50 GHz 帯 通 信

古 濱 洋 治[†], 島 貫 義太郎^{**}

1983 年 6 月に新設された 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局制度の目的, 技術基準, 使用範囲, 運用の仕方等と共に, 本無線局の一中継による伝送可能距離, 無線局の応用分野について紹介している. 画像伝送可能距離は, 0.01%の許容断時間率に対して, 30 cmφのアンテナを用いたとき, 約 1~3 km である.

1. ま え が き

近年の社会経済の発展, 科学技術の急速な進歩などによって, 電波利用の増大には著しいものがあり, 周波数利用は拡大の一途をたどっている.

電波は, 通信・放送などの情報伝送の他, リモートセンシング, 高周波加熱などに利用され, およそ 40 GHz 以下の周波数帯において, 各種の装置が開発され実用化が進んでいる. しかしながら, 40 GHz 以上の電波は, 具体的な周波数の分配が決められてなく, また, 大気伝搬特性が良好でないうえ, 安価な装置の実現が容易でないため, これまで使い難い周波数帯と考えられ利用開発が進んでいなかった.

一方, 有線も含めたミリ波帯通信に関する基本技術は, 導波管方式による大容量通信のための技術開発によって, 我が国においては 1970 年代中頃, 約 100 GHz 程度まで完成している.

この技術は, 高信頼・高性能・大容量システムのためのものであって, 複雑・高価であり簡単には利用できないものであったが, その後の光通信技術の発展あるいは今日のマイクロ波集積回路 (MIC) を中心としたミリ波技術の発展に大きく寄与している.

1971 年に行われた国際電気通信連合 (ITU) の宇宙通信に関する世界無線通信主管庁会議 (WARC) では,

周波数分配の上限を 40 GHz から 275 GHz に引き上げ, 主として宇宙通信などへの分配を行い, さらに 1979 年の WARC では, この周波数帯を地上系へも分配した.

1982 年の ITU の全権委員会議では, 国際電気通信条約を改正し, 電波とは人工的導体のない空間に伝搬する当面 3,000 GHz 以下の周波数の電磁波を指すものと定義し, 国際無線通信諮問委員会 (CCIR) においては, この周波数の上限に関係なく研究を進めることにした.

このように, ここ 10 数年間に, 新しい周波数帯開発のための枠組が大幅に拡大され, ミリ波帯装置の開発も次第に進んでいる.

郵政省は, 1983 年 6 月, 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局制度を導入した. この無線局は, 40 GHz 以上の周波数における最初の無線局制度であって, 無線従事者の資格なしで運用できる他, 種々の特色を有し, 今後の利用, 開発が期待されている.

以下では, 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局制度の目的, 技術基準, 使用範囲, 運用の仕方等と共に, 本無線局を用いたときの伝送可能距離, その応用分野などについて述べる.

2. 50 GHz 帯の電波を使用する 簡易無線局制度

2.1 制度化の目的

電波法が施行された 1950 年当時における無線局数は, わずか 500 局余りであったのが, 1983 年現在では 250 万局を超えるに至っている. しかしその一方で, 高い周波数帯を使用する無線局数は微々たるもので, たとえば 30 GHz 以上の電波を使用する無線局数

[†] 郵政省電波研究所電波部

^{**} 郵政省電波監理局無線通信部陸上課*

"Radio Communications in 50 GHz Band" by Yoji Furuhashi (Radio Wave Division, Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications, Tokyo) and Yoshitaro Shimanuki (Land Division, Radio Regulatory Bureau, Ministry of Posts and Telecommunications, Tokyo)

* 現在, 日本電信電話公社技術局移動無線担当

に至っては 100 局程度に過ぎない。

したがって、このような無線局数の急増に伴う周波数需要に応えるためには、狭帯域化等の方法による既利用周波数帯の利用効率の向上に加えて、ミリ波帯等の未利用周波数帯の利用開発の促進を図る必要がある。

さらに、一般企業、家庭等における無線利用に対する潜在的需要は根強いものがあるが、現在の周波数割り当ては、公衆通信業務、公共業務、放送業務等を中心にを行っているため、このような用途のための無線局の開設は、制度的にも技術的にも困難な状況にあり、簡易無線局等、ごく一部に限られている。特に、映像信号の伝送および OA、LAN 等に使用できるデジタル信号の伝送には広い周波数帯を必要とするため、低い周波数帯では不可能である。

このような観点から、4.1 節に述べるような数々の特徴を有するミリ波帯の一部を簡易無線業務に開放することにし、1983 年 6 月に郵政省令および告示を改正したものである。

2.2 技術基準

50 GHz 帯の電波を利用する簡易無線局は、一般企業、家庭等に広帯域信号の伝送も可能な無線通信手段を提供すること、およびミリ波帯の利用・開発の促進を図ることを目的に制度化したものである。このため、技術基準は電波監理上必要不可欠なものに限定して規定しており、利用者の創意工夫による多種多様なシステムの使用が可能になっている。

図 1 に周波数を、表 1 に技術基準を示す。

なお、この 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局の無線設備は、一定の条件を満たせば無線従事者の資格がなくても操作を可能としたため、通常考えられる使用方法においては、他の無線通信に影響を与えないようにする必要がある。表 1 に示す技術基準のうち、その他の項はこれを考慮したものである。

2.3 使用範囲

簡易無線局は、「簡易な無線通信業務であって、かつ、アマチュア業務に該当しない業務を行うために開設する無線局」をいい、次のような条件を満たすものでなければならない。

- (1) 免許人以外の者の使用に供するものでないこと。
- (2) 開設の目的、通信の相手方及び通信事項が法令に違反せず、かつ、公共の福祉を害しないこと。
- (3) 既設の無線局等の運用または電波の監視に支障を与えないこと。

したがって、50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局にあっても、従来の簡易無線局同様に上述の条件を満たす範囲で使用する必要がある。たとえば、次のような用途に使用することはできない。

- (1) 公衆通信業務を行うことを目的とするもの。
- (2) 船舶または航空機の安全航行を確保することを目的とするもの。
- (3) 人命財産の保全または治安の維持を確保することを目的とするもの。

(注 1) 送受信周波数間隔は 500MHz とする。

(注 2) 広帯域信号用の周波数は画像信号と 6.3Mb/s 以上の高速デジタル信号を伝送する場合に、小・中帯信号用の周波数はそれ以外の場合に使用する。

図 1 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局の周波数

表 1 50GHz 帯の電波を使用する簡易無線局の技術基準

空中線電力	30 mW 以下
空中線利得	45 dBi 以下
スプリアス発射の強度	100 μ W 以下
周波数の許容偏差	200 ppm
占有周波数帯幅の許容値	テレビ信号または 6.3Mb/s 以上のデジタル信号伝送用……40 MHz それ以外の場合……10 MHz
その他	(a) 一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。ただし、空中線、給電線、電源設備及び付属装置を除く。 (b) 送信装置の外部の転換装置は、電源開閉器送受信の切替器、電波の型式の切替器、周波数の切替器及び指示器の切替器に限られること。 (c) 占有周波数帯幅が、規定値を超えることを防ぐ自動的制御装置を備えていること。

- (4) 防衛，警察，海上保安，検察，入国管理，公安調査，税関，検疫，麻薬取締りまたは防災の業務の遂行を確保することを目的とするもの。
- (5) 放送中継を行うことを目的とするもの。
- (6) 有線テレビジョン放送の一定の固定地点間の中継を目的とするもの。
- (7) 鉄道用または軌道用客車および貨車，索道用搬器，一般乗合旅客自動車等の安全運行を確保することを主たる目的とするもの。
- (8) 水防，道路，消防または気象業務の遂行を確保することを主たる目的とするもの。
- (9) 送配電線の保安または電力の供給を確保することを主たる目的とするもの。
- (10) ガス管または水道管の保全を確保することを主たる目的とするもの。

しかし，このような条件を満たせば，アナログ信号，デジタル信号を問わず，広帯域信号の双方向通信を誰でもが行うことができること等の特徴から，多種多様な使い方が想定されている。

2.4 運用

簡易無線局の通信方法については無線局運用規則第128条の2に，「簡易無線局においては，一回の通信時間は，5分をこえてはならないものとし，一回の通信を終了した後においては，一分以上経過した後でなければ再び通信を行ってはならない。ただし，（中略）時間的又は場所の理由により他に通信を行う無線局のないことが確実である場合は，この限りでない。」と規定されている。

50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局にもこの規定は適用され，付近において他の無線局が同一周波数で運用中でないこと，または，空中線の指向特性等を利用して，同一周波数で運用中の付近の無線局に対し

て干渉妨害を与えないように注意しながら運用する必要がある。

3. 50 GHz 帯大気伝搬特性と伝送距離

50 GHz 帯の電波は，降雨によって強い減衰を受け，また晴天時においても大気中の酸素ガスや水蒸気による吸収によって減衰を受ける。

3.1 大気ガスによる吸収

大気ガスによる吸収は，使用周波数および気温，気圧，湿度などの周囲条件によって変化するが，気圧による変動は小さく通常無視できる。表2に，50 GHz 帯における酸素ガスと水蒸気の吸収係数，およびこれらの和を示す。湿度 $p\%$ のとき，伝搬距離 $L(\text{km})$ における大気ガス吸収量 $\beta(\text{dB})$ は，特定の気温に対して，表2より，

$$\beta = (\alpha_{\text{dry}} + p \times \alpha_{\text{H}_2\text{O}}) \times L \quad (1)$$

で与えられる。ここに α_{dry} ， $\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$ はそれぞれ酸素ガス，水蒸気の吸収係数を示す。

3.2 降雨による減衰

マイクロ波，ミリ波帯における降雨による減衰は，周波数および降雨強度と共に増大するため，場所の違いによって大きく変化する。代表例として，我が国の年間降雨量の少い，中間，および極めて多い地点と考えられる札幌，東京および尾鷲における 50 GHz 帯降雨減衰の年間累積分布の時間率 1，0.1，0.01% に対応する値を表3に示す。

これら，(1)式の大気ガスによる減衰量と表3の降雨減衰量とから，50 GHz 帯通信回線の設計に必要なマージンの目安を得ることができる。大気伝搬特性を考慮して，50 GHz 帯無線システムを用いて画像やデータ信号を伝送するとき，1中継で可能な伝送距離は次のようになる。

表2 大気ガス吸収 $\alpha = \alpha_{\text{dry}} + \alpha_{\text{H}_2\text{O}}$ (dB/km)

周波数	0℃			10℃			20℃			30℃		
	α_{dry}	$\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$	α	α_{dry}	$\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$	α	α_{dry}	$\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$	α	α_{dry}	$\alpha_{\text{H}_2\text{O}}$	α
50 GHz	0.35	0.09	0.44	0.32	0.16	0.48	0.29	0.28	0.57	0.27	0.46	0.73
51 GHz	0.48	0.09	0.57	0.44	0.17	0.61	0.41	0.29	0.70	0.38	0.48	0.86
52 GHz	0.73	0.10	0.83	0.68	0.17	0.85	0.64	0.30	0.94	0.61	0.50	1.11

表3 50 GHz 帯降雨減衰 (dB)

場所	1 km			1.5 km			2 km			4 km		
	1	0.1	0.01	1	0.1	0.01	1	0.1	0.01	1	0.1	0.01
札幌	1.4	4.2	9.4	2.1	6.3	14.0	2.8	8.3	18.4	5.6	16.3	35.4
東京	1.8	6.6	17.2	2.6	9.8	25.5	3.5	13.0	33.6	7.0	25.4	65.2
尾鷲	4.5	13.4	29.9	6.7	19.9	44.2	8.9	26.3	58.3	17.7	51.5	112.3

3.3 伝送距離¹⁾

(1) FM 方式によるカラーテレビ伝送

装置性能の一例として表4の諸元を仮定し、表2の大気ガスによる吸収と表3の降雨減衰を考慮し、画像信号の S/N の規格を 30 dB 以上と規定すると、許容断時間率に対して、51 GHz における中継距離は図2となる。中継距離が長くなると、大気ガスによる減衰を無視できないが、許容断時間率 0.01% 程度の高信頼度の回線設計には、降雨減衰の影響のみ考慮すればよい。

許容断時間率 0.01% の回線の中継距離は、40 dB 程度の高利得アンテナ（直径 30 cm パラボラ）を用いると 1~3 km、22 dB 程度の低利得アンテナ（3.6×3.0 cm ホーン）を用いると 0.3~0.6 km である。

(2) デジタルデータ伝送

小容量（1.5 Mb/s、電話換算 24 チャンネル）および中容量（6.3 Mb/s、電話換算 96 チャンネル）のデジタル信号伝送システムについて、符号誤り率（BER）

表4 50 GHz 帯テレビ伝送システム諸元

送信電力	11.8 dBm
送信空中線利得	40.7 dB (高利得) / 22.5 dB (低利得)
受信空中線利得	40.7 dB (高利得) / 22.5 dB (低利得)
雑音指数	14 dB
最大周波数偏差	8 MHz $f_{p-p} \times 0.7$
最高変調周波数	4 MHz

図2 50 GHz 帯中継距離と許容断時間率

上半分：高利得アンテナ（40.7 dB）、
下半分：低利得アンテナ（22.5 dB）、
a：札幌，b：東京，c：尾鷲、
点線：降雨減衰のみ、破線：降雨減衰＋酸素ガス吸収、
実線：降雨減衰＋酸素ガス吸収＋水蒸気吸収

を評価の基準として、中継距離と許容断時間率を求める。

変調方式として、2 相 PSK、2 値 FSK、2 値 ASK を想定し、BER=10⁻⁴、10⁻⁸ を評価の基準とす

表5 50 GHz 帯デジタル伝送システムの所要 C/N
B=受信機の通過帯域幅 (MHz),
1/T=クロック周波数 (MHz)

変調方式	伝送容量 (Mb/s)	BT	所要 C/N (dB)	
			BER=10 ⁻⁴	BER=10 ⁻⁸
2 相 PSK	1.5/6.3	1.2	14	17
2 値 FSK			17	21
2 値 ASK			20	24

(a) 小容量の場合

(b) 中容量の場合

図3 50 GHz 帯デジタル信号伝送における中継距離と許容断時間率

上半分：高利得アンテナ，下半分：低利得アンテナ，a：札幌，b：東京，c：尾鷲、
点線：2 相 PSK，破線：2 値 FSK，実線：2 値 ASK

る。各変調方式に対して、基準の BER を達成するために必要な C/N の理論値を表 5 に示す。なお、これには固定劣化 5 dB を見込んでいる。送信電力、送受空中線利得などは表 4 の値を、降雨減衰の値は表 3 の値を、大気ガスによる減衰(湿度 100%)は表 2 の値を考慮して計算した中継距離と許容断時間率との関係を図 3(a), (b) に示す。

許容断時間率 0.01% の中継距離は、小/中容量の場合に対して、我が国では 1.5~4 km/1~3 km (高利得アンテナ)、0.4~1 km/0.3~0.7 km (低利得アンテナ) である。変調方式によって中継可能な距離は多少異なるが、実際のシステム設計では、装置の実現性、回路構成の難易、装置価格などを考慮して変調方式を選定する必要がある。

以上は、天候にかかわらず年間を通じて運用する場合についての検討であるが、晴天時のみ運用する場合は 10~20 km 程度の伝送が可能である。

4. 応 用 分 野

4.1 50 GHz 帯無線システムの特徴

- (1) 小さい比帯域で容易に広帯域信号を伝送できる。
- (2) ミリ波回路を含む主要回路の IC 化、低消費電力設計による電池駆動など、アンテナを含めた装置全体の小型化、軽量化によって、信頼性、可搬性の良好なシステムが得られる。
- (3) 小口径アンテナで鋭い指向性が得られる。これと偏波面の切換えを組合せると、干渉を受け難いシステムを形成することができ、同一/隣接地域における周波数の再利用が容易である。
- (4) 降雨減衰が大きいため、信頼性を確保するには、伝搬距離を短くする必要がある。

これらの特徴と 2.3 節に示した 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局の使用範囲を考慮すると、本無線

図 4 50 GHz 帯の電波を使用する簡易無線局の使用例

表 6 50GHz帯画像音声信号伝送システム実験局の諸元

無線周波数	50.85GHz, 51.35GHz
伝送信号	画像：カラー1ch, 音声：1ch
変調	FM
送信機 出力電力 周波数安定度	+11dBm $\pm 2 \times 10^{-4}$ 以下
受信機 雑音指数 中間周波数 AGC 範囲	13dB 475MHz 40dB 以上
アンテナ 形状・寸法 利得	パラボラ 30cm ϕ , ホーン 3.6 $\times$ 3.0cm 40dB 22dB
消費電力	DC12V-15W
形状寸法	126 $\times$ 100 $\times$ 263mm 4組 (除アンテナ)
重量	17kg, 16kg
伝送距離 (信頼度)	2km (99.99%/年以下)

局は以下のような分野で使われると考えられる。

4.2 50GHz帯の電波を使用する簡易無線局の応用分野

(1) 固定間通信システム (図4(a), (b))

(a) 近距離の大容量信号伝送システム。LAN, OA, FA などはこの例である。

(b) 都市内ビル間、道路、河川など容易にケーブルを張れない場所におけるテレビ会議中継、多重電話、コンピューター信号伝送、高速FAX など。

(c) 金融機関、百貨店、スーパー、地域などの防犯システム。

(2) 移動・可搬通信システム (図4(c))

(a) 広報、宣伝、レジャー用のフィールドピックアップ (FPU)、コードレスカメラ、あるいは臨時回線・携帯無線電話など。

(b) クレーン、ロボットなどの信号伝送。

(c) 船舶陸上間通信

(d) 地下街、地下鉄、鉄道内、ビル内、エレベーター内外などにおける信号伝送。

表6に、電波研究所の50GHz帯画像・音声信号伝送実験局の諸元を示す²⁾。写真1は本実験局の副局装置で、太陽電池と蓄電池の組合せで約1ヵ月間の連続運転が可能である。写真2は、50GHz帯の電波を使用する簡易無線局の一例で、同所では光ケーブルと組合せて、研究棟間のデータ伝送実験を行っている。

5. む す び

50GHz帯の電波を使用する簡易無線局を中心とす

写真 1 50GHz帯画像音声信号伝送システム装置副局 (アンテナ、RF部と電源を示す)

写真 2 50GHz帯の電波を使用する簡易無線局の一例

る最近の話題について述べた。50GHz帯の周波数は、地上系の固定および移動通信のみならず、衛星地上間の上り通信回線、衛星間通信回線にも分配されている。仰角にもよるが衛星地上間通信においては、大気ガスや降雨の影響の生ずる大気層を通過する距離が地上系に比べて比較的短いので有利と考えられ、ミリ波通信衛星の研究が進められている。ちなみに50GHz帯の周波数は、これら通信のための他、近距離センサーや衛星からの地表のリモートセンシング、宇宙研究等のためにも分配されている。

(昭和59年4月4日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) “40GHz以上の電波利用の研究について(3)”, 郵政省電波研究所電波部 (Jan., 1983)
- 2) 古濱洋治: “50GHz帯電波利用の動向”, 信学技報, 83, 109, pp. 73-78 (Aug., 1983)