

is-TPG を用いた 3D-CT による樹脂製品の計測

杉山 裕也¹, 日比 教智¹, トリパティ サロジ², 村手 宏輔¹, 川瀬 晃道¹

¹名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

²静岡大学工学部機械工学研究科 (〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1)

3D terahertz computed tomography measurement of resin products using is-TPG

Yuya SUGIYAMA¹, Kazutomo HIBI¹, Saroj TRIPATHI², Kosuke MURATE¹, and Kodo KAWASE¹

¹Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8603

²Shizuoka Univ., 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8011

Abstract- Terahertz (THz) wave, between millimeter and infrared waves in the electromagnetic spectrum, is potentially useful for non-destructive, non-invasive sensing and imaging applications owing to the nonionizing nature of the radiation, and its moderate transmission through various materials such as plastics, papers, ceramics, and dielectrics. In this work, we demonstrate a high dynamic range, three-dimensional (3-D) terahertz (THz) wave computed tomography system in which frequency tunable, Fourier transform-limited, high-power THz waves are emitted by an injection-seeded parametric source and ultrasensitive detection of THz waves is accomplished by heterodyne detection. The system covers the frequency range of 0.6-2.8 THz with the maximum dynamic range of 80 dB. Here, we measured resin products such as electric plug and successfully visualized the intentionally made defect using our 3D computed tomography system using terahertz wave parametric source.

Key Words: Terahertz, imaging, computed tomography, non-destructive testing, heterodyne detection

1. はじめに

内部の見えない樹脂製品の欠陥検査のニーズは大きく、ミリ波、赤外線、X線などが検討されている。しかし、ミリ波は分解能の問題が、赤外線では散乱や低い透過率が問題となる。また X 線では、高分子や生体分子といったソフトマテリアルのイメージングを行うことは困難である。一方、テラヘルツ波は樹脂などのソフトマテリアルを適度に透過し、最低限の空間分解能も有するため、非破壊診断への期待が高い。

テラヘルツ波の透過性を利用した 2 次元イメージングは一般的であるが、測定物についてより多くの情報を取得するために CT (Computed Tomography) を用いた 3 次元イメージング技術が望まれている。本研究では、イメージングに一般的に使用されるテラヘルツ光源よりも高出力な光注入型 THz 波パラメトリック発生器(is-TPG)を用いて 3D-CT システムの構築を行い¹⁾、意図的に欠陥を作成した樹脂製品に対して、欠陥の有無を識別できるかどうか測定を行った。

2. 測定システム

測定システムを Fig.1 に示す。is-TPG では LiNbO₃ の結晶に 2 つのレーザー光を入射し、THz パラメトリック過程を得て THz 波を発生させて

いる^{2,3)}。発生した THz 波をサンプル位置に集光させ、透過光を検出側結晶により、近赤外光に変換し赤外パイロを用いて検出を行っている。測定する際のテラヘルツ波の周波数は樹脂製品の透過率を考え、0.95 THz を選択し、f=100 mm のレンズを用いて集光した。また、測定サンプルは回転方向の θ 軸、水平方向の X 軸、鉛直方向の Z 軸の 3 軸の自動ステージによって移動した。

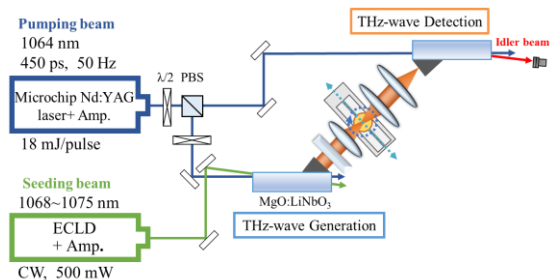


Figure 1: Terahertz wave computed tomography system

測定周波数が 0.95 THz の時の is-TPG のダイナミックレンジを Fig.2 に示す。アッテネータを使用し、THz 波を減衰させた時の赤外パイロの出力を青色で、THz 波を遮断した時の出力を赤色で示している。Fig.2 よりダイナミックレンジは約 8 桁あり、一般的に使用されているダイナミックレンジ 6 桁のテラヘルツ光源より高出力、高感度で

あることが分かる。

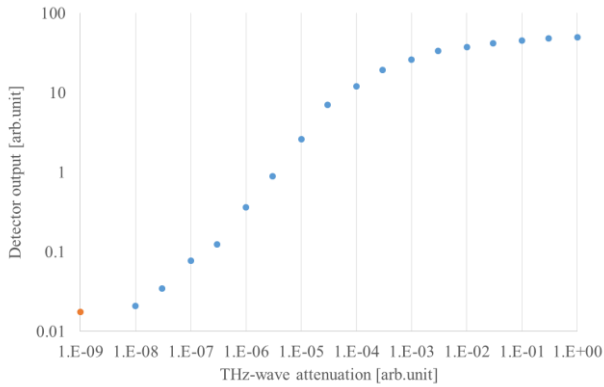


Figure 2: The dynamic range of is-TPG

3. 測定結果

3.1 樹脂製品の3D-CT

構築した is-TPG を用いた 3D-CT システムを利用し、樹脂製品であるコンセントの容器を測定した結果を Fig.3 に示す。(a)は測定サンプルを開いた時の写真、(b)はある一層の投影画像であり、それを逆ラドン変換して得られたサンプルの断面画像は(c)、この測定を Z 軸方向に複数行うことで (d)の 3D-CT 画像を取得できる。角度は 4° 、X 方向には $500 \mu\text{m}$ 、Z 軸方向には $1500 \mu\text{m}$ ずつ動かして測定を行い、THz 波の減衰率で示されている。3 次元画像では内部の穴やしきりを確認でき、is-TPG を用いた 3D-CT を利用することで、外側からは確認できない樹脂製品の内部構造を把握することが出来た。

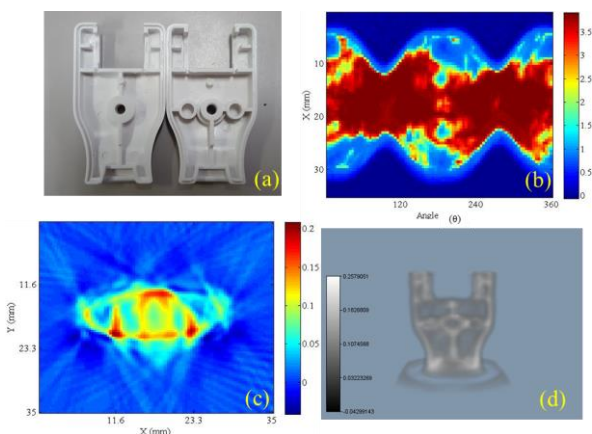


Figure 3: 3D-CT of electric plug

3.2 樹脂製品の欠陥検査

欠陥検査のために、同様のサンプルに対し、意図的に欠陥を作成し、欠陥の有無を識別できるか

確認を行った。欠陥は Fig.4 の赤丸の部分のように仕切りを削り、識別方法は、欠陥が有る時と無い時のライン上の減衰率をグラフ化し、比較を行うことで識別する。Fig.4 では、真ん中の二つの画像が欠陥の無い時の結果、右の二つの画像が欠陥のある時の結果であり、赤線の $Y = 17.5 \text{ mm}$ のライン上の減衰率をグラフ化している。欠陥が無い時はしきりが存在し、減衰率が高く、欠陥が有る時はしきりが存在しないため、減衰率が低くなるはずである。Fig.4 のグラフでは、欠陥がある $X = 17.5 \text{ mm}$ の減衰率に差があり、二つのグラフの形が異なっていることから欠陥の有無を識別することが出来た。

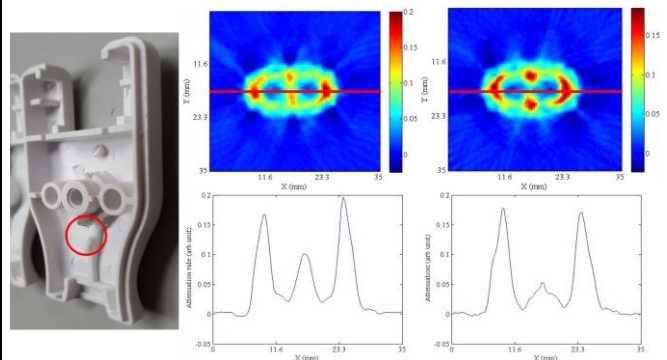


Figure 4: Result of defect inspection

4. まとめ

高出力かつ高感度な THz 波の発生検出装置である is-TPG を用いた 3D-CT システムの構築を行い、X 線では困難とされている樹脂製品の内部の構造を 3 次元で示すことができた。また、欠陥が有る時と無い時の減衰率を比較することで、どの部分に欠陥があるかないかを識別することができ、樹脂製品の欠陥検査への可能性を示すことが出来た。今後は is-TPG の更なる高出力化、測定システムの変更を行うことで、より詳細な画像の取得、実用的なサンプルの欠陥検査を狙う。

参考文献

- 1) S. R. Tripathi, Y. Sugiyama, K. Murate, K. Imayama and K. Kawase “Terahertz wave three-dimensional computed tomography based on injection-seeded terahertz wave parametric emitter and detector” Optics Express, vol. 24, Issue 6, pp. 6433-6440, (2016)
- 2) S. Hayashi, K. Nawata, T. Taira, J. Shikata, K. Kawase, H. Minamide, Sci. Rep., no. 5045, (2014)
- 3) K. Murate, Y. Taira, S.R. Tripathi, K. Nawata, H. Minamide, K. Kawase, IEEE Trans. THz. Sci. Tech, vol. 4, pp. 523-526, (2014)