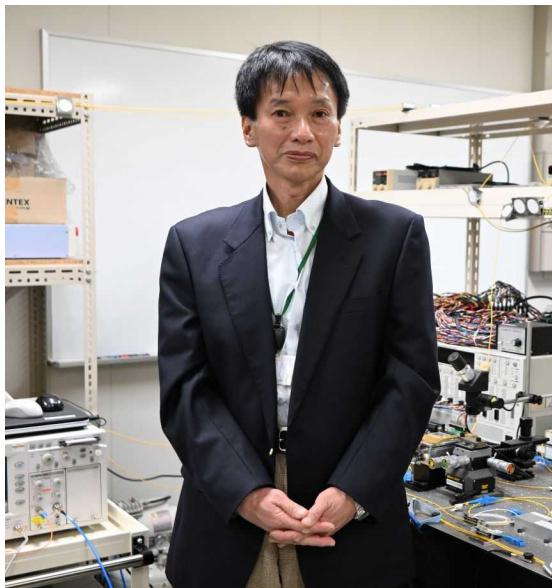


**INTERVIEW****立命館大学 理工学部 電気電子工学科 瀧口 浩一 教授****光デバイスを活用して、高速・低消費電力の
テラヘルツ帯通信を**

光通信は、長距離・大容量通信技術として広く利用されています。その一方で、電波と光波の境界に位置するテラヘルツ帯通信は、技術的に取扱いが難しいことから未開拓のまま残されていました。テラヘルツ帯通信は、発振器、フィルタ、変調器などのデバイスの性能が未成熟で、開発が進んでいません。このような現状を打開するために、光通信向けのデバイスを活用した独創的な方式を開拓し、高速性と低消費電力性を併せ持つテラヘルツ帯通信システムの実現を目指す瀧口浩一教授にお話を伺いました。

光センサーと光デバイスとの出会い

■研究者の道に入った経緯について教えてください。
私が学生の頃、光通信が立ち上がる時期でした。新しい分野で

面白そうだと思い、光通信に興味を持ちました。当初は、研究者になるつもりはありませんでした。大学の卒論の頃は、半導体レーザを研究していました。大学院のときに、研究室が変わり、光センサーを研究しました。光ファイバージャイロという、回転角速度センサーの研究に取り組みました。次第に光ファイバージャイロの研究が面白くなり、博士課程まで進みました。学会では、光通信の最先端の研究で活躍されている多くのNTT研究所の研究者を目にしました。ぜひ、自分もトップの研究をしたいと考えました。光センサーと光通信では、レーザ光の変調のスピードが違うのですが、同じ基本原理を使うことが多いです。このため、光通信分野でも自分の経験を生かせると思いました。

■NTT研究所ではどのような研究がされたのですか。

石英のPLC（平面光波回路）を中心として、光デバイスの研究開発に取り組みました。PLCは、1990年代から光通信業界で注目されていて、基幹系と加入者系の両方に可能性がある光デバイスでした。シリコン基板上に光回路を集積するパッケージな光部品で、アクティブな機能はありませんが、光信号を高速かつ低消費電力で処理することも可能です。代表的なものとしては、現在、PLC技術を用いたAWG（アレイ導波路回折格子）型の波長合分波器が光ファイバー通信システムに多く導入され、伝送容量の増大に貢献しています。

未開拓のテラヘルツ帯通信の研究に挑む**■立命館大学では、どのような研究に取り組まれているのですか。**

大学に来てからテラヘルツ帯通信の研究を始めました。光通信は有線であるため、利用できない場所や環境があります。山や谷があれば、光ファイバーを容易には敷設できません。また、光ファイバーは、災害に弱い面があり、大きな地震が起こると切断されることも多いです。その場合、光通信システムはかなりの大容量なので、従来の無線通信では十分な代替ができません。テラヘルツ帯通信ならば、代替できる可能性があります。また、テラヘルツ帯通信は、移動通信の高速・大容量化を目指す次世代移動体無線通信（Beyond 5G（6G））への適用が期待されています（図1）。

光通信分野はかなり成熟していたので、企業や公的研究機関に

は研究で太刀打ちできないと考えました。いろいろ調べた結果、テラヘルツ帯通信は未開拓の事項も多く、大学でも貢献できる、やりがいのある分野と考え、大学に来てから研究を始めました。最初は、そんなに深く考えず、とりあえずやってみようという

感じで、ポンと飛び込んだところがありました。システム寄りの話ならば、部品さえ集めれば、何とかなると考えていました。しかし、取り組み始めると、様々な難題が出てきました。

Frequency	10 GHz	0.1 THz	1 THz	10 THz	100 THz	1 PHz
Microwave	Millimeter wave		THz-wave		Infrared light	Visible light
Wavelength	30 mm	3 mm	300 μ m	30 μ m	3 μ m	300 nm

・応用例

10 Gbit/sを超える短距離・高速無線通信

例) ファイバ・THz帯無線ブリッジ

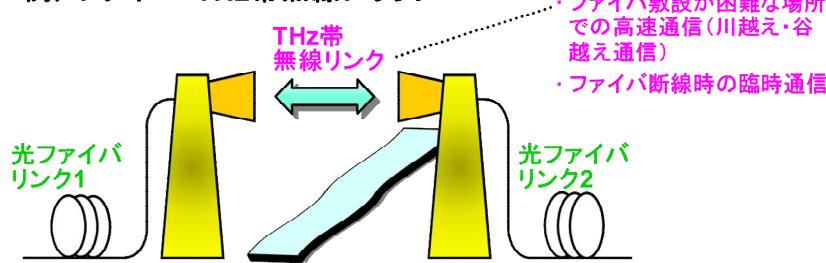


図1 THz帯通信の概要

■テラヘルツ帯通信の研究では具体的にどのような難しさがありますか。

テラヘルツ帯より周波数の高い光は使われており、周波数の低いマイクロ波も使われています。テラヘルツ帯だけがボカッとして空いていて、未開拓の周波数帯となっています。その理由は、デバイスにありました。例えば、光通信では高品質の半導体レーザを入手できますが、テラヘルツ帯通信においては、高出力の発振源がありません。フィルタにしても、変調器にしても、実験に使えるデバイスを全く入手できませんでした。

■SCAT の研究費助成はどのように活用されましたか。

頂いた研究助成で、光 OFDM 信号のチャネル分離技術や、高周波数利用効率のテラヘルツ帯通信の受信処理に光技術を応

用する研究を行いました。

もともと、NTT 研究所では光 OFDM 用のデバイスを研究していましたので、そのときの経験を活かしてテラヘルツ帯通信に適用できる光処理技術の研究に着手しました。従来技術では、信号を全て電気に変換して電子回路で処理していましたが、電子回路では、処理速度の制限や、消費電力の増大などの問題が生じます。パッシブな光フィルタを使えば、処理速度を向上させ、消費電力を抑えることができると考え、研究に取り組みました。テラヘルツ帯の高周波数利用効率のマルチキャリアを光領域で実時間で分離できる光フィルタリング技術を開発し、通信容量を適応的に可変可能なテラヘルツ帯ナキスト WDM 通信の実現にこぎつけることができました(図2)。

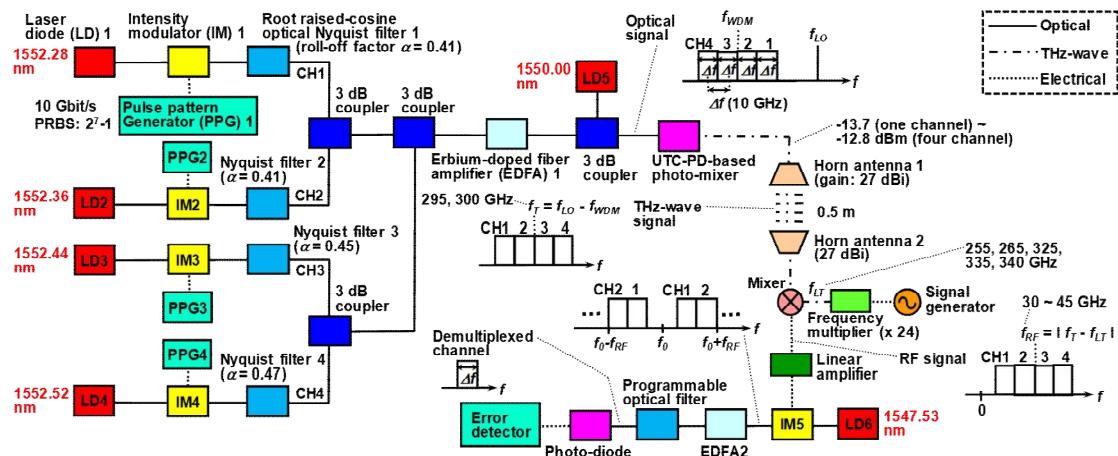


図2 可変容量 300 GHz 帯ナキスト WDM 通信の実験系

テラヘルツ帯通信と光通信のシームレスな融合 や光コンピューティングを目指す

■最近は、どのような研究に取り組まれていますか？

テラヘルツ帯通信の研究では、無線信号を光に変換して信号を処理していましたが、現状では、装置の構成が複雑になり、コストが大きくなる課題があります。テラヘルツ帯直接で信号処理を行う技術も重要と考え、その研究も進めています（図3）。無線と光を独立して捉えるのではなく、最終的にはテラヘルツ帯通信と光通信をシームレスにつなぐ技術に貢献したいと考えています。

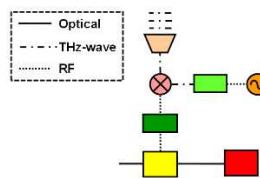
1. 電気領域でのTHz帯信号分離

- ・使用素子の帯域制限による処理速度の制限
- ・消費電力：大

2. 光技術を活用した分離

例) K. Takiguchi, *Opt. Express*, p. 6598, 2019.

- ・構成：複雑化
(信号のTHz帯-RF帯-光波帯変換)
- ・使用RF帯素子の帯域制限



3. THz帯直接分離

例) K. Takiguchi et al., *CLEO-PR2022, CMP18B-04.*

- ・高速処理の可能性
- ・簡便な構成、消費電力低減の可能性

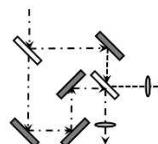
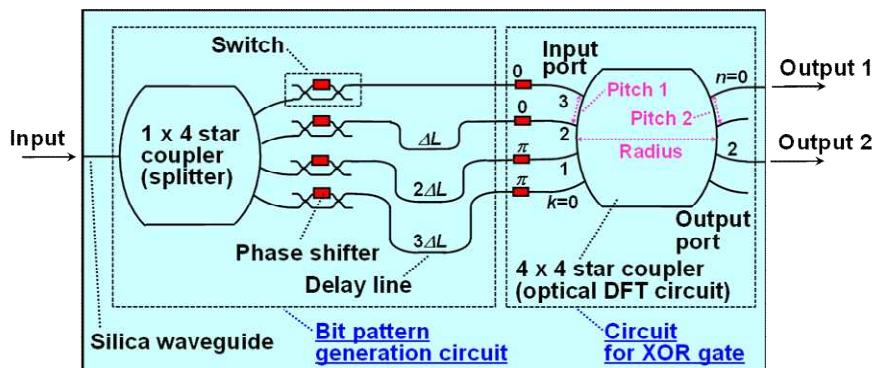


図3 マルチキャリア信号のテラヘルツ帯直接分離

また、先ほどお話ししたように、私は、光デバイスを使った光通信用の信号処理を研究してきましたが、光排他的論理回路など、光信号処理を発展させた光コンピューティングの分野にも着手しています。（図4）。光信号の演算ができるだけ光領域のままで実行できれば、高速化・省電力化の両方が実現できます。



- ・導波回路全体
屈折率: ~1.45, 比屈折率差: 1.2%, サイズ: 20 x 40 mm²
- ・DFT回路
半径: 1.5 mm, ピッチ1: 37.8 μm, ピッチ2: 31.5 μm

図4 光排他的論理回路

今までの研究の中心は光通信ですが、光センシングも興味を持っている分野です。光導波路を活用して小型の各種光センサーを実現したいとも考えています。新しく取り組みたいことは多いのですが、なかなか時間が取れない状況です。

先端的な研究テーマの立ち上げに SCAT 助成を利用

■SCAT の研究費助成は、どのようにお役に立ちましたか？

新しい研究を始めようとするとき、初めてのアイデアは評価されにくく、研究費の獲得が難しい場合があります。うまくいくかどうか分からぬアイデアや、他の研究者が手を付けていない先端的な研究テーマへの着手は、躊躇してしまうこともあります。そのような研究テーマでも評価していただき、研究立ち上げの段階で役立ちました。

■SCAT 助成を実際に利用されてみてどのような印象を持たれましたか？

研究費の使途については、他の助成制度では厳密な確認が求められる場合もあります。

たとえば「テラヘルツ帯の研究は無線が対象なのに、なぜ光デバイスを使用しているのか」といった説明を求められたこともあります。

研究は進める中で新たな着想が生まれることも多く、申請時の計画から多少軌道修正が必要になる場面もあります。

そうした意味で、柔軟に対応頂ける SCAT の助成制度は、研究を前に進める上で非常にありがたいと感じています。

■今後の助成に対する要望がありますか？

助成するだけでなく、他の研究者と交流する場を設けていただけるとうれしいです。共同研究を考えたいと思っているのですが、どうしても光の分野に閉じこもってしまう傾向があります。学会に行っても、時間的に他の分野を聴講することが難しい場合もあります。交流の場があれば、新しいテーマを開拓する機会になると思います。

現在の SCAT の助成期間は 2 年～3 年で、新しいテーマを立ち上げる際に重宝しているのですが、さらに助成期間が長く、高額な助成制度があつても良いのではないかと思います。

プロフィール

1992 年 東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了後、1992～2012 年 NTT 研究所に 20 年間在籍。1998～1999 年 カリフォルニア大学サンタバーバラ校工学部電子情報工学科客員研究員。2006～2009 年 東京工芸大学工学部システム電子情報学科非常勤講師。2012 年 4 月より立命館大学理工学部電気電子工学科教授、現在に至る。