



26

無線通信を支える工学への誘い

東京工業大学大学院理工学研究科
電子物理工学専攻

松澤 昭 教授

このコーナーでは、私たちの社会や生活に身近な研究テーマをわかりやすく紹介する。第一線で活躍されている研究者の研究内容を中心に、学問の仕組みや今後の可能性などについて、インタビューする。

携帯電話や、無線LANでのインターネット通信をはじめ、GPS（全地球測位システム）、ETC（電子料金収受システム）など、現代社会では多くの無線通信技術が日常的に利用されています。こうした無線通信は電波に電気信号を乗せることで情報をやりとりしています。電波に寄せられる情報量は有限です。しかも無線通信の発展に伴って通信量は大幅な増加傾向にあり、使える電波の枠がかなり混雑してきました。そこで、これまでほとんど使われていない電波である、ミリ波を使った通信の研究が行われています。ミリ波を使えば、大容量の情報を高速に伝送^(注1)することができますが、実用化には技術的な制約も多いため、技術開発や新たな利用方法の提案が始まっています。

電波に音声や映像などの電気信号を乗せて情報を伝える無線通信

まず無線通信のしくみについて説明しましょう。無線通信とは、電波に、音声や映像などの電気信号を乗せて、離れた場所に情報を伝達する手段をいいます。まず一定の周波数の電波（搬送波）を発生させ、情報の送り手がその電波の振幅、周波数、位相などを規則的に変化させます。これを「変調」といいます。受け手は、変調された電波をもとの電波に戻す「復調」を行うことで、乗せられていた情報の内容を読み取ることができます。

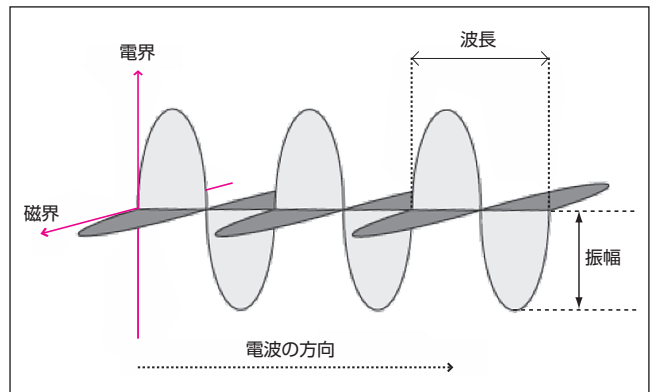
「振幅」は振動の大きさ（高さ）、「波長」とは1回分の振動の距離（長さ）を指します<図1>。また、この振動

スマートフォンなどの通信速度を 一気に速くすることができる 「ミリ波」を使った 無線通信の実用化をめざす

が1秒間に繰り返される回数が周波数^(注2)です。また、振動のある瞬間の状態のことを「位相」といいます。これらを変調によってコントロールすることで無線通信を行います。

無線通信は、船舶間の通信、ラジオやテレビ、携帯電話、インターネット通信、天文学の研究などさまざまな場面で用いられています。電波には、周波数が高いほど、多くの情報を送ることができるという特性があります。

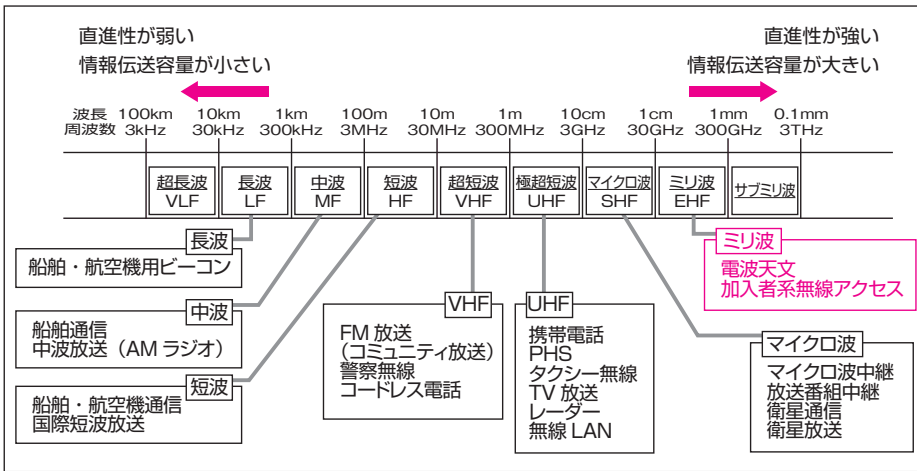
<図1>電波にかかわる用語



(注1) 伝送…情報やデータを一方の装置から他の装置へ移動させる際に、別の形式に変えて伝えること。

(注2) 周波数の単位は振動が1秒間に1回なら1Hz、1,000回なら1KHz、100万回なら1MHz、10億回なら1GHz。

<図2>周波数帯ごとの用途



(総務省ホームページより抜粋)

る可能性が高まってきたことも、ミリ波が注目されている要因です。ミリ波のように周波数の高い電波を使った無線通信は、変調や復調に関する技術的なハードルが一気に高くなるため、これまで無線通信の周波数帯としてほとんど使われてきませんでした。しかし集積回路の高性能化などの技術開発が近年急速に進んだことで、ようやくミリ波を無線通信に使える環境が整ってきたのです。

こうした特性などを鑑みて、用途によって、どの周波数帯を使って通信するかが電波法で定められています<図2>。

他の周波数帯の容量不足や、集積回路の技術発展に伴い実用化が期待されるミリ波

<図2>のように分けられる周波数帯のなかで、近年注目されているのが「ミリ波」です。ミリ波とは波長が1mm～10mm、つまり周波数が30～300GHzの電波のことを指します。

注目されているのは、ミリ波以外の周波数帯の電波の容量が不足し始め、代替りの通信手段が必要とされているからです。

ミリ波よりも周波数が低い電波は、放送や携帯電話などによく使われています。しかし、テレビ放送の多チャンネル化や、携帯電話や無線LANなどの急速な普及によって、それらの通信に使っている周波数帯に余裕がなくなってきました。特に携帯電話の約20倍もの情報量をやりとりするスマートフォンが急速に普及したこともあり、携帯電話やスマートフォンでよく使われている1～2GHzの周波数帯は、電波の容量が不足し始めています。災害時や元日の午前0時などに、多くの人が一斉に通信を行うと通信不能になったり、通信に時間がかかることがあります。電波の容量に対して通信量が多すぎるとこうしたトラブルが起きやすくなります。そのため、これまであまり通信に使われてこなかったミリ波に注目が集まっているのです。

また技術開発が進み、ミリ波を無線通信で実際に使え

**大容量のコンテンツを高速に伝送
他の周波数帯の容量を減らし、通信速度を上げる**

それではミリ波を使って通信を行うと、どのようなメリットがあるのでしょうか。電波は周波数が高いほど多くの情報を伝送することができます。そのため大量の情報を乗せられる電波を使えば、同じ情報量なら伝送にかかる時間を短くすることができます。つまり、現在、主に使われている無線通信用の周波数帯より高い周波数帯であるミリ波を使えば、大容量のデータを高速に送受信できます。

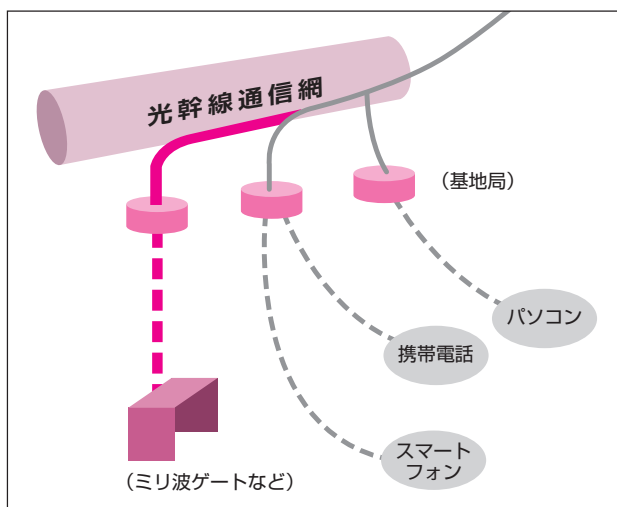
例えば1GBのデジタルコンテンツをダウンロードする場合、携帯電話では30分以上、無線LANで10分程度、家庭用の有線ケーブルで1分程度は必要ですが、ミリ波通信を使えば約3秒でダウンロードできます。一般的なDVDの映画は約4GBですから、約10秒で映画を丸ごと伝送できます。

現在の周波数帯での通信を、ミリ波通信に部分的に切り替えることで、こうした伝送速度の速さというメリットを享受できます。

現在、情報通信網の根幹は、大容量のデータ伝送に対応した有線ケーブルである光ファイバーのネットワークが担っています。スマートフォンなどで情報通信を行う場合は、光ファイバーにつながった最寄りの基地局から無線通信でデータをやりとりしています。この無線通信の速度が遅いことを不満に思うユーザーが多いのですが、大容量のデータ通信の場合は、現在利用している周波数帯での通信から、ミリ波通信に置き換えれば、通信速度



＜図3＞ミリ波通信活用のイメージ図



実線は有線で行う通信、点線は無線通信、
赤線はミリ波通信を活用した大容量のデータ通信
(松澤先生提供資料より河合塾で作成)

は速くなります。またこうした大容量のデータ通信をミリ波通信に移行することによって、現在利用している周波数帯の容量に余裕ができるので、引き続き現在の周波数帯で通信する、低容量の通信の速度も上げることができます＜図3＞。

世界最速の16Gbpsを達成する ミリ波通信用システムを開発

こうしたミリ波通信の実用化をめざして、私たちはミリ波通信に対応した送受信機の開発を行いました。

無線通信の送受信に使う集積回路には半導体が使われています。現在、一般に使われている半導体はCMOS（シーモス）と呼ばれる構造を持っていますが、従来のCMOS半導体では、ミリ波領域の高い周波数の電波（高周波）を処理することができませんでした。ところが、近年になって、CMOSの高性能化が進み、ミリ波領域の高周波特性^(注3)も格段に改善されてきました。そこで私たちの研究室では、こうしたCMOS半導体などを使って、ミリ波領域の中でも実用化の可能性の高い60GHz帯（57G～66GHzの周波数帯）を使ったミリ波通信のための送受信機を、ソニー株式会社と共同で開発することにしました。

しかし、課題がいくつもありました。例えば送信機に取り付ける発振器を、非常に精度の高いものにすることが必要です。通常発振器では信号を発振する際に、予期しない位相の変化が起きやすく、正しく電気信号を

乗せることができません。これに対しては、低い周波数の信号を使って高い周波数の発振信号の位相を固定するインジェクションロッキングという方法を使って解決しました。

これにより高周波の信号を、直接ベースバンド信号に変換するダイレクトコンバージョン方式を用いることができるようになりました。これまでは高周波に乗って届いた電気信号は、一度低い周波数の信号に変換してから更にベースバンド信号に変換してもとの情報を取り出す必要がありました。例えばこれまでは受信した60GHzの高周波の信号はベースバンド信号に変換する前に、一度20GHzの中間周波数の信号に変換してから、更に低いベースバンドの周波数の信号に変換していました。この構造では送受信機の部品点数や消費電力が増えてしまい、実用化に適さなかったのです。しかしインジェクションロッキングによってこの課題も解決できました。

このほかにも、通信エラーを回避するために、高周波特性を平坦にする技術を開発したり、60GHzで安定的に動作させるために、周辺の部品や回路に対して100GHzまでの高周波特性を測定して性能を調整したりしました。

ほかにもさまざまな課題を解決して完成したのが60GHz帯の電波の送信用チップと受信用チップのセット＜図4＞です。このチップセットは60GHz帯の4チャンネル^(注4)全ての送受信が可能な世界初のもので、実験では16Gbpsという世界最高速の通信速度も達成しています。

今後は温度変化の激しい環境や、衝撃が加わった際にも安定的に動作するかを確認する実験や、半導体を長期的に使えるような工夫をするなど、製品化を見据えた品質改善に取り組む予定です。

直進性が非常に強く、雨に弱いため 実用化には工夫が必要

このように大容量のコンテンツを高速に伝達できるミリ波通信ですが、デメリットもあります。一つは、電波の直進性が非常に強いことです。直進性が強いというのは、受信機と送信機のアンテナの向きをきちんと合わせなければ通信できないということを意味しています。現在、携帯電話を利用するときに、携帯電話のアンテナの向きを意識する人はほとんどいません。それは、携帯電話で使われている1～2GHz帯の電波は、多少の障害物なら回り込んで通信することができるからです。しかし、

(注3) 高周波特性…ミリ波など周波数が高い電波を使った通信で起きる現象。信号の漏れや損失、反射など。
(注4) IEEE (米国電気電子学会) の規格に合わせ、60GHz帯は多くの国で周波数によって4つのチャンネルに分けられ、いずれも無免許で使うことができる。世界共通で使える技術として各国で研究が進められている。

もし携帯電話でミリ波通信を行うとすれば、電波の飛んでくる方向に、正確に携帯電話のアンテナを合わせなければなりません。

これは現実的ではありませんから、携帯電話の電波がそのままミリ波に置き換わっていくことはあまり考えられません。しかし、例えばパソコンとデジタルカメラやプリンターなどの間

で行うデータ通信であれば、2つの機器の送受信機をきちんと合わせて通信すればよいため、携帯電話と違って直進性の強いミリ波での通信に変えてもユーザーの利便性を損なうことはありません。むしろ高速な大容量通信のメリットを生かせるはずで

す。もうひとつのデメリットは降雨に弱いことです。このため野外での利用に課題があります。霧雨程度であれば問題はありますが、強い雨の場合は電波が乱れて通信が遮断されてしまいます。ミリ波通信では、光ファイバーに匹敵する速度と容量を実現できますから、光ファイバーを敷設するのが困難な場所や災害時などに、無線でつないで通信経路を確保するという場合には非常に有効ですが、降雨に弱いという性質をカバーする技術が必要になるのです。

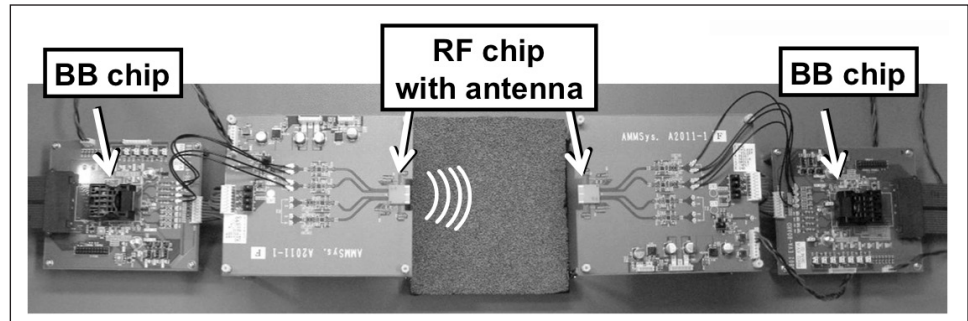
ネットワーク化で雨による通信断絶を予防 「ミリ波ゲート」など新たな利用モデルの提案も行う

私たちの研究室では、ミリ波のデメリットを回避しつつ、メリットを最大限に生かせるような利用方法の開発も行っています。

私たちが考えているのは、「ミリ波ゲート」です。例えば駅の入り口に設置して、そこを通過するだけで、瞬時に新聞や雑誌のデータを個々のスマートフォンに伝送したり、大学の入り口に設置して、通過するだけで講義資料を瞬時に学生の持つノートパソコンなどに伝送するシステムなどを想定しており、そうしたゲート用の送受信システムの研究も始めています。

また、ミリ波通信を屋外ネットワークに使うための実験も行っています。東京工業大学大岡山キャンパス内に

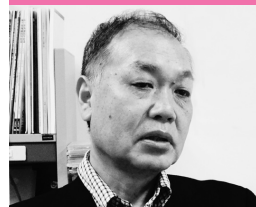
＜図4＞ 60GHz 帯の電波の送信用チップと受信用チップ



図はCMOSトランシーバー（送受信機）に搭載する、高周波部分を担当するRF（高周波）チップと、デジタルとアナログ変換回路を備えたBB（ベースバンド）チップのセット。BBチップで変調しRFチップを経て送られたデータを、アンテナを組み合わせたRFチップで受信し、BBチップで復調してデータを取り出すしくみになっている。（松澤先生提供）

10基のミリ波ステーションを設置し、最長1 km程度の中距離ネットワークを組むなどして、各種の性能試験を行っています。性能試験によって、さまざまな可能性が見えてきました。まず降雨への対策としては、通信が遮断されるような強い降雨は非常に局所的なので、1箇所が遮断されても、別のルートをたどって情報を伝達できるようなインターネットのようなネットワークを組むことで克服できると考えています。さらに、降雨による遮断という性質を逆にとり、ミリ波ネットワークの状態をリアルタイムに分析することで、現状では非常に困難とされているゲリラ豪雨^{（注5）}の瞬時検出もできるかもしれません。このように、ミリ波通信は大きな可能性を秘めています。通信技術の開発と合わせて、ミリ波の特性を生かした新たな利用モデルの提案も行いたいと考えています。

PROFILE



松澤 昭
（まつざわ・あきら）
東京工業大学大学院理工学研究科
電子物理工学専攻 教授

1952年秋田県生まれ。1978年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻を修了、松下電器産業に入社。2003年より現職。アナログ集積回路やA/D変換器の設計を専門とする。近年は総務省委託研究「電波資源拡大のための研究開発」などによるミリ波通信の実用化に向けた取り組みに加え、無線方式でストレスフリーに膀胱内圧の計測を行う医療用デバイス開発なども手がけている。

（注5）突発的に発生し、局地的に激しく降る雨。前線や低気圧、台風などに伴う集中豪雨に比べ、事前の降雨予想が難しい。