

氏名(国籍)	ラックチャノック ルンサワーン (タイ)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第3667号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	<b>Real-Time Imaging Using Intense Half-Cycle Terahertz Pulses</b> (高強度ハーフサイクル・テラヘルツパルスを用いた実時間イメージング)

主査	筑波大学教授	工学博士	谷田貝 豊彦
副査	筑波大学教授	理学博士	青木 貞雄
副査	筑波大学教授	理学博士	小島 誠治
副査	筑波大学助教授	工学博士	伊藤 雅英
副査	筑波大学助教授	理学博士	服部 利明

### 論文の内容の要旨

100 GHz から 10 THz にかけての周波数を持ついわゆるテラヘルツ電磁波は、電波と光波の境界に位置し、その発生や制御、検出が困難であることから最近までその利用や研究があまりなされてこなかったが、最近の技術的な進歩によって、大いに注目されるようになってきた。なかでもテラヘルツ波を用いたイメージングは、生体に無害なことや、化学種の特定が可能であることなどから、さまざまな応用が期待されている。テラヘルツ波は、金属や水はほとんど透過しないが、紙、布、半導体など、多くのものを比較的よく透過し、より波長の短い電磁波に比べて物体からの散乱が少ないことが特徴である。筆者は、そのような応用のために重要な技術である、テラヘルツ波を用いた実時間イメージングに関して一連の研究をおこない、以下に述べるような顕著な成果を収めた。

実時間イメージングの達成のためには、強力な光源、高感度の検出法、高速な検出器が必要である。本研究では、光源としては、増幅されたフェムト秒レーザーパルスによって 1 kHz の繰り返しで励起された大口径光伝導アンテナから発生するハーフサイクルパルスを用いた。検出法としては、光学的ヘテロダイン検出による電気光学サンプリング法を用いた。検出器は、高速 CCD カメラを用いた。このうち、光学的ヘテロダイン検出法と高速 CCD カメラの利用は、筆者らによる新しい貢献である。

まず、ハーフサイクルテラヘルツパルスの集光・伝搬による時間波形の変化を観測し、集光点からずれるとともに時間波形が非対称になることを見出した。その結果は、回折積分を用いたシミュレーションによって再現できるが、ガウスビーム模型によって、より簡単に説明できた。次に、集光したハーフサイクルパルスの、伝搬方向に垂直な面内の 2 次元的な空間分布を、実時間テラヘルツイメージングによって時間・空間分解して測定し、時間・空間いずれにおいても、ピークを外れるとテラヘルツ電場の 2 次元分布がリング状の形状を示すことを見出した。このような結果はハーフサイクルパルスに特有のことであると考えられ、他の周波数帯も含めて、筆者らによってはじめて見出されたものである。回折積分によるシミュレーションにより、測定で得られた特徴をほぼ再現することができた。以上の研究により、実時間イメージングに用いられる光源の特徴を把握し理解することができた。

次に、テラヘルツビーム中に物体を置くことにより、静止した物体のイメージングをおこなった。電気光学サンプリングのプロープ光の遅延時間をスキャンする時間分解測定からは、テラヘルツ電場の時間変化がもっとも急になる遅延時間において、空間分解能のよい最適な画像が取得できることを見出した。この結果は、この遅延時間においてテラヘルツ電場の高周波成分が大きくなることによると、推測される。また、遅延時間を変えて多くの画像を取得し、それぞれの点のデータをフーリエ変換することにより、周波数分解画像をも取得した。その結果からは、周波数が高くなるにしたがって空間分解能が高くなり、時間領域の画像よりも高い分解能が得られることがわかった。ただし、ある周波数以上では、波面のゆがみによると思われるリング状の形状がテラヘルツ画像に現れ、対象物の正確な形状が再現できなくなることもわかった。

以上の知見をもとに、運動している物体の高速テラヘルツイメージングをおこなった。プロープ光の遅延時間は最適な時間に固定し、高速 CCD カメラをレーザーパルスと同期することにより、1kHz の繰り返しで、テラヘルツパルスひとつごとに、ひとつずつのテラヘルツ画像を取得することに成功した。CCD カメラから得られた画像データを、テラヘルツ電場の空間プロファイルで割り算し、さらに、雑音の低減のためにガウス・フィルターを用いたデジタル画像処理をおこなうことにより、運動物体の形状とその動きをはっきりと取得することができた。対象物としては、金属と植物を用い、どちらにおいても、物体の形状をよく捉えることができた。ここで達成した毎秒 1000 コマの撮影速度は、テラヘルツイメージングとしては世界最高記録である。

以上、実時間および高速テラヘルツイメージングのために、基礎から始めて最終的な結果まで、一連の研究をおこなった。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

実時間テラヘルツイメージングのために、装置の構築や、テラヘルツパルスの時間・空間的な振る舞いの研究をおこない、実験と、理論・計算とによって、測定結果をよく理解することができた。また、テラヘルツ画像の遅延時間依存性から、最適な遅延時間を見出した。それらの成果をもとに、最終的に、世界最高記録の高速テラヘルツイメージングを達成した。テラヘルツイメージングは、分野としていまだ体系化されたとはいいがたいが、その中で、筆者の研究は基礎から応用へと体系的によく計画されており、結果とて重要な成果につながったことは、特筆すべきである。これらの結果は、4つの論文として既に論文誌に掲載されるか掲載決定済みであり、また国際学会で招待講演に選ばれるなど、世界的にも認められており、大変に評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。