

40GHz帯を用いた移動体無線通信システム

金正利和*
鈴木清文*
塚本 薫**

Mobile Wireless Communication System on 40GHz Frequency Band

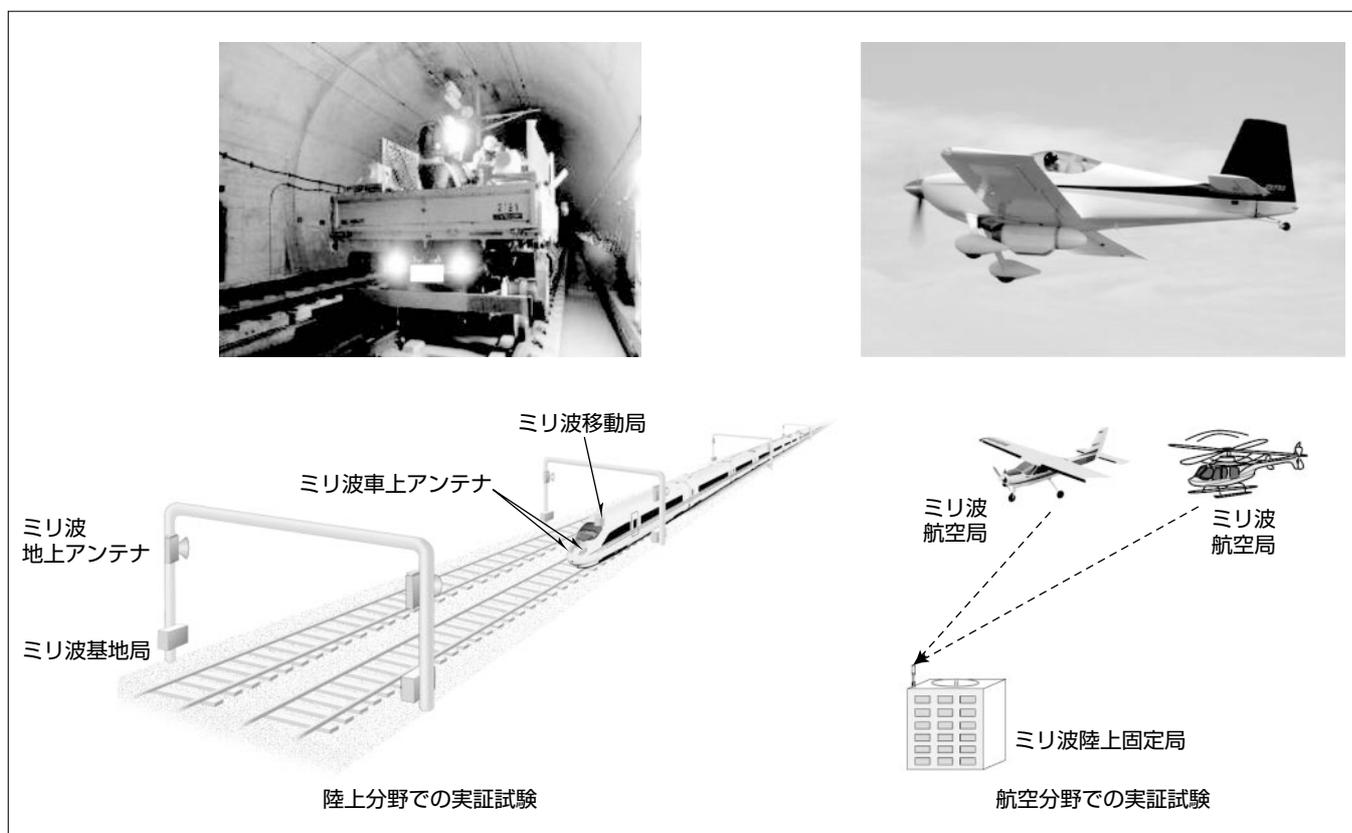
Toshikazu Kanemasa, Kiyofumi Suzuki, Kaoru Tsukamoto

要 旨

移動体通信分野は、利用周波数帯の需要が増加する中、携帯電話等によるワイヤレスブロードバンド環境の整備が進められており、鉄道等の陸上分野や飛行機やヘリコプター等の航空分野で必要とされるブロードバンド環境の整備が検討されている。航空分野の一部で衛星通信等によって実現されているが、今後見込まれるワイヤレスブロードバンド環境の急速な発達に対して、将来的に更なる大容量通信への要求が増大すると想定される。これらのブロードバ

ンド通信に対する需要に対応するために、30GHz帯を超えるミリ波帯を利用したシステムの実現が期待されている。

三菱電機は、無線通信におけるミリ波帯の必要性に早くから着目し、社会に貢献できる製品開発を目指して継続的な開発を進めてきた。ミリ波帯の基本的特徴及びこれまでに各種機関と協調して実施してきた40GHz帯ミリ波を用いた移動体無線通信システムの実証試験結果を述べるとともに、今後の実用化に向けた取組みについて述べる。



40GHz帯を用いた移動体無線通信システムの実証試験

40GHz帯ミリ波移動体無線通信システムの陸上及び航空分野における実現性確認として実施した、実環境における実証試験の状況を示す。この試験で、送信局からデータを送信して受信局で受信電力とビット誤り率を測定した結果、100Mbps通信が可能であることを確認した。

1. ま え が き

他の周波数帯と比較したミリ波帯の電波が持つ主な特徴を次に挙げる。

(1) 大容量通信特性

ミリ波の最大の特徴でありメリットでもある。利用可能な周波数帯が広帯域に確保されており、大容量通信に適した周波数帯である。

(2) 小型化特性

周波数が高く波長が短いため、アンテナや電子部品の小型化が可能である。

(3) 高指向特性

周波数が高いためミリ波の伝播(でんぱ)特性は直線性が強くアンテナビームは高い指向性を得ることが可能である。

(4) 耐干渉性

周波数が高いため電波伝搬は高減衰特性を示し、隣接通信システム間の電波干渉の影響が少ない。

(5) トンネル内長距離伝送特性

(4)のとおり高減衰特性を持つため伝送距離に制約があるが、鉄道等のトンネル内では導波管効果を伴うため数kmの伝送を行うことが可能である。

これらの特徴を持つミリ波帯で、40GHz帯を用いた大容量移動体無線通信システムが各種検討されており、本稿では陸上分野及び航空分野で、これまでに実施された実証試験について述べる。

2. 陸上分野での実証試験

陸上分野では、特に鉄道分野でミリ波帯を用いた大容量通信の実現が注目されている。ミリ波帯を用いた列車無線システムについて様々な検討が行われており、実環境における実験がこれまで報告されているが、伝送速度や伝送距離などが実用化に向けた課題となっていた。

トンネルを使用した実環境における走行試験及び自動車を使用した高速移動試験(100km/h)を実施して良好な結果が得られたが、ここではトンネルでの100Mbps無線伝送の試験結果について述べる⁽¹⁾。

2.1 試験概要

移動局アンテナ、基地局アンテナともに指向性アンテナを使用し、図1のように移動局アンテナと基地局アンテナを正対させた状態から移動局を直線的に移動させ、伝送速度100Mbpsの通信試験を実施した。移動局アンテナは、

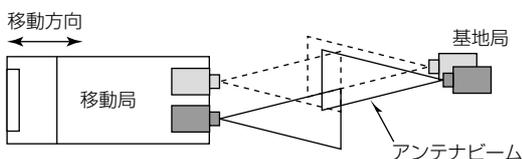


図1. 試験概要

移動局の運転席と反対側に設置されている。トンネル試験と高速移動試験に共通の試験諸元を表1に示す。

トンネル試験は、建設中のトンネルで実施した。走路を図2に示す。移動局(送信局)を設置した軌陸車によって線路上を15km/hで走行し、基地局(受信局)で受信電力とビット誤り率を測定した。また、軌陸車の車輪に設置した車軸パルスと線路脇に設置したRFID(Radio Frequency Identifier)によって、移動局の移動距離情報を取得した。基地局アンテナは上下方向に2個設置し、移動局アンテナは上下方向又は左右方向に2個設置した。アンテナ設置例を図3に、トンネル試験の試験諸元を表2に、それぞれ示す。

表1. 共通の試験諸元

項目	諸元
変調方式	64QAM-OFDM
最大伝送速度	100Mbps
送信電力	10mW
空中線利得	32dBi
アンテナ半値角	±1.0~1.5°

QAM-OFDM: Quadrature Amplitude Modulation-Orthogonal Frequency Division Multiplexing

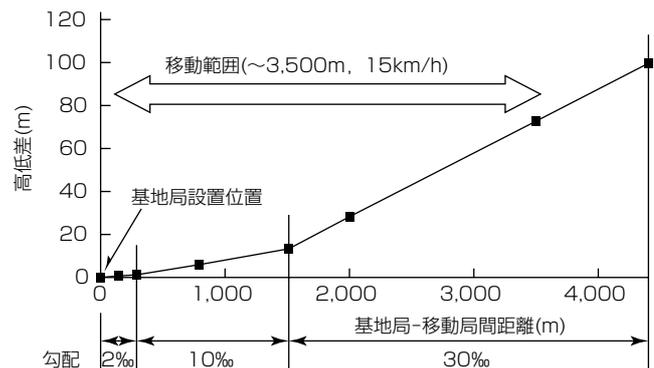


図2. トンネル試験走路

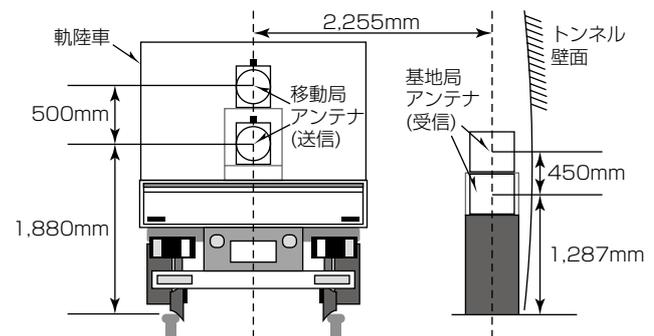


図3. トンネル試験アンテナ設置例(移動局アンテナ上下設置)

表2. トンネル試験の試験諸元

項目	諸元
搬送波周波数	46.8GHz
アンテナ数	基地局: 2, 移動局: 2
走行距離	基地局~3,500m
移動速度	15km/h
移動局位置情報取得	車軸パルス, RFID

2.2 試験結果

移動局は、基地局から遠ざかる方向に移動した(図1で左方向に移動)。ダイバシティ非適用時(1送信1受信)、送信ダイバシティ適用時(2送信1受信)、受信ダイバシティ適用時(1送信2受信)、送受信ダイバシティ適用時(2送信2受信)の受信電力特性とビット誤り率特性を測定した。ダイバシティ非適用時(1送信1受信)、送受信ダイバシティ適用時(2送信2受信)の結果を図4及び図5に示す。また、500mごとの場所率を表3に示す。ここで場所

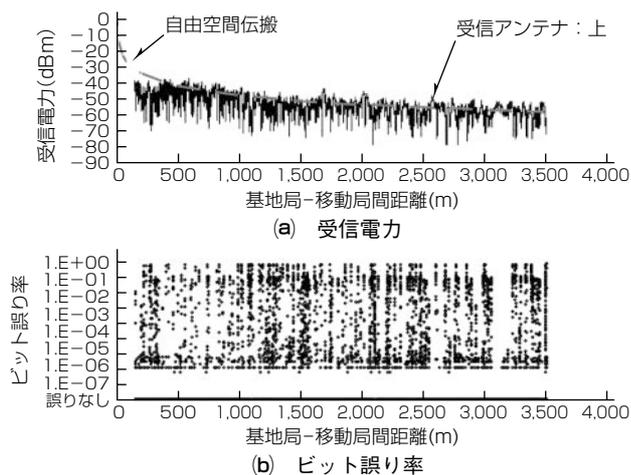


図4. ダイバシティ非適用(1送信1受信)時の試験結果

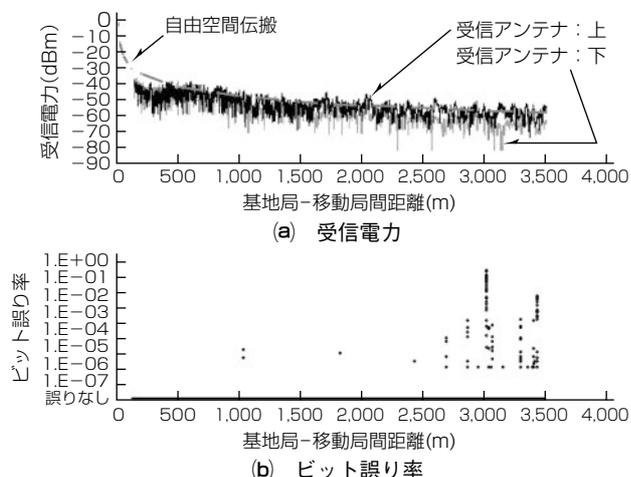


図5. 送受信ダイバシティ適用(2送信2受信)時の試験結果

表3. ダイバシティ適用有無による場所率比較

基地局-移動局間距離(m)	1送信 1受信	2送信 1受信	1送信 2受信	2送信 2受信
~500	89.64	99.73	99.93	100.00
~1,000	91.50	99.86	99.86	100.00
~1,500	87.63	99.42	99.26	99.98
~2,000	87.08	99.50	99.26	99.98
~2,500	85.57	99.27	98.97	99.98
~3,000	85.21	98.95	98.31	99.95
~3,500	84.90	98.43	97.21	99.70

単位: %

率とは、移動距離を0.1mごとに区切り、各区間でビット誤りが発生しない確率、すなわち、100Mbps通信が可能となる確率を示している。ダイバシティによって受信電力の低下を抑圧できることによって、ダイバシティ適用時にはビット誤り率特性が改善されることが分かる。

表3に示すとおり、2送信2受信の構成、基地局-移動局間距離が3,000m以下の範囲、及び99.9%以上の高い場所率で100Mbps通信が実現可能であることを確認できた。

3. 航空分野での実証試験

航空分野では、マイクロ波を用いた対地通信や衛星通信が実用化されているが、航空機で計測・撮影されたデータ・映像等の大容量データを短時間で地上にダウンロードを行うためにミリ波帯の利用が検討されている。

ここでは、小型航空機に航空局を設置し、陸上固定局との間で実施した通信実験について述べる。

3.1 試験概要

航空局にはアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)を使用し、陸上固定局には機械駆動アンテナを使用し、図6のように陸上固定局の上空に航空局を搭載した小型航空機を巡回状態で飛行させ、通信試験を実施した。試験諸元を表4に示す。

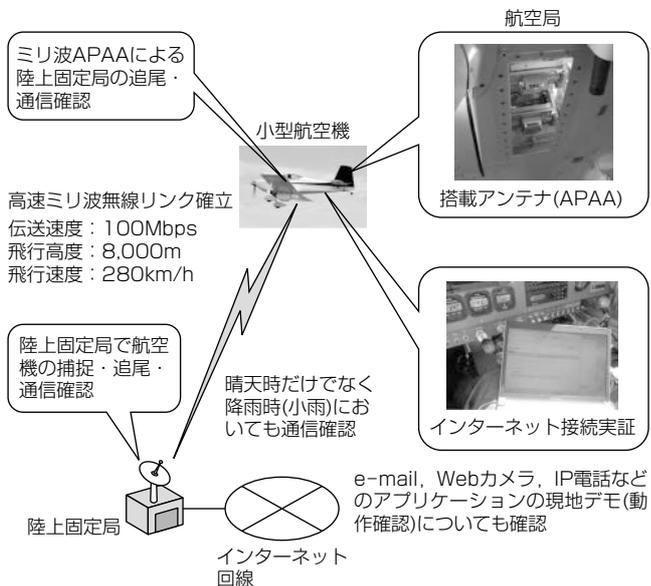


図6. 試験概要図

表4. 試験諸元(航空局)

項目	諸元
搬送波周波数	43.5~43.8GHz
変調方式	QPSK
最大伝送速度	100Mbps
EIRP	24dBW
G/T	-7.9dB/K

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
EIRP : Equipment Isotropical Radiated Power
G/T : Gain to noise Temperature

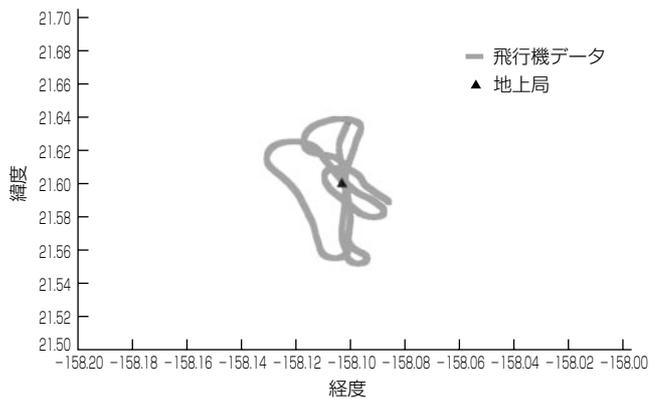


図7. 飛行軌跡

表5. 試験結果(パケット到達率)

項目	確認個所 1	確認個所 2
地上から送信したパケット数	847	1,658
機上で受信したパケット数 (=機上から送信したパケット数)	847	1,658
地上で受信したパケット数	847	1,658
地上⇒機上の確達率(%)	100	100
機上⇒地上の確達率(%)	100	100

は、1.5Mbpsから100Mbpsまで切り換えて試験した。図7に飛行軌跡を、図8に機上と地上におけるモデムの受信レベルとリンク状態を示す。図8の丸で囲っている2か所について、パケットの到達率を確認した結果を表5に示す。モデムのリンクが確立した状態で、陸上固定局から航空局へ送信するアップリンクでも、航空局から陸上固定局へ送信するダウンリンクでもパケットロスなく通信できており、航空機-陸上間における100Mbpsの双方向IP通信による大容量通信が実証できた。

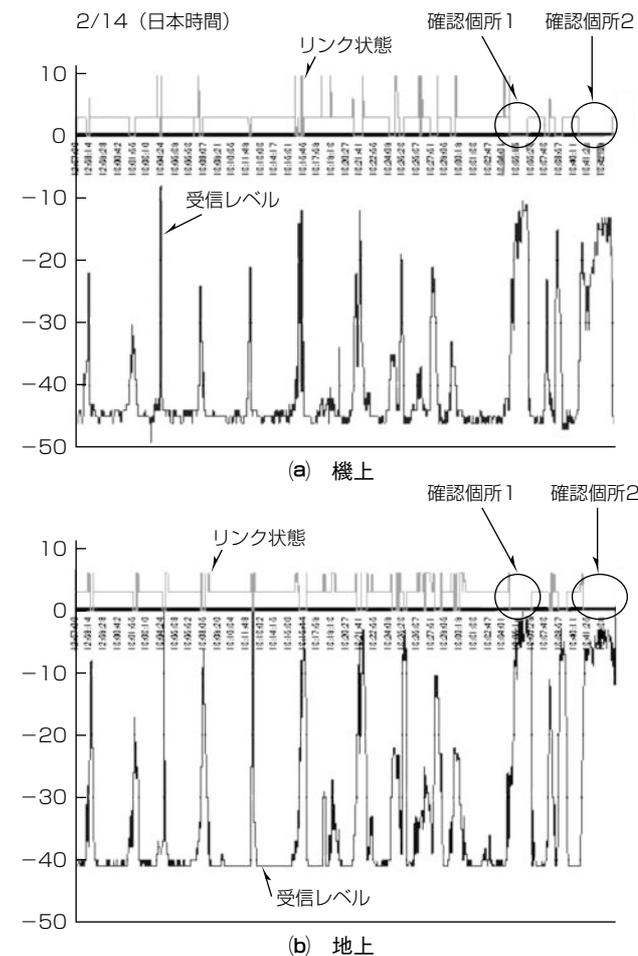
4. むすび

40GHz帯ミリ波を用いた移動体通信システムの実証試験について述べた。今回述べた各試験での伝送速度は100Mbpsであったが、今後は伝送速度1Gbps以上の移動体通信システムの実現を目指していく。一方、陸上及び航空の各分野で、実用化に向けた活動が今後ますます盛んになると予想され、航空分野の成果はITU-R(International Telecommunications Union-Radiocommunication sector)のレポート(ITU-R M.2282-0)に採択されており、鉄道に関してはITU-R(SG5 WP5A)で議論が始まっており、ミリ波通信技術の標準化活動も活発に行われている。今後豊富な可能性を持つミリ波帯電波の様々な特徴を存分に活かして社会に貢献できる通信システムを開発していく。

この試験は、総務省平成21年度研究委託“ミリ波帯高速移動体通信システム技術の研究開発”及び平成24年度の技術試験事務“40GHz帯を用いた移動体通信システムの周波数有効利用技術に関する調査検討の請負”の中で実施した内容であり、有益な助言を頂き、試験にも多大な協力を頂いた(独)情報通信研究機構及び(株)三菱総合研究所に深く感謝する。

参考文献

- (1) 塚本 薫, ほか: 40GHz帯を用いた移動体無線通信システムのフィールド試験, 電子情報通信学会技術研究報告, 113, No.246, 43~48 (2013)



機上・地上で同期して受信レベルが変動
図8. 試験結果(受信レベルとリンク状態)

3.2 試験結果

航空局が陸上固定局の上空飛行時に、陸上固定局から航空局に送信するパケットを航空局で折り返し、再び陸上固定局で受信することによって、リンク確立状態、受信レベル、及びパケット到達率を取得した。このときの伝送速度