

Interview

電波と光の間の電磁波 「テラヘルツ帯」を開拓

Beyond 5G、さらにその先へ

テラヘルツ研究センター

マルコーニの無線電信の発明以来、電波応用技術は私たちの生活及び社会を大きく変えてきた。いかに大きな恩恵を受けているかは、誰もが持つスマートフォンを見ればわかる。スマートフォンに対しては、今年から5G（第5世代移動通信システム）のサービスが国内でも始まり、研究所レベルでは、Beyond 5G、さらにその先を見据えた開発計画が動きつつある。

そこで注目されるのが、ほとんど未開拓の周波数帯であるテラヘルツ帯だ。周波数にして100 GHzから10 THz。波長に換算すると3 mmから30 μm 。なぜこれほど高い周波数が必要なのか。そしてこれをどのように活用すべく研究並びに標準化が続けられているのか。テラヘルツ研究センターの竇迫巖センター長と標準化を進めた同研究センターの小川博世氏に話を聞いた。

■テラヘルツ帯が注目される理由

——テラヘルツ帯の開発の現状はどのようなものなのでしょうか。

竇迫 テラヘルツ帯は非常に周波数の高い電波で、その帯域の低い方の数100 GHz帯は将来の無線通信に非常に有効であろうということで、以前から研究開発を進めてきました。

NICTはもともと電波研究所だったということもあり、無線系の研究開発は得意でデータの蓄積もあります。これまでの電波利用・研究の歴史を見ると次第に周波数の高い電波を使うようになっており、現在はテラヘルツ帯に差し掛かったところですね。まさにこれから主流となっていく周波数帯で、電波研究のフロン

ティア的な分野と言えます。

——なぜテラヘルツ帯が必要なのでしょう。

竇迫 より高速・大容量の通信手段を得るためです。今年から日本でも5Gのサービスが始まりますが、これは4Gの10倍以上の10 Gbpsを超える伝送速度を持っています。これ以上は要らないという人は常にいますが、どんどんと高速・大容量化を目指していくのは人類の本能のようなものではないでしょうか。

高速になるに従って必要とされる周波数が高くなっていきます。現行の4Gで使っている最も高い周波数帯は3.6 GHz帯です。5Gでは28 GHz帯も使う。つまり現行の4Gから5Gになると10倍ほど高い周波数となっています。この流れで

竇迫 巖（ほうさこ いわお）〈左〉

テラヘルツ研究センター
研究センター長

大学院修了後、日本鋼管株式会社（現JFE）を経て、1996年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。以来、テラヘルツ帯半導体デバイス・各種応用システムの研究開発に従事。博士（理学）。

小川 博世（おがわ ひろよ）〈右〉

テラヘルツ研究センター

大学院修了後、日本電信電話公社（現NTT）を経て、1998年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。以来、ミリ波・テラヘルツ通信システムの研究開発及び標準化に従事。IEEE Life Fellow。博士（工学）。

いくと10年後の2030年には300 GHzくらいになるでしょう。まさにテラヘルツ帯が使われるようになるわけです。

そういう意味で、昨年11月、テラヘルツ帯の周波数特定ができたことは、いいタイミングだったと言えます。

■周波数特定完了

——テラヘルツ帯の周波数特定に尽力されたのが小川さんですね。

小川 国連の専門機関である国際電気通信連合（ITU）が定める無線通信規則（RR）というものが出版されており、我が国の周波数の分配もこの無線通信規則によって行われています。この改訂がほぼ4年ごとに世界無線通信会議（WRC）にお

Interview

電波と光の間の電磁波「テラヘルツ帯」を開拓

Beyond 5G、さらにその先へ

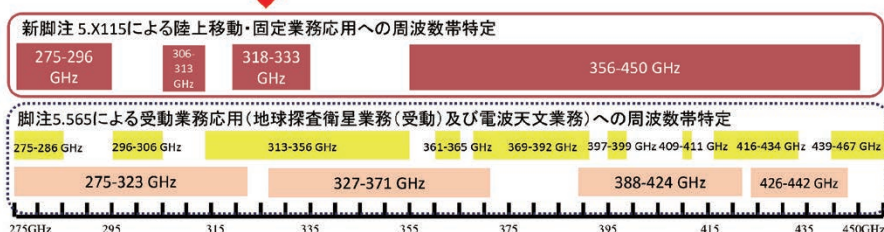
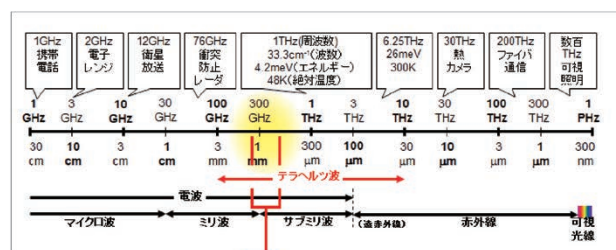


図 WRC-19周波数特定結果

いて行われています。ここで、技術の進歩及び社会的要求などに合わせて、周波数分配の見直しなどを行っています。

今回周波数特定が行われたのは「2019年世界無線通信会議（WRC-19）」ですが、それ以前は275 GHzより高い周波数は無線通信業務には分配されておらず、受動業務（受信専用の業務）である電波天文と地球探査衛星（受動）が使う周波数が書かれているくらいでした。

そこに今度は、無線通信に使える新たな周波数帯を特定する新しい脚注を無線通信規則に追加したわけです。

——テラヘルツ帯を活用するためには必要だったのですね。

小川 そうです。受動だけでなく能動業務への要望が高まってきたのです。近距離で大容量の通信を行うシステムへの要望と言えます。

そこで、ITU-Rで4年間各国の主管官庁と議論しながら最終的に4つのバンドを特定して無線通信規則に書くことができました。この4つのバンドは、275～296 GHz、306～313 GHz、318～333 GHz、356～450 GHzで、総帯域幅は137 GHzもあります（図）。

これはこれまでの移動体通信にはなかった広大な周波数帯です。周波数が特定されたことで、これからのワイヤレスビジネスに使えるようになりました。これは、テラヘルツ研究センターの大きな成果であると自負しています。

寶迫 今回のWRC19の結果を決めるに当たっては、国際的な取決めですから、世界の各国と調整しなければなりません。国ごとに電波の使い方が違うからです。今回も、まずアジアのリージョンをまとめてアジアの提案としてWRCに出し、それを世界各国の代表が集まるWRCの本会議で議論して決めます。今回も2015年2月に議題が決まってから、特定されたのが2019年11月ですから、4年以上かかりました。アジアの会議の前には、もちろん国内での検討もあります。受動業務を行っている国立天文台やJAXA（宇宙航空研究開発機構）とも協議を重ねました。

——周波数が特定されると何が変わるのでしょうか？

小川 この新しい帯域をどのように使うかはこれからの課題ですが、主に移動体

通信システムや固定通信システムが使うようになるでしょう。

寶迫 そのとおりで、無線通信では今回の周波数特定で使えるようになりましたから、企業の方も新しい事業に向けての投資がしやすくなったと言えます。

■外部との連携は

小川 今回の周波数特定にあたっては、私が副会長をしているテラヘルツシステム応用推進協議会の役割が大きかったと言えます。この協議会にはメーカーの方も参加していただいておりますので、テラヘルツを運用する場合の周波数特性・伝播特性などの技術運用特性のデータをITU-Rに出すことができました。

——大学や学会との連携は？

寶迫 電子情報通信学会には、テラヘルツ応用システム研究会があります。そこにNICTからも研究者を送り出して研究を行っています。また、応用物理学会には、テラヘルツ電磁波研究会があって、そこでも連携しています。このほか、テラヘルツテクノロジーフォーラムという技術交流組織もありアクティブに連携活動を行っています。

例えば、無線通信ではチャンネルモデリングという電波の伝搬モデルを持っていることが重要です。先ほども申しあげましたが、NICTの前身は電波研究所でしたからこの分野は強く、ミリ波までのチャンネルモデルを持っています。

テラヘルツの電波は波長が極めて短い電波なので、伝搬状況は物体や人の移動によって微妙に変化するため非常に多くの経路を取ります。そのためチャンネルモデリングが複雑になります。

ですから、このデータをたくさん取ら

なければ実際の運用につなげていけないのです。

■Beyond 5Gへの対応

——次世代の通信規格となるBeyond 5Gはまさにテラヘルツの利用が現実になるのですね。

竇迫 Beyond 5Gは2030年頃のスタートを想定しており、今は世界中で様々なアイデアが提案されているところです。NICTとしては本年度が第4期中長期計画の最終年度なので、次の第5期中長期計画に向けてBeyond 5Gをどのように攻めるかを検討しているところです。

Beyond 5Gの特長としてよく言われているのは、大容量・低遅延・多接続を更に発展させることに加えて、AIを活用しネットワークスライシング（ネットワークを仮想的に分割して効率的に運用する）を行うなど、効率的・低消費電力のクールなネットワークというイメージでしょう。さらに、ドローン・成層圏プラットフォーム・GNSS（全球測位衛星システム）、コネクテッドカー・IoTなどと立体的なネットワークが構成されるでしょう。我々は、ここにテラヘルツの電波が活躍できる場があると考えています。

Beyond 5Gのテラヘルツ技術については、NICTが全力を挙げて協力することになると思います。NICTならではの最先端技術も活かしていきたいと考えています。例えば端末に小型の原子時計を内蔵させるというものです。今NICTでは

原子時計をチップ化する研究を行っています。また、原子時計よりも更に高精度なマイクロオントラップの研究も行っています。デバイスどうしが原子時計レベルの精度で時刻の同期が取れるようになりますから、通信を確立するときに同期を取る作業が省略でき、その分高速化できます。

また、究極のセキュリティとされる量子暗号があります。通常は光子が使われますが、光子を使わない物理レイヤー暗号というものも研究しています。この物理レイヤー暗号で、地上・衛星・衛星間・航空機等をネットワークしようと考えています。

これはまだかなり先の話ですが、2040年あたりに始まる次々世代通信規格には間に合うかもしれません。

■テラヘルツ帯利用のイメージセンシング

竇迫 テラヘルツ帯は通信以外にも空港のパッシンジャースキャナなどセンシングにも役立っています。これはテロ対策として非常に注目されている分野です。

今テラヘルツ帯の一部を含むWバンド（75～110 GHz）でできないかと検討を始めています。テラヘルツ帯より若干低い周波数帯を使いますが、これは周波数が高すぎると衣服をうまく透過しなかったり、空間分解能が高いためプライバシーの問題になったりするからです。そこで、我々は、Wバンドの活用によりプライバシー問題を避けつつ、AIを

利用して判定度を上げることを考えています。

■今後の展望

小川 今度のテラヘルツ帯の周波数特定によって、5Gが2019年世界無線通信会議で獲得した総帯域幅17.25 GHzの約8倍という広大な帯域が確保できましたので、20年先まではとりあえず安心だと思います。しかし、20年後にはまた137 GHzでは足りない、と言う声が出てくるかもしれませんね。

竇迫 そうなってくれた方が面白いです。5Gでは日本勢は少し出遅れましたが、Beyond 5Gでは全力でフォーカスしていきたいと考えています。NICTには関連する幅広い分野の基礎研究・応用研究及びデータの蓄積があります。日本の次世代・次々世代の通信技術のけん引役として頑張っていきたいと思っています。

また、標準化の仕事に際してはたくさんの方々のご助力を頂きました。NICT内部でもイノベーション推進部門標準化推進室の協力を得ましたし、テラヘルツシステム推進協議会と総務省の担当部署には多くのご支援を頂きました。このような蓄積と助力を糧として力強く研究開発にまい進していきたいと考えています。

ITU : International Telecommunication Union
ITR : International Telecommunication Regulations
WRC : World Radiocommunication Conference
ITU-R : ITU Radiocommunication Sector

2019年世界無線通信会議(WRC-19)での総帯域幅137 GHzの周波数特定に貢献

テラヘルツ研究センターでは、275 GHz以上の周波数を用いたテラヘルツ無線通信基盤技術の研究開発結果に基づき、2015年のWRC-15において、275-450 GHzの周波数範囲内で移動業務及び固定業務

アプリケーションの周波数帯を特定するWRC-19議題1.15の提案を行い、同議題の成立に貢献しました。

その後、2016年から2019年までに開催された関連作業部会において、テラヘル

ツシステム応用推進協議会参加企業と連携してテラヘルツ無線システムの技術運用特性、受動業務との共用両立性検討結果をWRC-19議題1.15の研究に反映させました。さらにそれらの結果を、2019年10月28日から11月22日に開催されたWRC-19で入力し、同会議で行われた無線通信規則の275 GHz以上の周波数分配表の改定に貢献しました（図参照）。