

大阪大学大学院基礎工学研究科 安井武史

X線や超音波に代わる内部透視手段として期待されるテラヘルツ (THz) イメージングの特徴の1つが、内部透視イメージを THz 周波数毎の色付きカラー画像 (THz 分光画像) として測定できる点であろう。したがって、各種物質固有の吸収スペクトル (THz 指紋スペクトル) を利用すれば『どこに』『何が』あるかを識別することが可能となり、成分分析型の内部透視イメージングが実現できる。しかし、従来の THz 分光イメージング法は点計測に基づいているためイメージ取得に極めて長い時間を要し、測定対象が静止物体のみに制限されていた。我々は、電気光学的時間-空間変換による実時間 THz 時間波形計測[1]と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ライン・イメージングを複合することにより、実時間 THz カラーキャナーを開発した[2-4]。本手法では、THz 線集光ラインを用い、一般のカラーキャナーと同じくラインの動き (または測定対象の動き) に合わせて実時間でラインイメージを測定することにより、移動物体の2次元 THz カラー画像の取得も可能になる。

実験装置図を図1に示す。フェムト秒チタン・サファイア再生増幅器からのレーザー光を ZnTe 結晶 (ZnTe1) に入射することにより、高強度 THz パルスを発生させる。サンプルを透過した THz パルスとプローブパルス (Probe light) を THz 検出用 ZnTe 結晶 (ZnTe2) に非共軸入射することにより、THz パルス電場の時間波形がプローブパルスの空間複屈折量分布に変換される (電気光学的時間-空間変換)。クロスニコル配置の偏光子ペア (P, A) によってプローブ光の空間強度分布に変換された THz パルス電場時間波形は、結像レンズ (L3) を介して高速 CMOS カメラの水平座標に展開される。一方、CMOS カメラの垂直座標は1次元イメージングに利用可能であるので、円筒 THz レンズ (CL) を用いて THz ビームをサンプルに線集光し、それを THz レンズペア (L1, L2) で ZnTe2 に結像することにより、サンプルの1次元 THz イメージを CMOS カメラの垂直座標に展開する。このように、水平座標に時間軸、垂直座標に空間軸が展開された2次元時空間 THz イメージを、高速ロックイメージング検出する (500fps)。最終的に、2次元時空間 THz イメージの時間軸 (水平座標) を高速フーリエ変換することにより振幅と位相の THz 分光ラインイメージを実時間で得る。

まず、テストサンプルとしてメタルホールアレイ (MHA) を用いて基本特性評価を行った。MHA は THz 帯フォトニック結晶の1つであり、空孔率を調節することにより、透過周波数が選択可能な THz 帯バンドパスフィルターとして利用できる。今回は、空間的に異なる透過特性を有する4分割 MHA (透過周波数=0.2THz, 0.4THz, 0.8THz, 1.6THz; 図2) を作成し、ステージで一方向に連続移動 (1mm/sec) させながら測定を行った (測定領域 20mm*20mm、測定時間 20秒)。図3(a)は、4分割 MHA の4つの透過周波数における THz 分光画像 (232pixel*200pixel) を示しており、4分割 MHA のスペクトル特性を反映した結果が得られているのが分かる (イメージのクロストークは、4分割 MHA 自体の透過スペクトル特性によるものである)。従来の点計測型 THz-TDS イメージング装置とピクセルレート (=総ピクセル数/測定時間) を比較すると、THz カラーキャナーが 100~10,000 倍近く高いことになる。図3(b)は移動速度を 10mm/sec に増加した場合の測定結果 (測定時間 2秒) を示しており、測定 SN 比は低下しているものの、同様な結果が得られていることが分かる。

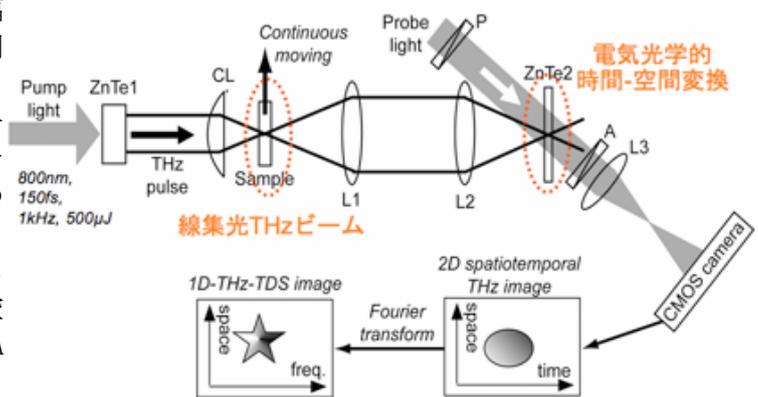


図1 THz カラーキャナー装置

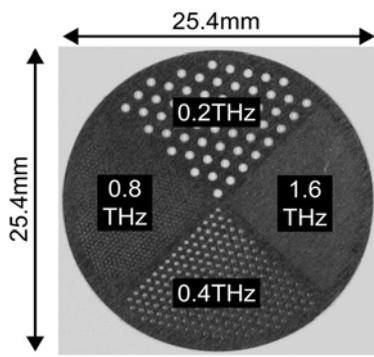


図2 4分割 MHA

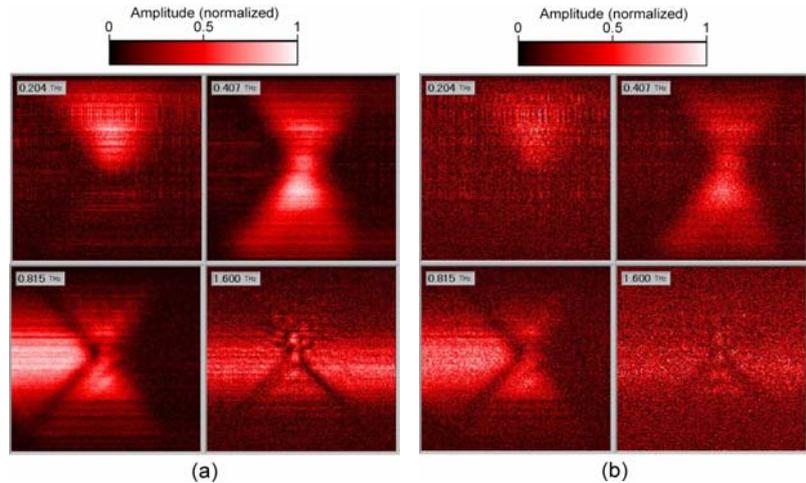


図3 4分割 MHA の THz 分光イメージ。(a) 1mm/sec と(b)10mm/sec

次に、ヒト歯牙切片の計測を行った。図4は測定結果を示しており、各周波数において特徴的な THz 分光画像が得られていることが分かる。硬組織である歯牙の場合、エナメル質や象牙質がハイドロキシapatiteの結晶構造を有しており、この結晶構造と THz 波の相互作用により特徴的な THz 吸収が現れていると考えられる。

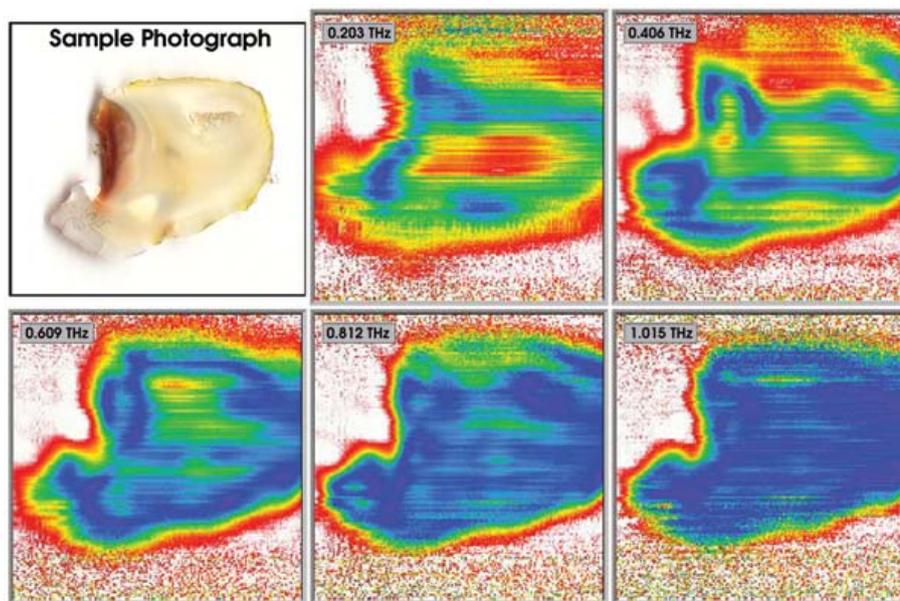


図4 ヒト歯牙切片サンプルの写真と THz 分光画像

本研究は科学研究費補助金（課題番号 18686008、18650121）より援助を受けた。

参考文献

- [1] J. Shan, A. S. Weling, E. Knoesel, L. Bartels, M. Bonn, A. Nahata, G. A. Reider, and T. F. Heinz, "Single-shot measurement of terahertz electromagnetic pulses by use of electro-optic sampling," *Opt. Lett.* 25, 426-428 (2000).
- [2] T. Yasui, K. Sawanaka, A. Ihara, E. Abraham, M. Hashimoto, and T. Araki, "Real-time terahertz color scanner for moving objects," *Opt. Express* 16, pp. 1208-1221 (2008), <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?id=148990>.
- [3] "Speedy and Colorful Terahertz Scanning", *PHOTONICS SPECTRA* 42(3), pp. 25-28 (2008), <http://www.photonics.com/content/spectra/2008/March/tech/90770.aspx>
- [4] http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/araki_lab/research/thz/