

コヒーレント遷移放射によるテラヘルツ電場の 時間・空間分布の測定

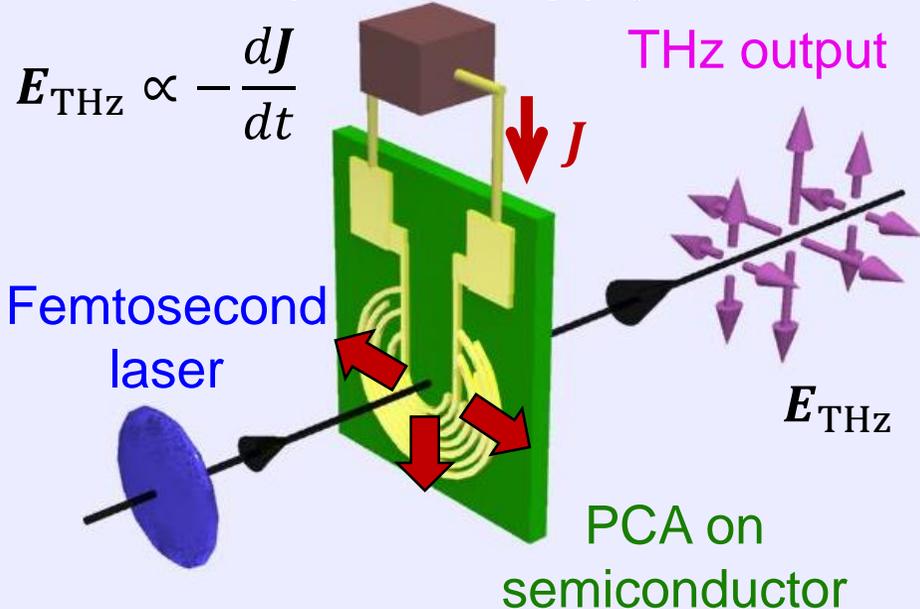


大阪大学産業科学研究所^{*1}, 大阪市立大学大学院工学研究科^{*2}

菅 晃一^{*1}、楊 金峰^{*1}、神戸 正雄^{*1,2}、吉田 陽一^{*1}

ラジアル偏光特性を有する光伝導アンテナ (PCA)

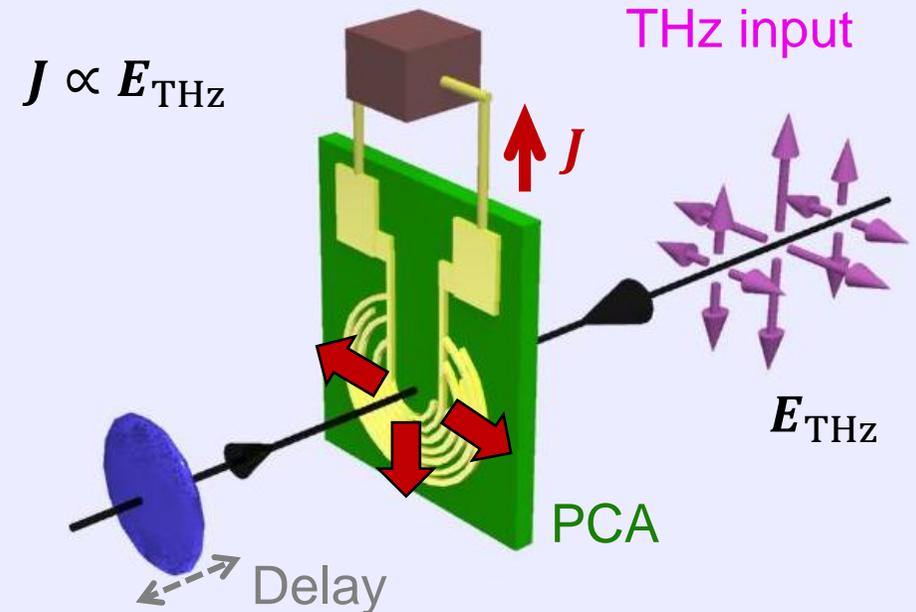
DC power supply



テラヘルツ波を発生する場合

大口径PCA製作とテラヘルツ波発生
K. Kan et al., Appl. Phys. Lett. 102, 221118 (2013).

Ammeter



テラヘルツ波を検出する場合

大口径PCAによるCTR計測
K. Kan et al., Proc. NAPAC2016, Chicago, 1279–1281 (2016).

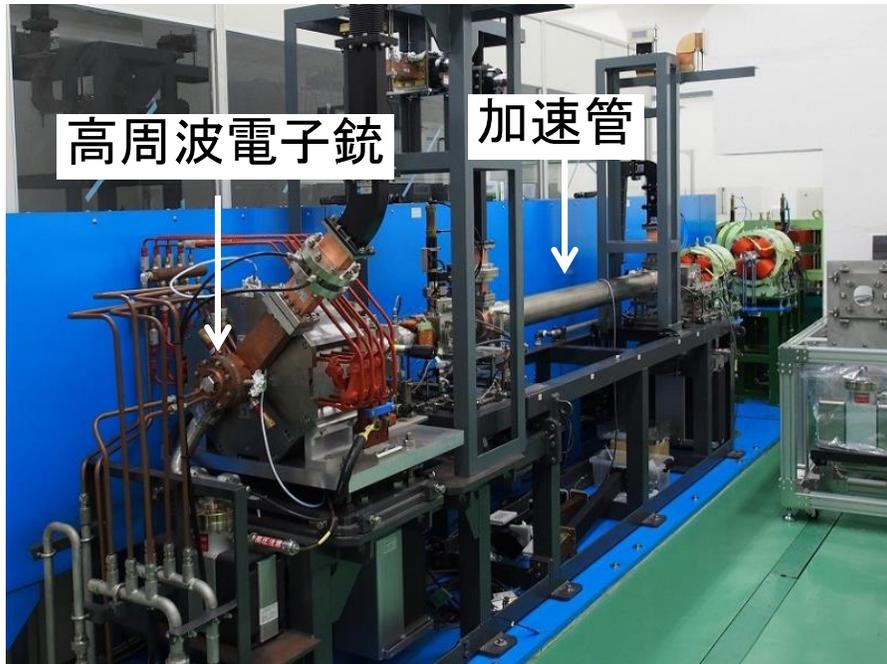
ラジアル偏光テラヘルツ波を検出できれば、

- 簡便な時間領域のビーム診断
- テラヘルツ強度分布の偏心の診断

発表内容

コヒーレント遷移放射（CTR）の電場分布を観測するために、これまでの測定系を拡張し、コヒーレント遷移放射によるテラヘルツ電場の時間・空間分布の測定・解析について報告する。

フォトカソード高周波電子銃加速器



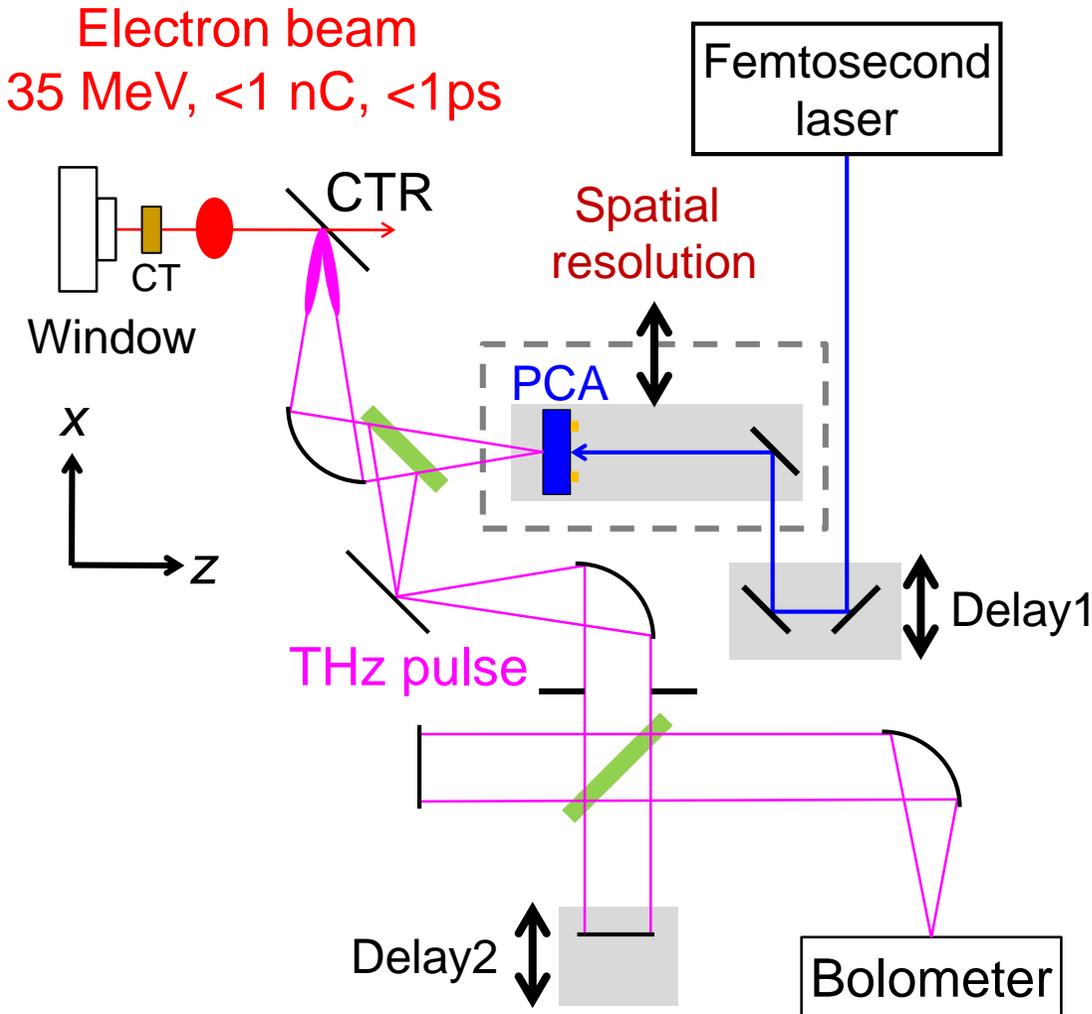
電子銃と加速管



磁気パルス圧縮器

Beam energy : <35 MeV
Charge : <1 nC/pulse
Operation: 10 Hz
RF: S-band (2.856 GHz)
Compression: $R_{56} = -63$ mm
at achromatic condition

コヒーレント遷移放射の測定光学系

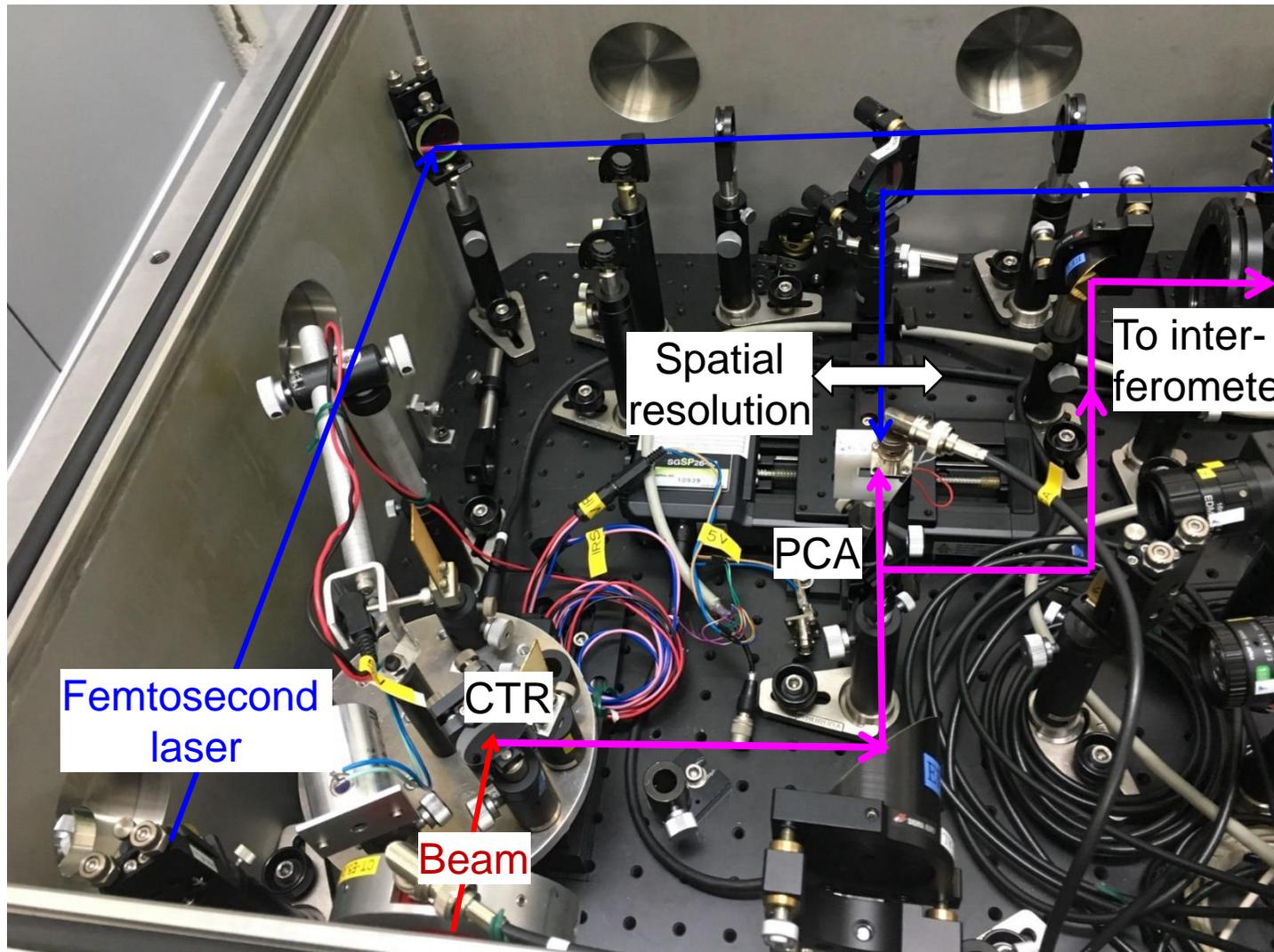


- 時間z分解、PCAの移動による空間x分解
- 結像光学系（2倍の焦点距離の位置にCTRとPCA）
- 大口径光伝導アンテナ（PCA）9 mm直径
- 干渉計と同時測定も可能

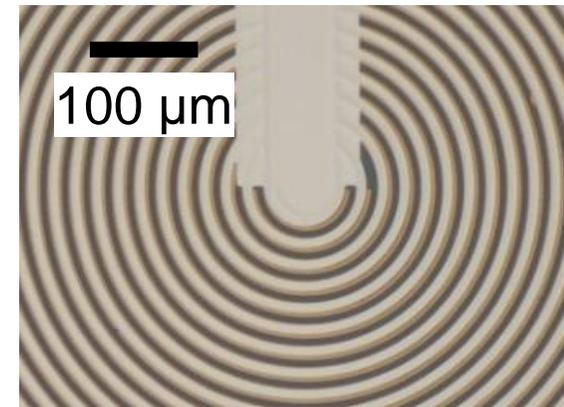
→位置x依存性、電荷量依存性を測定

テラヘルツ波の時間・空間分解計測

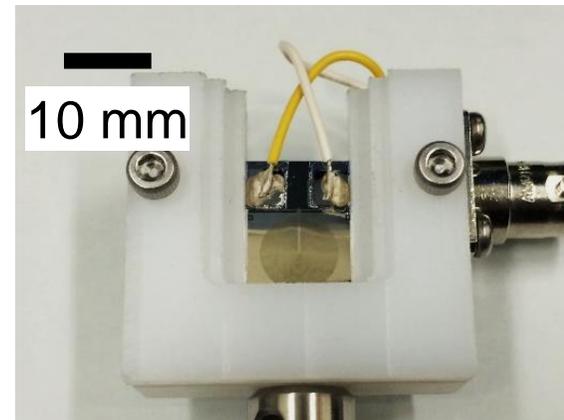
測定光学系等の写真



光学系



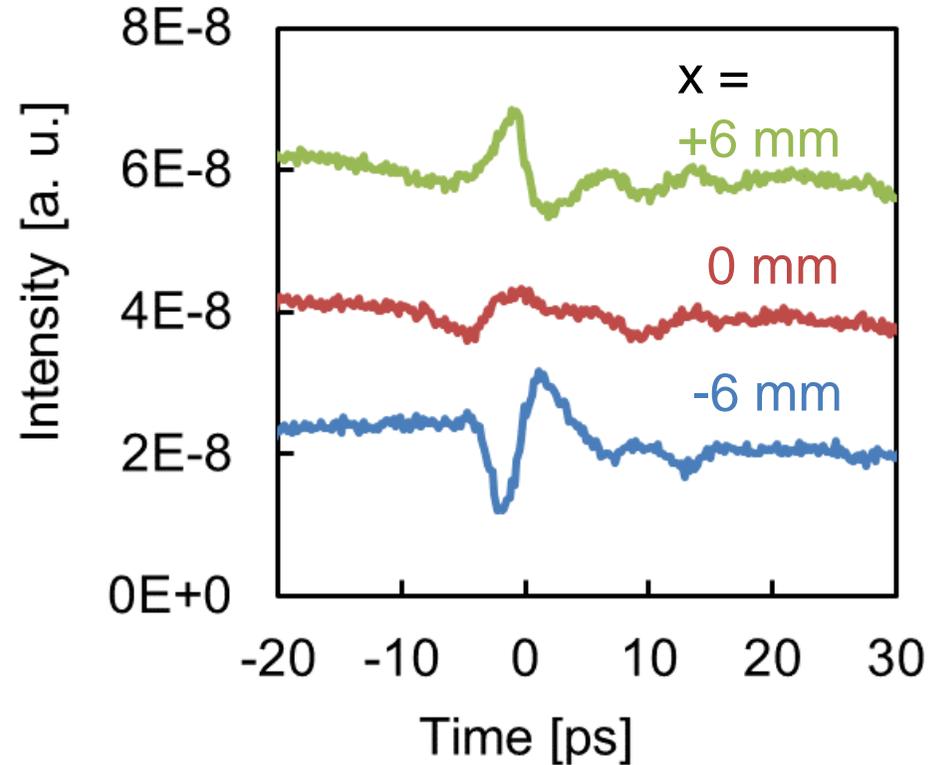
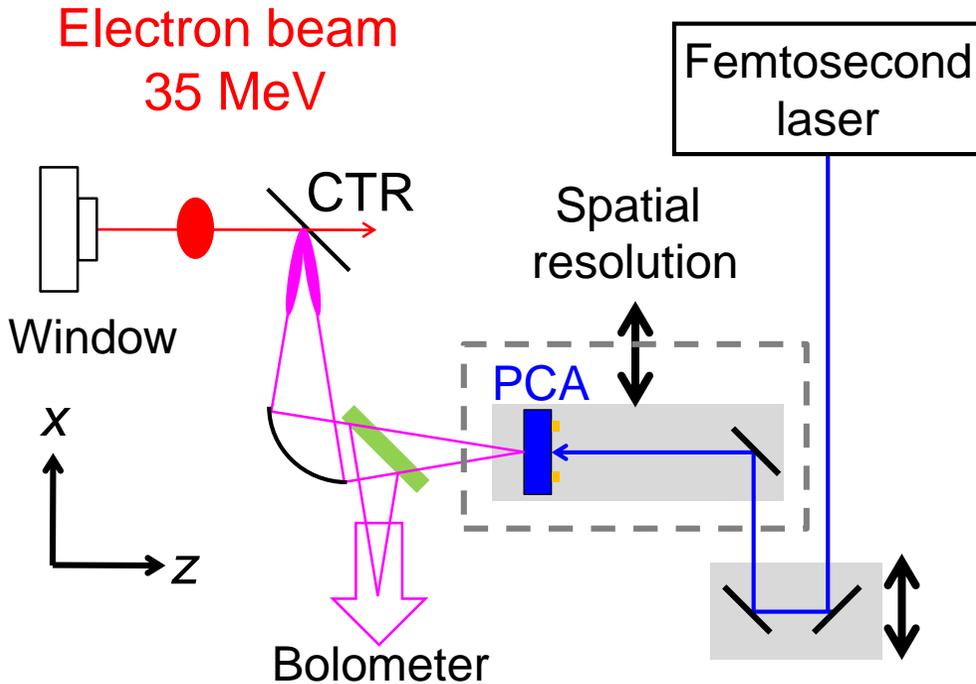
PCAの電極



PCAの治具

PCA 9 mm直径でテラヘルツ電場を観測

位置依存性～波形～



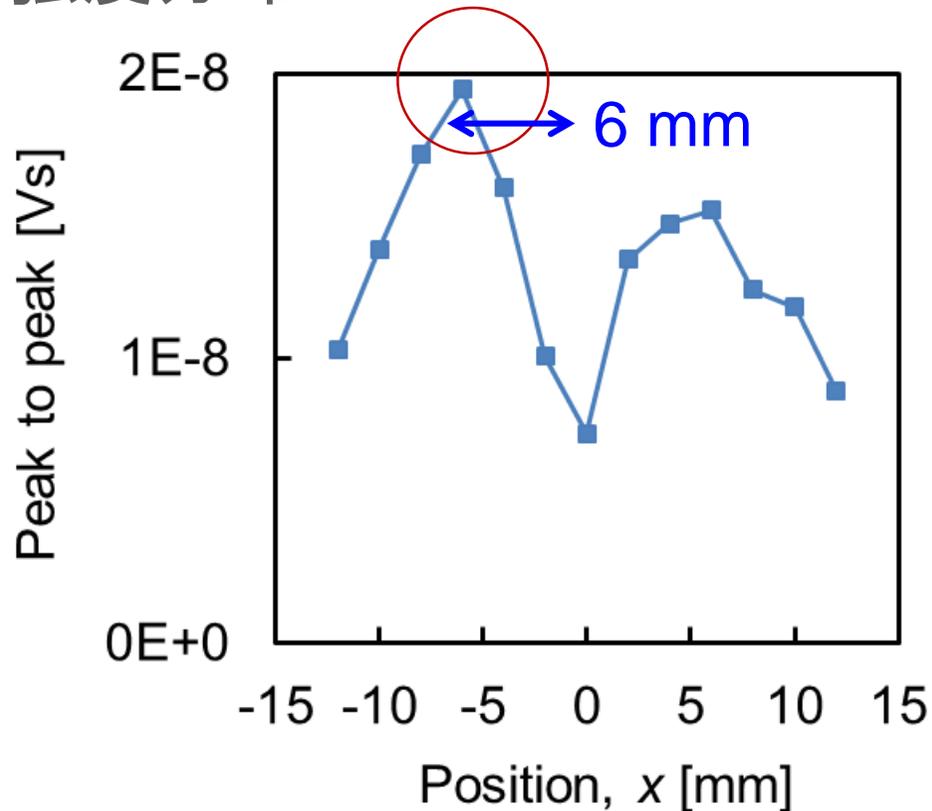
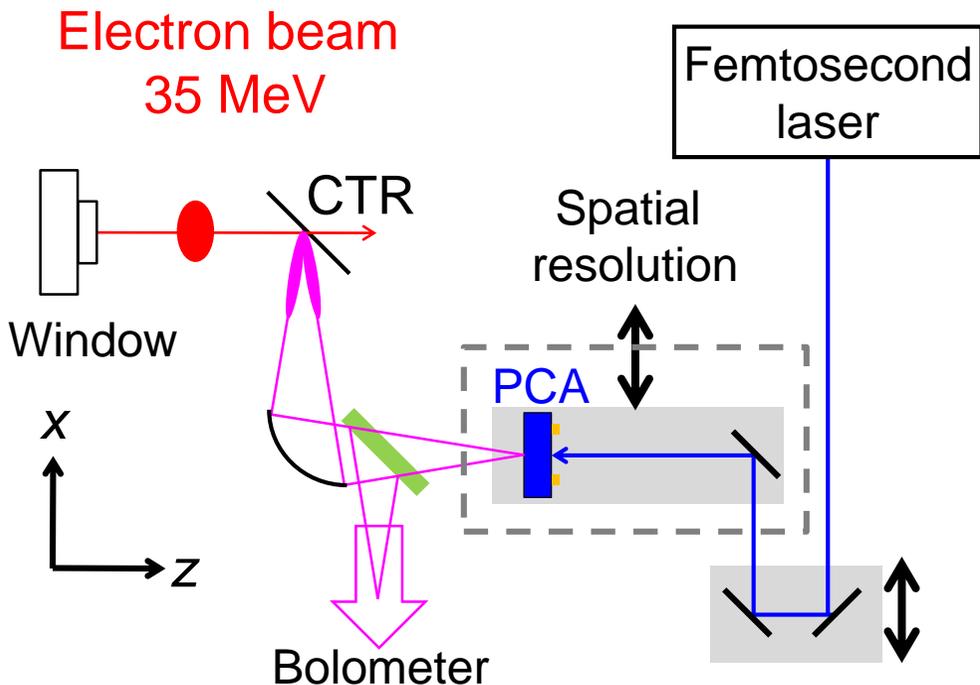
テラヘルツ波の時間・空間分解計測

PCAのx方向の位置を移動させて、
時間領域測定光学遅延を掃引。

位置による電場波形の違い
Q400pC, IR280 μ J, <100Pa
Avg5, 0.2 ps, 270 pts

- 位置により極性が反転
 - 中心は弱い？
- Peak to peak値で比較

位置依存性～強度分布～

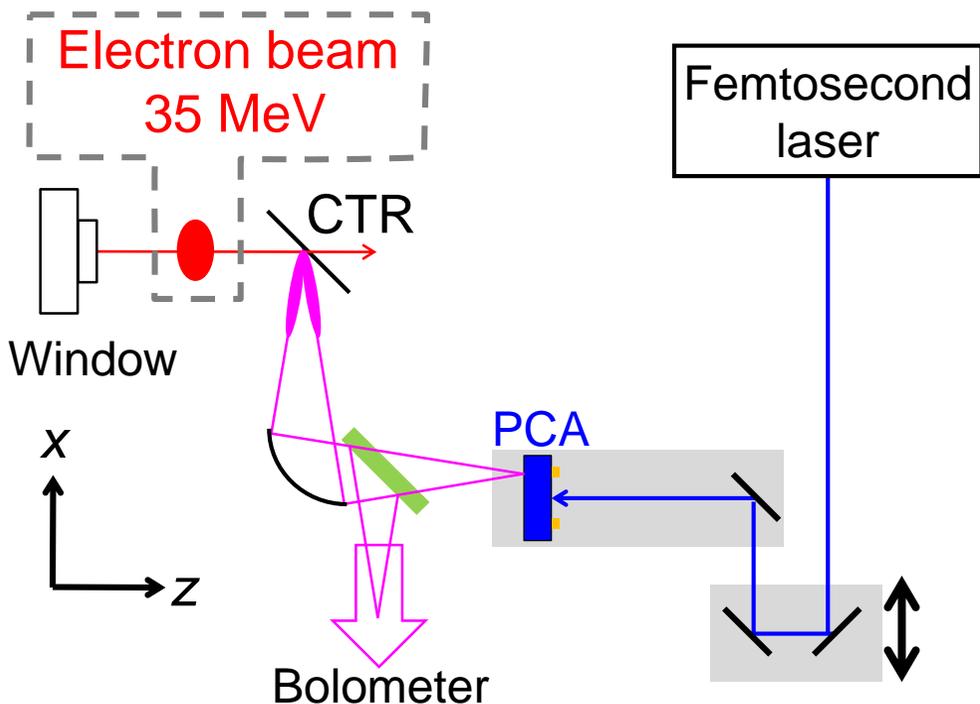


テラヘルツ波の時間・空間分解計測

Peak-to-peak値の位置依存性

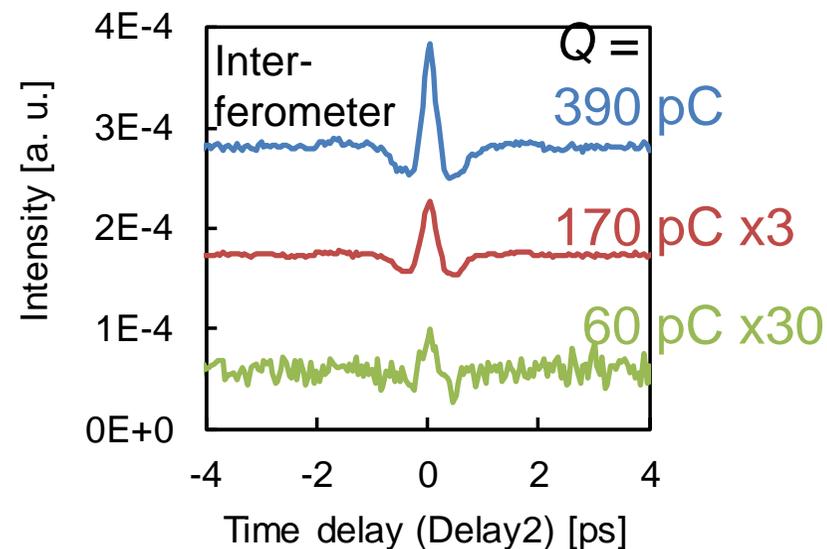
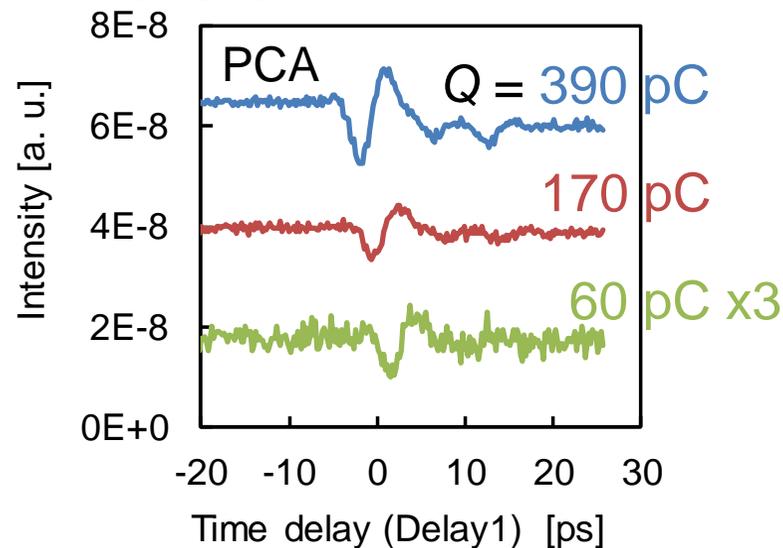
- PCAのx方向の位置を移動させて、時間領域測定光学遅延を掃引。
- パルス電場が大きい位置の間隔: 12 mm
- x = -6 mmで測定を継続

電荷量依存性 (PCAと干渉計)



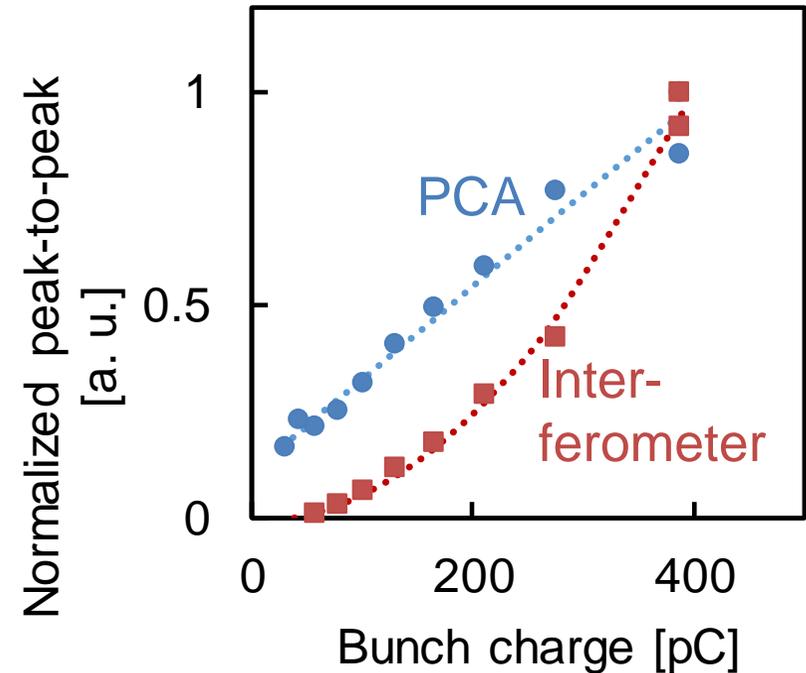
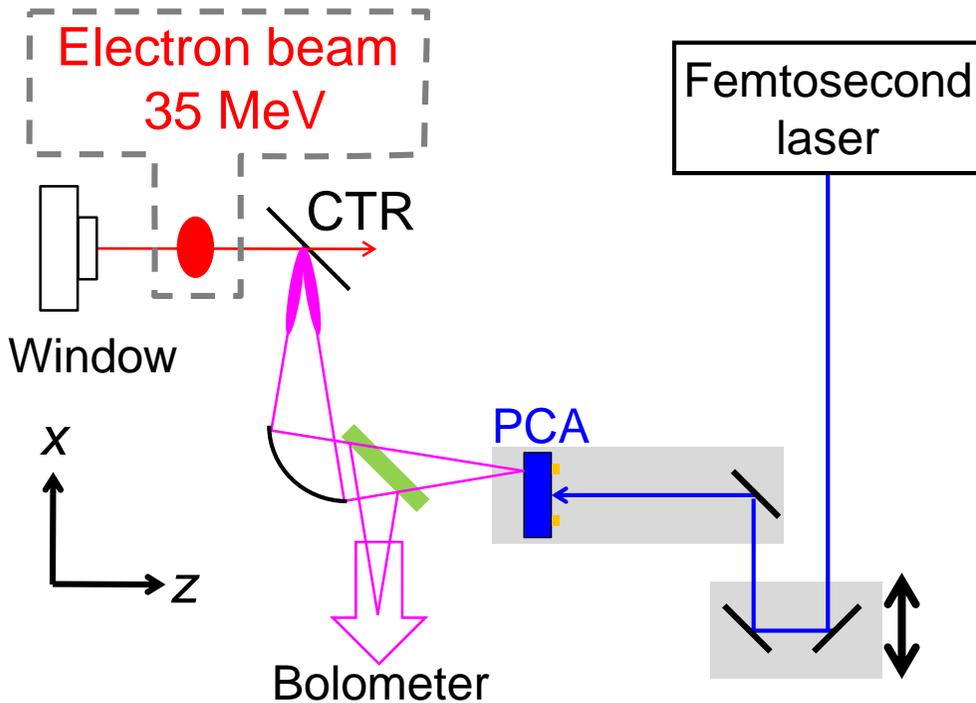
テラヘルツ波の時間・空間分解計測
電荷量を変化させて波形を計測

- PCAの信号強度 \propto 電場
 \propto (エネルギー)^{0.5} \propto 電荷量
- ボロメータの信号強度
 \propto エネルギー \propto 電荷量²



電荷量による波形の違い
IR280μJ, x-6mm

電荷量依存性 (PCAと干渉計)



電荷量依存性

テラヘルツ波の時間・空間分解計測
電荷量を変化させて波形を計測

- PCAの信号強度 \propto 電場
 \propto (エネルギー)^{0.5} \propto 電荷量
- ボロメータの信号強度
 \propto エネルギー \propto 電荷量²

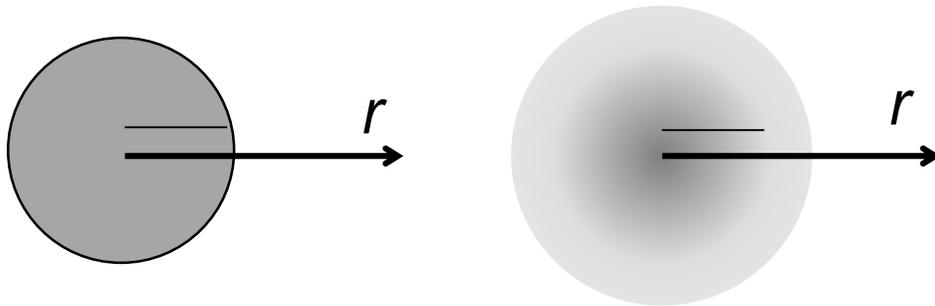
球対称電荷が発生する径方向 r 電場

$$\nabla \cdot \epsilon_0 \mathbf{E} = \rho$$

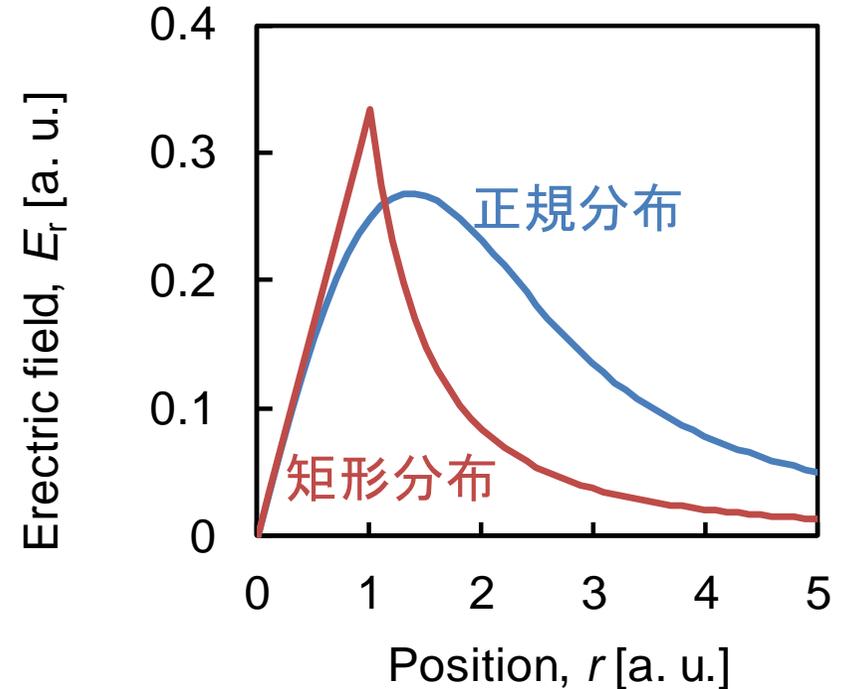
$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \epsilon_0 E(r)) = \rho(r)$$

$$\rho(r) = C \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}\right)$$

$$\therefore E(r) = \frac{C}{\epsilon_0 r^2} \left\{ \frac{\sqrt{2\pi}}{2} \sigma_r^3 \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{2}r}{2\sigma}\right) - \sigma_r^2 r \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}\right) \right\}$$

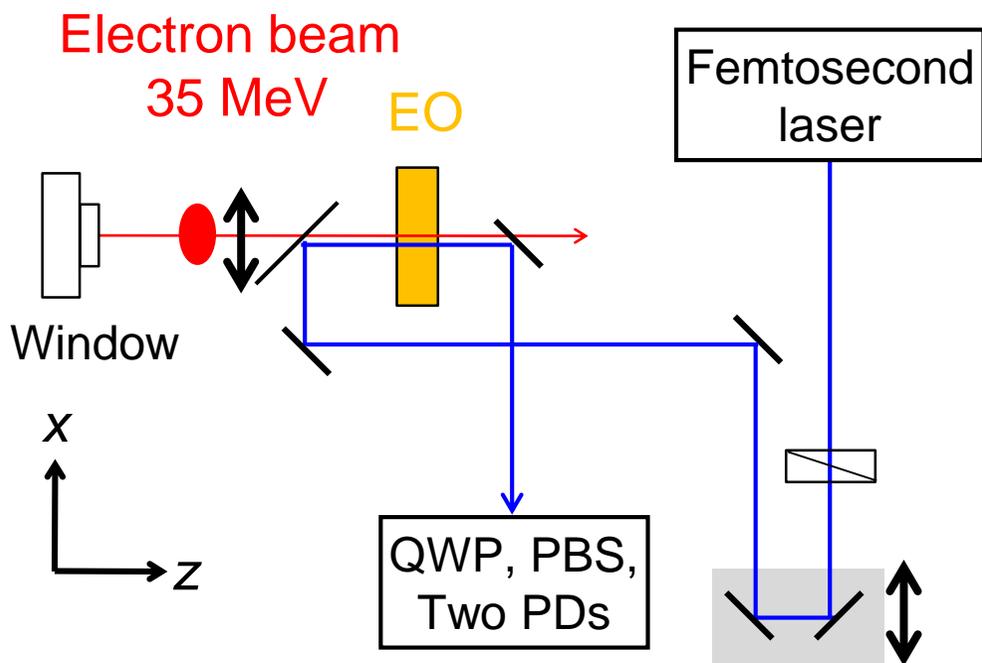


電荷分布（矩形と正規分布）



電場の位置依存性
 正規分布の場合、緩やかな電
 荷密度・電場の変化

電気光学 (EO) 結晶による自由空間径方向電場の測定



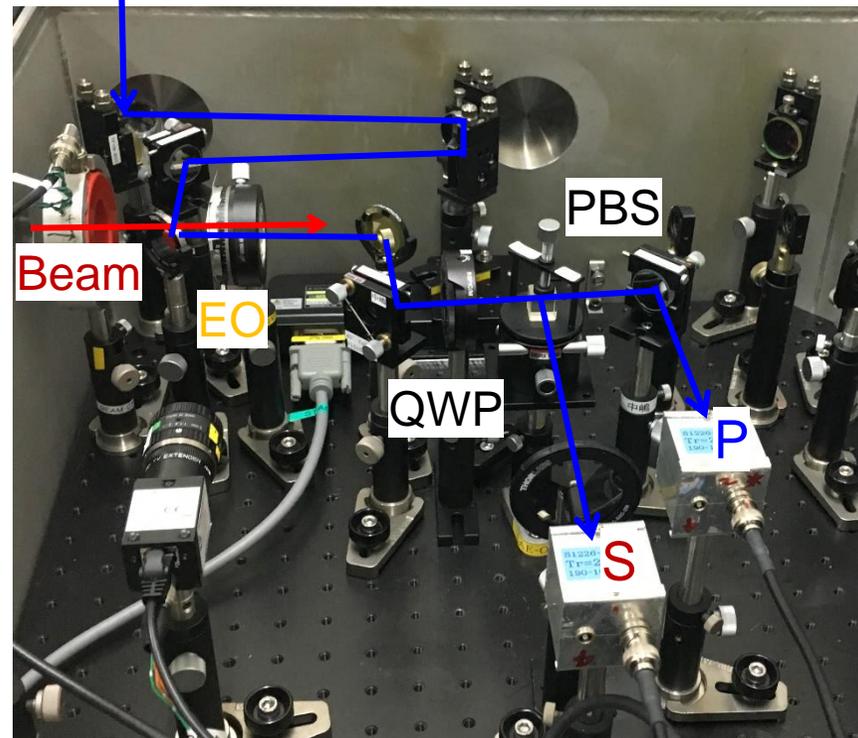
電子ビームの位置を変化させて、
バランス検出

ZnTe(110) t1 mm

Laser <1 mm (FWHM)

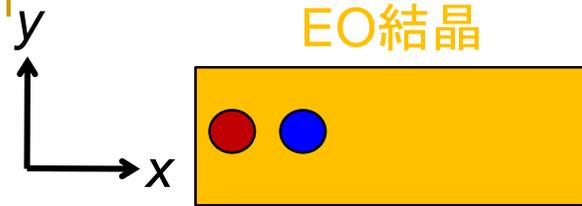
Beam <3 mm (FWHM)

Femtosecond
laser

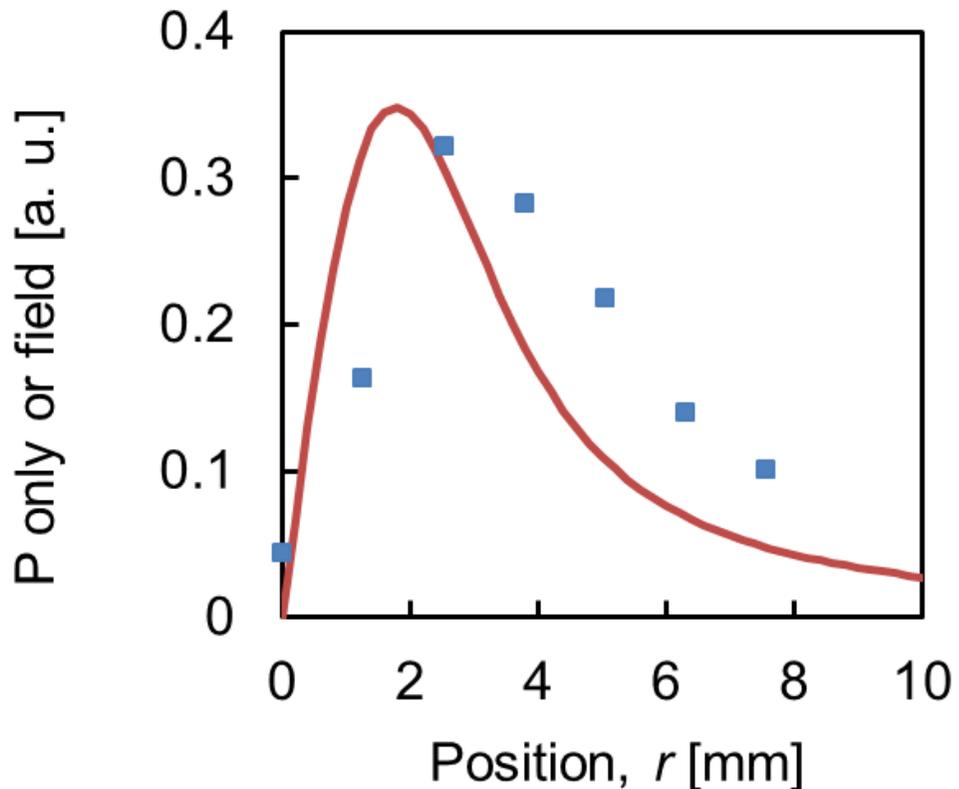
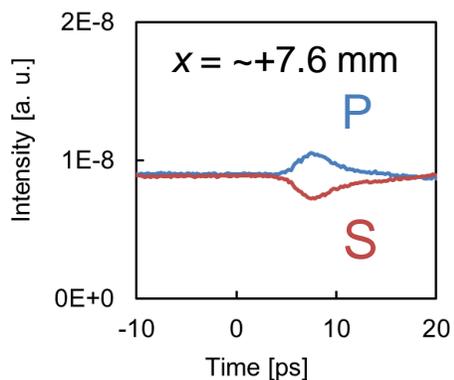
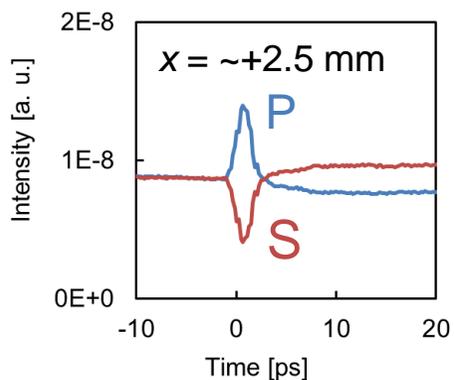
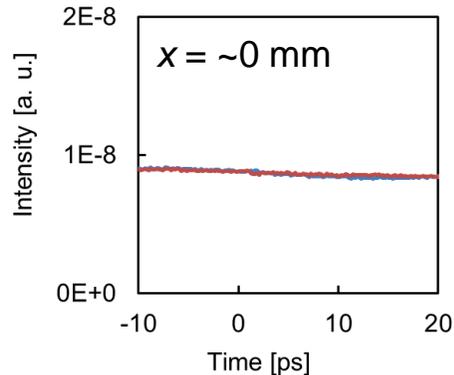
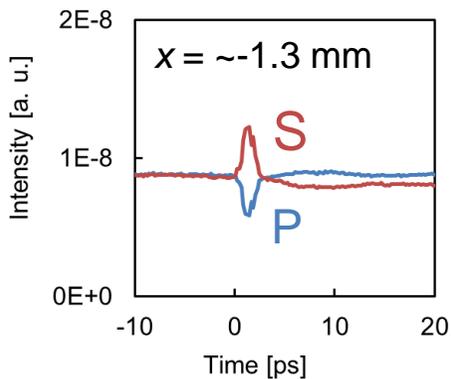


光検出器PおよびS成分を検出

電場のビーム位置依存性



レーザー
電子ビーム



P成分のみと電場分布モデルと比較

- PとS成分がビーム位置で極性反転
- 離れると電場の時間幅は長くなる？

まとめ

電子ビーム（35 MeV, <500 pC）で発生したCTRのテラヘルツ波の時間・空間分解計測を行った。

- PCAによる測定：~10 mm径のテラヘルツ電場分布
- 電荷量依存性：PCAの信号強度 \propto 電場 \propto 電荷量¹
- EO結晶による測定：同様に中心の水平x方向電場強度は低い
- 波形の解析中：不均一電荷分布の電束とガウスの法則から試みた
- 今後の課題：ダイポール型PCA・モデルの検討、解析

本研究は、科研費(25870404, 26249146, 15H05565, 17H01374)、基礎科学研究助成(住友財団)による支援を受けました。

EO測定については、太田雅人氏、中嶋誠博士、坂和洋一博士、有川安信博士、清水智貴氏（阪大レーザー研）に協力頂きました。



ご清聴ありがとうございました。