

欧州におけるテラヘルツ技術の研究開発の動向調査

(概要)

報告書

情報通信研究機構 欧州連携センター

平成 25 年 11 月 29 日

第一章では、欧州連合（EU）の第七次枠組計画（FP7）における研究助成及び研究開発動向を調査した。テラヘルツに関する研究プロジェクトは、特にマイクロ電子部品や光学技術に関する「課題 3：部品、システム、工学」（あるいは「部品、システムへの代替えパス」という名称）や、未来新興技術（FET：Futur Emerging Technologies）を募集している「課題 8」や「課題 9」で研究が助成されることが多い。採用基準や予算を定めた作業プログラムには、2009-2010 年度作業プログラムからテラヘルツという言葉が登場し始め、関心が高まりつつあることが伺える。

FP7 においては、電波天文学部門のプロジェクト（「TERACOMP」：プロジェクト名）を含め、多くのテラヘルツ関連のプロジェクトが実施されている。テラヘルツ向けの量子カスケードレーザ（「TERACOMB」）、超高速量子物理学（「ULTRAPHASE」）、半導体トランジスタ（「THzPowerElectronics」）、新素材グラフェンを使用した電子端末（「GRADE」）や、サブテラヘルツ帯での無線通信技術（「iPHOS」）、500GHz 帯及び 700GHz 帯向けの SiGe HBTs 技術（「DOTFIVE」、「DOTSEVEN」）、芸術作品の非破壊検査向けのテラヘルツカメラ（「INSIDDE」）、医療・生物・化学分析でのテラヘルツの利用（「ULTRA」）等がある。また、FP7 では、ICT 部門だけでなく、セキュリティ部門からも、テラヘルツやミリ波を利用するボディアスキャナ技術の開発プロジェクト等に助成されている（「TERASCREEN」、「XP-DITE」、「IMSK」）。

第二章では、欧州主要国（英独仏）における研究助成機関の動向について記す。英国の工学・物理科学研究評議会、ドイツの連邦教育研究省とドイツ研究基金、フランスの国立研究機構が、各国で ICT 部門を含めた研究開発助成を実施しており、テラヘルツ技術の研究プロジェクトも数多く進められている。

特に、注目されるのは、ドイツ連邦教育研究省が助成している「ミリリンク」プロジェクトである。同プロジェクトには、フラウンホーファー・応用固体状態物理学研究所 (IAF)、カールスルーエ技術研究院 (KIT)、シーメンス、Kathrein、ラジオメーターフィジックスが参加しており、電波リンクをブロードバンド光通信に統合し、電波と光通信間のシームレスな通信を可能にすることを目標としている。このため、同プロジェクトでは、200~280GHz 帯で大量のデータ転送を可能にする超小型電子回路を開発しており、2013 年 5 月には、伝送実験を 1km 離れた高層ビルの間で行い、240GHz 帯で最大 40Gbit/s のデータ転送に成功した。ついで、2013 年 10 月には、研究施設内で実験を行い、237.5GHz 帯を利用し、20m の距離で最大 100Gbit/s のデータ転送に成功した。

第三章では、英国、ドイツ、フランス、ベルギーにおける公的研究機関のテラヘルツ技術の研究開発体制及び研究活動動向について記す。

英国では、英国の 16 大学、5 つの国立研究所、13 の企業がテラヘルツに関連する研究や製品化を行っていると言われ、研究開発及び商用化が積極的に行われている。英国立物理研究所 (NPL) では、テラヘルツ波の計測、イメージング技術、セキュリティと生物・医療への応用等、包括的な研究が実施されている。大学機関では、インペリアル・カレッジロンドン大学に、2012 年 2 月にテラヘルツ科学・工学センターが創設された。これは大学内の複数の学科でばらばらに実施されていたテラヘルツ研究を統合する目的を持ち、英国におけるテラヘルツ研究への関心の度合いが伺える出来事である。同センターでは、テラヘルツアプリケーション向けの新素材と電磁波測定の研究、最先端機能素材とマイクロ/ナノ製造処理技術に基づくパッシブな部品とアクティブな端末の研究、生物光学、セキュリティ、国防部門向けに電気通信と電磁波センシングの新アプリケー

ションの開拓、EMC・ミリ波とテラヘルツ光学・端末/回路シミュレーションと計量学の学際的な教育と研修を実施しており、研究者の育成も含め、包括的な研究活動が実施されている。なお、公的機関ではないが、英国のテラビュー社は、テラヘルツの発生源と検出器の製品化やテラヘルツ光の応用研究を行い、特に、セキュリティ、医薬品、自動車、ソーラーパネル、医療、絵画や手書き本等の非破壊検査向けに応用開発を実施しており、研究機関にテラヘルツの機器を供給している。

ドイツでも非常に多くの機関でテラヘルツ技術の研究開発が実施されている。物理工学研究所 (PTB) では、テラヘルツの計測研究や国家標準の策定活動を実施している。同研究所の高周波計測技術作業グループ (WG2.22) では、110 GHz を上限とするパワー、減衰量、インピーダンスに関する標準化活動が実施されている。また、PTB はブラウンシュバイク工科大学とテラヘルツ通信研究所という機関を設立し、次世代高速無線通信技術の研究を実施している。マイクロ波と光電子工学の研究開発を主に実施しているフェルディナンド・ブラウン高周波研究所 (FBH) でも、テラヘルツ技術の研究が実施されており、イメージングシステムや 300~500GHz 帯の無線通信システムの研究開発が実施されている。マックスプランク・ポリマーリサーチ研究所では、テラヘルツの研究に関して二つのグループが設置されており、第一のグループでは分光法、第二のグループでは、テラヘルツのセンシングの研究及び光回線とテラヘルツを組み合わせる研究を実施している。以上の他、フラウンホーファー・応用固体物理研究所 (IAF) とカールスルーエ工科院 (KIT) は、先に触れた「ミリリンク」プロジェクトを実施している。

フランスでも複数の機関がテラヘルツの研究を実施している。ポリテクニク工科大学の光学・生物科学研究所で、テラヘルツを利用する生物イメージングの研究開発を実

施している。パリ第七大学の素材・量子現象研究所では、カスケードレーザ、テラヘルツの発生と検出、テラヘルツ技術と電気通信技術の融合をテーマに研究を行っている。モンペリエ第二大学では、テラヘルツ技術の研究が20年以上に渡って実施されており、フランスの国内外の組織が参加するテラヘルツ研究グループネットワーク、GDR 2987「THz 周波数帯の半導体ソースと検出器」を設立している。ボルドー第一大学に設置されたアキテーヌ波動・物質研究所 (LOMA) では、テラヘルツの光源、テラヘルツイメージング技術、その他、分光法に関する基礎研究が実施されている。特に、THz-TDSの研究を実施しており、150GHz～4THz 帯を利用している。電子情報技術研究所 (LETI) では、テラヘルツに関して、特にイメージング技術に関して、赤外線や可視光線、ミリ波、X 線とともに研究開発が実施されている

ベルギーでは、IMEC と ETRO (ブリュッセル自由大学工学部電子工学・情報学科) がテラヘルツを積極的に研究している。ETRO では特に応用研究を実施している。両機関は提携し、BISENS (ブリュッセル統合センサー研究所) という共同研究組織を創設し、ミリ波及びテラヘルツ (30GHz～3THz 帯) の統合センサーの研究を実施している。

以上のように、欧州諸国ではテラヘルツ技術に関する様々な研究が実施されているが、無線通信への応用に関しては、ドイツの研究機関 (ミリリンクプロジェクト、ブラウンシュバイク工科大学、FBH、マックスプランク・ポリマーリサーチ研究所) で多くの研究が実施されている。

第四章には、2013年10月初頭にドイツのニュルンベルクで開催された欧州マイクロ波週間 (EuMW) におけるテラヘルツ技術のワークショップの視察レポートを収録した。このワークショップには、欧州を中心として、日本も含めて世界各国からテラヘルツ技

術の研究者が集まり、それぞれ研究発表を行った。欧州のテラヘルツ技術に関しては、テラヘルツのイメージング・レーダ（スペイン・マドリッド工科大学）、MMIC 関連（スウェーデン・チャールマス工科大学とフェルディナンド・ブラウン高周波研究所（FBH））、テラヘルツセンシングとイメージング（独ゲーテ大学）、240GHz 帯での二点間高速通信（シュツットガルト大学：ミリリンクプロジェクトの延長）、人体セキュリティスキャナー（スペイン・アルファ・イメージング社）、航空部品の検査（ベルギー・王立軍事大学）、水分中のバイオセンシング（ベルギー・ETRO）の発表があった。

第五章では、欧州におけるテラヘルツ帯の利用割当とテラヘルツ技術の標準化動向について記す。利用割当に関しては、テラヘルツ帯の一部（275GHz～3000GHz）の世界的な利用割当はまだ決定していない。欧州郵便・電気通信主管庁会議（CEPT）の欧州通信庁（ECO）によれば、現在、国際電気通信連合の電波部門（ITU-R）の WP 1A（Working Party 1A）は、275GHz – 1000GHz 範囲で働く能動業務の技術・運用の諸特性を研究しており、新しい ITU-R SM 報告書「THz トレンド」（「275GHz 以上の周波数帯の能動業務に関する技術トレンド」）の予備草稿へ向けた作業資料と 275GHz – 1000GHz 範囲で働く能動業務の技術・運用の諸特性に関する新研究課題案草稿への寄与を検討し、その草稿を準備している。2012 年度世界電波通信会議（WRC-12）では、国際周波数分配の脚注 5.565 が改訂された。受動業務の利用は 3000GHz 帯まで拡大され、275 – 3000GHz 範囲の受動業務による利用は、能動業務による利用を妨げてはいけず、また、能動業務により 275 – 1000GHz 範囲の利用を望む主管庁は、有害な混信から受動業務を保護するため、実行可能なあらゆる措置を取ることを要請される、と改訂された。標準化活動に関しては、例えば、ドイツでは国家標準を PTB で策定中であるが、欧州電気通信標準

化機構 (ETSI) で、欧州で統一的な標準の策定はまだ行われていないようである。欧州の研究者にヒアリング調査を行い、標準化に関する質問を投げかけたが、「知らない」、もしくは「欧州で統一的な動きはない」と答える研究者ばかりであり、有効な回答は得られていない。

また、欧州では「THzブリッジ (THz-Bridge)」(2001年2月～2004年1月:36ヶ月) というプロジェクトが実施され、テラヘルツ波を利用した生体システムの研究を実施するとともに、医療イメージングへの応用を考えて、テラヘルツ波の生体への曝露影響についての研究も行っている。

本調査では、欧州の研究者に対してヒアリング調査を実施し、研究開発現場の生の声を聞き、インターネットや刊行物による公開情報を利用した調査では知ることが難しい事情について質問した。

1) 「テラヘルツ波の定義は何か」という質問に対しては、ほとんどの研究者が 100GHz～10THz 帯と考えているが、中には 300GHz～3THz と回答した研究者もいる (独 PTB ベルリンの研究者の一人)。

2) 「ミリ波や赤外線等とテラヘルツを比較した際のメリット、デメリットは何か」という質問に対しては、以下の回答をいただいた。

- ・ 独 PTB ブラウンシュバイクの研究者：テラヘルツの長所：帯域、解像度。短所：利用するのに必要なパワーが確保できないこと、自由な空間の伝搬ロスが大きいこと、信号に対するノイズの割合が大きいこと、技術的な問題
- ・ ベルギー・ETRO の研究者：「長所は、透過度と解像度。透過度と解像度の関係は相反しており、赤外線は解像度が高いが透過度がほとんどない一方、ミリ波は透過度が高いが解像度がほとんどなく、テラヘルツ波はその間に位置し、透過度と解像度のバランスが取れている」

3)「アメリカでは軍事部門でテラヘルツ研究に助成されていると言われることが多いが、欧州の研究開発の特徴、強みとは何か」という質問に対しては、以下の回答をいただいた。

- ・ 独 PTB ベルリンの研究者：「欧州での推進力は大学、小企業、スピンオフ企業」
- ・ 独 FBH の研究者：「米国は DARPA 等の国防関係から多くの研究費が来る。一方、欧州では研究開発を所管する省庁から助成されることが多く、市民向けのアプリケーションの開発に特色があり、国防には費やさない」
- ・ 独マックスプランク・ポリマーリサーチ研究所の研究者：「欧州で THz 研究が軍事利用と関係して実施されていると聞いたことがない。私の意見では、THz 放射を利用する基礎物理学は欧州の THz 研究の強みの 1 つであり、これは天文学から超高速光電子工学も含む。この他に、欧州の研究の強みの 1 つは、センシングと計量学である」
- ・ ベルギー・ETRO の研究者：「欧州の強みは、①TDS（時間領域分光法）、②量子カスケードレーザ、③ボディアスキャナ（100～500GHz）、④宇宙関係（ESA の存在が大きい）」

欧州におけるテラヘルツ研究の強みに関しては、研究者毎に様々な回答が得られたが、軍事部門での研究開発は積極的ではないことが分かる。

以上の他、テラヘルツの通信技術への応用としては、マックスプランク・ポリマーリサーチ研究所の研究員がピコセル、データセンターへの利用を見込んでいると回答いただいた。以下に引用する。

- ・ 「テラヘルツ波はピコセルに有用であり、データセンターにも活用しようとしている。現在のサーバ・ラックの後部は、光ファイバ回線がたくさん張りめぐらされている状態だが、これを、テラヘルツ波を用いてワイヤレスにしたい。テラヘルツ波は近距離では大変有効なので、サーバ・ラック間でテラビット級を実現し、グーグル、イーベイ、アマゾン等に使ってもらいたいと考えている。しかし、彼らは研究費を支援してくれる訳でなく、実現したら購入しようという方針なので、

研究協力の相手を探している。ポータブルなデータ・キオスクを実現し、映画や DVD のダウンロードに有効である」