

## 広帯域電気光学効果電界プローブによる電界計測

今莊 義弘<sup>†</sup> 植松 浩司<sup>†</sup> 野口 博志<sup>†</sup> 諸橋 功<sup>‡</sup> 関根 徳彦<sup>‡</sup> 寶迫 巖<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> スタック電子株式会社 〒196-8501 東京都昭島市武蔵野 3-9-18

<sup>‡</sup> (独) 情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

E-mail: <sup>†</sup> {imajo, uematsu, noguchi}@stack-elec.co.jp, <sup>‡</sup> {morohashi, sekine, hosako}@nict.go.jp

あらまし 電気光学効果を有する光学結晶をセンサとした電気光学効果電界プローブは、原理的に非常に広帯域な周波数応答特性が期待できる。

今回、試作した同一構造の電気光学効果電界センサを、直接検出法、光ヘテロダイン法、EOS法により各種周波数帯の交流電界の検出に用いた結果、DC近傍からTHz領域までのレスポンスが得られた。周波数帯で想定した応用とあわせて、内容と課題について報告する。

キーワード 電気光学効果, 光電界センサ, 電気光学効果電界プローブ, メタルフリー, 広帯域, THz

## Electric field sensing with a wide band Electric-Optical effect probe

Yoshihiro IMAJO<sup>†</sup> Koji UEMATSU<sup>†</sup> Hiroshi NOGUCHI<sup>†</sup> Isao MOROHASHI<sup>‡</sup>  
Norihiko SEKINE<sup>‡</sup> and Iwao HOSAKO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Stack Electric Co., LTD. 3-9-18 Musashino, Akishima-shi, Tokyo 196-8501 Japan

<sup>‡</sup> National Institute of Information and Communication Technorogy 4-2-1 Nukuikitamachi, Koganei-shi, Tokyo  
184-8795 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {imajo, uematsu, noguchi}@stack-elec.co.jp, <sup>‡</sup> {morohashi, sekine, hosako}@nict.go.jp

**Abstract** It is expected that electric field probe using EO crystal as a sensor has a extremely wideband frequency response. We report electric field detection results of various frequency range, which is around DC to terahertz region. The results was obtained by some detection method such as direct detection, optical heterodyne, and electro optical sampling but by the same structure EO probe.

**Keyword** Electro-Optical effect, Optical electric field sensor, EO probe, Metal free, Broadband, Terahertz

# 広帯域電気光学効果電界プローブによる電界計測

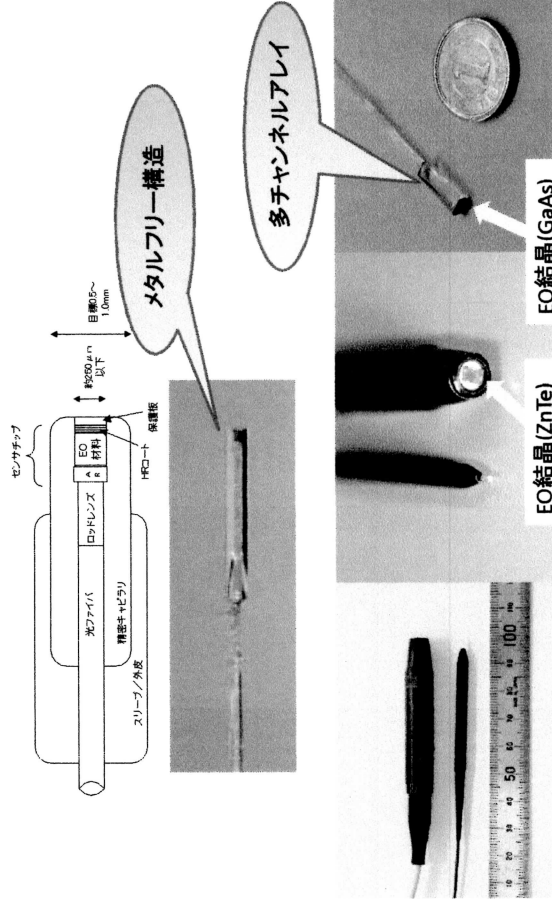
今荘義弘 植松浩司 野口博志 諸橋 功 関根徳彦\* 竇迫 巖\*  
スタック電子株式会社 \* (独)情報通信研究機構



2015.2.13

STACK 1

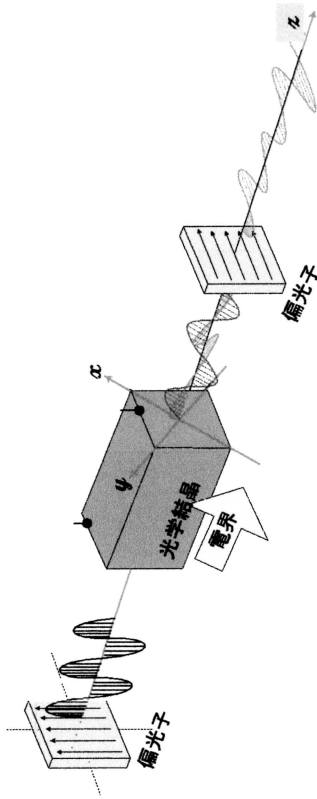
## 電気光学効果電界プローブの構造例



2015.2.13

STACK 3

## 電気光学効果電界プローブとは



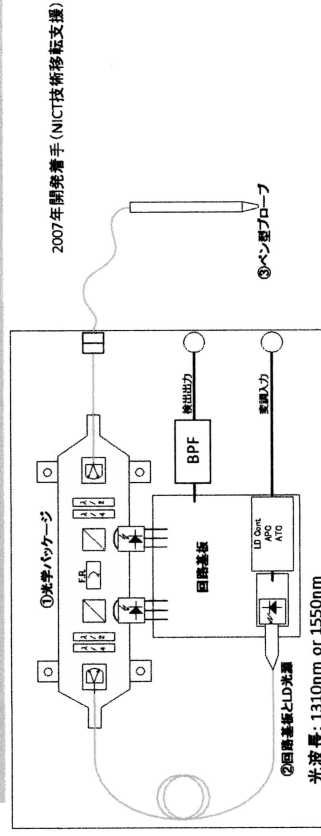
EO結晶に外部から電界が加わると、ポッケルス効果により屈折率異方性を生じる。これにより、結晶中を伝搬する直線偏光に位相差が発生し、これを検出することで間接的に外部電界の強度を知ることができる。

プローブとしての実用性の観点から、結晶の片方の端面で光を全反射させ、光サーキュレータ等によって光源・検出系と接続する構造のものが多い。

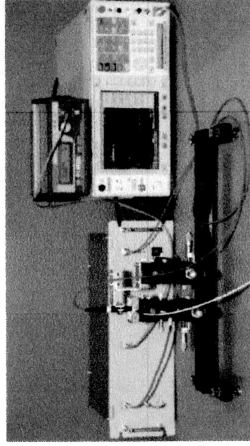
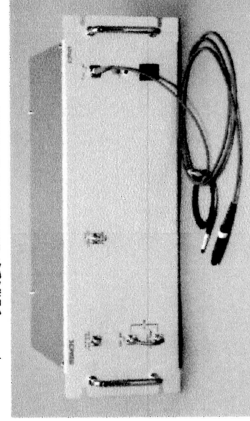
2015.2.13

STACK 2

## 光源と検出部の構成例 (直接検出・光ヘテロダイン兼用)



2007年開発着手 (NICT技術移転支援)

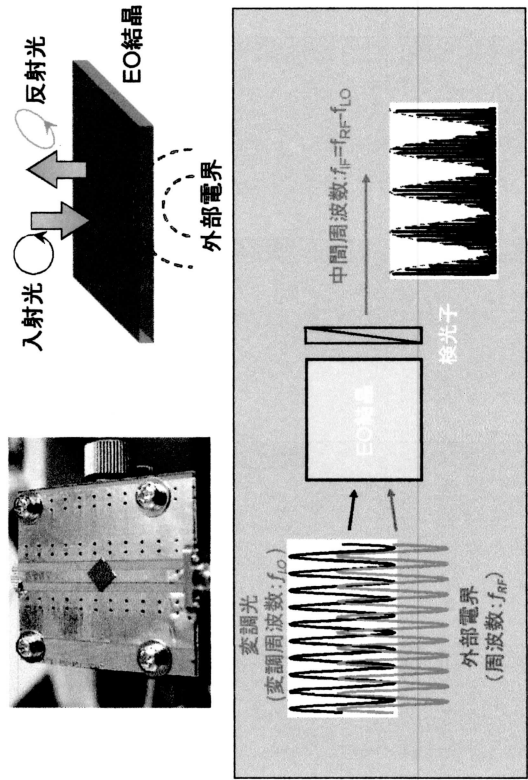


計測セットアップの一例

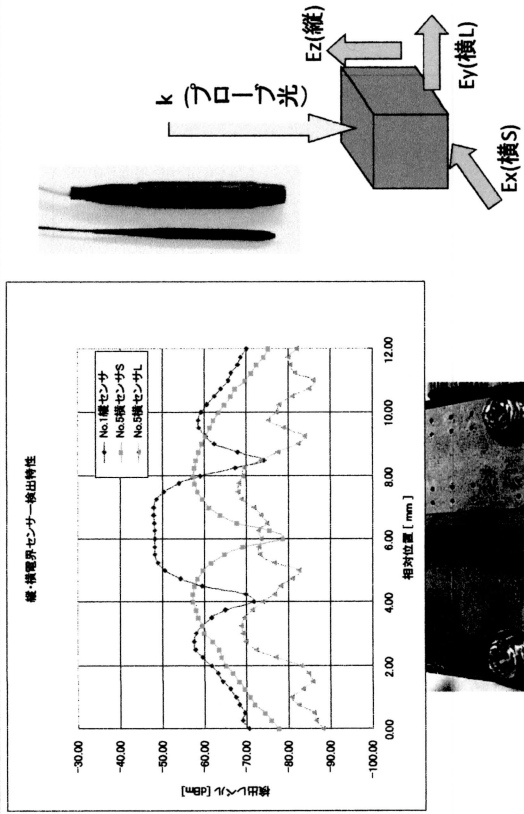
2015.2.13

STACK 4

3種類の検出方法: 直接検出法・光ヘテロダイナ法・EOS法



EOプローブの電界検出方向性 (縦センサーと横センサー)



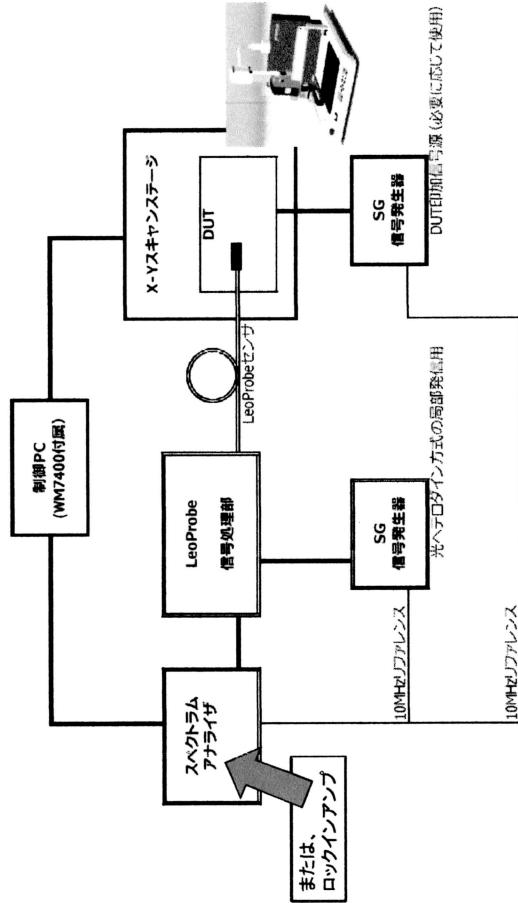
裏面GND付きコプレーナ型伝送線路上の分布

被測定周波数と期待される応用

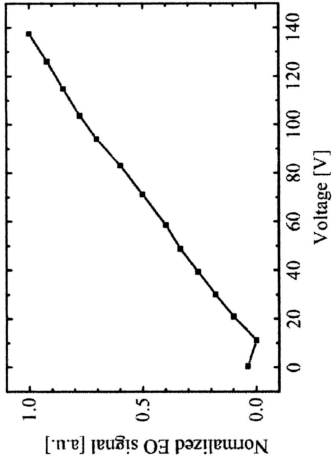
★EOプローブでなければ計測できない対象が必要

周波数	応用分野	検出方法	備考
50/60Hz (商用交流)	高圧、超高压機器評価	直接検出	絶縁性
数kHz~数10MHz	EMC、その他	直接検出	非侵襲性 高分解能
数10MHz~10GHz	EMC, ANT近傍電界、空間分布計測	光ヘテロ/直接検出	非侵襲性 高分解能
数GHz~100GHz	ANT計測?	光ヘテロ/EOS	
~THz	分光分析 イメージング	EOS	超高速応答

平面精密スキキャン時の代表的システム構成

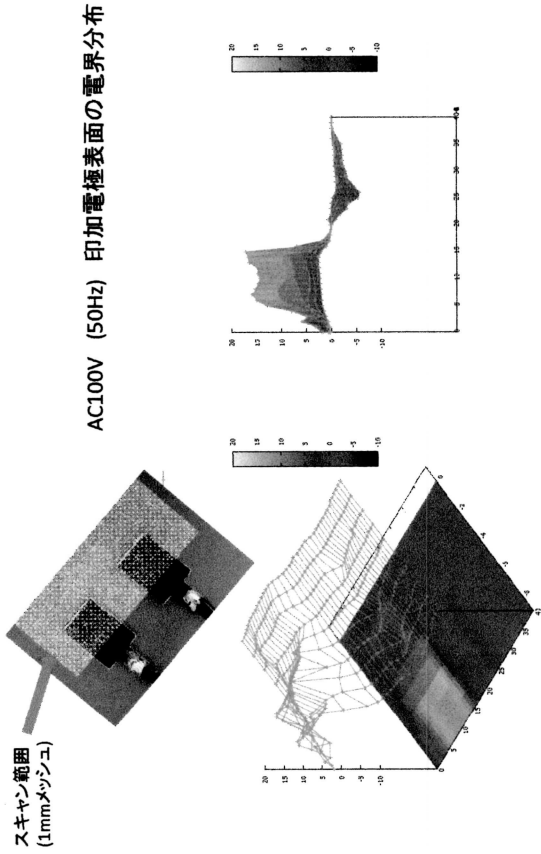


### 計測事例1：商用交流 50Hzの計測

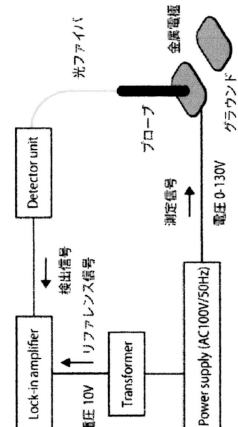


電極印加電圧 対 EOプローブ出力  
課題：積分時間  
周波数変動によるロック外れ

### 計測事例1：商用交流 50Hzの計測



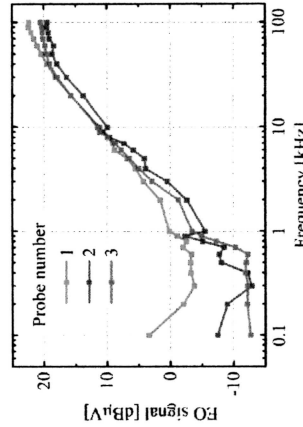
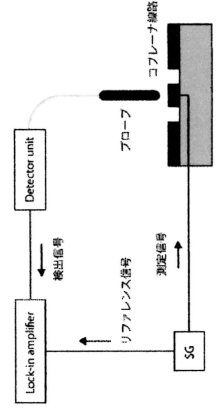
### 計測事例1：商用交流 50Hzの計測



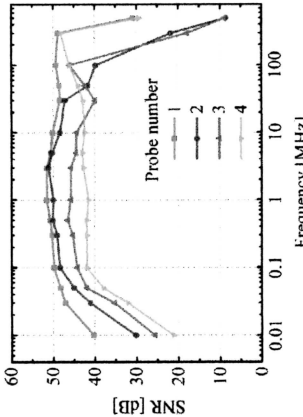
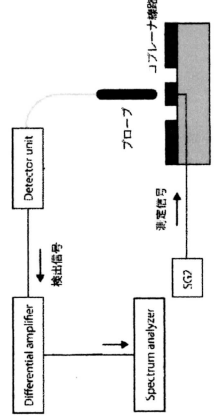
ロックインアンプによる50Hz計測系

### 比較的低周波領域での感度低下 (ZnTeプローブ)

1. ロックインアンプによる測定系 (~100kHz)



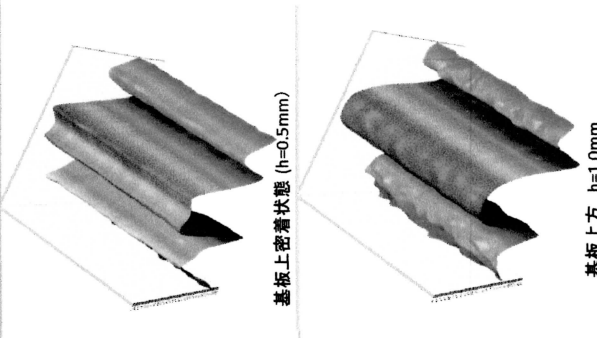
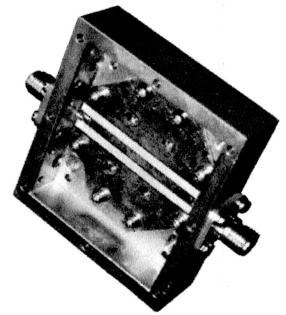
2. スペアナによる測定系 (9kHz~100MHz)



### 計測事例2：HF~UHF領域での電界分布の計測 (観察)

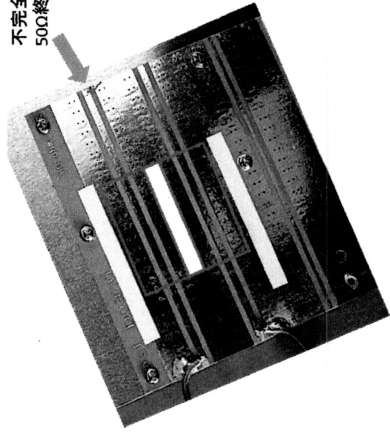
コプレーナ線路上の電界分布

- 縦方向センサ使用
- 光ヘテロダイン法 (1MHz)
- 周波数 500MHz

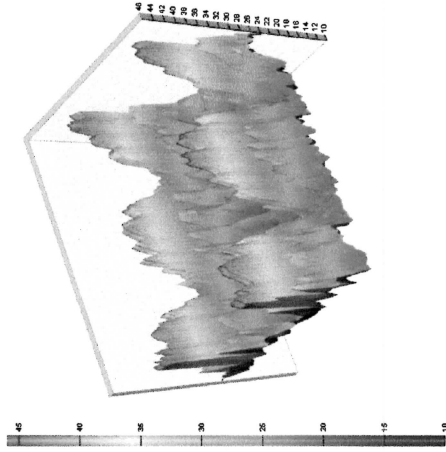


### 計測事例2: HF~UHF領域での電界分布の計測(観察)

- コプレーナ線路上の電界分布
- 縦方向センサ使用
- 光ヘテロダイン法(1MHz)
- 周波数 5.8GHz



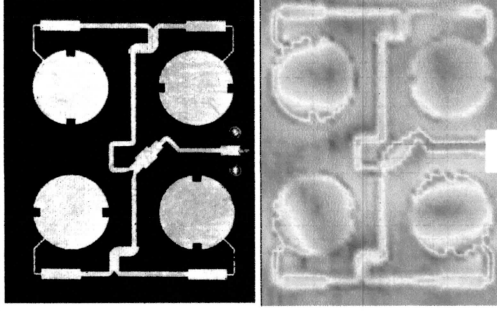
試料外観写真



電界分布計測結果

### 計測事例3: 平面パッチアンテナ エLEMENT表面の電界観察

- 5.85GHz 4素子パッチアンテナ表面
- 光ヘテロダイン
- 1mmメッシュでの分布観察



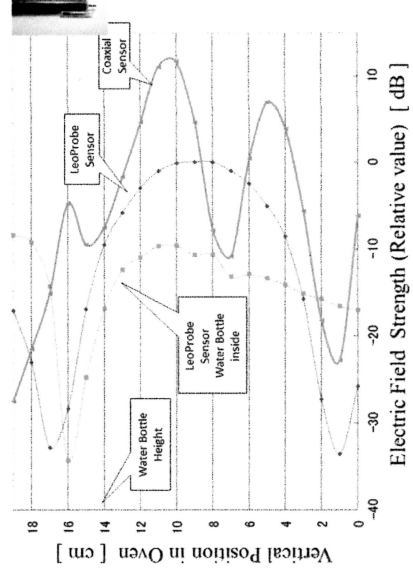
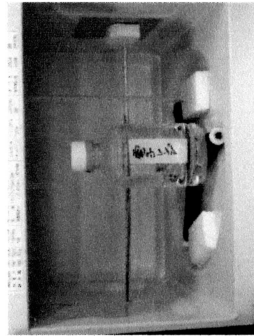
EOプローブ

参考:コイル型電界プローブ

### 計測事例4: 空間に存在する電界分布計測(観察)

電子レンジのマグネトロンを取り外し、SGから2.45GHzを供給  
水入りボトルの有無を比較。

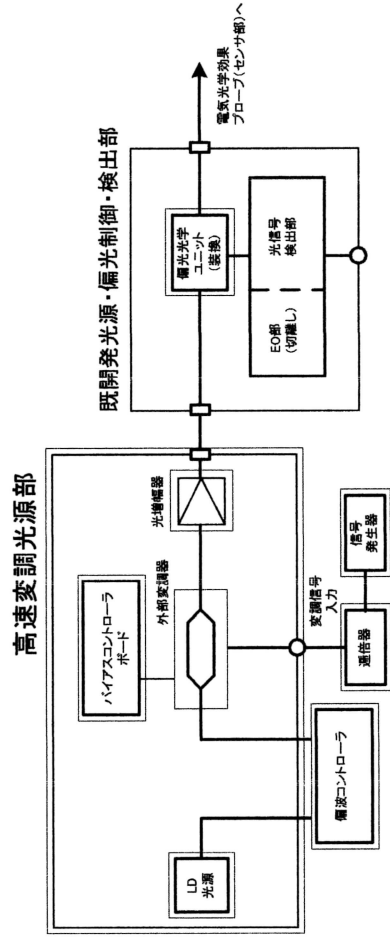
- 光ヘテロダイン
- RF入力 +27dBm (500mW)



非侵襲性を活かした高周波チャンバー内電界分布計測への応用可能性を示す  
ただし、プローブの耐熱性が問題

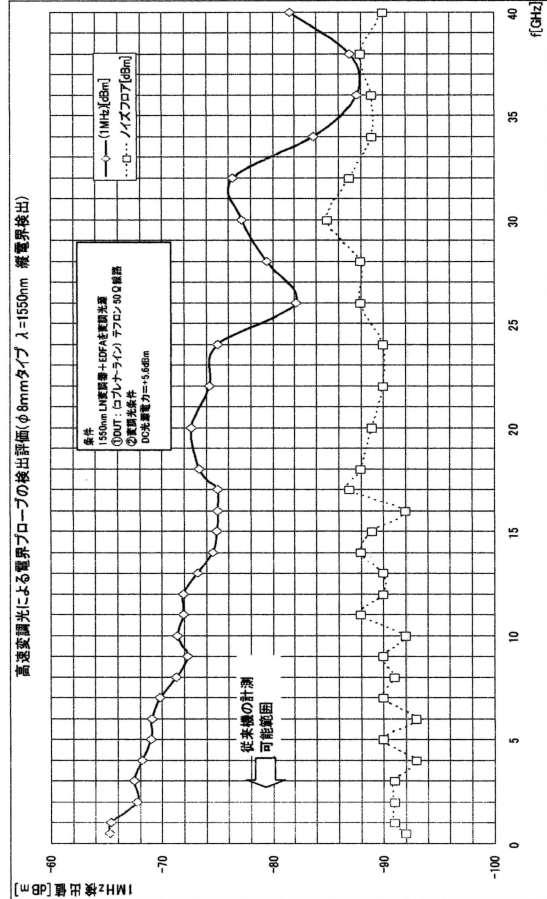
### 計測事例5: マイクロ波・ミリ波領域の計測

光ヘテロダイン法によるミリ波帯計測実験

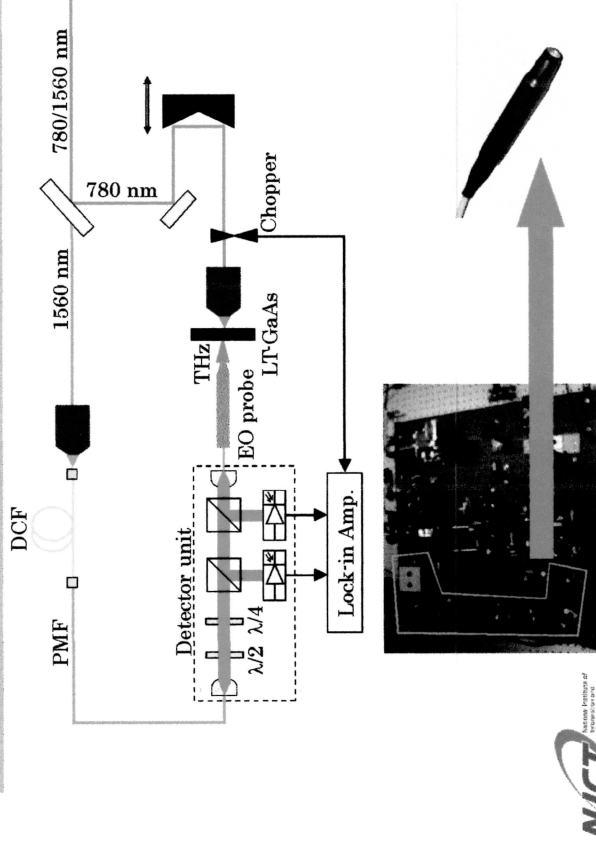


### 計測事例5: マイクロ波・ミリ波領域の計測

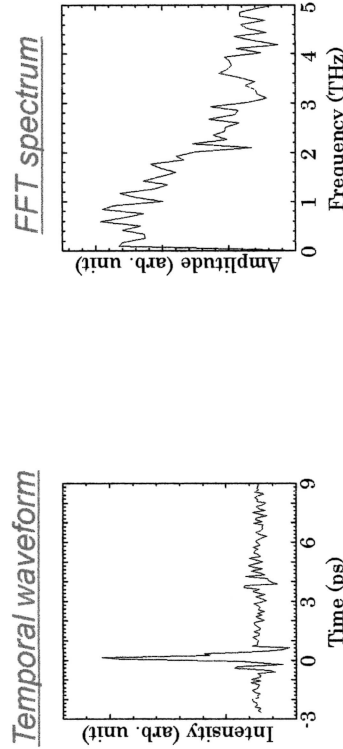
#### 光ヘテロダイン法によるミリ波帯計測実験



### 計測事例6: EOS法によるTHz検出



### 計測事例6: EOS法によるTHz検出

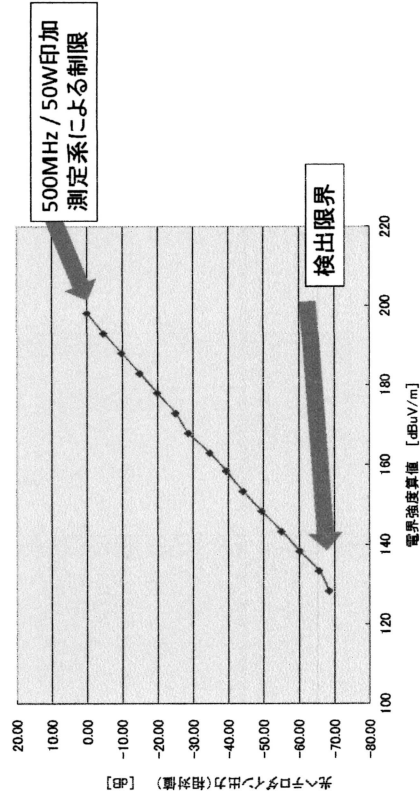


*A 2 THz-wide pulse was successfully observed by using the THz probe.*

### バルクEO結晶を用いるEOプローブの課題1

ギャップ1cmの空気層を誘電体としたマイクロストリップラインでの感度校正の試み

- ・ZnTe結晶プローブ
- ・光ヘテロダイン法
- ・ヘテロダイン周波数 1MHz



## 感度

- ・検出感度
- ・感度校正(絶対値計測)
- ・微小信号の処理

## 光ファイバ光学系

- ・温度変動の影響
- ・波長分散
- ・PMFのクロストーク

## 光源の特性

## EO材料

- ・入手性
- ・安定性

## プロセスのコスト

キラーアプリケーションの必要性  
商用装置として成り立つかの岐路

## 広帯域電気光学効果電界プローブによる電界計測

## まとめ

1. 電気光学効果電界プローブを用いた様々な周波数帯での計測事例を示した。
2. DC近傍から、THz領域にいたる広帯域性に様々な応用が期待できる。
3. 被測定電界への非侵襲性がメリットである一方、低感度が問題となる。

★電気光学効果電界プローブでなければ計測評価ができない

「キラーアプリケーション」の発見が必須となる。