

テラヘルツテクノロジーフォーラム通信

Vol.8, No.1

「組織改編とテラテックが目指す方向性について」

戦略企画委員長 大谷知行（理化学研究所）

すでにご承知の通り、6月18日の総会での承認をへてテラヘルツテクノロジーフォーラムは新たな組織でスタートすることとなりました。本稿ではその趣旨について述べたいと思います。2003年のテラテックフォーラム創設から7年が経過し、「テラヘルツ」というキーワードを耳にする機会もだんだんと増えてきました。このように国内外の研究・開発のアクティビティが高まるなか、応用に近い場所に位置するテラテックフォーラムは、日本のテラヘルツ分野のハブ機関としてこの分野を盛り立てていくとともに、真のテラヘルツ波の利用・産業化に向けてさらに活動性を高めていく必要があります。とりわけ、昨今の厳しい経済状況の中でサポートを頂いている会員に対して、メリットが感じられるサービスを提供するとともに、それをテラヘルツ分野の活性化に繋げて行く必要性を強く感じています。そこで、テラテックフォーラムが担う役割をいま一度振り返り、その遂行に適した組織の再構成を行うことにしました。

そこでまず、幹事会に代わって重要な意思決定を行う会である理事会を発足させ、その決定プロセスや責任の所在を明確化しました。理事会は、会長、副会長、各委員会の委員長、理事から構成され、フォーラムの事業遂行に責任を持ちます。次に、アクティビティの活性化、役割分担の明確化、および、会員サービスの向上を目指して、学術情報、研究交流、戦略企画、総務の4つの委員会を置きました。それぞれの委員会の役割は以下の通りです。

- ・学術情報委員会… 国内外の情報収集・発信、ニュース発刊、HPの更新
- ・研究交流委員会… 各部門の活動を通じて研究会や産学交流事業を実施
- ・戦略企画委員会… 事業企画、将来構想（ロードマップを含む）の策定
- ・総務委員会… その他、総務に関する事項

さらに、研究交流委員会のもとに様々な活動のコンテンツを創出する5つの部門を設けました。これにより、各部門がコンテンツを創出して研究交流委員会がそれをまとめ、学術情報委員会が会員や社会に情報発信するとともに、中・長期的な戦略や企画を戦略企画委員会が議論・策定していくことで、短期的なスパンから長期的な戦略までをカバーしていくことを目指しています。

むろんまだまだ課題もあります。例えば、特定の委員や部門の構成員に負担が集中しないよう、役員・委員等の任期について検討する必要があります。また、委員会や部門数が増えたことにより、多数の方々に関わって頂けるようになった反面、会合数の増加のために会議開催費も増加しており、フォーラムの規模と組織のバランスをどう取るかも検討していく必要があります。今後も種々の課題に対して試行錯誤をしながら、会員の皆さんと共に、よりよいテラテクフォーラムを目指していきたいと考えております。忌憚のないご意見とともに、変わらぬご支援ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

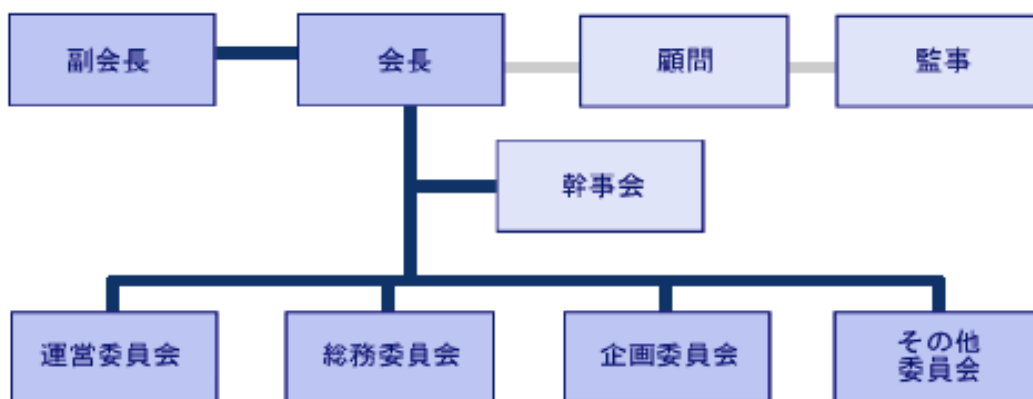


図1. 平成21年度までの組織

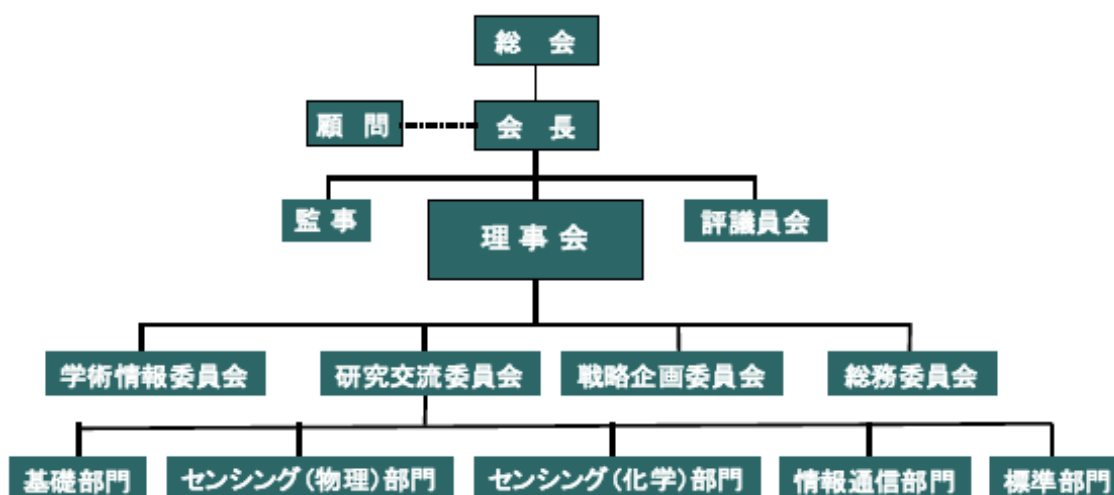


図2. 平成22年度の組織

プリズム結合型チェレンコフ位相整合による 単色テラヘルツ波差周波発生

名古屋大学工学研究科 水津 光司 (suizu@nuee.nagoya-u.ac.jp)

1. はじめに

非線形光学効果を利用すると単色でチューナブルな高パルスエネルギーのテラヘルツ発生が可能で
す。ただし、非線形光学効果による波長変換を高効率に行うには位相整合条件を満たす事が大前提と
なり、角度位相整合であれ複屈折位相整合であれ、媒質となる非線形光学結晶そのものの性質に完全
に依存する事から、喩え非線形定数が大きな結晶が開発されたとしても必ずしも所望の発生波長域で
位相整合条件が満たされる訳ではありませんでした。また、多くの非線形光学結晶がテラヘルツ帯で
大きな吸収を有する事から、折角発生させたテラヘルツが結晶に吸収されてしまう事も、高効率なテ
ラヘルツ発生の大きな阻害要因となっていました。一方、擬位相整合の技術を用いる事で、位相整
合を満たしつつ表面発生が可能となりますが、この場合は特定の周波数域でしか位相整合を満たす事
が出来ないので、チューニングレンジを犠牲にするという結果になります。これらの問題を克服する
ための新しい方式として、チェレンコフ位相整合に着目し、非線形光学結晶とプリズムとの結合によ
って任意の周波数域で擬似的に位相整合を満たす取り組みを行っています。チェレンコフ位相整合で
はコリニア入射した励起 2 波長光の進行方向に対して有限の角度を有した方向にテラヘルツ波が放射
される為、結晶と空気の界面でテラヘルツ波発生を行えば表面発生が可能になります。

2. プリズム結合型チェレンコフ位相整合

周波数差がテラヘルツ波に相当する励起 2 波長光をコリニアに結晶に入射すると、2 波長の位相差に
応じた空間分布を持つ 2 次の非線形分極が結晶中に誘起されます。この非線形分極は励起 2 波長の差
周波となる周波数を有し、各点での非線形分極の位相に応じたタイミングでテラヘルツ波を放射して
います。同位相でテラヘルツ波を放射する各点の間隔は励起 2 波長の位相差に依存しコヒーレンス長
 L_c の 2 倍の値を取ります。一方、非線形結晶のテラヘルツ帯での屈折率が光波帯での屈折率よりも大
きい場合、結晶内で発生したテラヘルツ波の波長は $2L_c$ よりも短くなります。結果として図 1 に示すよ
うな方向に伝播するテラヘルツ波は同位相となります。この時の放射角は(1)式で表す事ができます。

$$\cos \theta_{\text{crystal}} = \frac{\lambda_{\text{THz}} / n_{\text{THz}}}{2L_c} = \frac{\lambda_{\text{THz}} / n_{\text{THz}}}{\lambda_1 \lambda_2 / (n_1 \lambda_2 - n_2 \lambda_1)} \cong \frac{n_{\text{opt}}}{n_{\text{THz}}} \quad (1)$$

各結晶内で発生したチェレンコフ放射テラヘルツ
は(1)式の方法に伝播し、結晶と空気の界面に到達し
ます。この時、空気界面の場合には全反射が生じてテ
ラヘルツを結晶外に取り出せません。一方、図 1 の様
に、結晶にプリズム型に成形したシリコンやゲルマニ
ウムを接触させた場合には、全反射を回避してテラヘ
ルツ波を取り出すことが可能となります。この状況
でのプリズムも含めた上での結晶外部のチェレンコフ放射角を計算すると(2)式が求まります。

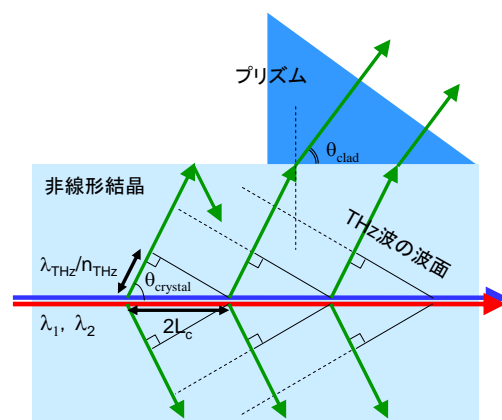


図 1. チェレンコフ位相整合とプリズム取り出しの模式図.

$$\cos \theta_{clad} = \frac{n_{THz}}{n_{clad}} \frac{\lambda_{THz} / n_{THz}}{\lambda_1 \lambda_2 / (n_1 \lambda_2 - n_2 \lambda_1)} = \frac{\lambda_{THz} / n_{clad}}{\lambda_1 \lambda_2 / (n_1 \lambda_2 - n_2 \lambda_1)} \cong \frac{n_{opt}}{n_{clad}} \quad (2)$$

即ち、プリズムと結合した場合のチェレンコフ放射角は、非線形光学結晶の光波帯における屈折率 n_{opt} とプリズム材のテラヘルツ帯における屈折率 n_{clad} のみに依存する事になり、非線形光学結晶のテラヘルツ帯における屈折率 n_{THz} は無視出来る事になります。

この意義は非常に大きく、結晶内ではチェレンコフ放射が起きない材料、つまり $n_{THz} < n_{opt}$ となる材料であっても、結晶外部に適切なプリズム結合器を設置する事でテラヘルツを発生させる事が可能となります。これはテラヘルツ波発生用の結晶選定における屈折率分散の制約を事実上ほぼ完全に解消出来る事を意味し、位相整合の関係から過去用いる事が出来なかった結晶も本方式によりテラヘルツ波発生が可能となる事を示唆します。また同時に、従来では位相整合の問題から励起波長の制限によって結晶ごとに適切な励起光源を構築する必要がありましたが、同様の理由から小型化や高出力化などの目的に応じて適切な励起光源の選択を可能とします。さらに表面発生方式である事から、結晶の吸収の問題を抑制可能で、テラヘルツ波帯で透明で無い為に使用が見送られてきた結晶も使用可能となります。

有機非線形光学結晶 DAST を用いた場合のテラヘルツ波発生例を図 2 に示します。励起光は短波長側の波長を $\lambda_1=1300-1450$ nm と固定し、長波長側の波長を走引してテラヘルツを発生させています。DAST 結晶内での位相整合を考えた場合、励起波長 1300 nm ではほとんどの周波数域でチェレンコフ位相整合条件が満たされず、本来チェレンコフ位相整合

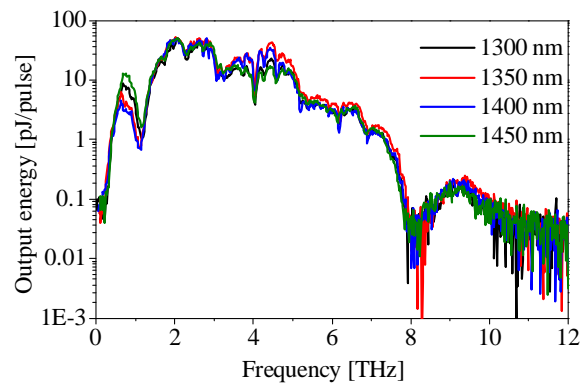


図 2. DAST 結晶によるテラヘルツ発生例。

合テラヘルツ波は発生しませんが、プリズム結合器を用いる事でどの励起波長でも同様のスペクトル形状が得られています。また、DAST の強い吸収線の存在する 1.1 THz の発生はコリニア位相整合では困難であり、1 THz 以下の領域では励起波長を 1000 nm 以下に設定しなければなりません。いずれもテラヘルツ発生が確認出来ました。このように、プリズム結合チェレンコフ位相整合の効力が実験的に確認出来たと言えます。

3. むすび

ここで紹介させて頂きましたプリズム結合型チェレンコフ位相整合は、ナノ秒励起での単色テラヘルツ光源を前提にしておりますが、フェムト秒励起の場合でも同様な議論が可能であります。また、非線形光学効果は励起光のパワー密度に依存した現象である為、過去の研究においては大型レーザーが使用されて来ましたが、導波路化を行う事で励起光源への要求を大きく低減する事が可能になります。将来的には、小型化で安価なテラヘルツ光源として有力な手段になり得ると考えています。

参考文献

- 1) K. Suizu, T. Shibuya, T. Akiba, T. Tutui, C. Otani, and K. Kawase, *Optics Express*, **16**, pp. 7493-7498 (2008).
- 2) T. Shibuya, T. Tsutsui, K. Suizu, T. Akiba, and K. Kawase, *Applied Physics Express*, **2**, 032302 (2009).
- 3) K. Suizu, K. Koketsu, T. Shibuya, T. Tsutsui, T. Akiba, and K. Kawase, *Optics Express*, **17**, pp. 6676-6681 (2009).
- 4) K. Suizu, T. Shibuya, H. Uchida, and K. Kawase, *Optics Express*, **18**, pp. 3338-3344 (2010).
- 5) T. Shibuya, K. Suizu, and K. Kawase, *Appl. Phys. Express*, **3**, 082201, (2010).

研究室紹介

静岡大学創造科学技術大学院 廣本研究室

(URL <http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~dnhirom/>)

廣本研究室は、浜松キャンパス(浜松市中区)にあります。廣本が、情報通信研究機構から静岡大学に移って5年の歴史になります。昨年12月から武田助教が加わりました。

廣本研究室の研究テーマは、テラヘルツセンシング技術と光散乱計測技術です。テラヘルツの研究では、スイッチを入れると4Kまで冷える機械式冷却クライオスタットと圧縮型Ge:Gaなどの光伝導検出器を組み合わせ、室温背景放射限界の検出能を持つテラヘルツ検出システムを開発しました(図1)。また、プラスチック爆薬検知の非破壊検査装置を実現するため、可搬の反射型テラヘルツ時間領域分光器を開発しました(図2)。光散乱計測の研究では、アスベストリアルタイムモニタの開発を続けています。

廣本研究室のモットーは、図3の写真からも分かるように、少数精鋭です。産学官のいろいろの分野で活躍できる優秀な人材を育てたいと厳しい教育を行っています。

鰻以外はあまり知られていないかも知れませんが、浜松は日本酒と餃子が名物です。研究室の最重要行事は、例年10月末に催される酒造(花の舞)の新酒味見会となっています。

図1. 4K 冷凍機冷却高感度 THz 検出器クライオスタット

図2. 反射テラヘルツ時間領域分光装置

図3. 廣本研究室のメンバー。左から藤原(アシスタント)、青木(D2)、廣本(教授)、武田(助教)、トリパティ(ポスドク)、平野(M1)。(写真には載っていませんが、もう一人、橋口(社会人D)がいます。)

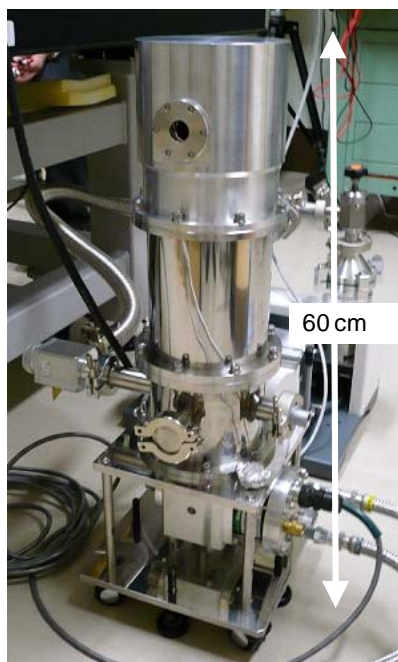


図1

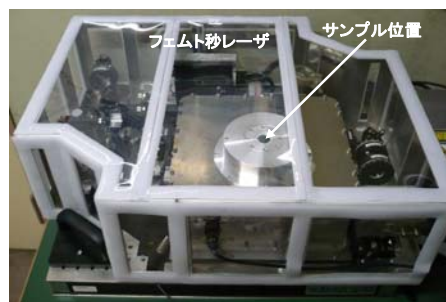


図2

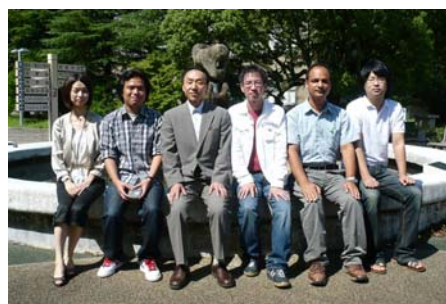


図3

テラヘルツ関連会議報告

「テラヘルツ分光計測とイメージング」研究討論会

本研究討論会は、平成 22 年度第一回テラヘルツ電磁波技術研究会および平成 22 年度第 1 回テラヘルツ応用システム研究会の共催研究討論会（テラヘルツテクノロジーフォーラムも協賛）として、2010 年 8 月 5 日（木）午後から 8 月 6 日（金）の 1 日半、福井県の九頭竜川河口、名勝「東尋坊」にほど近い三国観光ホテルにて開催された。「テラヘルツ分光計測とイメージング」をテーマとしてチュートリアル講演 3 件、招待講演 6 件、及び一般講演 6 件の発表が行われた。プログラム (<http://fir.u-fukui.ac.jp/toronkai/>) をご覧いただければ分かるように、チュートリアル講演、招待講演の講師は第 1 線で活躍されておられる方々であり、半導体や強相関電子系などの固体 THz 分光、THz 帯コヒーレントラマン分光、高ピーク強度 THz 波発生とその非線形分光への応用、Cherenkov 位相整合 DFG、THz 量子カスケードレーザーとそのイメージング応用、レーザー THz エミッション顕微鏡、など最近注目を集めている話題について詳細な講演が行われた。参加者は講師、関係者も含め 45 名で、なごやかな雰囲気のもと、活発な討論が行われた。討論会初日は会場のある坂井市三国町がその日全国最高気温である 38.6 度 C を記録したこともあって、大変印象に残る討論会となった。

研究交流委員長 谷 正彦（福井大学）

IRMMW-THz 2010

The 35th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz2010) が 2010 年 9 月 5 日～10 日、イタリアのローマで開催された。赤外線からテラヘルツ波、ミリ波までにいたる電磁波の発生・伝播・検出、デバイスから応用までの広い領域の研究を対象としているが、近年 THz Electronics 国際会議との合同開催となったため、THz 波関連の発表が増えている。会議での発表件数は 690（おそらく過去最多）、うち 122 件が日本からのものであり、国別発表件数では日本からのものが最も多かった。Plenary 講演を除き、会場が 6 つに分かれたパラレルセッションであったため、全体を把握することが難しかったが、例年に比べるとテラヘルツ検出器関連、特に THz カメラとイメージングに関する発表が多いように思われた。Self-Mixing と呼ばれる原理を用いた Si-CMOS 系の THz イメージング素子が注目を集めていた。またメタマテリアルに関する発表も増えた。ドイツの Havenith らのグループを中心にタンパク質などの生体高分子と水分子の相互作用（水和）について THz 分光を用いた興味深い発表があり、THz 波による生体分子分光の可能性をうかがわせるものであった。イタリアでの開催ということもあったのか、テラヘルツ波を含む電磁波を使った文化財の調査、分析に関するセッションが設けられていたのは大変興味深い。興味深い研究発表が多数あったが、報告者にとって非常に印象深かったものを以下に 2 つだけ紹介させていただく。

THz パルス波の発生と検出に用いられる光伝導アンテナは、現在、低温成長（LTG）GaAs 基板を用いたものが主流であるが、バンドギャップが約 1.4eV であるため、通信波長帯（1.55 μ m, 1.3 μ m な

ど) のフェムト秒レーザーを励起光源として用いることができない。このためバンドギャップの小さな InGaAs 系の基板を用いたものが近年開発されているが、検出器として用いた場合は 800nm 帯で LTG-GaAs 基板の光伝導アンテナを用いた場合に比べ、まだ十分な信号対雑音比 (SNR) が得られていない。広島大の角屋らのグループは、LTG-GaAs の光伝導度が 1.55 μm 光の光強度に対して非線形に増加 (約 1.35 乗に比例) することを利用し、光伝導ギャップ幅を従来の 5 μm から 2 μm 程度にまで狭くし、プローブ光の集光強度を上げることで、LTG-GaAs の光伝導アンテナを 1.55 μm のフェムト秒レーザーで励起し、高い SNR(プローブパワー13.5mW で振幅スペクトルのダイナミックレンジ約 2.5 桁)で THz パルス波形の検出に成功した (Tu-P.18)。通常、光強度の増加にしたがって、光伝導アンテナ検出器のノイズレベルも増加するが、この手法ではほとんどノイズレベルが増加しないとのことである。今後、ギャップ幅や集光光学系を最適化することでさらに検出効率が改善されることが予想され、フェムト秒ファイバーレーザーでテラヘルツ時間領域分光システムを構築する有望な手法ではないかと考えられる。

CalTech の Siegel は、”Can Neurons Sense Millimeter Waves?”と題する講演 (Th-B1.1) でミリ波が神経細胞に与える影響について興味深い報告をしている。安全基準である 1mW/cm² よりもずっと低い 1 $\mu\text{W/cm}^2$ 以下の弱い 60GHz の電磁波照射でラットの神経細胞の活動、すなわち電気パルスの「発火」が抑制されることを見出している。Siegel は低レベルのミリ波照射で細胞膜のイオンチャネルが開き神経細胞の「発火」が抑制されるのではないかと推測している。ミリ波による細胞ひいては生体活動の制御の可能性を示唆しており大変興味深い。今後の研究の進展に注目したい。

本会議については清水直文氏 (NTT) が (財) 光産業技術振興協会の国際会議速報 WEB サイト http://www.oitda.or.jp/sms/cofrep_s.html (ただし閲覧には協会の会員登録が必要) において詳細な報告を行っておられるので、ぜひご一読いただきたい。

今回の IRMMW-THz 2011 は、2011 年 10 月 2~7 日に米国ヒューストンにて開催される予定である (会議Webページ : <http://www.irmmw-thz2011.org/>)。

研究交流委員長 谷 正彦 (福井大学)

第 35 回赤外線ミリ波—テラヘルツ波合同国際会議 (35th Conference on Infrared and Millimeter and Terahertz Waves, IRMMW-THz 2010) は、2010 年 9 月 5 日から 10 日までの 6 日間、イタリア・ローマ・Angelicum 大学において開催された。会場はローマの旧市街の中心部にあり、歴史的な建造物の立ち並ぶエリアに調和した趣のある大学の講堂および講義室において講演が、開放的な雰囲気の中庭にてポスター公演が行われた。会議は、5 日に本会議の基礎に関するレクチャー講演およびウェルカムパーティーが、6 日から 10 日は朝にプレナリー講演、その後 6 つのセッションに分かれ、それぞれにおいて基調講演および招待講演に続いて一般講演、夕方よりポスター講演が行われた。講演件数は合わせて約 740 件と、本会議過去最高件数の講演が行われ、活発な議論が交わされた。

プレナリー講演では、今年はレーザー誕生より 50 年の節目に当たることから、会議の初めにレーザー誕生より 50 年の歴史に関する講演が行われ、続いて自由電子レーザーおよび量子カスケードレーザーに関する講演、翌日以降は、大気および宇宙観測やミリ波技術、物性研究、医療応用、文化財保存

等に関する講演が行われた。各セッションにおいては、従来通り、基礎研究課題である光源および検出器関連の講演が多数行われたが、新しい試みとして、ドイツ・PTBのグループによってテラヘルツ帯域のパワー標準に関する提案が行われ、議論された。また、新しいイメージング手法として、THz-TDSによる多光源および多受光素子によるイメージング手法がデンマーク・DTUのJepsen教授らによって提案された。また、応用研究として、「水」に関する研究が多く発表され、その関連分野は、水分子や液体の水、生体組織中の水分など多岐にわたり、活発な議論が交わされた。また、開催国のイタリアらしく文化財保存に関するセッションが初めて設けられ、絵画や壁画等の非破壊検査などへの応用が議論され、非常に印象的だった。

一方、企業展示において、従来のTHz-TDSシステムの展示のみならず、非常に小型なTHz-TDSシステムや差周波混合方式のテラヘルツ帯分光システム、熱に変換してCCDで見るタイプのイメージング検出器、高効率な導波管など、製品のバラエティが豊かになってきている印象であった。

なお、会議の中日には、映画の舞台にもなったブランカッチョ宮殿にてBanquetが行われ、翌日には、ティレニア海沿いの港湾都市であるOstia Anticaへのツアーが行われ、古代ローマ繁栄の名残を垣間見ることができた。

今回の本会議は、2011年10月2日から7日まで、アメリカ合衆国のヒューストンにて開催される予定である。

理化学研究所 林伸一郎

第71回応用物理学会学術講演会（長崎大学）

2010年9月15-17日にかけて、テラヘルツ全般・非線形光学のセッションにおいて、テラヘルツ関連の発表は46件あった。その内容を大まかに分類すると、テラヘルツの発生関連が26件、応用計測が8件、分光関連が5件、素子関連が4件、検出関連が3件、であった。発生関連が半数以上を占めるが、そのなかでも非線形光学結晶を用いたものが13件ある。

TDSなどの技術が長年にわたってテラヘルツ技術の中心に位置していたのに比べて、非線形光学結晶を用いたテラヘルツ発生はマイノリティーであったが、東北大・理研の伊藤・南出ラボを中心とした地道な研究開発が実を結びつつあるように感じる。また、MITのNelsonらがLiNbO₃結晶を再生増幅器付きのチタンサファイアレーザーで励起するテラヘルツパラメトリック発生により超高強度パルス発生に成功し、さらに京大の田中教授らとその新光源を活用した新奇な分光・イメージング分野を開拓しつつあることも非線形光学効果が見直される契機となったようにも思う。

テラヘルツ分野に限らない話であるが、光源開発が華やかでもてはやされがちであるのに対し、検出系の研究はその重要性にもかかわらず、地味で目立ちにくい傾向がある。テラヘルツ業界の今後にとって、実用的な光源・検出システムの開発は極めて重要であり、検出関連の研究がさらに盛り上がるのが望まれる。NEC小田氏らが開発中の高感度テラヘルツカメラや、パナソニックが最近発表した高感度Ga_N検出器などに期待するところ大である。

学術情報委員長 川瀬 晃道（名古屋大学）

国内会議予定

- テラヘルツテクノロジーフォーラム 平成 22 年度 第 1 回 技術検討会
2010 年 10 月 28 日 (木) 神戸大学 瀧川記念学術交流会館
会議 Web ページ : <http://www.terahertzjapan.com/event/gijutsukentoukai.html>
- テラヘルツテクノロジーフォーラム ビジネスセミナー
2011 年 1 月 12 日(水) (詳細未定)
- テラヘルツテクノロジーフォーラム 平成 22 年度 第 2 回 技術検討会
2011 年 1 月 13 日(木) 理化学研究所 (詳細未定)

国際会議予定

- 第3回日韓ワークショップ
12 月に韓国での開催を予定しております。
- OTST 2011(International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology 2011)
March 13 - 17, 2011, Santa Barbara, CA, USA
<http://otst2011.itst.ucsb.edu/home.html>
- CLEO EUROPE-EQEC 2011
May 22-26, 2011, Munich, Germany
<http://www.cleoeurope.org/>
- IRMMW-THz 2011
October 2-7, 2011, Houston, Texas, USA
<http://www.irmmw-thz2011.org>

テラヘルツテクノロジーフォーラム通信 Vol.8 No.1 400 部 無料

発行日 2010 年 10 月 20 日

企画・編集 川瀬 晃道 (名古屋大学)

電子メール : kawase@nuee.nagoya-u.ac.jp

発行

テラヘルツテクノロジーフォーラム事務局

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

京都大学大学院理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室

Tel /Fax 075-753-3757

E-mail: teratech@terahertzjapan.com

<http://www.terahertzjapan.com>