

THz分光イメージング①

〜封筒内に隠された禁止薬物の識別・検出〜

『どこに』『何が』あるかを見極める

サンプル
(左より、麻薬、ア
スピリン、覚醒剤)



各成分の空間分布

麻薬



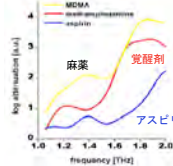
アスピリン



覚醒剤



THz吸収
スペクトル

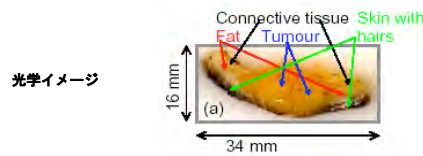


〜理化学研究所川瀬独立主幹研究ユニットHPより

THz分光イメージング②

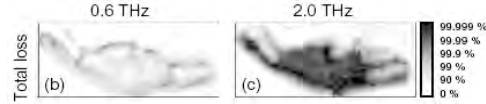
〜THz領域のカラー(分光)画像で識別して見る〜

〜ガン組織の判別〜



光学イメージ

THz分光
イメージ



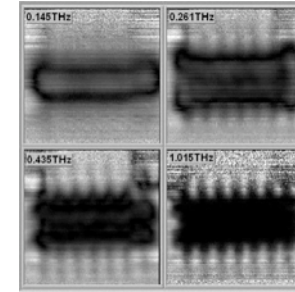
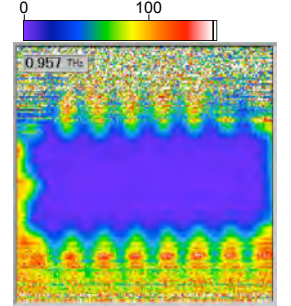
〜T. Löffler et al, Optics Express, Volume 9, pp. 616-621 (2001).

THzカラスキャナー①

〜TTL-IC〜



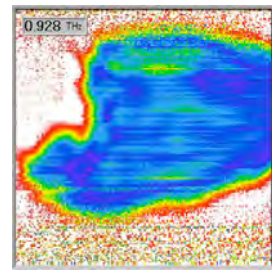
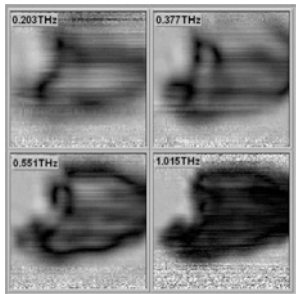
透過率 (%)



THzカラスキャナー②

〜ヒト歯牙切片〜

透過率 (%)



断層イメージング

非破壊検査 (内部構造)

例) 工業製品
生体ほか

X線

- ・ 良好な物質透過特性
- ・ 透過イメージング、CT
- ・ 高い侵襲性

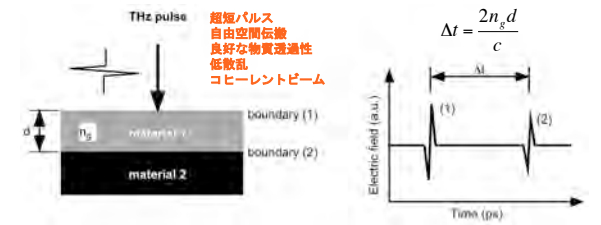
超音波

- ・ 良好な物質透過特性
- ・ パルス特性
- ・ 断層イメージング
- ・ 接触測定

OCT

- ・ 非接触リモート
- ・ 低侵襲
- ・ パルス特性
- ・ 断層イメージング
- ・ 表面近傍のみ

THz断層イメージング (THzトモグラフィー)



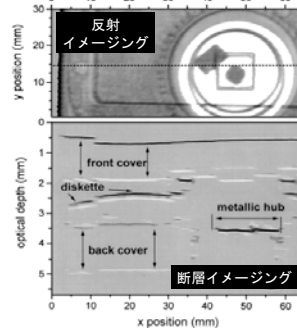
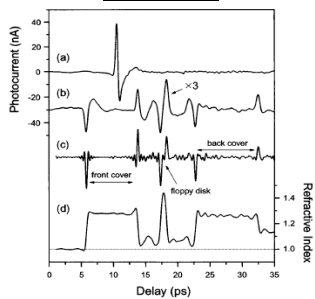
THzトモグラフィー

非接触リモート、非侵襲、深部プローブ

世界最初のTHzトモグラフィー

フロッピーディスク

THzエコー信号



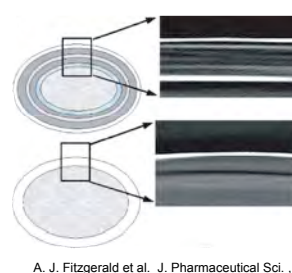
ref) Mittleman et al, Opt. Lett., Vol. 22, pp. 904-906 (1997).

工業製品の品質評価

スペースシャトル燃料タンク



錠薬のコーティング



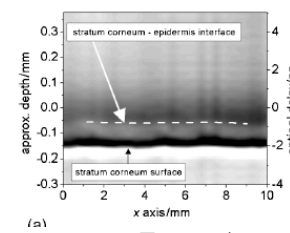
H. Zhong et al., IEEE SENSORS J., Vol. 5, 203-208 (2005).

A. J. Fitzgerald et al. J. Pharmaceutical Sci., Vol.94, pp. 177 (2005).

医用分野への応用

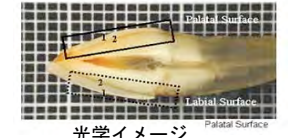
〜英国TeraView社

皮膚診断

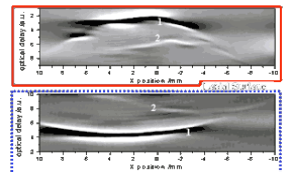


THz断層イメージ

歯牙診断



光学イメージ



THz断層イメージ

市販装置

英国TeraView社

日本では武田薬品も購入
(錠薬評価)



(2) テラヘルツ塗膜計

(2-1) 点走査型THzトモグラフィー

ref)

T. Yasui, T. Yasuda, K. Sawanaka, and T. Araki, "A terahertz paintmeter for non-contact monitoring of thickness and drying progress in paint film", *Appl. Opt.*, Vol. 44, No.32, pp. 6849-6856 (2005).

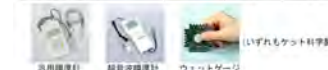
安井武史, 安田敬史, 荒木勉, 『テラヘルツ波を用いた塗膜モニタリング技術』, 塗装工学, Vol.43(11), pp. 382-390 (2008).

テラヘルツ塗膜計測(THz paintmeter)

塗装膜の工業製品(自動車ボディ他)
→ 素地(下地)の防錆・防錆・色彩効果

塗装膜の品質管理

要求される性能	電磁波検出	超音波	THz
非侵襲性	○	○	○
非接触・インプロセス測定	×	×	×
膜厚計測・フットコート及びドライ膜	△(1-3μm)	△(1-10μm)	△(1-10μm)
膜厚・厚層膜および多層膜	△(膜厚)	○	△(膜厚)
位置分布	×	×	×
素地, 金属及び合金	×	×	○
測定精度: ±0.5μm	△	△	×



テラヘルツ電磁波パルスを利用

- ・低散乱性→カラー・メタリック塗装
- ・自由空間伝搬→非接触リモート
- ウェット膜
- インプロセス計測
- ・時間軸の利用→膜厚測定
- 多層膜
- ・イメージング→膜厚ムラ分布
- ・結像光学系→空間分解能mm
- ・分光測定→塗膜品質(乾燥状態他)

万能型塗膜計測定法(装置規模:大)

→ 次世代のリアルタイム厚膜制御型塗膜技術を支援

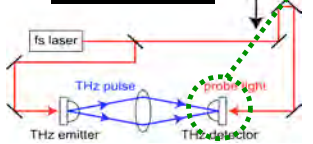
光学的手法 ×

THzパルス電場の時間波形計測

THzパルスは実時間測定できない!

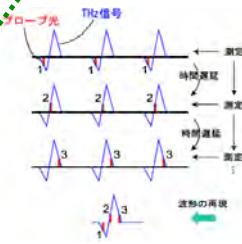
検出エレクトロニクスの帯域不足

典型的な実験装置



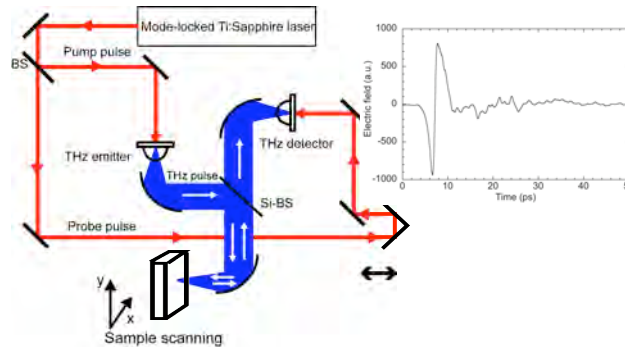
機械式時間遅延走査を用いたポンプ・プローブ測定

タイミングチャート



各遅延時間での波形の切り出しの後、時間波形再構成

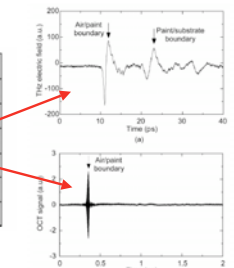
点走査型THzトモグラフィー装置



THzエコー信号とOCTエコー信号

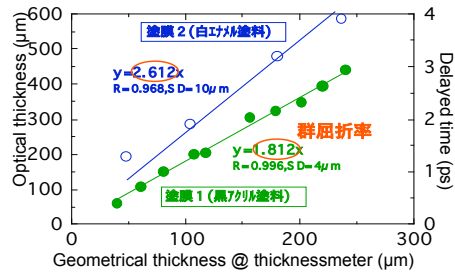
Sample	Resin	Pigment	THz paintmeter Applicability	n_2	OCT Applicability
A		none	yes	1.50	yes
B	acrylamelamine	mica	yes	1.66	yes
C		Al flake	yes	3.61	no
D		titanium oxide	yes	2.01	no
E	polyester/melamine		yes	2.02	no

サンプル提供: マツダ自動車



自動車塗料(メタリック含む)にも応用可能

膜厚測定

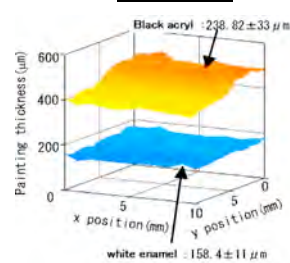


多変量解析を用いることにより膜厚分解能を20μmまで向上

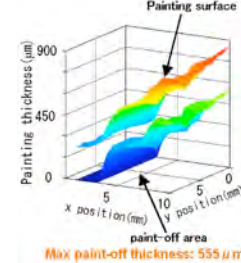
膜厚ムラ計測

膜厚精度=4μm, 膜厚分解能=40μm, 面内分解能=1.7mm

多層塗装膜



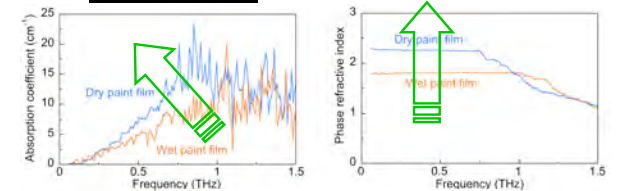
塗装膜剥離



塗装膜のTHz分光特性

吸収スペクトル

屈折率スペクトル

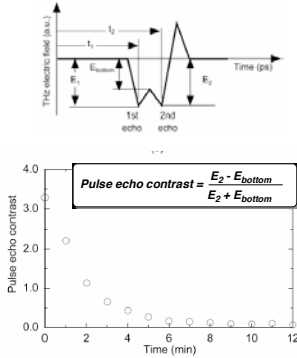
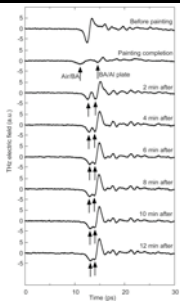


乾燥に伴うTHz分光特性の変化

乾燥状態に依存してTHzエコー信号が変化

乾燥状態モニタリング

乾燥に伴うTHzパルスエコーの時間変化



産業応用におけるTHzイメージングの問題点

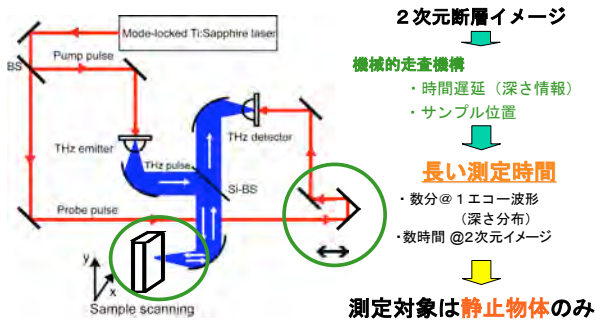
- ①装置(レーザー)が高価！
→ファイバーレーザーの利用
- ②測定時間が長い！
→実時間2次元THzトモグラフィー
- ③非接触リモート計測が困難！
→THzレーダー

(2-2) 実時間2次元THzトモグラフィー

ref) T. Yasuda, T. Yasui, T. Araki, and E. Abraham, "Real-time two-dimensional terahertz tomography of moving objects", Opt. Comm., Vol. 267, pp. 128-136 (2006).

荒木勉, 安井武史, 『テラヘルツ電磁波パルスによるリアルタイム2次元断面画像撮影技術～非侵襲・非接触リモートな実時間断面画像撮影法の開発～』, 検査技術, vol. 11 (1), pp. 41-46 (2006).

従来のTHzトモグラフィー (点計測)



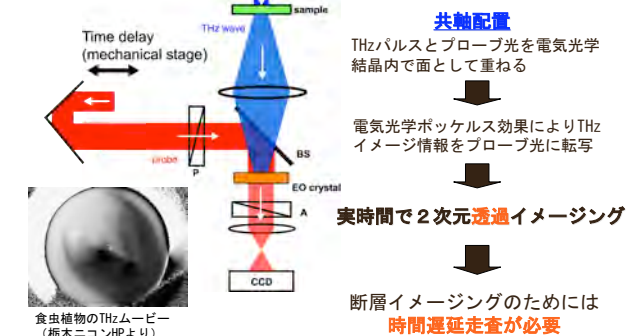
2次元THzトモグラフィーの実時間化

動体サンプルにも適用可能
様々な応用計測への展開
例) ライン工業製品の非破壊検査、皮膚診断ほか

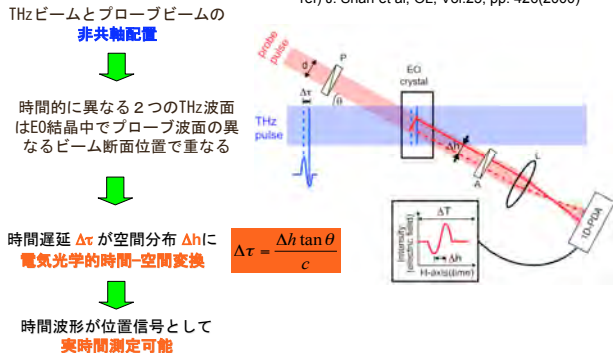
機械的の走査機構 (時間遅延、
サンプル位置移動) を省略

実時間2次元THz透過イメージング

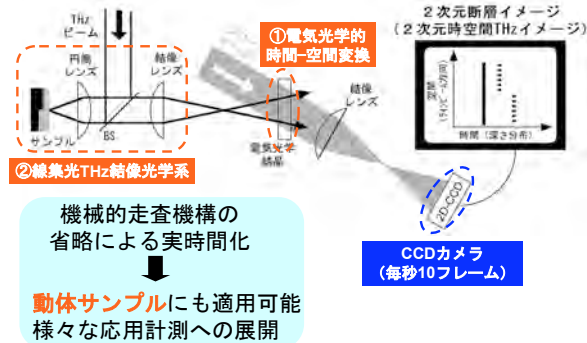
ref) Q. Wu et al, APL 69, pp.1026-1028 (1996). ~点計測から2Dイメージ計測へ~



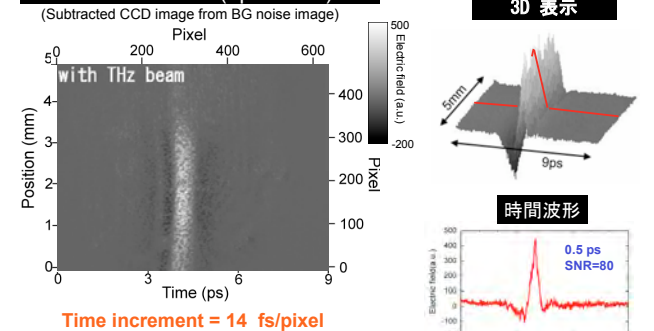
電気光学的時間-空間変換 (非共軸2D-FSEOS)



実時間2次元THzトモグラフィー



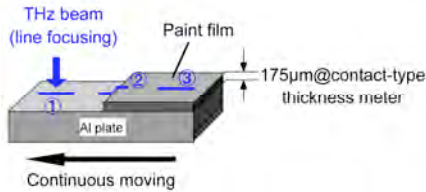
金属ミラー表面の2次元時空間THzムービー (9ps×5mm)



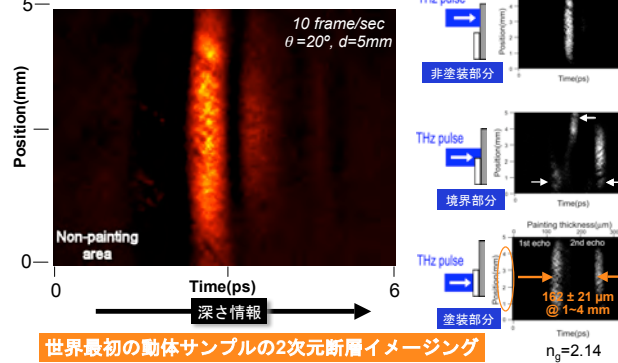
移動塗装膜の実時間THzトモグラフィー

非接触リモート性・リアルタイム性を利用

- ・アルミ板の右半分に塗装膜(平均膜厚175 μ m)を作成
- ・塗装膜を連続移動@ 秒速5 mm



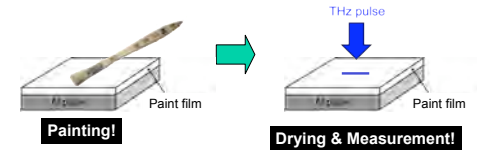
移動塗装膜のTHz断層ムービー



世界最初の動体サンプルの2次元断層イメージング

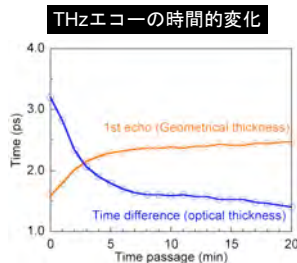
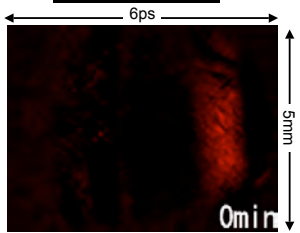
ウェット塗装膜の実時間THzトモグラフィー ～乾燥状態のモニタリング～

サンプル：速乾性塗装膜



乾燥過程におけるTHz断層ムービー

早送り動画 (20分)



乾燥進行に伴い幾何学的及び光学的に塗装膜が収縮

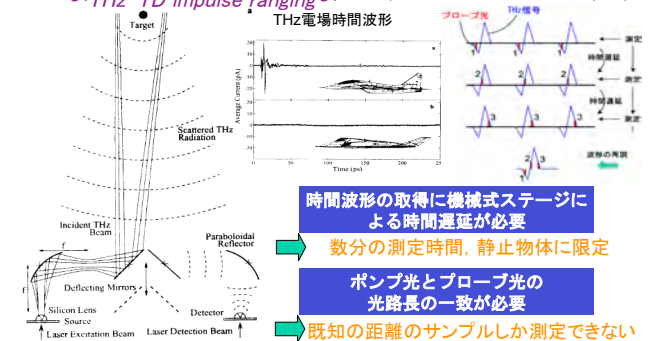
Painting surface
幾何学的厚さ

Painting/plate boundary
光学的厚さ

(2-3) THz レーダー

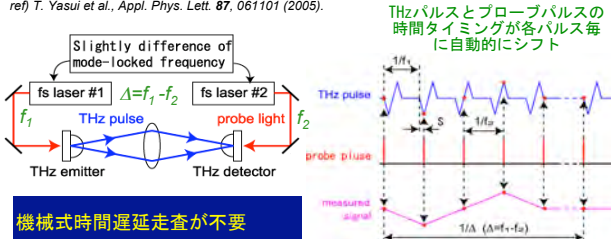
従来研究 (スケールモデルシミュレーター) ～THz-TD impulse ranging～

ref) R.A. Cheville et al, APL 67, 1960 (1995).



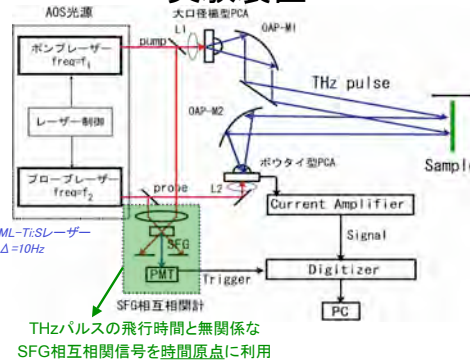
非同期光サンプリング (AOS) 式THzパルス計測法

ref) T. Yasui et al., Appl. Phys. Lett. 87, 061101 (2005).

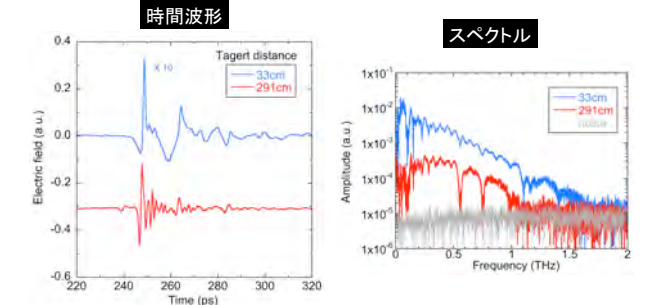


THzレーダー計測の高速化および遠隔リモート計測が可能

実験装置

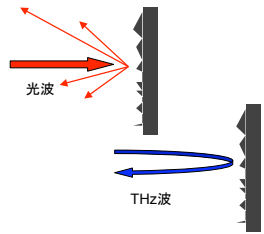


測定距離による信号変化

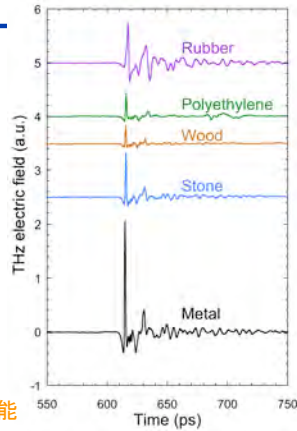


各種材料からの THzエコー信号

測定距離=1m, 100回積算 @ $\Delta f=10\text{Hz}$

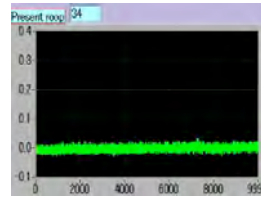


THz波の低散乱性により
光波で測定困難な粗面も検出可能

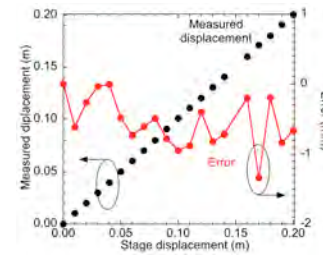
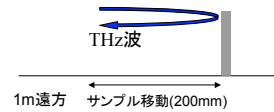


距離測定の基本特性評価

スキャンレート $\Delta=10\text{Hz}$



移動ターゲットの追従が可能

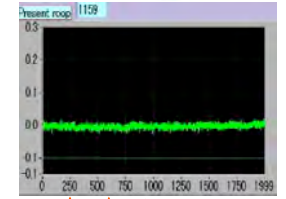


測定精度=354 μm

内部透視センシング



ref) <http://www.THzNetwork.org/wordpress/wp-content/galleries/THz-images/images/tight.jpg>

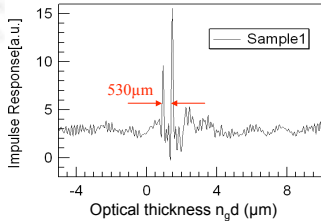
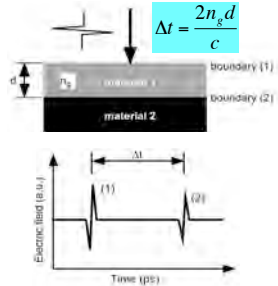


セキュリティ・センシング
への応用

断層構造の非接触リモート測定

危険箇所(橋脚など)の
塗装剥離や錆は重大な欠陥

塗装膜サンプル(測定距離1m)
 $d=220\mu\text{m}$, $n_g=2.59$, $n_d=570\mu\text{m}$



危険箇所の保守点検

ref) T. Yasui et al., Appl. Opt. 44, pp. 6849-6856 (2005).

まとめ

- ・点走査型THzトモグラフィー
- ・リアルタイム計測
- ・非接触リモート計測

THzイメージングの応用計測

- ・樹脂材・フォーム材・セラミック他の各種非金属材料
- ・非侵襲・非接触リモート・リアルタイムな非破壊検査
- ・非破壊検査が最も現実的なキラーアプリケーション?