

国際シンポジウム「テラヘルツテクノロジーの最前線 2015」開催報告

The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT 2015)

1. はじめに

1990年代後半のテラヘルツテクノロジー研究の急速な進展から20年、そしてテラヘルツテクノロジーの基礎から産業応用までの幅広い領域での現状を議論するために開催された第1回国際シンポジウム「テラヘルツテクノロジーの最前線」(FTT 2012)から3年が経過した。現在、テラヘルツテクノロジーの研究開発は光源、検出器、コンポーネント、材料、分光、イメージング等の基礎基盤技術から、バイオ・医療、産業、セキュリティ、リモートセンシング、通信などの応用技術まで広がっているが、まだほとんどの分野でパイロット的あるいはデモンストレーション的な研究開発に留まっているように思われる。

第2回国際シンポジウム「テラヘルツテクノロジーの最前線 2015」(FTT 2015)は、テラヘルツテクノロジーの課題に挑戦し、人間社会に真に貢献する応用を生み出すため、これまでになされた研究開発の成果に立脚し、最先端の研究や新しい研究シーズを含め、現在の研究開発動向を注意深く見つけ、重要な分野や研究開発の指針を探ることにより、今後の研究開発の着実な発展をサポートすることを目的として開催された。

欧州、米国、日本の連携は、引き続き重要な役割を果たすことが期待されるが、近年の著しい経済発展に伴い、アジア諸国においても、テラヘルツテクノロジーの研究開発が進みつつある。FTT2015では、経済発展をしているアジア諸国からも研究発表があり議論が行われた。FTT2015の前週に、赤外ミリ波-テラヘルツ国際会議(IRMMW-THz 2015)が香港で開催され、それに連携する形で、日本でFTT 2015が開催された。

FTT2015の開催準備中の2014年10月25日、FTT2012組織委員長であり、日本赤外線学会の役員も務められた大阪大学の萩行正憲教授が突如帰らぬ人となった。日本のテラヘルツ研究の真摯なリーダーであり、国際舞台においてもIRMMW-THzの国際組織委員会の委員であった萩行教授が亡くなれば、いろいろな困難が生じたが、多くの関係者の皆様の努力によりFTT2015が成功裡に開催されることができた。

2. FTT2015の概要

FTT2015は、2015年8月30日夕より9月2日まで、浜松市内のJR浜松駅近くに位置するアクトシティ浜松 コンgressセンター

Table 1 Organization of FTT 2015.

Honorary Chairs	
Jun-ichi Nishizawa	Akiyoshi Mitsuishi
Senior Advisors	
Yoshizumi Yasuoka	Kiyomi Sakai
Toshitaka Idehara	Hiromasa Ito
Local Senior Advisors	
Tsutomu Hara (Hamamatsu Photonics)	
Takeshi Sako (Shizuoka Univ.)	
Masaaki Nagatsu (Shizuoka Univ.)	
Hidenori Mimura (Shizuoka Univ.)	
Organizing Committee	
N. Hiromoto (Shizuoka Univ.): Chair	
M. Tani (Univ. Fukui): Co-chair	
H. Minamide (RIKEN): Co-chair	
M. Ashida (Osaka Univ.), K. Hirakawa (Tokyo Univ.), Y. Hirakawa (Kurume NCT), Y. Kadoya (Hiroshima Univ.), Y. Kawano (Tokyo Inst. Tech.), K. Kawase (Nagoya Univ.), K. Kitagishi (Otsuka Electronics), M. Nagai (Osaka Univ.), T. Nagatsuma (Osaka Univ.), M. Nakajima (Osaka Univ.), S. Nashima (Osaka City Univ.), H. Ohtake (AISIN), C. Otani (RIKEN), T. Otsuji (Tohoku Univ.), T. Ouchi (Canon), T. Sasaki (Shizuoka Univ.), K. Setsune (Osaka Univ.), R. Sugie (Toray Research Center), K. Suizu (Chiba Inst. Tech.), H. Takahashi (Hamamatsu Photonics), K. Tanaka (Kyoto Univ.), K. Tominaga (Kobe Univ.), A. Tsujimura (Panasonic), Y. Uzawa (NICT), T. Yamashita (Advantest)	
Local Organizing Committee	
T. Sasaki (Shizuoka Univ.): Chair	
H. Takahashi (Hamamatsu Photonics): Co-Chair	
T. Fujita (Hamamatsu Photonics), H. Inokawa (Shizuoka Univ.), A. Ishida (Shizuoka Univ.), O. Kambara (Shizuoka Univ.), K. Kuroyanagi (Hamamatsu Photonics), Y. Neo (Shizuoka Univ.), T. Okada (Hamamatsu Photonics), H. Satoh (Shizuoka Univ.), M. Takeda (Shizuoka Univ.)	
Program Committee	
M. Tani (Univ. Fukui): Chair	
M. Asada (Tokyo Inst. Tech.), K. Hirakawa (Univ. Tokyo), H. Hirayama (RIKEN), H. Hoshina (RIKEN), Y. Kadoya (Hiroshima Univ.), T. Kiwa (Okayama Univ.), K. Kurihara (Fukui Univ.), F. Kuwashima (Fukui Inst. Tech.), F. Miyamaru (Shinshu Univ.), M. Mizuno (NICT), T. Nagashima (Setsunan Univ.), M. Nakajima (Osaka Univ.), S. Nashima (Osaka City Univ.), Y. Ogawa (Kyoto Univ.), T. Otsuji (Tohoku Univ.), O. Sakai (Shiga Pref. Univ.), N. Sekine (NICT), R. Shimano (Tokyo Univ.), T. Suzuki (Ibaragi Univ.), K. Takano (Osaka Univ.), Y. Tatematsu (Fukui Univ.), M. Tsubouchi (JAEA), K. Yamamoto (Fukui Univ.), T. Yasui (Tokushima Univ.)	

で開催された。

主催は日本学術振興会産学協力研究委員会「テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会」とテラヘルツテクノロジーフォーラムで、公益財団法人浜松観光コンベンションビューロー、浜松ホトニクス株式会社、イムラアメリカ インクから支援をいただいた。共

催は応用物理学会、協賛は日本赤外線学会、日本分光学会、日本分光学会テラヘルツ分光部会、応用物理学会テラヘルツ電磁波技術研究会である。

FTT2015 開催のための委員会の組織とメンバーを Table 1 に示す。現地の準備を担当する Local Organizing Committee は静岡大学と浜松ホトニクス研究者の間の強力な協力により行われた。

FTT2015 で議論されたトピックスを Table 2 にまとめる。トピックスは、テラヘルツ波の応用、科学と技術をカバーする。

Table 2 Topics of FTT 2015

-
- (A) Industrial Applications of THz Technology
 - (B) Biology and Medical Applications in THz Region
 - (C) THz Communications
 - (D) Materials and Artificial Structures for THz Technology
 - (E) THz Spectroscopy and Sensing
 - (F) THz Imaging
 - (G) Astronomical Observations and Remote Sensing with THz Technology
 - (H) THz Generation
 - (I) Detection of THz Radiation
 - (J) THz Devices, Components, and Systems
-

また、2015 年は国際連合 (UN) によって、光と光技術の国際年 (IYL2015) とすることが宣言されたので、FTT2015 は国際光年の活動に協賛して開催した (Fig. 1)。



Fig. 1 Logos of FTT 2015 (left) and IYL 2015 (right).

会議の参加者は大幅に予想を超え、国内 158 名、海外 27 名の総勢 185 名であった。海外からは 14 ヶ国から参加があり、その内訳は、アメリカ 7 名、中国 4 名、ドイツ 3 名、韓国 3 名、オーストラリア 2 名、フィリピン、フランス、インドネシア、オランダ、ルーマニア、ロシア、スウェーデン、台湾、各 1 名であった (Fig. 2)。

会議の研究発表では、特別招待講演 1 件、招待講演 24 件、一般口頭講演 7 件、ポスター講演 71 件が行われた。

第 2 回の Terahertz Technology Prize は、これまで数々のテラヘルツ波研究において優れた研究成果を挙げられるとともに、テラヘルツ分野の発展に尽力された Prof. Dr. Rene Baigang (University of Kaiserslautern) と萩萩行正憲教授 (大阪大学) に授与された。また、

Best Student Presentation Award には、Ayaka Hori (Kyoto Univ.), "Sensing the Oxidative Stress in HeLa Cells by using Terahertz Complementary Split-Ring Resonators" および Tsubasa Okamoto (Kobe Univ.), "Development for ultrasensitive terahertz ESR spectroscopy of metal protein using a microcantilever" が選出された。

開催地の浜松市は、東に天竜川、西に浜名湖、南に遠州灘、北に赤石山脈と四方を川、湖、海、山に囲まれ、美しい自然と豊かな水産物、農産物に恵まれている。名産品に『浜名湖うなぎ』がある。歴史として、戦国時代に徳川家康が 17 年間浜松を居城として天下統一の足がかりを作り、後の江戸幕府においても老中などの要職が多く出た。今年に徳川家康薨去 400 年の記念の年でもある。また、浜松市はヤマハ創業者山葉寅楠、トヨタ創始者豊田佐吉、河合楽器創業者河合小市、スズキ創業者鈴木道雄、本田技研創業者本田宗一郎、テレビジョンの父高柳健次郎などを輩出しているものづくりのまちである。現代も浜松光宣言 2013 を発信し「浜松を光の先端都市」にすることを目指している。

エクスカージョンでは、浜松ホトニクス株式会社豊岡工場および徳川家康が祀られている久能山東照宮を見学した。

3. FTT2015 の講演と議論

FTT2015 の特別招待講演は、国際光年も記念して、Yasuharu Suematsu (Honorary Professor of Tokyo Institute of Technology) が、"Semiconductor Lasers for Optical Fiber Communications and Evolving Society" の講演を行った。世界に先駆けた通信用半導体レーザの研究とこれも世界初であった東京工業大学の 2 つのキャンパスをつなぐ光ファイバ線路を用いた光通信システムの開発が、現在の情報通信ネットワーク時代の実現をリードした話は、先を見据え、粘り強く研究開発を継続したこと、そのための強い意志が印象的であった。テラヘルツ技術においても、その発展・普及のために、研究開発のためのテストベッドが重要とのコメントをいただいた。

FTT2015 では、Table 2 に示したように、テラヘルツ技術の産業応用、バイオ医学応用、通信、材料と人工物質、分光・センシング、イメージング、天文・リモートセンシング、テラヘルツ発生、検出、デバイス・コンポーネントとシステムについて、講演と議論が行われた。

産業応用では、産業ロボットに搭載した反射 THz パルス測定装置を用いた、車部品の塗装膜厚の非破壊検査システムの報告があった (M. Sudo et al., Aisin Seiki Co., Ltd., Japan)。フェムト秒ファイバレーザを用いる装置によりロバストな実用システムを実現している。

バイオ医学応用では、反射 THz パルス測定による癌組織と正常部組織の識別において、表面から深い部分の検出を可能とするため、癌組織試料の切片を冷凍、THz 透過性の医療用ジェルを入れるなどする方法の有効性を示した (J.-H. Son, Univ. of Seoul, Korea)。また、小動物の癌組織の *in vivo* 測定の試みも行われた。

通信では、情報キオスクでの実用的な超高速データダウンロードを実現するため、InP MMIC を用いた 1 チップの 300 GHz 帯振幅偏移変調 (ASK) 受信器の開発 (T. Tajima et al., NTT Device Tech. Lab, Japan) や 120GHz 帯の近接無線通信リンクの実演 (K. Oogimoto et al., Osaka Univ., Japan) が行われている。

材料と人工物質では、フェムト秒レーザーの励起によってほとんどどんな物からも THz 波は発生するが、金属のナノロッドアレイからプラズモン共鳴による強い 2 次の非線形形で THz が発生することが報告された (K. Takano et al., Osaka Univ., Japan)。THz 強度は ZnTe による発生に匹敵する。

分光・センシングは引き続き活発に研究が行われており、分子結晶の THz 分光スペクトルの周期境界密度関数理論による研究 (M. Hayashi, National Taiwan Univ., Taiwan)、2 周波数の THz 波による 2 次元相関分光によるポリマーの結晶性、分子間相互作用と高次構造の検出 (H. Hoshina, Riken, Japan)、近接場 THz 分光イメージングによるタンパク質分子結晶の分子内吸収の測定 (A. Markelz, Univ. at Buffalo, U.S.A.)、THz 時間領域分光および FTIR を用いた THz 分光によるバイオ炭を多く含む土壌の肥沃性の研究 (R. A. Lewis, Univ. of Wollongong, Australia) などの報告があった。

イメージングでは、パルスレーザー励起光パラメトリック発振赤外光を用いた非線形光学結晶 (DAST) による差周波発生 (DFG) の高ピーク強度 THz 光源に、同じく非線形光学結晶 (DAST) を用いた THz 波の高効率な高周波変換で作られた赤外光の高感度検出を組み合わせた全室温動作のリアルタイムイメージング (H.

Minamide, Riken, Japan)、および非線形光学結晶 (GaP) を用いた差周波発生による高精度 CW-THz レーザを光源とした化学物質のイメージング (T. Sakamoto, T. Sasaki et al., National Inst. of Health Sci. and Shizuoka Univ., Japan) が実演されている。

天文・リモートセンシングでは、オンチップの極低温 (150 mK) 超伝導体キネティックインダクタンス検出器/導波路フィルタから構成される多チャンネルフィルタバンクを用いて、全サブミリ波帯 (326GHz-905GHz) を周波数分解能 500 でカバーするコンパクトな分光器の開発について紹介があった (A. Endo, Delft Univ. of Tech., Netherlands)。この分光器は深宇宙高赤方偏移天体分光マッピングに用いられる。

テラヘルツ発生では、室温動作の 1.92 THz 発振の共鳴トンネルダイオード (RTD) (M. Asada, Tokyo Inst. of Tech., Japan)、2 周波赤外量子カスケードレーザー内の差周波発生による高効率 THz 発生 (K. Fujita, Hamamatsu Photonics K.K., Japan) などが報告された。

検出では、CMOS マイクロエレクトロニクス技術により非冷却マイクロボロメータアレイの大フォーマット化、高性能化、良品率の向上が図られ、320×240 素子の THz ビデオカメラが作られるようになった (F. Simoens, CEA Leti-MINATEC, France)。リアルタイムのアクティブイメージングに用いることができる。

デバイス・コンポーネントとシステムでは、周期的なプラズモン構造を素子に導入することによって、従来の光伝導アンテナ (PCA) に比べ大幅に変換効率を向上させた THz エミッタ/ディテクタ (M. Jarrahi, Univ. of California Los Angeles, U.S.A.)、金属板を重ねた導波路によって作製した 0.5-2.5 THz の広いバンド幅で一定の位相偏移を持つアクロマティックな波長板 (M. Nagai et al., Osaka Univ. etc., Japan) の報告があった。

また、故萩行正憲教授の追悼として、電磁メタマテリアルのセッションが持たれた。 (廣本 宣久, 静岡大学)



Fig. 2 Group photo of participants at FTT 2015.