

# プラズマ偏光分光への 偏光変調分光法の適用

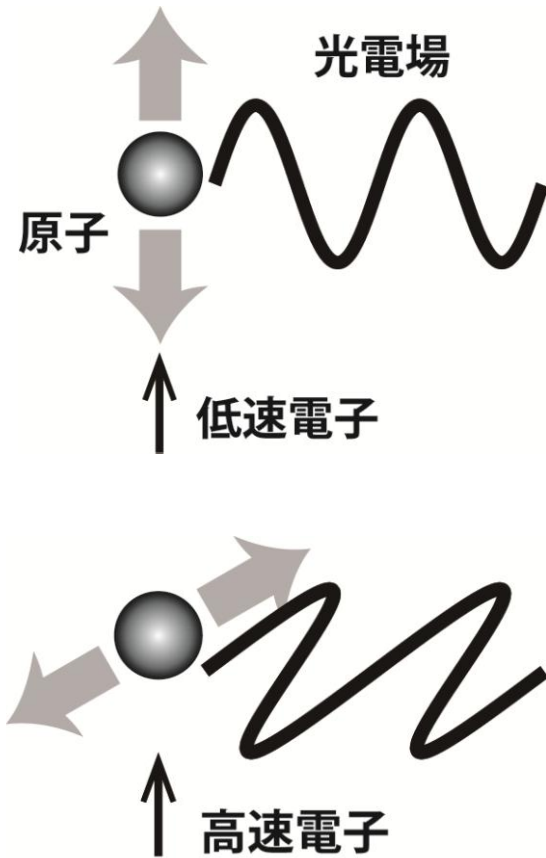
京大院工 機械理工

四竈 泰一, 安井 健二 (M2), 東 孝紀 (M1), 蓮尾 昌裕

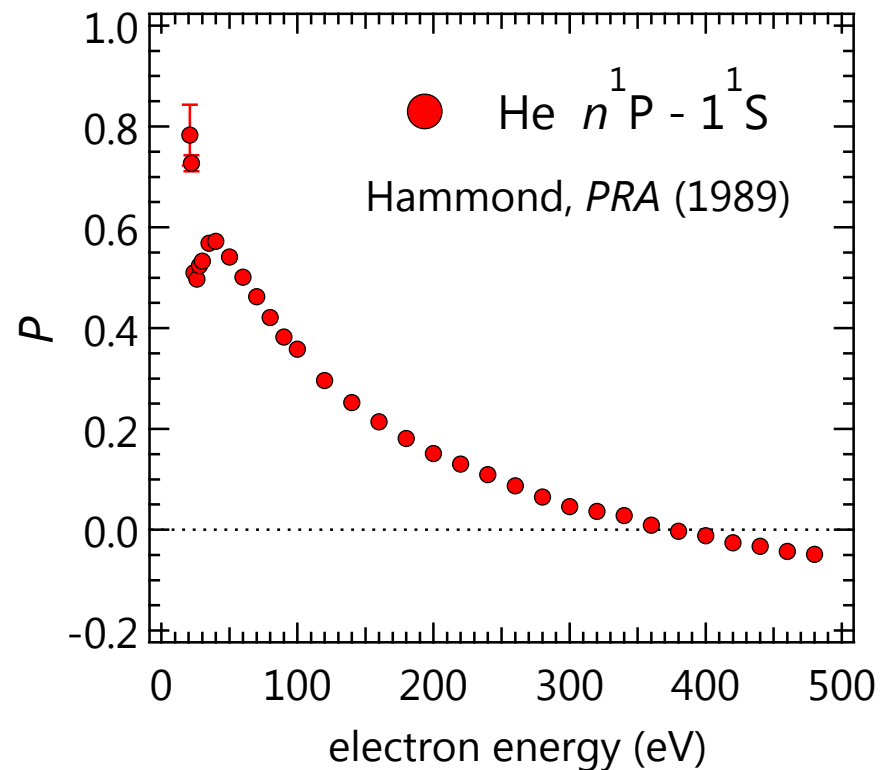
- 光弾性変調器を利用した偏光計測システムの開発
- 計測精度・時間分解能の評価

# 原子発光線の衝突偏光

非等方な電子衝突励起で生じる原子発光線は偏光する。



電子の運動方向を  
量子化軸とする偏光度  $P = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}}$



# プラズマ偏光分光

プラズマ中では、原子発光線の偏光から電子速度分布関数を推定することが可能.

Fujimoto and Iwamae ed. "Plasma Polarization Spectroscopy" (2008).

## 磁場閉じ込めプラズマ

電子サイクロトロン共鳴加熱によるトカマク非誘導生成

- プラズマのマクロ変化の時間スケール < **~1 ms**
- 偏光計測精度 < **~1%**

⇒ **偏光変調分光** (天文, 薄膜, MSE, etc.)

# 直線偏光の変調計測

## ストークスパラメータ

$I$

$$Q = I_0 - I_{90}$$

$$U = I_{45} - I_{135}$$

~~$$V = I_r - I_l$$~~

(観測条件より  $V = 0$  を仮定)

## 部分直線偏光

偏光度

$$P = \sqrt{Q^2 + U^2} / I$$

偏光方向

$$\phi = \arctan(U / Q) / 2$$

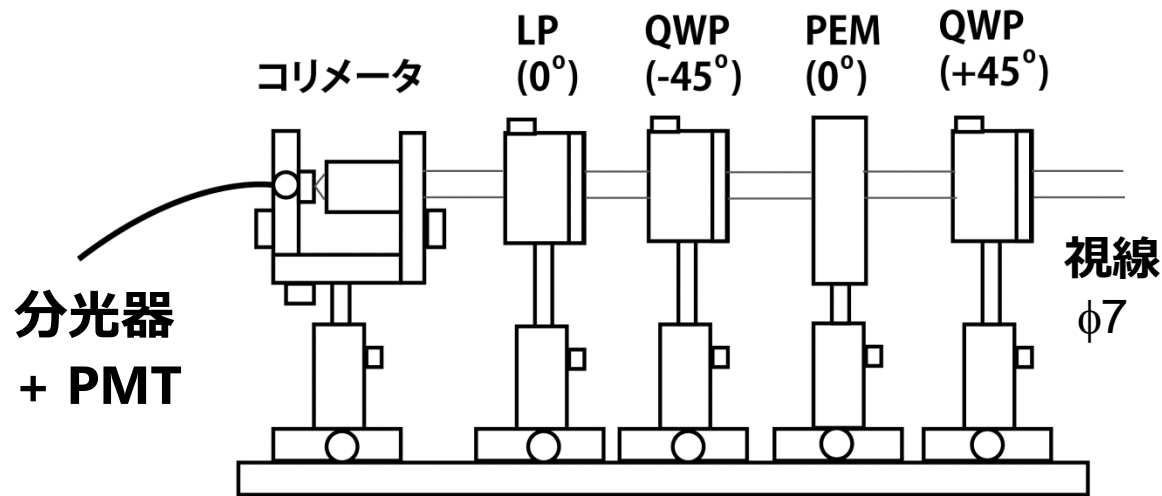
光弾性変調器 (PEM: Photoelastic Modulator)

速軸・遅軸間の位相差を時間変化  $\delta(t) = A \cos \omega t$

$$0 - 2\pi \text{ (可変)} \quad \omega/2\pi = 42 \text{ kHz}$$

⇒ 光強度の変調により  $I, Q, U$  を同時計測.

# 開発した光学系 (He 668 nm)



- LP : 直線偏光板
- QWP :  $\lambda/4$ 板 (670 nm)
- PEM : 光弾性変調器
- ※ ( )内は速軸方向

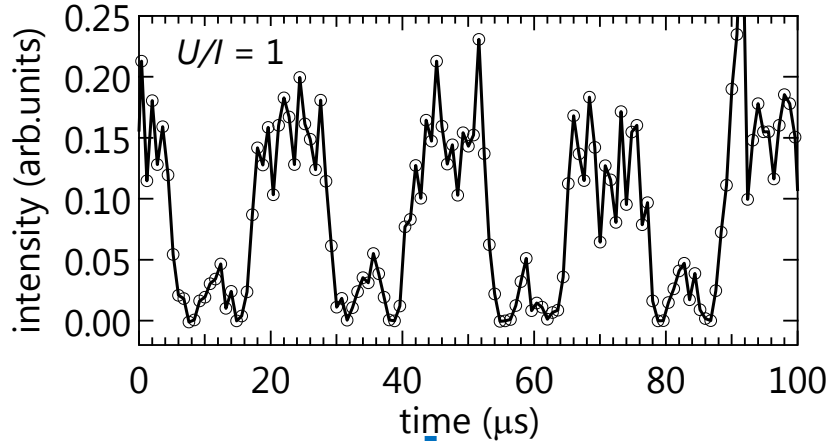
透過光強度

$$I'(t) = \frac{1}{2} [I + Q \cos \delta(t) - U \sin \delta(t)] \quad \leftarrow \quad \delta(t) = A \cos \omega t$$

$$= \underbrace{\frac{I}{2}}_{\text{DC}} + \underbrace{Q \left[ \frac{J_0(A)}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(A) \cos 2n\omega t \right]}_{2\omega, 4\omega, \dots} - \underbrace{U \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(A) \cos(2n+1)\omega t}_{\omega, 3\omega, \dots}$$

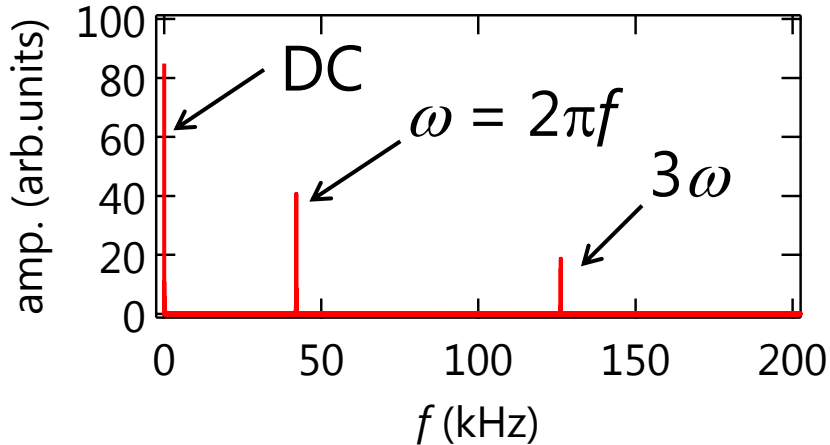
# 完全直線偏光の計測

透過光強度



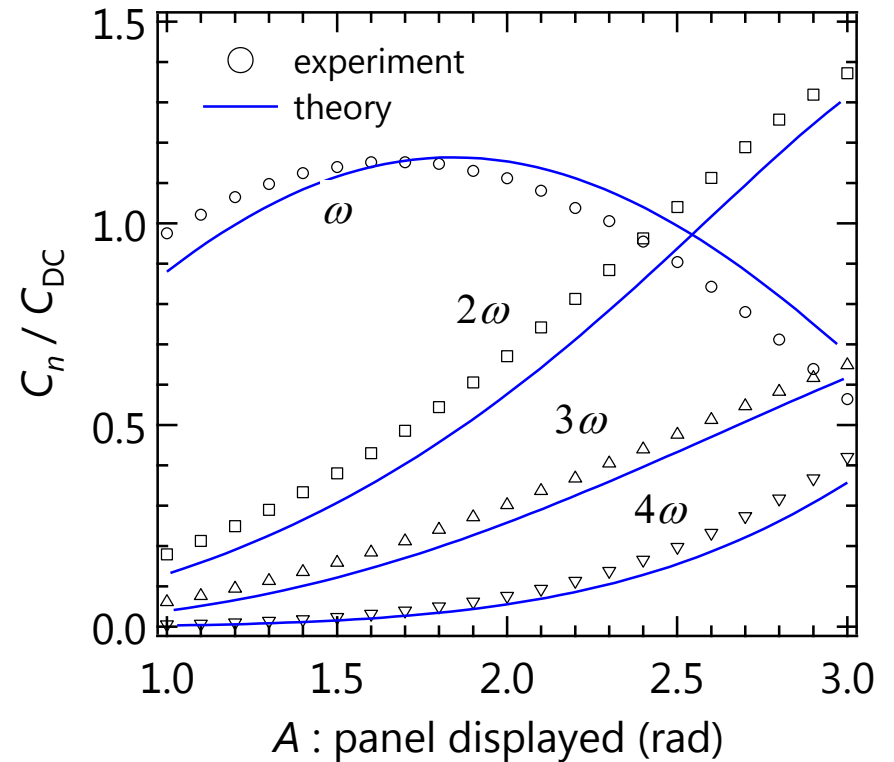
↓ FFT

周波数スペクトル



$Q/I = 1$  or  $U/I = 1$ の光に対して  
振幅 ( $C_{DC}, C_{\omega}, \dots$ ) のA依存性を確認

理論からのずれ  $\delta(t) = A \cos \omega t$  ?



# 位相差の補正

[1] Wang *JJAP, TSF* (2004).:  
Guan AO (2010).  
[2] Acher *RSI* (1989).

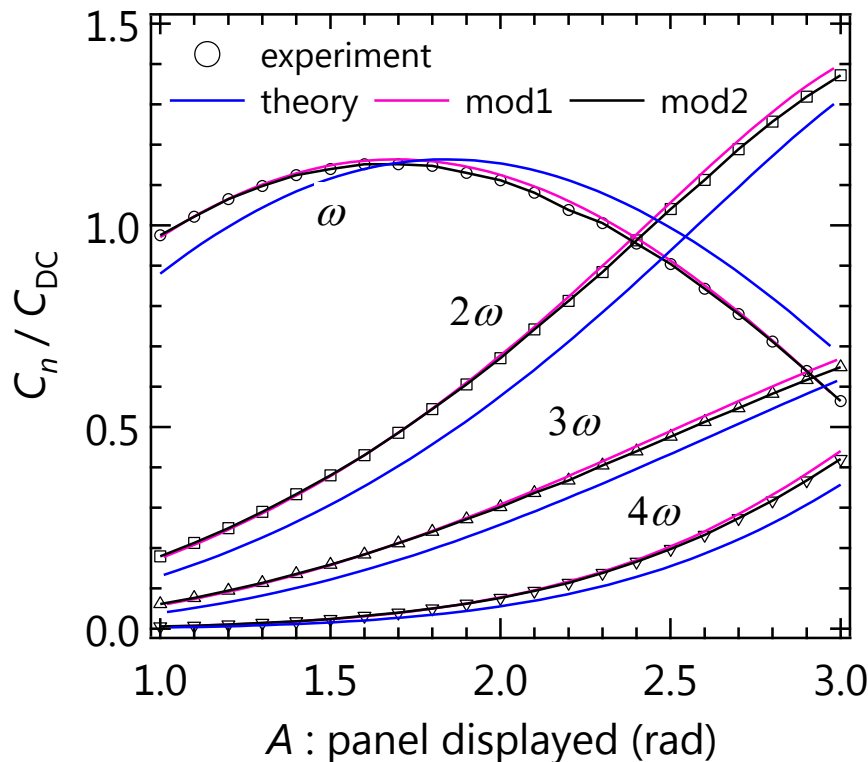
- $A$  の設定値からのずれ [1]
- $\cos \omega t$  からのずれ  
(高調波成分) [2]

$$\delta(t) = (A + A_0) \cos \omega t$$

$$+ \alpha_2 (A + A_0) \cos 2\omega t$$

$$+ \alpha_3 (A + A_0) \cos 3\omega t + \dots$$

同時フィッティング  
高調波成分：  $\leq 3\omega$   
変調振幅：  $\leq 4\omega$



$A_0$	$1.37 \times 10^{-1} \pm 2 \times 10^{-3}$
$\alpha_2$	$1.5 \times 10^{-2} \pm 2 \times 10^{-3}$
$\alpha_3$	$1.2 \times 10^{-3} \pm 9 \times 10^{-4}$

# 計測精度・時間分解能

ハロゲンランプ + 干渉フィルタ (670 nm, FWHM 3 nm)  
+ 直線偏光板 (消光比 $10^{-5}$ )

$\Rightarrow Q/I = 1$   
or  $U/I = 1$

- 信号S/N =  $\sim 5$
- サンプリング 1.25 MS/s
- $A = 2.4$  (DC振幅が極小)

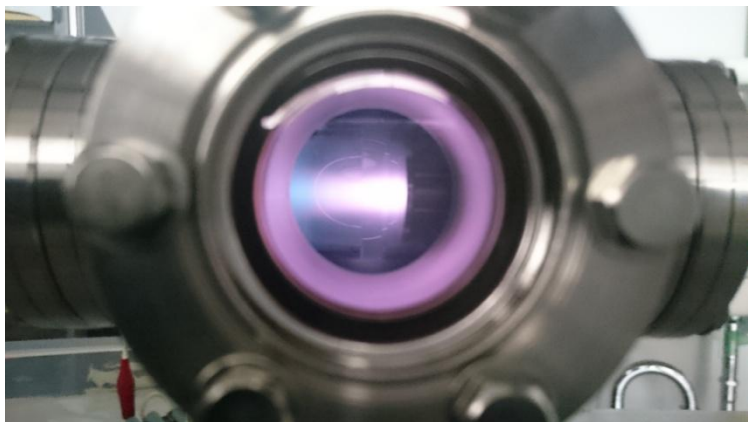
計測時間 (データ点数) に応じた精度

	100 ms ( $1.25 \times 10^5$ )	10 ms ( $1.25 \times 10^4$ )	1 ms ( $1.25 \times 10^3$ )	$\delta(t)$ 由来の 誤差
$Q/I$	$0.999 \pm 0.002$	$1.002 \pm 0.004$	$0.996 \pm 0.010$	$\pm 0.002$
$U/I$	$1.002 \pm 0.002$	$1.005 \pm 0.004$	$1.009 \pm 0.013$	$\pm 0.002$

主な誤差要因 ① PMT暗電流 ② ショットノイズ



# DCグロー放電プラズマ

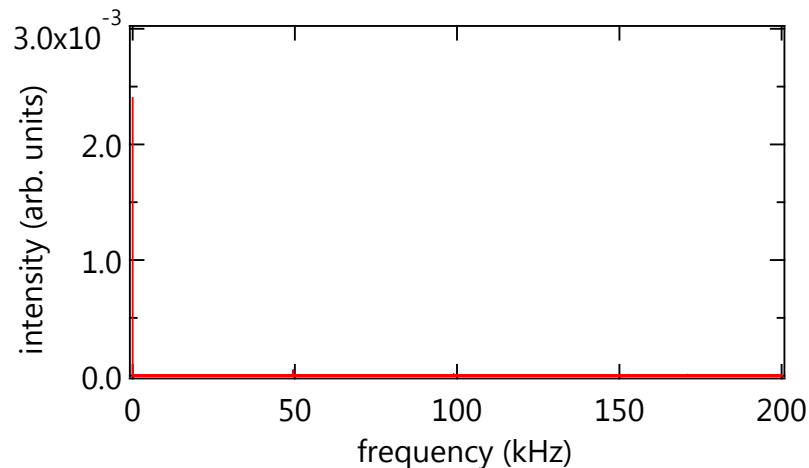


放電電圧	4.4 kV
放電電流	1.6 mA
ガス圧力	20 Pa

陰極近傍の負グロー部分を観測

- 信号S/N =  $\sim 0.08$
- 計測時間 4 s
- 偏光計測精度  $\pm \sim 3\%$

周波数スペクトル



⇒ 偏光は観測されず.