

PEM 研究会 特別講演

パルスエコー時間領域イメージングの非破壊検査応用

福永 香[†]

[†] 情報通信研究機構 電磁環境研究室 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

E-mail: [†] kaori@nict.go.jp

あらまし 電磁波は、エネルギー伝送や情報通信以外に、宇宙、気象、さらにモノの構造や物質を観測するためにも用いられている。非破壊検査の主流は、超音波、赤外線、X線を用いた技術であるが、電波も非金属のモノの内部を調べるのに適しており、例えばマイクロ波を用いた地中レーダーは、地雷検出等に有効活用されている。近年立ち上がり急峻で時間幅の狭い（従って周波数帯域が THz 波帯まで伸びている）パルス波を用いて、従来からある TDR（Time domain reflectometry）のように時間領域でモノの内部をイメージングする技術が注目されている。本報告では、このパルスエコー法が現実にも有効利用された例のある塗装面の劣化診断について紹介する。中でも電力中央研究所による耐熱コーティングの厚さ計測や、塗装下の錆検出は、社会に役立つ応用として評価されている。さらに汎用化を促進させるため課題に関する NICT の取り組みを紹介する。

キーワード 時間領域イメージング、非破壊検査

Nondestructive testing by using pulse echo time domain imaging

Kaori FUKUNAGA[†]

[†] Applied Electromagnetic Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology
4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795 Japan

E-mail: [†] kaori@nict.go.jp

Abstract The electromagnetic field has been used not only power transmissions and telecommunications, but also for remote sensing and analysing objects. Although major techniques used in nondestructive testing (NDT) are ultrasonic, thermograph, and X-ray, radio waves are effective to observe internal structure of dielectric opaque objects. For example, microwaves are used in the ground penetration radar. Recently pulse-echo time-domain imaging by using extremely short pulse of which frequency range reaches THz region has been a focus of attention in optical research field. In this talk, practical applications of pulse-echo imaging to analysis of painted surface are introduced. In particular, thermal barrier coating layer inspection of turbine blades, corrosion under paint detection which are carried out by the Central Research Institute of Electric Power Industry have been recognised as useful applications of our society. In addition, we discuss standardisation activities at National Institute of Information and Communications Technology for further development.

Keyword Time-domain imaging, nondestructive testing

モノを非破壊で評価・診断するために測る。

非破壊試験 (NonDestructive Testing, NDT)
非破壊評価・診断 (NonDestructive Evaluation, NDE)

機械工学のカテゴリーに入れられているが、あまり学問と思われていない(特に日本では)。

非破壊検査協会のWebsiteでの技術例:

目視検査, 放射線透過検査, 超音波探傷検査, 磁気探傷検査,
浸透探傷検査, 渦流探傷検査, ひずみ測定, アコースティックエミッション(AE),
赤外線検査法等

隠匿危険物は別モノ

電気設備は「電界ストレス」があるので、別モノ

現在ニーズが高い(でもチャレンジングな)対象:CFRP

需要の急増:人からコンクリートへ!
橋や道路の検査に国から補助金が出るようになった。



2種類の非破壊検査(劣化か事故か)

経年劣化の検査:
材料の化学的変化, およびそれによる物理的欠陥
の発生等。寿命予測, 延命のための検査。



事故, 災害による影響(破壊)の検査:
主に外力による物理的欠陥の発生。処置するか
どう行うかの検査。



Infrared spectroscopy
with micro sampling
Multispectral imaging
Impedance analysis
X-ray fluorescence

Test hammer
with human sensors
Acoustic emission
Microwave radar
X-ray reflectography
Thermograph

材料評価・分光と非破壊検査での電磁波の使い方

Spectroscopy (Material analysis)

1mHz~10GHz
 4000 cm⁻¹~8000cm⁻¹
 12THz~120THz
 400 cm⁻¹~4000cm⁻¹

使えるかも?
 100GHz~15THz
 FT-THz

THz

XRF

Non destructive testing (Internal structure observation)

~300MHz
 1~10GHz
 100GHz~3THz
 THz-TDS Imaging

使えるかも?
 OCT
 850nm

X ray

非破壊検査での電磁波の使い方 (ビジネスになっているもの)

Radio: AM radio, Amateur radio, Aircraft communication

Microwave: Microwave oven, TV Remote Control

Infrared: Night vision goggles

Visible: [Image]

Ultraviolet: UV light from the Sun

X-ray: Airport security scanner

Gamma-ray: PET scan, Terrestrial gamma-ray flashes

NASA Websiteより

電離放射線

地中レーダーによる社会インフラの調査は需要が急増 (非破壊検査に陽が当たる?) 遺跡調査にも有効

Istituto per le Tecnologie della Costruzione

赤外 (Passive, Meta-active Active)

果物用の光センサ: 近赤外領域
 JA websiteより

非破壊検査での電磁波の使い方(ビジネスになるかもしれないもの)



EUのFP7プロジェクトでは、77GHzの車載レーダー部品を用いた塗装下の錆び検出の巨大プロジェクトが動いている！

60,70 GHz帯の開発例
NHK: 電波テレビカメラ
NTT: CP scan



すぐに役立つ対象
音では欠陥が検出困難な、樹脂接着のタイル
木造モルタル家屋の劣化診断
壁画(人類共通の文化遺産への貢献)



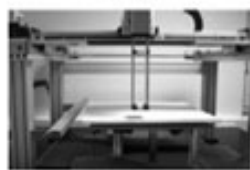
震災復興に電磁波センシングが役にたたないか？

2011.03.11後にNICTで起こったこと: 非破壊検査(建造物のみ)が注目されはじめる。

← 5 GHz ミクロ波 ————— 100 GHz ミリ波 ————— 0.5-1 THz テラヘルツ波 ————— > 100 THz 赤外線・近赤外線 →



橋梁、ビル、トンネル等での、鉄筋・配管等の3次元可視化の実績多数。



製品は据置型だが、ポータブル型にして借用。



文化財建造物の彩色部の剥落・修復の評価例等で実績有り。

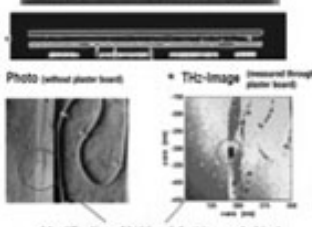


物質情報を取れる可能性がある(近赤外による塩素検出等の研究例は多い。)



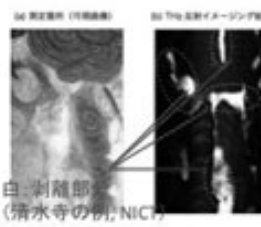
1分/1m²

20cm程度までのコンクリート内部の構造の可視化



10分/0.1m²

数cmの石膏等に隠された内部の構造の可視化



50分/0.1m²

壁の塗装や数mm程度のタイルの剥離の可視化



広域、ほぼリアルタイム

物質の違いの検出(コンクリートの場合、塩素分布等)

補生などへの応用例
(北海道工業大学)



使えるのか素人にはわからない多種多様な「テラヘルツ装置」

FTIR(from 60'~)



ABB-Bomen



JASCO



Bruker



Nikon



Z-omega



Menlo

TDS, TDS based imaging (90'~)



Teraview



Otsuka



JFE Techno-Spectra Design



Advantest



Pioneer

TDS ATR



Hamamatsu



Picometrix



AMO

THz Camera
NEC (NICT委託)
光源: LongWave Photonics



CW, CW imaging

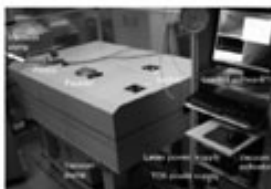


Teraview



Emcore

潜在的ユーザーのために(様々な標準化が必要)



テラヘルツ時間領域分光装置
Terahertz time-domain spectrometer (THz-TDS)



フーリエ変換分光光度計
Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

測定原理, 光学系, 検出器のサイズ等が異なる



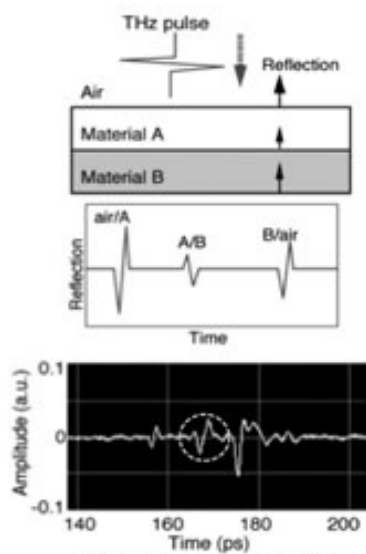
測定結果は等しい?

データフォーマットも異なる。
(中赤外のJCAMPのような「業界の動き」がない。)

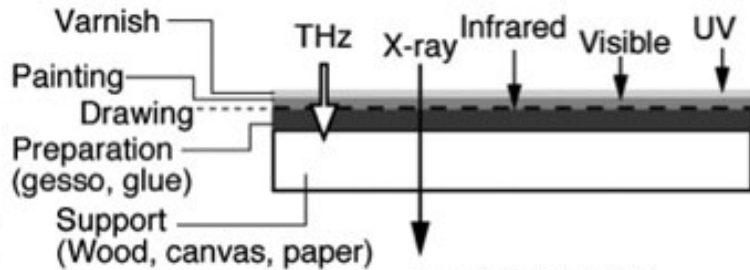
産総研, 理研の協力を得て, 標準試料3タイプを用いた, ラウンドロビン試験実施。
(高抵抗シリコン板, AzuriteのPEベースペレット, メタライズフィルムアッテネータ)

NICTのGood Practice Guideは, 2014年度末に公開予定

テラヘルツならではの非破壊検査



非破壊非接触で、物体の内部構造を3次元で観察できる。
(マイクロ波レーダーと赤外線OCTの間)



UV: 表面のニス層
可視: 私達が見る絵の色
赤外線: 下絵や別の絵
THz: 下地構造
X線: 構造(金具など)

赤外線とX線の間?

時間領域で、強度と位相の情報を使える。

THz波は、多層構造の誘電体の内部の欠陥を見つけるのに便利。

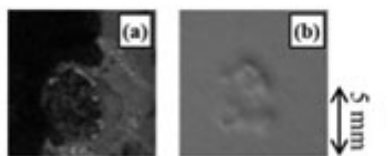
電力インフラの非破壊検査(電力中央研究所)

電力中央研究所報告

電力輸送 先端技術

テラヘルツ波による塗膜下鋼材発錆の検出

キーワード: テラヘルツ波, 発錆, 2次元分布計測, 非接触検出, 電磁波計測 報告書番号: H11002



軽微な変化でもキャッチできる。

