

カラーレスキャナー

可視光を用いた
分光イメージング装置



用途：
文書や写真の読み取り

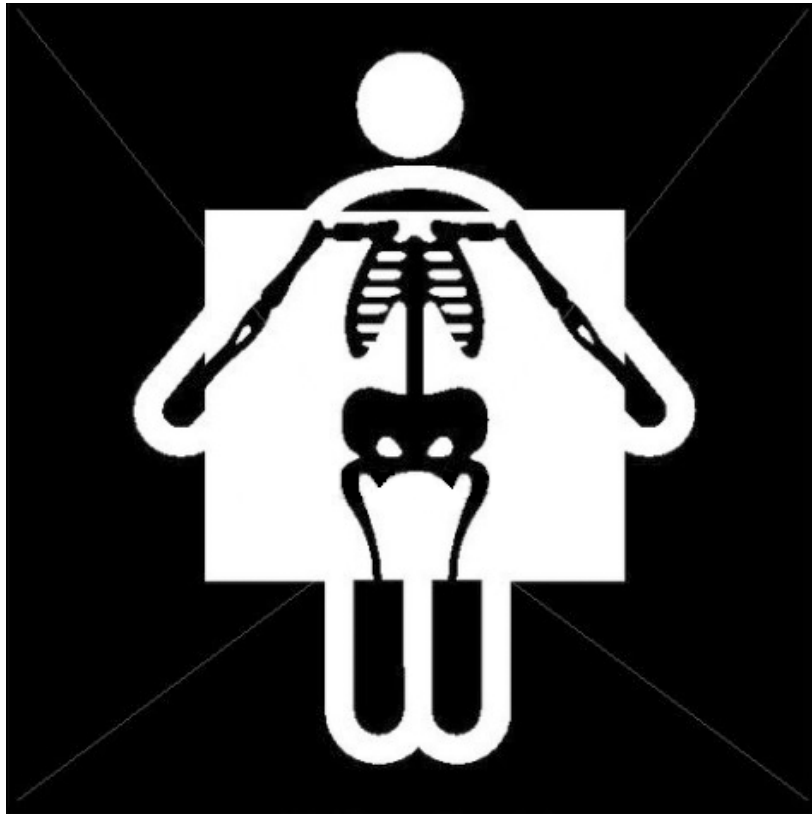
↓

可視光の物体浸達度により表面
近傍の情報しか得られない。

↓

物質透過性の良好な電磁波を
用いると物質内部を読み取るカ
ラーレスキャナーが実現できる！？

X線スキャナー(レントゲン、CT)



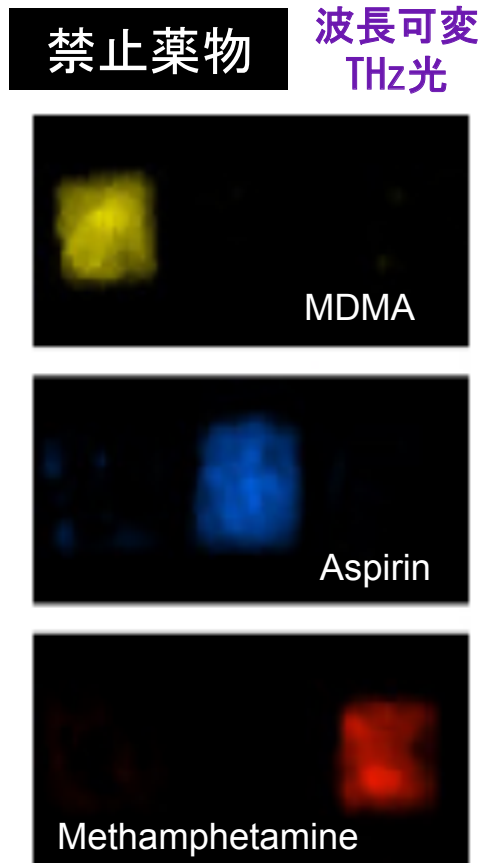
用途：
非破壊検査、医療診断

特徴：
良好な物質透過性

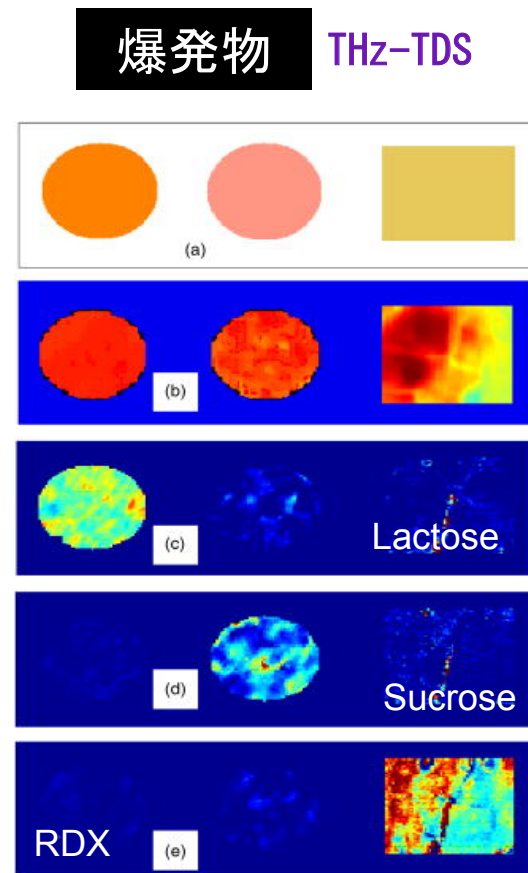
問題点：
高い侵襲性
良好過ぎる透過性
モノクロ(白黒)イメージ
→分光学的成分分析は
困難！

テラヘルツ分光イメージング

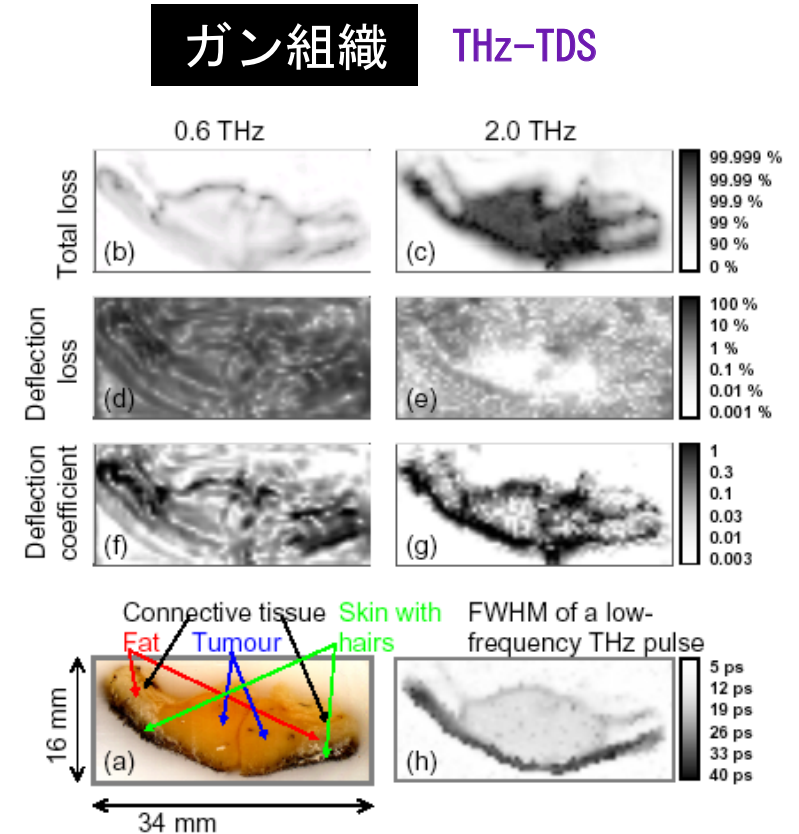
～THz周波数毎の色付きカラー（分光）画像で見分ける～



Kawase, OpEx 11, pp. 2549, 2003.



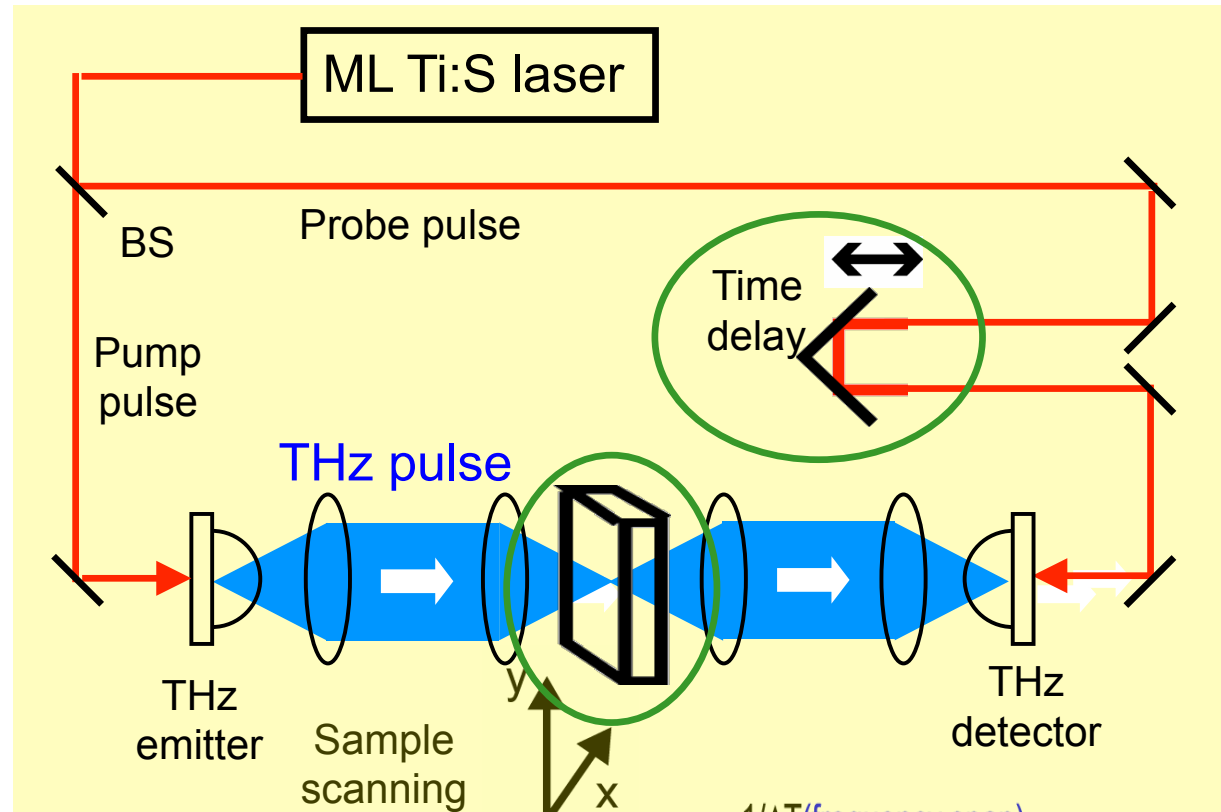
Shen, APL. 86. 24116. 2005.



T. Loffler, OpEx, 9, pp. 616, 2001.

測定時間が長い!!

THz時間領域分光(THz-TDS)イメージング装置



点計測

2次元THz-TDSイメージ

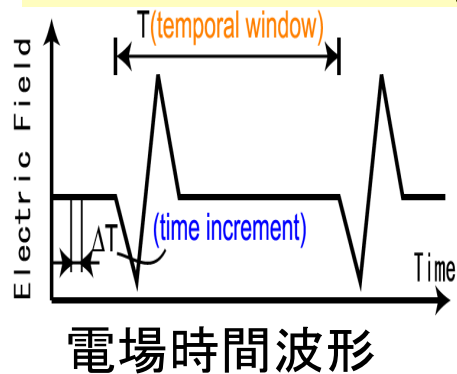
機械的走査機構

- ・ 時間遅延
- ・ サンプル位置

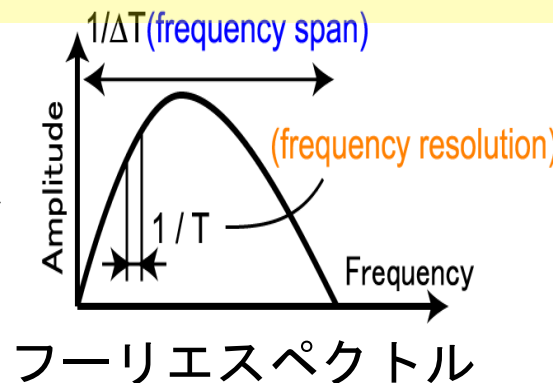
長い測定時間

- ・ 数分@THzスペクトル波形
- ・ 数時間 @2次元イメージ

測定対象は
静止物体のみ



F.T.



カラースキャナーの測定原理

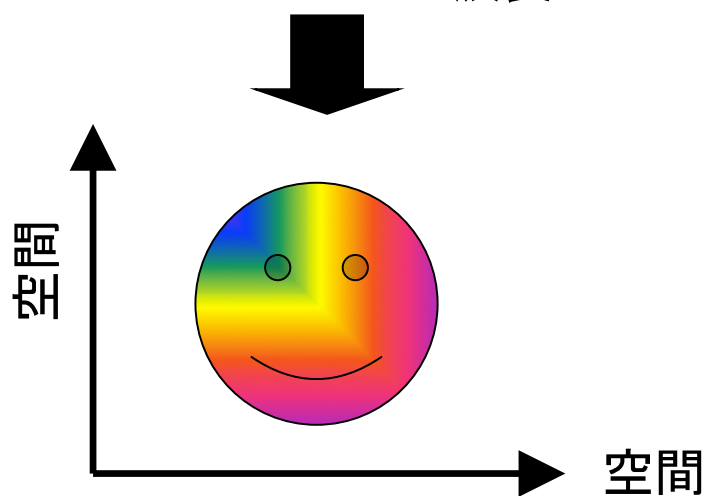
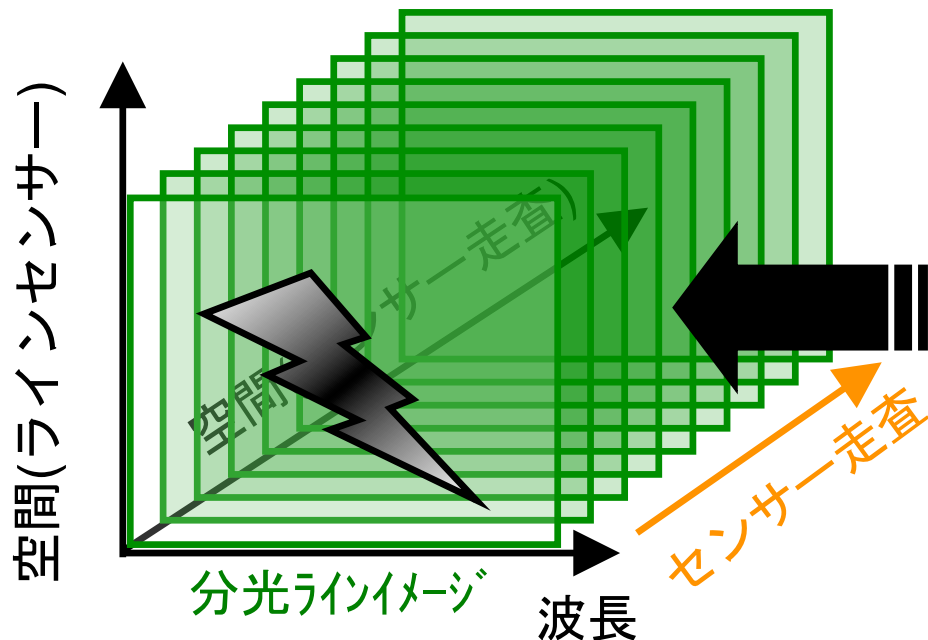
リアルタイム分光
ライン・イメージング
(カラー・ラインセンサー)

+ ポイント!

ラインセンサー走査
(1次元)

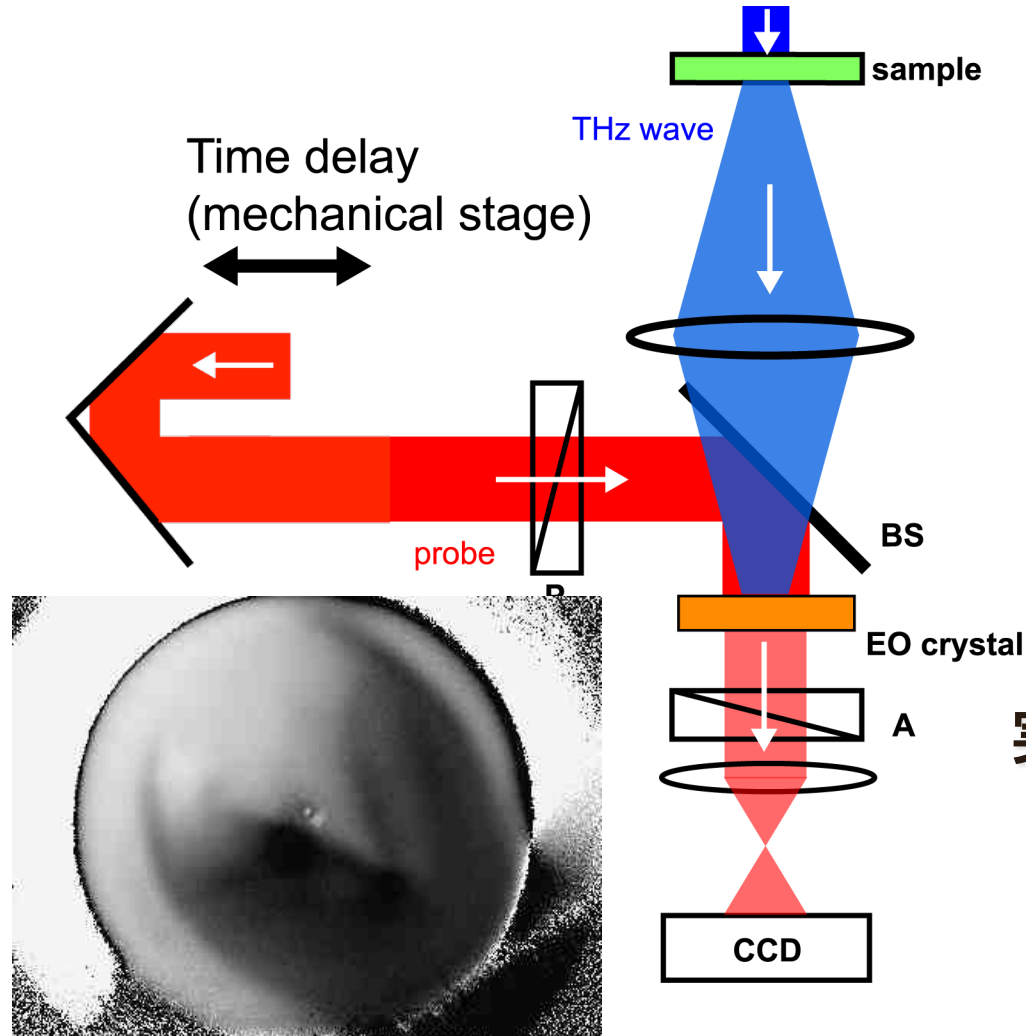


2次元カラーイメージ



2次元電気光学サンプリング (2D-FSEOS)

ref) Q. Wu et al, APL 69, pp.1026-1028 (1996).



食中植物のTHzムービー
(栃木ニコンHPより)

点計測から2Dイメージ計測へ

共軸配置

THzパルスとプローブ光を電気光学結晶内で面として重ねる

電気光学ポッケルス効果によりTHzイメージ情報をプローブ光に転写

実時間で2次元透過イメージング

分光イメージングのためには
時間遅延走査が必要

電気光学的時間-空間変換 (非共軸2D-FSEOS)

ref) J. Shan et al, OL, Vol.25, pp. 426(2000)

THzビームとプローブビームの**非共軸配置**



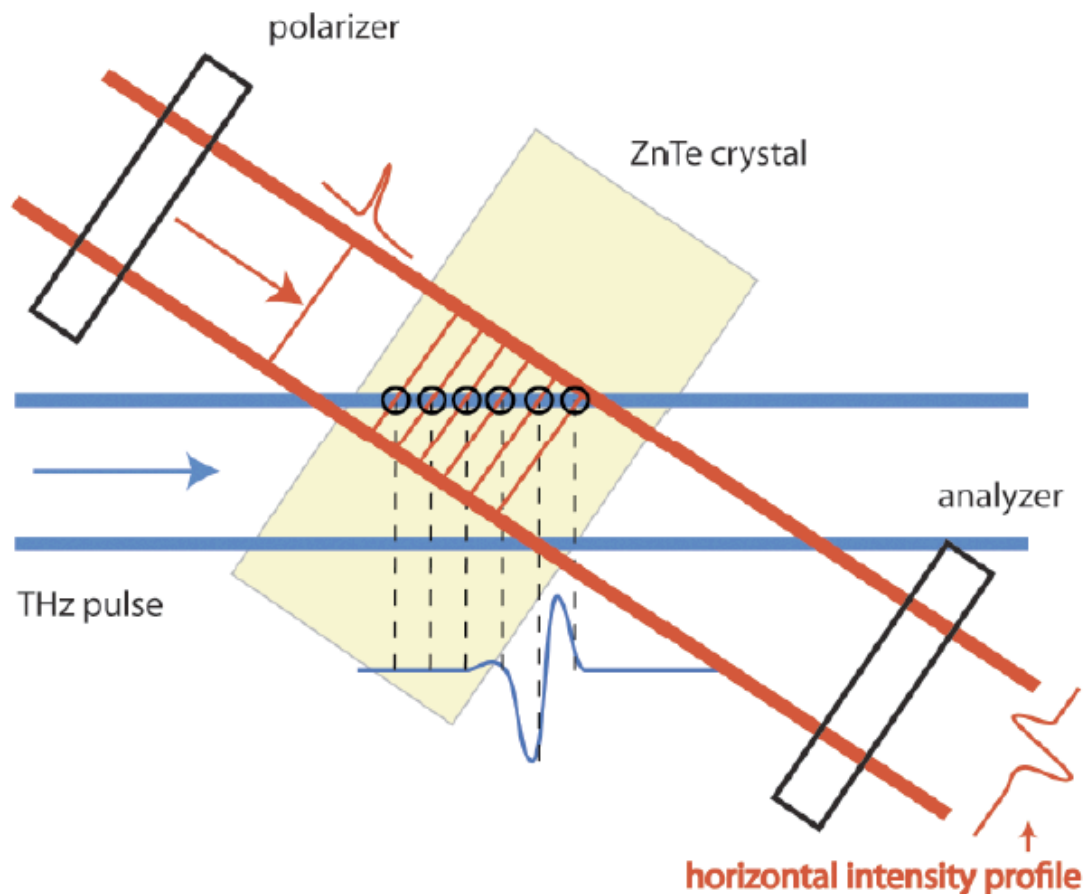
時間的に異なるTHz波面はE0結晶中でプローブ波面の異なるビーム断面位置で重なる



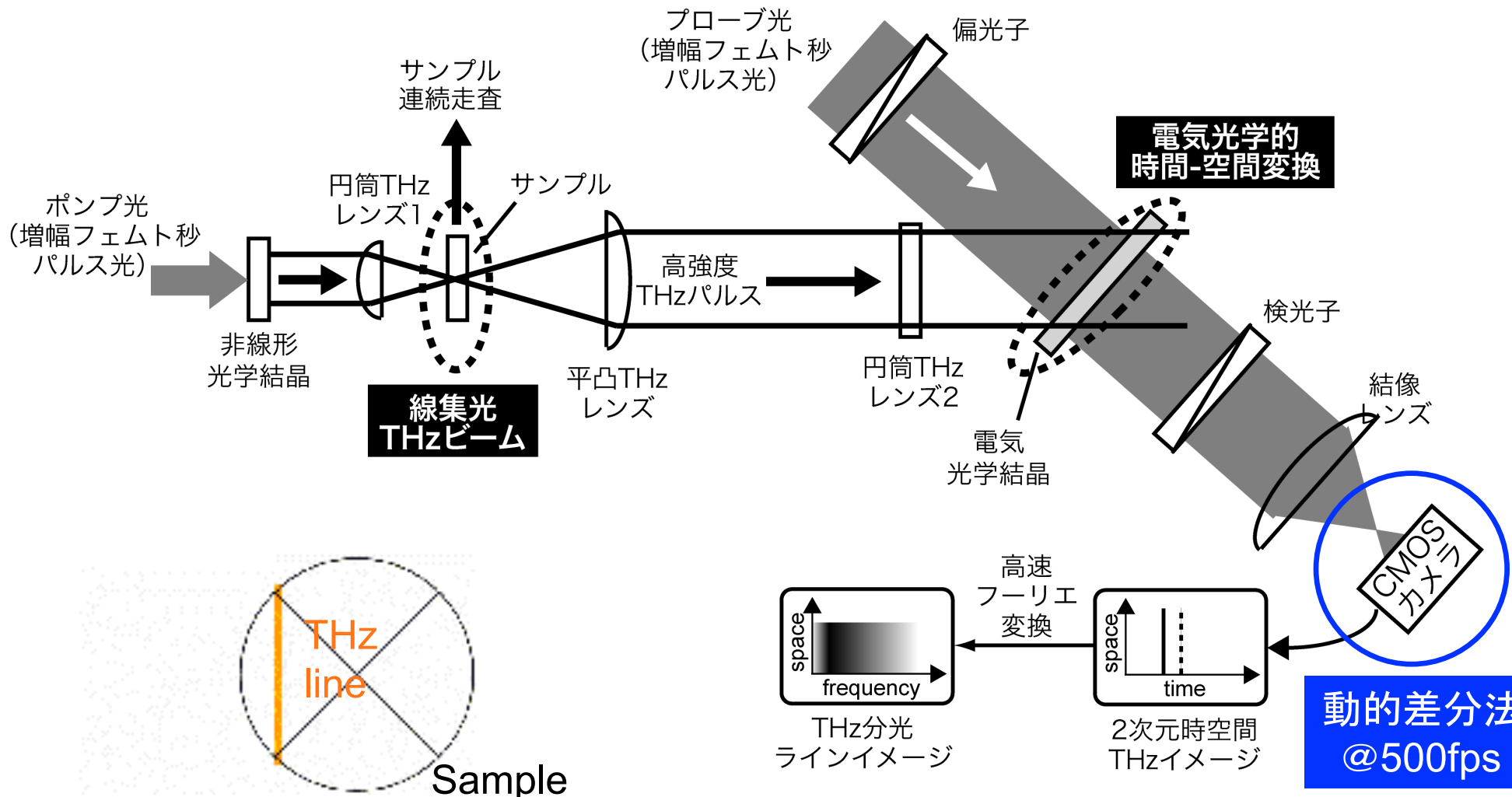
時間遅延 $\Delta\tau$ が空間分布 Δh に**電気光学的時間-空間変換**



時間波形が位置信号として**実時間測定可能**

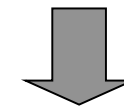


実験装置

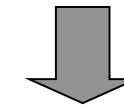


動的差分イメージング

Fast CMOS camera synchronizes with laser repetition rate



THz beam is shadowed at every second laser pulse



Alternate acquisition of

- Image with THz beam
- Image without THz beam

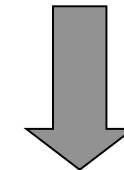
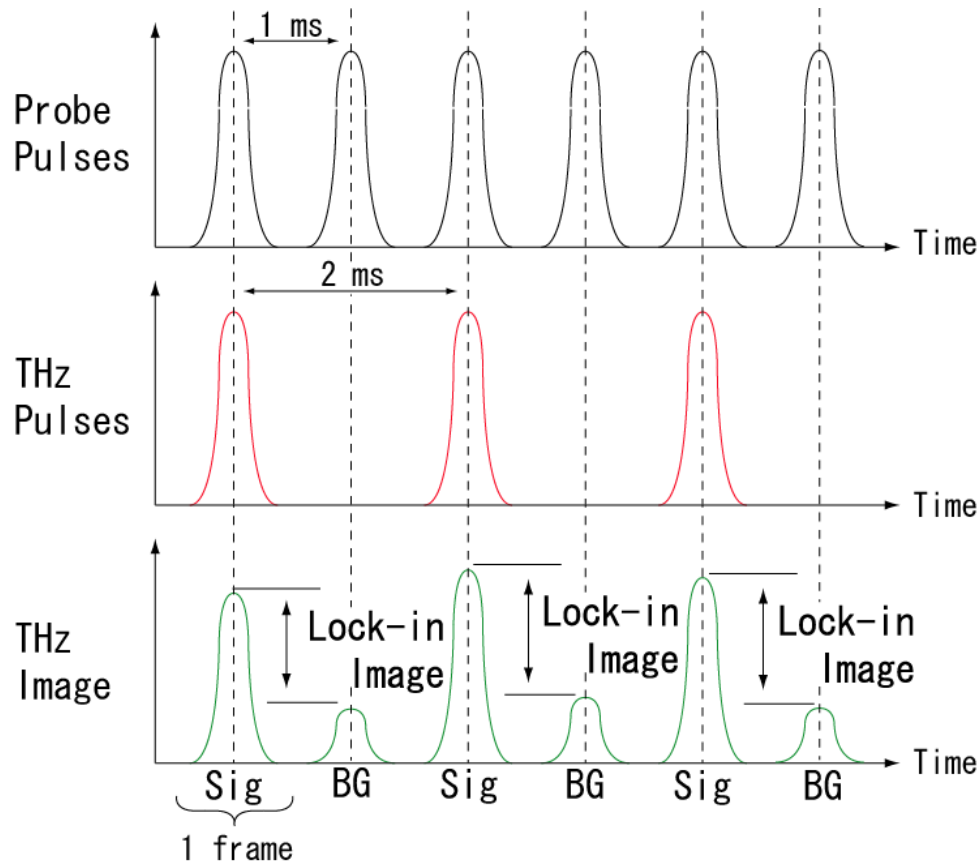
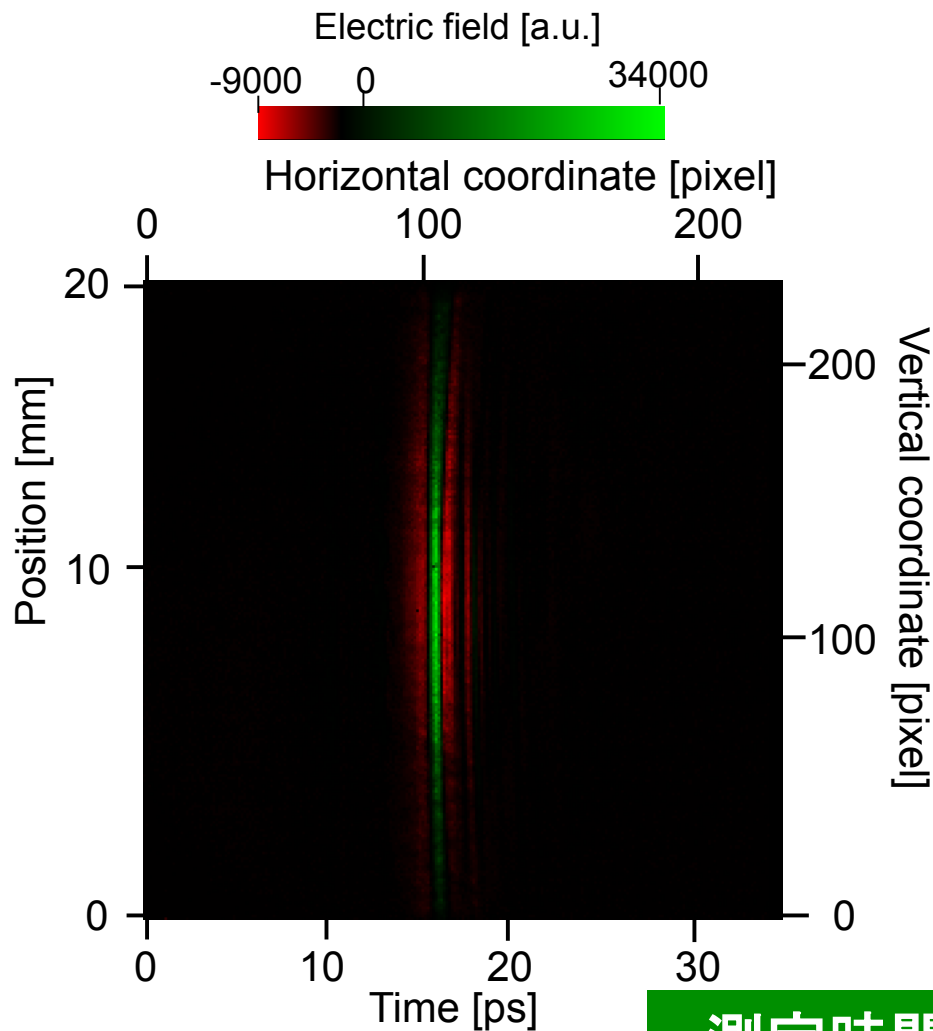


Image subtraction of a pair of two successive images

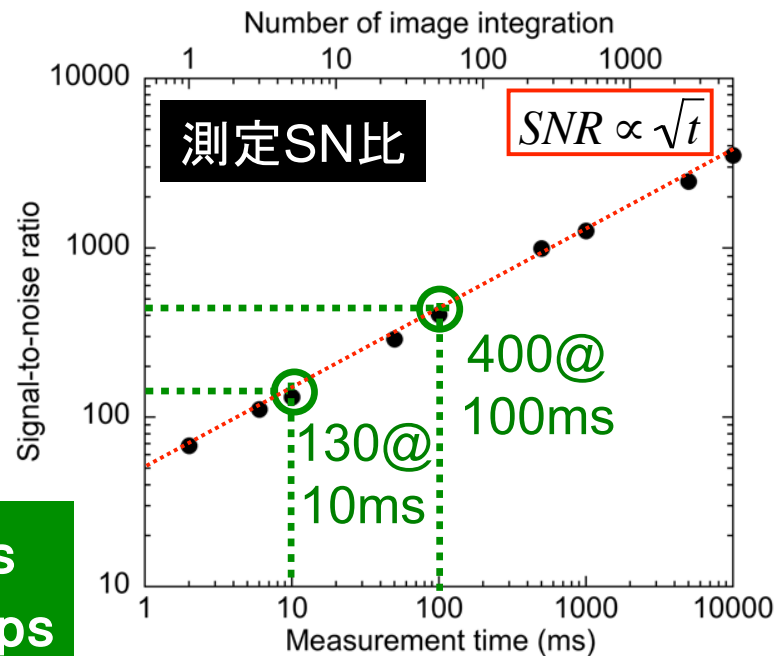
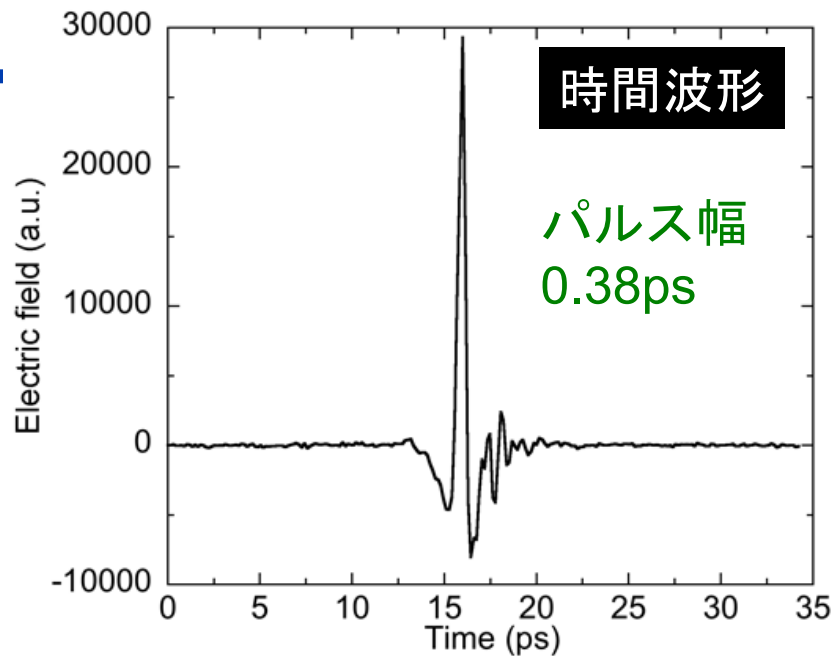


時間特性



2次元時空間THzイメージ

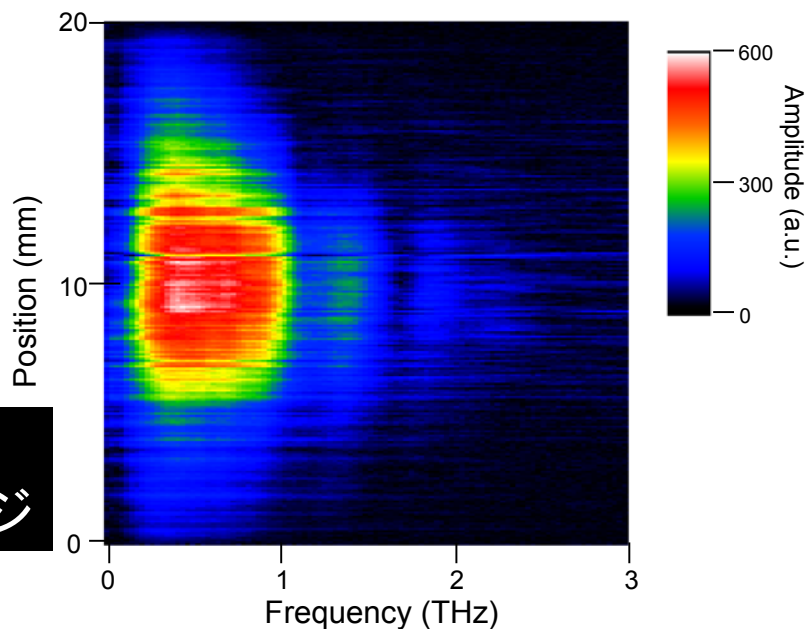
測定時間窓34ps
時間分解能0.148ps



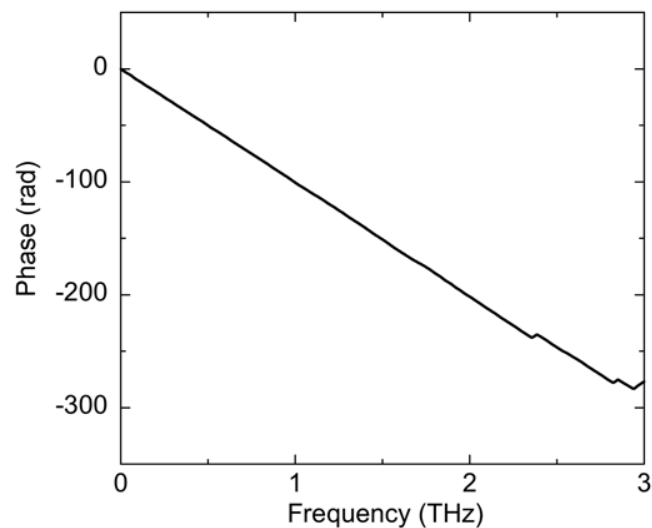
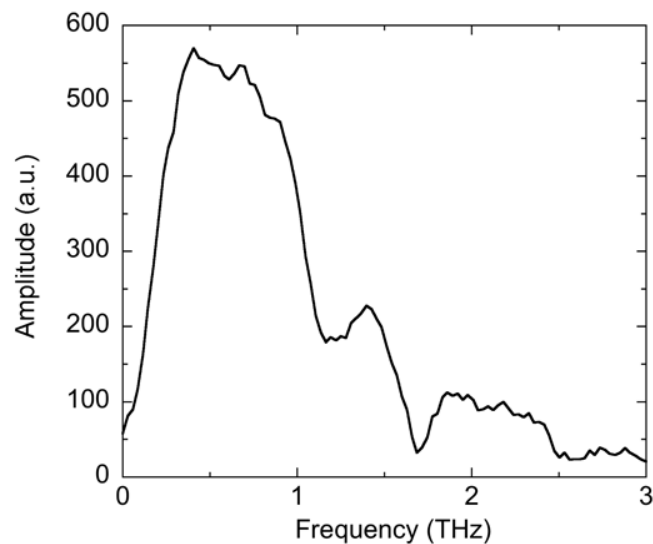
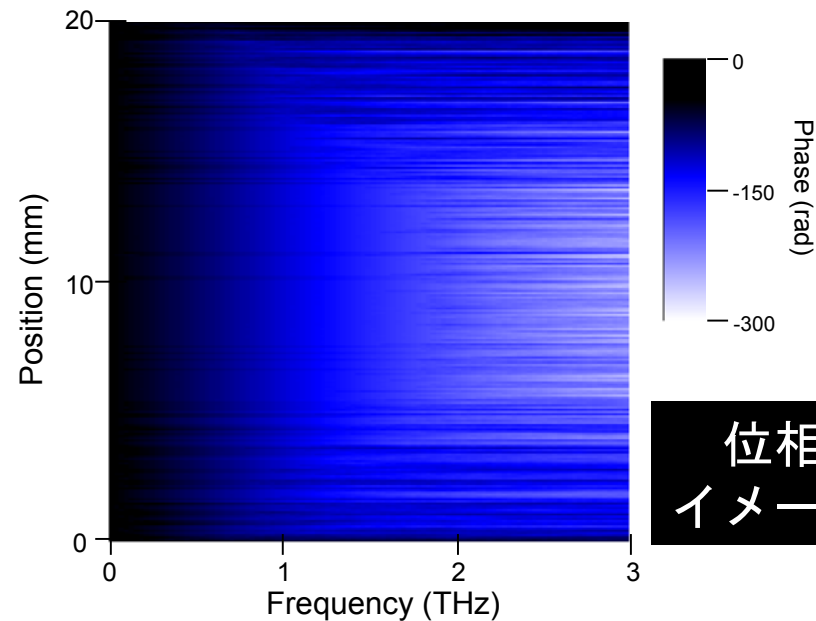
スペクトル特性

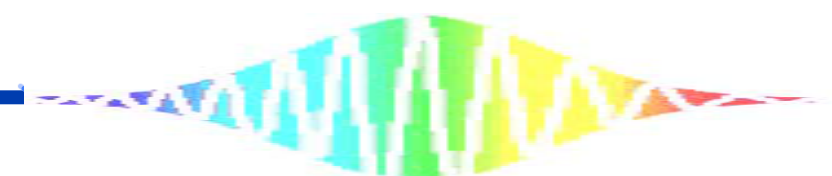
スペクトル分解能29GHz

振幅
イメージ

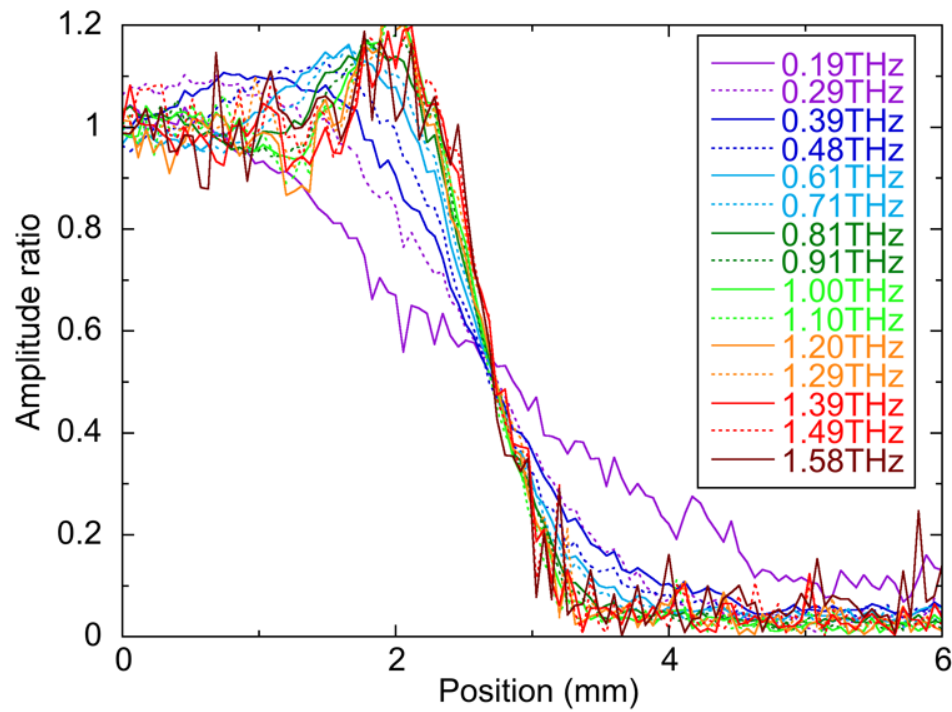


位相
イメージ

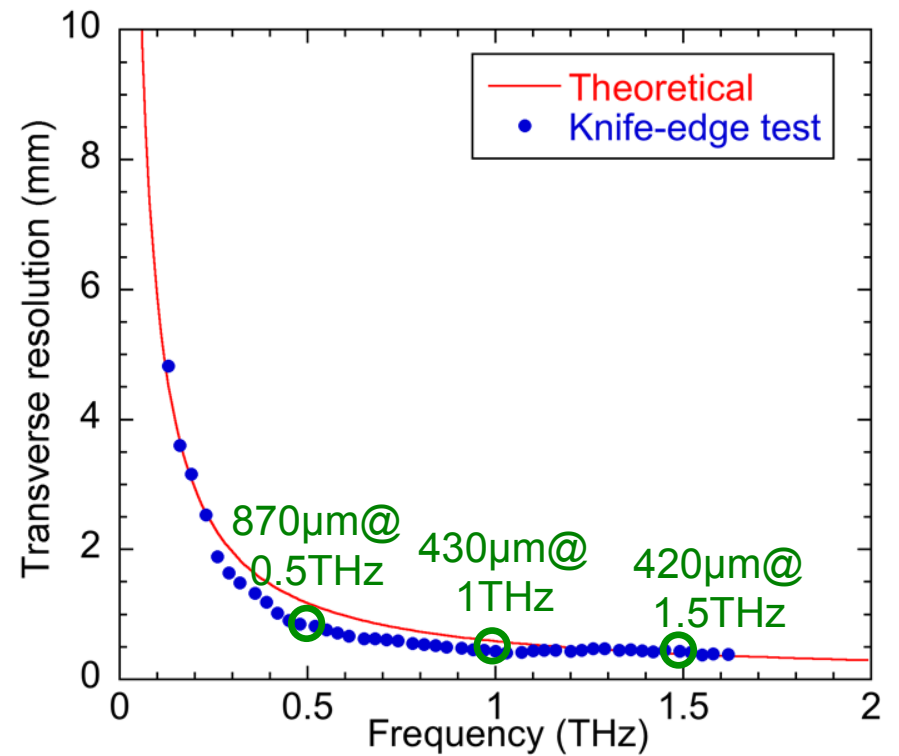




空間分解能



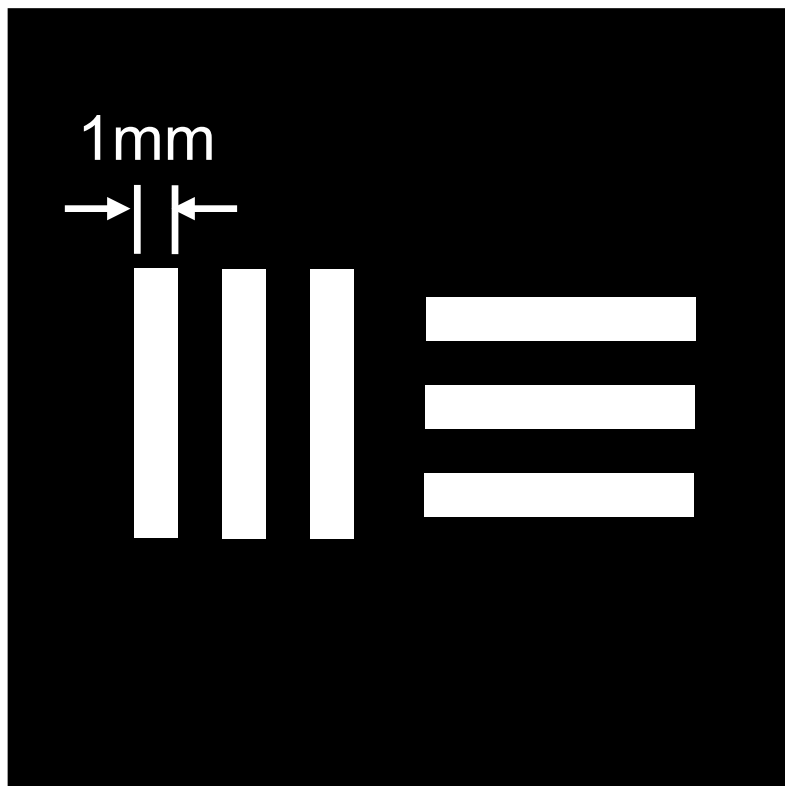
ナイフエッジプロファイル



空間分解能

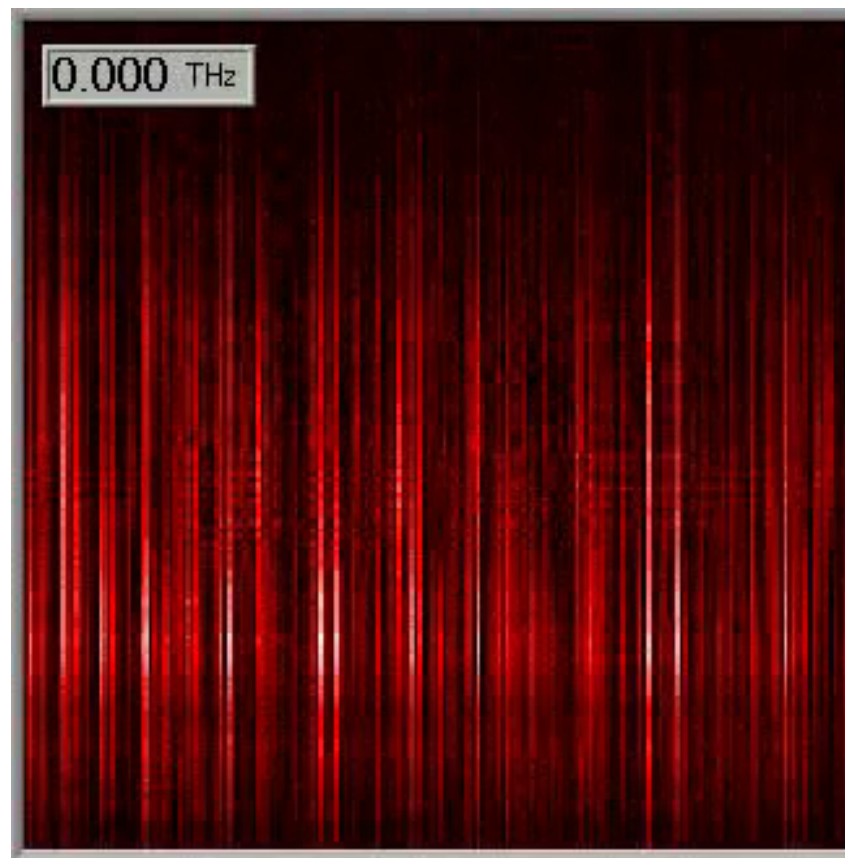
テストチャートのTHz分光イメージング

テストチャート（ネガ）



0.029THz刻みで116枚の
分光イメージを取得

THz分光イメージ

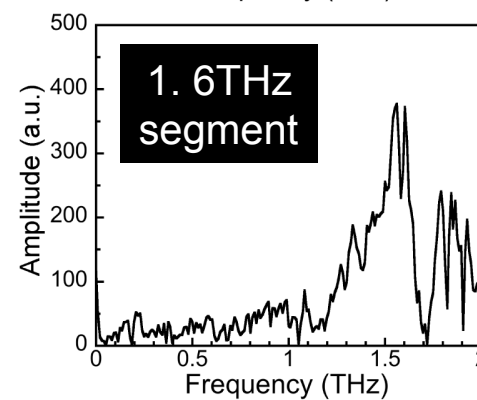
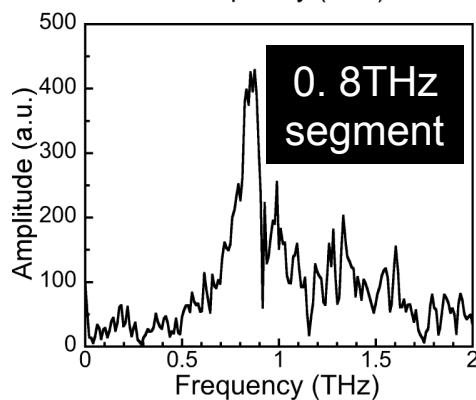
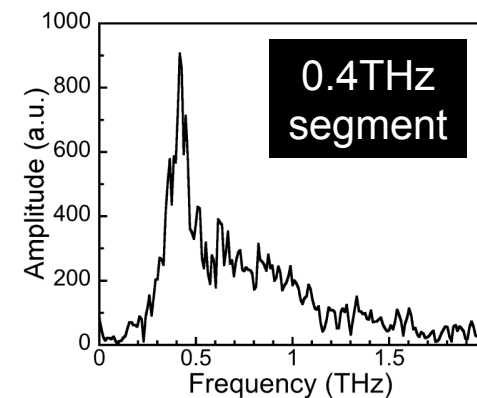
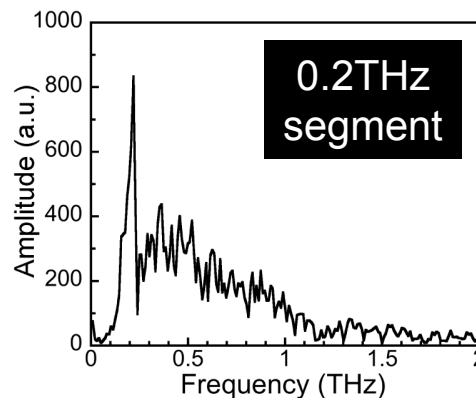
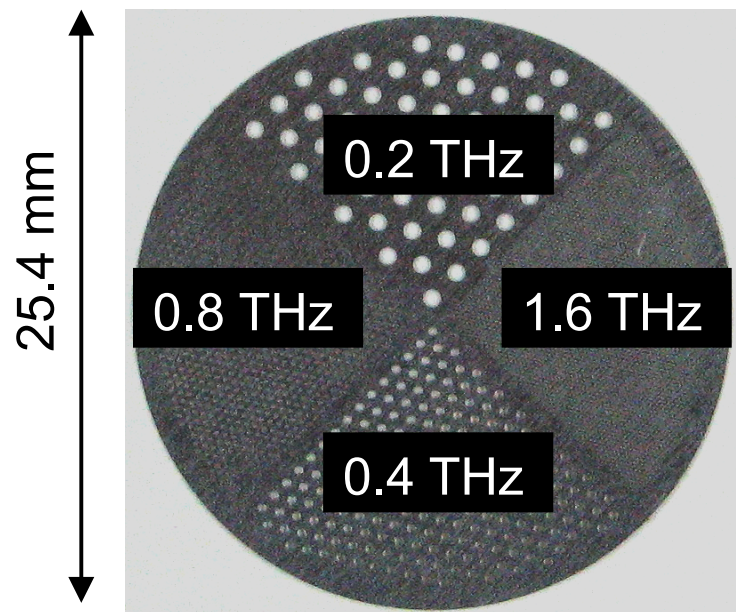


任意の空間分解能での
THzイメージング

4分割メタルホールアレイ (4分割MHA)

メタルホールアレイ(MHA)

多数の周期的な穴がえられた金属板
THz領域のバンドパスフィルター
透過特性は穴のサイズと周期に依存



4分割MHAの THz分光ムービー

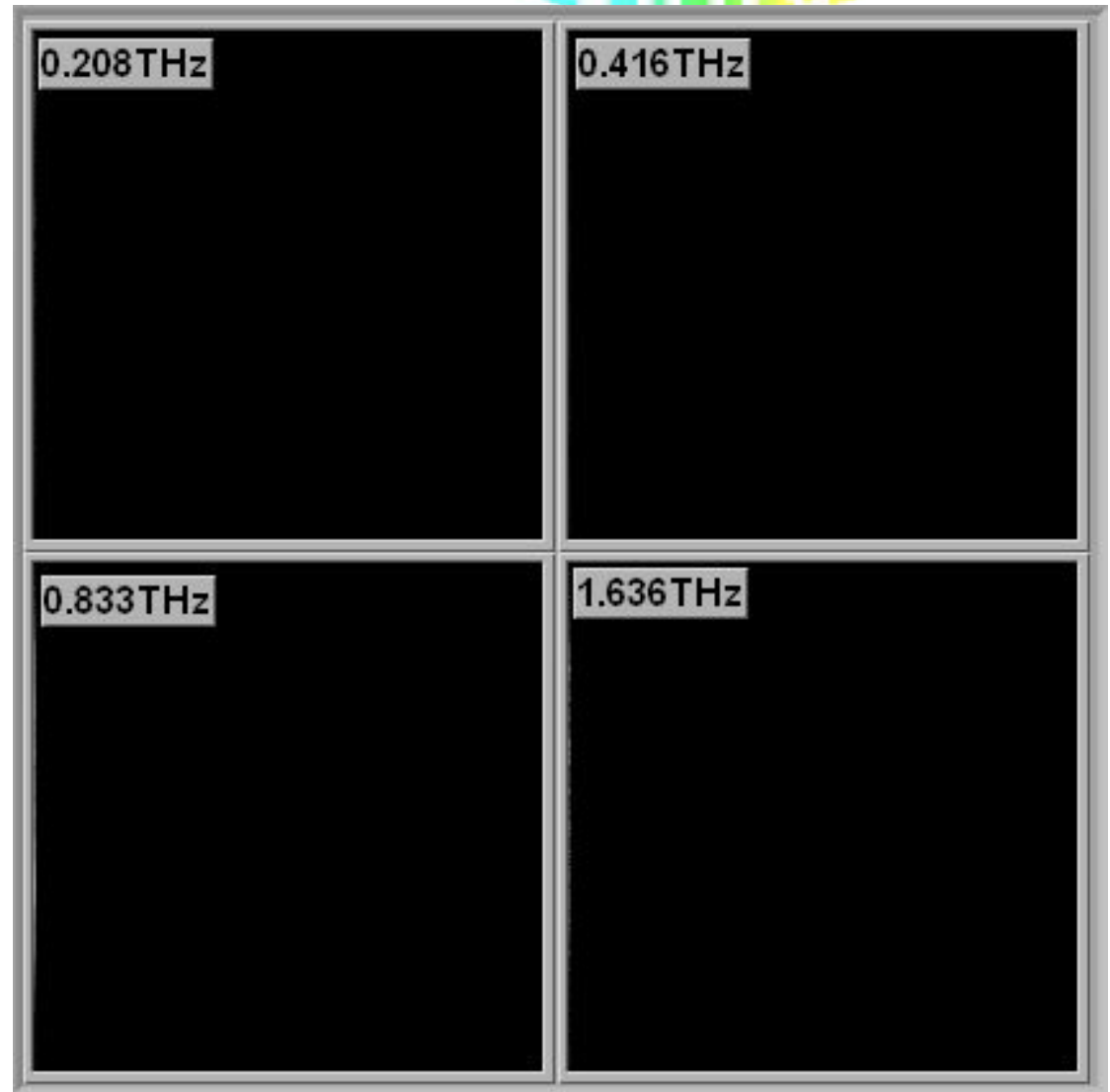
Sample moving ← 10mm/sec



THz line

image area
20 mm×20 mm

2秒間に200本の分光ライ
ンイメージを連続取得

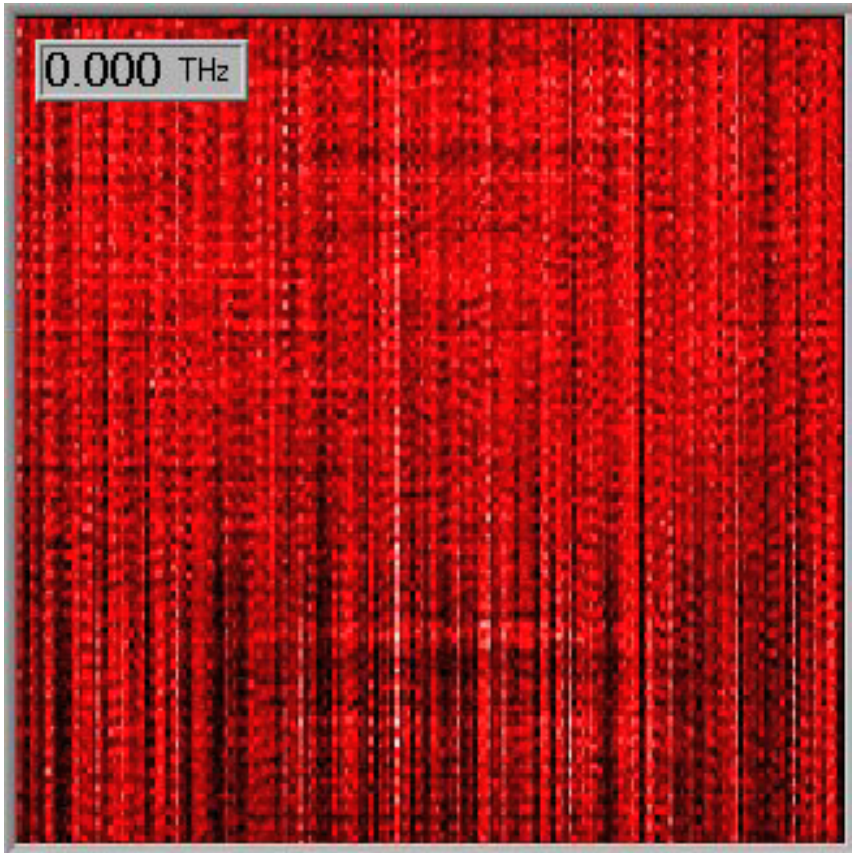


THz分光イメージ(200*232pixel)

ピクセルレートと比較 (4分割MHA)

THzカラーキャナー

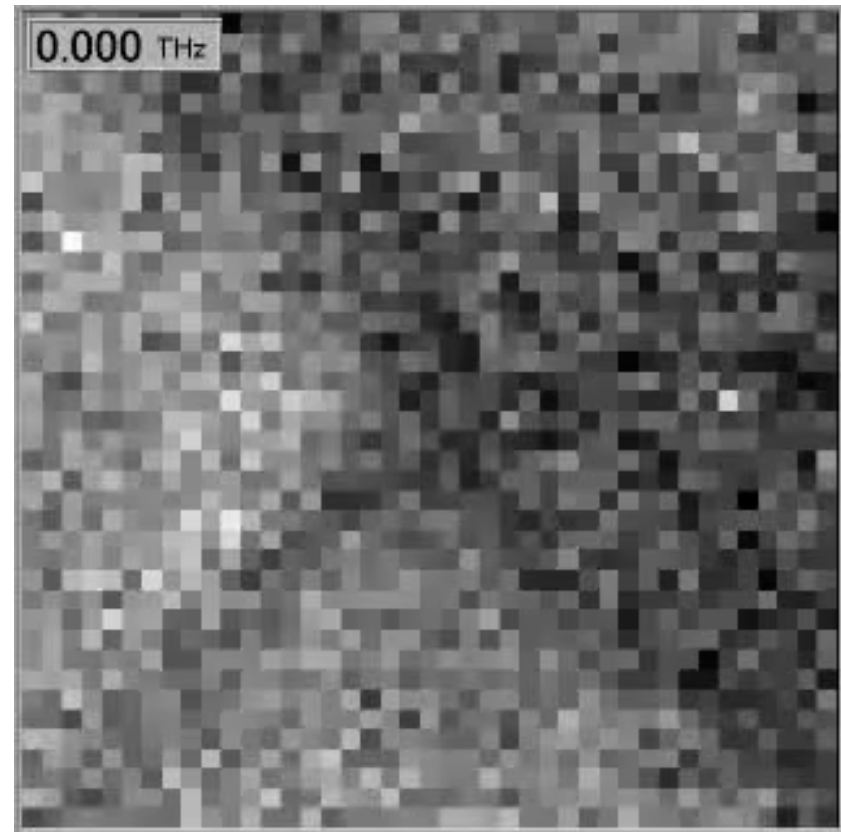
232*200pixel
@2sec



$$\frac{232\text{pixel} \times 200\text{pixel}}{2\text{sec}} = 23,200 \text{ pixel/sec}$$

点走査型THz分光イメージング

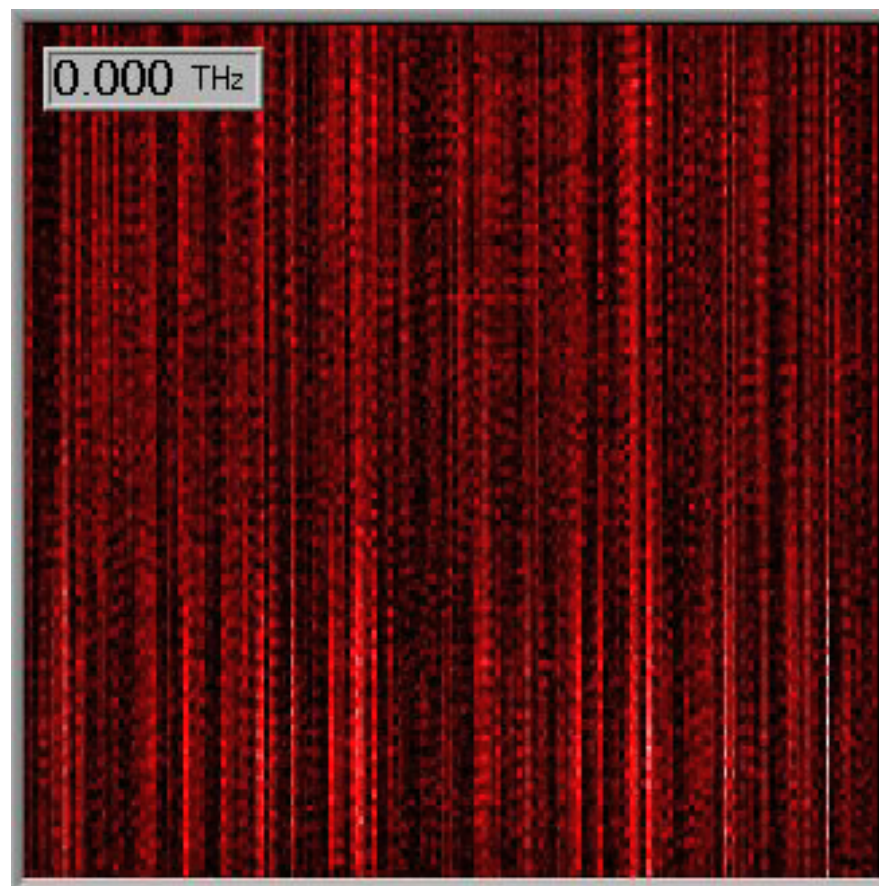
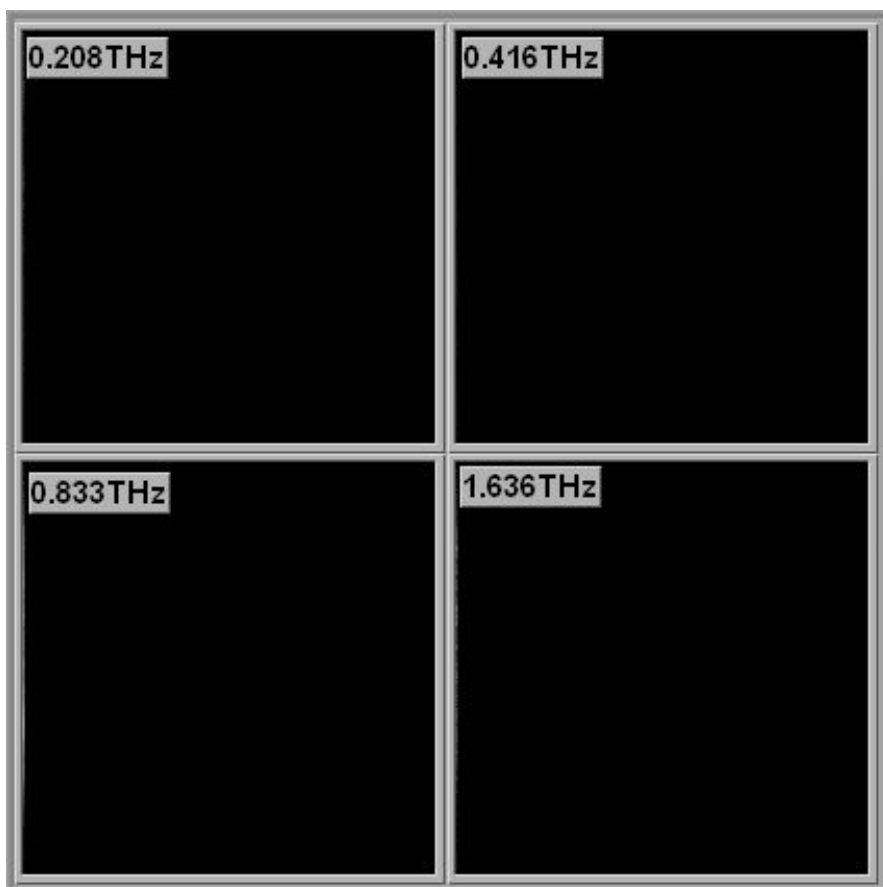
40*40pixel
@9hours



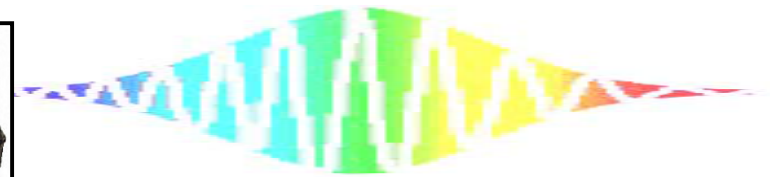
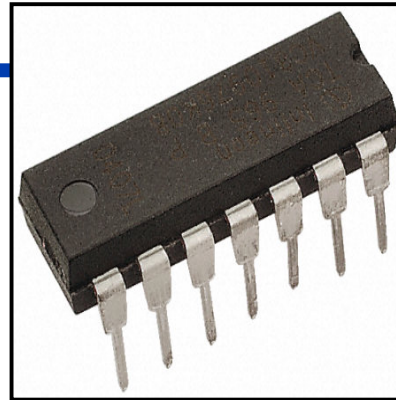
$$\frac{40\text{pixel} \times 40\text{pixel}}{20\text{sec/pixel} \times 40\text{pixel} \times 40\text{pixel}} = 0.05 \text{ pixel/sec}$$

サンプル移動の高速化

測定領域20mm*20mm@100mm/sec
(フレームレート 5Hz)



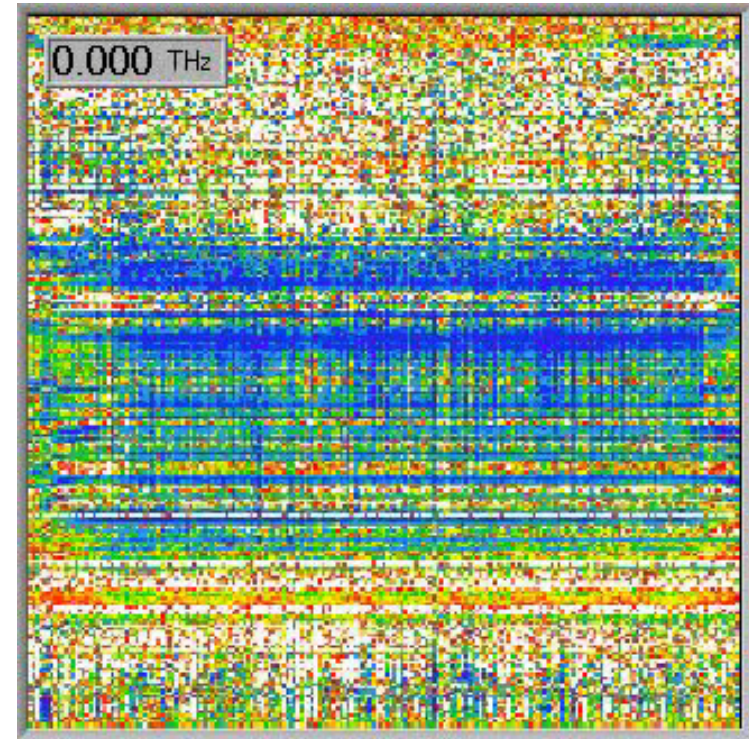
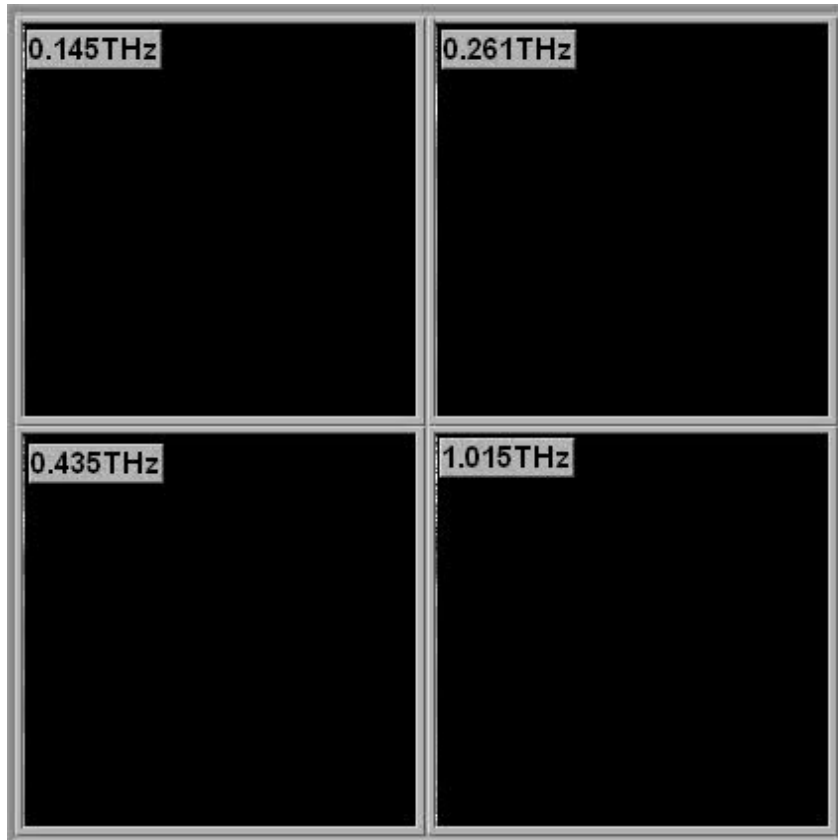
TTL-ICの計測



透過率 (%)

0

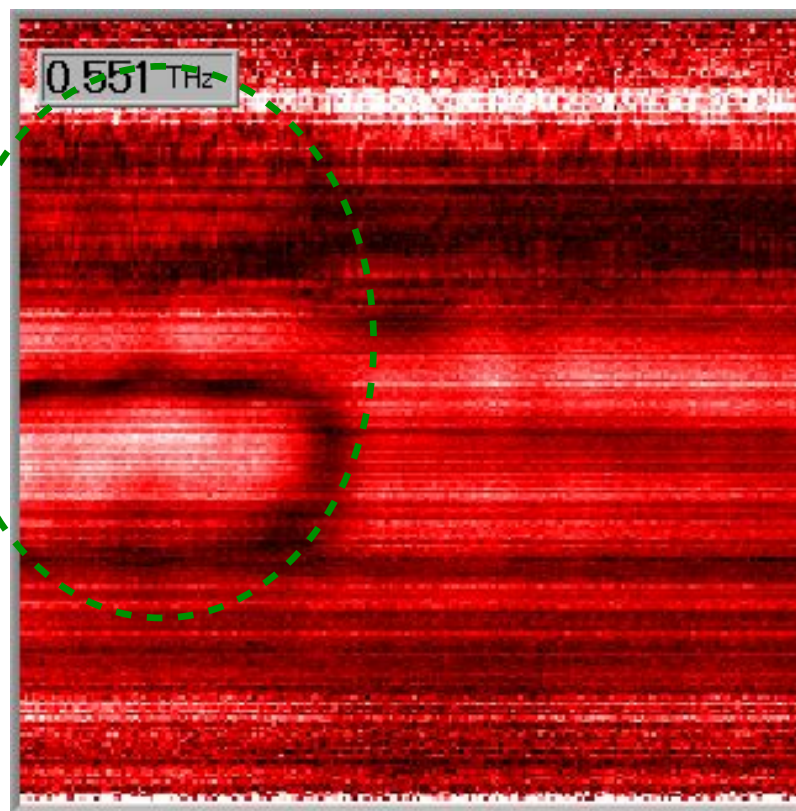
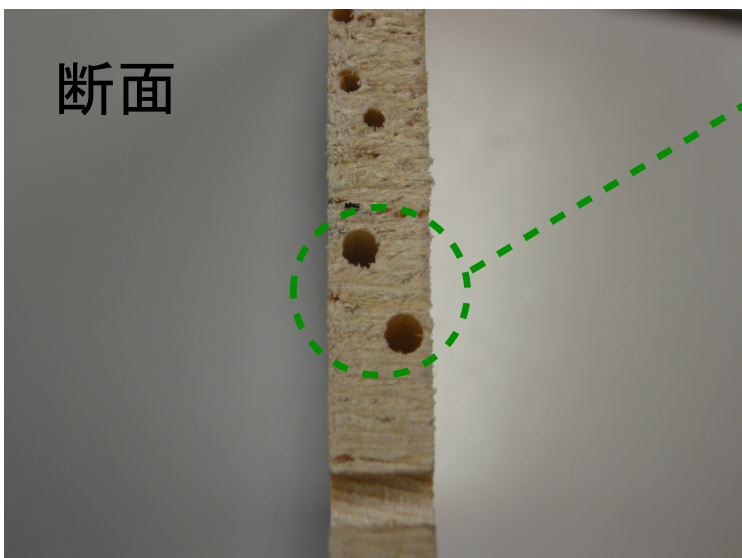
100



各周波数ごとTHz波の透過特性が異なる

文化財サンプル（虫喰い絵馬）

THz透過イメージ
(0.55THz)

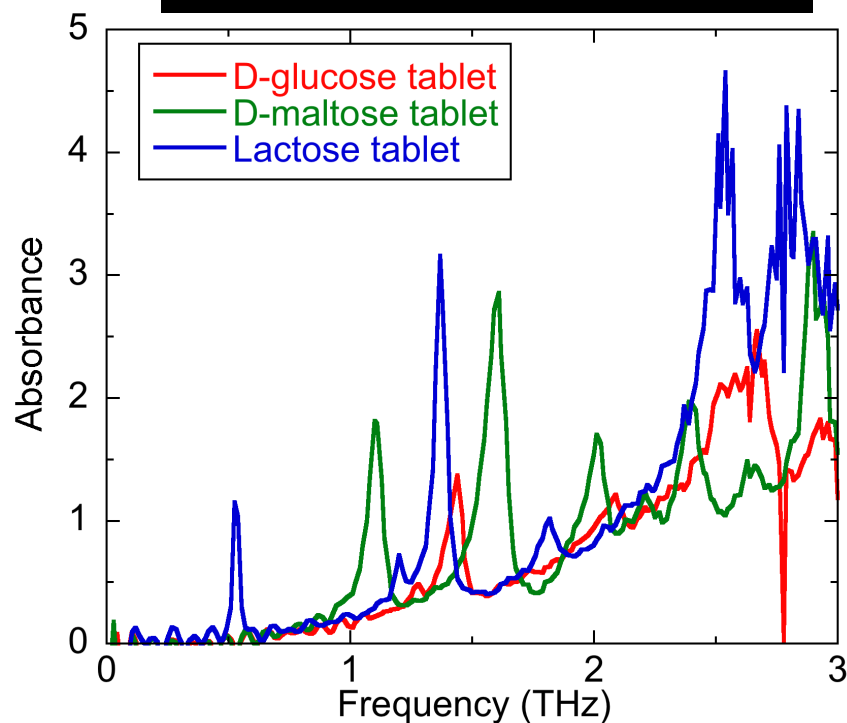


医薬品（糖類）サンプルの計測(1)

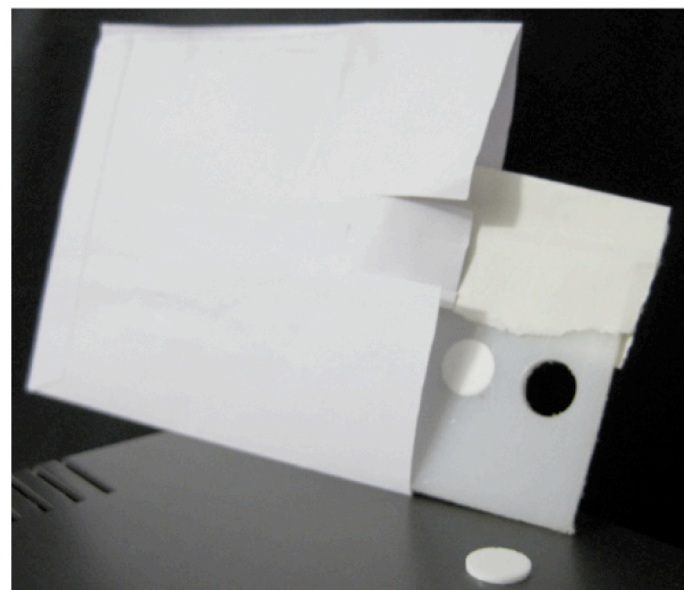
糖類錠剤
サンプル
(φ10mm@1mm厚)

Sample	Polyethylene (mg)	D-glucose (mg)	D-maltose (mg)	Lactose (mg)	THz spectral fingerprint (THz)
D-glucose	75	25	0	0	1.44
D-maltose	75	0	25	0	1.10, 1.61
Lactose	50	0	0	50	0.525, 1.37
Reference	75	0	0	0	-

THz透過率スペクトル



サンプル写真



医薬品(糖類)サンプルの計測(2)

Sample	THz spectral fingerprint (THz)
D-glucose	1.44
D-maltose	1.10, 1.61
Lactose	0.525, 1.37
Reference	-

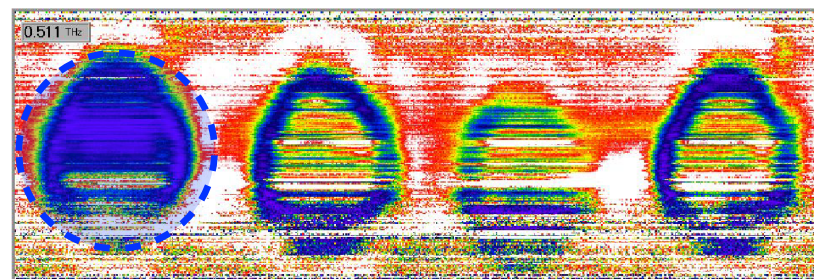
THz透過率ムービー



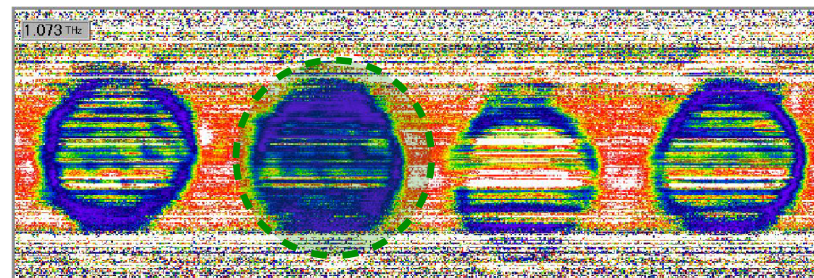
1st tablet 2nd tablet 3rd tablet 4th tablet

Power transmittance

0.511 THz



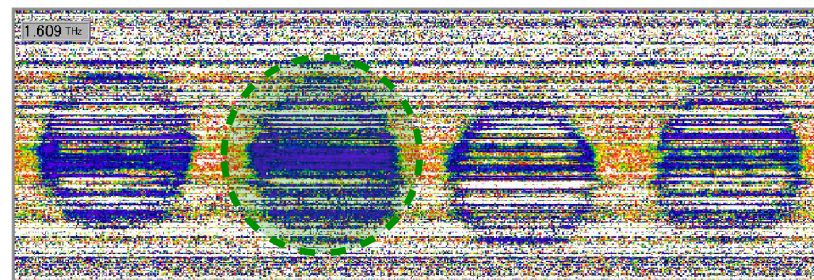
1.073 THz



1.405 THz



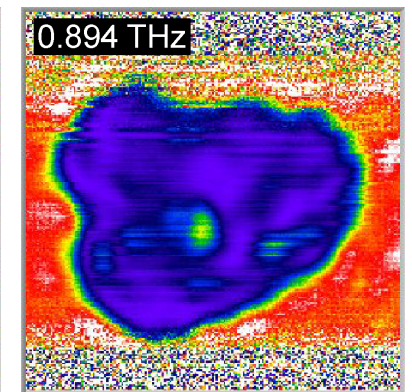
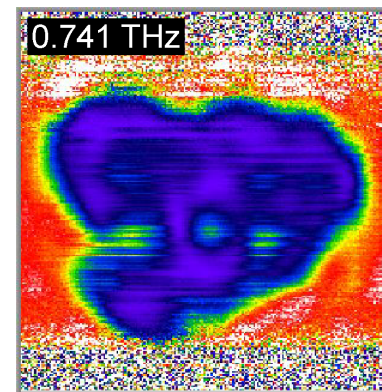
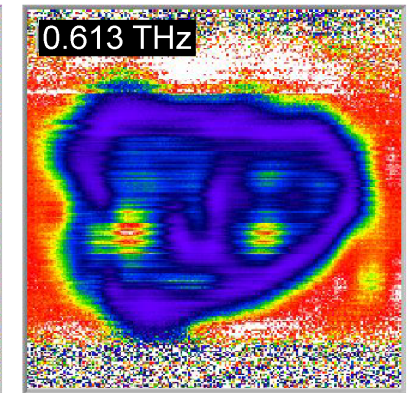
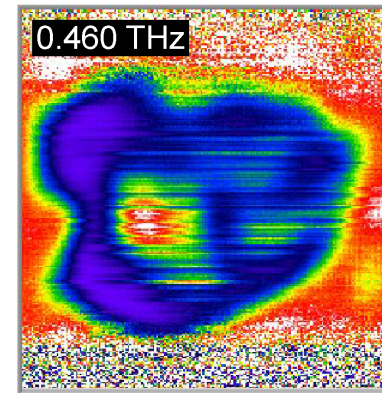
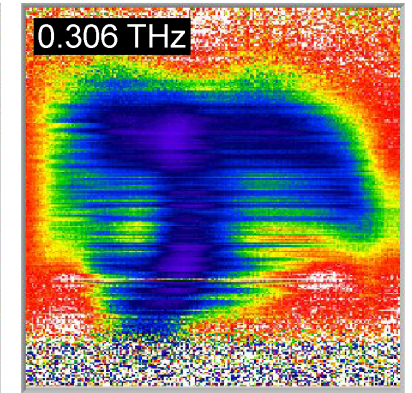
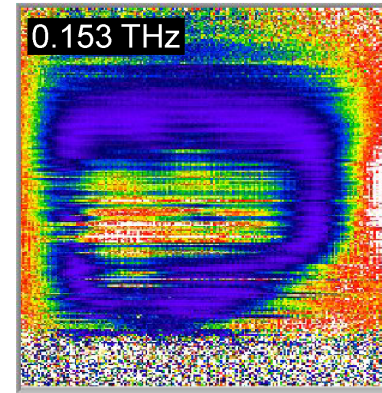
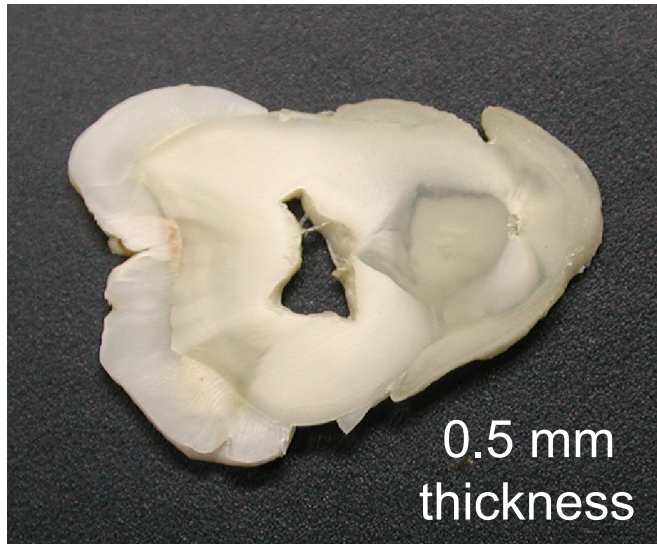
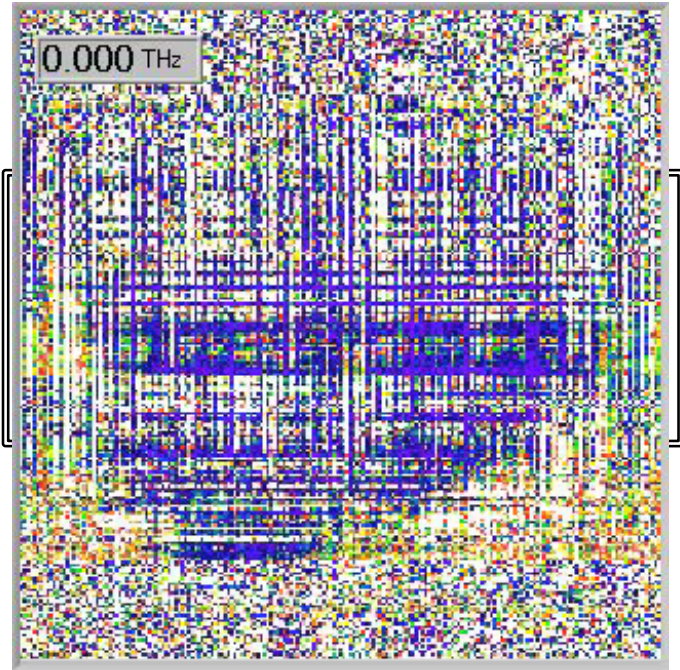
1.609 THz



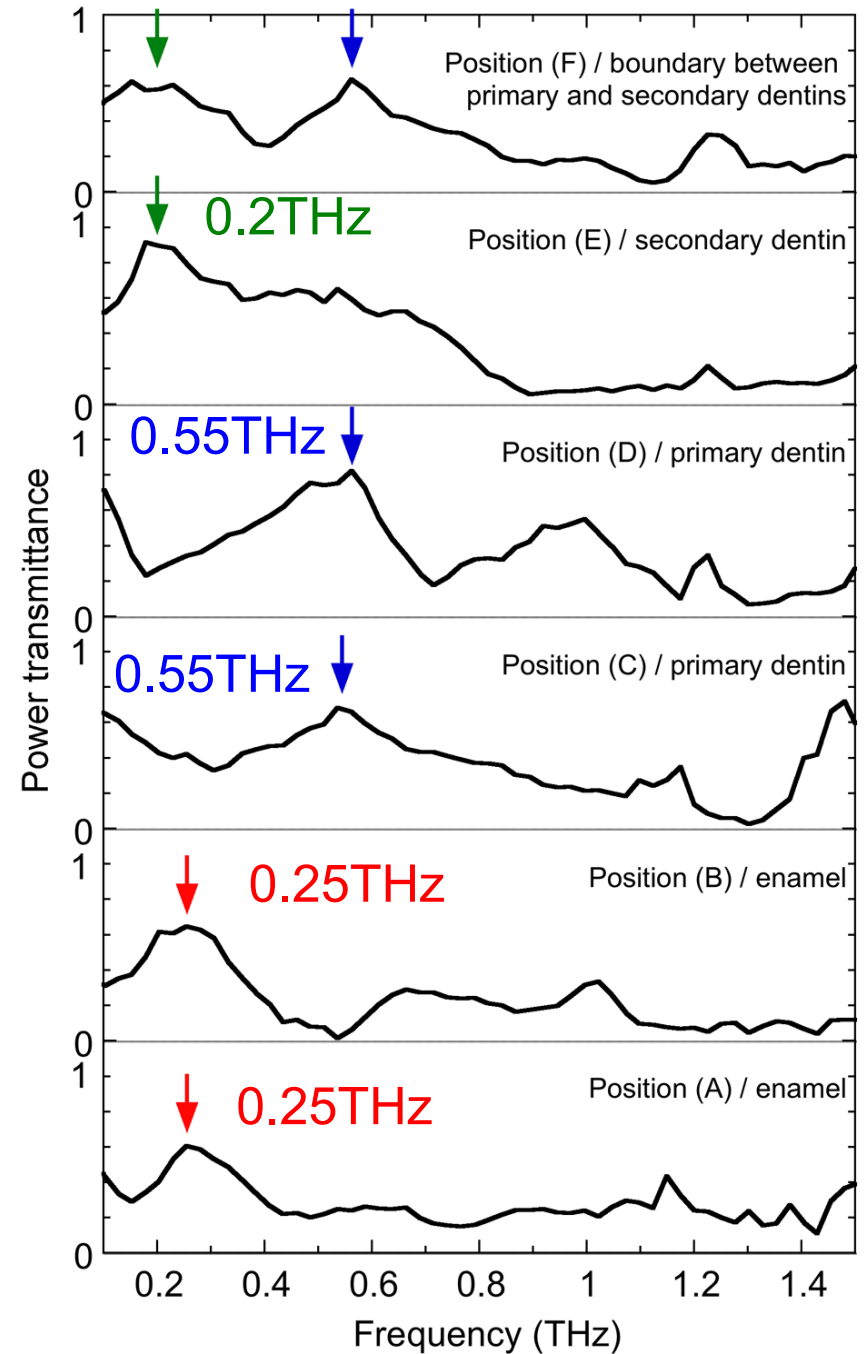
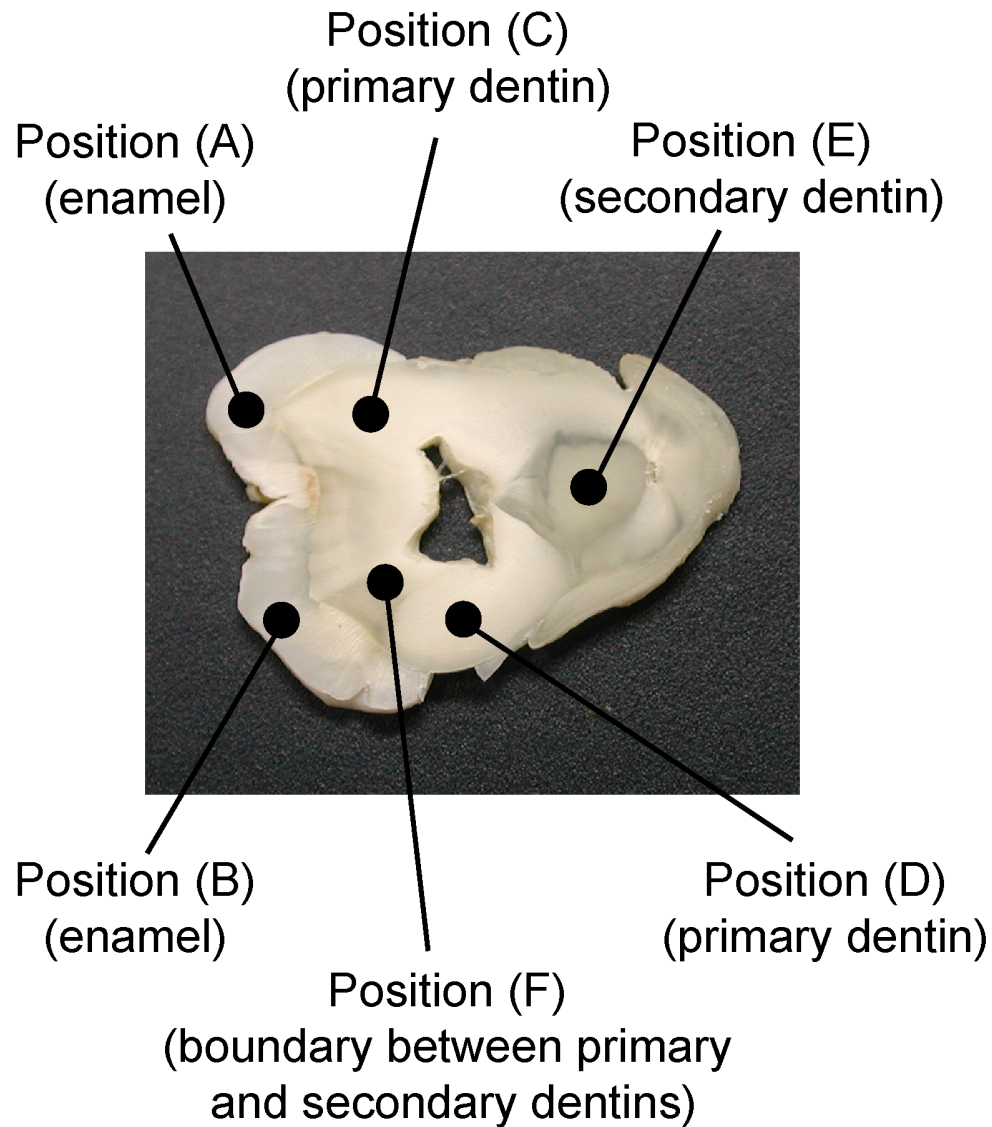
1st tablet 2nd tablet 3rd tablet 4th tablet

生体硬組織 (齒牙切片)

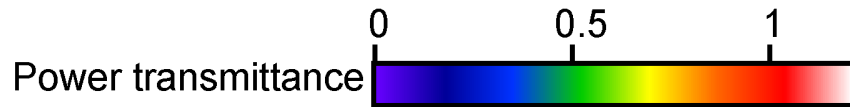
①



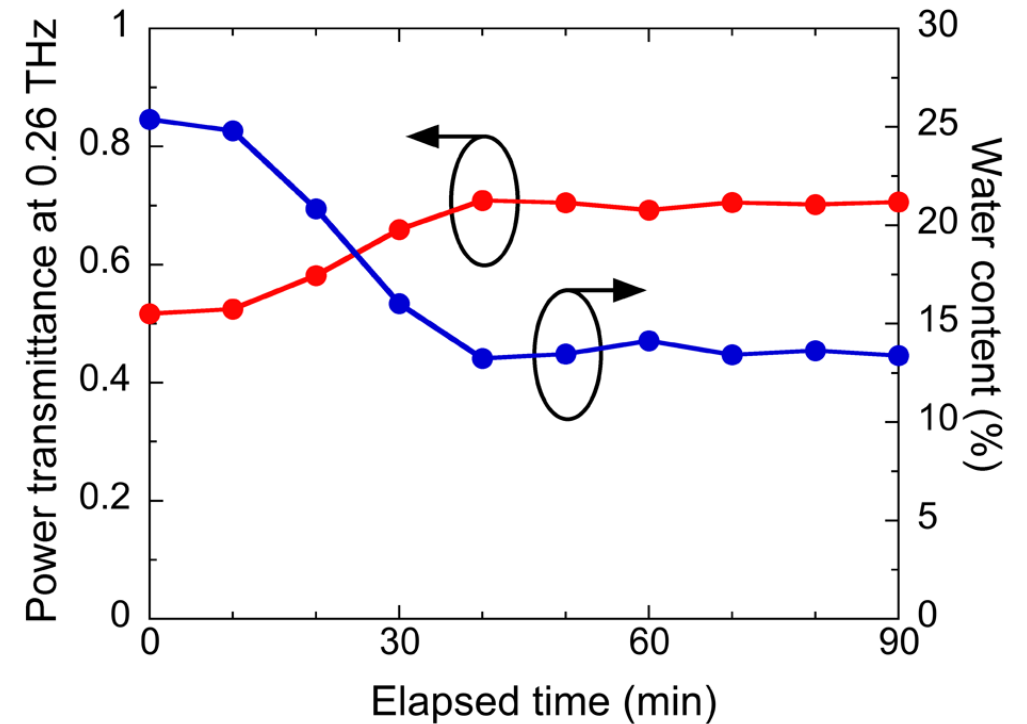
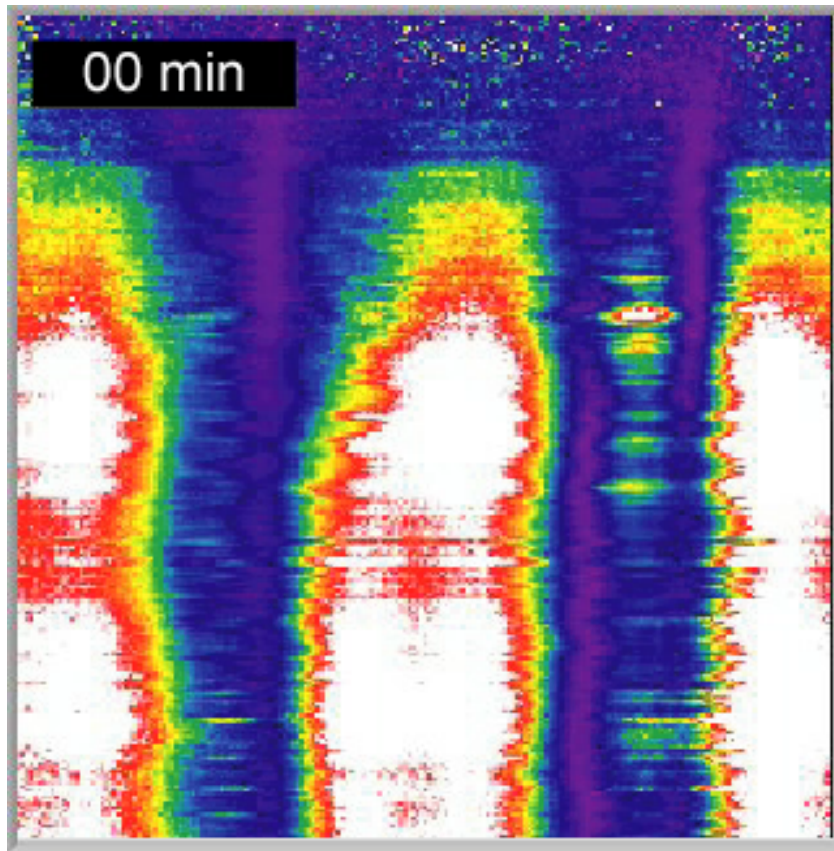
生体硬組織 (齒牙切片) ②



毛髪（束）の乾燥過程



@0.26THz



Bundles of wet hairs

Bundles of dry hairs