

補助事業番号 2023M-307

補助事業名 2023年度 テラヘルツヘテロダイン計測によるインフラ構造物検査技術の  
開発 補助事業

補助事業者名 徳島大学 ポストLEDフォトンクス研究所 時実 悠

## 1 研究の概要

<http://femto.me.tokushima-u.ac.jp/budget/budget.html>

本研究の目的はテラヘルツ波を用いた建築物の内部構造イメージングにおける基礎技術の開発である。社会インフラ構造物の老朽化に起因する崩壊が社会問題となっている。日本では高度成長期に建築された多くの構造物が経年劣化の問題を抱えており、崩壊の危険性を孕んでいる。しかし既存の建築物を全て建築し直す事は労働力、コスト面で現実的ではなく、予防治療的な処置が重要となる。このため、劣化の傾向が著しい箇所を事前に非破壊検査によって検知し、その結果をもとに部分の修繕をするシステムが必要となる。テラヘルツ波は周波数が電波より高く、光より低い電磁波であり、電波のような透過性と、光のような可視化性を持つ。このため、テラヘルツ波を光のように遠方から照射し、反射、散乱波を検出することで、光では不透明なコンクリートのような物質の内部構造を非破壊検査可能である。また、X線と比べて光子エネルギーが低いため、人体に対して安全性が高いという特徴を有する。超音波検査に比べ非接触で離れた距離からの検査が可能である。しかし従来方法では奥行き方向の計測には大型の装置が必要となる。

本研究ではテラヘルツヘテロダイン測定と波面再構成法とを組み合わせる事で、簡便な装置で奥行き方向の情報を取得する手法を提案する。テラヘルツヘテロダイン測定は測定テラヘルツ波と、異なる周波数の電磁波をミキシングすることで発生するビート信号によって測定を行う手法である。これによりテラヘルツ波が測定対象から受ける振幅および位相のシフトを検出する事が可能である。この手法はビームスプリッタによるテラヘルツ干渉計を用いないため小型なセットアップの開発につながる。さらに波面再構成法と呼ばれるデジタルホログラフィなどで用いられる手法を用いることで、電磁波の振幅と位相からコンピュータ上で任意の位置での波面を再現することを目指す。この手法によってテラヘルツヘテロダイン測定によって得られた振幅と位相から奥行き方向の電磁波を再生し、測定表面から奥側に位置する物体を観察可能となる。

以上によって簡便なセットアップでテラヘルツ波によるインフラ内部構造の可視化する手法を提案する。

## 2 研究の目的と背景

テラヘルツヘテロダイン計測法を用いたインフラ建築物の非破壊検査に用いる技術の基礎検討を行う。テラヘルツ波はインフラ建築物に用いられる材料を透過し、内部構造の検査が可能である一方で、奥行き方向の情報を得るためには装置が大型化しがちである。本研究ではテラヘルツヘテロダイン検出法を用いて、簡便な装置でインフラ材料から反射されるテラヘルツ波の振幅と位相を検出する事を目指す。この情報をもとに波面再構成法を用いて測定サンプル奥行き方向の情報を再現する。以上の手法を組み合わせ、インフラ構造物の内部構造を、簡便な装置によって可視化する技術を提案する。

## 3 研究内容

### (1) テラヘルツヘテロダイン測定系を用いたテラヘルツ波の振幅、位相計測

テラヘルツヘテロダイン計測系の基本的な実験系の設計及び構築を行い、基礎実験データを取得した(図1)。これによりテラヘルツヘテロダイン系においてテラヘルツ波と局部発進波のビート信号を観測した。ヘテロダイン信号から位相復元の困難さがあったため、テラヘルツ時間分解分光装置を用いてテラヘルツ波の振幅と位相情報の取得を試みた。その結果、テラヘルツ波の振幅と位相情報を取得した。また、装置を用いてイメージングを実行し、テラヘルツ波の振幅位相情報の空間位置依存性の取得を行った。この手法により、ナイフエッジ測定におけるデータを取得した。

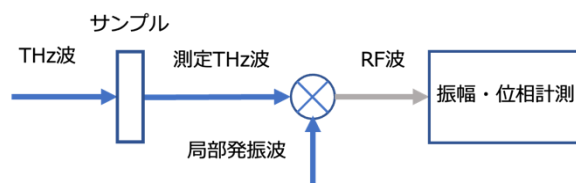


図1: テラヘルツヘテロダイン測定系

### (2) 波面再構成アルゴリズムの作成

デジタルホログラフィにおける波面再構成法の一つに角スペクトル法がある。本手法に基づき、数値計算ソフトを用いて波面再構成を行うアルゴリズムを作成し、焦点距離の異なる位置での波面再構成を可能とするプログラムを作成した。(図2)

### (3) ナイフエッジ実験データに基づく波面再構成の適用と空間分解能の評価

ナイフエッジ法により取得したデータを用いて、波面再構成法の適用を行った。これにより、レンズを用いない光学系におけるリフォーカスの確認を行った。

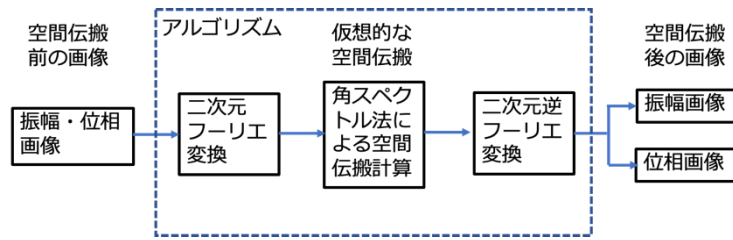


図2:角スペクトル法による波面再構成アルゴリズム

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本提案の原理は小型で簡便なテラヘルツ非破壊検査装置の実現につながる。橋梁や建築物を無人化かつ24時間体制で検査するシステムへの発展性が期待される。従来の建築技術者の検査は安全性から検査可能な場所に制約があったがこの制約が緩和され、定量的、低コストに大量のデータ取得が可能となる。ビッグデータ化されたデータベースからAI処理によって修復の必要箇所を効率的に判断でき、インフラ構造物の長寿命化、安全性が高まる事が期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまでテラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発を行ってきた。今回の研究は申請者がこれまで培ってきた技術を利用し発展させ、新たな応用用途であるインフラ構造のイメージング技術の開発を狙った。研究期間を通して、基礎検討を行い、イメージング技術開発の足がかりを得た。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

高島 綾人、時実 悠、長谷 栄治、安井 武史、『可視光の合成波長を用いた光渦位相計測』, 50周年記念レーザー学会 学術講演会 第44回年次大会,

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1)補助事業により作成したもの

該当なし

##### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 徳島大学 ポストLEDフォトニクス研究所

住 所: 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地

担 当 者: 講師(コウシ) 時実 悠

担 当 部 署: ポストLEDフォトニクス研究所(ポストエルイーデーフォトニクスケンキュウジョ)

E - m a i l: tokizane@tokushima-u.ac.jp

U R L: <https://www.pled.tokushima-u.ac.jp/>