

マテリアルリサイクルに貢献するための 電磁波を活用したプラスチック素材・添加剤の評価

芝浦工業大学

デザイン工学部 社会情報システムコース

SIT総合研究所 テラヘルツ社会実装研究センター

リサイクルデザイン研究室

confidential

田邊 匡生

田邊 匡生（札幌生まれ、53歳）

1985年 静岡県浜松市立 城北小学校卒業
1988年 神奈川県秦野市立 渋沢中学校卒業
1991年 神奈川県立 秦野高等学校（普通科）卒業
1992年 東北大学 工学部 入学
1995年 東北大学 工学部材料物性学科 中退
1997年 東北大学 大学院工学研究科 材料物性学専攻修士課程 修了（八田研）
2000年 東北大学 大学院工学研究科 材料物性学専攻博士課程 修了（八田研）
2000年～ 東北大学 ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー ポスドク（機械：小柳研）
2001年～ 東北大学 大学院工学研究科 助手/助教（材料：須藤研）
2011年～ 東北大学 多元物質科学研究所 准教授（化学：栗原研）
2016年～ 東北大学 大学院工学研究科 准教授（材料：小山研）
2020年～ 芝浦工業大学 デザイン工学部 教授（リサイクルデザイン研究室）



【リサイクルデザイン】 社会実装をめざす分野横断研究

廃棄プラスチックは分別ができないゆえに海外では埋め立てられ、日本においては燃料のエネルギーとして焼却されることが多く、海洋プラスチック汚染や地球温暖化などの問題を引き起こしている。そこで、スマホの5Gよりも高い周波数の電波と光を用いるプラスチックの素材ごとの選別手法やリサイクルしやすいように部品ごとの分解を容易にする接着方法などのリサイクルデザインを幅広い工学的知識を基盤として研究している。

テラヘルツ社会実装研究センター(2025～2029年度)

センター長 田邊匡生（デザイン工学部）

副センター長 濱崎仁（建築学部）

- 工学部

機械工学：細矢（超音波計測）

物質化学：野田（腐食）、永（有機合成）

土木工学：伊代田（コンクリート）勝木（現場実証）穴見（鋼構造）

- デザイン工学部：繁里（機器設計）蘆澤（応用探索）益子（画像処理）

- 客員教授：清（（株）計測技術サービス／検査装置設計）

本橋（（一社）日本建築ドローン協会／検査装置実装）

浅田（神戸大学／検査技術の高度化）

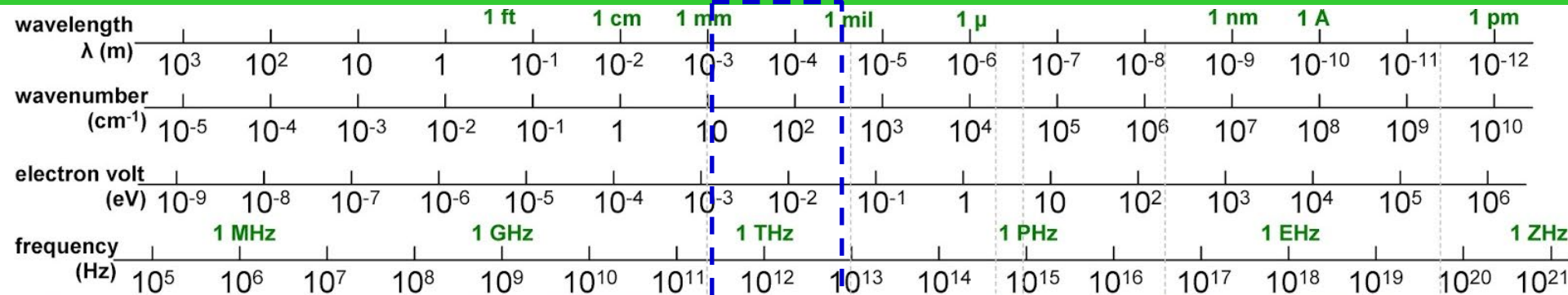
- 客員研究員：福田（（一財）日本建築センター／建築材料評価）

穂積（パナソニック（株）／マーケティング）

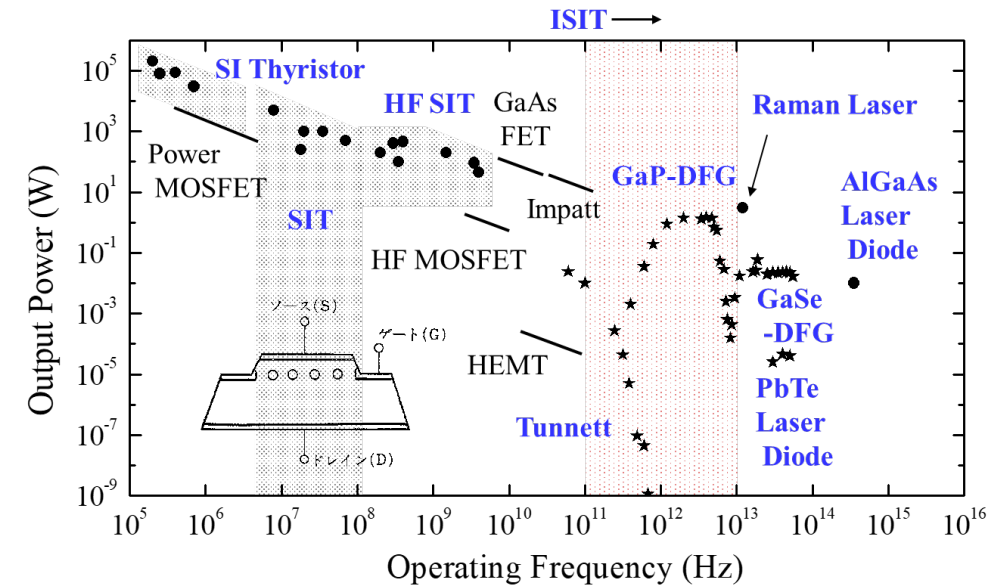
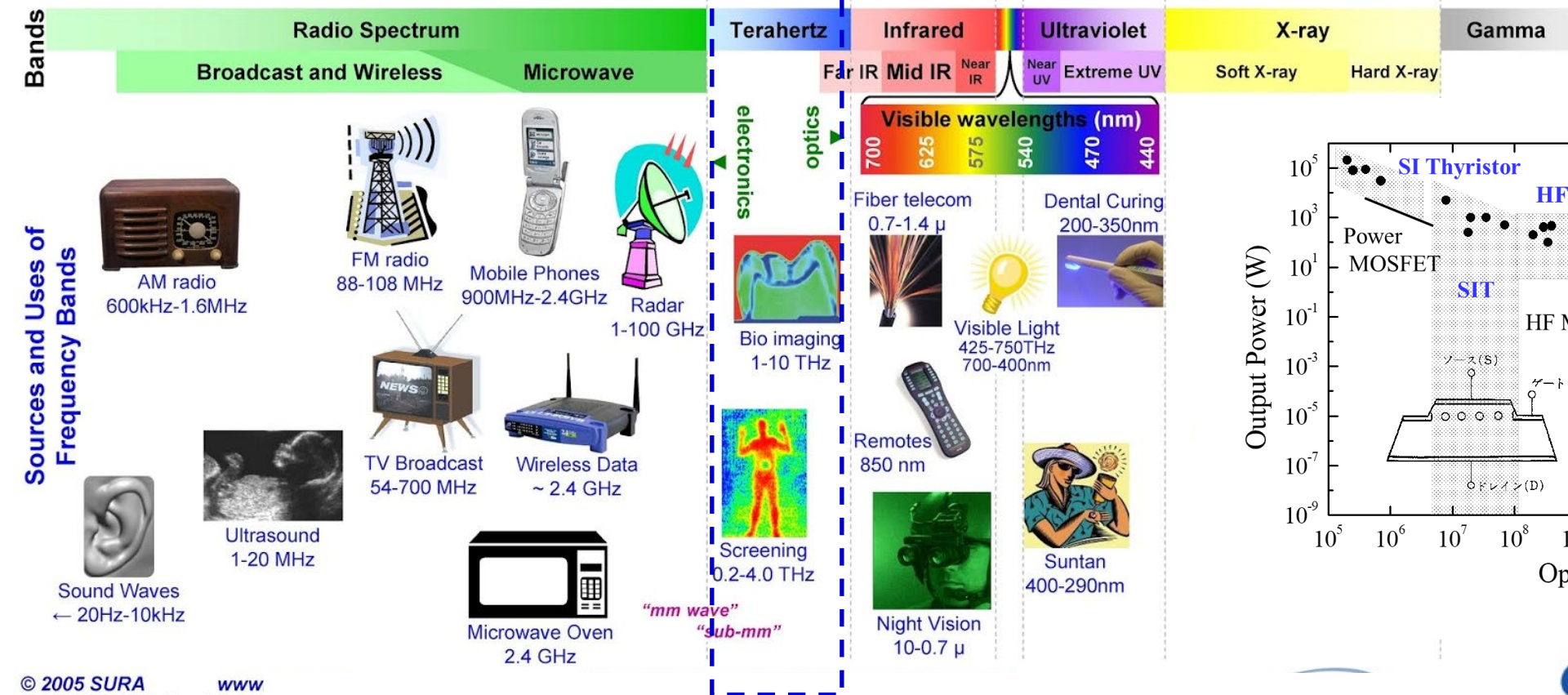
- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用 of 低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）
- ⑤ 社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用 of 低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）
- ⑤ 社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

未踏の電磁波領域であったテラヘルツ



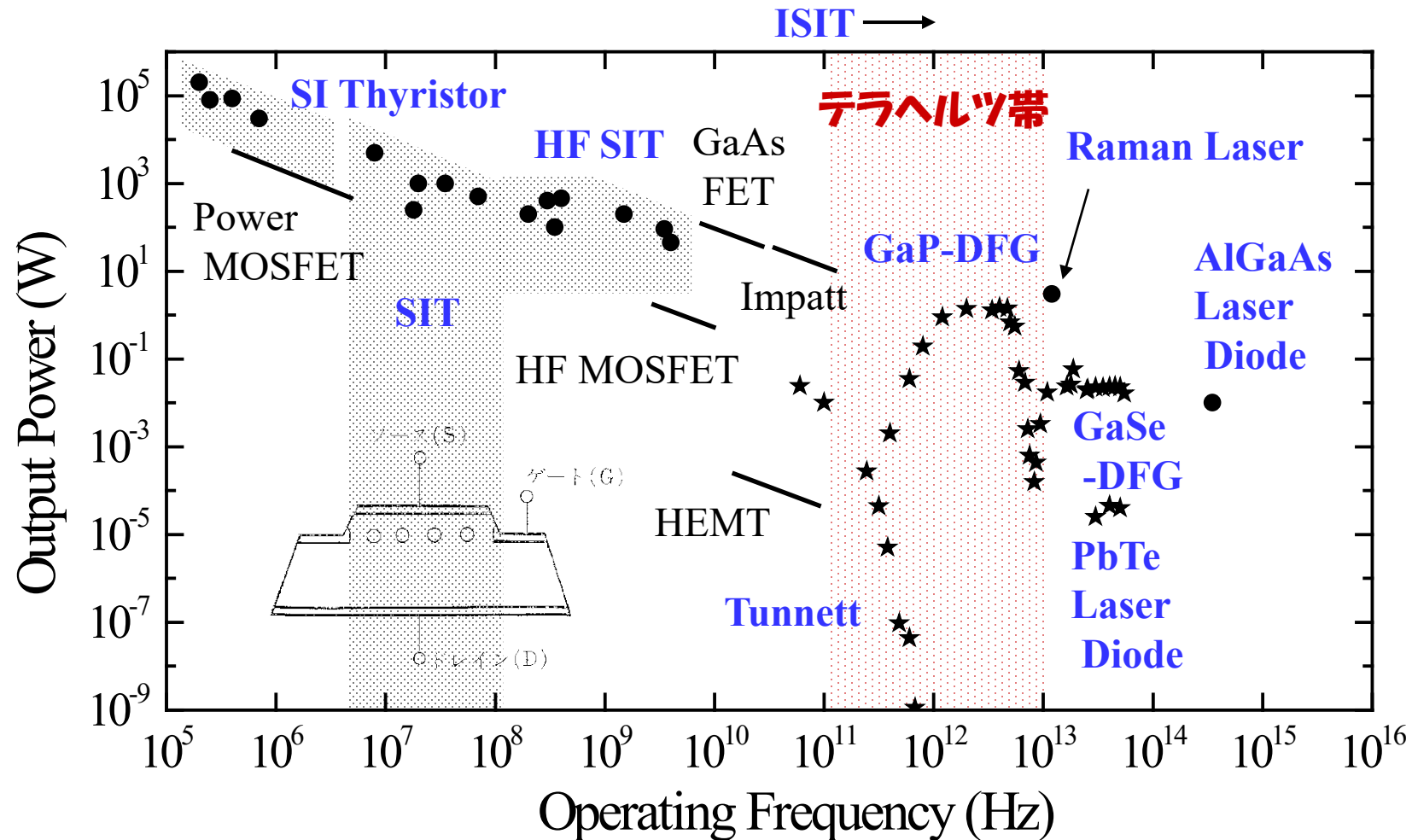
Room temperature energy
Hydrogen bonding
Molecular interaction



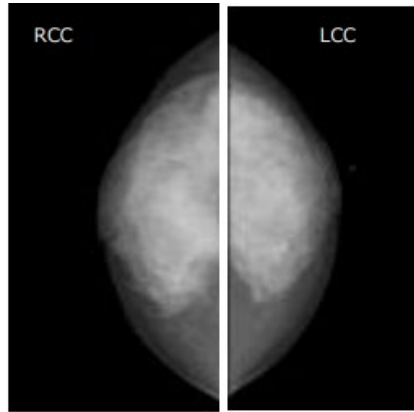
5G Network: 28GHz Automated Driving: 79GHz



半導体結晶をベースに開発されている 紫外・可視からマイクロ波までの広帯域における光源



マイクロ波を用いたマンモグラフィ



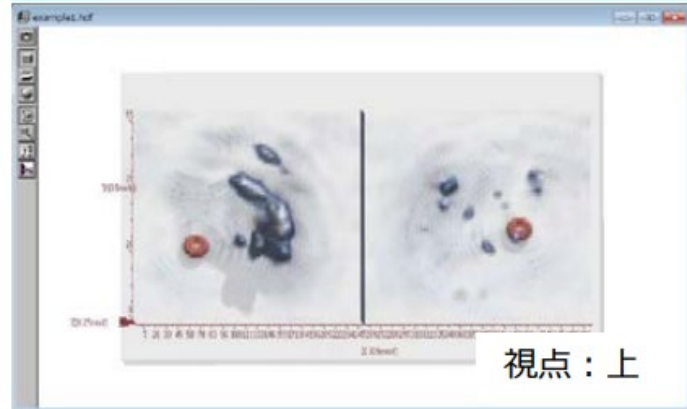
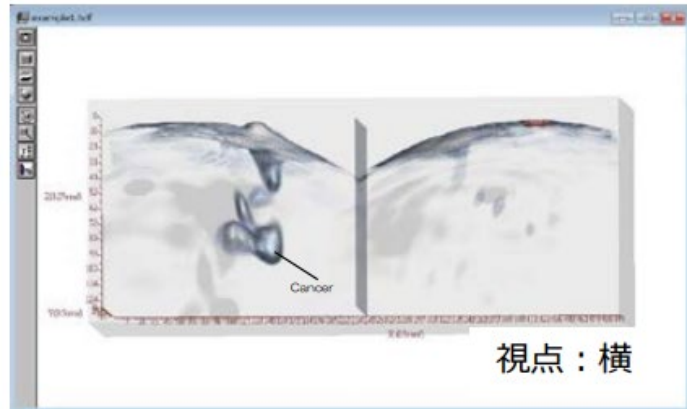
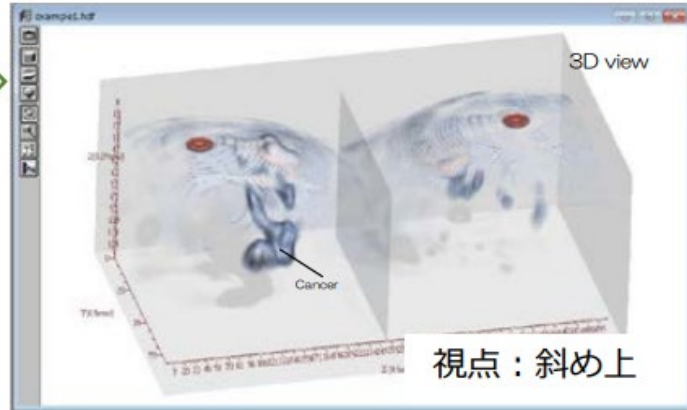
X線マンモグラフィで撮影した乳がん患者の乳房。

乳房全体が白く写る高濃度乳房の特徴がみられ、がん組織と正常組織の判別が困難。

→ 同じ患者での比較



散乱場断層イメージングシステム
Microwave scattering field
imaging system (β機)



1～14GHz光源（数nW）活用

128画素の3次元データから
がん組織を立体的に可視化

- ・高感度（高いS/N比）
- ・被爆なし

電子レンジ：30μW

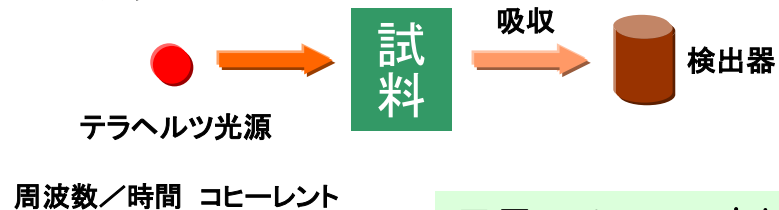
無線LAN：3μW

波動散乱の逆問題
@ブレイクスルー

木村健次郎（神戸大学 理学研究科）

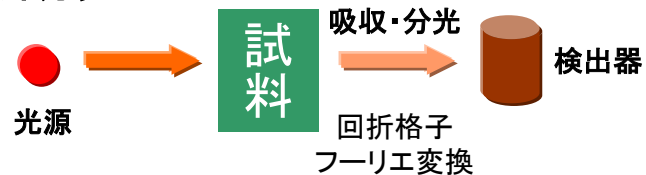
@AMED理事長賞資料より

<テラヘルツ>

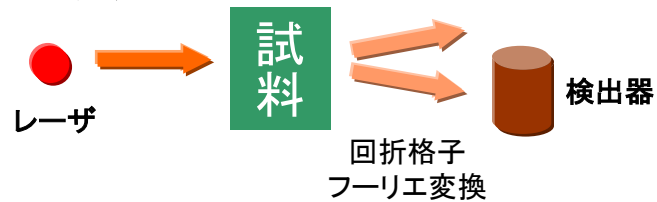


テラヘルツ ← 赤外
 ・コヒーレント性(レーザー)
 ・光学設計が可能
 ・装置サイズ

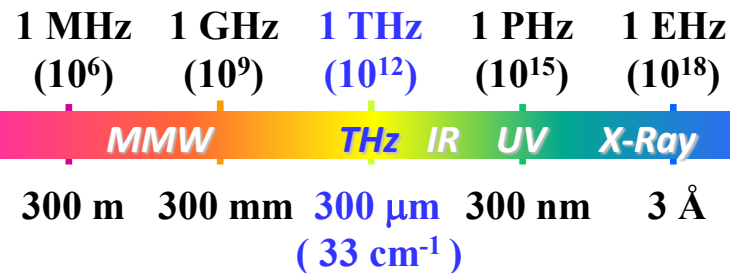
<赤外分光>



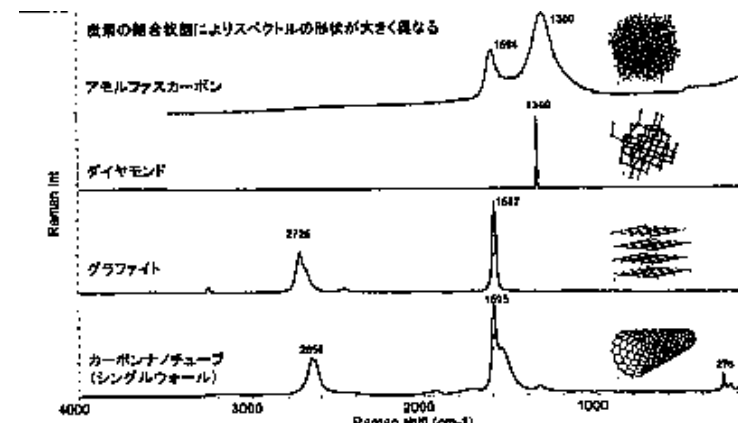
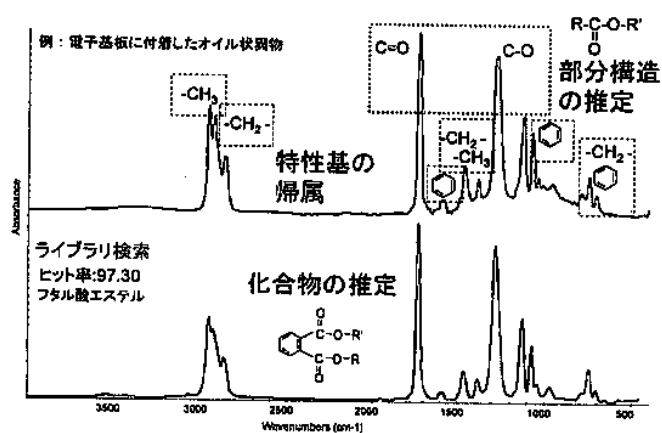
<ラマン分光>



	光源	強度	分解能	検出 電荷の偏り
テラヘルツ	レーザー	単色	○	非対称
赤外	熱	白色	△ 装置による	非対称
ラマン	レーザー		△ 装置による	対称



自由キャリア吸収
 不純物吸収
 分子間振動
 格子振動吸収
 局所振動
 バンド間遷移吸収

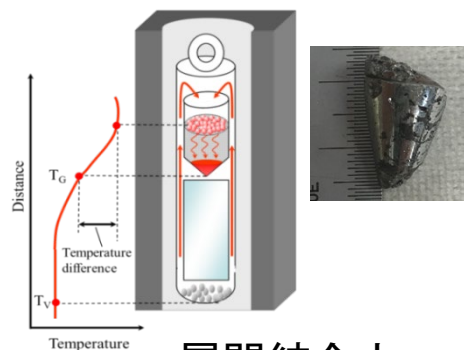


一部、Thermoセミナー資料を参考

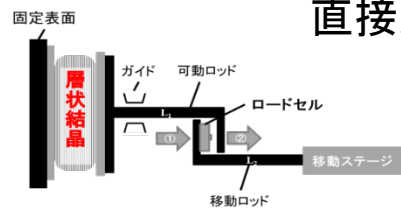
25年を超える研究が実現する現在のテラヘルツ技術

2000～ 光学結晶開発

半導体結晶成長
2002 テラヘルツ光発生

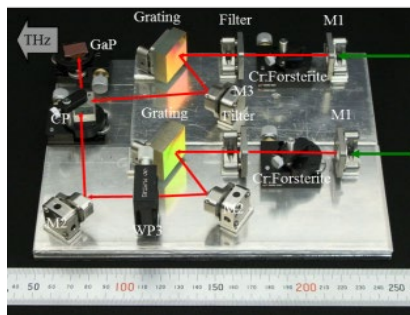


層間結合力
直接測定



AIPフレスリリース

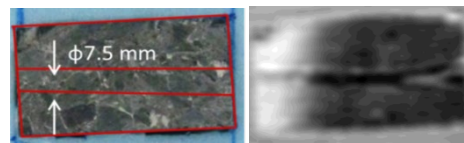
2005～ 分光装置構築



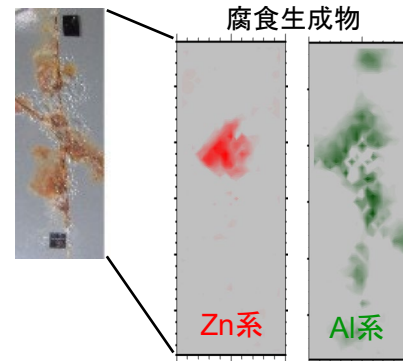
光源製品化
(株)テラヘルツ研究所

2010～ 非破壊検査応用

コンクリート内部の
鉄筋検査

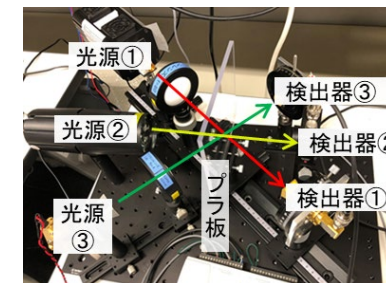


塗膜下鋼板腐食



共同研究・プロジェクト

2019～ 廃プラ高度選別装置



開発したプロトタイプ



リサイクル現場での実証試験

田邊研での研究開発

- ・テラヘルツ波の活用技術（室温程度の弱いエネルギー）
- ・独自開発の広帯域光源、低価格レーダーデバイス活用技術）
- ・分光データベース（25年の知見とノウハウ、静大とのデータベース化：1000）
- ・計測手法（独自の表面プローブ法、干渉現象回避技術）
- ・基本特許：3件 論文：30報（最近3年）

田邊研における開発装置の特徴

- ・放射線・薬品を使わない安全性
- ・劣化・異物・含水・構造を 非破壊・非接触で可視化
- ・高周波デバイス活用による 小型・低コスト・現場実装性
- ・5台のプロトタイプ製作 NEDO懸賞金事業入賞

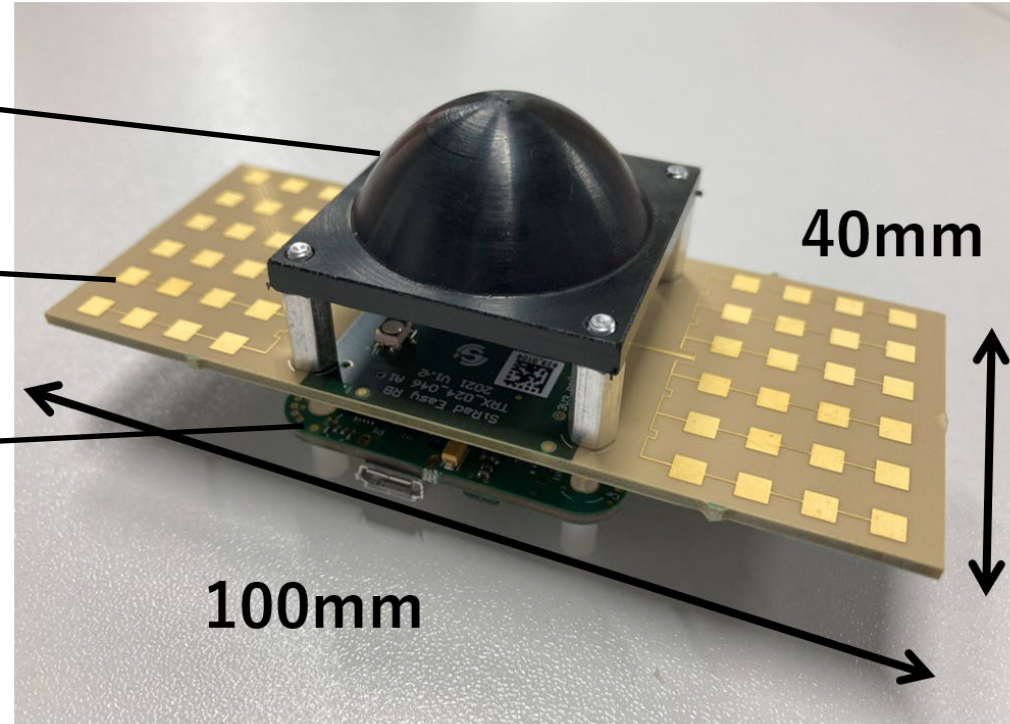
- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用 of 低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）
- ⑤ 社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

Research Progress

Collimator Lens

Radar Front End Board
TRX_024_046

Base Board

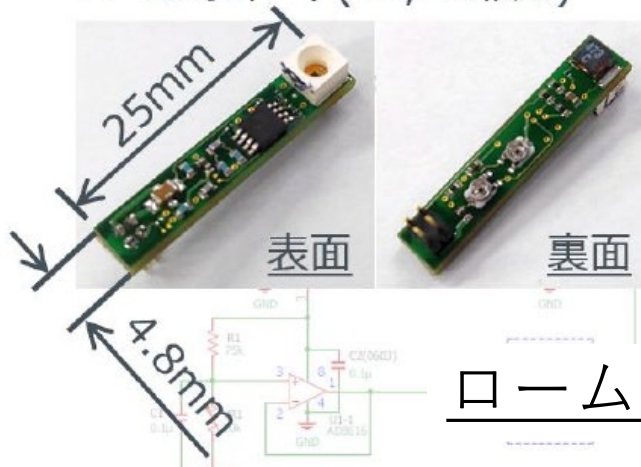


24GHz



120GHz

■ センサボード(Tx,Rx兼用)



ローム@300GHz

SiGeバイポーラをベースとした光源

10 MHz ~ 24 GHz 出力 2 チャンネル

コンパクト マイクロ波 ジェネレーター



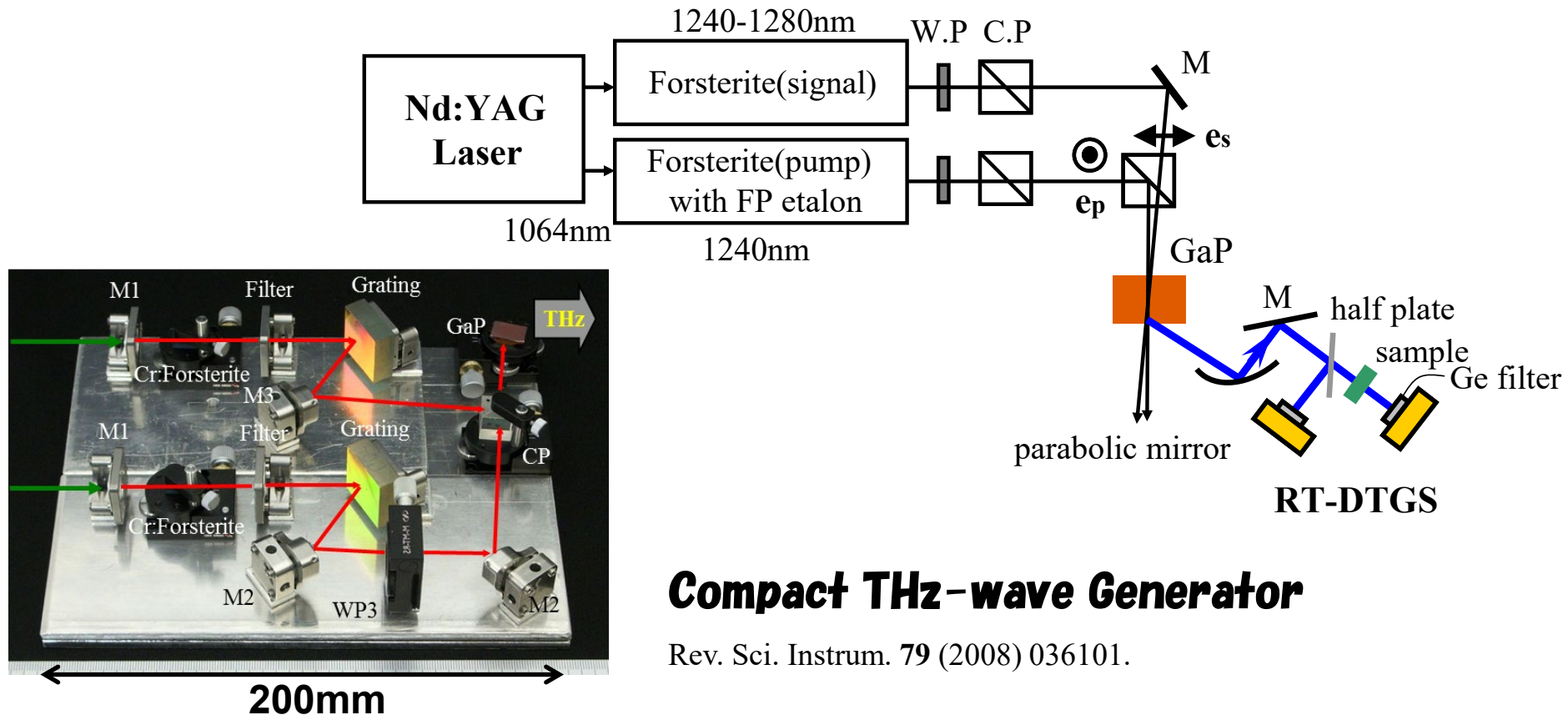
- 2ch、周波数 / 振幅 / 位相 を制御可能
- 周波数分解能 0.1 Hz
- -40~+18 dBm(typ.) 0.01 dB ステップ
- 位相 0~360 度 0.01 度ステップ
- 外部および内部の FM/AM/ パルス変調
- FMCW チャープ
- 10 MHz~100 MHz 外部基準入力
- 10 MHz or 27 MHz 内部基準出力
- 32 ビット ARM プロセッサ内蔵

Development of THz equipment for spectroscopy and imaging

1. LD CW System (1 μm -LD based)

2. Pulse System (1 μm -OPO based)

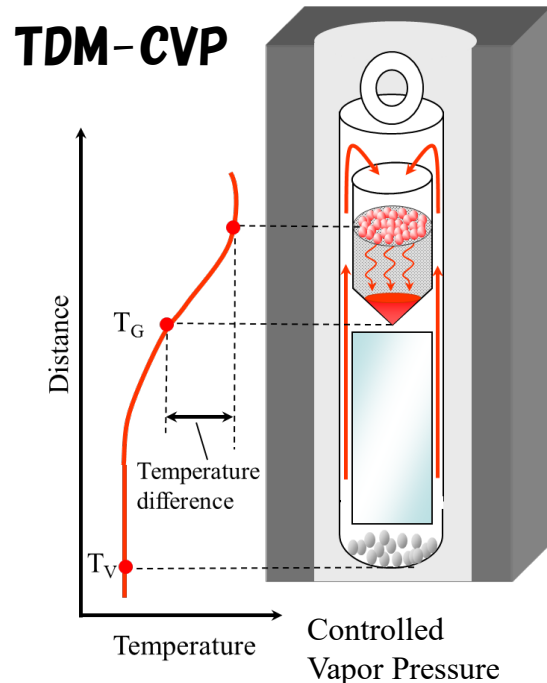
3. **Pulse System (1.2 μm -Cr:forsterite laser based)**



THz-wave Generator for spectroscopy and imaging

Crystal Growth for THz-wave Generation

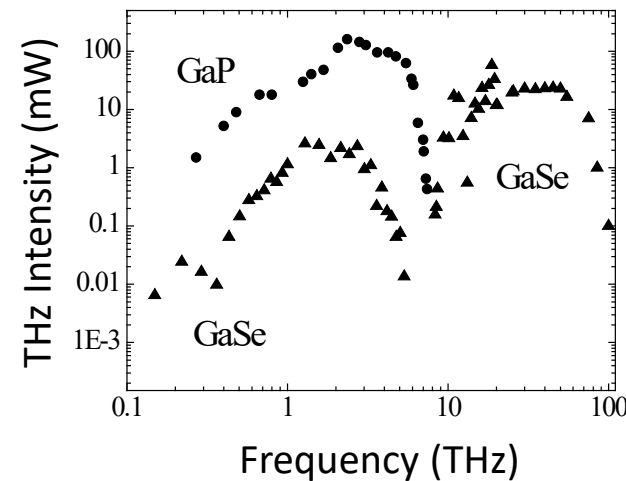
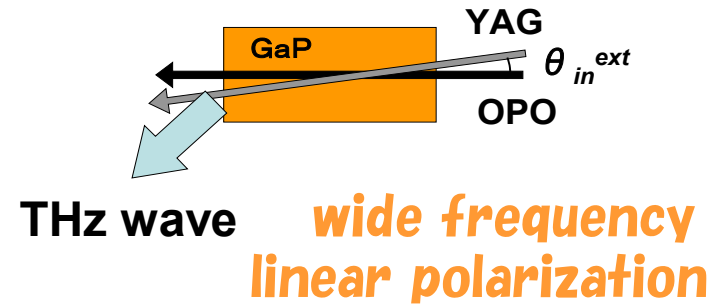
Liquid Phase Growth of defect-reduced Crystals at Low-temperature



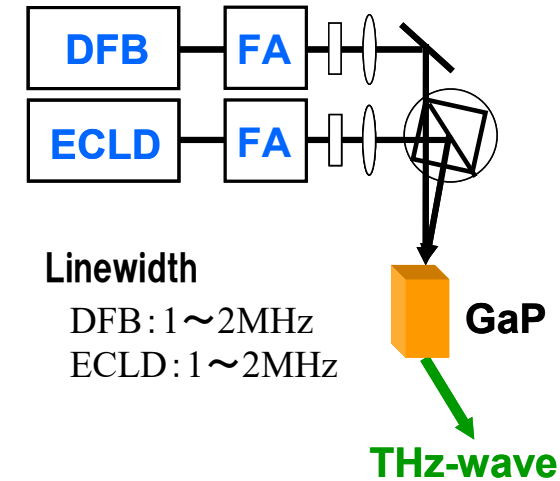
J. Cryst. Growth **310** (2008) 1923.
J. Electron. Mater. **43** (2014) 3117.

Characteristics of THz wave

- single-frequency tunable, coherent
- optically designable
- small system



J. Appl. Phys. **93** (2003) 4610.
Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 237.



Linewidth
DFB: 1 ~ 2 MHz
ECLD: 1 ~ 2 MHz

Q factor:
million

narrow linewidth

Rev. Sci. Instrum. **80** (2009) 113105.

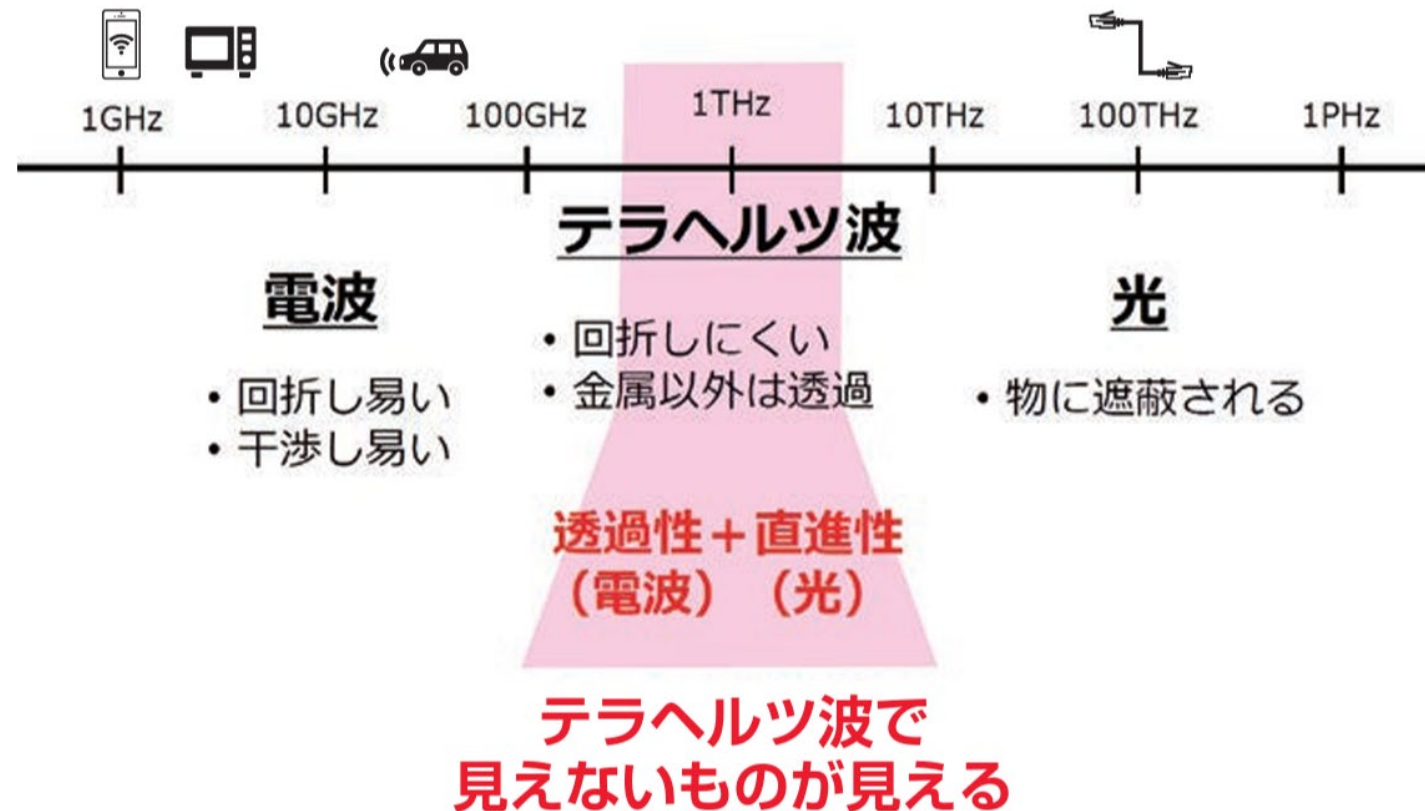
- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用 of 低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）**
- ⑤ 社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

テラヘルツ波とは？

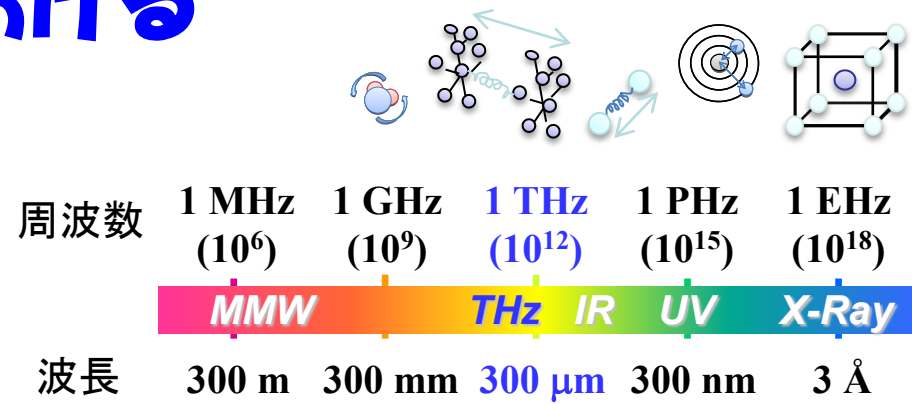
テラヘルツ波は、透過性と直進性を併せ持ち、見えない物が見える

→ プラスチックの材質を非接触で識別

→ コンクリート内部の欠陥を非破壊で検出



THz周波数における物質の挙動



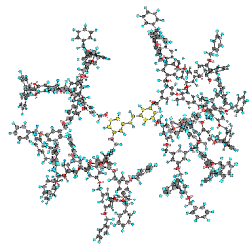
300 K (室温) : 6THz

1 THz (=300 μ m)

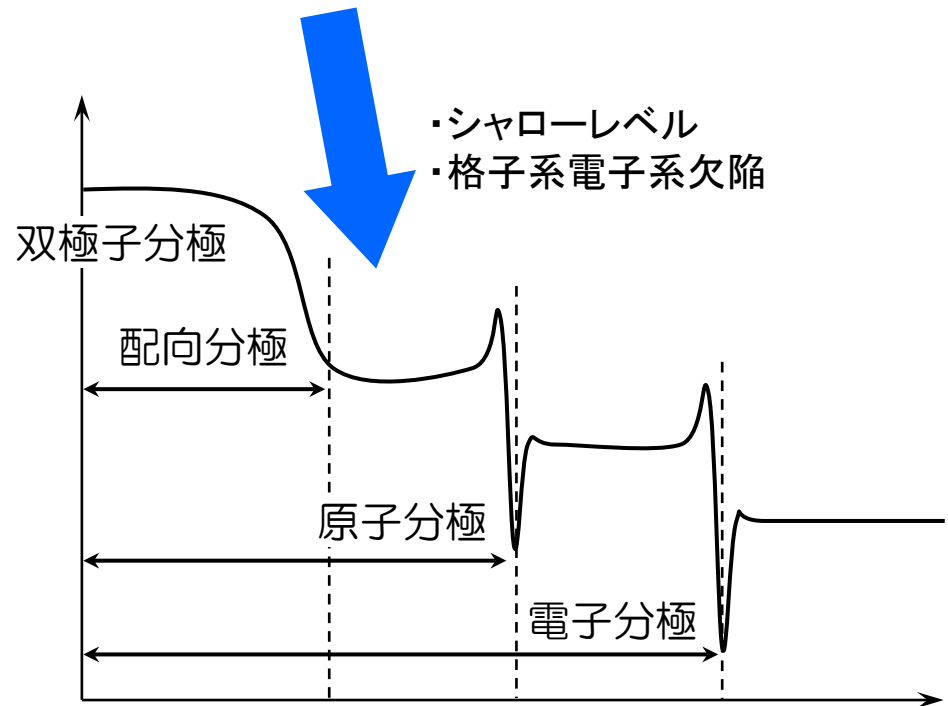
33 cm^{-1} , 4 meV

0.09 kcal/mol, 48 K

分子間振動
(テラヘルツ分析)



テラヘルツ



局所振動
(赤外分光)

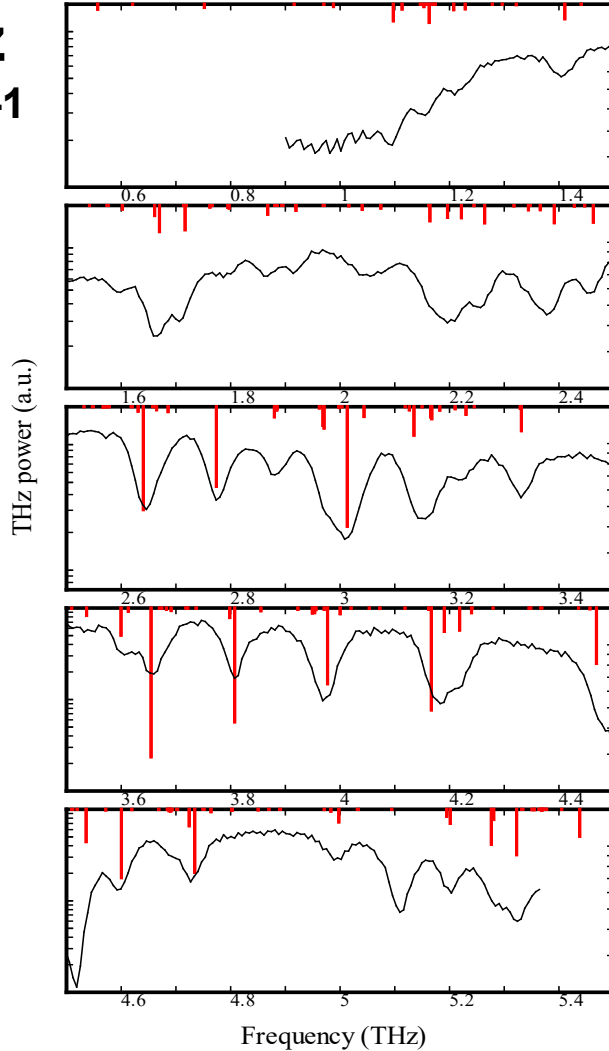


結晶構造
(X線回折)

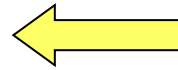
分極の周波数依存性

周波数純度で異なる測定データ

20 GHz
0.6 cm⁻¹

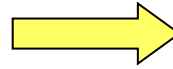


500 MHz
0.015 cm⁻¹

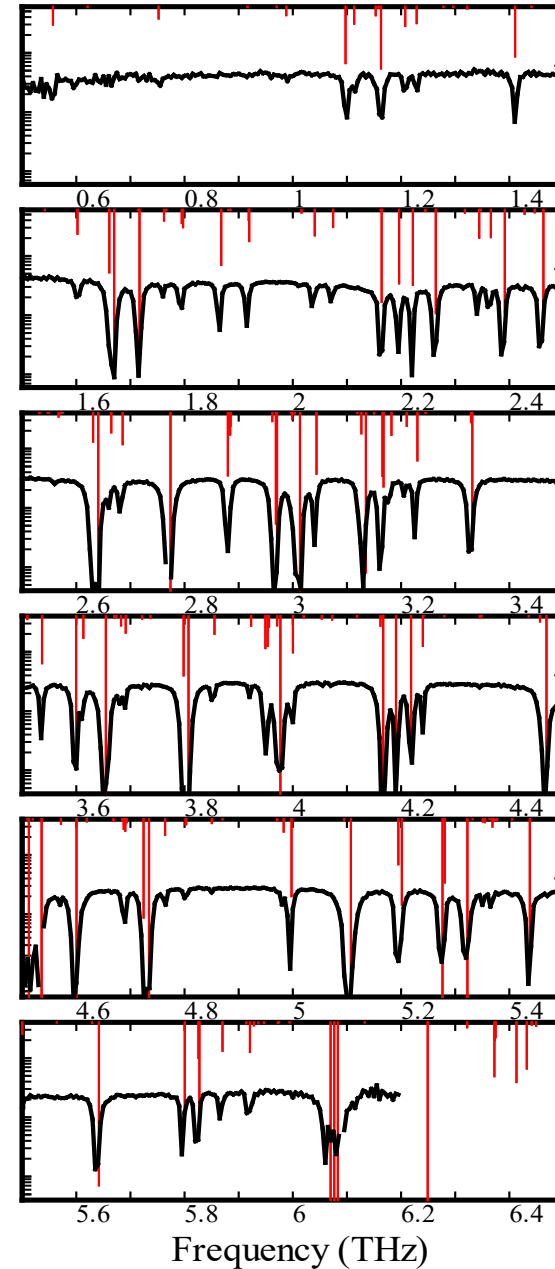


Former

Improved



THz power (a.u.)



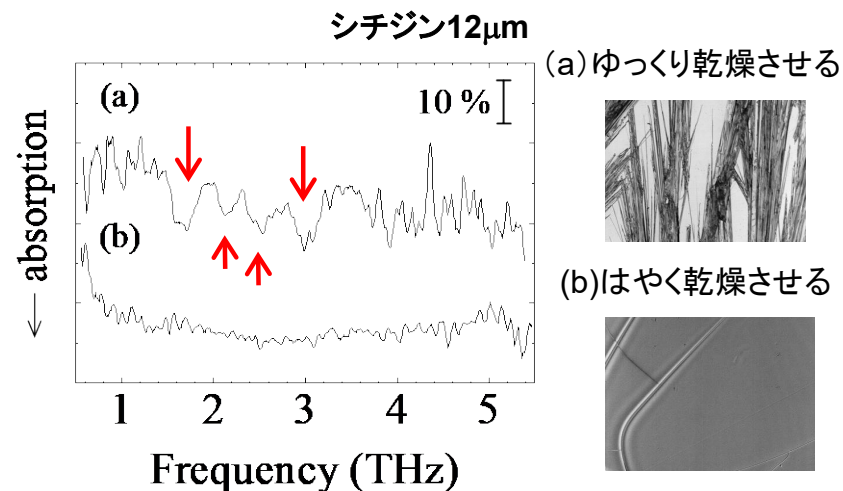
LD-CW
1 MHz
0.00003 cm⁻¹

The thin lines (red) in the figure show the main water vapor absorption line positions and their intensities.

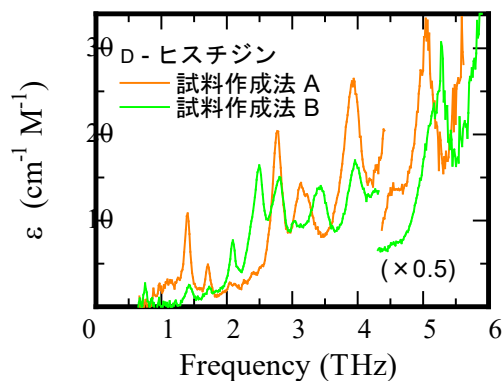
H. M. Pickett, R. L. Poynter, E. A. Cohen, M. L. Delitsky, J. C. Pearson, and H. S. P. Muller, *J. Quant. Spectrosc. & Rad. Transfer* vol. 60 (1998) p.883

テラヘルツで何が分かるのか？

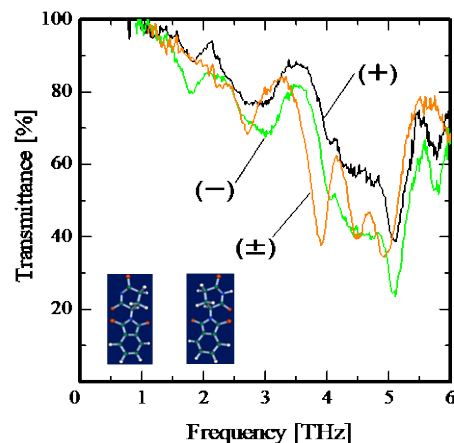
有機分子の結晶状態



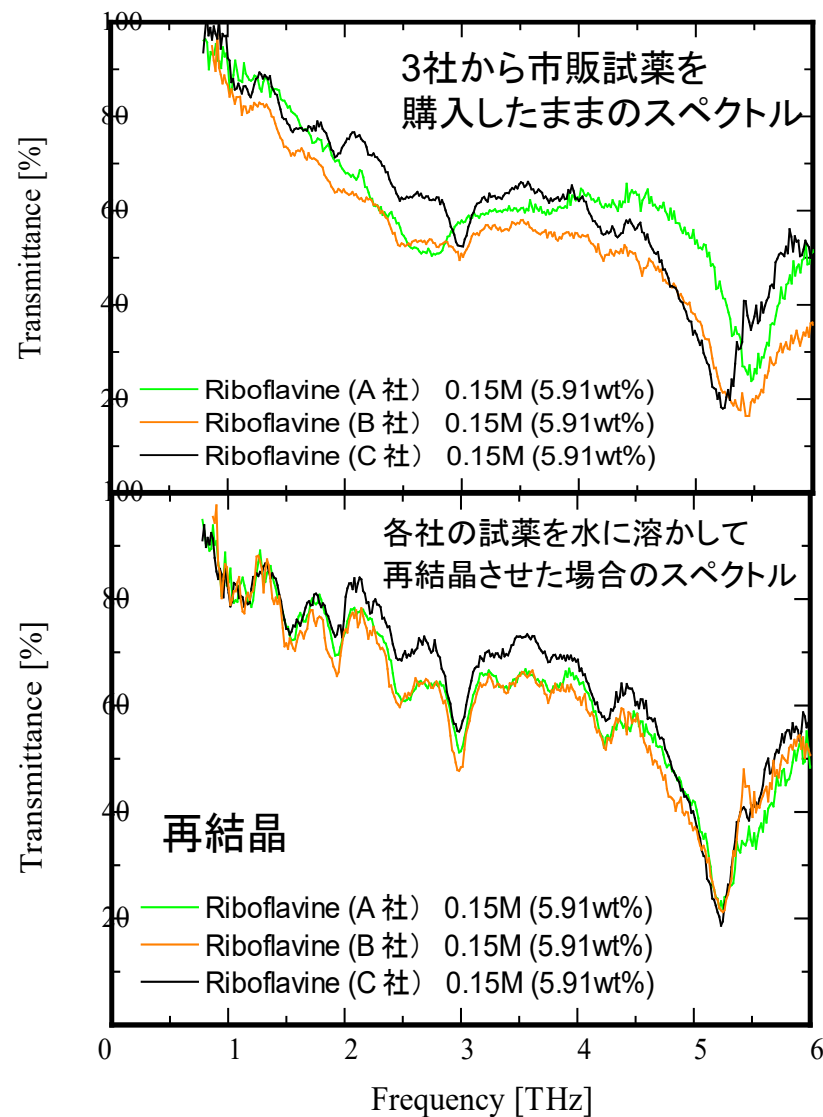
アミノ酸の結晶多形



光学異性体(サリドマイド)



ビタミンB2の透過スペクトル



西澤、佐々木 薬剤学 68 (2008) 297.

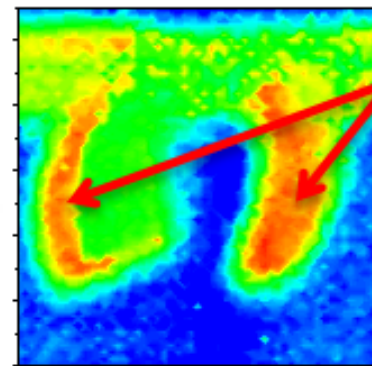
テラヘルツ非破壊検査: 分光イメージングによる水和物検出

見た目は同じブドウ糖(グルコース)のペレットですが、乾燥/吸湿の分布がテラヘルツ波を使うと分かります

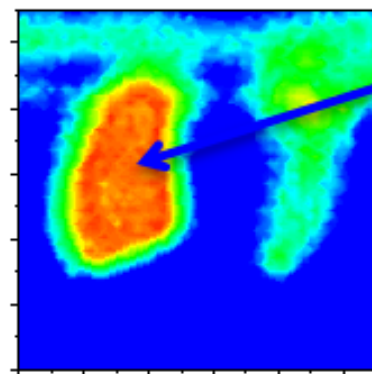
グルコース(水和物) グルコース

3THzで見ると

1.8THzで見ると

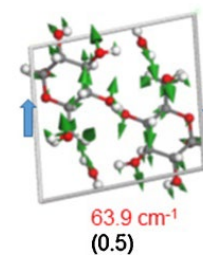
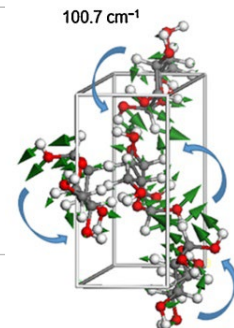
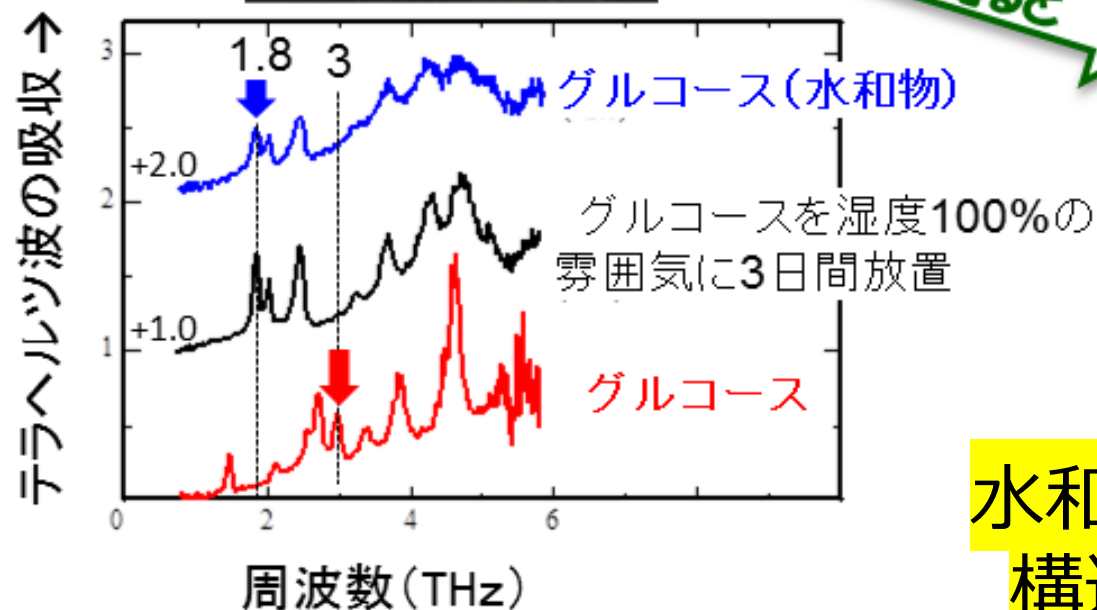


乾燥部分が分かる
(3THzの吸収が大きい部分)



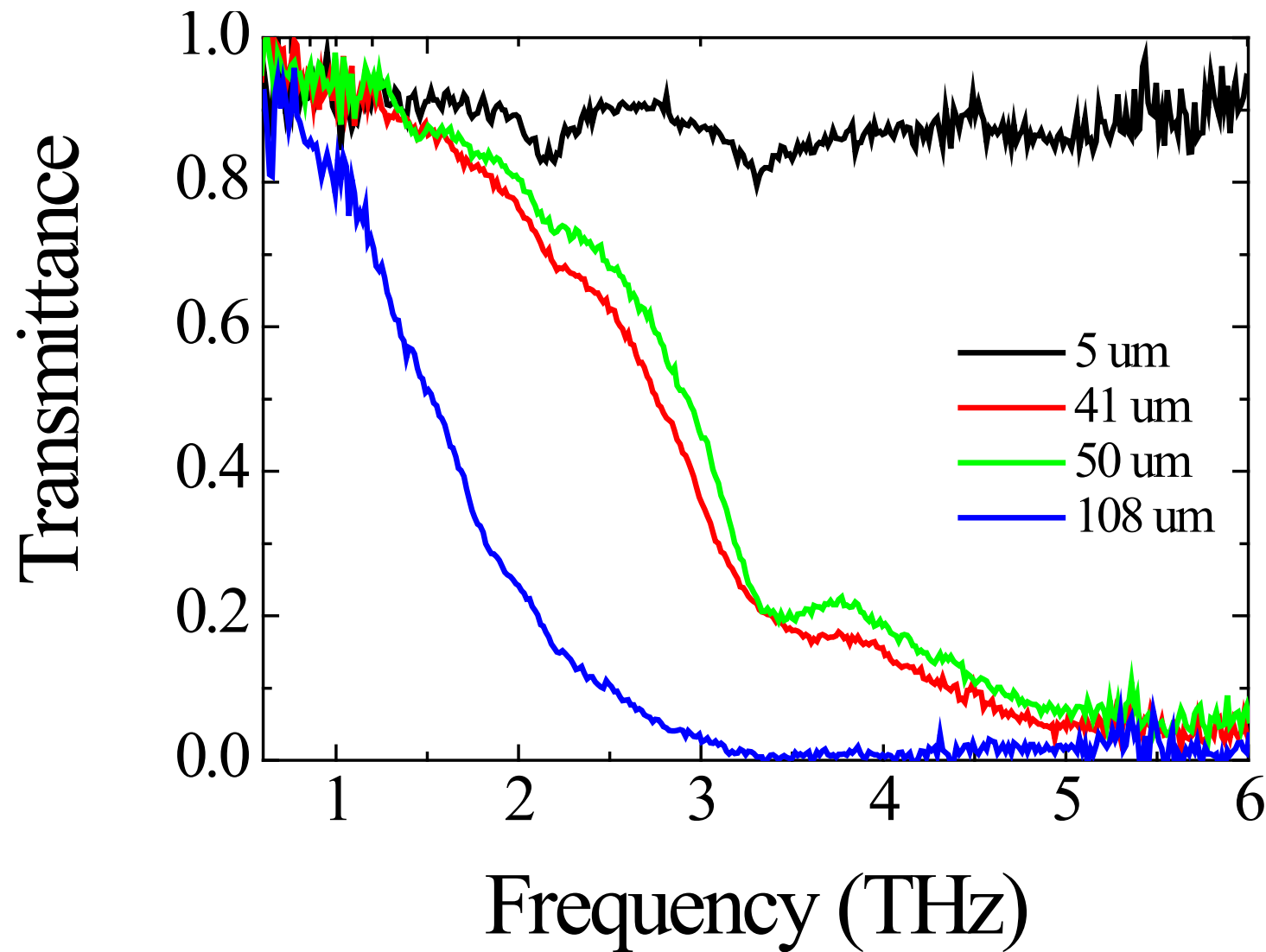
吸湿部分が分かる
(1.8THzの吸収が大きい部分)

水和による
構造変化



M. Takahashi, Y. Ishikawa, Chem. Phys. Lett. **642** (2015) 29.

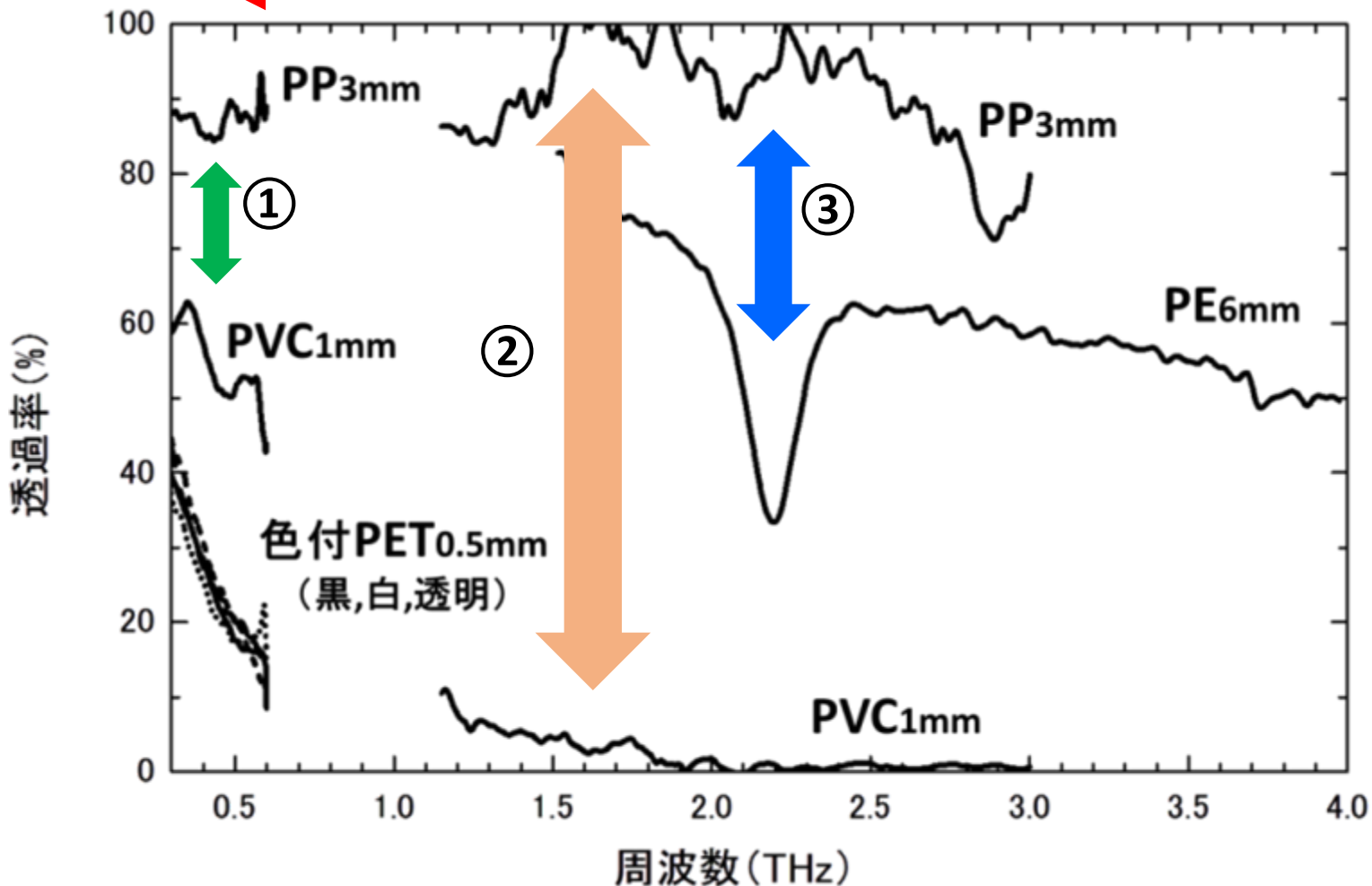
散乱による 粒径評価



粒径の異なるポリエチレン粉末ペレットの
透過スペクトル

各種樹脂材のテラヘルツ特性

広帯域テラヘルツ波(独自GaP光源): 0.5~7THz



独自光源での高周波識別 (3ステップ方式)
より高い精度で分別できる

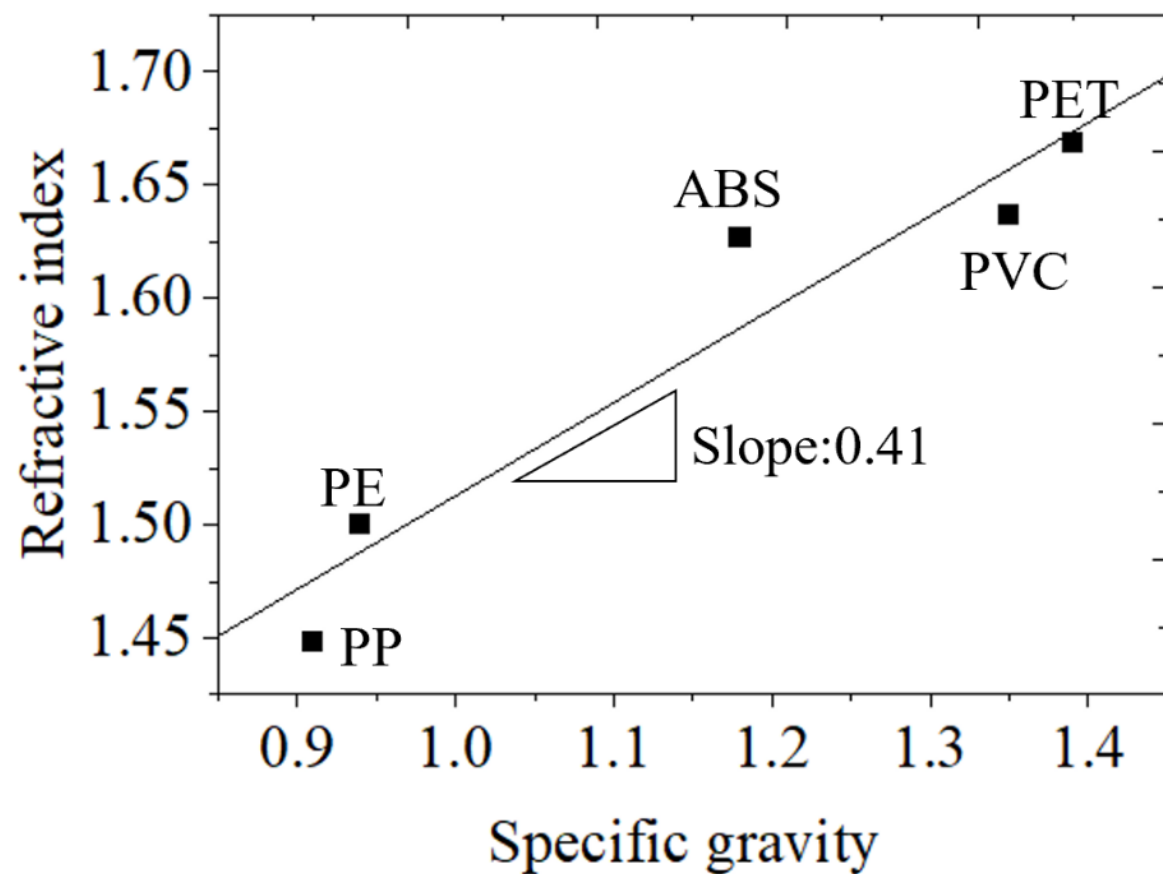
【検出原理】
テラヘルツにおけるプラの誘電率
素材で異なる
⇒透過率・反射率・吸収ピークが異なる
⇒素材や添加剤による分別が実現

T. Tanabe et. al. Opt. Photo. J **10** (2020) 265.

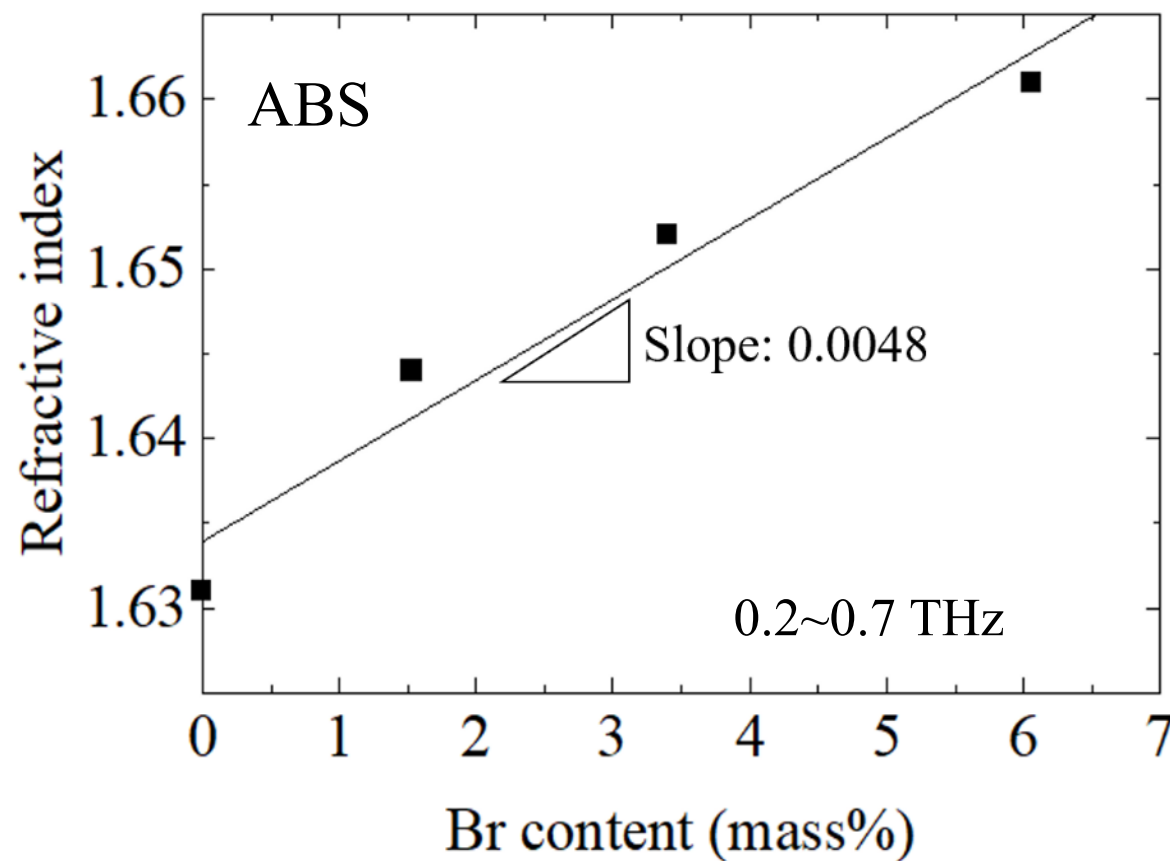
サブテラヘルツデバイス

樹脂材と添加剤のサブテラヘルツ特性

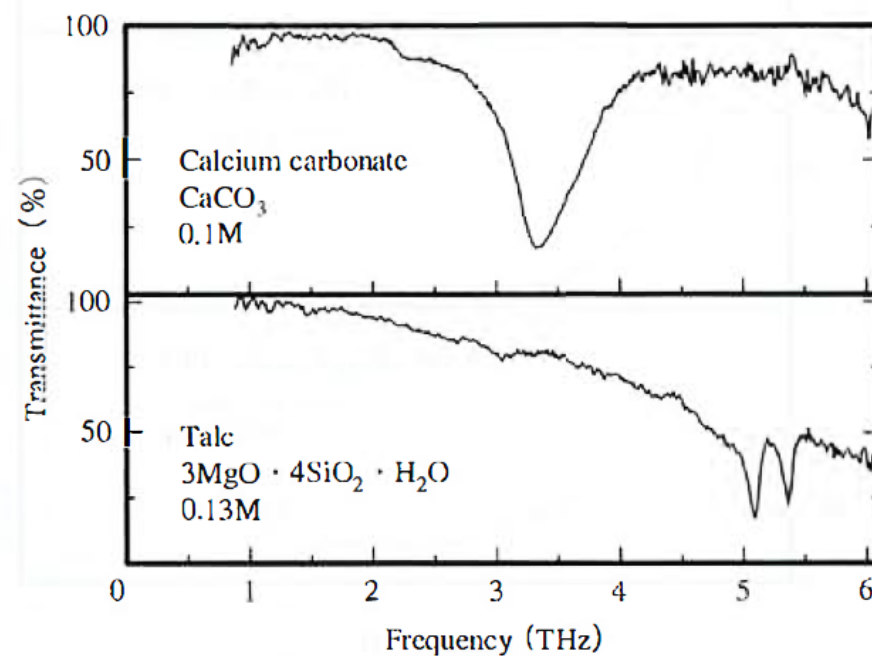
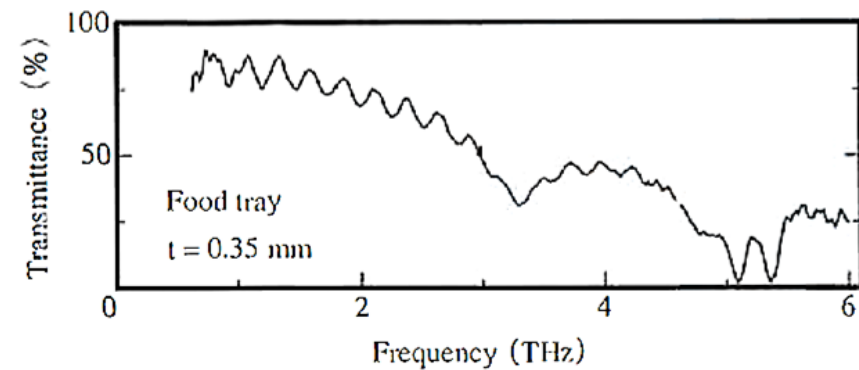
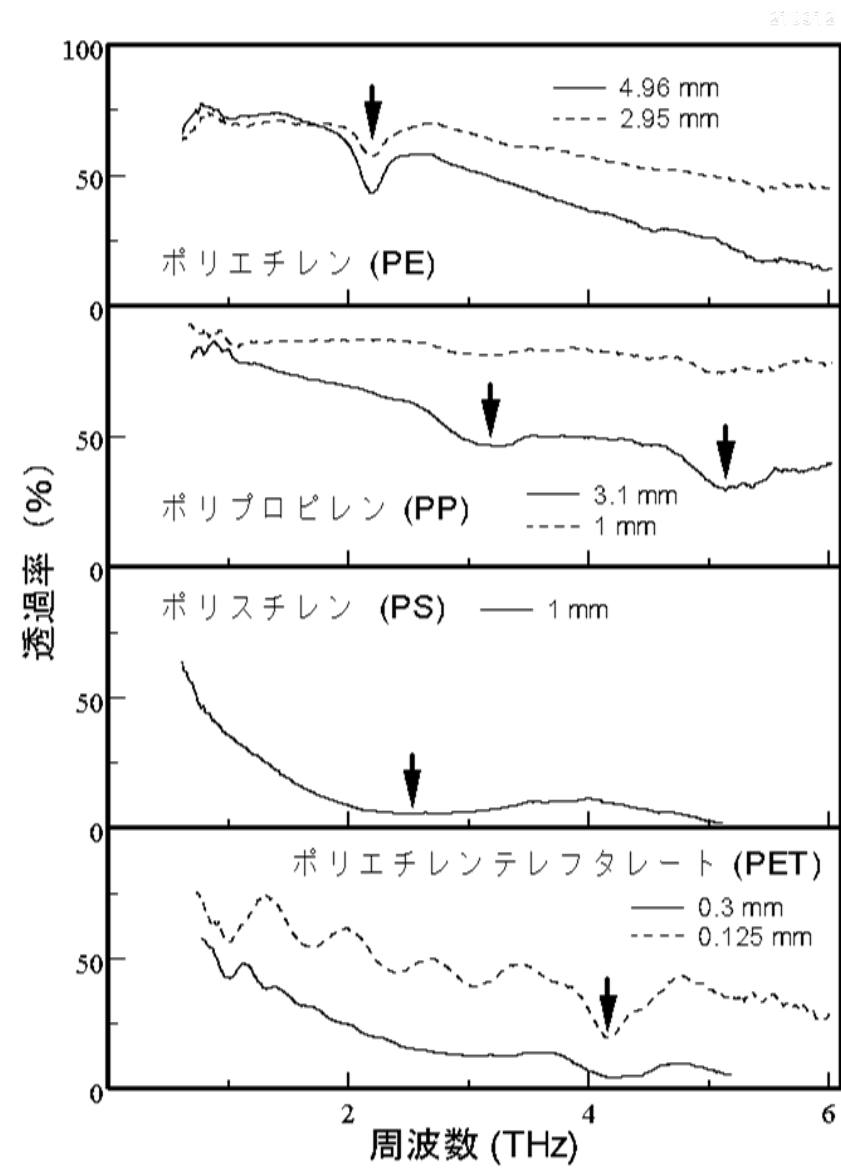
素材識別



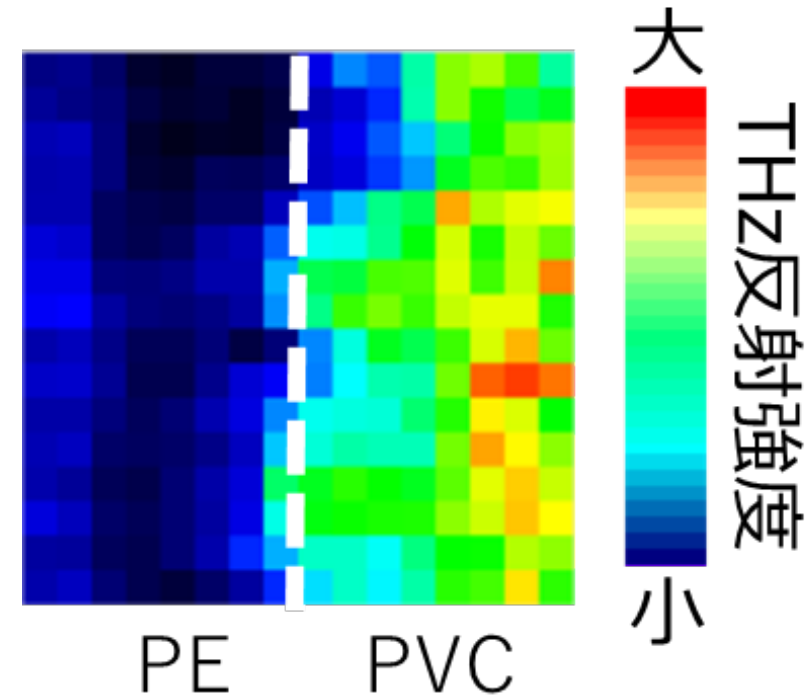
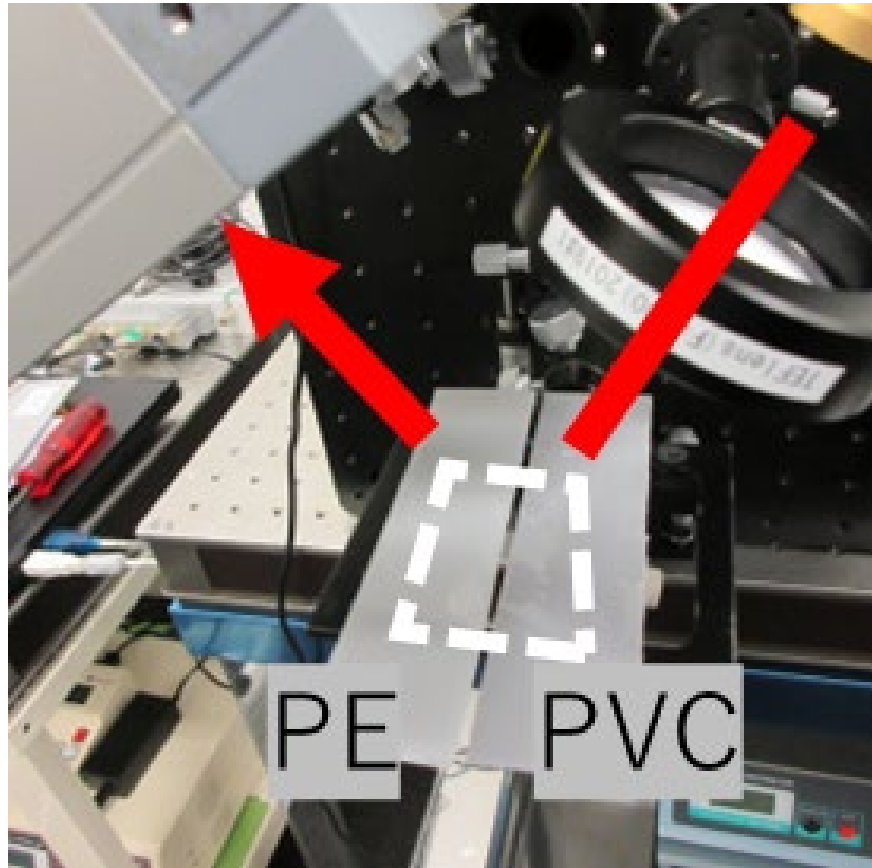
添加剤評価



樹脂材と添加剤のテラヘルツスペクトル



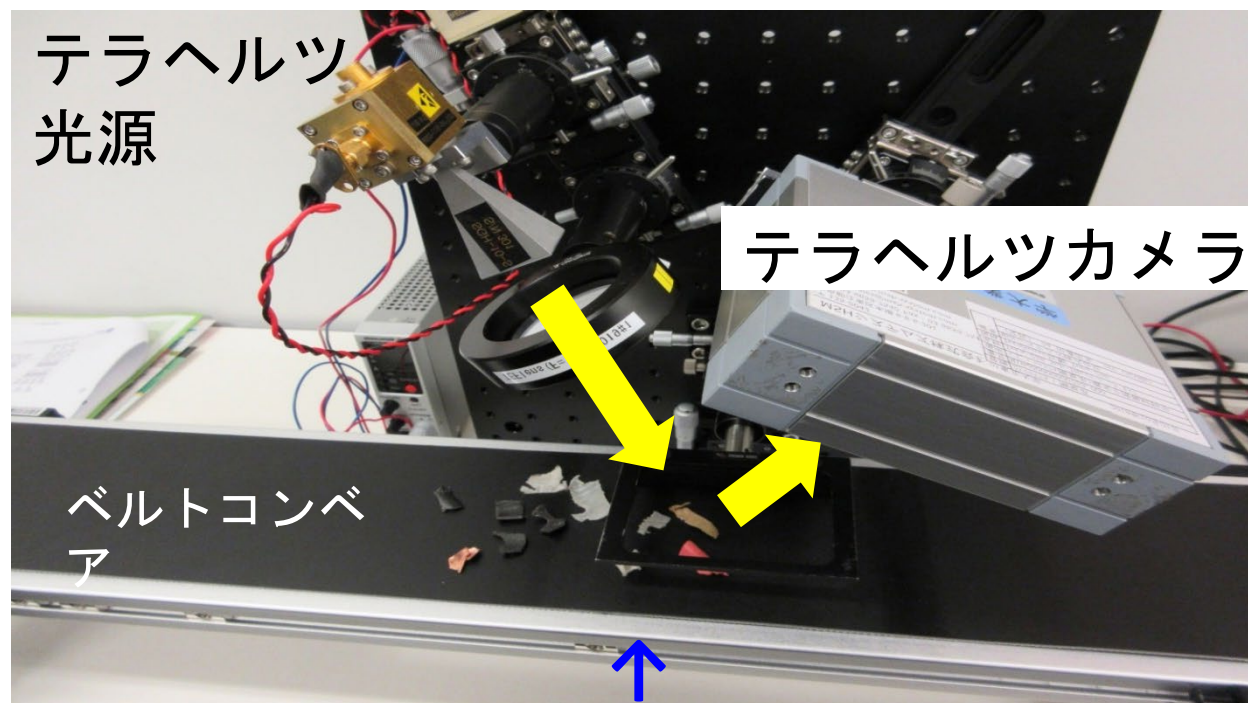
THz反射イメージ・粗粒状プラにも適用可



- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用の低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）
- ⑤ **社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）**
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

テラヘルツの活用例

金属検出・除去
(プロセス保護)

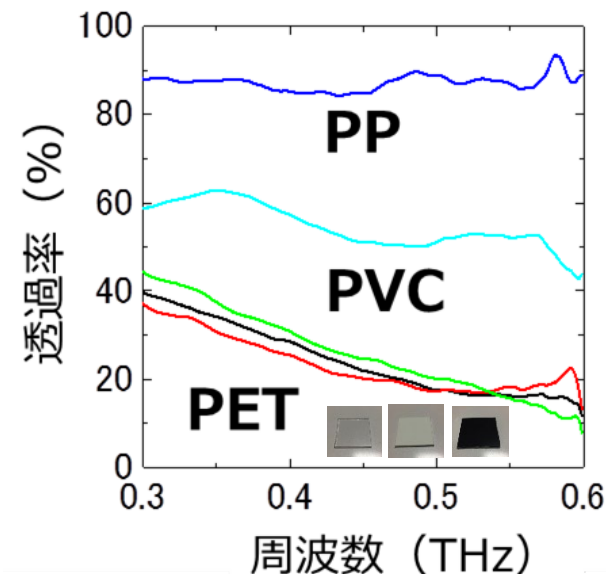


材質不明のプラスチック・混在する金属

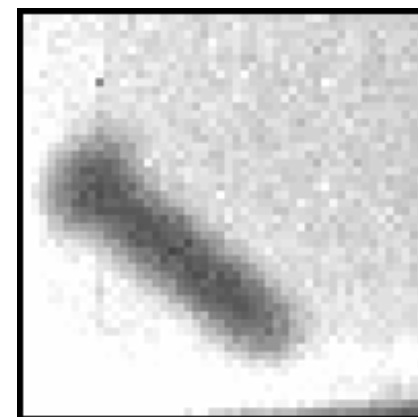
現状：目視・電磁選別

金属部分が目視で見えない
非磁性のLi電池を識別できない

素材識別



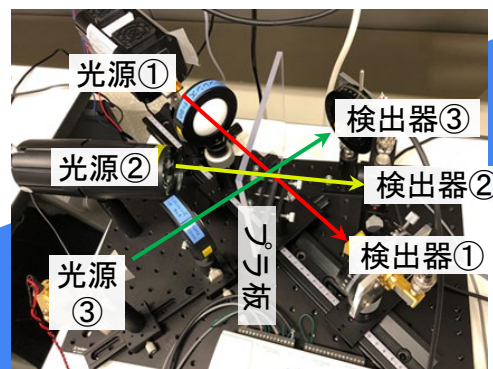
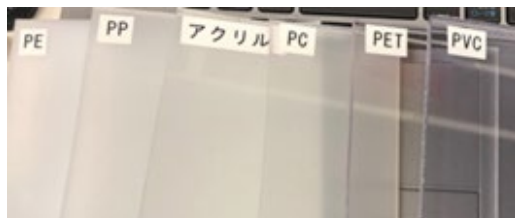
金属検出



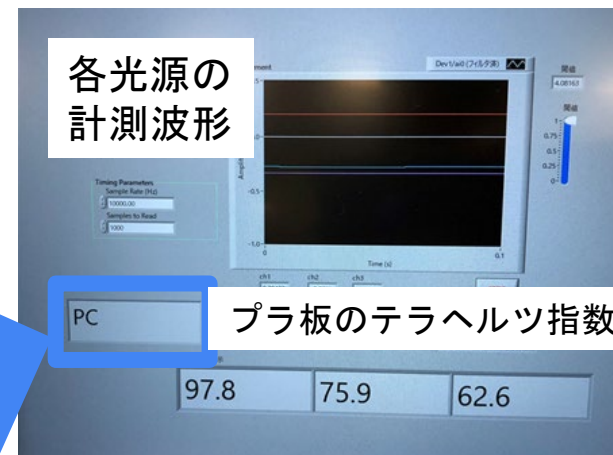
飛沫防止スクリーン（単一素材）の材料リサイクル

postコロナにおいて、飲食店などから大量に廃棄され、回収されるであろう対コロナ用プラ品の素材識別・分別装置を開発

回収されるコロナ禍で使用されたプラスチック

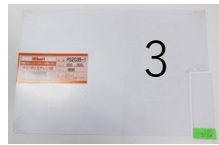
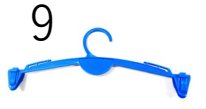
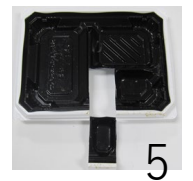
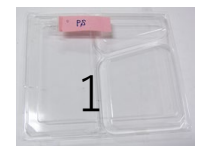
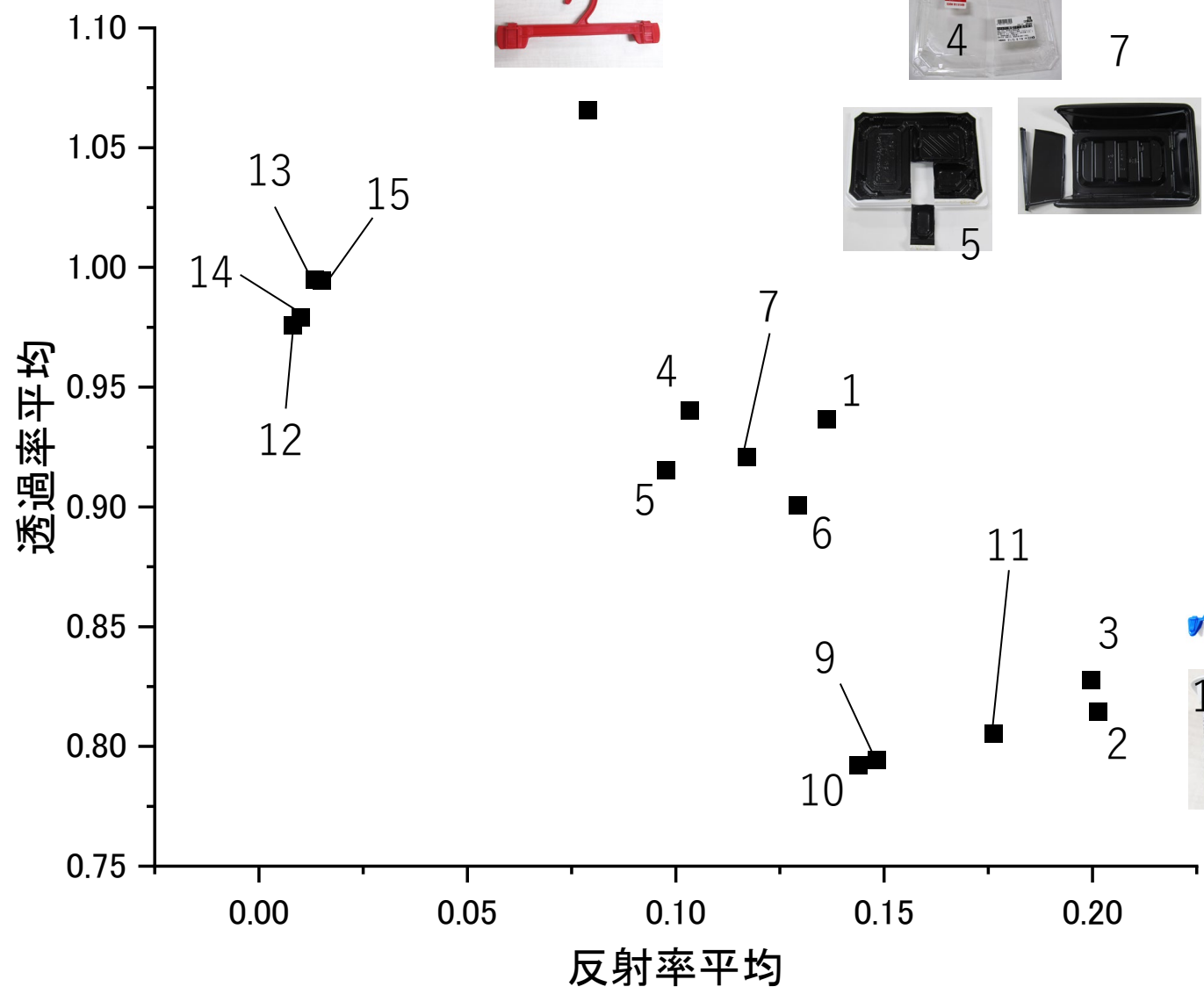


装置外観
(プロトタイプ)



計測結果の例
(PC : ポリカーボネート)

PS (15個) の測定結果



透明プラスチック容器の回収モデルで実証



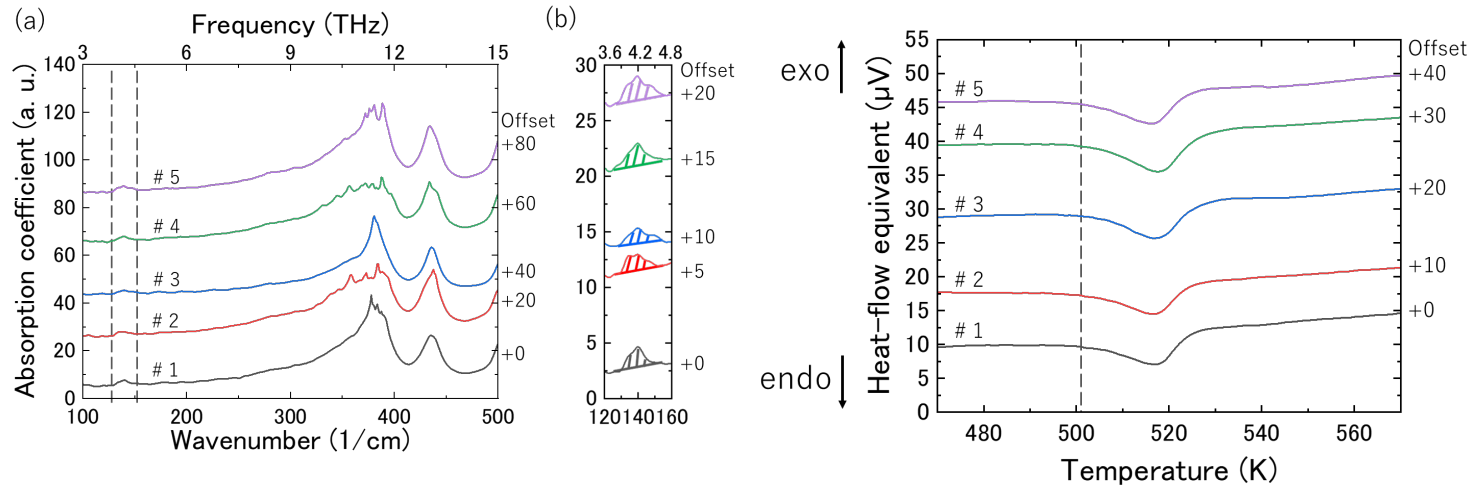
3月10-12日フレスコキクチ矢本店
(宮城県東松島市)



8月4-5日ベシシア伊勢崎駅前店
(群馬県伊勢崎市)

93%の識別精度を実証 (多項ロジスティック回帰モデル)

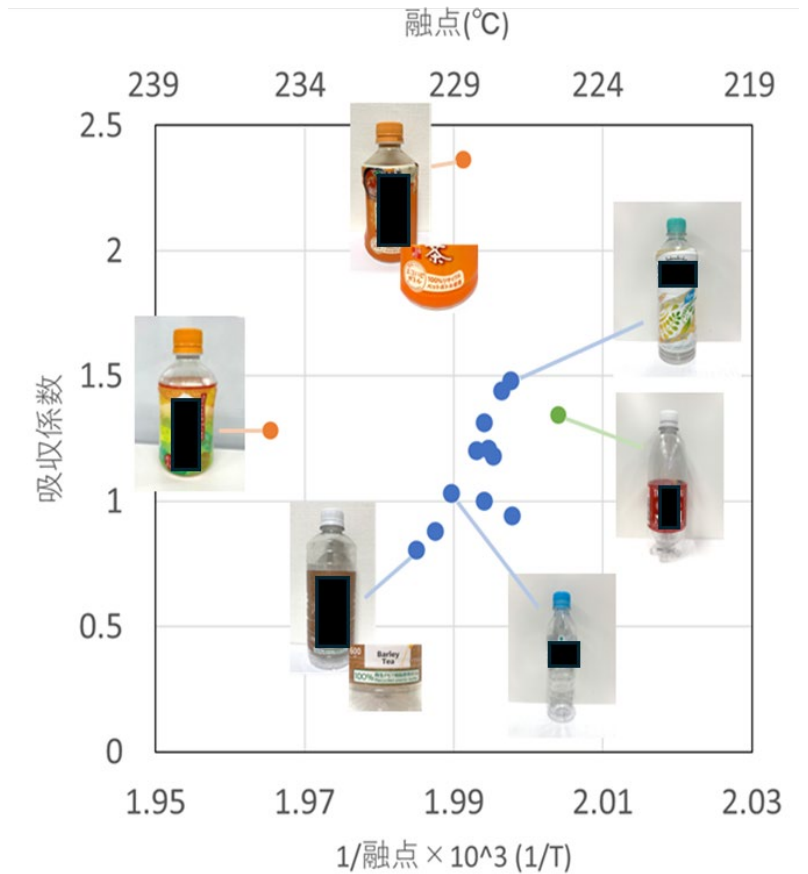
PETボトル融点の非破壊推定



●PETの4 THz付近の吸収ピークと融点の逆数に正の相関を確認

C=Oの面外変角振動：

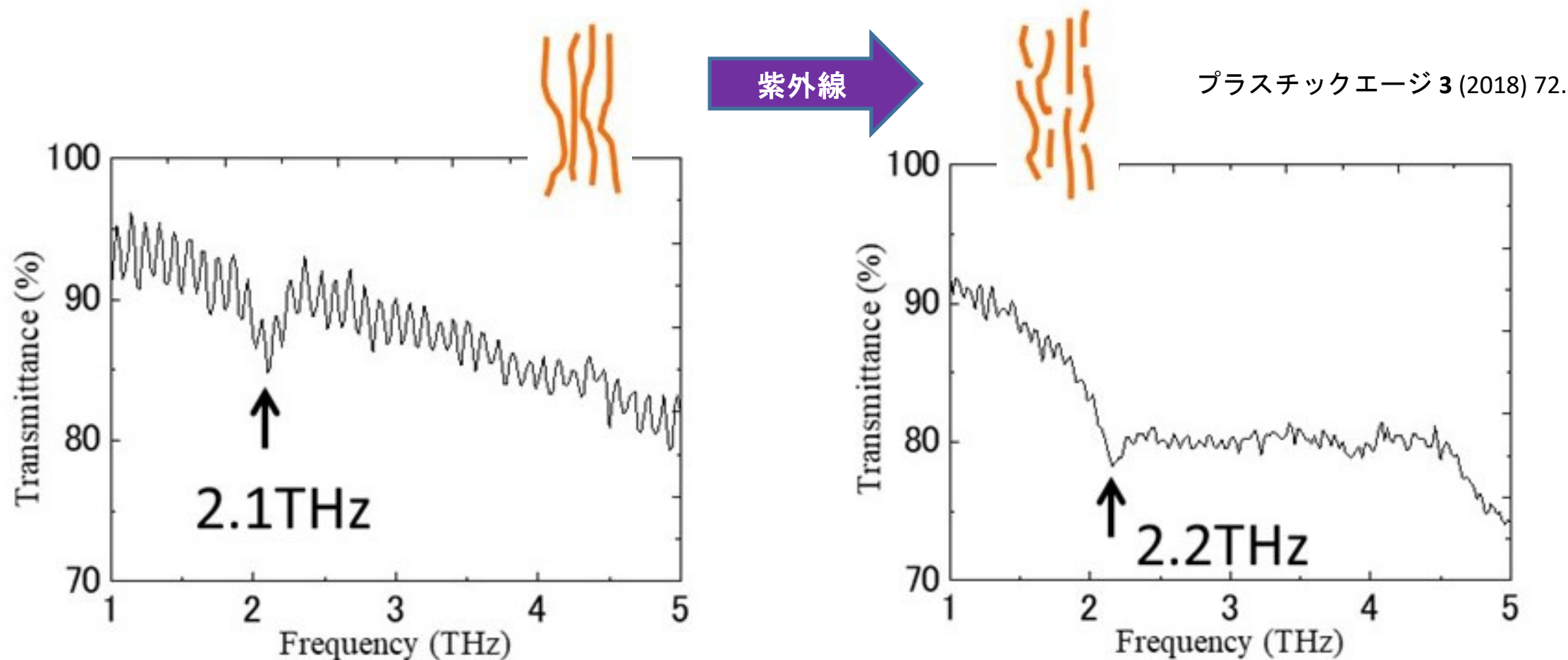
polyester、 α 型nylon6 結晶格子の熱膨張とそれに伴う
分子間相互作用の変化に敏感（山本, 佐藤ら, 2013）



Kazuma Iwasaki, Kento Hirabayashi, Eimi Yamaguchi, Sho Fujii,
Tsuyoshi Kimura, Masaya Yamamoto, Tadao Tanabe
Non-contact terahertz evaluation of the melting point for PET bottles,
Thermochimica Acta, **736**, 179732 (2024).

分子鎖の切断（劣化）を検出

劣化評価



B_{1u} 並進振動モードによる吸収ピーク

分子鎖の切断により、分子鎖同士が動きやすくなることによる高周波数シフト

紫外線照射前後におけるテラヘルツスペクトル

Waste Paper Recycling

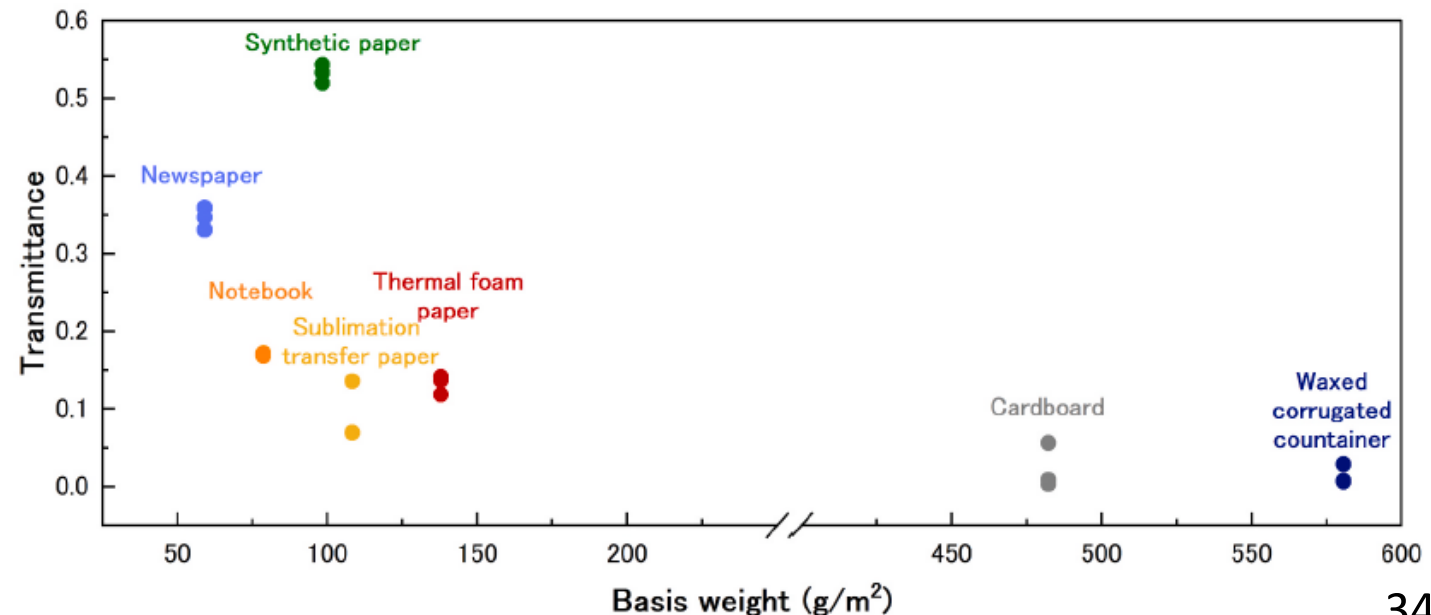
古紙識別



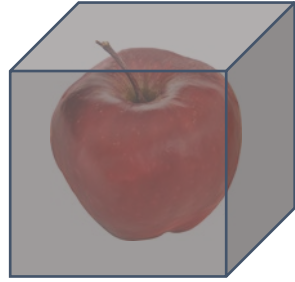
“使用済み昇華転写紙についてのお願い”
公益財団法人 古紙再生促進センター

Dai Otsuka, Asami Kawaguchi, Ayaka Abe, Shiho Sasaki,
Yusuke Yoshimura, Iori Tomoda and Tadao Tanabe
“Terahertz-based Identification of Waste Paper
for Improved Recycling in Japan”
Waste Management 202 (2025)114795.

古紙回収に
おける問題



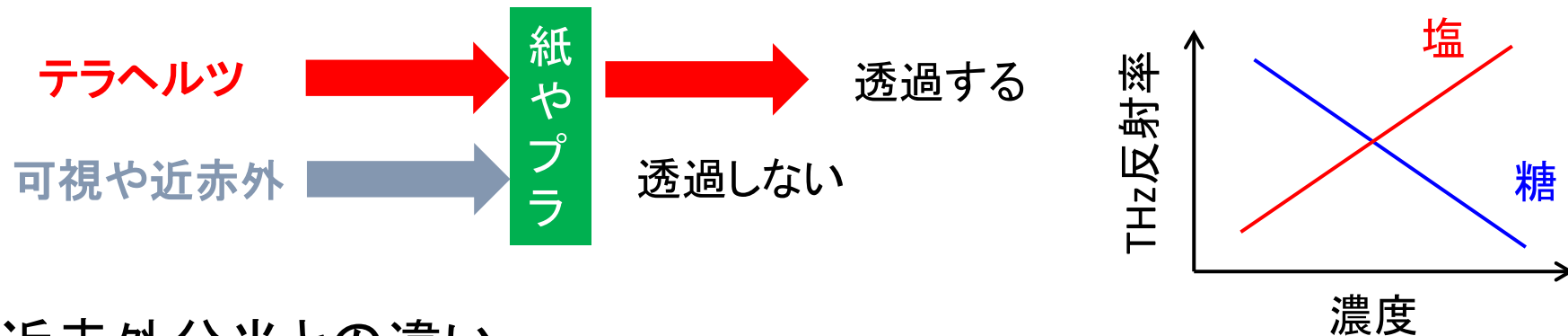
【テラヘルツができること】 袋や箱の中にある農産物の状態が分かります。



輸送中に傷んでいない？
輸送したけど、糖度は同じ？

・テラヘルツの特長

電波(透過性)と光(直進性)の両方の性質をあわせもちます。
テラヘルツのエネルギーは室温程度なので安全です。

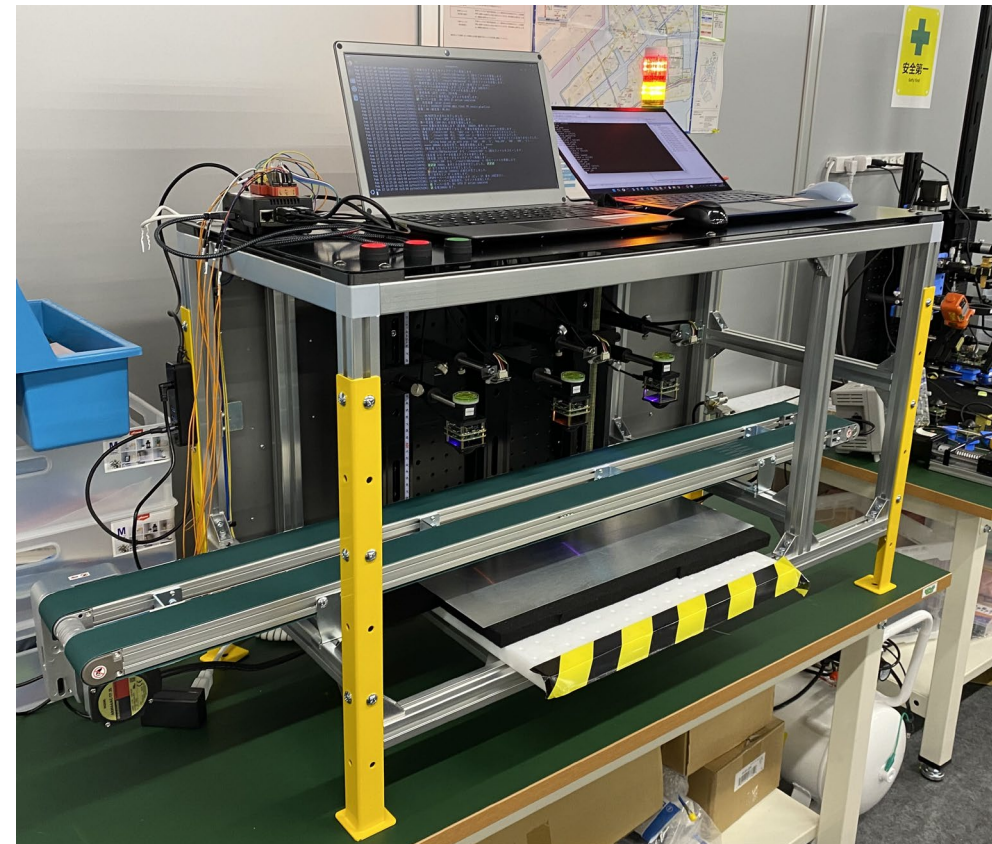
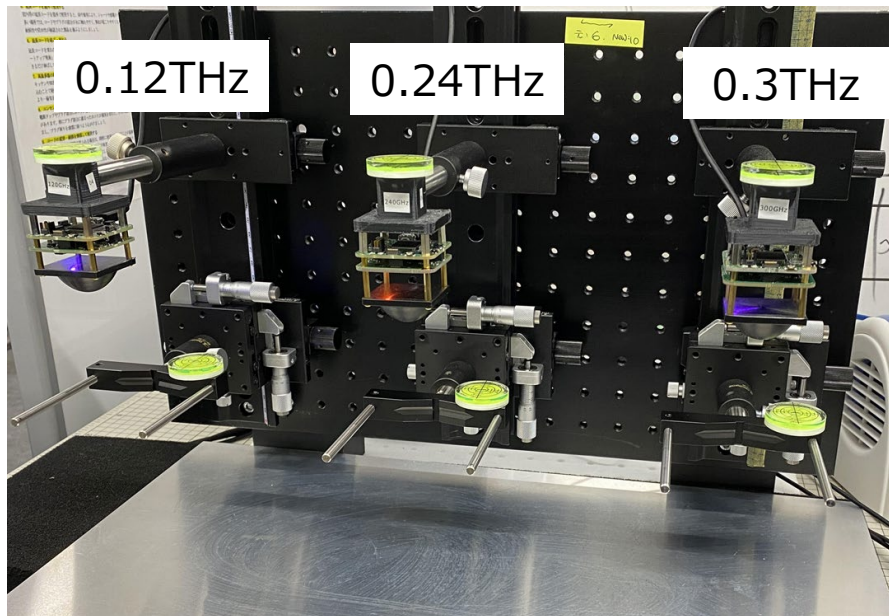


・近赤外分光との違い:

テラヘルツには透過性があるので、紙やプラの袋の中にあっても袋から出さずに、農産物の状態が分かります。

2025年度における成果

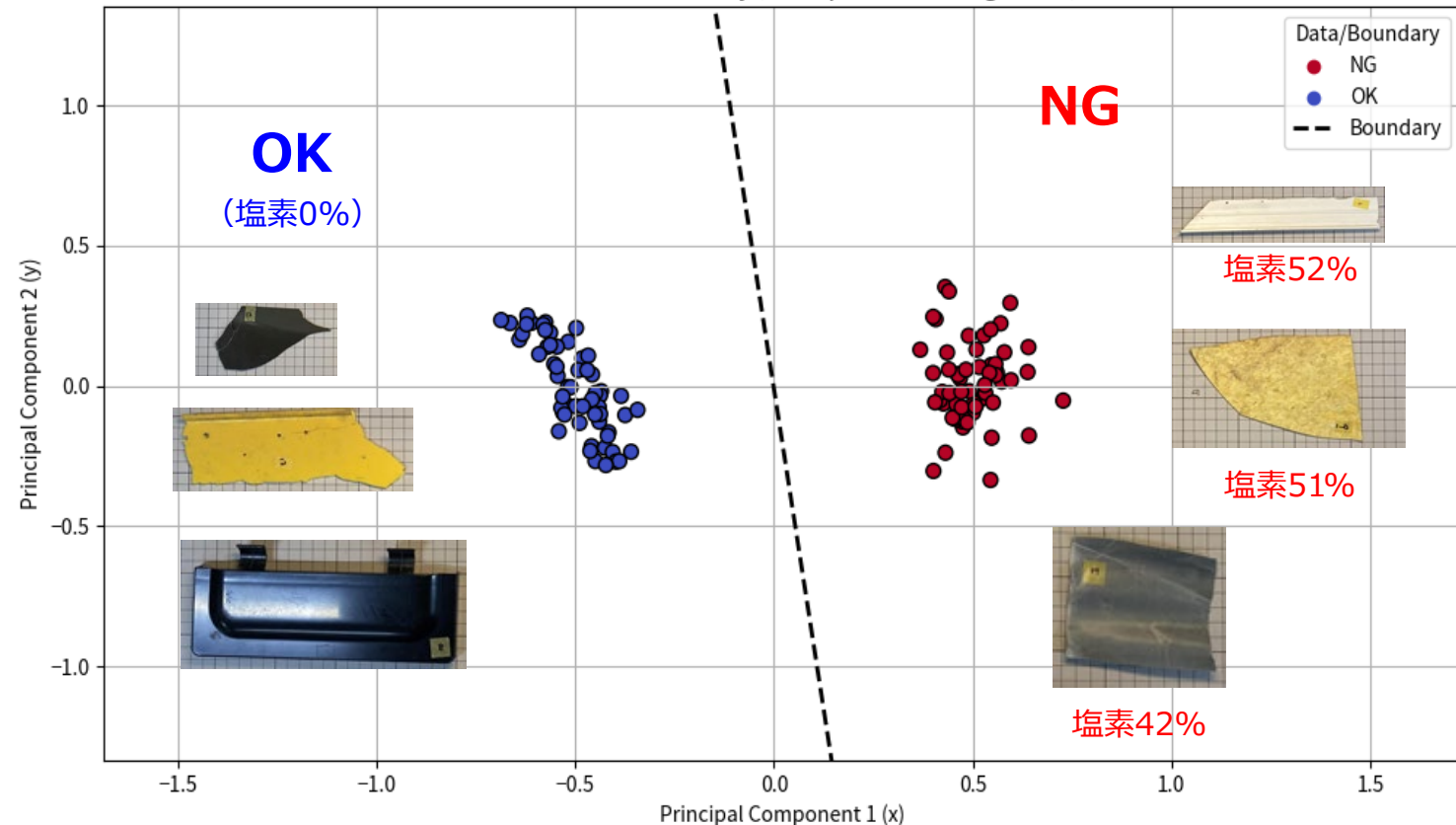
JST-SBIRにおいて、3周波数の簡易レーダーデバイスによる分光情報取得装置を設計・構築し、廃プラの塩素レベルをリアルタイムで非接触評価を実証



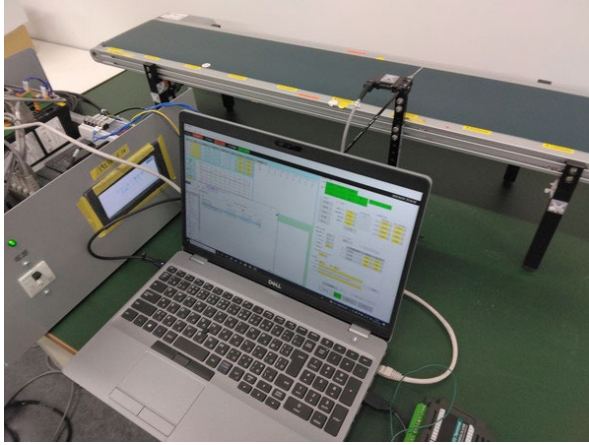
(特許出願準備中)

建設系廃プラスチックの塩素濃度による分類

塩素濃度は事前にXRFで計測



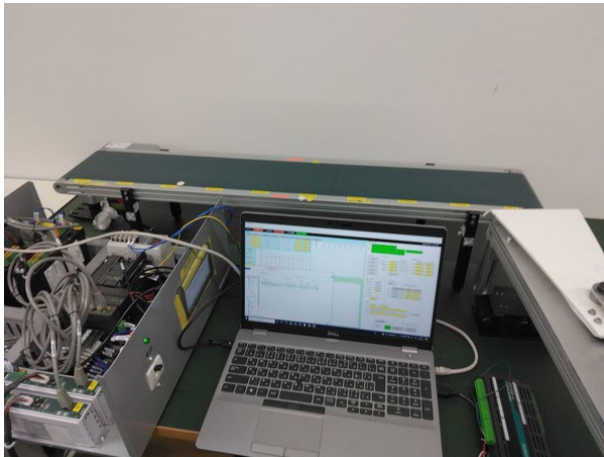
空気銃



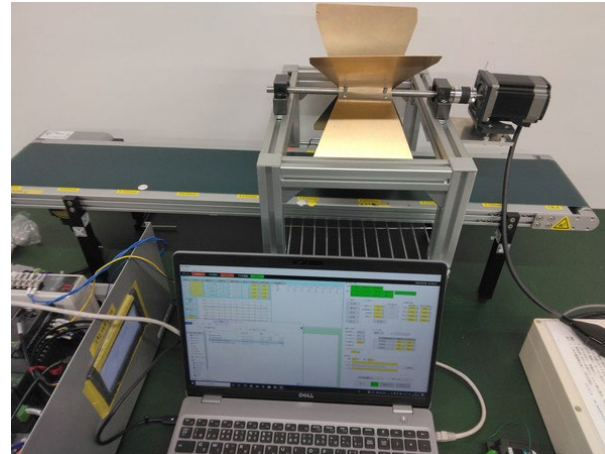
真空チャック



押し出し（1軸）

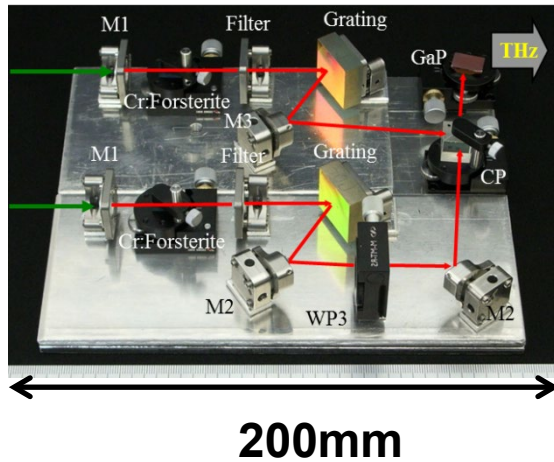


回転

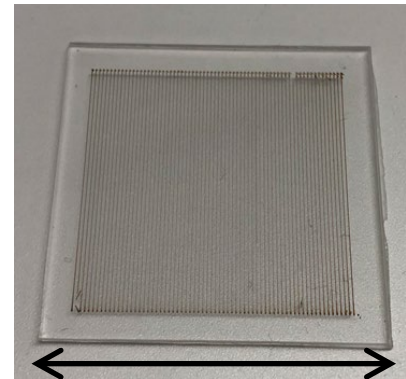
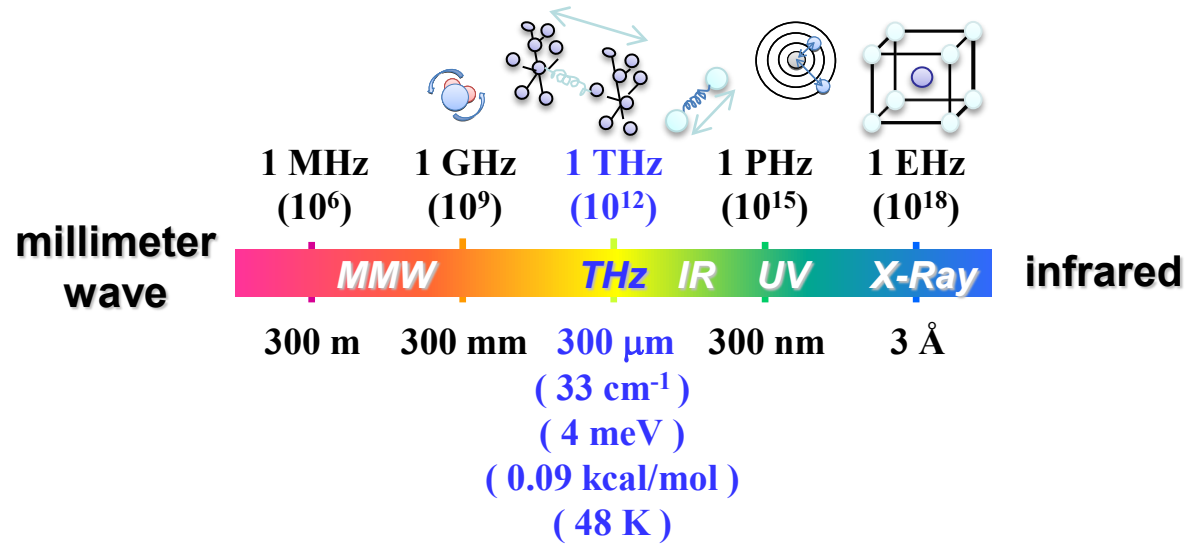


Social realization of THz photonics engineering

GaP THz generator

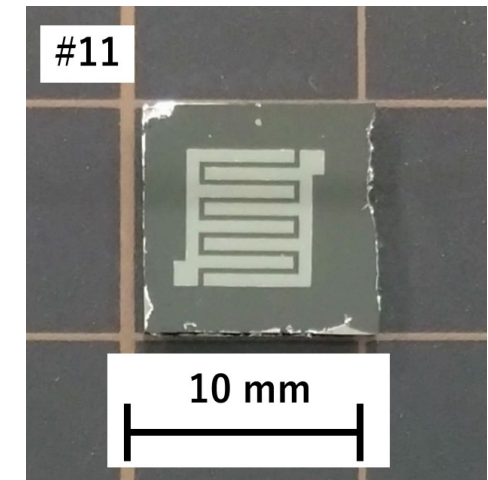


Radar devices
used as Sub-THz generator



THz polarizer fabricated with 3D printer

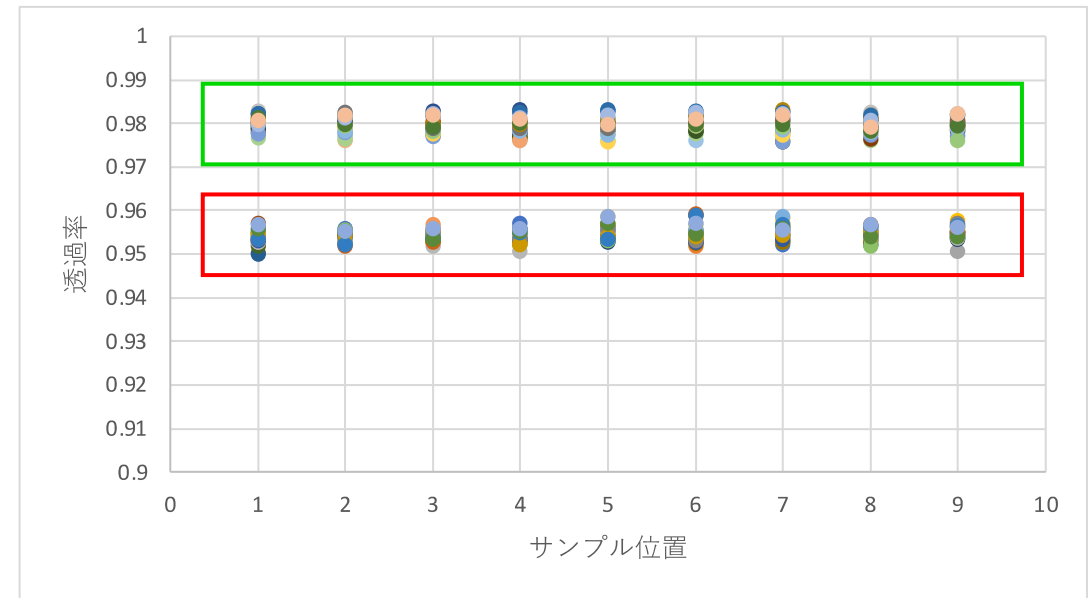
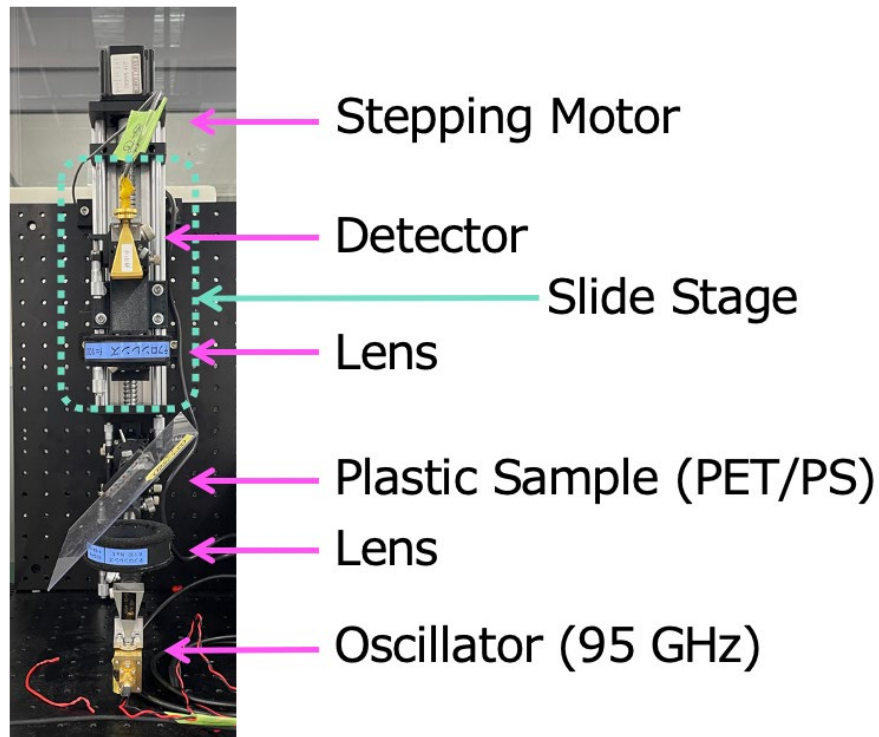
計測技術の高度化
(デバイス開発)



Infrared Detector based on Fe oxide
(Non-gallium semiconductors)

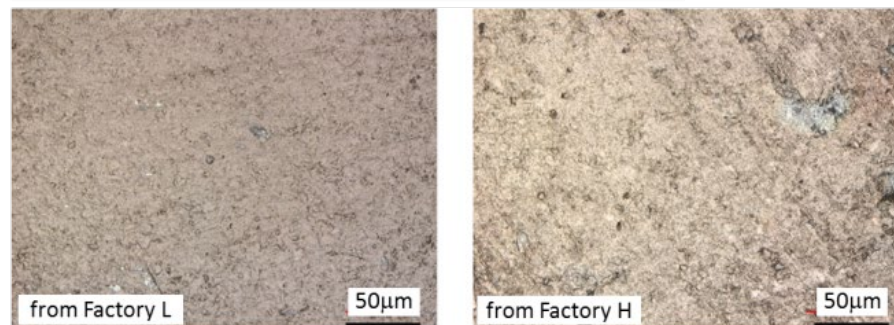
定在波法の応用

- ・ 波長が長い電波に特有の可干渉性
- ・ 干渉パターン活用による測定安定化

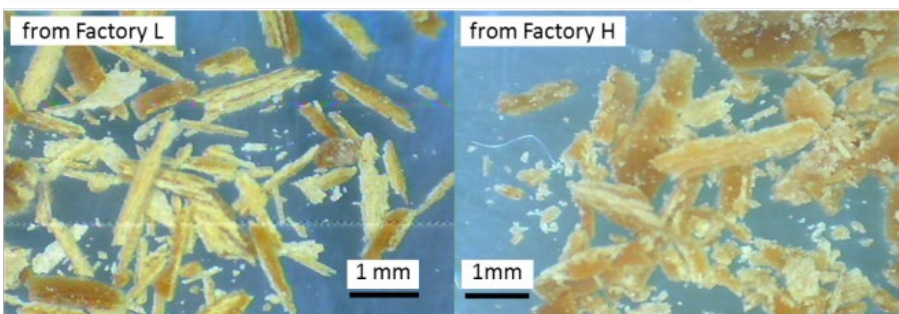


Optical Microscope

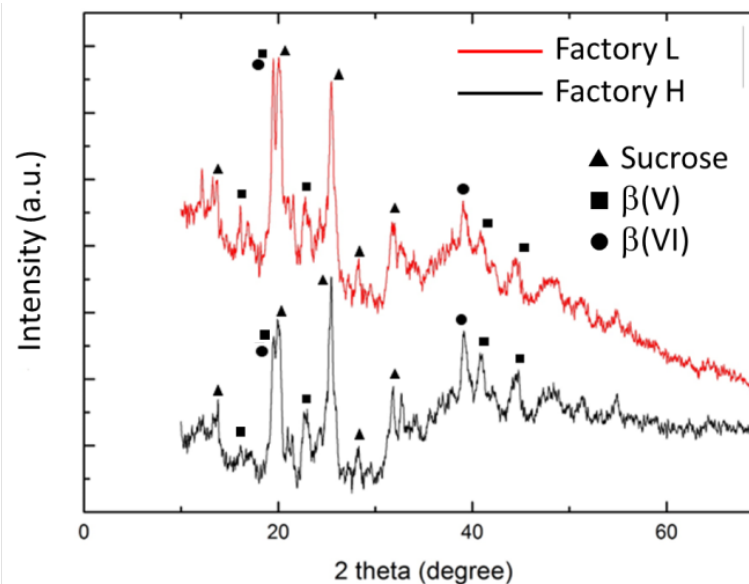
(a) Type 1 chocolate samples for optical microscope



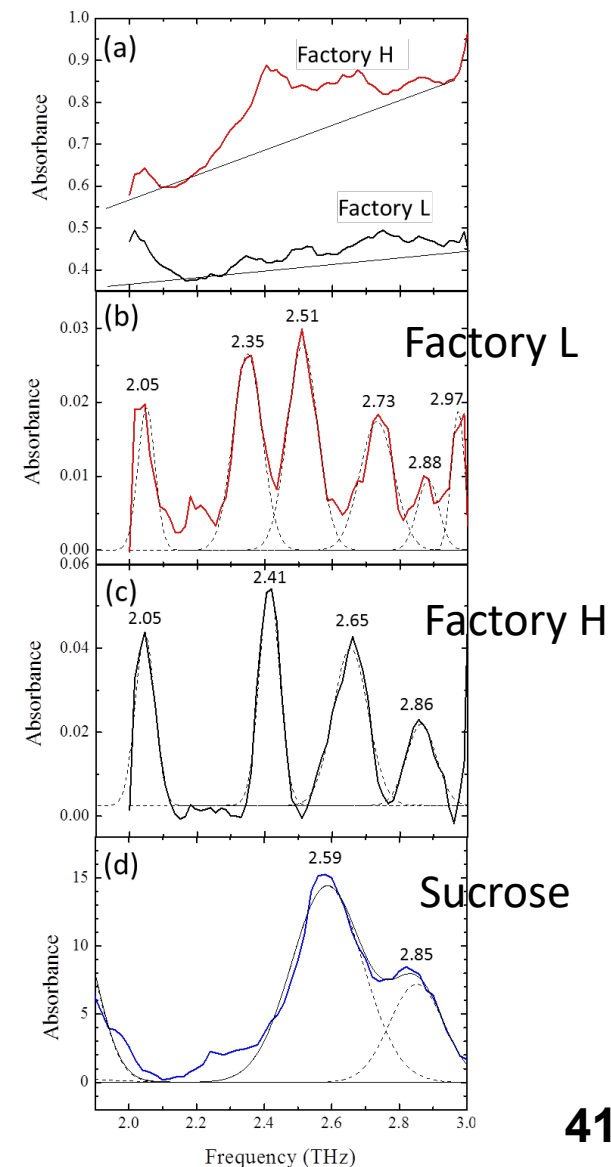
(b) Type 3 chocolate samples for Terahertz spectroscopy



XRD



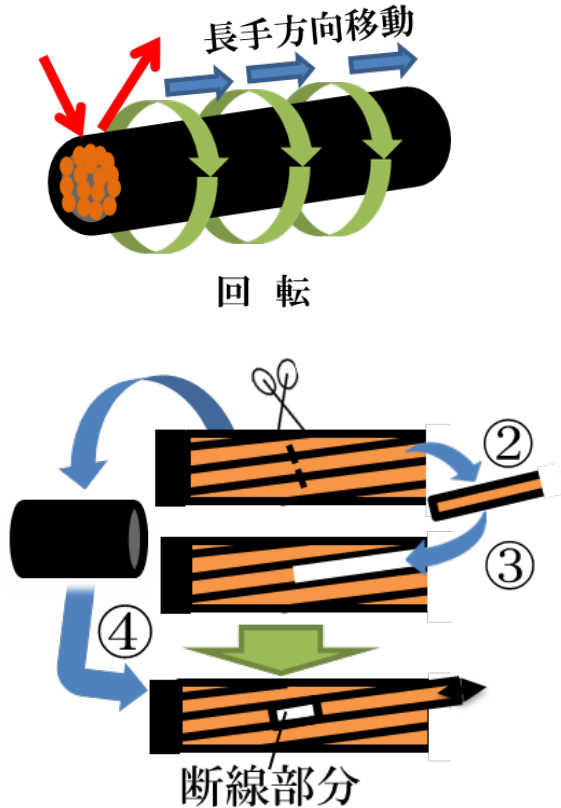
THz



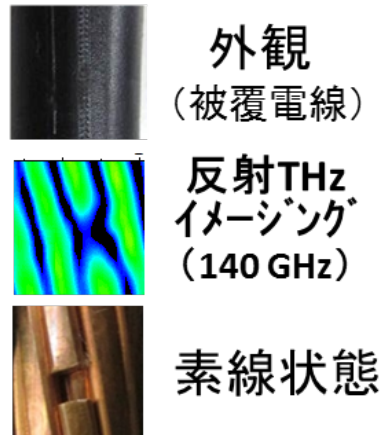
S. Weiller, T. Tanabe, Y. Oyama WJET 6 (2018) 268-274.

T. Tanabe, J. Kawai, Non-invasive and Non-destructive Methods for Food Integrity (Springer 2024).

【被覆電線内部の断線・腐食の検査】



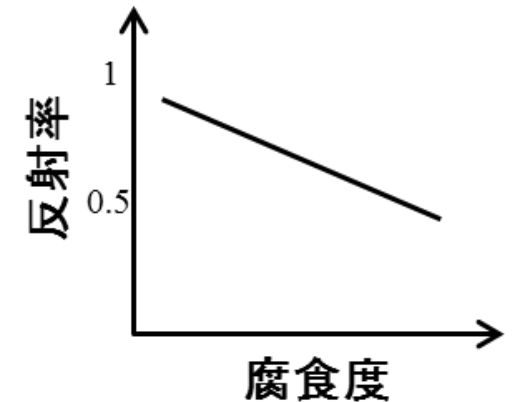
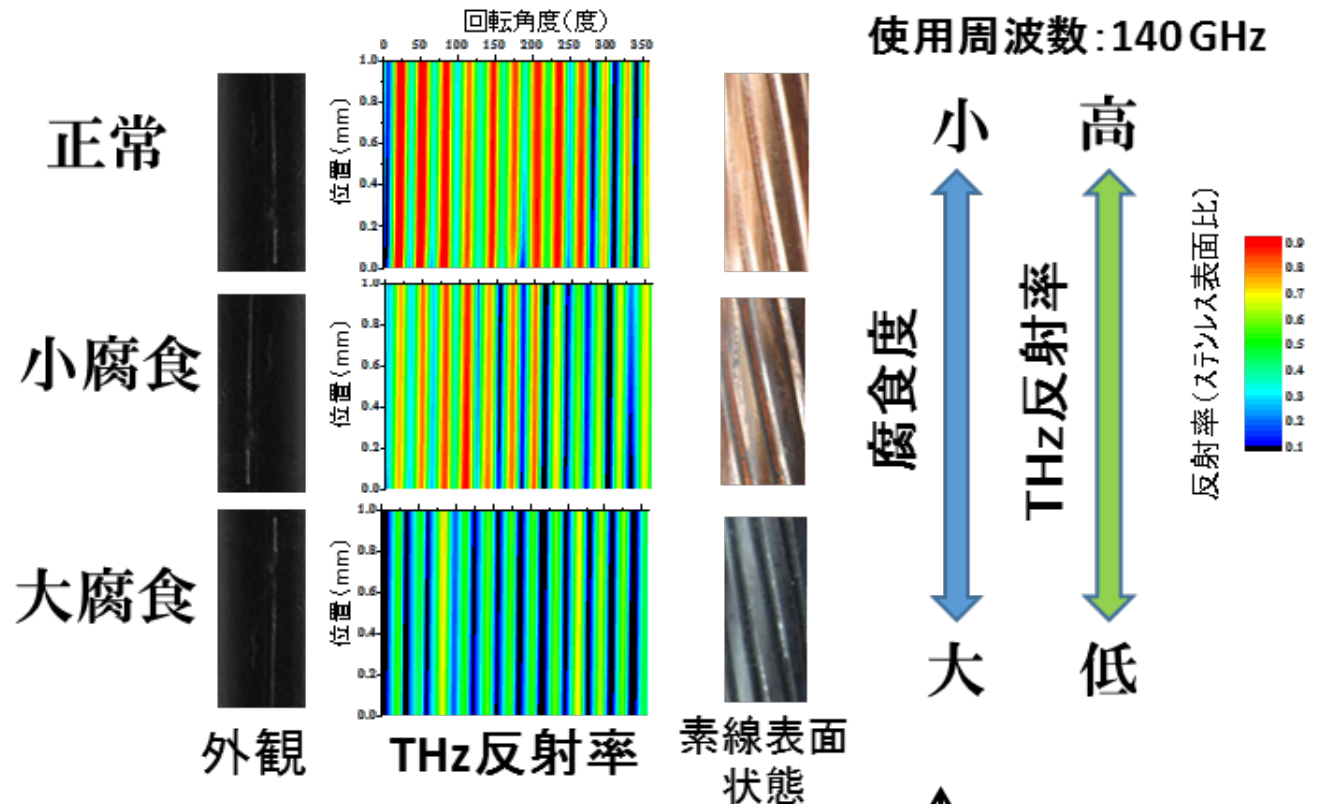
専用の治具により
長手方向への移動と
回転を制御



一定間隔で回転・移動を
繰り返し反射率を測定

被覆状態でも素線断線・腐食を非破壊で検知

内部構造の非破壊検査

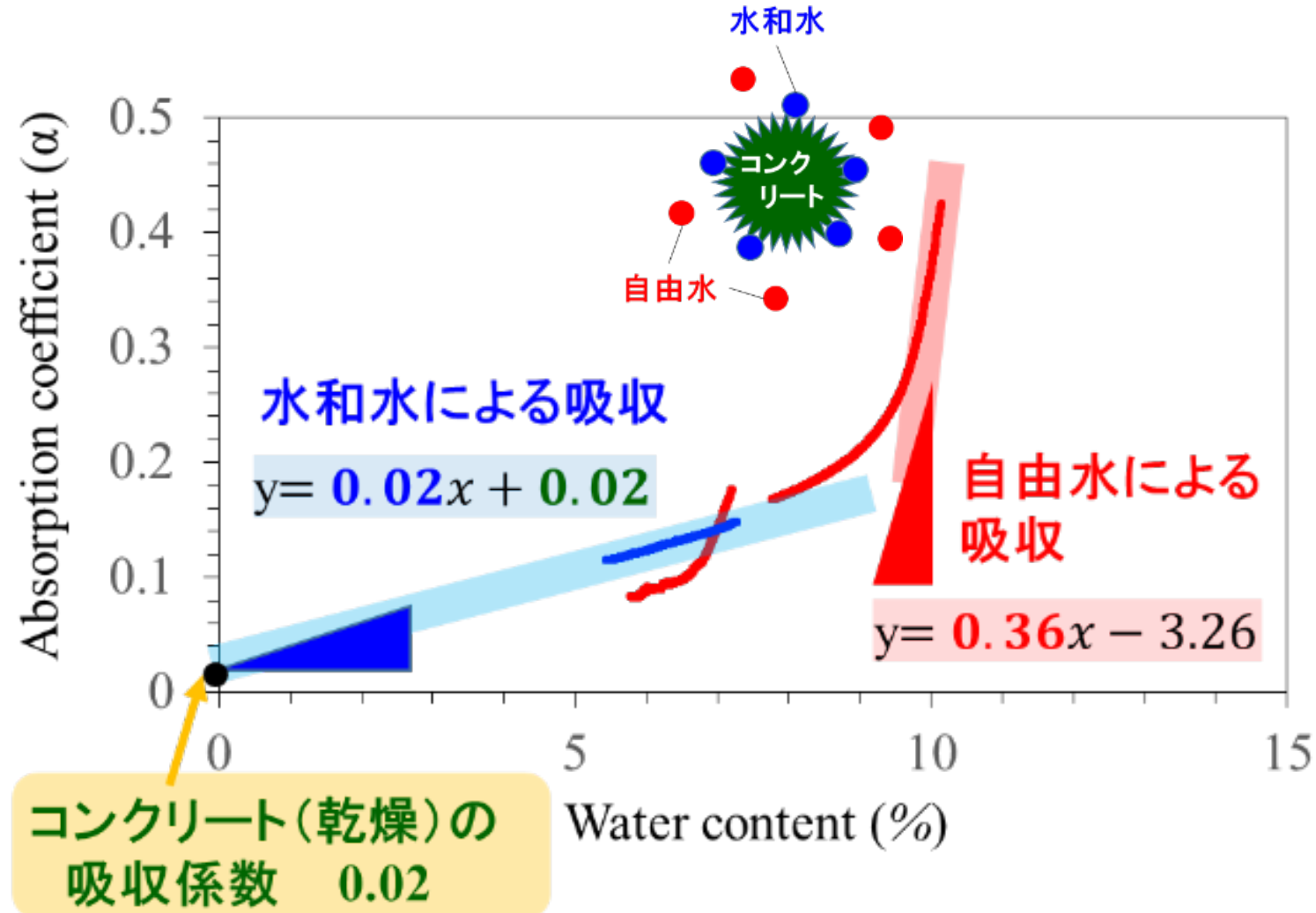


S. Takahashi, T. Hamano, K. Nakajima,
T. Tanabe, Y. Oyama, *NDT & E Int.* **61** (2014) 75.

- ① 電磁波活用の高周波化：ミリ波からテラヘルツ
- ② 電磁波活用 of 低周波化：赤外からテラヘルツ
- ③ テラヘルツのデバイス開発の現状
- ④ テラヘルツの広帯域電磁波による検出対象（プラスチック）
- ⑤ 社会実装に向けた実例（システム構築とAI活用）
- ⑥ その他の測定対象（コンクリートインフラや木材）

極性が大きい
水分子による吸収

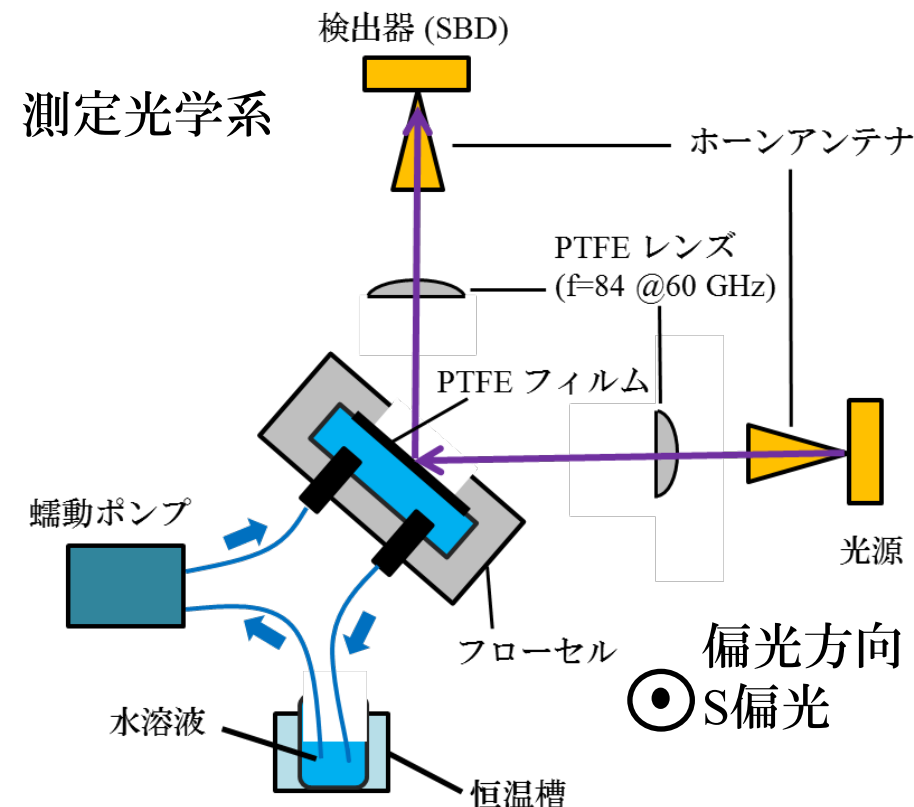
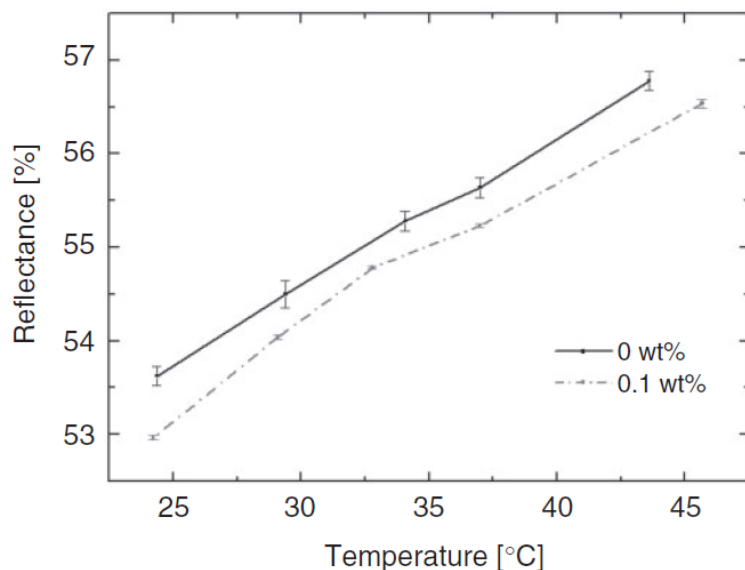
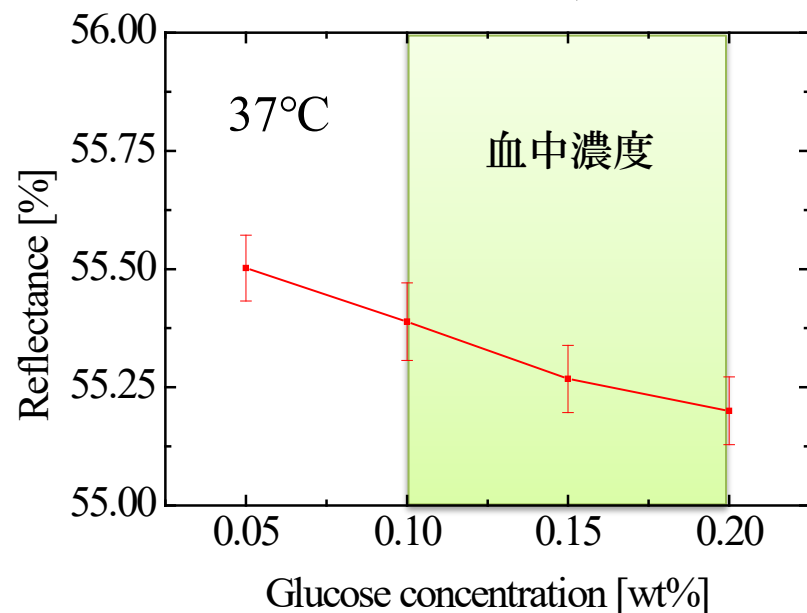
表面含水率の定量評価



液体系の実例紹介

【グルコース水溶液のテラヘルツ波反射率測定】

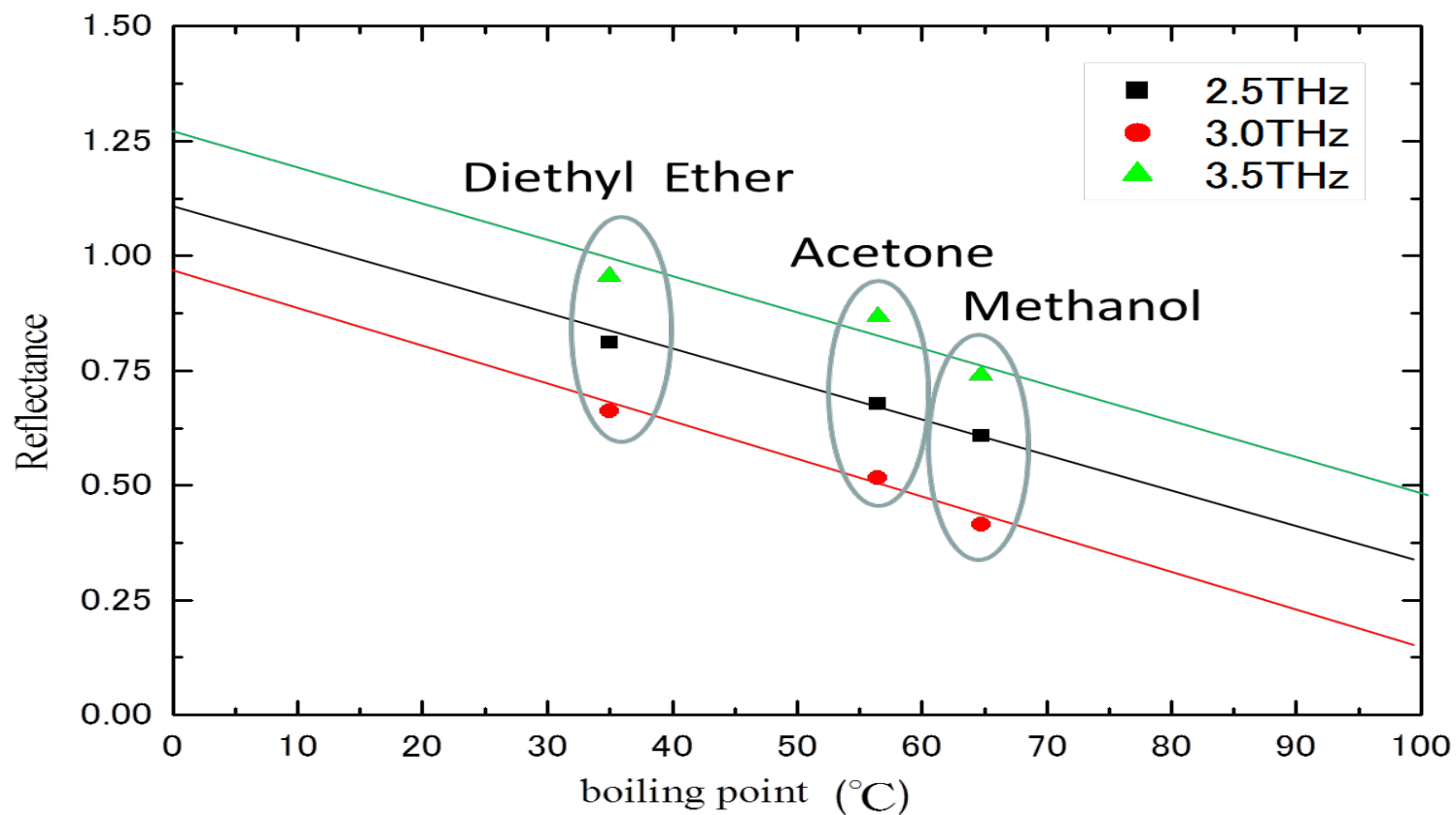
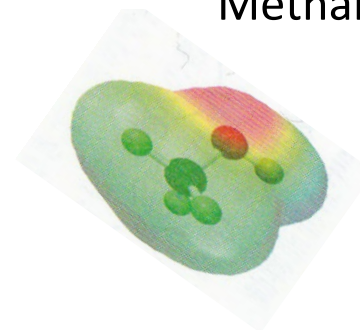
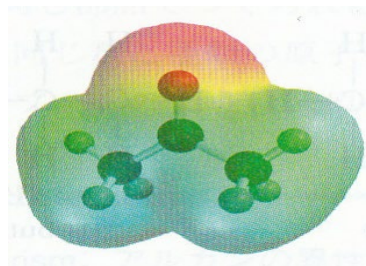
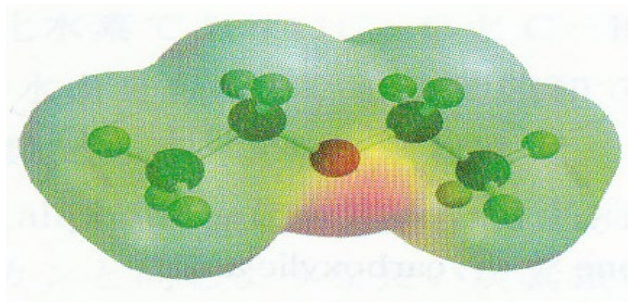
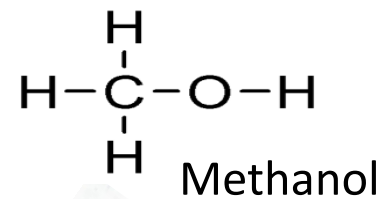
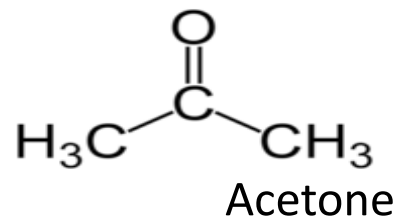
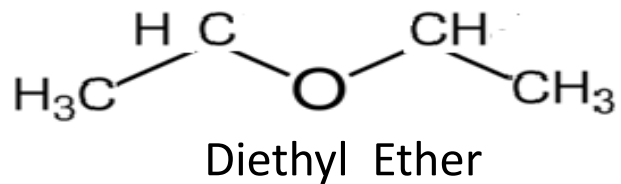
➤ 実際の血糖値濃度領域での反射測定



TUNNETTダイオード

光源出力 : 0.18 mW

線幅 : 0.25 GHz

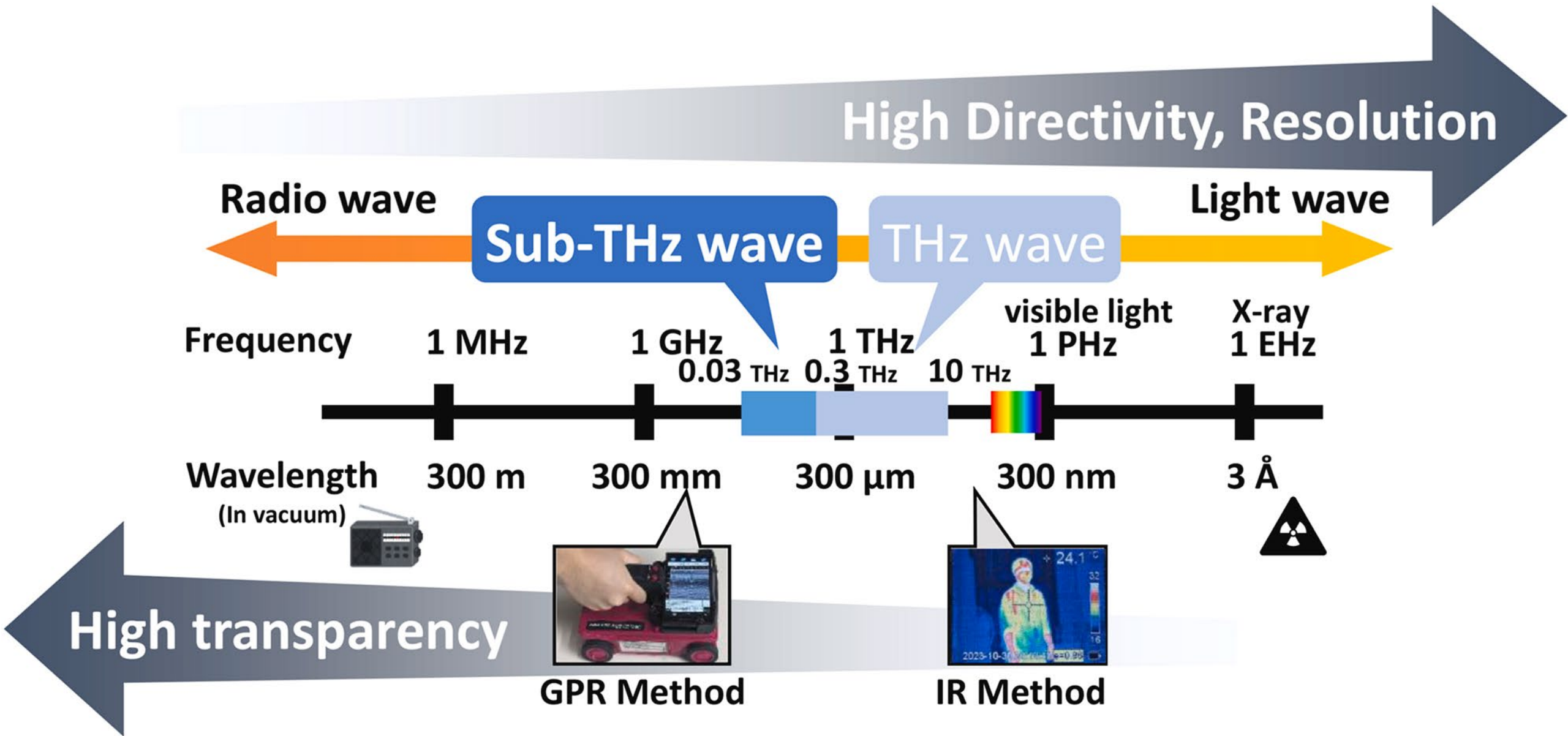


Red : electron rich

H₂O



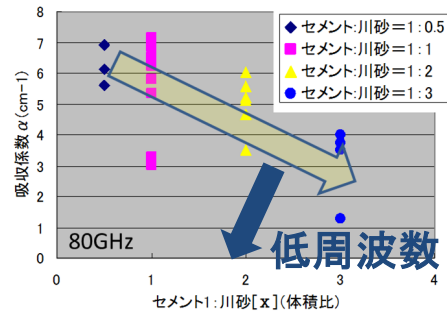
Blue : electron poor



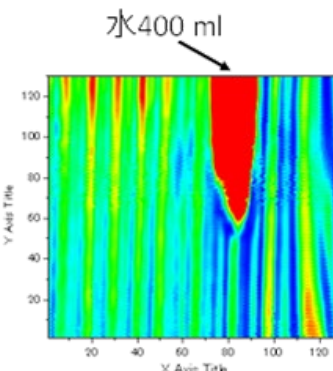
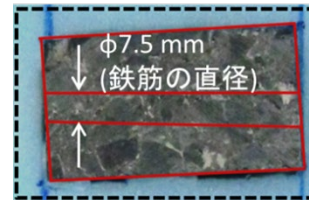
インフラ非破壊診断におけるテラヘルツの位置づけ

検出原理

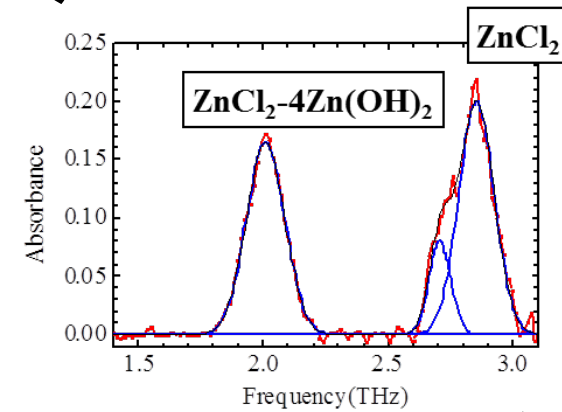
- ・ 反射
- ・ 吸収
- ・ 散乱
- ・ 干渉



吸収係数: 0.1cm⁻¹
→ 10cm透過



ドリル穴(5mm径)に水を注入
@ 200GHz (0.2THz)



腐食

ミクロン

ミリ

空間分解能

到達深

センチ

メートル

(超音波)

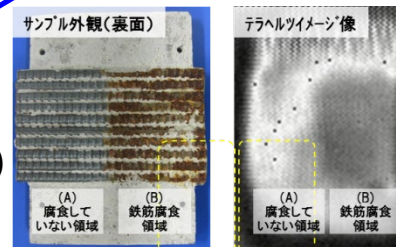
(鉄筋探査機)

鉄筋位置

ひび割れ

(渦電流法)

@ 30GHz (0.03THz)



* 黒いドットはノイズによる

幅1cmの試験片

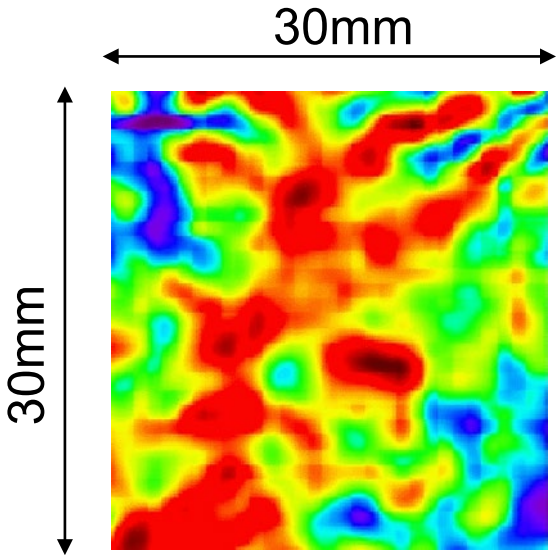
エポキシ樹脂を塗膜した
溶融亜鉛めっき鋼板

GHz

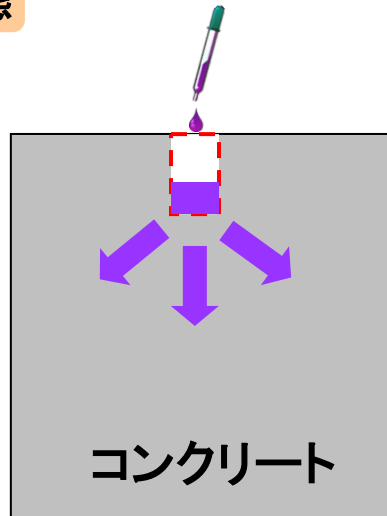
THz

周波数

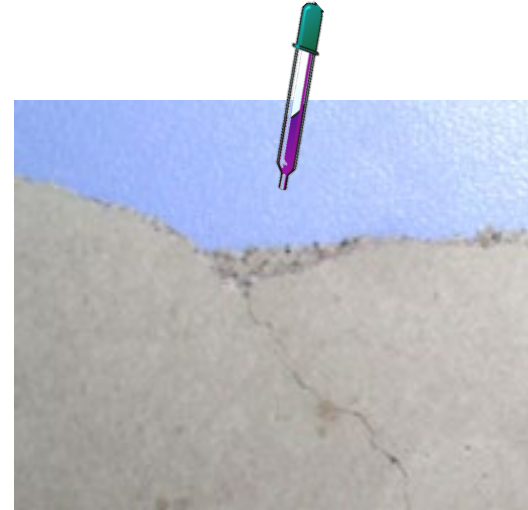
コンクリートへの水の浸潤状態



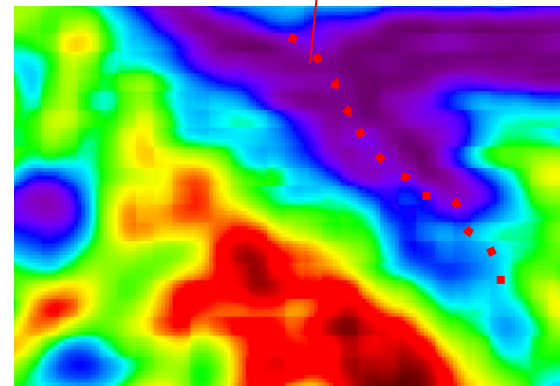
コンクリートの厚さは
10mm



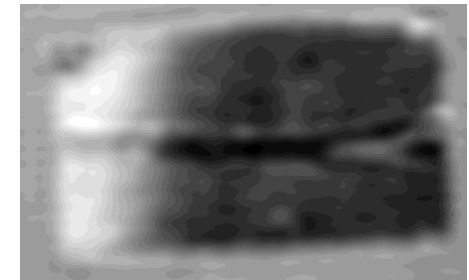
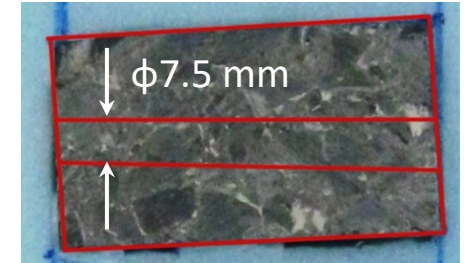
コンクリートのひび割れ検出



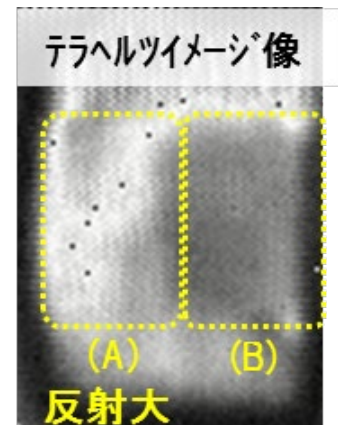
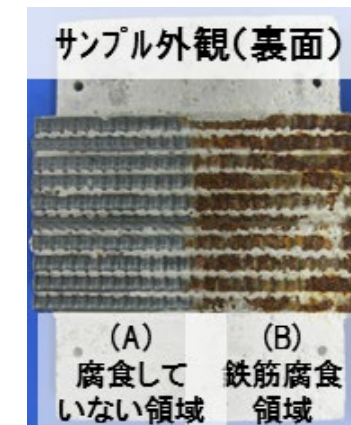
ひび割れ



コンクリート内部の鉄筋観察

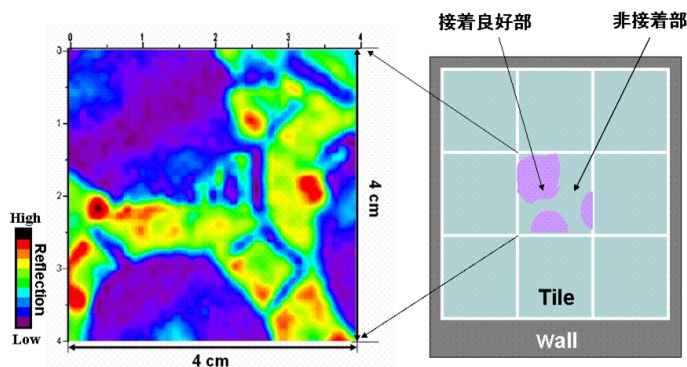


コンクリート内部にある鉄筋表面の腐食



* 黒いドットはノイズによる

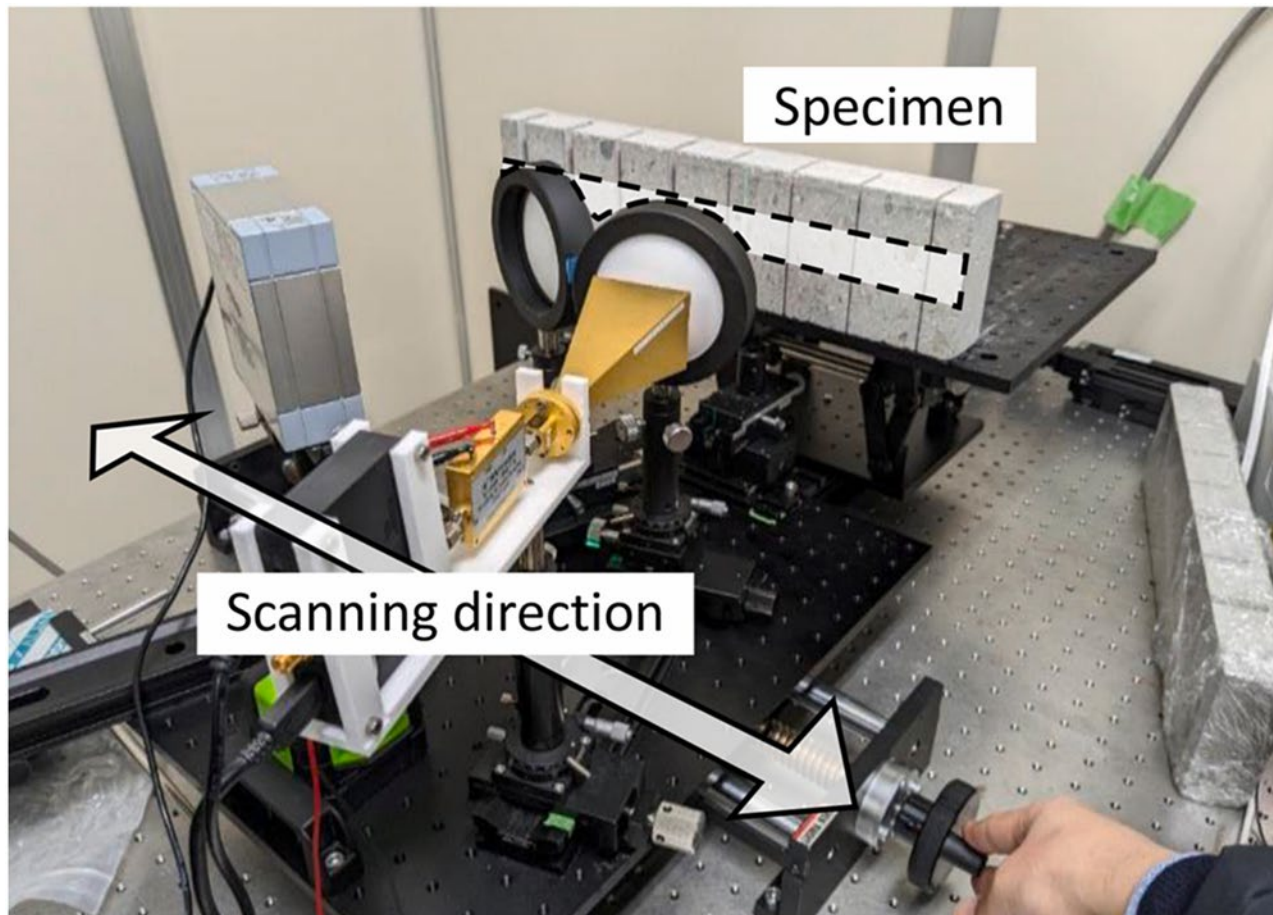
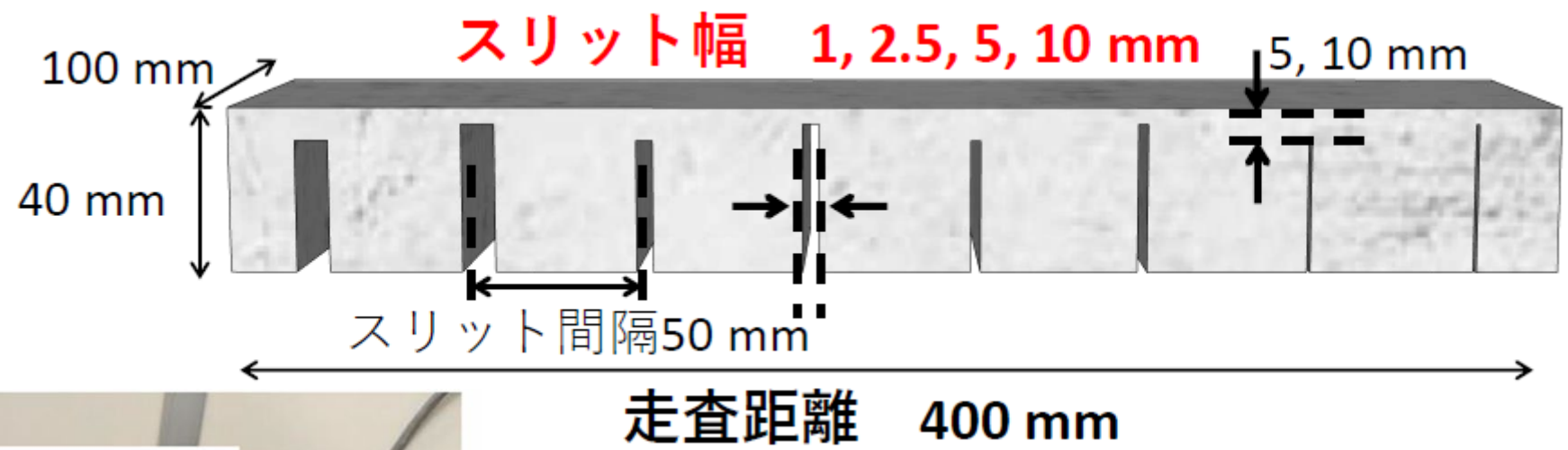
セラミックタイルの接着不良欠陥 (反射測定)

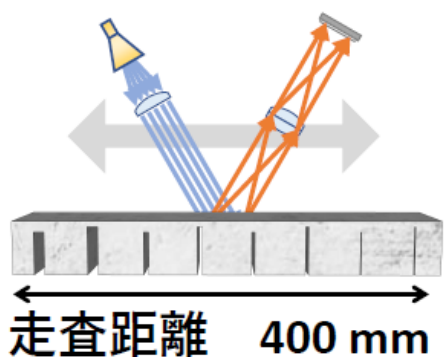


THz is 3S

Sensitive
Safe (harmless)
Small (compact)

Y. Oyama et al. *ECS Trans.* **50** (2013) 89-98.

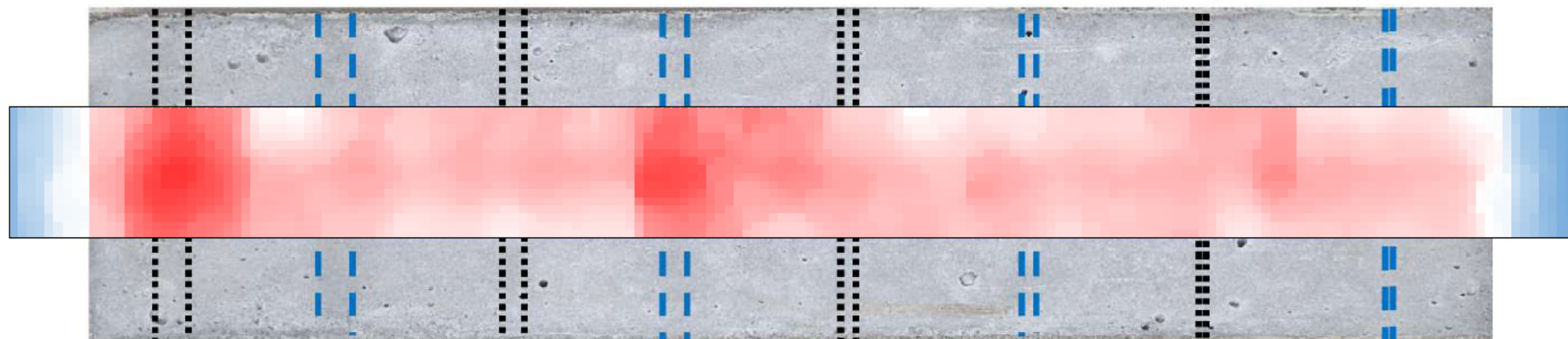




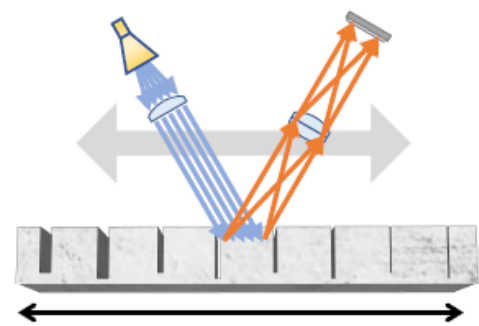
- ・スリット幅 2.5 mmまで検出可能
- ・低周波数で検出

0 50 100 mm

反射強度 [-]
0 0.5 1



10 mm 5 mm 2.5 mm 1 mm
スリット幅
20 GHz
||| : 深さ 5 mm || : 深さ 10 mm



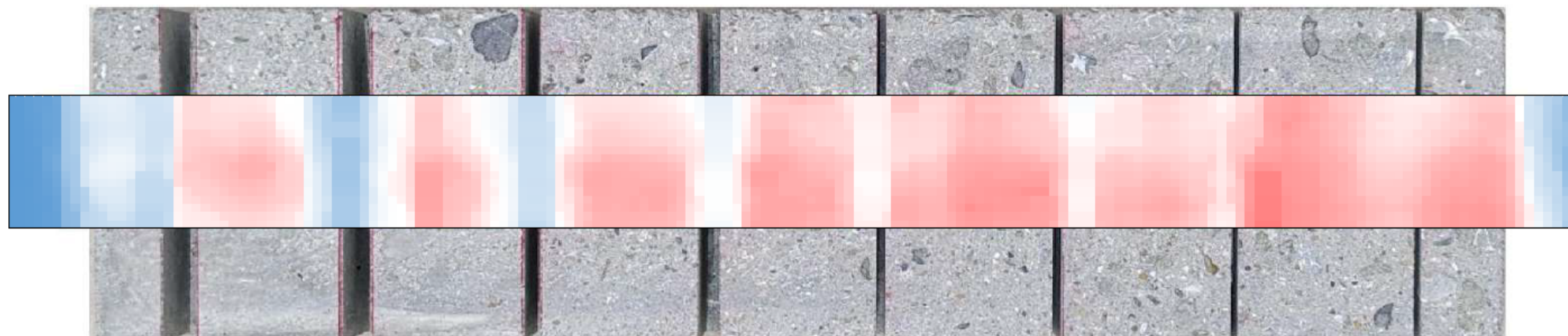
走査距離 400 mm

0 50 100 mm



- ・スリット幅 1 mmまで検出可能
- ・高周波数で解像度向上

反射強度 [-]
0 0.5 1



10 mm
スリット幅

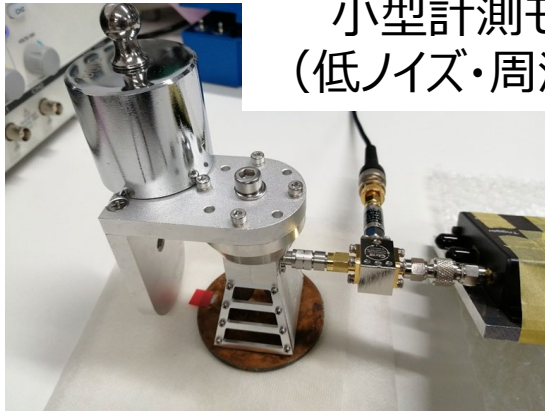
5 mm

2.5 mm

1 mm

50 GHz

テラヘルツ非破壊診断装置＋AI解析



小型計測モジュール
(低ノイズ・周波数可変)

モジュールの小型化
自走ロボットの開発



いつでも、どこでも、だれでも
適切な時期に最小限の補修



ロボットによる自動測定
(夜間測定/遠隔操作)

光源②

光源①

画像記録／操作盤

結果表示
(光源②)

結果表示
(光源①)



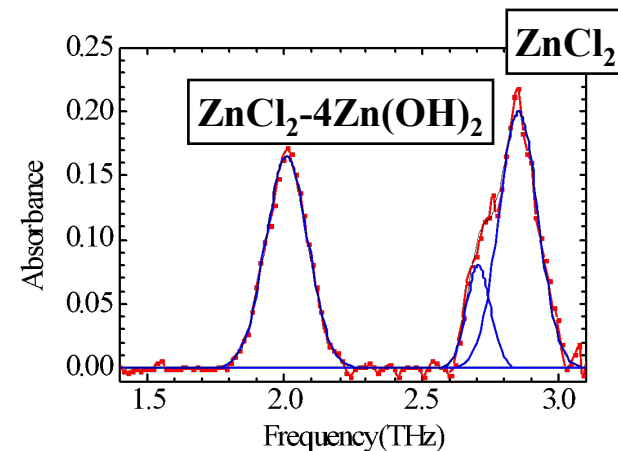
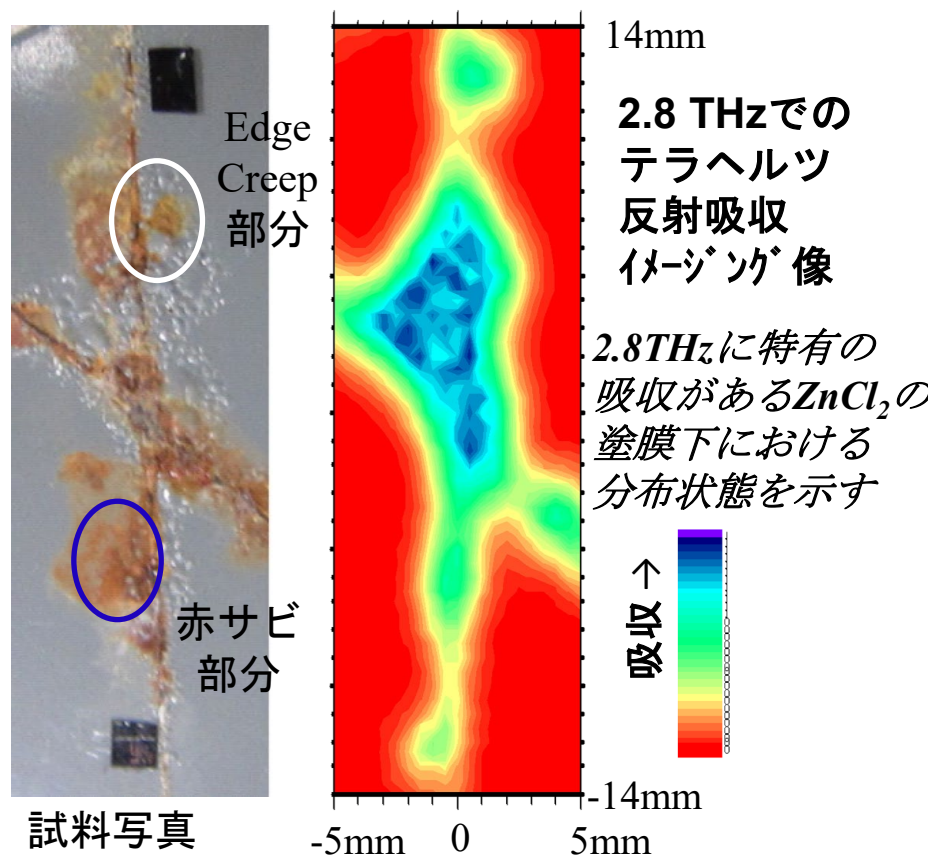
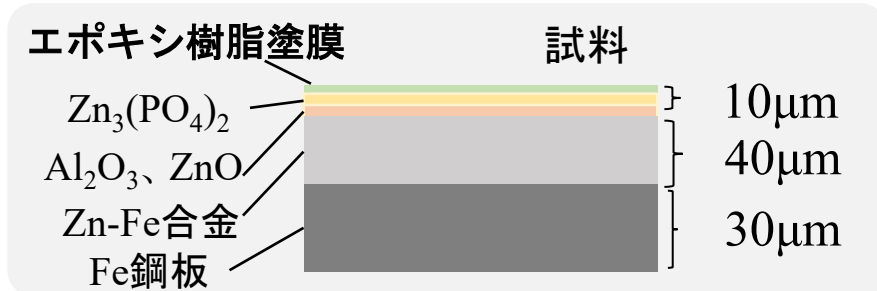
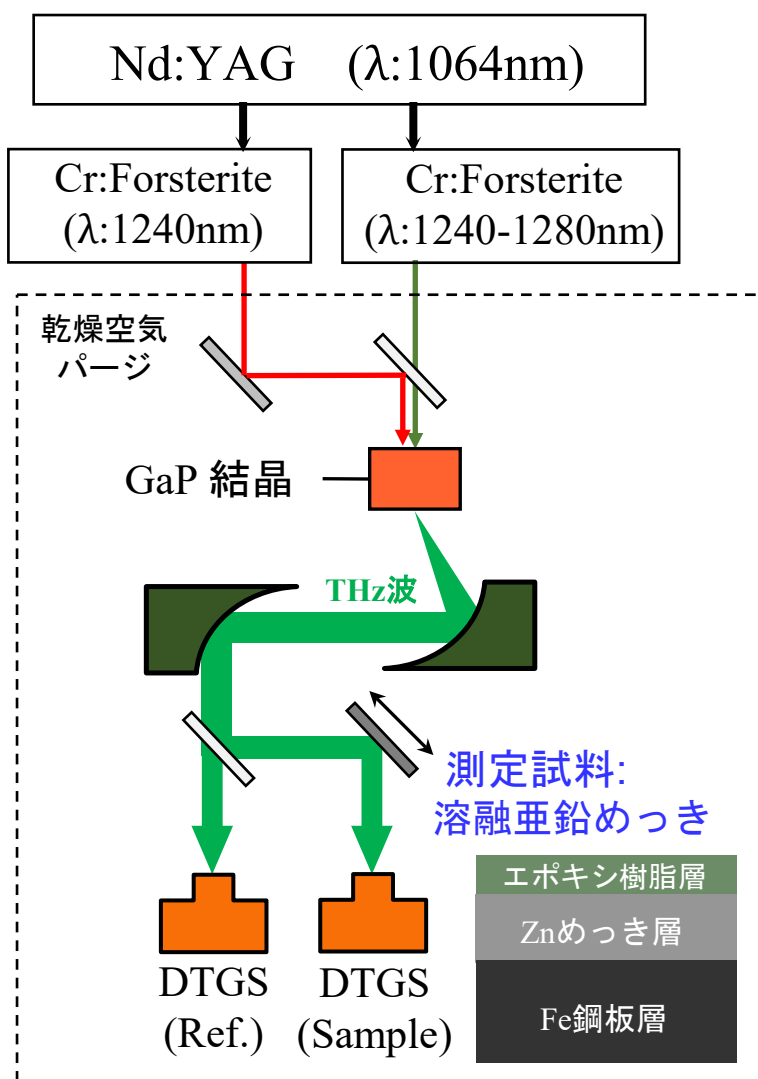
コンクリート構造物に
対する実証試験

「鉄筋検査装置および鉄筋検査方法」
特願2024-125246

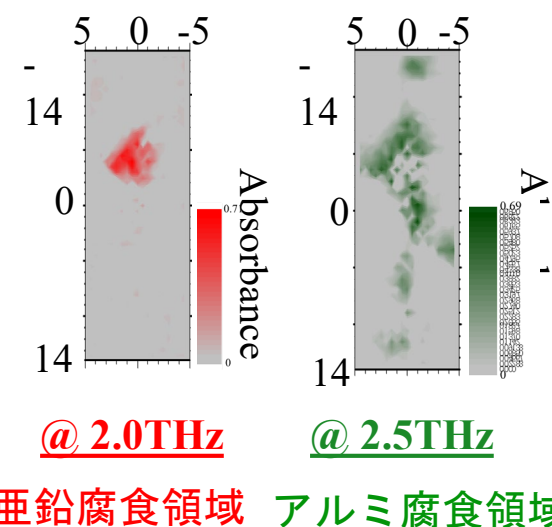
安全で安心して暮らせる社会の実現に貢献

【塗膜下鋼板表面のテラヘルツ分光イメージング】

< THzイメージング測定光学系 >



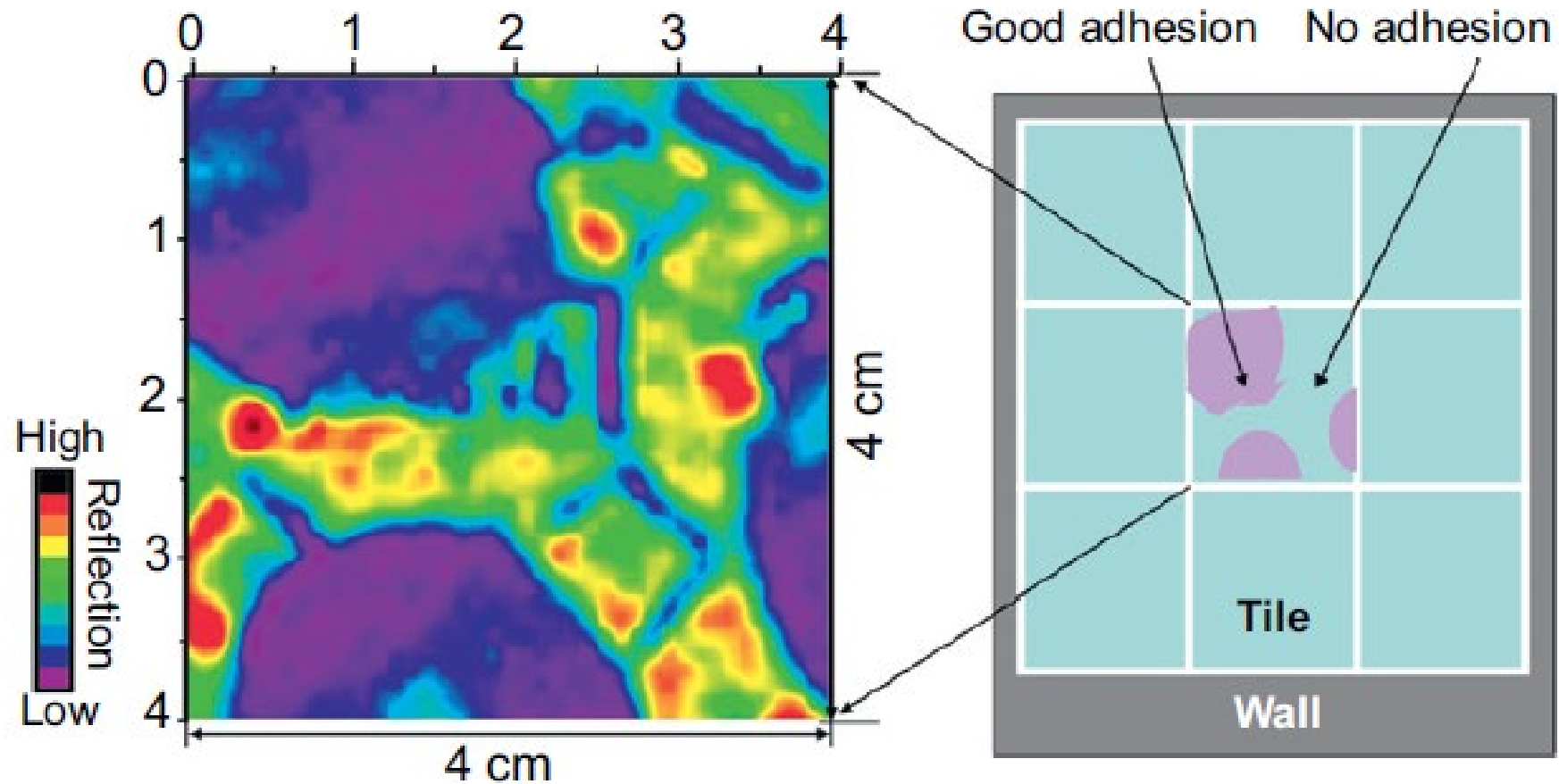
THzイメージング



中村悠太 假屋英孝 佐藤明宏 田邊匡生 西原克浩 谷山明 中嶋かおり 前田健作 小山裕

「テラヘルツ分光イメージングによる塗膜下Znめっき鋼板の腐食状態非破壊検査」 材料と環境 63 (2014) 504-509.

タイルの接着確認（裏の空洞検出）



木材適用

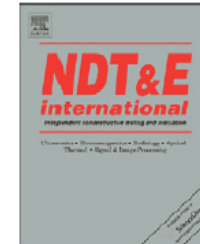
NDT&E International 42 (2009) 28–33



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

NDT&E International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ndteint

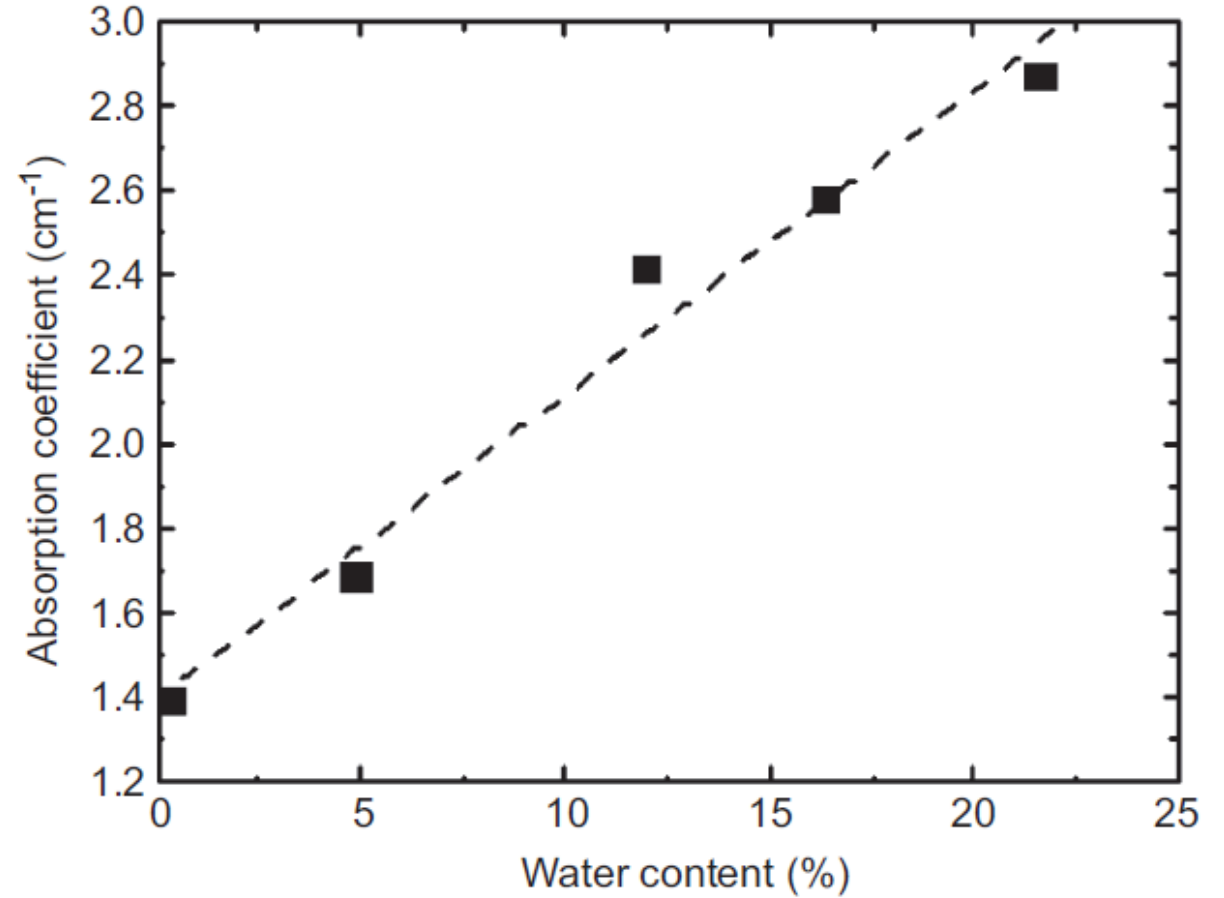
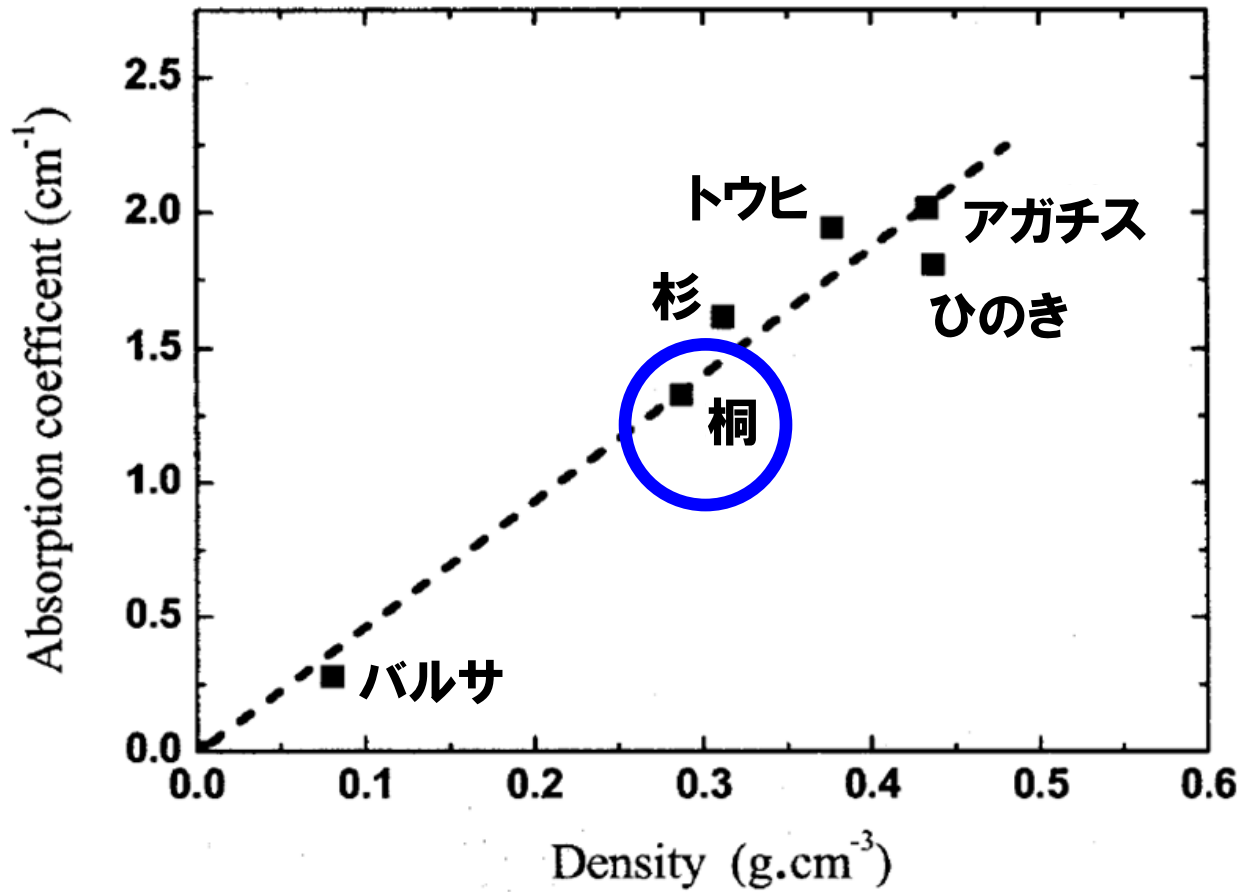


Sub-terahertz imaging of defects in building blocks

Yutaka Oyama *, Li Zhen, Tadao Tanabe, Munehito Kagaya

Department of MS & E, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aramaki Aza Aoba 6-6-11-1020, Sendai 980-8579, Japan

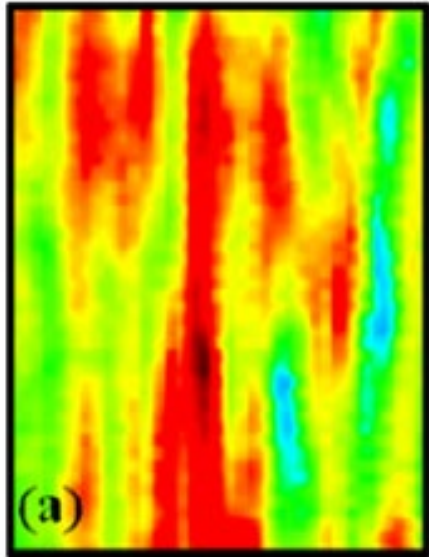
テラヘルツ吸収係数： 材質と含水



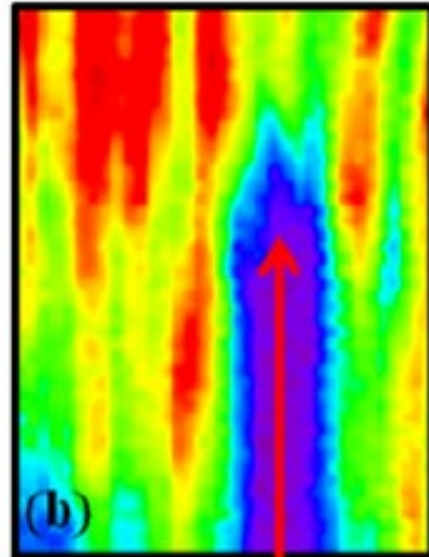
吸収係数の材木密度依存性 @0.2THz

木材内部における水分検出

Original sample

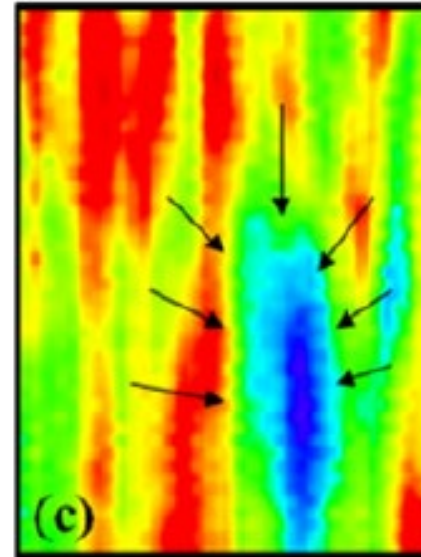


Water injection

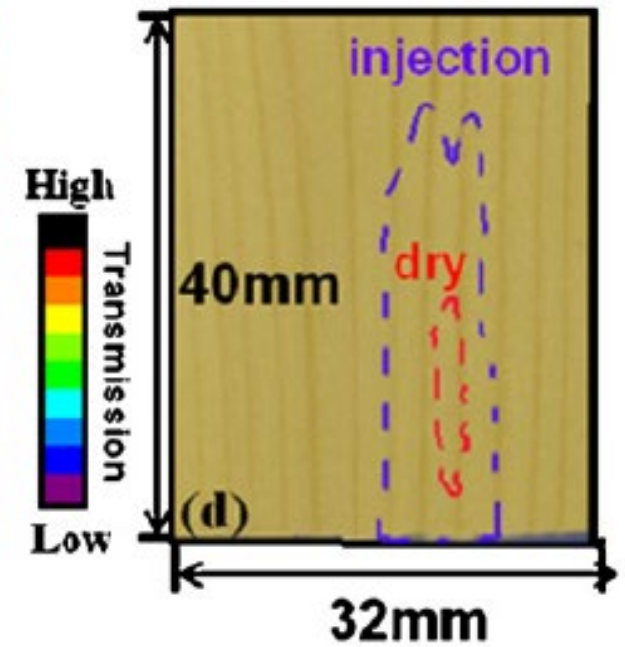


Water injection

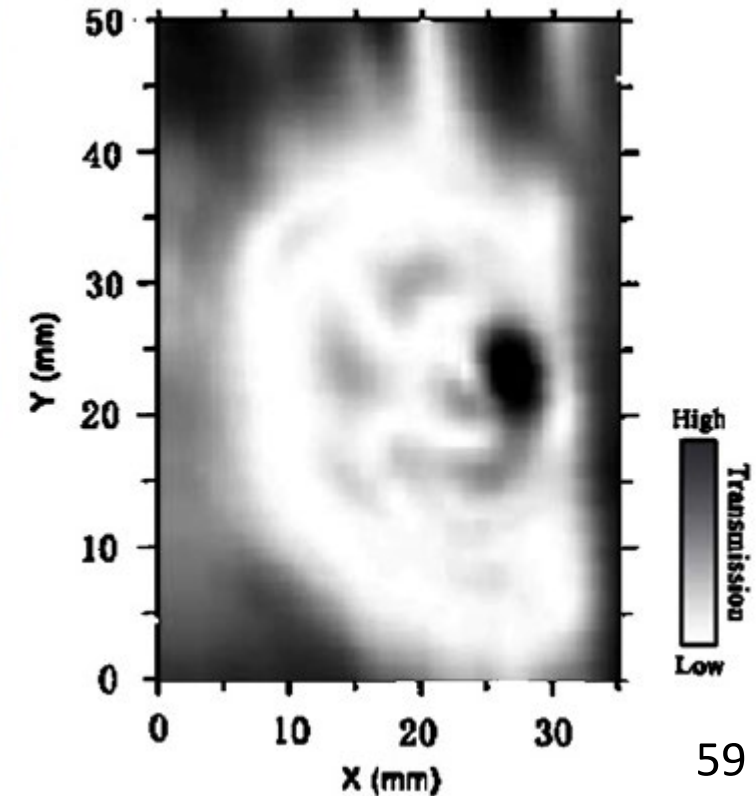
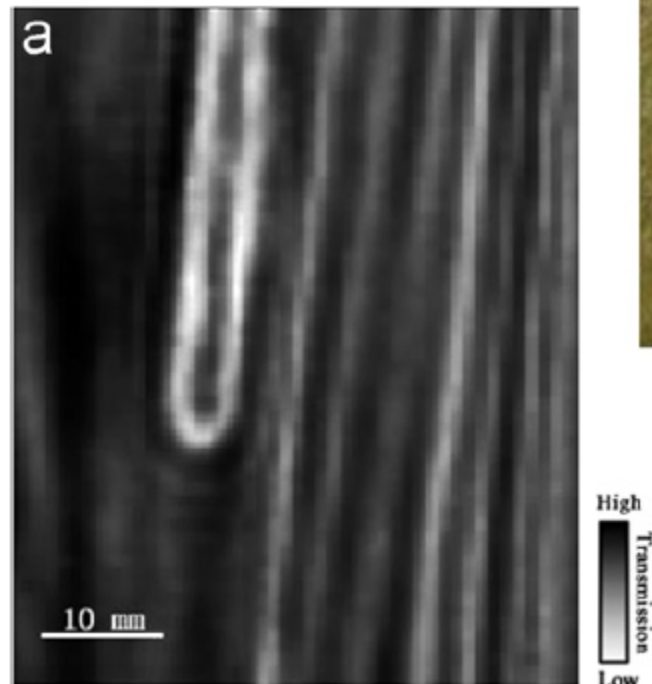
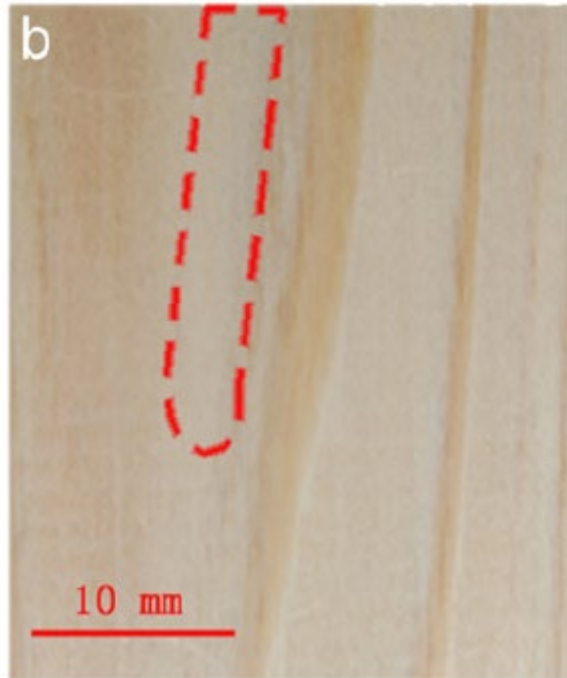
Water dry out



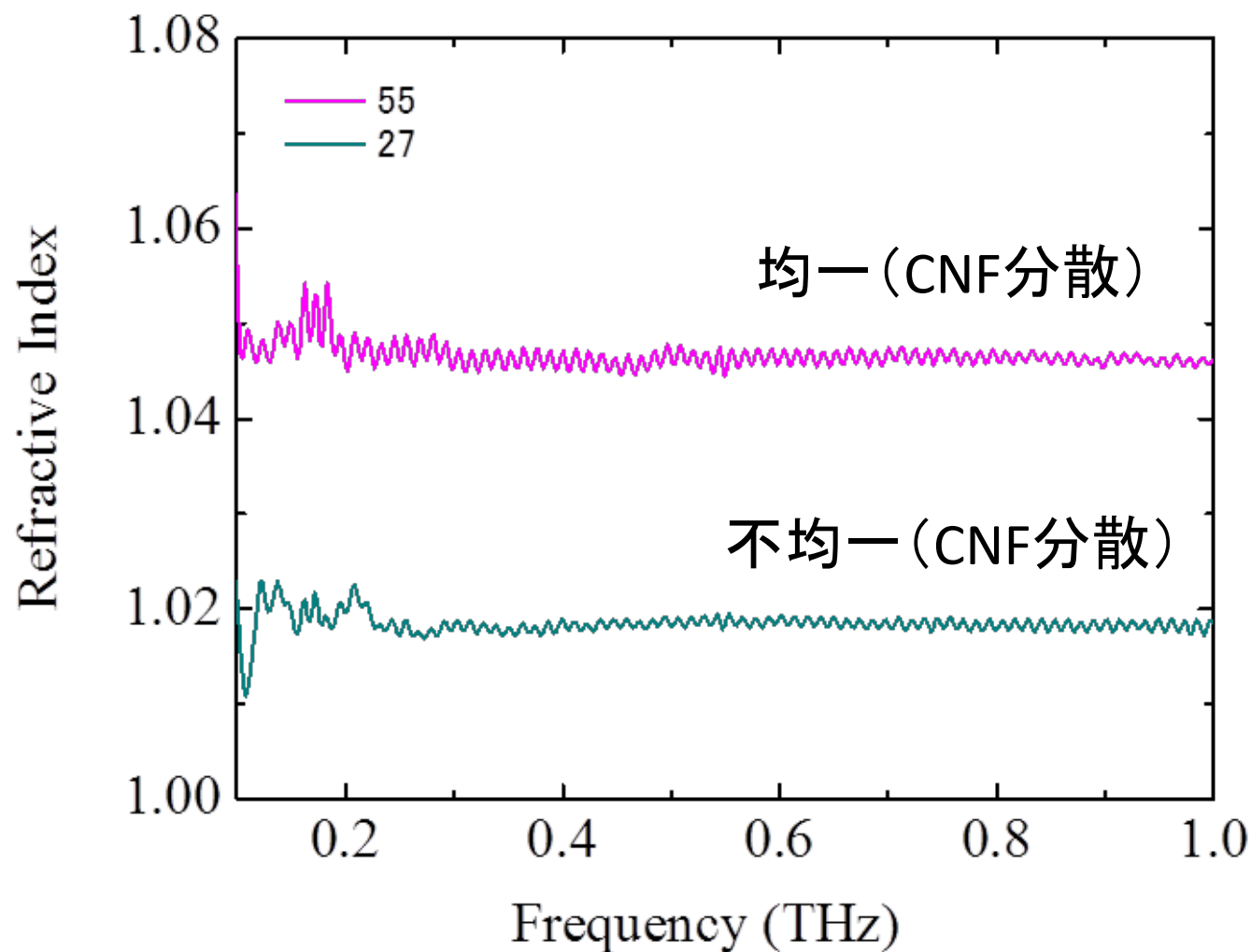
Visible



木材内部にある見えない欠陥の検出



水和状態が異なるセルローズナノファイバーが分散している シリカエアロゲルのテラヘルツスペクトル



極性が大きい水分子の高感度検出

世界にないモノづくりをめざして



幅広い工学分野を基盤とする
設計・製造・保守管理・リサイクル技術の融合