

テラヘルツ波による 100Gbit/s 級リアルタイム無線伝送技術の研究開発 (135010103)

Research on 100 Gbit/s real-time wireless transmission technology by terahertz wave

研究代表者

加藤和利 九州大学

Kazutoshi Kato Kyushu University

研究分担者

永妻忠夫[†] 金谷晴一^{††} 久武信太郎[†]

Tadao Nagatsuma[†] Haruichi Kanaya^{††} Shintaro Hisatake[†]

[†]大阪大学 ^{††}九州大学

[†]Osaka University ^{††}Kyushu University

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

テラヘルツ波無線技術としてコヒーレント検波と高利得アンテナによる高感度化および送信技術としてフォトミキサアレイの空間合波による送信パワー増大の研究を行った。最終目標として掲げた 100m 距離 300GHz 帯無線リンクの 100Gbit/s 伝送可能性 (OOK 片偏波で 50Gbit/s、QPSK 片偏波で 90Gbit/s) の実証に成功した。またフォトミキサのアレイ化による出力ピーク強度の一桁以上の増大を達成し、さらなる伝送距離延伸の見込みを得た。

1. まえがき

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化しつつある。テラヘルツ波の利用はその有力なアプローチのひとつである。一方、世界をリードする日本の通信用光デバイス技術の水平展開として、このテラヘルツ波応用への期待が高まっている。本研究ではこれらニーズとシーズを踏まえて、先端的光デバイス集積技術をベースに、光通信技術とアンテナを始めとする電波技術との融合を図り、実用性能を有する大容量テラヘルツ無線技術を目指した。

具体的な目標として、数m～100mの距離での用途でニーズの大きい、放送分野でのスーパーハイビジョン

(8K:72Gbit/s)の非圧縮無線伝送、医療分野での手術室内での 4K 映像のマルチ伝送 (4K : >6Gbit/s) ×10ch をターゲットに想定し、送受信技術開発により、300GHz 帯で 100Gbit/s の大容量信号を 100m 伝送するテラヘルツ無線通信実証実験を最終目標とした。

2. 研究開発内容及び成果

「テラヘルツ波信号生成、変復調技術 (300GHz 帯コヒーレント伝送、高利得アンテナ)」と「テラヘルツ波送信デバイス技術 (フォトミキサアレイ)」を融合し 100m 伝送を実証するという当初目標に対し、前者の計画以上の進展により前者技術単独で 100m 伝送の目標を達成した。また後者も計画通りアレイ化により一桁以上の高出力化を実現した。以下に各技術の成果について述べる。

テラヘルツ波信号生成・変復調技術

テラヘルツ波通信実験では、最終目標である、300GHz 帯無線による世界初の 100m リアルタイム伝送、ならびに QPSK 変調方式によるリアルタイム 90Gbit/s 伝送 (シングルチャネルでは世界最高速度) に成功した。

図 1 は、OOK 変調方式による 100m 伝送の実験系と伝送実験結果 (ビット誤り率) である。リアルタイムでのビット誤り率の測定のために、同図(a)に示すような、反射鏡を利用した折り返し型の構成とした。これにより、送信系の信号発生器と受信系の誤り率測定器とを同期させた。また、アンテナとして、同図(b)に示すような、放物面鏡と

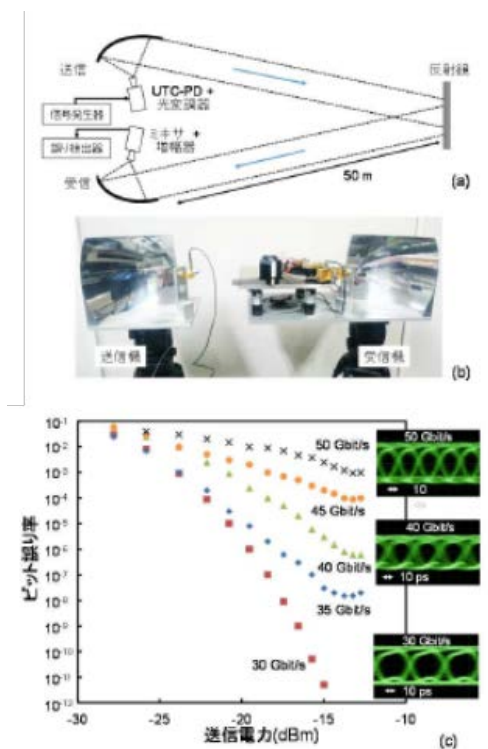


図 1 OOK 変調による 100m 伝送実験

導波管フィーダによるリフレクター型アンテナを開発し、約54dBiの利得を実現した。その結果、同図(c)に示すように、30Gbit/sにおいてエラーフリー伝送を達成した。その時の送信電力は、わずか30μWであり、受信機の高感度性が確認できた。その後、伝送速度の増加とともに、伝送品質が劣化するが、50Gbit/sにおいてのビット誤り率は、 9.5×10^{-4} となり、FECの利用を仮定した場合の限界値 (FECレート) をクリアした。

上記のアンテナは、ワイヤグリッド偏光子を用いた偏波多重が可能な構造であり、偏波多重による2チャンネル化の導入により 100Gbit/s 伝送が可能であることから、本実験結果より 100Gbit/s 可能性が実証できたと考えている。

テラヘルツ波送信デバイス技術

テラヘルツ波発生源であるフォトミキサを 500 μm 間隔で一次元に配置したフォトミキサアレイを開発した。図2は4アレイのチップ写真である。各フォトミキサにはさらに4つの平面スロットアンテナが集積され二次元の放射源アレイ構成となっている。シミュレーションにおけるアンテナ利得のピーク値は 13.38dBi であり、4アレイフォトミキサと組み合わせることで給電源が 6dB (4倍) となることから、従来の単体フォトミキサと比べて約 20dB (100倍) の利得が得られる見込みとなる。

実験では光周波数差 255~315GHz の二光波をフォトミキサアレイに入射し、垂直方向に放射されるテラヘルツ波強度を測定した。図3の▲は単chのフォトミキサ、◆は4chすべてのフォトミキサを動作させた場合の測定値である。4つの給電源による 6dB (4倍) の強度増大に加えてさらにアレイ化による 3dB の指向性利得が得られている。アンテナ自体が持つ利得を加味すると、本研究の目標で掲げたアレイ化による 10dB (10倍) 以上のテラヘルツ波強度増大が実証された。また動作帯域は 100Gbit/s QPSK が実現可能な 50GHz となり、光技術によるテラヘルツ波生成の広帯域性が確認された。

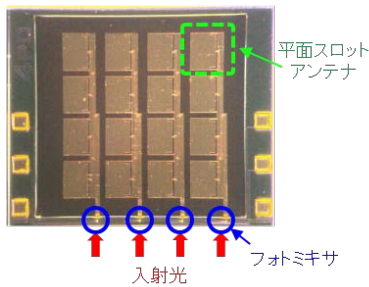


図2 試作したフォトミキサアレイのチップ写真

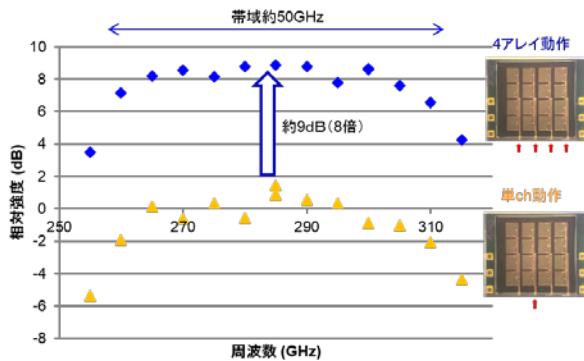


図3 テラヘルツ波強度測定結果

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

図4に目標達成状況および今後の展開を示した。最終実験において、当初目標である300GHz帯無線による世界初の100mリアルタイム伝送、ならびにQPSK変調方式によるリアルタイム90Gbit/s伝送に成功した。今後は100m伝送を実証した構成に、さらに並行して開発した高出力送信技術を組み合わせ、超100m距離延伸技術として実用化展開を加速できると考えている。また送信パワーのデバイス技術による増大を実証したことから、600GHz帯などさらに高周波での実用的な伝送距離の実現も視野に入ってきた。フォトミキサの出力パワーは周波数のおよそ2乗に比例することから、同じ100mの伝送距離においてパワーが一桁増大すれば600GHz帯でもまだ受信パワーに余裕が

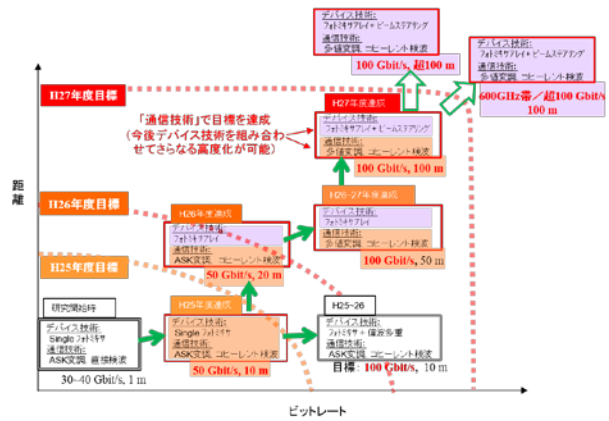


図4 目標達成状況および今後の展開

ある。したがって本委託研究成果をもとに今後は600GHz帯を用いた超大容量無線伝送への展開が期待できる。

4. むすび

最終目標である、300GHz帯無線による世界初の100mリアルタイム伝送、ならびにQPSK変調方式によるリアルタイム90Gbit/s伝送（シングルチャネルでは世界最高速度）に成功した。またフォトミキサのアレイ化技術によりテラヘルツ波強度の一桁以上の増大を実現した。

【誌上发表リスト】

- [1] T. Nagatsuma and K. Kato, "Photonicly-assisted 300-GHz Wireless Link for Real-time 100-Gbit/s Transmission", International Microwave Symposium (2014年6月)
- [2] T. Nagatsuma, K. Kato, and J. Hesler, "Enabling Technologies for Real-time 50-Gbit/s Wireless Transmission at 300 GHz", NANOCOM2015 (2015年9月)
- [3] H. Kanaya, T. Oda, N. Iizasa, and K. Kato, "Planar array antenna with director on indium phosphide substrate for 300GHz wireless link", SPIE Photonics West (2016年2月)

【申請特許リスト】

- [1] 金谷晴一、飯笹直人、片面放射デュアルバンドスロットアレイアンテナ、日本、2014年4月7日
- [2] 加藤和利、武内翔太、信号発生装置、光信号の位相調整方法、ネットワーク用品、日本、2014年6月17日
- [3] 金谷晴一、織田知樹、円偏波スロットアレイアンテナ、2015年4月28日

【受賞リスト】

- [1] Yu Yasuda, 2015 International Union Radio Science Japan Radio Science Meeting Student Paper Competition 2nd prize, "Terahertz Wireless Transmission Enabled by Photonics Using Binary Phase-shift Keying at 300 GHz", 2015年9月3日
- [2] 佐熊一輝、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞、"疑似マッハ・ツェンダ型位相安定化法による100GHz帯11Gbit/sエラーフリー伝送"、2016年3月16日
- [3] C. E. Guan, K. Yoshitomi, H. Kanaya, 2015 Excellent Presentation Award of The IEEE Fukuoka Section, "Design of A Low Profile Waveguide Transmission Line With Reduced Radiation Loss", 2016年3月31日