

プレスリリース

2023年5月15日

国立研究開発法人情報通信研究機構
住友大阪セメント株式会社
国立大学法人名古屋工業大学
学校法人早稲田大学

世界初、大容量テラヘルツ波信号を光ファイバ無線技術で 異なるアクセスポイントに分配・送信する技術を実現

～Beyond 5G 時代の無線システム社会実装に向けて 途切れることのない通信や省エネルギー化に期待～

【ポイント】

- 大容量テラヘルツ波信号を異なるアクセスポイントへ透過的に分配・送信することに世界で初めて成功
- 新規開発のテラヘルツ波-光変換デバイスと光ファイバ無線技術で、毎秒 32 ギガビットの大容量光アクセス通信を実証
- 光・電波融合技術が可能にするテラヘルツ波 Beyond 5G ネットワークへの重要な一歩

国立研究開発法人情報通信研究機構^{エヌアイシーティー}(NICT、理事長: 徳田 英幸)、住友大阪セメント株式会社(住友大阪セメント、代表取締役 取締役社長: 諸橋 央典)、国立大学法人名古屋工業大学(名古屋工業大、学長: 木下 隆利)及び学校法人早稲田大学(早稲田大、理事長: 田中 愛治)は共同で、テラヘルツ波となる 285 ギガヘルツの周波数帯で毎秒 32 ギガビットの大容量テラヘルツ波無線信号を異なるアクセスポイントへ透過的に分配・送信^{*1}するシステムの実証に世界で初めて成功しました。

これを可能にしたのは、新規開発のテラヘルツ波-光変換デバイスと光ファイバ無線技術^{*2}です。今回開発したシステムは、テラヘルツ波帯の電波のデメリットとされる「遠くに届きにくい、広い範囲をカバーしにくい」といった課題を克服することができ、無線信号のカバー範囲を拡大し、Beyond 5G ネットワークにおけるテラヘルツ波通信の展開に道を開くことができます。

本実験結果の論文は、光ファイバ通信国際会議(OFC 2023)にて非常に高い評価を得て、最優秀ホットトピック論文(Postdeadline Paper)として採択され、現地時間 2023 年 3 月 9 日(木)に発表しました。

【背景】

テラヘルツ波通信は、Beyond 5G ネットワークのアクセスポイントで超高速データレートを得るための有力な候補です。しかし、テラヘルツ波の信号は、第 5 世代移動通信システム(5G)で使用されているマイクロ波帯やミリ波帯の信号に比べ、伝搬損失^{*3}が非常に大きいため、長距離の送信や屋外から屋内など、障害物のある環境での通信が困難となります。また、テラヘルツ波帯の電波はカバー範囲が狭いため、ユーザーの移動がある場合、途切れなく通信を実現することが困難です。このような課題を克服するためには、テラヘルツ波信号を透過的に分配・送信することが重要ですが、これまでこれらを効率よく実現する技術はありませんでした。

【今回の成果】

今回、NICT、住友大阪セメント、名古屋工業大及び早稲田大は共同で、テラヘルツ波信号を光信号に変換し、様々なアクセスポイントに透過的に分配・送信する技術を確立することに世界で初めて成功しました。

要素技術の一つ目は、共同開発した、テラヘルツ波を光信号に変換するテラヘルツ波-光変換デバイスで、強誘電体電気光学結晶(ニオブ酸リチウム)を利用した高速光変調器^{*4}です(図 1 参照)。結晶の厚さを従来比 5 分の 1 以下である 100 マイクロメートル以下とすることで、285 ギガヘルツのテラヘルツ波にも対応可能な高速性を実現しました。

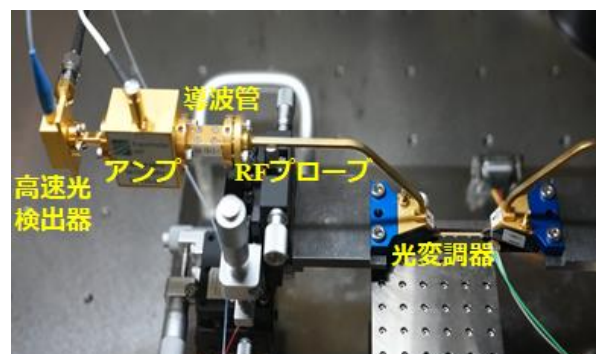


図 1 テラヘルツ波-光変換デバイスの構成

二つ目は光ファイバ無線技術で、テラヘルツ波信号の行き先を変更できる機能を付加した点です。テラヘルツ波信号を搬送するために、波長可変レーザにより生成した異なる波長のレーザ光を用い、波長を切り替えることで、テラヘルツ波信号をスムーズに切替え可能にしました。これにより、特定の波長が割り当てられた異なるアクセスポイントすなわちユーザーの位置に応じて配信することが可能になります。

これらの開発技術を組み合わせることで、4QAM 変調⁵で毎秒 32 ギガビットの大容量テラヘルツ波信号を直接光信号に変換し、異なるアクセスポイントに分配・送信する伝送システムの構築・実証に成功しました。また、テラヘルツ波の信号を 10 マイクロ秒以下という極めて短い時間で切り替えることができる可能性を示しました。

本成果を応用することにより、テラヘルツ波信号をあるアクセスポイントから他のアクセスポイントへ透過的に伝送することが可能となります。また、アクセスポイント間のテラヘルツ波信号の経路制御や切替えを行うことで、途切れることのない通信や省エネルギー化が期待されます。

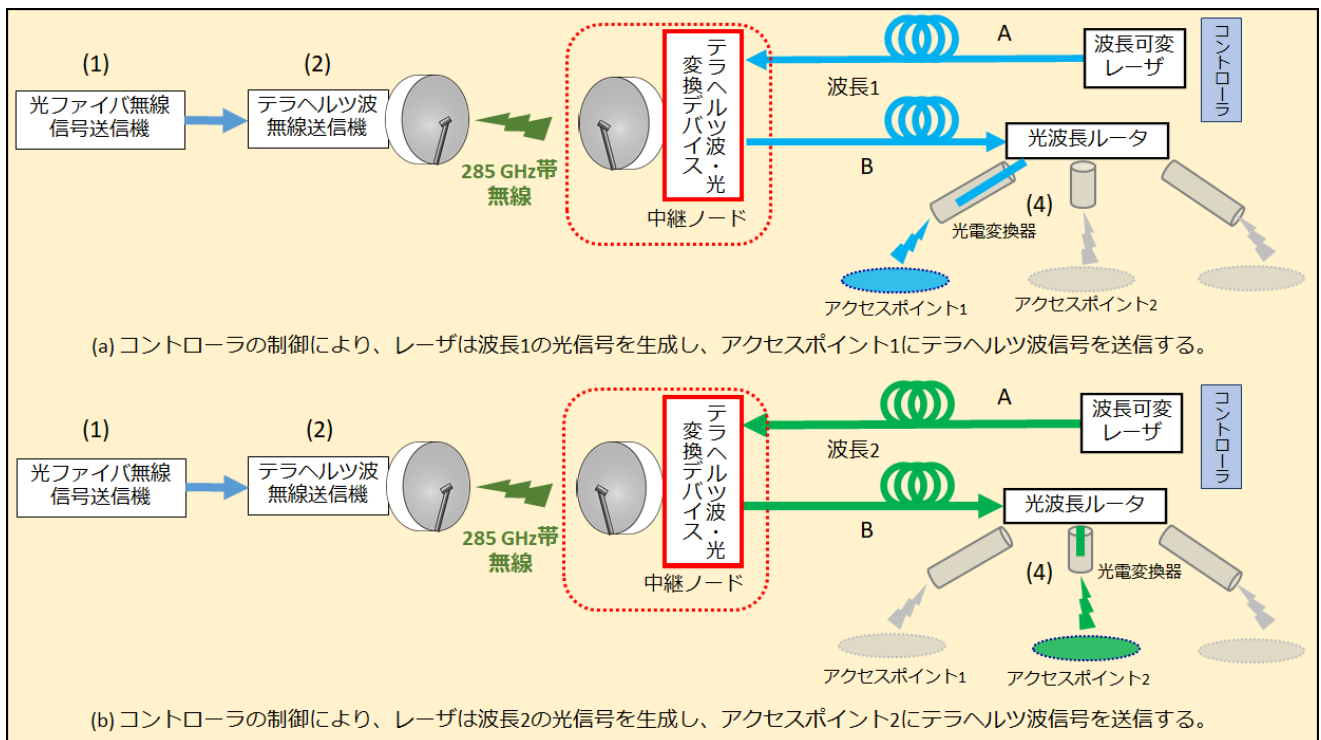


図2 テラヘルツ波-光変換デバイスと光ファイバ無線技術によるテラヘルツ波信号の分配・送信

【今後の展望】

今後は、今回確立したテラヘルツ波-光変換デバイスと光ファイバ無線技術を活用し、Beyond 5G 時代の無線システムに向けた更なる高周波化、高速化及び低消費電力化を目指した技術検討を進めていきます。また、技術検討と並行し、国際標準化活動並びに社会展開活動を推進していきます。

なお、本実験結果の論文は、光ファイバ通信分野における世界最大の国際会議の一つである光ファイバ通信国際会議(OFC 2023、3月5日(日)~3月9日(木))で非常に高い評価を得て、最優秀ホットピック論文(Postdeadline Paper)として採択され、現地時間3月9日(木)に発表しました。

<役割分担>

NICT: 光・無線直接伝送技術の設計・技術開発・実証実験・標準化活動

住友大阪セメント: 無線信号を光信号へ変換するデバイス、高速光変調器の設計・技術開発・標準化活動

名古屋工業大学: 光局発信号発生器、光ファイバ無線技術の研究開発

早稲田大学: 光ファイバ無線技術の研究開発

<採択論文>

国際会議: 第46回光ファイバ通信国際会議(OFC 2023) 最優秀ホットピック論文(Postdeadline Paper)

論文名: Transparent Relay and Switching of THz-wave Signals in 285-GHz Band Using Photonic Technology

著者名: Pham Tien Dat, Yuya Yamaguchi, Keizo Inagaki, Shingo Takano, Shotaro Hirata, Junichiro Ichikawa, Ryo Shimizu, Isao Morohashi, Yuki Yoshida, Atsushi Kanno, Naokatsu Yamamoto, Tetsuya Kawanishi, Kouichi Akahane

<用語解説>

*1 透過的に分配・送信

テラヘルツ波が遮られる壁などの遮蔽物があった場合、その場所でテラヘルツ波を光信号に変換し、光ファイバで伝送した後に再度テラヘルツ波に変換することで、テラヘルツ波が遮蔽物を透過したと考えるシステムを構築することができる。このためには、光信号とテラヘルツ信号を何度も行き来できる多段の RoF² システムを簡便な構成で構築することが必要である。

*2 光ファイバ無線(RoF: Radio over Fiber)

無線信号で光信号を変調することで、無線信号を直接光ファイバで伝送する技術。携帯電話や地上デジタル放送の電波不感地帯対策で既に利用されている。

NICT では、本技術と高速受光デバイスを利用し、空港滑走路上の異物を検知するレーダーシステムや高速鉄道へミリ波信号を送り届けるシステムの実現を報告してきた。

過去の NICT の報道発表

- ・2021年7月15日 ミリ波無線受信機を簡素化する光・無線直接伝送技術の実証成功
<https://www.nict.go.jp/press/2021/07/15-1.html>
- ・2018年4月26日 時速500kmでも接続が切れないネットワークの実現に目途
<https://www.nict.go.jp/press/2018/04/26-2.html>

*3 伝搬損失

電波が大気中を進む際、空気や空気中の水分などにより、吸収されたり、散乱されたりする。これにより、電波の強度は徐々に弱くなる。これを伝搬損失と呼ぶ。

*4 光変調器

入力した電気信号を光信号に重畳するデバイス。基幹光ファイバ通信等で利用されている。デジタルデータ信号だけでなく、無線信号等を光信号へ変換する際にも用いられている。

今回は、強誘電体電気光学材料(ニオブ酸リチウム)を薄くし、電極構造を最適化することで、285 ギガヘルツの光・無線変換が可能な高速性を実現した。

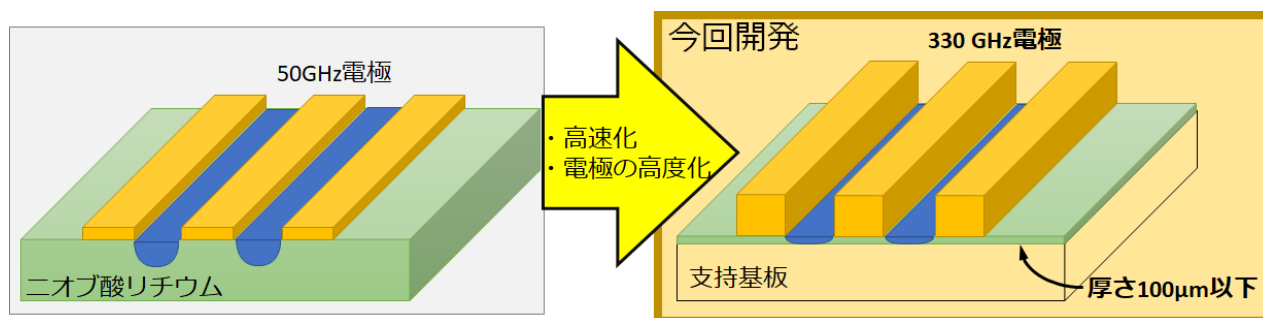


図3 今回開発した薄板型ニオブ酸リチウム光変調器の概念

*5 直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)

光の位相と振幅を併用し複数のビットを表現する方式(多値変調)の一種。On-Off Keying(OOK)と呼ばれる On と Off の2つの状態(1ビット)で情報(2¹=2通り)を示す方式に対して、4QAMは、1シンボルが取り得る位相空間上の点が4個で、1シンボルで2ビットの情報(2²=4通り)が伝送でき、同じ時間でOOK方式の2倍の情報が伝送できる。

1. 今回開発したシステムの基本構成

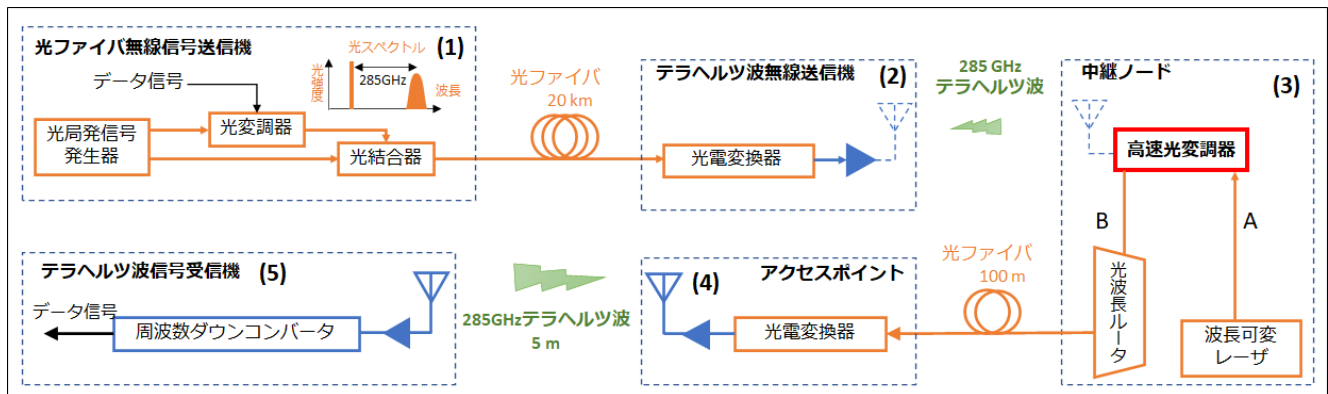


図 4 伝送システムの概略図

図 4 は、今回開発した伝送システムの概略図を表しています。

下記の手順により、285 ギガヘルツ・毎秒 32 ギガビットのテラヘルツ波無線信号伝送を実現しました。

(1) 光ファイバ無線信号送信機

275.2 ギガヘルツの周波数間隔を持つ 2 波長を用い、一方の波長は 9.8 ギガヘルツの信号で変調し、もう一方は無変調とした。変調された信号と変調されていない信号を再結合し、周波数間隔 285 ギガヘルツ (=275.2+9.8 ギガヘルツ) の RoF 信号を生成した(図 4 (1)の右上の図参照)。

(2) テラヘルツ波無線送信機

光ファイバを伝送後、テラヘルツ波変換部にて、高速光検出器をベースとした光電変換器により、RoF 信号から 285 ギガヘルツのテラヘルツ波信号へ変換し、パワーアンプで増幅した。

(3) 中継ノード

受信した信号は、RF プローブを用いて、新たに開発した高速光変調器に接続し、光信号に変換した。テラヘルツ波信号の変調と切替えには、制御回路を備えた波長可変レーザを使用した。変調された信号は増幅され、波長ルータに接続され、異なるアクセスポイントに転送された。

(4) アクセスポイント

受信した光信号は、別の高速フォトダイオードに入力され、再び 285 ギガヘルツのテラヘルツ波信号に変換された。この信号を増幅し、48 dBi のレンズアンテナで自由空間へ送信した。

(5) テラヘルツ波信号受信機

約 5 m 伝送した後、別のレンズアンテナで受信し、増幅した後、サブハーモニックミキサで 10.2 ギガヘルツに下方周波数変換した。最後に、信号を増幅してリアルタイムオシロスコープに送り、オフラインで復調した。

2. 実験結果

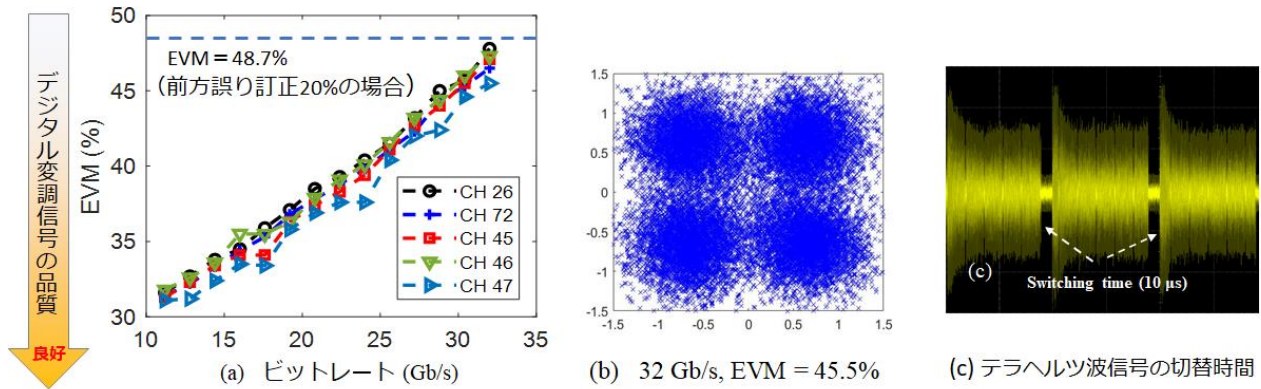


図5 (a) 285 GHzのテラヘルツ波信号のデータレートを変えた場合の伝送性能
(b) 受信機で毎秒32ギガビットの信号のコンステレーションを行う
(c) テラヘルツ波信号の切替時間10マイクロ秒以下

図5の実験結果のグラフは、異なる波長で送られてきた信号の誤り率を示しています。ビットレートが上がると誤り率が上がりますが、毎秒32ギガビットまではデータ伝送可能であることが示されました。誤り訂正前のエラーベクトル振幅値(EVM: Error Vector Magnitude、伝送誤りに相当)で、4QAMにおいては、オーバーヘッド20%で帯域幅32ギガビットに相当します。

(b)は、受信時の4QAM信号で、4つのシンボルがはっきり見えるほど信号品質が良い(エラー訂正が少なく済む)ことになります。

(c)は、テラヘルツ信号の切替えを行っているところを可視化した図で、横軸が時間、縦軸が信号強度になります。途中くぼんでいる部分が切替えを行っているところ(データが止まっているところ)ですが、テラヘルツ波信号の切替えを10マイクロ秒以下で行える可能性を示しました。

< 本件に関する問合せ先 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
ネットワーク研究所 フォトニック ICT 研究センター
光アクセス研究室
ファン ティエン ダト、山口 祐也、赤羽 浩一
E-mail: ldp-inquiry@ml.nict.go.jp

住友大阪セメント株式会社
新規技術研究所 オプトエレクトロニクス研究グループ
清水 亮
E-mail: rshimizu@soc.co.jp

国立大学法人名古屋工業大学大学院工学研究科
工学専攻(電気・機械工学領域)
菅野 敦史
E-mail: kanno.atsushi@nitech.ac.jp

学校法人早稲田大学
理工学術院
川西 哲也
E-mail: kawanishi@waseda.jp

< 広報(取材受付) >

国立研究開発法人情報通信研究機構
広報部 報道室
E-mail: publicity@nict.go.jp

住友大阪セメント株式会社
企画部 企画 IR グループ
E-mail: hokubo@soc.co.jp

国立大学法人名古屋工業大学
企画広報課
E-mail: pr@adm.nitech.ac.jp

学校法人早稲田大学
広報室 広報課
E-mail: koho@list.waseda.jp