

テラヘルツ波非破壊検査装置

Portable Non-destructive Terahertz Wave Inspection System

1. はじめに

テラヘルツ波は、赤外線と電波の中間の波長帯域に位置する電磁波であり（図1）、プラスチック、紙などに対する高い透過性、各種物質の化学構造の差異に対する鋭敏性、人体に対する安全性などの特徴を有している。したがって、非破壊・非接触で、対象物に影響を及ぼさずに検査を行なうという用途に広く活用できるものと期待されている¹⁾。

そこで、JFE テクノリサーチでは、テラヘルツ波を利用した非破壊検査装置（写真1）を開発した。テラヘルツ波非破壊検査装置の特長および応用例について以下に紹介する。

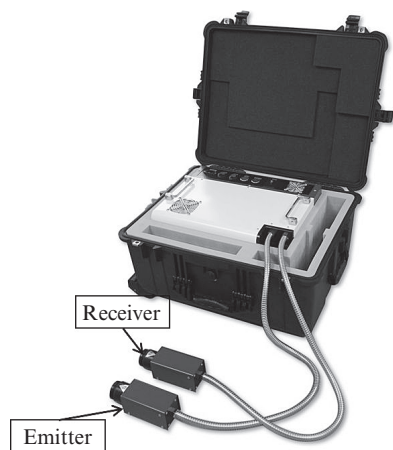


写真1 テラヘルツ波非破壊検査装置

Photo 1 Portable non-destructive terahertz wave inspection system

2. 製品の特徴

2.1 小型化による可搬性の実現

超短パルスレーザー発振装置や、光通信用光ファイバ、アンテナ素子などで構成されるテラヘルツ波の送受信素子と、改良を加えた光学系や構成部品を組み合わせることにより、可搬式の小型装置とした。

テラヘルツ波の送信と受信には本体部から分離され、光ファイバで繋がれた送受信素子が使用される。したがって、これらの送受信素子の配置は自由に変えることが可能であり、測定対象物の透過または反射測定を現場にて容易に行なうことが可能である。また、送受信素子とハーフミラーを組み合わせたレンズ系を構成することで、入射波と反射波が測定面に対して垂直となる反射測定も可能である。

2.2 非破壊・非接触による測定

テラヘルツ波の透過性を利用することで、測定対象の内部の状態を非破壊・非接触で測定することができる。

測定手法は、パルス状のテラヘルツ波の送受信によるテラヘルツ時間領域分光法²⁾を用いている。この手法は、テラヘルツ波の透過または反射パルスのパルス波形を計測し、その波形をフーリエ変換することで周波数特性を得ることができる。周波数特性から測定対象の物理、化学的性質が得られる。また、透過または反射したテラヘルツパルス波は測定対象の内部構造に応じて変化することから、超音波エコー法と同様にテラヘルツパルスの時間波形を解析することで測定対象の内部構造が得られ、対象内部の異物や層状サンプルの層の厚さなどが計測可能である。

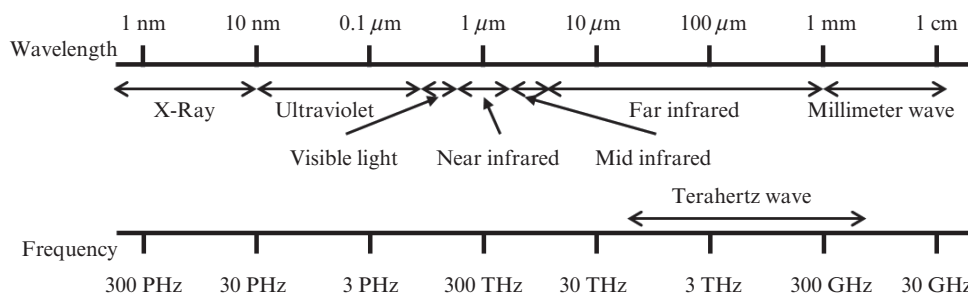


図1 電磁波の分類

Fig. 1 Category of electromagnetic wave

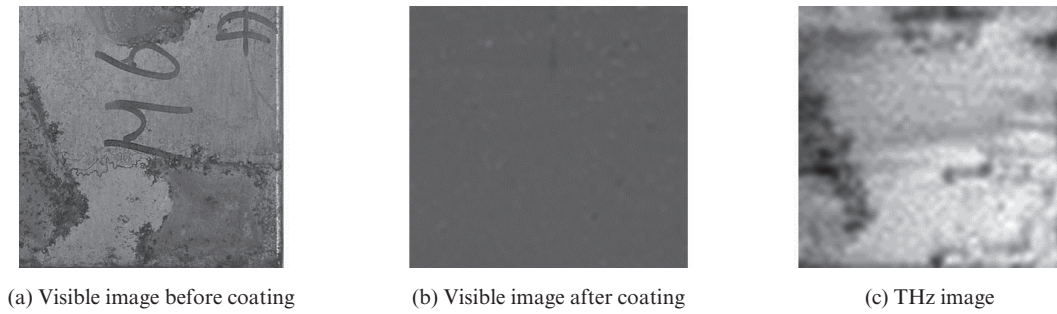


図3 塗装鋼板の腐食検出

Fig. 3 Detection of rust in coated steel plates

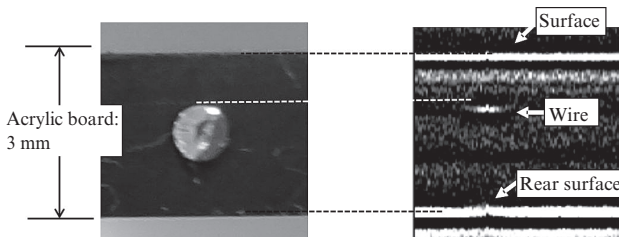


図2 THz トモグラフィーによるアクリル板中の針金の検出

Fig. 2 Detection of wire in acrylic board with terahertz (THz) tomography

2.3 テラヘルツイメージング測定

測定対象または送受信素子を2次元走査機構と組み合わせることで走査型イメージング測定³⁾ができ、テラヘルツ時間領域分光法で得られる情報を画像化することが可能となる。2次元走査機構を測定対象に応じて用意し、移動させることが不可能な測定対象の場合には本装置の可搬性を利用して2次元走査機構との組合せによる現場据え付け方式の測定も可能となる。測定データとしては、走査方向の2次元位置情報にテラヘルツパルス波データ(時間波形または周波数特性データ)を加えた3次元データとなる。これらの情報を基にして内部構造の断面画像や成分分布のマッピング画像を構成することができ、測定対象のさまざまな解析が可能となる。

3. 製品の応用例

3.1 異物観察

測定対象内部に異物が存在する場合の測定例を示す。

金属ワイヤが埋め込まれたアクリル板に対して反射イメージング測定を行なった。アクリル板表面から入射した反射テラヘルツのパルスエコー法による断面画像を図2に示す。図2は、走査方向に対して各測定点のテラヘルツパルスの時間波形の強さに応じて色付けを行ない画像化したものである。これにより内部構造によるエコーの違いを示すこ

とができる。テラヘルツ波はアクリル板の表面と裏面から反射されるため、それらの界面が観測される。その中でワイヤのある場所では、ワイヤ上端からの反射が検出され、測定対象内部に異物が存在することが分かる。

3.2 塗装面下の腐食検出

テラヘルツ波が塗装膜を透過することを利用して、通常では見ることのできない塗装面下の腐食の検出を行なった。

図3(a)に示す腐食部を有する鋼板に合成樹脂エナメル塗料で塗装し(Fig. 3(b)),それを反射イメージング測定した。測定結果を図3(c)に示す。テラヘルツ波は金属のような導電体は透過せず反射するが、腐食して生成された酸化物の層は透過する。したがって、鋼板の健全部と腐食部で反射特性が異なり、反射波形の違いを解析することにより塗装面下の健全性評価に有効である。

4. おわりに

テラヘルツ波の特性を活かした小型の非破壊検査装置を開発した。

応用例以外にも各種産業分野で使われる燃焼、成膜、反応等のプロセス状態の観測やプロセス改善、製品品質向上に活用することも期待される。

テラヘルツ波の分野は現在、研究・開発が盛んに行なわれており、工業製品の非破壊検査や生産ラインなどにおける計測技術として、今後、さらに活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 深澤亮一. 分析・センシングのためのテラヘルツ波技術. 日刊工業新聞社, 2013.
- 2) 阪井清美. 分光研究. 2001, vol. 50, p. 261.
- 3) Hu, B. B.; Nuss, M. C. Opt. Lett. 1995, vol. 20, p. 1716.

〈問い合わせ先〉

JFE テクノリサーチ 営業本部
TEL : 0120-643-777
ホームページ : <http://www.jfe-tec.co.jp/>