

ミリ波・テラヘルツ波応用研究の概要

ミリ波・テラヘルツ波は、エレクトロニクス技術とフォトニクス技術の境界領域にある技術分野であり、両方の技術分野から、通信、計測、医療、生化学等への広範な利用が期待されています。本稿では、NTTマイクロシステムインテグレーション研究所で研究開発を進めているミリ波・テラヘルツ波の応用研究について紹介します。

くくつ なおや かど ゆういち
久々津 直哉 / 門 勇一

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所

ミリ波・テラヘルツ波とは

ミリ波・テラヘルツ波は、波長の長さ（周波数の大きさ）で分類されていますが、ともに、電子レンジや医療用の患部を温める装置等で一般的に利用されているマイクロ波と同じ電磁波です。ミリ波は、30 GHz～300 GHz（波長1 mm～10 mm）の電磁波で、波長がミリメートルオーダーであることから、この名前がついています。一方、テラヘルツ波は、300 GHz～3 THz（波長100 μm～1 mm）で、この場合は周波数がT（テラ）ヘルツオーダーであることから、このように呼ばれています。また、この周波数帯はサブミリ波と呼ばれることもあります。テラヘルツ波の定義においては、遠赤外領域（～10 THz）までを含めることもありますが、私たちは、電波法において定義されている電波の上限3 THzを範囲としています。

では、ミリ波・テラヘルツ波には、一体どのような特徴があるのでしょうか？ 図1に示すように、マイクロ波までの比較的低い周波数の電磁波は、一般的に、雨などによる影響をあまり受けないため、TVやラジオなどの放送、携帯電話や、長距離の無線通信に利

用されてきました。それに比べて、ミリ波・テラヘルツ波は、雨による減衰、さらに、酸素や水分子の共鳴吸収等による減衰が発生するために、長距離無線通信には不向きです。しかし、一方で、波長が短くなることによって、一度にたくさんのデータを送ることが可能となるという利点があります。また、イメージング技術に適用した場合は、

分解能が高まり、マイクロ波イメージングに比べて、高精細な画像が得られるという効果もあります。

さらに、THzの領域になると、分子間の弱い結合による分子ネットワークを検知できる可能性があるため、たんぱく質の分析、創薬などへの応用が期待されています。この関連については本特集の『テラヘルツ分光技術』で解

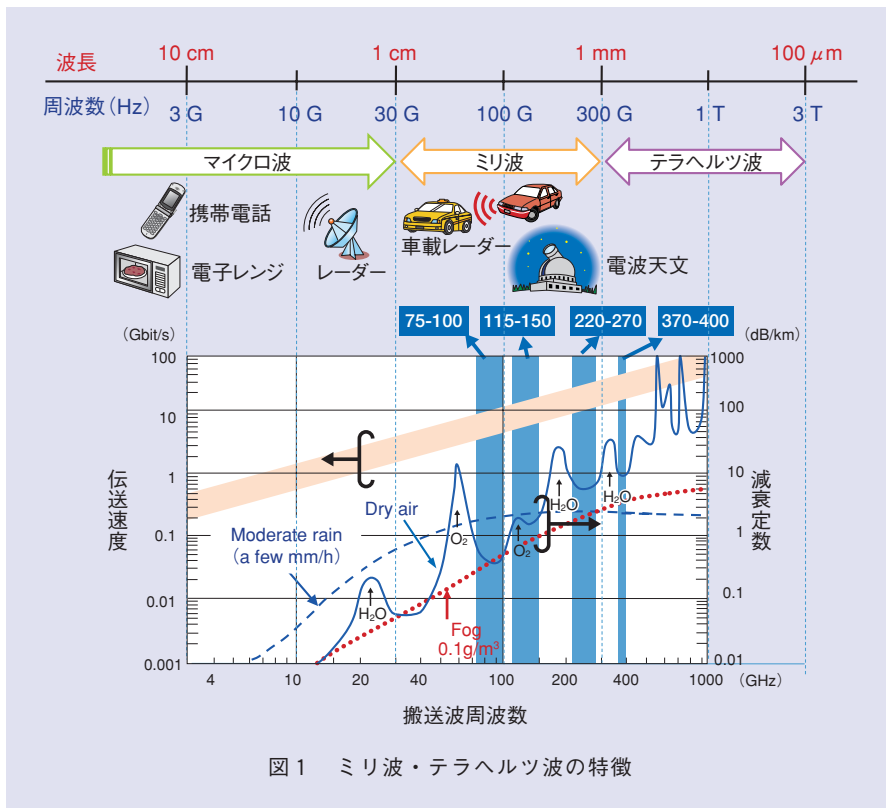


図1 ミリ波・テラヘルツ波の特徴

説します。その一方で、波長が短くなるにつれて、電磁波が物質の内部に入りづらくなるという性質があるため、深い物質内部の分析は難しくなります。ミリ波・テラヘルツ波領域では、図1に示すように周辺の周波数に比べて、減衰の比較的少ない領域（窓領域）がいくつかあります。電波資源は、有限なものであることから、これらの窓領域をどのような用途に利用することが、産業および人類の発展のために重要かを念頭に研究開発を進めていく必要があります。

私たちは、以上に示したミリ波・テ

ラヘルツ波の特徴を活かし、社内外のニーズに対応する基盤的研究開発を推進してきました（図2）。

ミリ波・テラヘルツ波開発の現状

ミリ波領域では、現在、自動車の衝突防止レーダー用として、主に76 GHz帯が利用されています。さらに、60 GHz帯は、主に近距離無線通信用途として、DVDプレーヤなどから高品位（HD）映像を非圧縮で薄型TVに伝送するアプリケーションやビデオ・キオスクから携帯型端末にHD映像をダウンロードし、そのコンテンツを格納し

た携帯型端末から宅内のセット・トップ・ボックスやPCへコンテンツを移動するなどの利用形態がIEEE 802.15.TG3cにて検討されています⁽¹⁾。また、業界団体によるWirelessHDコンソーシアムにおいて、2008年1月に第1版の規格が発表されています⁽²⁾。現在、60 GHz帯が活発に議論されている背景には、7 GHz帯域という比較的広い帯域がライセンスフリーで利用できるという点と、近年のシリコンデバイス技術の進歩により、SiGeやCMOSなどで、この周波数帯を扱うことが可能となってきたことが挙げられます。

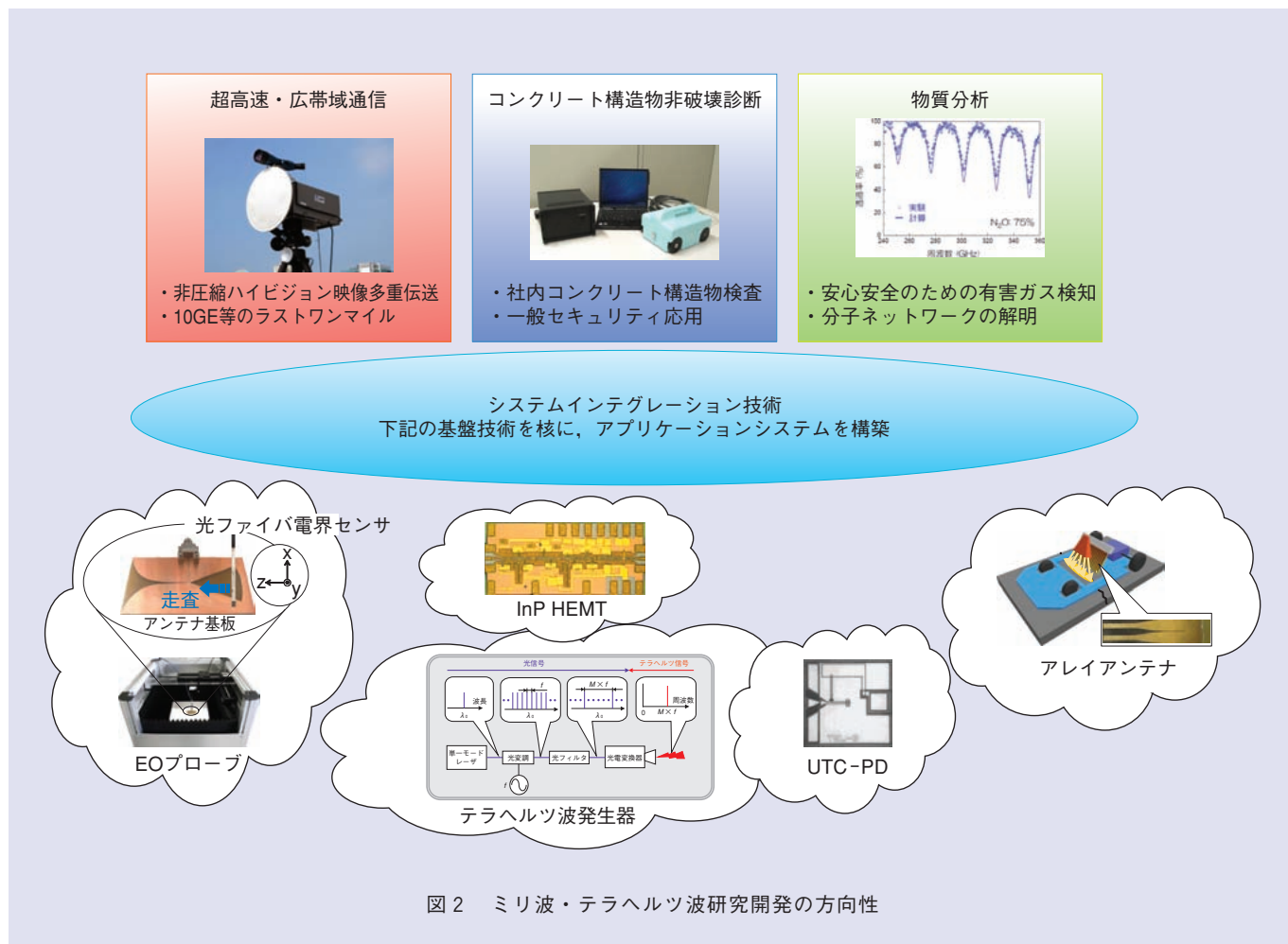


図2 ミリ波・テラヘルツ波研究開発の方向性

また、70 GHz帯・80 GHz帯を利用したポイント・ツー・ポイントで Gigabit Ethernet信号を送る無線装置が、欧米で製品化されており、ビル間での通信などに利用されています⁽³⁾。しかしながら、現時点では、伝送速度は2 Gbit/s程度までです。

さらに、IEEE802.15では、2008年3月にTerahertz Interest Group (IGthz) が立ち上がり、300 GHz以上のテラヘルツ波領域を利用した無線通信に関する議論が始まりつつあります⁽⁴⁾。一方、さらに高い数THz程度を使ったアプリケーションとしては、超高速なフェムト秒レーザなどで行ったパルス波を用いたテラヘルツ時間領域分光分析技術 (THz-TDS) を使った薬物等の非破壊分析が、郵便物や空港でのセキュリティ検査用途として、注目されています。

NTTにおけるミリ波・テラヘルツ波の研究

NTTでは、長年研究開発を続けて

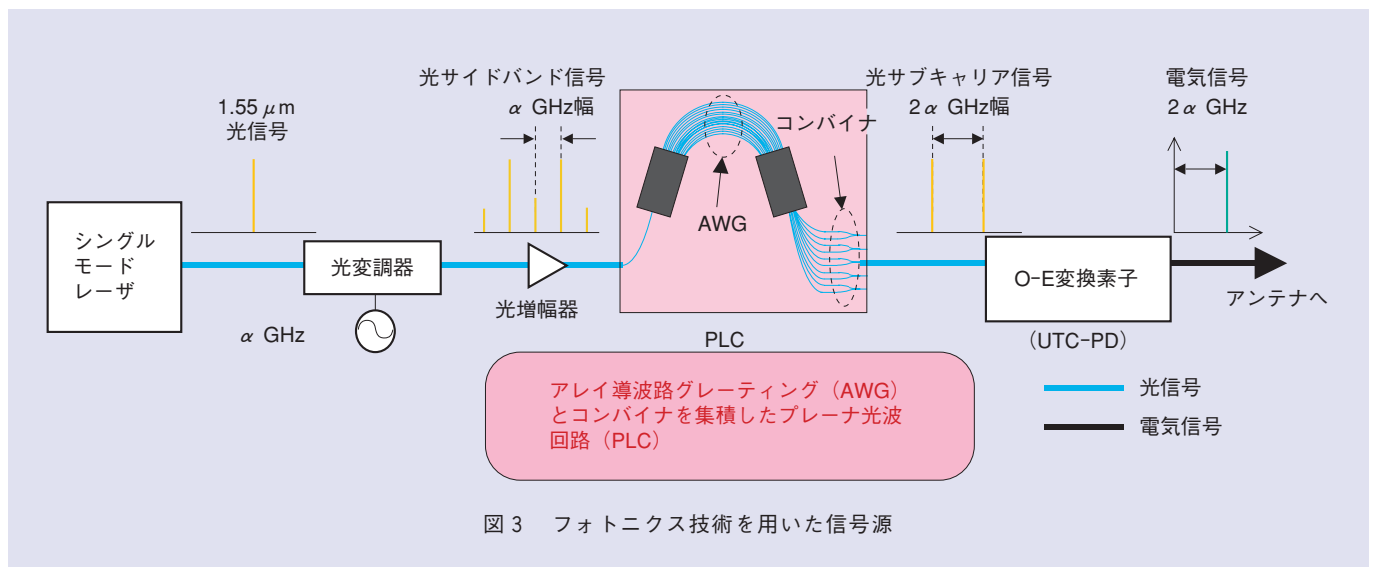
きた光通信技術を応用し、フォトニクス技術により作り出された光サブキャリアデータ信号を、通信用デバイスとして開発していた超高速な応答速度を特徴とするUTC-PDにより⁽⁵⁾、⁽⁶⁾、OE変換し、電波に変えて、ミリ波・テラヘルツ波を発生させる独自の技術を研究開発してきました(図3)。この技術は、フォトニクスの広帯域性、超高周波性、安定性を活かし、さまざまな応用に合わせたミリ波帯、テラヘルツ波帯の電磁波生成が可能です。この技術を通信に応用した例として、120 GHz帯無線に適用したものはすでに報告しています⁽⁷⁾。

また、この技術は、複数の周波数を扱うことや周波数掃引がフォトニクス技術で実現できるため、本特集の『テラヘルツ波によるガス検知技術』では、その特徴を活かした応用として、ガス分析について詳細に述べます。

私たちは、このフォトニクスを応用した技術とともに、InP HEMT (Indium Phosphide High Electron

Mobility Transistor) プロセスによる超高速の電子デバイスのミリ波領域への応用も並行して研究開発を進めてきました。フォトニクスを応用した技術に比べて、電子デバイスのみで構築するシステムは、小型化が可能であり、また、部品点数も少なくできることから、トータルで低消費電力化、低コスト化が可能です(図4)。この技術を応用したものとして、現在、総務省のファンドを利用し、120 GHz帯を用いたハイビジョン非圧縮映像多チャンネル無線伝送技術の開発をNHK放送技術研究所、株式会社フジテレビジョンとともに進めています^{(8)~(10)}。これらについては、本特集の『小型、低消費電力の120 GHz帯10 Gbit/s無線リンク』『120 GHz帯無線によるTV放送用映像素材伝送トライアル』で、さらに、詳しい説明を加えます。

無線通信技術としての適用領域を伝送距離と伝送速度の関係を図5に示します。120 GHz帯無線は、10 Gbit/sの伝送能力があるため、10 GEのラス



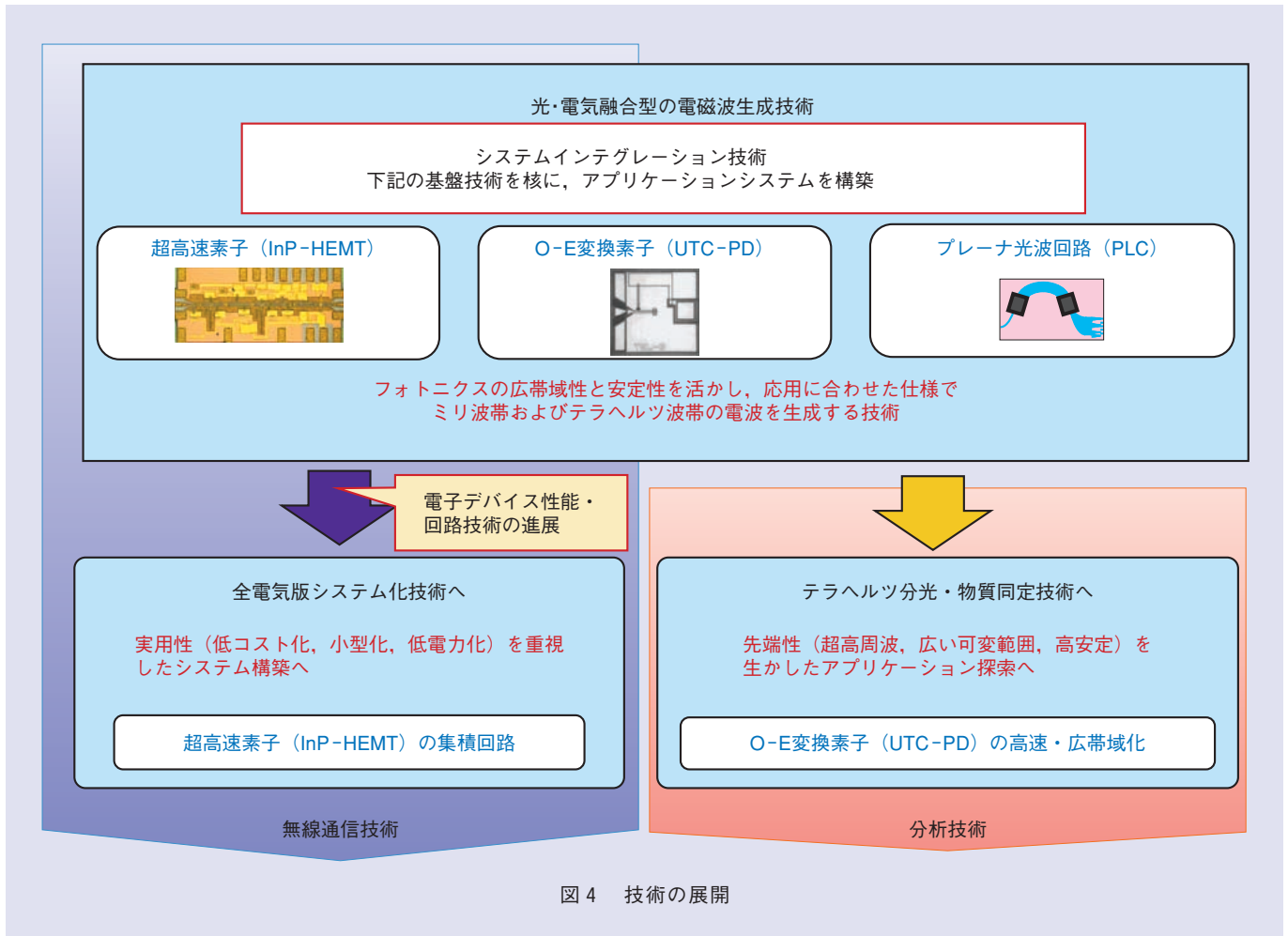


図4 技術の展開

トワンマイルとしての利用や、最大6チャンネルの非圧縮ハイビジョン映像の多重伝送、災害復旧時の臨時的な大容量回線としての利用が期待できます。ここで、現在の120 GHz帯を用いた無線システムは、ASK変復調方式（占有帯域幅17 GHz）を採用しているため、最大伝送速度が10 Gbit/sですが、近い将来、QPSKや16QAMなどの多値変復調技術を取り入れることによって、20 Gbit/s以上の大容量化にも対応が可能となります（図6）。

また、私たちは、今までに述べてきた研究開発で培ってきた技術、ノウハ

ウを基に、主に市販技術をベースにミリ波の近接場における電磁波散乱を検知する独自のイメージング技術を開発し、事業会社ニーズの高いコンクリート構造物の非破壊診断技術への適用を試みています⁽¹¹⁾。この技術開発についての最新状況を、本特集『ミリ波イメージング技術によるコンクリート構造物診断』で説明します。

さらに、ミリ波・テラヘルツ波の周波数帯は、産業としては未成熟な分野であるため、特性を評価する計測技術も、まだ開発されていません。したがって、電磁界解析によるシミュレーショ

ン技術とともに、広帯域な特性を有する電気光学（EO）効果を利用した電界センサによる高周波アンテナの実測評価を行うことも、研究課題の1つとしており、本特集『アンテナ計測に適した光ファイバ電界センサ』において詳細な解説を行います。

まとめ

本稿では、NTTマイクロシステムインテグレーション研究所で推進しているミリ波・テラヘルツ波の応用研究についての概要を示しました。私たちは、この周波数帯を利用した超高速無線通

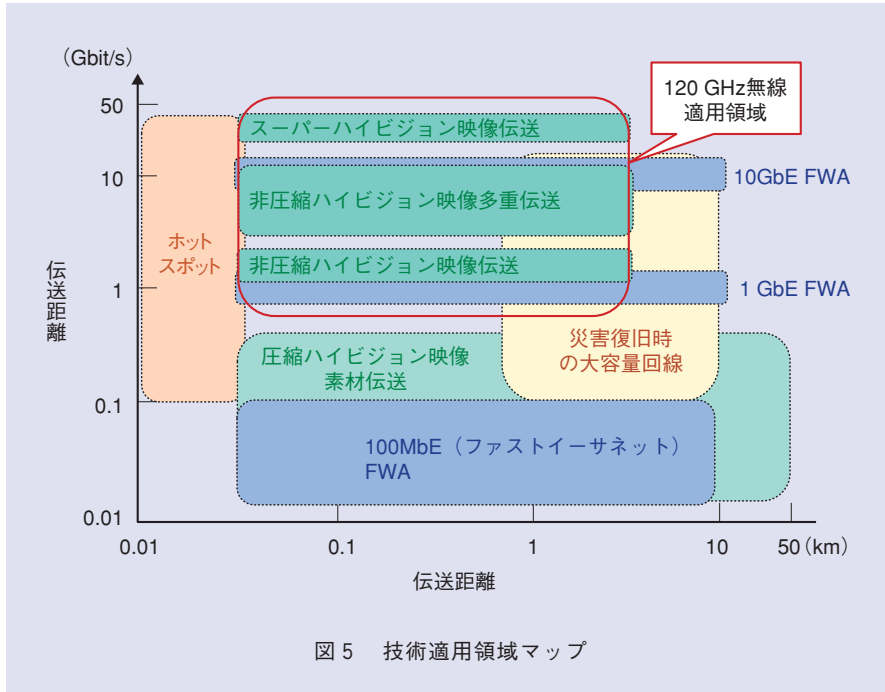


図5 技術適用領域マップ

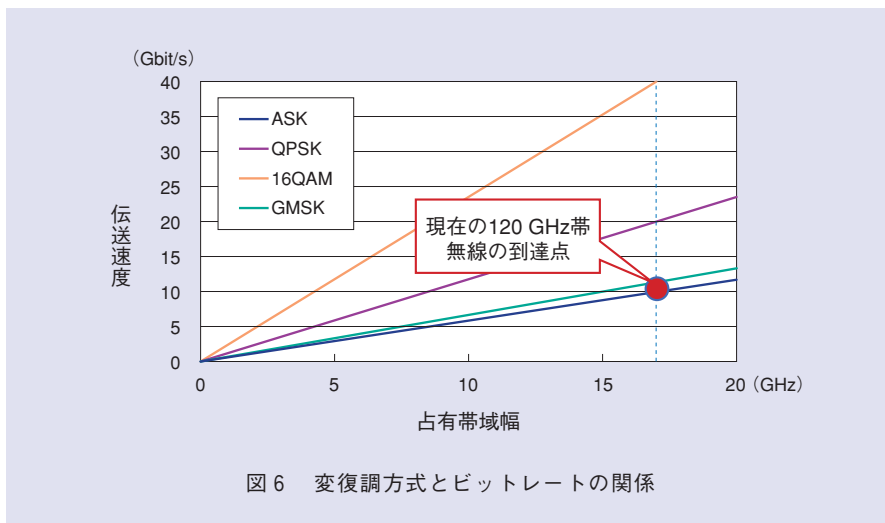


図6 変復調方式とビットレートの関係

信、イメージング、物質分析それぞれの技術と、それらの特性を測る計測技術の研究開発を行い、社内外のニーズに対して、タイムリに対応していく予定です。

謝辞

本研究を推進するにあたり、日頃より御指導を賜りました永妻忠夫大阪大学教授に、心より感謝いたします。

参考文献

- (1) <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>
- (2) <http://www.wirelesshd.org/>
- (3) <http://www.loecom.com/about.htm>
- (4) <http://www.ieee802.org/15/pub/IGthz.html>
- (5) T. Ishibashi, N. Shimizu, S. Kodama, H. Ito, T. Nagatsuma, and T. Furuta: "Uni-traveling-carrier photodiodes," Tech. Dig. Ultrafast Electronics and Optoelectronics, Lake Tahoe, CA, USA, pp. 83-87, 1997.
- (6) H. Ito, S. Kodama, Y. Muramoto, T. Furuta, T. Nagatsuma, and T. Ishibashi: "High-Speed and High-Output InP-InGaAs Unitraveling-Carrier Photodiodes," J. Selected Topics

- Quantum Electron., Vol.10, No.4, pp.709-727, 2004.
- (7) 永妻・枚田: "120 GHz帯を利用した10 Gbit/s 無線技術," NTT技術ジャーナル, Vol.16, No. 9, pp.36-39, 2004.
- (8) 枚田・山口・佐藤・清水・原田: "非圧縮ハイビジョン信号多重無線伝送技術," NTT技術ジャーナル, Vol.18, No.10, pp.40-43, 2006.
- (9) R. Yamaguchi, A. Hirata, T. Kosugi, H. Takahashi, N. Kukutsu, T. Nagatsuma, Y. Kado, H. Ikegawa, H. Nishikawa, and T. Nakayama: "10-Gbit/s MMIC Wireless Link Exceeding 800 Meters," Tech. Dig. IEEE Radio and Wireless Symposium, TH1C-3, 2008.
- (10) N. Kukutsu, A. Hirata, T. Kosugi, H. Takahashi, R. Yamaguchi, T. Nagatsuma, and Y. Kado: "10-Gbit/s Wireless Link Systems Using the 120-GHz Band," Tech. Dig. IEEE AP-S, June 2008.
- (11) 永妻・岡: "ミリ波イメージング技術と構造物診断への応用," NTT技術ジャーナル, Vol.18, No. 6, pp.25-28, 2006.



(左から) 門 勇一/ 久々津 直哉

ミリ波・テラヘルツ波は、産業的に、まだ十分に活用されていない周波数帯ですが、大きな可能性を秘めた分野です。本特集で取り扱った内容が、近い将来、身近なものとなることを目指して、研究開発を進めています。

◆問い合わせ先

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所
 スマートデバイス研究部
 光マイクロ波応用システム研究グループ
 TEL 046-240-2523
 FAX 046-240-4041
 E-mail kukutsu.naoya@lab.ntt.co.jp