安全安心のための赤外線技術

安全・安心のための赤外線技術調査専門委員会編

目　　次

1.　はじめに　3
2.　要素技術　3
2.1　光源および分光技術　3
2.1.1　テラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)　3
2.1.2　固有ジョセフソン発振器　5
2.1.3　量子カスケードレーザ　8
2.1.4　超高周波ジャイロトロン　9
2.1.5　自由電子レーザ　12
2.1.6　光励起レーザ　15
2.2　センサ技術　18
2.2.1　中間赤外量子検出器　18
2.2.2　遠赤外・テラヘルツ検出器　20
2.2.3　アンテナ結合型検出器　22
2.2.4　非冷却赤外線イメージセンサ　24
2.2.5　評価・校正　27
2.3　分析技術　30
2.3.1　赤外分析装置　30
2.3.2　分析機器の最新技術動向　31
3.　応用技術　34
3.1　非破壊検査（道路トンネル覆工検査の事例）　34
3.2　セキュリティ（THz 波応用）　36
3.3　赤外線イメージセンサの防衛装備品への応用　38
3.4　医療　41
3.4.1　生体の断層映像化　41
3.4.2　無侵襲血糖値センサ　43
3.5　環境　46
3.5.1　都市・建築の生活環境における熱放射環境評価　46
3.5.2　風計測コヒーレントドップラーライダー　49
3.6　宇宙　52
3.6.1　宇宙観測　52
3.6.2　宇宙開発　53
4.　おわりに　56

Sample : DO NOT PRINT

安全・安心のための赤外線技術調査専門委員会委員

委員長　綱脇惠章（大阪産業大学）
幹　事　津田川　勝（立命館大学）
幹事補佐　堀中博通（大阪府立大学大学院）
委　員　青山佳弘（㈱島津製作所）
石田明広（静岡大学大学院）
板倉安正（滋賀女子短期大学）
一圓健治（オプテックス㈱）
出原敏孝（福井大学）
内田貴司（防衛大学校）
江田英雄（光産業創成大学院大学）
岡島茂樹（中部大学）
木股雅章（立命館大学）
重中圭太郎（㈱東芝）
芝井　広（大阪大学大学院）
神保孝志（名古屋工業大学大学院）
立川敏明（香川大学）
玉川恭久（三菱電機㈱）
萩行正憲（大阪大学）
廣本宣久（静岡大学大学院）
梅干野　晁（東京工業大学大学院）
松田耕一郎（㈱堀場製作所）
宮永俊之（㈶電力中央研究所）
安岡義純（防衛大学校名誉教授）
安田　升（NEC Avio 赤外線テクノロジー㈱）
吉村武晃（神戸大学名誉教授）
和田英男（防衛省技術研究本部）

協力者　石井順太郎（産業技術総合研究所）
太田　仁（神戸大学大学院）
笹森宣文（府中市工業技術情報センター）
鈴木康志（㈱島津製作所）
高橋秀夫（浜松ホトニクス㈱）
松浦義雄（㈱富士通システム統合研究所）
光永貢一（富士通特機ｼｽﾃﾑ㈱）
下山昌彦（兵庫県警察本部）
阪上隆英（大阪大学大学院）
平野嘉仁（三菱電機㈱）
寺中正人（香川大学）
裵　鐘石（名古屋工業大学大学院）
佐藤元康（核融合科学研究所）
松原章浩（中部大学）
菅谷孝夫（㈱システムズエンジニアリング）
鹿嶋　進（オメガウェーブ㈱）
立木　隆（防衛大学校）
谷　正彦（福井大学）
山本晃司（福井大学）

Sample : DO NOT PRINT

1. はじめに

本報告は A 部門光応用･視覚技術委員会の下で、平成 17 年（2005 年）10 月から平成 20 年（2008 年）9 月まで活動した安全・安心のための赤外線技術調査専門委員会の調査結果をまとめたものである。

赤外線は、短波長の光領域と長波長の電波領域との谷間にある最も研究の遅れた領域に位置するが、最近では１００ＧHz～１０ＴＨｚの周波数領域においてテラヘルツ波としても注目され、多くの基礎研究と共に応用研究も盛んに行われてきている。それを応用した研究は多岐に亘った様々な学術分野でなされてきており、その例には枚挙に遑がない。これらそれぞれの研究を統一して眺め指針を与えることは、今後の赤外線技術応用に限らず基礎研究にも大いなる飛躍を与えるものと期待される。

本調査専門委員会が発足する一年半ほど前に、中国に端を発した SARS（重症急性呼吸器症候群）が瞬く間に世界に蔓延し、大きな社会問題となった。このとき空港などにおける水際防止に赤外放射温度計が大いに活用された。このように安全・安心に向けた赤外放射温度計の応用は一般の人々に関心をもって注目されたが、他にも自動車の赤外線イメージャ搭載による事故防止策、地表面の赤外線検出による地雷探査、ビル外壁やトンネルあるいは橋脚などの構造物の欠陥探査など、安全・安心のための赤外線技術の応用は地道ではあるが着実になされてきている。またそれら赤外線技術は環境にも直接的・間接的に関わる問題でもある。これらは、材料・素子・計測・データ処理、等々の技術開発が相伴ってなされるものであり、要素技術と応用技術開発に対する要求は益々大きくなるものと考えられる。

本技術委員会では、今までに赤外線応用技術調査専門委員会、赤外線高度利用調査専門委員会、赤外線知能化技術調査専門委員会、赤外線先端技術調査専門委員会、多角的赤外線応用基盤技術調査専門委員会、および多角的赤外線応用推進技術調査専門委員会を設置して、一貫して赤外線科学技術について調査し、その進展を図ってきた。そしてこれらの活動によってさらなる応用分野が広まり、内容も高度知能化され、さらにはいくつかの先端的技術も生まれるに至っている。このように従来の調査専門委員会では、赤外線に関わる技術を広く捉えて調査し、特に本調査専門委員会に先立つ多角的赤外線応用推進技術調査専門委員会では、国家的重点領域研究に関わる赤外線技術を調査する中で、ここ数年の世界的な安全・安心のための、また政府が主導する環境への取り組みにも赤外線技術が深く関わっていることが窺うことができた。従って、本調査専門委員会では、赤外線に関わる要素技術と共に、生活に根ざす安全・安心に関わる、また豊かな環境づくりに貢献する赤外線技術応用研究の現状を調査し、将来への研究・開発のあり方への指針を与えることを目的として発足し、３年間の活動を行った。

本技術報告書では、第２章においてテラヘルツ波を含む赤外線光源と分光技術、センサ技術および分析技術を、第３章において安全・安心のための赤外線応用技術について、種々の立場からの調査結果を述べている。

（綱脇　惠章）

2. 要素技術

2.1 光源および分光技術

2.1.1 テラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS)

フェムト秒レーザーパルスで光伝導アンテナ(後述)などを励起するとテラヘルツ波パルスが放射される。このパルスを試料に当て、時間領域での透過波形や反射波形を測定し、これから試料の光学定数を求めるのがテラヘルツ時間領域分光法(Terahertz Time-Domain Spectroscopy、THz-TDS と呼ばれる)である[(1)-(3)]。以下、この手法について説明する。

まず、フェムト秒レーザーを用いてテラヘルツ波を発生および検出する方法について説明する。図 2.1.1.1 に示すように、時間幅 100 fs (1 fs = 10-15 s)程度の超短パルスレーザー(波長 800 nm 程度、繰り返し周波数 100 MHz 程度)を、以下で説明する光伝導アンテナ(光伝導スイッチ、オーストンスイッチなどとも呼ばれる)などのテラヘルツ波放射素子に照射すると時間幅 1 ps 以下の電磁波パルスが空中に放射される。この電磁波は空中を伝播し、検出素子に集光され、波形が測定される。

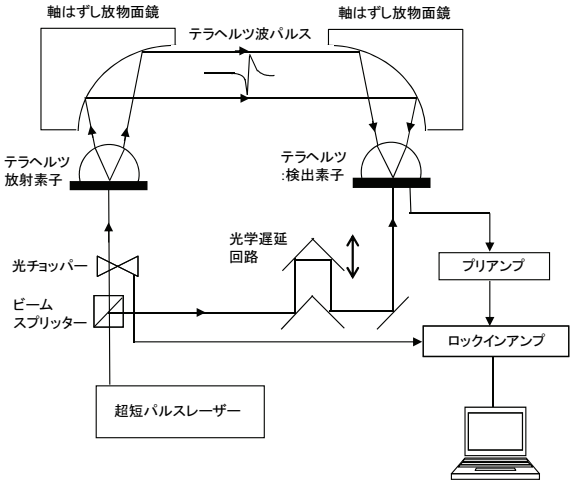

図 2. 1. 1. 1 テラヘルツ時間領域分光装置

テラヘルツ波の放射には、半導体光伝導アンテナや非線形光学結晶による差周波混合(光整流とも呼ばれる)が用いられるが、ここでは光伝導アンテナについて紹介する。典型的な光伝導アンテナの構造を図 2.1.1.2 (a)に示す。半絶縁性 GaAs 基板上に厚さ 2 μm 程度の GaAs 薄膜を低温成長させアニールしたもの(LT-GaAs)の上に電極を形成する。電極

Sample : DO NOT PRINT