

NICT NEWS

国立研究開発法人
情報通信研究機構

No.3

2020

通巻 481

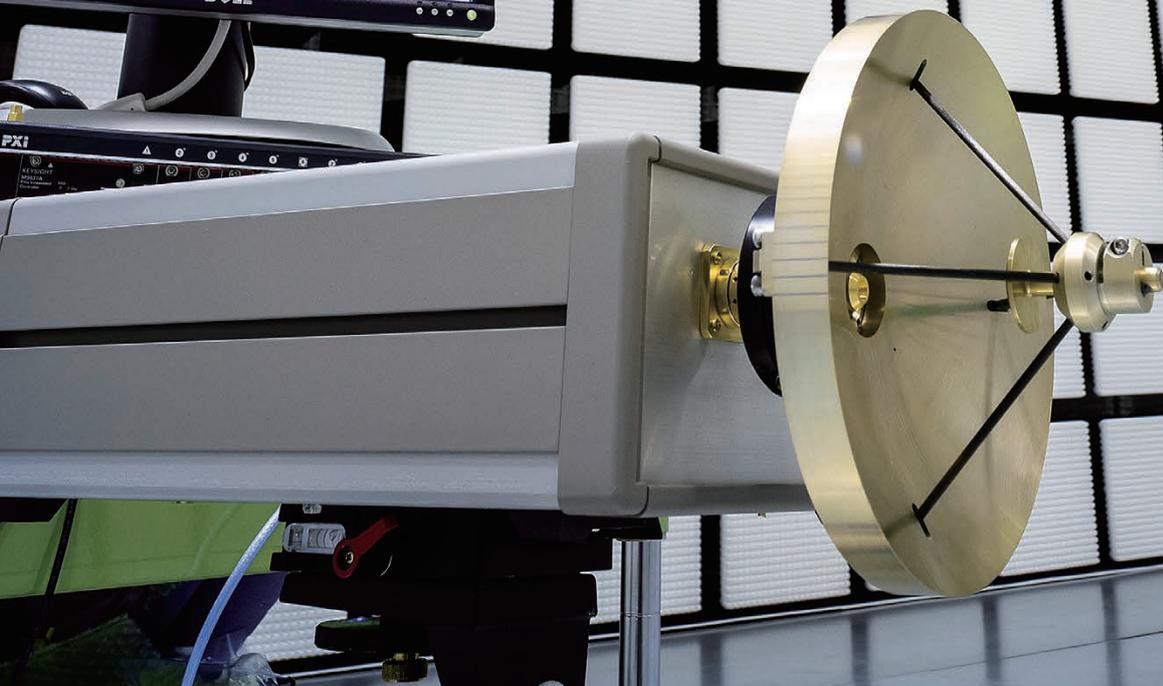
FEATURE

テラヘルツによる オープンイノベーションに向けて —宇宙から通信と幅広い応用範囲に期待—

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

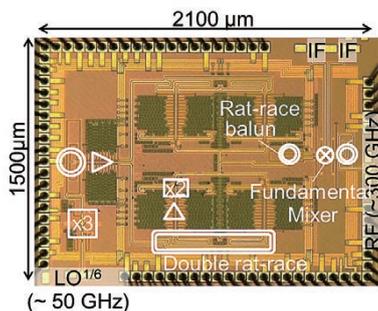


FEATURE

テラヘルツによるオープンイノベーションに向けて —宇宙から通信と幅広い応用範囲に期待—

Interview

- 1 **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
竇迫 巖／小川 博世
- 4 **テラヘルツ無線テストベッドに向けた基盤技術**
Beyond 5G時代の無線システムの実現を目指して
菅野 敦史／諸橋 功／関根 徳彦
- 6 **テラヘルツ波の計測標準技術**
藤井 勝巳／熊谷 基弘
- 8 **テラヘルツ帯における高感度分光技術の開発**
超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサによるテラヘルツ波スペクトル検出
入交 芳久／川上 彰
- 10 **テラヘルツ波を用いた宇宙からの地球惑星リモートセンシング観測**
笠井 康子／山田 崇貴



表紙写真：300 GHzテラヘルツ送信機
NICTでは300 GHz帯テラヘルツ波の送信機及び受信機の開発を行っています。NICTにある大型電波暗室で、その送受信機の評価と送受信機を対向させた10 m以上の無線信号伝送の評価を行っています。

左上写真：受信機回路チップ
普及に適したシリコンCMOSによって作製した300 GHz帯無線受信回路のチップ写真。同チップを利用した性能試験でテラヘルツ波帯での高速無線通信を実証しました。

© 2020 IEEE. Reprinted, with permission, from IEEE Proceedings.

TOPICS

- 12 **国際展開のためのオープン・イノベーション・プラットフォーム構築**
～ASEAN IVOによる東南アジア研究機関とのICT連携推進～
江本 浩
- 13 **NICTのチャレンジャー File 10** 原 紳介
シリコンCMOS集積回路で実現するテラヘルツ波無線通信

INFORMATION

- 14 **先端ICTデバイスラボ（研究施設等の外部利用制度）のご紹介**
- 14 **移転可能な技術例**

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 μ m。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寶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。

寶迫 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るところです。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。

寶迫 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はいますが、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

寶迫 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

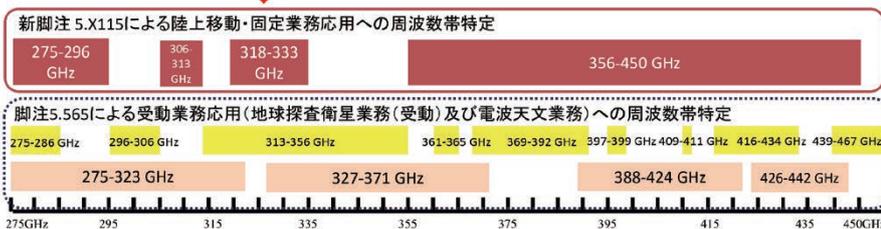
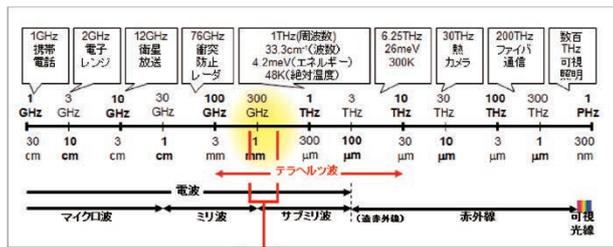


図 WRC-19周波数特定結果

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。

寶迫 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イオントラップの研究も行っていきます。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

寶迫 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。

寶迫 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

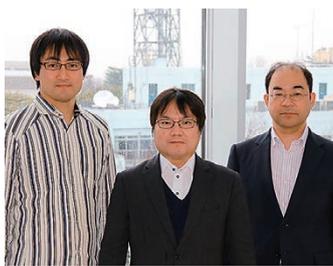
アプリケーションの周波数帯を特定するWRC-19議題1.15の提案を行い、同議題の成立に貢献しました。

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）。

テラヘルツ無線テストベッドに向けた基盤技術

Beyond 5G時代の無線システムの実現を目指して



左から、諸橋功、菅野敦史、関根徳彦

菅野 敦史

(かんの あつし)

経営企画部企画戦略室
プランニングマネージャー

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
研究マネージャー

大学院修了後、大学非常勤職員勤務を経て2006年NICT入所。超高速光変調、光ファイバ無線、マイクロ波フォトニクスに関する研究などに従事。博士（理学）。

諸橋 功

(もろはし いさお)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、JST研究員を経て、2007年NICT入所。テラヘルツ計測システムなどに関する研究に従事。博士（工学）。

関根 徳彦

(せきね のりひこ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
室長

大学院修了後、企業勤務・大学職員を経て2005年NICT入所。半導体量子ナノ構造のテラヘルツ領域における物性とデバイス応用に関する研究などに従事。博士（工学）。

Beyond 5Gではミリ波よりも更に高周波なテラヘルツ波の利用が検討されています。高周波化による伝送速度の高速化のみならず、位置などの計測精度の向上、狭ビーム化によるセキュリティ向上も期待されます。NICTではテラヘルツ波の通信・計測利用のためのテストベッドプラットフォームの開発を進めてきました。ここでは、テラヘルツ無線のための送受信システム評価技術と、Beyond 5G以降の無線システムへ向けた信号発生技術について紹介します。

■テラヘルツ送受信基盤の創出に向けて

5Gモバイル無線サービスの開始に伴い、無線システムが利用している電波の周波数が従来のマイクロ波帯からミリ波帯へ移行が進みつつあります。高周波化により利用できる周波数帯域幅が広がり、毎秒10ギガビットを超える通信速度の実現が可能になります。より周波数の高いテラヘルツ波を利用することで、通信速度の更なる向上が期待されます。そのため、高周波の無線信号を送受信する技術の開発が急ピッチで進んでいます。その開発に並行して研究開発中の送受信機の評価はもとより、周波数の高い

テラヘルツ無線システムそのものが利用可能か否かを検証する必要があるため、NICTではテラヘルツ無線システムを実験的に検証するためのテラヘルツテストベッド基盤技術の研究開発を進めてきました（図1）。本稿では、テストベッド技術の概要と更なる高周波化に向けた取組について紹介します。

■テストベッド基盤技術の開発

テラヘルツ波は利用可能な周波数帯域幅がマイクロ波に比べ10倍以上広いいため、従来活用できていた送受信部や信号処理技術がそのままでは利用できません。また、無線信号の伝搬損失は、周波数の自乗に比例して大きくなるため、増幅器やアンテナなども新規設計・開発する必要があります。そのため、NICTでは広帯域な信号を送信・受信するための基盤技術を開発しています。様々な周波数帯の信号にも対応可能とするため、光技術を利用したテラヘルツ信号発生を行い、毎秒100ギガビットを超える送受信を実現する最先端光ファイバ通信技術と組み合わせることで、テラヘルツ無線信号送受信基盤技術を開発しています。テラヘルツ波においても高い周波数安定度

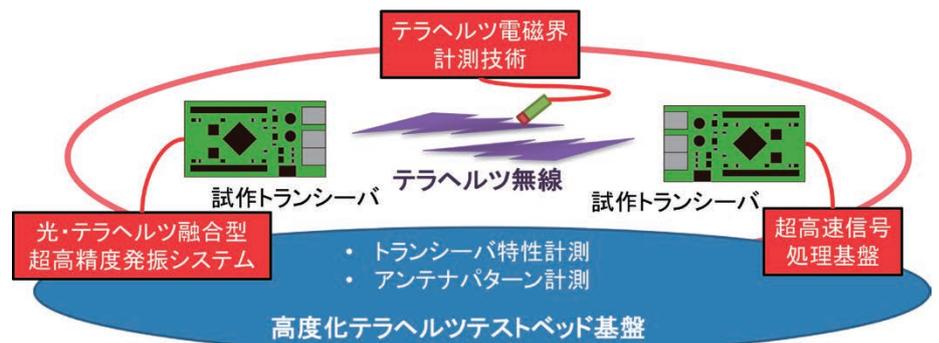


図1 テラヘルツテストベッドプラットフォームの概略

を実現するため、光周波数コム技術によるテラヘルツ波発生技術を開発し、ファイバ通信技術と最新無線通信技術を組み合わせた光ファイバ無線技術により300 GHz帯での毎秒50ギガビットを超える信号送受信や、600 GHz帯での無線伝送などを実現しました(図2)。また、ビーム幅の狭い無線信号とすることで、伝送損失の低下を抑え効率的な信号の送受信を行うだけでなく、不要な場所へ無線信号を漏洩させない技術も併せて開発しています。光技術を基盤とするテストベッドプラットフォームを活用することで、将来利用が予定されている300 GHz帯無線システムの開発・評価に役立つだけでなく、更なる高周波化・広帯域化を行う極限技術の研究も進めています。

■ 極限の電波の利用を目指す

電波法において電波は3 THzが上限と定義されています。2 THzから3 THzの超高周波領域では、信号の発生及び検出そのものが難しく電波天文や分光計測などの限られた用途でしか用いられていません。大気吸収のベースラインは100 dB/km程度と非常に大きく、かつ、分子運動に起因するシャープな吸収線も多数存在しますが、100 GHz幅程度であれば比較的損失の少ない「窓」もいくつか存在しています。つまり、近距離で

あれば超高速・大容量通信に利用できる可能性があります。NICTでは、テラヘルツ帯半導体レーザーや超伝導検出器等の独自技術の研究を行っています。これらを組み合わせることにより、2 THzを超える極限の電波を利用した無線通信技術が可能になります。

図3に示す開発中のテラヘルツ通信システムは、送信システムに光技術をベースとしたものを用い、受信システムに超伝導電子回路を用いています。送信システムは光周波数コム技術を基にしたテラヘルツ信号発生法を用いており、光周波数コムから抽出したテラヘルツ周波数分離した2成分の信号をデータ変調して単一走行キャリアフォトダイオード(UTC-PD)に入力することにより、テラヘルツ波変調信号を発生させています。この方法は、テラヘルツ波の周波数に関して高い安定性と柔軟性を持たせることが可能です。

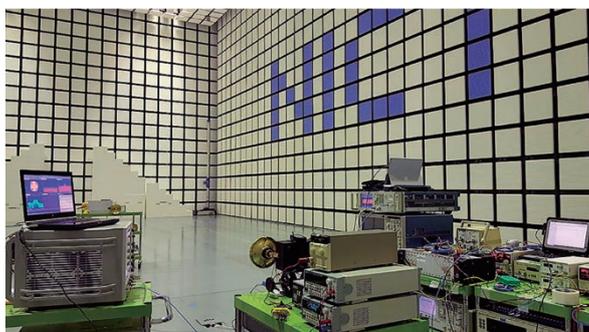
受信システムには、高感度ホットエレクトロンボロメーターミキサ(HEBM)によるヘテロダイン方式を用いています(本号pp.8-9参照)。局部発振器(LO)としてテラヘルツ量子カスケードレーザー(THz-QCL)を用いています。安定的な通信の実現のため、THz帯位同期ループ(PLL)回路を開発しました。THz-QCLからのテラヘルツ波を超格子ミキサ(SLM)で受信し、マイクロ波

基準信号との比較で得られたエラー信号をフィードバックすることにより、数MHz程度の発振線幅を1 Hz以下へ安定化を実現しました(本号pp.6-7参照)。

送信システムから送信されたテラヘルツ変調信号をHEBMで受信し、周波数安定化されたTHz-QCLとのミキシングによりマイクロ波帯に変換された信号をベクトル信号解析システム(VSA)で復調処理を行うようことにより、数THzの極限周波数であっても、従来無線通信に近い環境で無線システムの検証が可能となります。

■ 今後の展望

電波利用の主役がマイクロ波からミリ波へ移行が進むにつれ、通信やレーダー、位置計測を更に高度化できるテラヘルツ無線システムへの要求も高まります。サービス実現性の検討には、テラヘルツ無線技術を「試して」「評価し」「フィードバックする」ためのテストベッドプラットフォームが必要不可欠です。光技術を基盤とするテストベッド基盤技術の開発が、電波の枠を超えるテラヘルツ無線システムの検証までも可能にしました。今後、新しいテラヘルツシステムの検証にテストベッド基盤技術が活用されることが期待されます。



試作した狭ビームアンテナ 10 Gbit/s受信信号星座図

図2 光・テラヘルツ融合基盤技術による高速テラヘルツ通信試験の様子

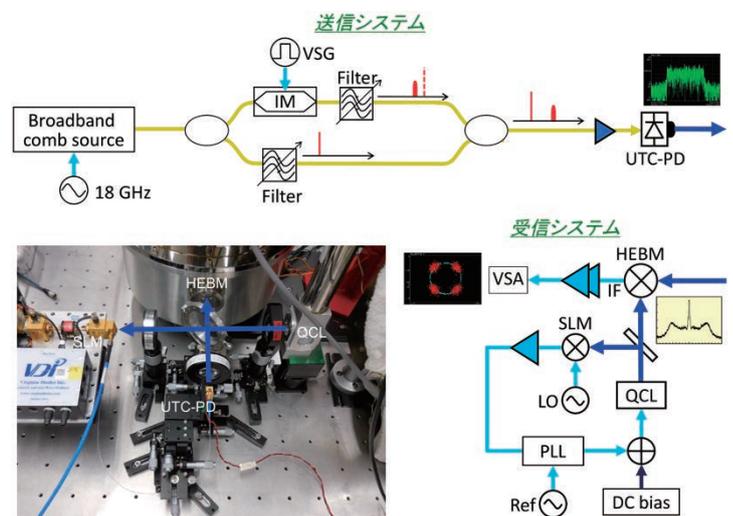


図3 極限周波数テラヘルツ送受信システムの概略

テラヘルツ波の計測標準技術



藤井 勝巳

(ふじいかつみ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、2001年東北大・電気通信研究所・助手。2006年NICT入所。無線用測定器等の較正に関する研究及びサービス、電磁環境に関する研究に従事。博士（工学）。



熊谷 基弘

(くまがいもとひろ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、2000年独立行政法人通信総合研究所（現NICT）入所。原子泉型一次周波数標準器開発や光ファイバ経由での基準周波数伝送に関する研究に従事。博士（理学）。

テ ラヘルツ波を使った通信やセンシングの実用化が進むと、電波の強さや周波数を、正確に計測する必要があります。NICTでは、電波の強さや周波数に対して、正確な目盛りを与える、テラヘルツ波を計測するための研究開発を行っています。

■ NICTがテラヘルツ波を計測するワケ

NICTでは、70年にわたって、我が国で無線免許を受けるために必要な試験や検査に使う測定器について、NICTが維持管理する標準器との関係を明らかにする「較正サービス」（有償）を行っています。中でも、電波の特徴を決める基本となる量である「高周波電力計」と「周波数標準器」の較正は、最も注力しているサービスです。テラヘルツ波が広く利用される時代を見越して、テラヘルツ波の『電波の強さ（高周波電力）』を高精度に計測する技術、『周波数』を高精度に発生させるための技術についての研究開発を進めています*。

■ 電波の強さを計測する技術

無線機からアンテナに供給される電波の強さを計測するためには、高周波電力計を使います。2007年から行っている0.11 THz（110 GHz）までの高周波電力計較正サービスに続いて、2011年からは産業技術総合研究所と共同で、テラヘルツ波のための高周波電力の基準値を与えることができるカロリメータと呼ばれる装置の研究開発を開始しました。また、お客様からお預かりした高周波電力計を較正し、正確な値を利用していた

だくため較正サービスに関する研究開発も、併せて開始しました。

現在までに図1に示すような電力計較正装置を開発し、0.33 THz（330 GHz）までの高周波電力計を較正するサービスを行っています。電波利用技術の発展に合わせて、低い周波数帯から高い周波数帯へと、較正サービスの周波数範囲を拡張しています。まだ、テラヘルツ帯の入口ではありますが、これまで拠り所となる値が何もなくあったテラヘルツ帯に、ようやく、電波の強さの基準値となる『一里塚』を立てることができました。

今後、正しい目盛りが与えられた電力計を使えば、テラヘルツ波の強さは、数値を使って表現できます。例えば、研究論文で「今回開発した発生装置は、従来よりも強い電波を発射できるようになった」という定性的な表現は、「今回開発した発生装置は、従来の28%増となる0.484 mW ± 0.041 mWの電波を発射できるようになった」と数値を加えた定量的な表現になるはずですが、これは、物差しで測った1 mが世界中どこでも1 mであり、離れた場所においてもお互いの長さを比べられるように、電波の強さも比べられるようになることを意味します。研究成果である発生装置を、同じ場所に持ち寄って比べ合う必要はなくなります。

ところで、高周波電力計は、導波管を伝わる電波の強さを測定します。空間を飛んでいる電波の強さを計測するためには、アンテナが必要です。アンテナは、空間に飛んでいる電波を、導波管を伝わる電波に変換し高周波電力計での測定を可能にする「変換装置」とみなすことができますが、このときの変換率が分から

なければなりません。そこで、我々は、様々なアンテナの基準となる標準ゲインホーンアンテナの較正や、障害物を検知するIoTセンサーへの利用が期待される円偏波ホーンアンテナの較正に関する研究開発も行っています（図2）。

■周波数を計測する技術

NICTは、前述の較正サービスを行うだけでなく、周波数の国家標準を定める公的機関であり、定義に基づいた周波数標準の供給を、業務の一つとして行っています。今後、実生活の様々な場面での利用が広がるであろうテラヘルツ領域においても、周波数資源を有効に活用するには、テラヘルツ波の周波数計測も、電波の強さの計測と同様、高精度に実施することが必要となります。ここでは、高精度な周波数計測を目的とした、光コムをベースとしたテラヘルツ波周波数計測と、テラヘルツ基準周波数発生とその計測応用について紹介します。

光コムは、発振モードの周波数間隔が

一定の超短パルスレーザであり、光の周波数の高精度計測でも活躍しています。この光コムと光伝導アンテナを組み合わせたテラヘルツ波の周波数計測システム（図3）は、ある条件下のテラヘルツ波に対して、我々が有する周波数国家標準と同レベルの精度で絶対周波数計測が可能であることが確認できました。また、光ファイバの非線形効果により光コムから取り出した2つの発振モードの光ミキシングによりテラヘルツ波を発生させる方法でも、周波数国家標準と同じ精度の基準信号を任意のテラヘルツ周波数で発生させることができます。超伝導体の周波数ミキサ（本号pp.8-9参照）と併用することで高感度の周波数計測が可能となり、図4にあるような光ファイバ接続先にある被測定テラヘルツ波（本号pp.4-5で紹介されている狭線幅化した3 THz量子カスケードレーザ）の周波数計測にも成功しています。

我々は、テラヘルツ波の絶対周波数計測以外にも、遠隔較正や周波数比較への応用が期待されるテラヘルツ基準周波数

伝送や、テラヘルツ帯における独立した周波数基準となり得る原子・分子の量子遷移を基準とした周波数標準器の開発など、多岐にわたるテラヘルツ周波数標準の研究を進めています。

■今後の展望

いよいよ5Gのサービスが始まり、Beyond 5Gに向けた次世代移動体通信システムの研究開発も開始されつつあります。近い将来、テラヘルツ波を使った、全く新しいサービスやアプリケーションが生まれることが予想されます。今後も、テラヘルツ波を利用するうえで基盤となる『電波の強さ』と『周波数』の精密計測技術に関して、世界の研究開発をリードするとともに、NICTの重要なミッションの一つである「較正サービス」を通じたテラヘルツ技術の社会展開を進めていきます。

*「高精度に発生できること」と「高精度に計測できること」は同義であり、どちらを高精度化するかは、物理量によって異なります。

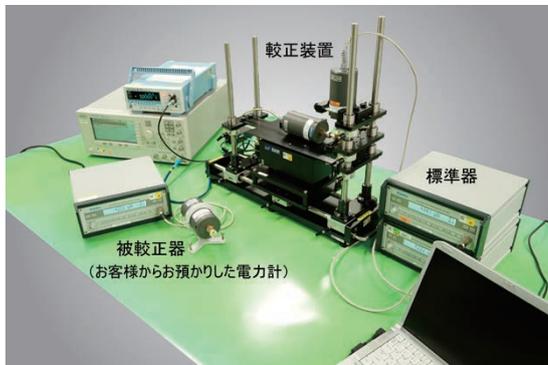


図1 高周波電力計較正装置
較正依頼者（お客様）からお預かりしたテラヘルツ波用の電力計を較正するための装置です。導波管の寸法に応じて装置を整備し、サービスを行っています。

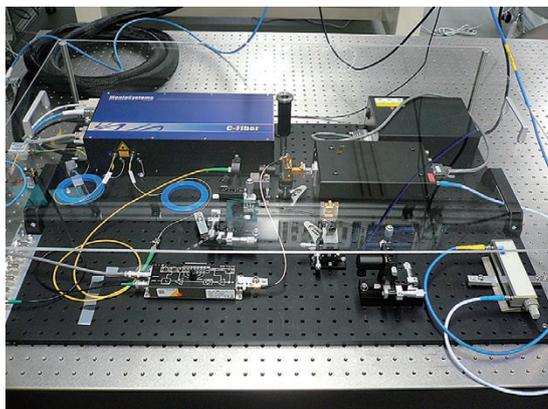


図3 光コムと光伝導アンテナを用いたテラヘルツ周波数計測システム

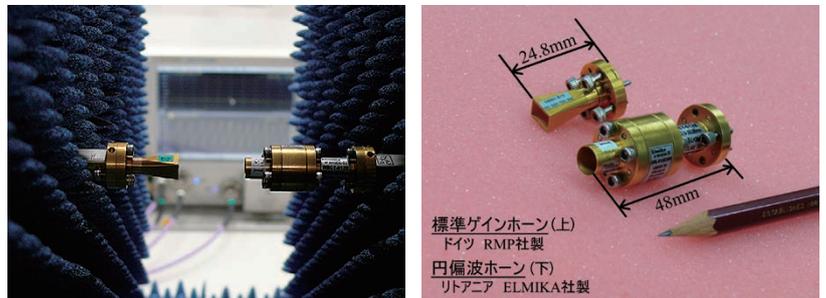


図2 アンテナの較正に関する研究
空間を伝わるテラヘルツ波の強さを測定するために必要なアンテナの動作利得を決定するための研究開発も行っています。

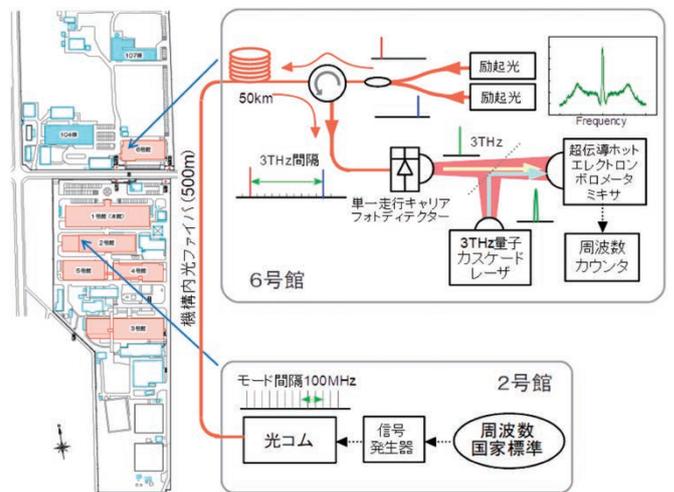


図4 NICT本部内光ファイバを利用したテラヘルツ基準周波数伝送と光ファイバ接続先の周波数計測応用

テラヘルツ帯における高感度分光技術の開発

超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサによるテラヘルツ波スペクトル検出



入交 芳久

(いりまじり よしひさ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、文部省国立天文台 野辺山太陽電波観測所研究員を経て、1993年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。テラヘルツ波受信機システム開発等に従事。博士（理学）。



川上 彰

(かわかみ あきら)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、1988年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所、1999年に博士号取得。超伝導高周波デバイスの研究に従事。博士（工学）。

テラヘルツ波とは、ミリ波の一部と遠赤外線を含む100 GHz～10 THzの周波数領域の電磁波を呼び、まだ十分な開発や利用が進んでいない未開拓周波数領域です。期待される応用としては、高速無線通信、非破壊検査、周波数標準、セキュリティ、医療、地球大気・天体観測などがあります。これらの応用のためには、基盤技術である発振・検出技術開発が重要となります。テラヘルツ波の中でも特に1 THzを超える周波数ではこれらの技術開発がまだ十分ではありません。本稿においては、テラヘルツ研究センターを通じた研究室連携によりデバイスから作製して開発した、2 THz帯高感度スペクトル検出器（ホットエレクトロンボロメータミキサ）を紹介します。

■テラヘルツ帯超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサ

超伝導ホットエレクトロンボロメータ

ミキサ（HEBM: Hot Electron Bolometer Mixer）は、アンテナの給電点に相当する位置の電極間に、長さ・幅共に数百nmで膜厚が5 nm未満の微小超伝導薄膜片（超伝導ストリップ）を配置した構造をしています（図1（a））。超伝導ストリップの超伝導-常伝導転移間で生じる強いインピーダンス非線形性を用いたミキサ素子で、このHEBMに電磁波を照射した場合、照射電力で超伝導ストリップ内の電子温度が上昇し、超伝導転移温度（ T_c ）を越えた温度領域において、超伝導ストリップ内の一部に常伝導領域（「ホットスポット」という。）が形成されます（図1（b））。照射電磁波として信号源（Sig）と共に局部発振源（LO）を照射した場合、その差周波（IF）信号成分のホットスポットサイズの変調が生じ、IF出力を獲得できます。HEBMの動作上限周波数はその構造・寸法にのみ制限を受け、数十THzまでのミキサ動作が可能です。

■磁性体を用いた新しいホットエレクトロンボロメータミキサ構造

通常ボロメータの微細化は、検出器の高感度化、IF帯域の広帯域化に有効です。しかしHEBMの微細化には解決すべき課題がありました。HEBM素子構造において、超伝導ストリップと両電極との間は、確実な電氣的接触を確保するために金属電極が超伝導ストリップ上にオーバーラップしています（図1（a）の重なり領域）。しかし、この重なり領域の超伝導ストリップは、通常ミキサ動作温度においても超伝導状態にあり、また金属下にあるため、電磁波照射による

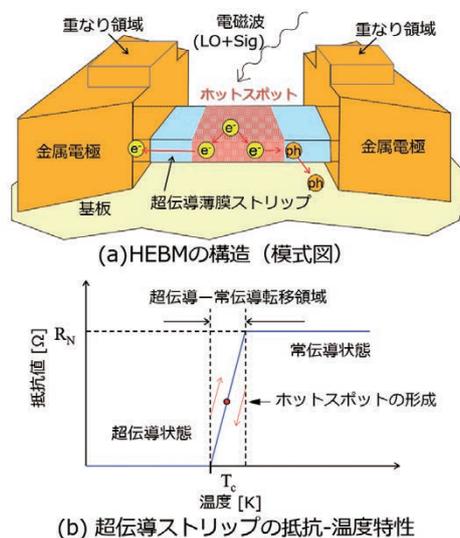


図1 HEBMの構造と動作概要

抑圧を直接受けないことから、この領域からの超伝導近接効果がホットスポット形成を抑制し、ミキサ感度の低下を招くことが予想されます。更に微細化を試みた場合、電極間での超伝導性の結合が促進され、逆にミキサ性能への悪影響も考えられます (図2 (a))。そこで我々は、超伝導-金属電極薄膜間に磁性材料であるニッケル (Ni) 薄膜を挿入することで電極下の超伝導性を抑圧し、電極間の超伝導ストリップにのみ超伝導性を残す、NICT独自の新たなHEBM構造 (Ni-HEBM) を提案しました (図2 (b))。既に膜厚0.6 nmの極薄Ni薄膜で、膜厚5 nmの窒化ニオブ (NbN) 超伝導薄膜の超伝導性を抑圧できることを確認しています。この構造によりHEBMの更なる微細化が可能となり、LO電力の低電力化、高感度化、IF帯域の広帯域化などミキサ性能の向上に有効であると考えています。

作製した2 THz帯Ni-HEBMのNbNストリップ長及び幅は各0.1 μm 、0.5 μm に設定しました。2 THzにおけるNi-HEBMは、入力光学系の損失を補正したミキサ雑音温度として $T_{rx}=570\text{ K}$ (DSB) が得られています。またIF帯域幅は、従

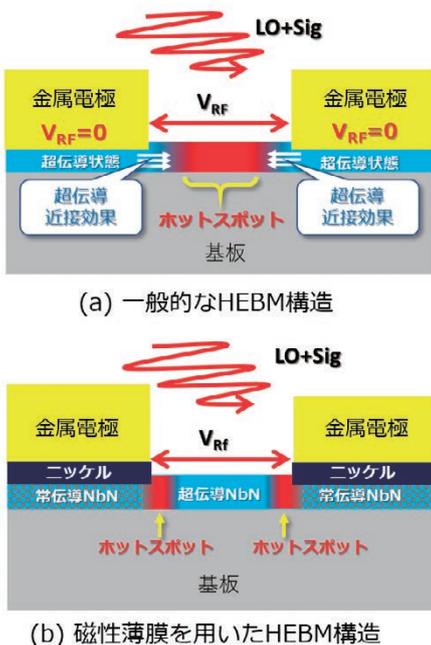


図2 従来型及び新しいHEBMの概略図

来構造のHEBMと比べ約3 GHz以上拡大した約6.9 GHzが得られ、Ni-HEBM構造による性能向上を確認しました (図3)。これらの結果 (特にIF帯域幅) は、これまで行われた測定とは異なり、実際の動作温度である4 K (一般的な極低温冷凍機で容易に実現可能) での結果であり、テラヘルツ帯HEBMの性能としては共に世界トップレベルの性能にあると考えています。

■テラヘルツ帯高感度ミキサの応用例

このデバイスを用いたテラヘルツ帯ミキサは、高感度、高周波数分解、実時間動作という特徴を持っており、テラヘルツ帯における汎用のスペクトラムアナライザとして様々な用途に用いることができます。我々はこの受信機を用いて、光コムと単一キャリアフォトダイオード (UTC-PD) から作られた数百 nW程度のTHz波スペクトル検出や、メタノール分子ガスからの放射電波スペクトルの高感度検出に成功しました。また、テラヘルツ波量子カスケードレーザ (THz-QCL: THz Quantum Cascade Laser) からのTHz波検出を行い、その信号を用いてTHz-QCLの位相ロックも実証しています。さらに、これらの技術を応用して2 THzを超える高周波での通信実験 (本

号pp.4-5参照) や、テラヘルツ波周波数標準 (本号pp.6-7参照) の開発も開始しています。

■今後の展望

これまで我々は、準光学型と呼ばれる平面アンテナを用いたHEBMの開発を行ってきました。よりきれいなビームパターンを持つ更に高性能なミキサとして、現在、台湾中央研究院天文及天文物理研究所との共同により、2 THz帯導波管型HEBMの開発に取り組んでいます。このミキサは幅55 μm 、長さ800 μm 、厚さ1 μm の窒化シリコンによる薄膜ブリッジの上に構成され、それを200 μm 厚のシリコン枠で支持する構造になっています。また導波管サイズ (断面) は130 $\mu\text{m} \times 65 \mu\text{m}$ (WR-0.51) と極小です。したがって、高精度な微細構造の作製や機械加工、高度な組立て技術などが要求されます。

このような受信機が気球や航空機などの飛行体、あるいは宇宙からの地球大気のリモートセンシング、電波天文観測などへの応用 (微量分子の高感度スペクトル計測) に向けて開発が行われること、または実際に応用されることでテラヘルツ波技術が成熟し、将来、他分野へも大きく波及していくことを期待しています。

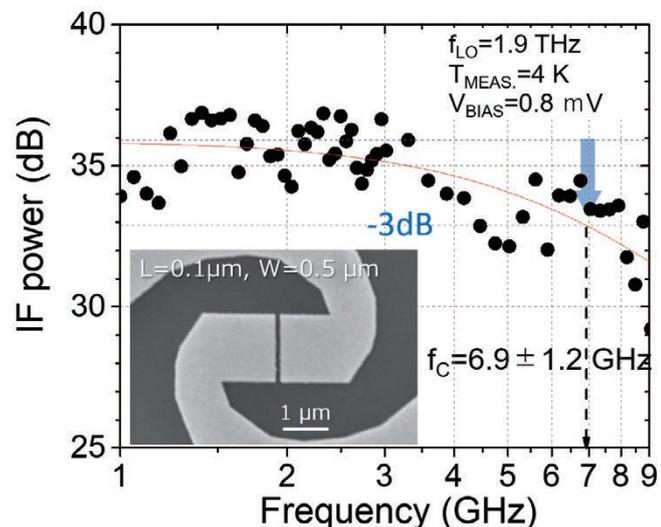


図3 Ni-HEBMのIF帯域評価結果

テラヘルツ波を用いた宇宙からの地球惑星リモートセンシング観測

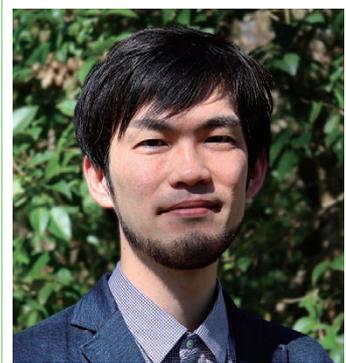


笠井 康子

(かさい やすこ)

テラヘルツ研究センター
上席研究員

1995年博士課程修了後、1999年郵政省通信総合研究所(CRL、現NICT)入所、テラヘルツ波リモートセンシングによる地球惑星観測に従事。博士(理学)。



山田 崇貴

(やまだ たかよし)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
研究員

2018年大学院博士課程修了。同年、NICTに入所。テラヘルツ波リモートセンシングによる地球惑星観測及び、放射伝達モデルの構築、小型軽量の衛星搭載のためのテラヘルツ波受信機開発に従事。博士(理学)。

リモートセンシングは、電磁波などを活用し、人間の手や目の届かないところを「観る」技術です。遠いところでは宇宙の果てに近いところ、また、物質を透過してその内部などを「観る」ことができます。これまでは光や電波を用いたセンシングが主流でしたが、近年、光と電波の中間周波数であるテラヘルツ波の利活用が進みつつあります。宇宙テラヘルツ波リモートセンシング利活用による新たな科学的発見や、新宇宙ビジネスへの展開について紹介します。

■背景

従来、衛星による宇宙からの地球リモートセンシング(リモセン)は「光学・赤外」若しくは「電波」による画像や分光観測などが主流を担っていました。それらに対し、電波と光の境界領域に相当するテラヘルツ(THz)電磁波が衛星観測の歴史に登場したのは比較的最近で、2002年のことでした。近年のTHz技術進化は著しく、高利得アンテナやハイパワー出力デバイスなどの新しい技術が

次々と開拓され、これらが宇宙リモセン技術にも応用されています。THz波は、「光」と「電波」の両者の性質が混在する特異的な特徴を有します。例えば、高空間解像度(光の特徴)かつ物質を透過(電波の特徴)するセンシング、数キロ級の超小型軽量のセンサ(高周波数の特徴)などを実現してきました。これらの技術革新により、例えば、地球環境観測においてはこれまで困難であった氷雲のサイズ分布推定、木星圏氷衛星ガニメデなどにおけるハビタビリティ探査のための大気分子同位体観測や地表面水含有率観測、月や火星など地球近傍宇宙においてエネルギー源として期待されている水資源の探査など、多岐にわたり、従来困難であった新たな物理量を測定するリモセン観測を実現しています。

■NICTにおけるテラヘルツリモートセンシング研究

図1にNICTにおける宇宙からのTHzリモセン観測開拓の進化を示します。地球環境の実態把握→木星圏の生命探査→



図1 NICTにおけるテラヘルツリモートセンシングの進化

地球近傍宇宙（月と火星）における水エネルギー探索と進んできました。

超伝導サブミリ波サウンダ（SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder）は、1998年より開発を開始、国際宇宙ステーション搭載の曝露部にある日本実験モジュールに搭載され2009年10月から2010年4月まで約7か月間の観測を行いました。地球環境診断のためのTHz電磁波利活用の開拓を目的としたNICTとJAXAの共同ミッションです。SMILESの特徴は0.6 THzにおける4K超伝導ミキサによる超高感度と確度の高い校正技術です。HTV補給機初号機による打上げ、地上でも前例のない0.6 THzの超伝導ミキサ・HEMT低ノイズアンプ・THz光学系・校正系開発、日本初のTHz宇宙センサ開発など、数々の前例や経験のなさの中での大いなる挑戦でした。その困難さに、欧米の研究者から「うまくいくわけがない」と言われたこともありましたが、結果として、SMILESは、米国NASAや欧州の従来の類似衛星と比較して約20倍もの世界一の分子検出感度を誇り、打上げ後10年度の今でも、そのユニークな信頼性の高いデータで、速報性が重要なレター誌に論文が掲載されています。

SMILESは地球大気中に超微量（大気分圧で1億分の1程度）に存在している短寿命で活性な「ラジカル分子HO₂」スペクトルを0.5秒単発直接測定でとらえることに成功しました。現在は温室効果ガスの放出により地球大気上端のH₂O、CO₂、CH₄などが増加し地球放射収支を変化させる可能性が指摘されていますが、HO₂ラジカルはこれらの物質の大気組成を変化させる酸化剤としての役割を

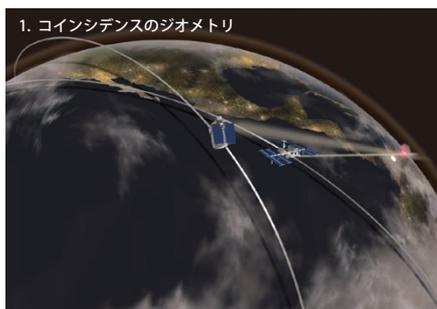


図2 SMILES、雷スプライト衛星、地上観測とのインシデントの実現とSMILES HO₂スペクトル強度

持ちます。我々は、HO₂単発での直接測定と、衛星による上空の雷スプライト観測や地上観測との時空間的なコインシデントを取り（図2-1）、それにより、雷スプライトにより新たにHO₂が生成されていることを証明し、さらに地球規模でHO₂濃度が増加していることを示唆しました（図2-2）。この論文は、現在地球環境が変動している中で新たな警告を鳴らしたという科学的な観点のほか、統計的データを用いて現象を扱うことが主流な既存のデータサイエンスに対して、統計には隠れてしまう“瞬間の現象”をとらえることで新たな知見を得るとい、これまでにない新たな科学の道筋を拓いたものです。

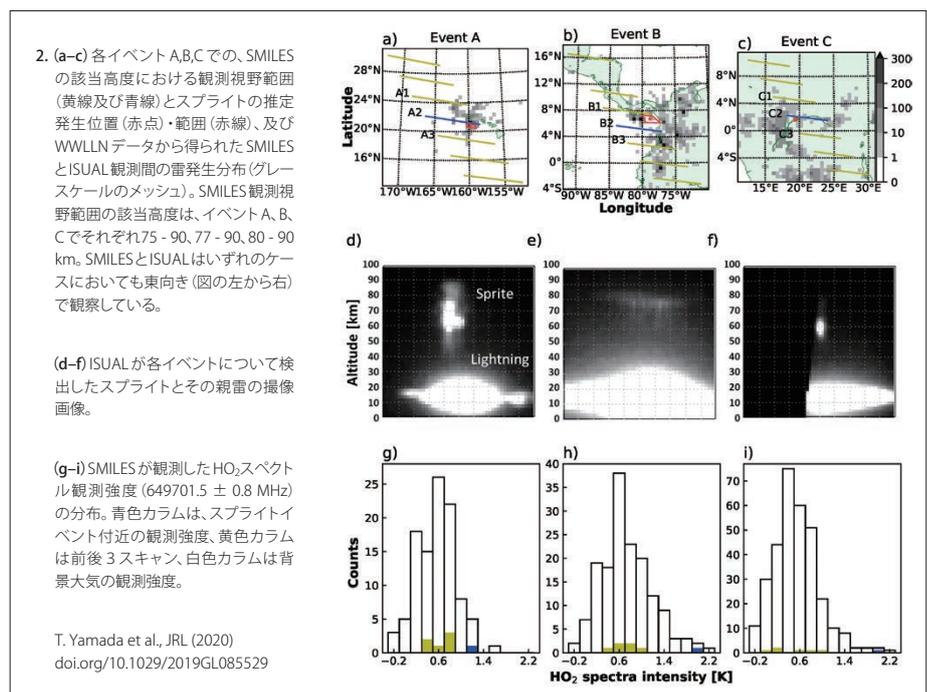
■今後の展望 地球近傍宇宙における水エネルギーの探索

第四次産業革命による地球規模の産業構造変革のパラダイムシフトの中で、宇宙を取り巻く産業構造もこの数年で激変しています。主たる産業が存在しない地球近傍宇宙は、新たな発想や技術等により既存の社会や経済等を劇的に変化させる破壊的イノベーションの場としての期待が大きく*、世界の宇宙産業は、地上から地球近傍宇宙までをシームレスに結

合した3次元宇宙（成層圏プラットフォーム・低軌道衛星・静止衛星・月など）を対象とした経済活動基盤インフラ整備に着手し始めています。

地球の産業や人類活動における石油に代わる地球近傍宇宙におけるエネルギー源は「水」です。水素と酸素に化学分解しロケット燃料や工場の駆動力等に用いることが期待されています。全ての電磁波の中で、最も水に敏感で検出感度が高いのは「THz波」です。現在、我々は、SMILESの475 kgに対し、8 kg級のTHzリモセンサの開発に挑戦しています。軽量化を実現するためのCFRP素材のTHzアンテナや校正系、SMILESの10年間にに対し3年間でスピード重視のフライトモデル完成など、新たな困難に立ち向かっているところです。今後我々は、月や火星における水を探索し、地球近傍宇宙におけるビジネスを牽引していきたいと考えています。また、更なる夢は、宇宙THzセンサの経験をBeyond 5G時代のTHz通信につなげ、地球近傍宇宙全体をTHz通信で網羅し「AI Driven Space THz network」を作っていくことです。我々の研究活動にご興味のある方の参加をお待ちしております。

* 総務省「宇宙 × ICTに関する懇談会」報告書
https://www.soumu.go.jp/main_content/000502202.pdf





国際展開のためのオープン・イノベーション・プラットフォーム構築

～ASEAN IVOによる東南アジア研究機関とのICT連携推進～

グローバル推進部門 国際研究連携展開室 マネージャー 江本 浩

N ICTは長年、東南アジアと培ってきた研究連携を礎として連携関係を進化させる形で、東南アジア域内の研究機関・大学等と共同で、2015年2月、ASEAN IVO (ICT Virtual Organization of ASEAN Institutes and NICT) というグローバルアライアンスを設立しました。ASEAN IVOは、各国に共通する重要テーマに向けた協働の認識共有、ICT分野の共同研究プロジェクトの形成による共通問題解決をミッションとし、同地域に密着したオープン・イノベーション・プラットフォームを構築することを目指しています。発足時に9か国25機関であったメンバーは、年々増加し、2020年1月末時点でASEAN全10か国と日本の60機関となっています。

一方、NICTではグローバルな視点で、社会・地域の課題を解決していくために多角的な国際共同研究開発により自らの技術を日本のみならず海外への社会実証などに展開していく取組を行っています。ASEAN IVOはその取組を推進するために必要なプラットフォームのひとつで、ASEAN地域での国際展開に必要な環境を提供しています。また、本プラットフォームは日本を含む産業界も利用可能なため、民間企業も参画し始めています。

ASEAN IVOには運営委員会を設置され、全体の活動方針、研究開発課題の設定及び連携プロジェクトの採択・運営などを決定しています。毎年ASEAN域内においては各国の研究者からのアイデア提案や研究者ネットワークングなどにより共同研究連携プロジェクト形成のためにフォーラムを開催しています。例えば、ASEAN IVOフォーラム2019では、食糧のためのICT、環境保護・防災のためのICT、安心安全かつスマートなコミュニティのためのICT、ICT関連技術及び応用といった4つのトピックに対して29件（ポスターを含む）発表が行われました（図1）。

また、ASEAN IVOでは2016年から、毎年5件前後の連携プロジェクトをNICT支援の下に実施・推進しています。ASEAN IVOプロジェクトにはASEANにおける2か国以上が参加する必要があるという面的連携で推進することは特徴のひとつです。2020年3月までに延べ24件（終了したものを含む）のプロジェクトを推進しています。このうち18件にNICT研究者が参加し、多言語処理用のアジア言語ツリーバンク構築、ルール地域での通信基盤の構築、走行中の地下鉄の通信手法への応用、サイバーセキュリティ技術開発のデータ共有な



図1 ASEAN IVO フォーラム2019の様子（2019年11月20日、フィリピン・マニラ）



図2 アジア言語ツリーバンク構築プロジェクトのキックオフミーティング

ど、情報通信の幅広い分野においてNICTはASEAN地域での技術展開に大きく貢献しています。その一例として、多言語処理用のアジア言語ツリーバンク構築では、9種類の言語（インドネシア語、マレー語、ベトナム語、クメール語、ミャンマー語、フィリピン語、タイ語、日本語、英語）それぞれのツリーバンクを構築し、その一部を非営利目的に無償で一般公開しています（図2）。

ASEAN地域においては人口規模が他の地域経済統合体を上回り、今後の10年間で毎年日本のユーザー規模に相当する数が新たにネットユーザーになると言われています。また利用形態の面で利便性の高い方向に流れ、より高速なアクセスを期待されるようになります。そのため、社会インフラのひとつとしてICT産業はますます国、社会、地域、コミュニティに重要視され、ASEAN IVOはその一役を担っていることに間違いありません。また、ASEAN内においてICTインフラ及び研究開発にもばらつきがあるので、ASEAN IVOはそのばらつきをなくす役割を果たせればと思っています。

ASEAN IVO: https://www.nict.go.jp/en/asean_ivo/
連絡先（事務局）: asean_ivo_sc_nict@ml.nict.go.jp

シリコンCMOS集積回路で実現する テラヘルツ波無線通信



原 伸介

(はらしんすけ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員
博士 (理学)

● 経歴

1976年 神奈川県にて誕生
1996年 東京理科大学理工学部物理学
科卒業
2006年 東京理科大学大学院博士課程
修了
2007年 豊田工業大学 研究員
2008年 東京理科大学 助教
2013年 NICT 入所
2019年 現職

● 受賞歴等

2019年 電子情報通信学会2018年度
論文賞
2017年 国際学会RFIT学会賞

一問一答

Q 研究者になってよかったことは？

A 分野を超えて先端技術の理解が深められることです。研究者の間でひざを交えた議論ができることも多くあり、研究者の役得だと思います。

Q 最近はまっていること

A 子どもの2輪スケボーを借りて、乗りこなせようになるように練習すること、飼っているカマキリを眺めること、です。



Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 失敗を恐れずに、よく先輩・先生の助言を聞いて、研究に邁進してください。共に新しい技術を創っていきましょう。

電 磁波は、周波数の低い「電波」から、周波数の高い「光」まで、様々な産業分野で利用されています。そのうち電波は、関係法令により用途ごとに周波数が割り当てられ、その規格にのって無線LANやスマートフォンなど無線通信技術が広く普及してきました。しかし、IoT・ビックデータ・AI等を活用する新しいICTが創成しつつある現在、大容量データを高速に送受信できる無線

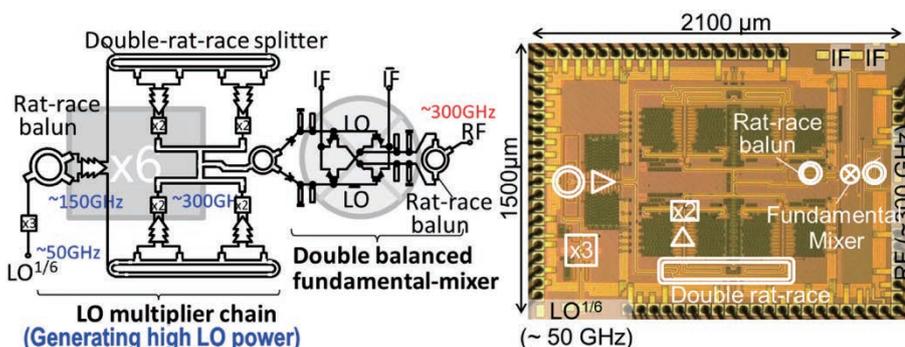
通信技術が求められています。この実現に向けて、広い周波数帯域を一括して利用する手法が候補に挙がっています。

テラヘルツ (THz) 波は「電波」と「光」の中間に位置する電磁波であり、「未開拓の周波数資源」と呼ばれています。THz波において、大気吸収の少ない周波数領域を広い帯域で活用できれば、高速な無線通信が実現できると期待されています。2019年開催の無線通信会議

(WRC) では275-450 GHzにおいて総帯域137 GHzの周波数帯域が特定されました(本号pp.1-3参照)。

私たちはTHz波無線通信の実現に向けた研究に取り組んできました。広島大学、パナソニック株式会社との共同研究の成果として、シリコンCMOS集積回路を利用した300 GHz帯無線送受信機を開発しました。情報処理機器に広く用いられているシリコンCMOSは、大量生産に向いているためTHz無線通信の普及に適しています。しかし、現在のシリコンCMOSの性能では300 GHz帯で信号を直接増幅できないことが課題です。本研究では、周波数変換器と高出力の局部発振信号通倍回路を組み合わせた手法により、高い特性を実現し、300 GHz帯での高速無線通信の性能を実証しました。

今後、更に無線送受信機の特性を向上させ、THz波による超高速無線通信技術の早期実用化を目指します。



300 GHzシリコンCMOS受信機回路の回路図とチップ写真
© 2020 IEEE. Reprinted, with permission, from IEEE Proceedings.

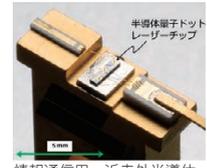
先端ICTデバイスラボ（研究施設等の外部利用制度）のご紹介

NICTでは、情報通信技術に関する広い領域の研究開発を推進しており、なかでも次世代情報通信システムや新たな社会的・科学的価値の創造に向けて革新的なデバイス技術の研究が進められています。

NICTの施設である先端ICTデバイスラボ（NICT本部及び神戸ラボ）は、産学官連携研究を推進する観点から、オープンプラットフォーム研究拠点として運用し、機構内の関連研究グループが協力して、運営・維持管理を行っています。企業や大学等の外部機関による施設利用は、主にNICT研究グループとの共同研究体制の下で実施されていましたが、現在はNICTで培った技術ノウハウとともに研究設備を活用できる「研究施設等の外部利用制度」として有償利用が可能になっています。



リソグラフィ等で微細構造パターンの形成を行うクリーンルーム（イエロールーム）



情報通信用・近赤外半導体量子ドットレーザーチップ

■利用可能な研究設備（NICT本部）

機能概要	主なデバイスプロセス・評価装置
微細構造のパターン形成	リソグラフィ、マスクアライナ装置
微細構造のエッチング加工	ドライエッチング装置、酸素プラズマ・アッシング装置
電極形成／誘電体コーティング	メタル／誘電体スパッタ装置、真空蒸着装置、シンター炉
後工程プロセス	ダイシング装置、バックグラインディング装置
パッケージプロセス	ワイヤーボンディング装置、ダイボンディング装置
基礎物性／デバイス評価装置	フォトルミネッセンス装置、走査電子顕微鏡、X線回折装置
	ネットワークアナライザ、半導体パラメータアナライザ
	小型高速テラヘルツ時間領域分光装置

■研究施設等の外部利用制度で提供される技術ノウハウ（NICT本部）

Broad-area LD／Ridge LD加工技術	LN変調器作製技術
LED加工技術	コーティング技術
光導波路デバイス加工技術（半導体）	電極パターンニング技術
光導波路デバイス加工技術（誘電体）	フォトルミネッセンス技術
PD加工技術	表面微細加工評価技術

※**共通設備** クリーンルームには超純水、冷却水、ガス等が供給され、プロセス装置の安定運用が可能です。また、廃液処理設備、排ガス除害設備、ガス検知警報システム、監視カメラ等を用い、ISO14001環境マネジメントシステム（NICT本部）の運用の下で、環境・安全対策を図っています。

神戸ラボ：未来ICT研究所内（兵庫県神戸市）にあります。
<https://www.nict.go.jp/pdl/AIDLKOB.html>

ご利用の詳細 http://pdl.nict.go.jp/joint_research.html
 研究施設等の外部利用制度の詳細
<https://www.nict.go.jp/collaboration/utilization/index.html>

お問い合わせ

先端 ICT デバイスラボ 事務局
 電話番号：042-327-6439 FAX：042-327-6491
 E-mail：AICT.inquiry@ml.nict.go.jp

●IoT機器用広帯域アンテナ 特許第 6440300号
 公共ブロードバンドやUHF帯のホワイトスペース、UWB無線等の広帯域周波数をカバーし、かつ、薄型・コンパクトとする設計が可能なアンテナです。基地局、車両等の移動体用として、スペースに応じた使用が可能です。

●無線通信による遠隔からの監視・制御技術 特開 2018-078356
 農地などの広域エリアに割り振られた複数のポイントにおける各種情報を、長期にわたり定期・継続・効率的に収集し管理できるだけでなく、各ポイントに対して制御信号などを必要に応じ低遅延で伝達することもできます。

●社会のトレンドを俯瞰できる可視化技術 特許第 6653502号
 新聞や雑誌記事等のデジタル化されたビッグデータの中から、単純なキーワード検索ではなく、時間の流れに対してトピックの傾向（人々の関心度や話題性の大小）を人間が把握しやすい形で可視化表示することで、社会現象のトレンドを把握することができます。

https://www.nict.go.jp/out-promotion/technology-transfer/trans_patent_use.html



移転可能技術例

他にも多数ございます

問い合わせ先 **イノベーション推進部門 知財活用推進室**

TEL：042-327-6950 FAX：042-327-6659
 E-mail：ippo@ml.nict.go.jp