最適なソリューションを提供する。当社では、60 GHz 帯の無線通信システムに適用する、組込型の60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールを開発しており、モジュール単体で認証機関による技術基準適合証明（技適証明）を取得している^{1), 2)}。図1に60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの外観を示す。技適証明をあらかじめ取得した本モジュールを組み込むことで、60 GHz帯を利用する通信・産業機器の開発をより短期間・低コスト



図1 60 GHz帯ミリ波無線通信モジュール

Fig. 1. 60 GHz millimeter wave wireless communication module.

で行うことが可能となる。

このような利点の一方、60 GHz帯は大気中の酸素による吸収や降雨によって伝搬減衰が大きくなることが知られており、長距離通信にはあまり適していないと一般に考えられている³⁾。しかし、実際の伝搬環境において、技適証明相当の電氣的性能を有する無線通信機器を用いた長距離伝送特性の定量的評価を行った例は少なく、その有効性に

1 ミリ波事業開発グループ アシスタントマネージャー
2 ミリ波事業開発グループ 主席研究員
3 ミリ波システム開発部 アソシエイト
4 ミリ波システム開発部 次長
5 電子応用技術R&Dセンター センター長、博士（工学）

略語・専門用語リスト

略語・専門用語	正式表記	説 明
技適証明	技術基準適合証明・ technical standards compliance	特定無線設備（総務省に定められた小牙な無線設備、携 帯電話や無線LAN機器など）が電波法令の技術基準に適 合していることの証明。
5 G	第五世代移動通システム ・ 5th generation mobile networks	現在普及が進んでいる最新の移動通信システム
ローカル5 G	Private 5G	企業や自治体など通信業者以外が主体となって、特定地 域に構築する自営の5 Gネットワーク
NPU	Network Processing Unit	ネットワーク処理に特化した計算装置
PCP/AP	PBSS central point/ Access point	Wi-Fiにおける管制側の端末
STA	Station	Wi-Fiにおける子機側の端末
P2P	Point-to-Point	一つのアクセスポイントに対し一つのステーションが配 置される構成
スループット	Throughput	通信において、ある一定時間内に伝送される情報量
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	トランスポート層（L4）のプロトコル。接続の確立を確 認した後にデータ伝送を行う手法
MCS	Modulation and Coding Scheme	変調方式と符号化率を組み合わせで指標化したもの
物理層	Physical layer	OSI参照モデルにおける第一層。データの物理的な伝送を 担当
IP層	IP layer	ネットワーク層（L3）とも呼ばれ、データパケットの送 信と受信、パケットのルーティング、転送、フラグメンテー ション（パケットの分割と再構築）、エラー検出と修正な どの機能を担当
通信路	channel	情報を伝達する媒体
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power	等価等方輻射電力。指向性アンテナから、特定の方向に 放射される電波の送信電力の強さを表す。全方向に放射 される電波のうち、最大電力を示す場合もある



図2 屋外評価キット

Fig. 2. Outdoor evaluation kit.

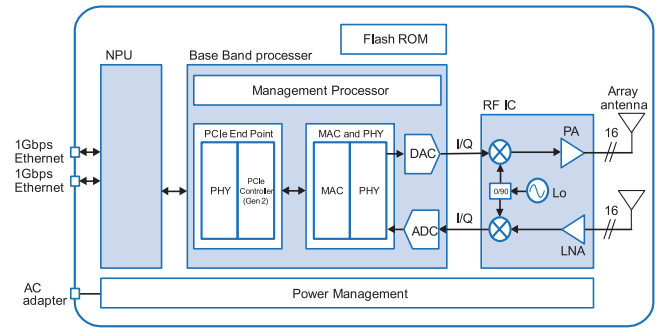


図3 屋外評価キットの機能ブロック図

Fig. 3. Functional block diagram of the outdoor evaluation kit.

表1 屋外評価キットの主要緒元

Table 1. Major specifications of outdoor evaluation kit.

周波数帯域	57 ~ 65 GHz (CH1-CH4)
EIRP	40 dBm (Max)
水平方向ビームフォーミング	± 45 deg
インタフェース	GbE × 2 port



図4 屋外試験時の設置状況

Fig. 4. Overview of the field trial.

については明らかではなかった。

本稿では、開発したモジュールを組み込んだ評価用通信機器を用いて実環境における通信性能の距離特性を評価したので報告する。

2. 評価装置

60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの通信品質の評価を行うため、本モジュールとNPUを搭載し、外部ネットワークと接続して通信できるシステムを構築した。本モジュールを搭載したシステムである屋外評価キットの外観を図2に、機能ブロック図を図3に、表1に主要緒元を示す。屋外評価キットのサイズは、幅155 mm、高さ299 mm、奥行109 mmである。筐体内に60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールとNPUおよびそれらを駆動する電源が搭載されており、通信インタフェースはGigabit Ethernet (GbE) インタフェースを2口備えている。

3. 性能評価

60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの通信品質の評価は、実使用を想定した場合に求められる通信品質を明らかにするために実施した。例えば工場や建設現場などの環境では、数百メートル程度の伝送距離が求められるが、通信品質は機器が設置される距離や高さ、降雨などによる影響を受ける。よって実使用時に得られる通信品質を明らかにするために、60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの通信品質の長距離特性、設置高さの影響、降雨減衰の影響を評価した。これらの評価は、建物など固有の環境を排した評価で一般的傾向を把握するため、降雨減衰による影響の測定以外は障害物のない開放地で評価した。

3.1 長距離特性

屋外評価キットを用いたシステム評価はPCP/APとSTAによるP2Pネットワーク構成で行った。計測にあたり、GbEインタフェースの規格で通信速度が制約される（最大1 Gbps）ことを避けるため、印加するトラフィックは外部ネットワークからではなく、屋外評価キット内部の

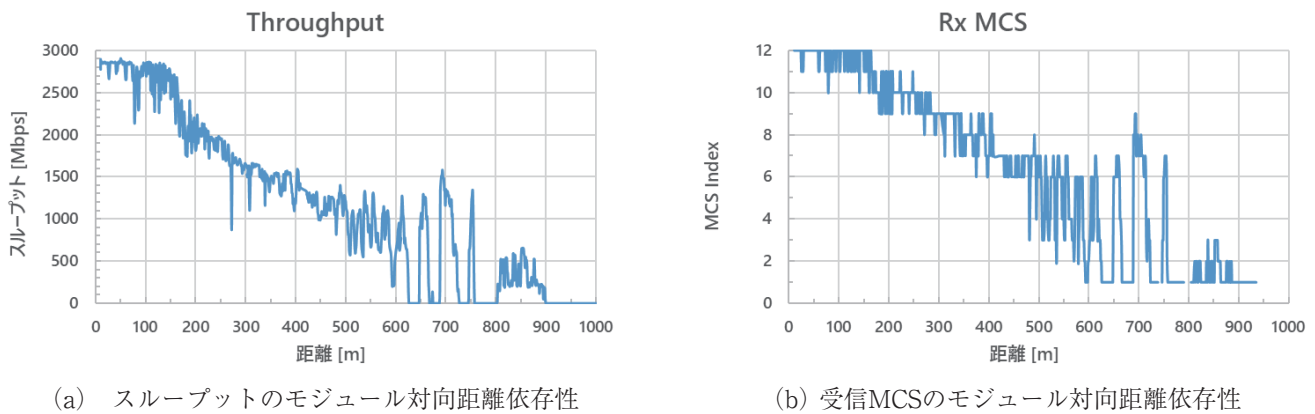


図5 スループット、MCSの距離依存性

Fig. 5. Dependency of throughput and MCS versus distance.

表2 MCSと物理レイヤの速度の関係

Table 2. Relationship between MCS and physical layer data rate.

MCS Index	PHY Data Rate (Mbps)
1	385
2	770
3	963
4	1155
5	1251
6	1540
7	1925
8	2310
9	2503
10	3080
11	3850
12	4620

NPUで発生させ、プロトコルはTCP/IPを用いた。また周波数チャネルはチャネル4 (63.72 – 65.88 GHz) を使用した。筐体の設置高は3.9 mとし、図4に示すような屋外環境でシステム評価試験を実施した。図5にPCP/APとSTAの対向距離に対するIP層における実効通信速度（スループット）とMCSを示す。なお、MCSとは変調方式と符号化率を組み合わせで指標化したものであり、各MCS値に対する物理層の通信速度を表²⁾に示す。対向距離が500 mの地点においてスループットが1.0 Gbps程度となり、900 m程度までの距離で通信が可能であることを確認した。なお、400 m以遠ではMCSが周期的に増減する傾向が見られるが、これは直接波と大地からの反射波の合成による受信電力の増減の影響である。これは対向距離が変わることで直接波と反射波の経路差が変化し、合成波の受信電力が変化することによって起きる現象であり、フェージング⁵⁾と呼ばれる。以上の結果より、60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールが数百mの長距離においても1 Gbps以上の高速大容量通

信が実現可能であることが示された。つぎに、市販の他社製の60 GHz無線通信機器との比較を行った。図6にスループットの対向距離依存性の他社製品との比較を示す。本測定では両装置の内部で同じトラフィックを発生させることができないため、それぞれGbE インタフェースに接続した外部端末からトラフィックを印加した。そのため最大のスループットは1 Gbps程度となっている。450 mの位置で他社製品が20 Mbps程度であったのに対し、フジクラ製は900 Mbpsの通信速度が得られた。なお、700 m以遠のスループットの増減は、フェージングの影響である。

3. 2 降雨減衰の影響

60 GHz帯ミリ波の通信路は降雨による減衰が大きく、屋外での使用においては降雨量と通信機距離によっては通信断が発生する場合がある。降雨が60 GHz帯ミリ波の通信路に与える影響を評価するため、屋外評価キットを屋外建物の屋上に設置し、降雨量と受信電力を測定した。対向

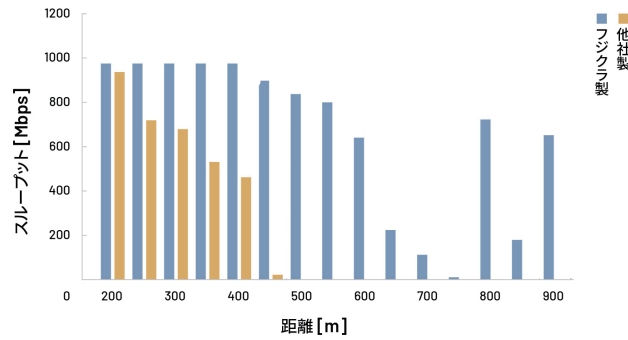
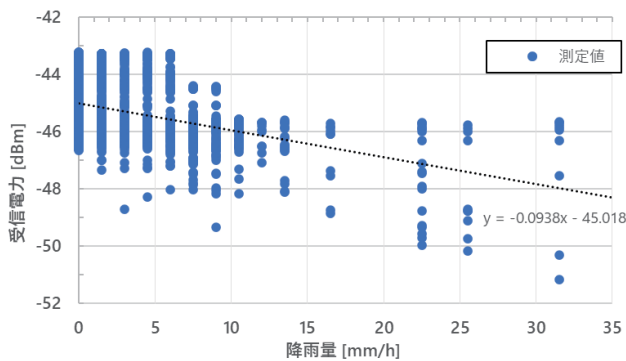
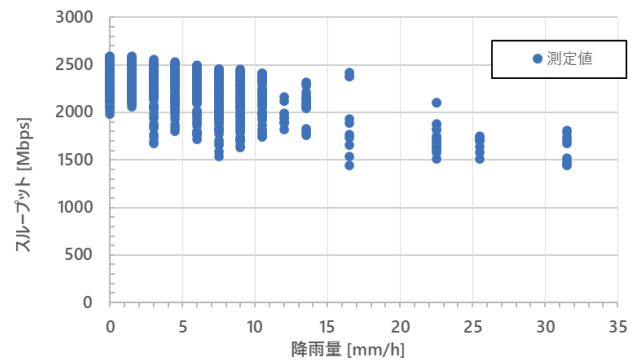


図6 他社製品とのスループット比較

Fig. 6. Throughput comparison with other company's product.



(a) 受信電力と降雨量の関係



(b) スループットと降雨量の関係

図7 受信電力とスループットの降雨量との関係

Fig. 7. Relationship between received power and throughput with rainfall intensity.

距離は約200 mとし、設置高は地上から受信側を約18m、送信側を約28 mとした。また周波数チャネルはチャネル3 (61.56 – 63.72 GHz) を使用した。図7に降雨が多かった時期の約2か月間の降雨量と受信電力とスループットの測定結果を示す。測定した時間の気温によって受信電力にばらつきが見られるが、降雨量の増加に伴う受信電力の低下が確認された。図7の受信電力の測定結果から1次式の近似曲線を導くと、対向距離200 mにおける降雨による減衰の影響は、0.1 dBm/mm/h程度であることが示された。また、雨量30 mm/hの場合でも1500 Mbps程度のスループットが得られており、晴天時に比較すれば1000 Mbps程度低下するものの、十分高速な回線を提供できることが分かる。

3.3 設置高の影響

図5、図6で示したようにフェージングの影響により、距離に対して周期的な通信状態の変動が発生する。この変動は設置高を変化させることでも発生する。これは設置高が変わることによって直接波と反射波の経路差が変化し、合成波の受信電力が変化することによって起きる現象である。これはハイトパターンと呼ばれるもので、通信装置を設置する

際には重要な要素である。ハイトパターンの変化の周期は、距離、周波数、アンテナパターンなどによって異なる。60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールのハイトパターンを把握するため、図8に示すように屋外にて受信側の屋外評価キットの設置高を変化させ、受信電力の測定を行った。送信側の設置高は4 mで固定とし、対向距離は、500 mと1000 mの2条件とした。図9に受信電力の測定結果を、図10にスループットの測定結果を示す。500 m地点では2 dBm以内の変化であるのに対し、1000 m地点では受信機の設置高さによって最大-57 dBm程度から、通信断となる-63 dBm以下まで周期的に受信電力が変化し、その周期は、0.6 m程度であった。距離に応じて設置高を調整することで、通信状態が改善することを示され、1000 mの対向距離でも最大で600 Mbps程度のスループットが得られた。

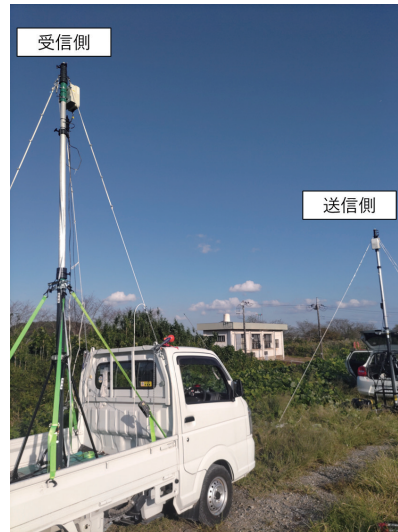
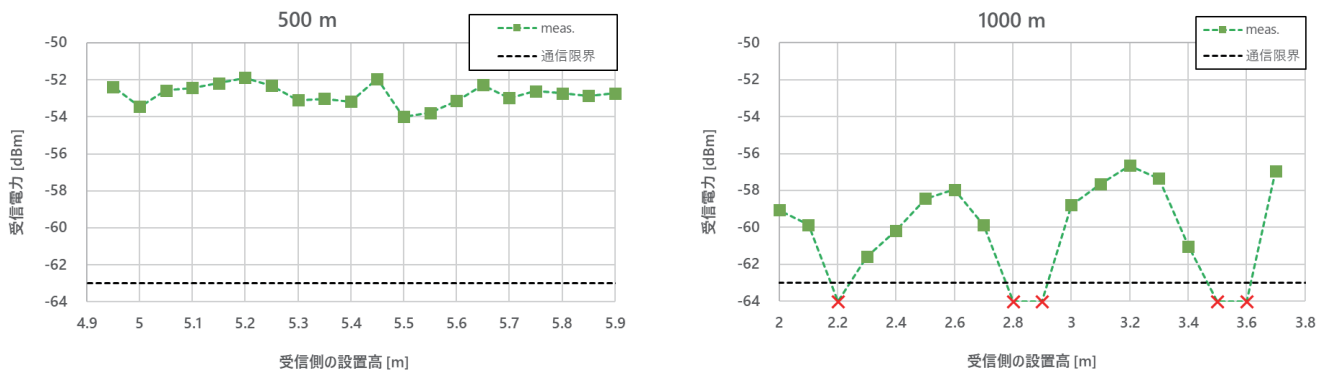


図8 ハイットパターン測定時の設置状況

Fig. 8. Overview of the height pattern measurement.

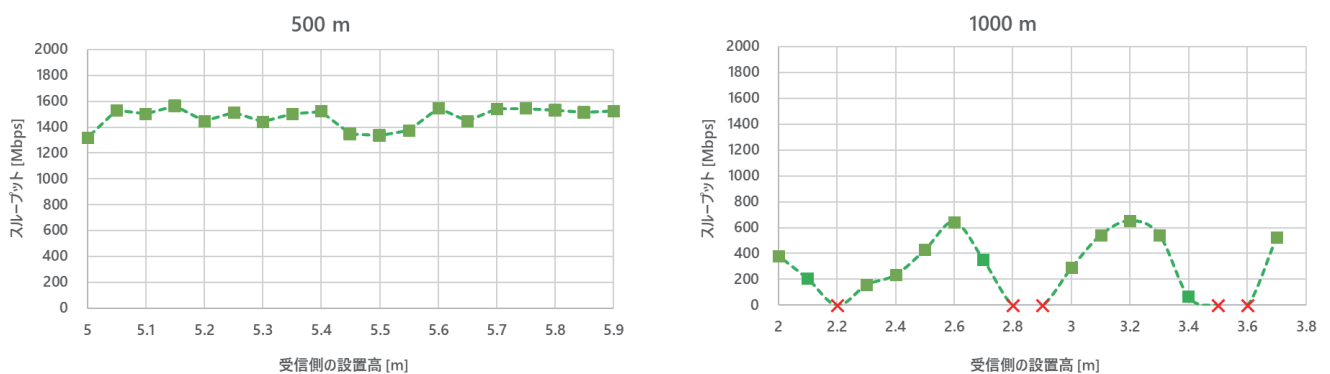


(a) 500 m地点での受信電力のハイットパターン

(b) 1000 m地点での受信電力のハイットパターン

図9 500 m, 1000 mにおける受信電力のハイットパターン

Fig. 9. Height pattern of received power at 500 m and 1000 m point from the transmitter.



(a) 500 m地点でのスループットのハイットパターン

(b) 1000 m地点でのスループットのハイットパターン

図10 500 m, 1000 mにおけるスループットのハイットパターン

Fig. 10. Height pattern of Throughput at 500 m and 1000 m point from the transmitter.

4. むすび

本報告では、60 GHz帯ミリ波無線通信モジュールの実使用環境を想定した性能評価結果について述べた。60

GHz帯ミリ波無線通信モジュールが長距離での高速大容量通信が可能である点、降雨に対する耐性、設置高の影響を示した。今後は、これらの結果をもとに、顧客へ60 GHz帯ミリ波通信を用いたソリューションの提供を行っていく。

参考文献

- 1) 細野ほか：「5 G向け新周波数帯にも対応した60 GHz帯
広帯域通信モジュール」, フジクラ技報, 第134号,
pp.32-35, 2021
- 2) 高地：「国内電波法・技適証明取得済の60 GHz帯ミリ
波通信モジュール」, フジクラ技報, 第136号, pp.23-24,
2023
- 3) 小川：「60 GHz帯ミリ波ワイヤレスアクセスシステム
の標準化動向」, 電学誌, 125巻 2号, pp.94-97, 2005
- 4) IEEE Standard for Information technology--
Telecommunications and information exchange
between systems Local and metropolitan area
networks, Part 11: Wireless LAN Medium Access
Control (MAC) and Physical Layer (PHY)
Specifications, IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE
Std 802.11-2012) , 2016.
- 5) 唐沢：「無線通信の電波伝搬 ～移動伝搬理解とシミュ
レーション技法の壺～」, URL: [http://www.radio3.
ee.uec.ac.jp/ronbun/TR-YK-004_Propagation.pdf](http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/TR-YK-004_Propagation.pdf)