



Title	テラヘルツ波によるポリマー導管内部欠陥検出研究
Author(s)	李, 大治; 本越, 伸二
Citation	電気材料技術雑誌. 2018, 27(1), p. 5-8
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76107
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

テラヘルツ波によるポリマー碍管内部欠陥検出研究

李 大治、本越 伸二

(公財) レーザー技術総合研究所 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6

Research on Diagnosis of Polymer Bushing with Terahertz Wave

Dazhi Li, Shinji Motokoshi

Institute for laser Technology 2-6 Yamadaoka Suita, Osaka 565-0871 Japan

We carried out research on non-contact and nondestructive diagnosis of insulation materials for electric power facilities, and in this paper, the preliminary studies of diagnosing the defects occurred inside a polymer bushing, which is widely used as insulation equipment in electric power facilities, are presented. A terahertz time-domain spectroscopy based on a femtosecond laser was built in our lab, to experimentally examine the feasibility of observing some simulated defects from a sample of polymer bushing. We demonstrated that it is possible to find out the defects such as abrasion and inundation inside a sample through analyzing the reflected terahertz wave.

キーワード：テラヘルツ波、ポリマー碍管、非破壊、非接触、欠陥検出

1. はじめに

テラヘルツ波は、電波と赤外光の間に当たる領域を占め、周波数でいうと 0.1~10THz、波長に換算すると 3mm~30 μ m 程度で、光と電波の両方の長所を兼ね備えている特徴を持つ電磁波である。電子工学と光学が及び難い中間帯域であるため、テラヘルツ波発生器や検出器、光学素子の開発が難しく、電磁波利用における谷間とも呼ばれた。しかし、ここ十数年間にテラヘルツ波工学が大きく進展し、革新技術として基礎科学と産業応用に活躍している¹⁻⁵⁾。現在、テラヘルツ波の発生方法として、様々なものが提案されている。大型のシンクロトロン放射設備や自由電子レーザー施設では、高出力のテラヘルツ波の発生に成功している⁶⁾。小型のものとして、量子カスケード半導体素子や非線形光学結晶を用いた差周波テラヘルツ波発生技術などが、積極的に研究されている⁷⁾。ま

た、光伝導アンテナや電子技術を用いたコンパクトなテラヘルツ波発生器と検出器が既に商品化され、新製品も続々と出ている。一方、テラヘルツ波は非金属材料に対する透過率が高いことや生体に害を与えないため、センシング分野に応用が広がり、電子部品、医薬品、文化財などの非破壊検査技術の実用化が進んでいる。電力設備診断においても、ケーブル絶縁層、遮熱コーティング層、塗装下の鋼材発錆などに先行研究が行われた⁸⁻¹²⁾。

近年、外被材にシリコーンゴムを用いたポリマー碍管を適用した電力機器の使用が開始されているが、有機材からなるポリマー碍管の外部絶縁性能の経年変化についてはまだ十分な情報が得られていない。特に、ポリマー碍管の FRP コアとシリコーンゴム外皮の剥離や水分の侵入については、外観の調査では確認できないことから、非接触で

内部の剥離等を検出する手法が望まれている。

我々は、テラヘルツ波によるポリマー導管の内部欠陥検出技術に関する研究に着手した。本稿では、テラヘルツ波反射計測によりポリマー導管の模擬内部欠陥の検出実験を報告する。

2. テラヘルツ波実験装置

フェムト秒レーザーをベースにしたテラヘルツ波発生・検出実験装置³⁾を構築した(図1)。テラヘルツ波発生と検出の両方に光伝導アンテナを採用した。チタンサファイアレーザー装置(波長800nm, 100fs, 80MHz)から出射したレーザービームを半透過鏡(Splitter 1)により励起光とプローブ光に分けた。励起光は、集光レンズ(Lens 1)によりテラヘルツ波発生用光伝導アンテナ(Emitter)の金属構造中心に集光する。アンテナにバイアス電圧を印加することにより、テラヘルツ帯の広帯域な電磁波パルスが発生する。発生用アンテナから放射されたテラヘルツ波は、放物面鏡(Parabolic mirror 1)により平行波にして伝搬する。その後、テラヘルツ帯の半透過鏡(Splitter 2)に反射され、集光レンズ(Lens 2, 焦点距離30mm)を通り、サンプル表面に垂直に入射するように設計した。サンプル表面からの反射テラヘルツ波は、レンズ(Lens 2)、半透過鏡(Splitter 2)を透過し、放物面鏡(Parabolic mirror 2)により集光され、検出用光伝導アンテナ(Detector)に入射させる。一方、半透過鏡(Splitter 1)によって分けられたプローブ光は、時間遅延光路を通過した後、検出用

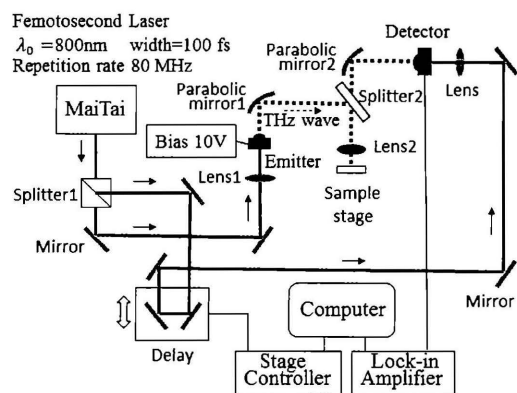


図1 テラヘルツ波発生・検出実験装置

(Schematic of experimental setup for terahertz wave generation and detection)

光伝導アンテナ(Detector)に集光される。検出用アンテナでは、プローブ光照射時のテラヘルツ波電場強度に応じた微弱電流が流れる、プローブ光照射のタイミングを時間遅延光路(Delay)により制御し、テラヘルツ波との相対時間をずらすことによって、遅延時間に対する微弱電流を得る。この遅延時間に対する微弱電流の変化は、テラヘルツ波電場の時間波形を意味する。得られた微弱電流は、ロックインアンプにより増幅された後にパソコンへ転送され、開発したデータ収集・処理・制御用ソフトにより、テラヘルツ波電場の時間波形を自動的に得る。その波形をフーリエ変換することにより周波数スペクトルを同時に得ることができる。更に、電動ステージによりサンプルを移動しデータ収集と同期することにより、サンプル内部の欠陥や劣化等をイメージ化することができる。

図2(a)に示すテストパターンを用い、本実験装置の空間分解能を評価した。これはOHPシートに金属色インクで太さと間隔がそれぞれ2mmの同心円になるように印刷したものである。XYステージ上のサンプル位置にテストパターンを設置し、走査間隔0.2mmで反射テラヘルツ波を計測した。測定データより、周波数成分0.1THz, 0.15THz, 0.2THzを抽出して得られた反射強度振幅をそれ

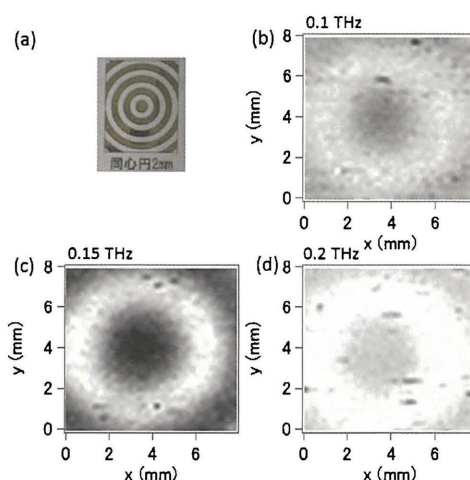


図2 空間分解能測定結果. (a) 同心円テストパターン, (b) 0.1 THz 走査, (c) 0.15 THz 走査, (d) 0.2 THz 走査

(Measurement of spatial resolution.)

(a) Photo of test pattern (b) 0.1 THz image
(c) 0.15 THz image (d) 0.2 THz image)

ぞれ図 2 (b), (c), (d) に示した。結果, 図 2 (c) の 0.15THz の場合に, テストパターン像が比較的鮮明に得られることが分かった。0.1THz と 0.2THz の場合は, それぞれ波長が長いことや信号が弱いために空間分解能が下がると考えられる。

3. 模擬欠陥測定

実際のポリマー碍管 (図 3 (a)) の一部を切り出し, 図 3 (b) のような模擬サンプルを用意した。サンプルは厚さ約 4mm のシリコンゴム外皮と FRP コアで構成されている。更に, シリコンゴムと FRP 樹脂境界面に沿って, ナイフ (厚さ 0.5mm) で切り込みを入れ, 空気層を持つ内部欠陥を製作した。サンプルの正常部と欠陥部, そして欠陥部に水を浸透させた場合の反射テラヘルツ波を計測した。図 4 に測定された反射テラヘルツ波時間波形を示す。正常部では, 時間位置約 10ps でシリコンゴム表面からの反射信号が得られ, 表面反射から約 65ps 遅れてシリコンゴム/FRP 樹脂境界からの反射信号が検出された。欠陥部では, シリコンゴム表面からの反射波に続き, 欠陥のシリコンゴムと空気層の境界, および空気

層と FRP の境界からそれぞれ反射する。欠陥部からの反射信号は, シリコンゴム/FRP 境界の屈折率差に比べて大きくなるため, 反射率が増大し, 正常部の場合の約 2 倍になった。つまり, ポリマー碍管内部からの反射波振幅の大きさを評価することにより隙間欠陥の存在を確認できると言える。但し, 低周波数域テラヘルツ波の時間信号の幅は広いため, シリコンゴム裏面/空気, 空気/FRP 樹脂の 2 つの境界からの反射信号の分離はできず, 隙間の厚さ測定はできない。また, 隙間に水を浸透させた場合では, 水が無い場合に比べて, ポリマー碍管内部からの反射信号が僅かに小さくなった。これは, 僅かな水の存在により, 吸収および境界の反射率が変化したためである。

図 5 (a) 中の白線のように, 正常部と欠陥部を横切ってサンプルを一次元走査したときのテラヘルツ反射波を計測した。走査は幅 14mm, 測定間隔 0.2mm で行った。計測したデータから周波数 0.15THz の成分を抽出し, 図 5 (b) に振幅強度を濃淡で示した。碍子が緩やかな曲率を持っているため, 走査位置により表面反射信号および内部境界反射信号の時間位置が変化している。内部境界面の反射信号強度は欠陥の有無により異なるため, その大きさを確認することにより欠陥が存在する位置を確認することができた。

4. まとめ

ポリマー碍管の内部欠陥検出を目標に, 低周波

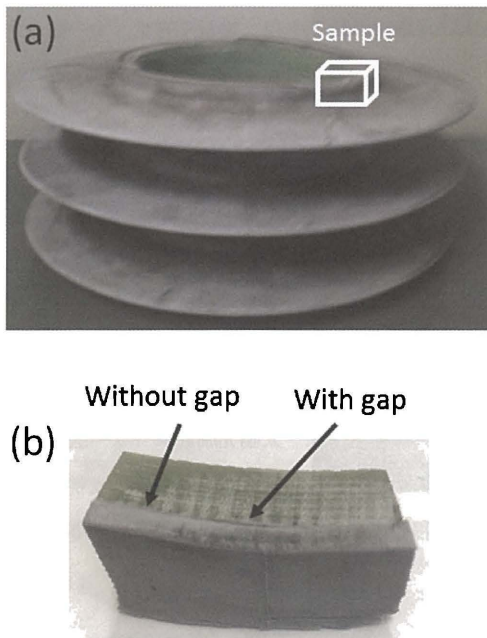


図 3 ポリマー碍管サンプル

(a) ポリマー碍管写真 (b) 模擬欠陥サンプル
(Sample of polymer bushing. (a) Photo of polymer bushing (b) Sample with stimulated defects)

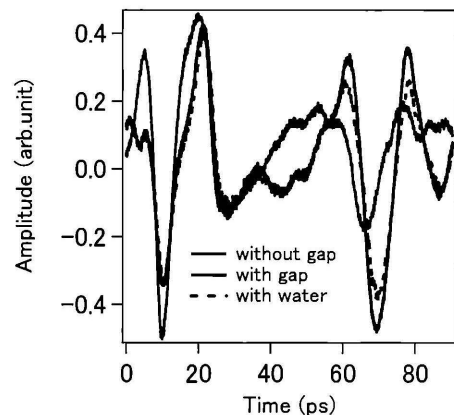


図 4 ポリマーサンプル内部模擬欠陥測定結果
(Measurement of stimulated defects inside the polymer sample)

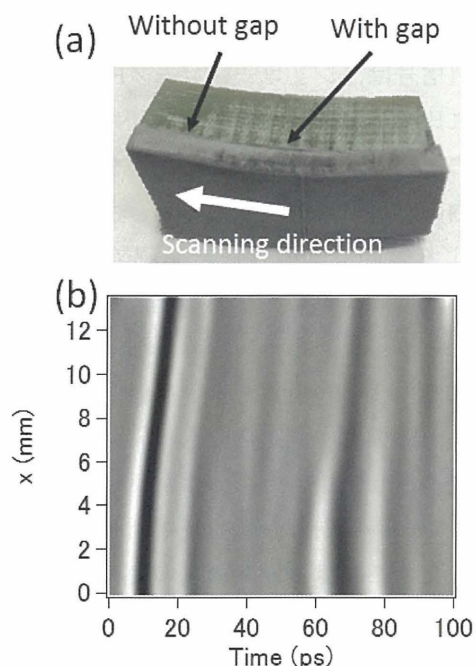


図5 ポリマーサンプル走査図
(Scanning image of polymer sample)

数領域に特化したテラヘルツ波反射測定装置を構築した。ポリマー碍管から切り出したサンプル内部に模擬欠陥を制作し、反射波測定実験を行った結果、サンプル内部の隙間や浸水などの欠陥検出が可能であることを実証した。

謝辞

本研究は関西電力（株）からの委託研究により実施した。

参考文献

- 1) A.Y.Pawar, et al.: Drug Invention Today 5 (2013) 157.
- 2) H.A.Hafez, et al.: J. Opt. 18 (2016) 093004.
- 3) D.Li, et al.: Int. J. Magnetism Electromagnetism 2 (2016) 006.
- 4) R.Kubler, et al.: Appl. Phys. Lett. 85 (2004) 3360.
- 5) Y.Hirota, et al.: Opt. Express 14 (2006) 4486.

- 6) V.S.Cherkassaky, et al.: Nucl. Instr. Meth. A 543 (2005) 102.
- 7) S.Kuma: IEEE J. ST. Quan. ELE. 17 (2011) 38.
- 8) N.Fuse, et al.: IEEJ Trans. Fund. Mater. 132 (2012) 709.
- 9) 福地哲生, et al.: 電気学会論文誌 A 133 (2013) 402.
- 10) 福地哲生, et al.: 電気学会論文誌 A 132 (2012) 166.
- 11) 布施一則, et al.: 電気学会論文誌 B 134 (2014) 745.
- 12) N. Fuse, et al.: IEEE Trans THz Sci & Tech 2 (2012) 242.

(2018年5月8日 受理)

著者略歴



李 大治

2000年中国電子科技大学光学研究科博士課程修了。理学博士。2001年財団法人レーザー技術総合研究所、研究員として入所。レーザーコンプトン散乱ガンマ線発生と応用、陽電子発生、レーザー加速、

テラヘルツ波光源開発の研究を行う一方で、テラヘルツ波応用に関する研究に従事。



本越 伸二

1994年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。財団法人レーザー技術総合研究所、研究員として入所。固体レーザー開発、太陽光励起レーザー装置の開発研究を行う一方で、光学素子のレー

ザー損傷過程および高耐力化に関する研究に従事。