

ECHスタートアッププラズマに おけるトムソン散乱計測

山口隆史、平塚淳一^a、江尻晶、高瀬雄一、
永島芳彦、渡邊理、倉品博樹、坂本拓也、
若月琢馬^a、安秉日^a、小林弘明、林裕之、
山田幸太郎、松澤葉月、角田英俊^a、花嶋賢太郎

東京大学大学院新領域創成科学研究科

^a東京大学大学院理学系研究科

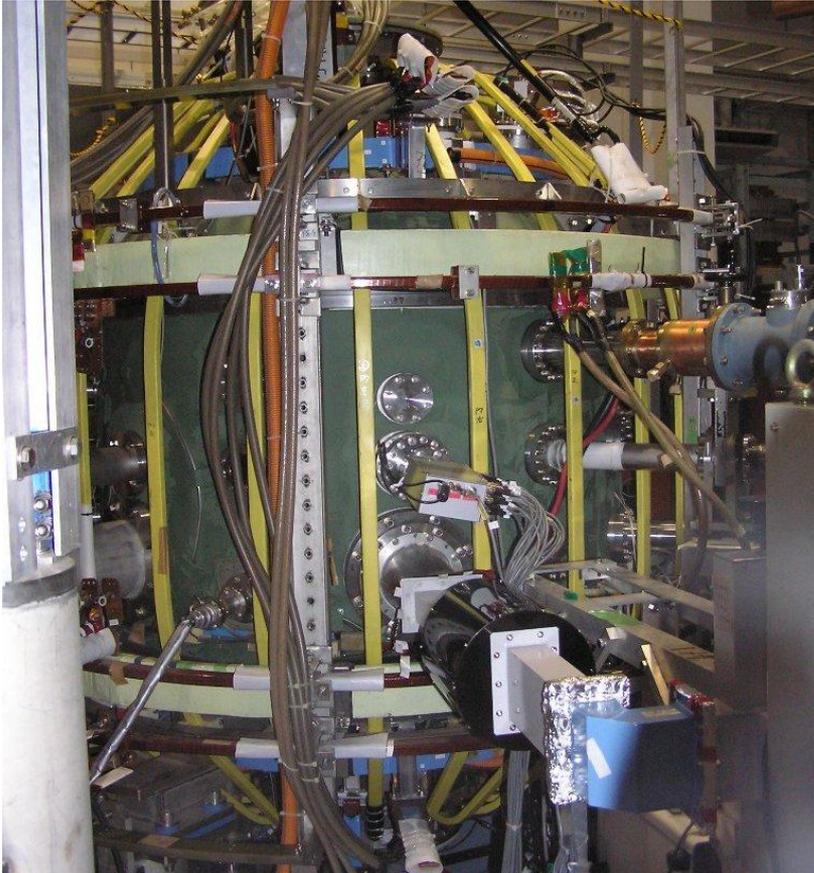


発表の流れ

1. TST-2球状トカマクとECHスタートアップ
2. トムソン散乱計測装置
3. 信号処理
4. 計測結果
5. まとめと計画

球状トカマクTST-2

Ohmic放電 ECH startup



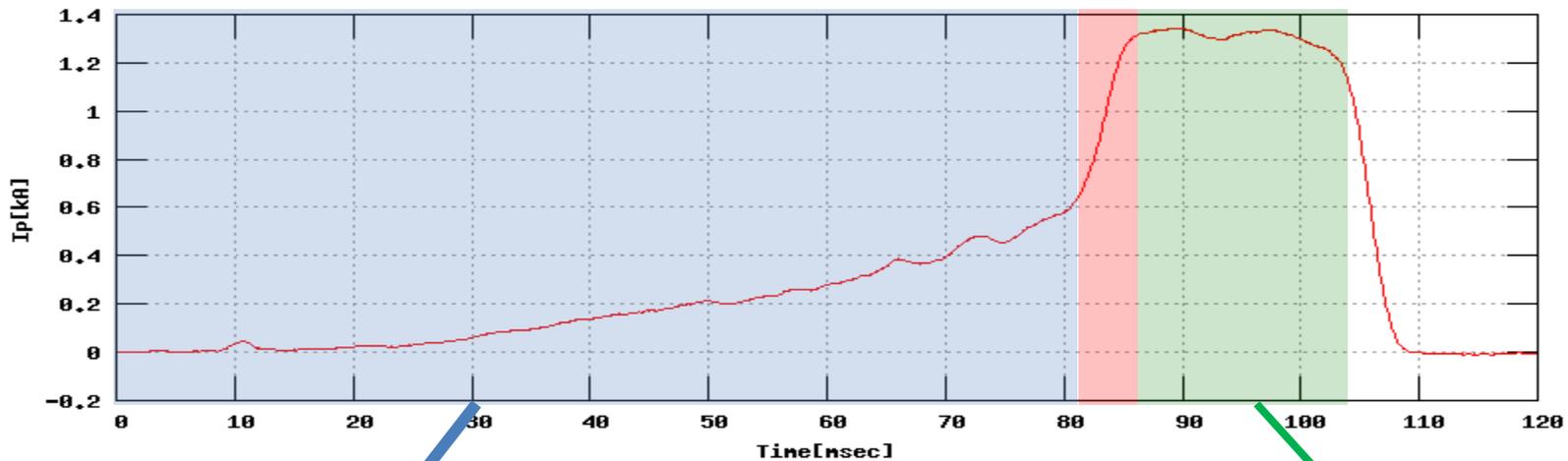
大半径	$R \sim 0.38 \text{ m}$	
小半径	$a \sim 0.25 \text{ m}$	
アスペクト比	$A \sim 1.5$	
トロイダル磁場	$B_t \sim 0.3 \text{ T}$	$\sim 0.1 \text{ T}$
プラズマ電流	$I_p \sim 120 \text{ kA}$	$\sim 1.5 \text{ kA}$
放電時間	$\Delta t \sim 20 \text{ ms}$	$\sim 100 \text{ ms}$

コンパクト(低A)な核融合炉である球状トカマクではCSを除去する必要がある。



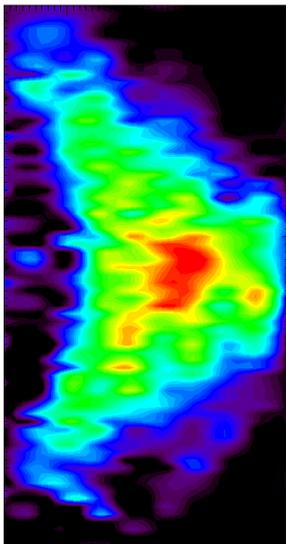
電子サイクロトロン波による
プラズマの生成と維持
加熱装置: マグネトロン
2.45 GHz, 5kW

ECHスタートアップ:電流ジャンプ

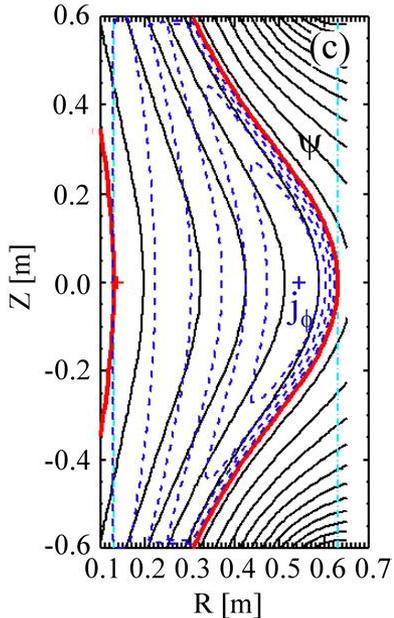


発光強度断面

068.0ms

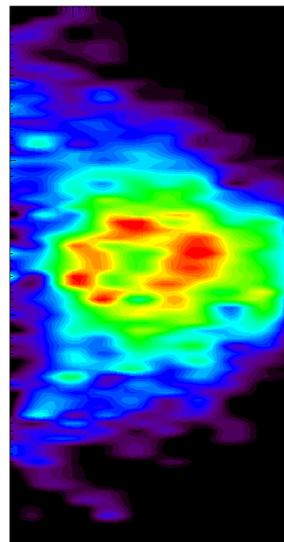


磁気面

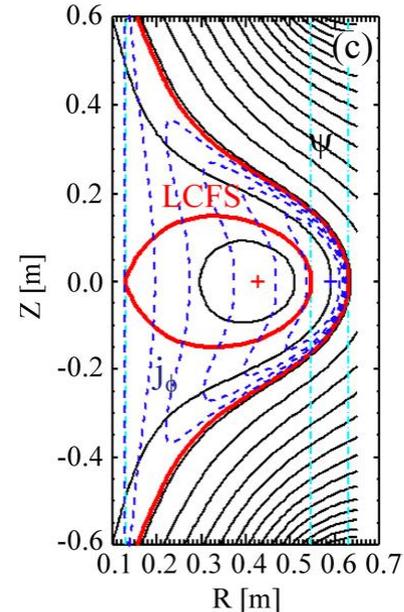


発光強度断面

087.0ms



磁気面

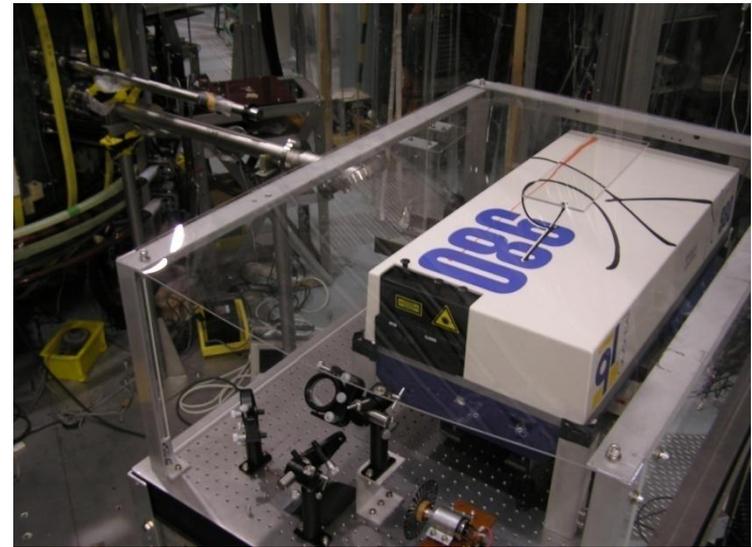
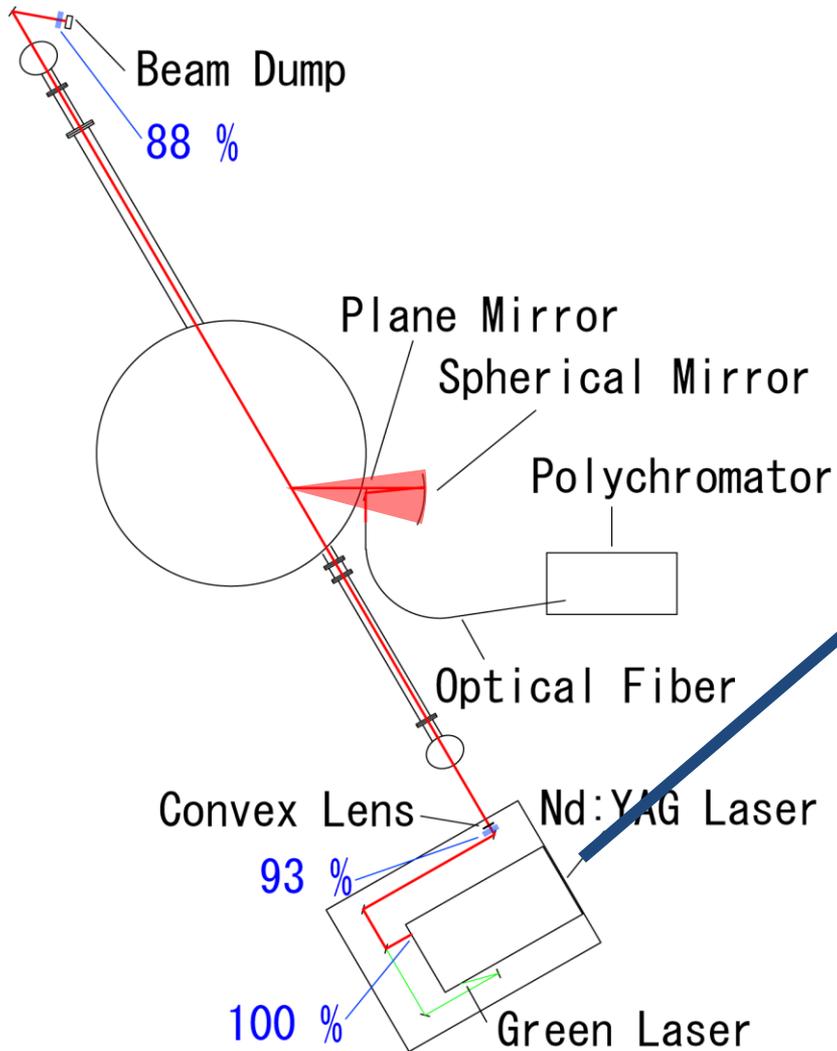


電流
ジャンプ

目的

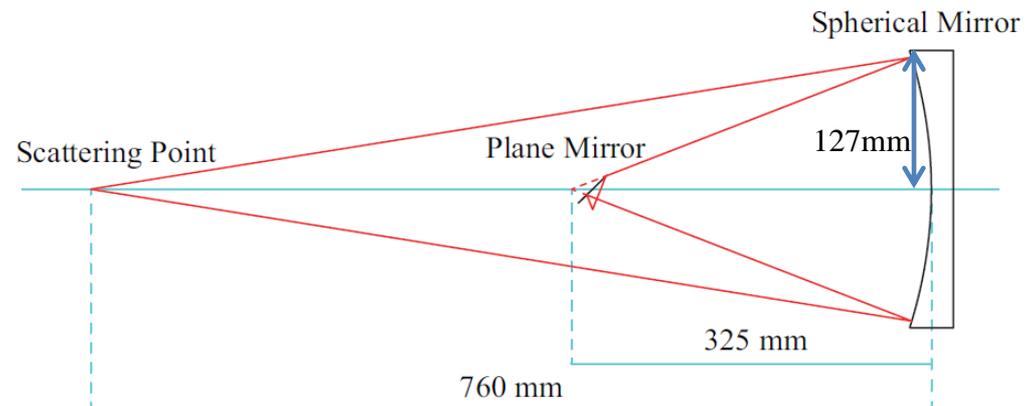
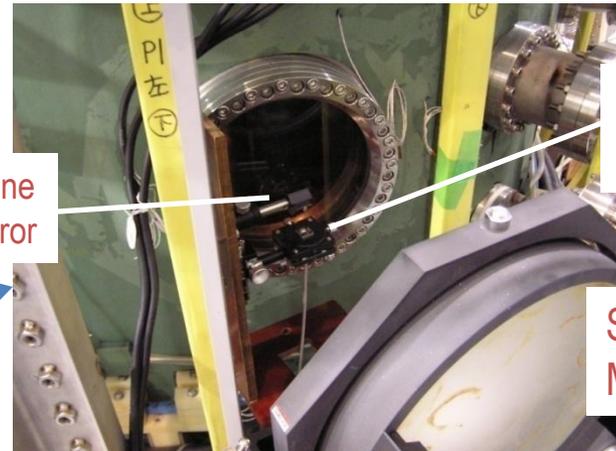
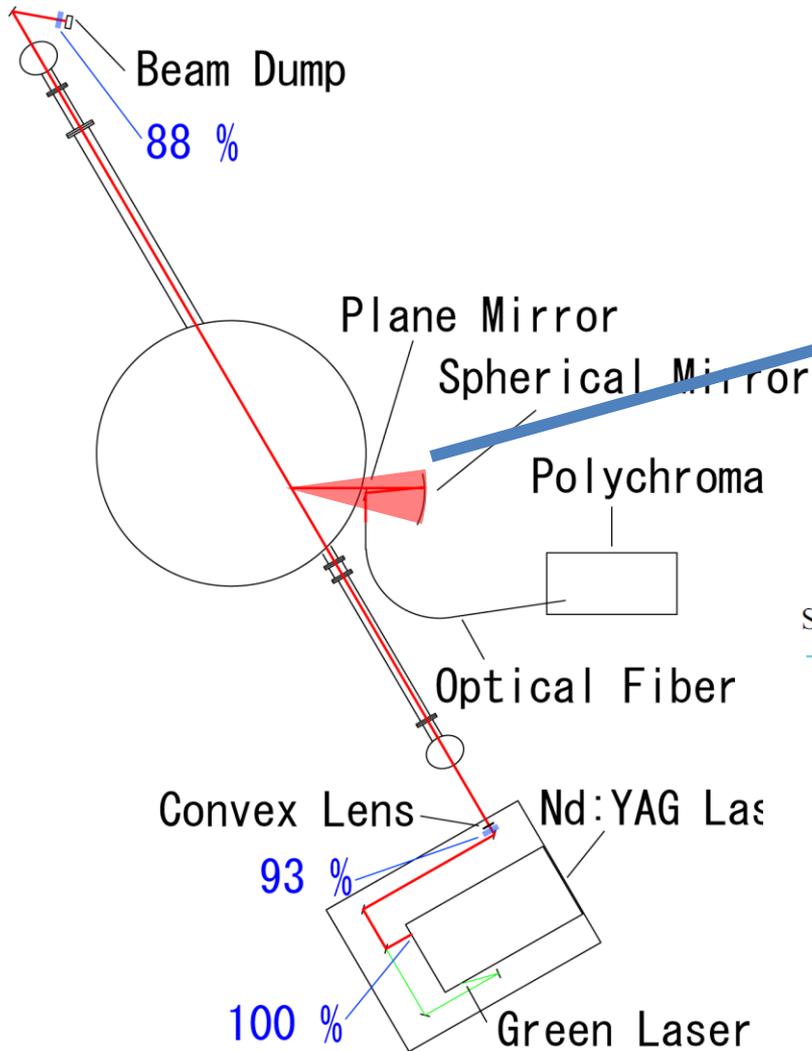
- 絶対温度を算出するトムソン散乱計測でECHスタートアッププラズマの温度を計測する。
- **しかし・・・**
- ECHスタートアッププラズマ($\sim 10^{19}\text{m}^{-3}$)はオーミックプラズマ($\sim 10^{17}\text{m}^{-3}$)に比べて密度が低い。→信号強度が非常に小さい。
- レーザーのパワーを増やす又は**信号処理**を行い解決する。

トムソン入射光学系



Nd:YAG laser
wavelength : 1064nm
Power : **1.6J**
Frequency : 10Hz (1放電に1回)

トムソン集光光学系

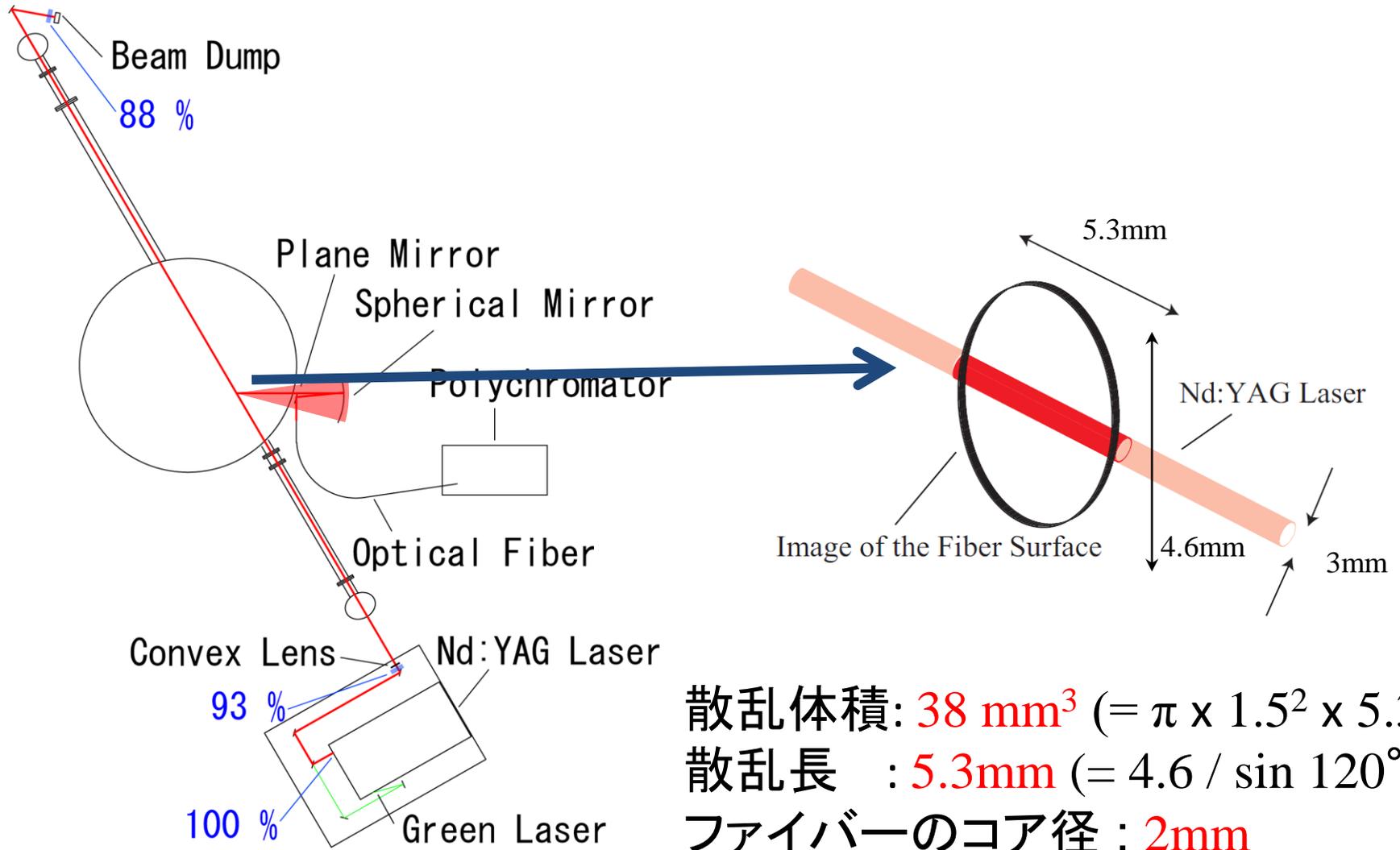


立体角 : **0.088** [srad]

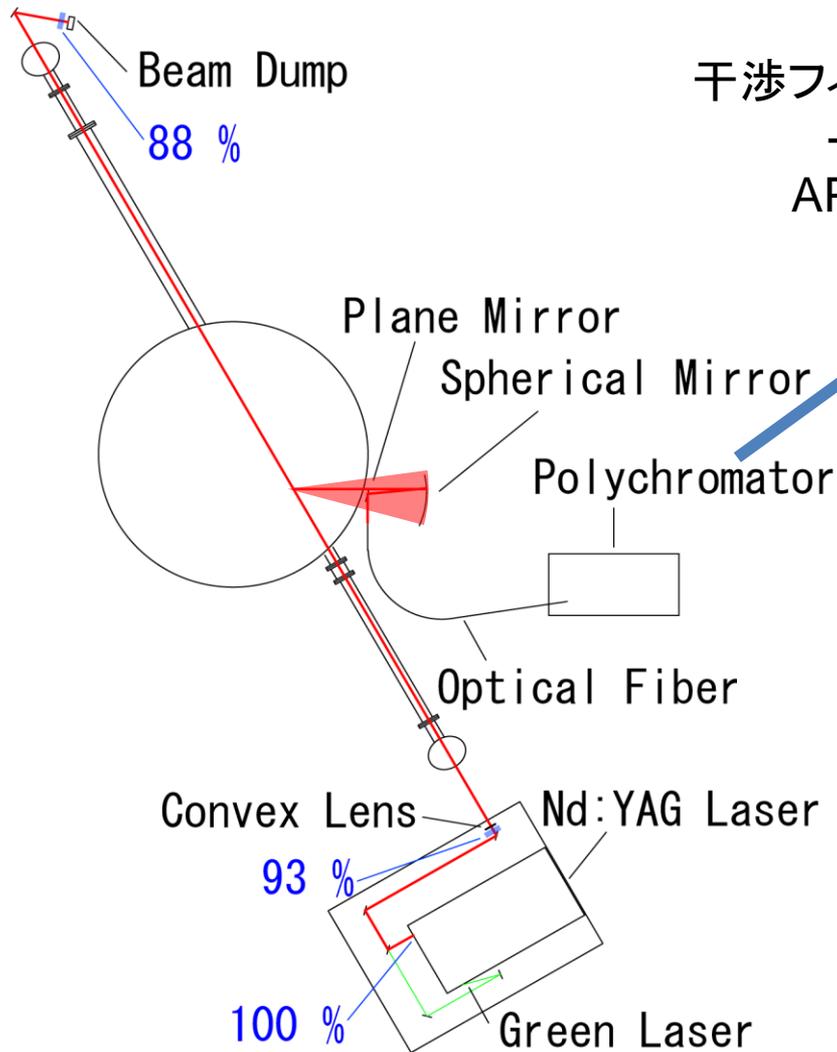
倍率 : 2.3 (= 760 mm / 325 mm)

ファイバーN.A. : 0.37

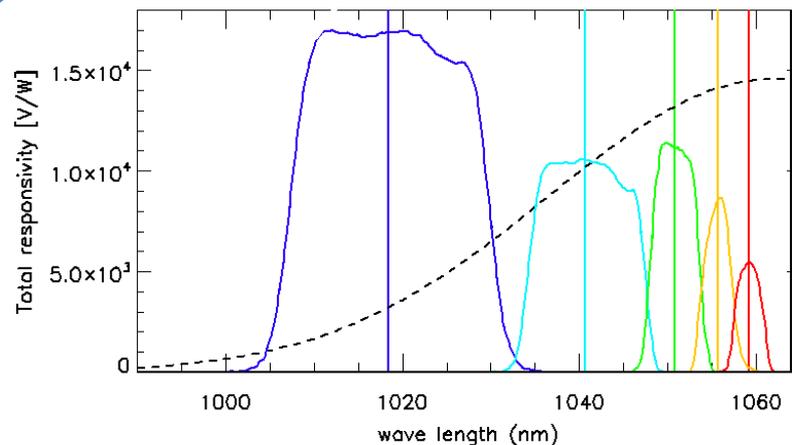
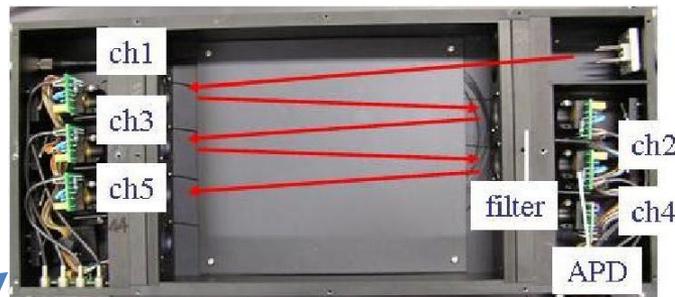
トムソン集光光学系



トムソン分光システム

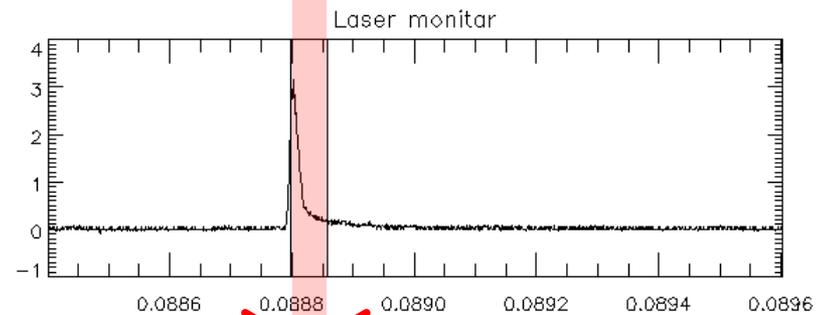
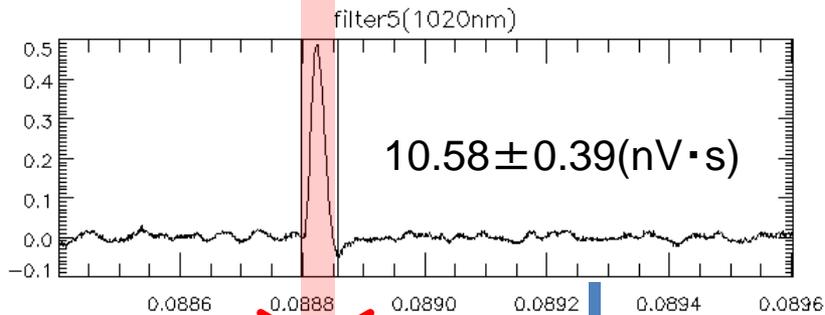
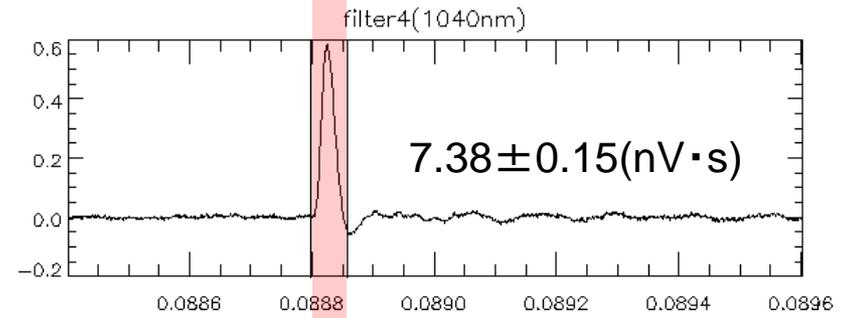
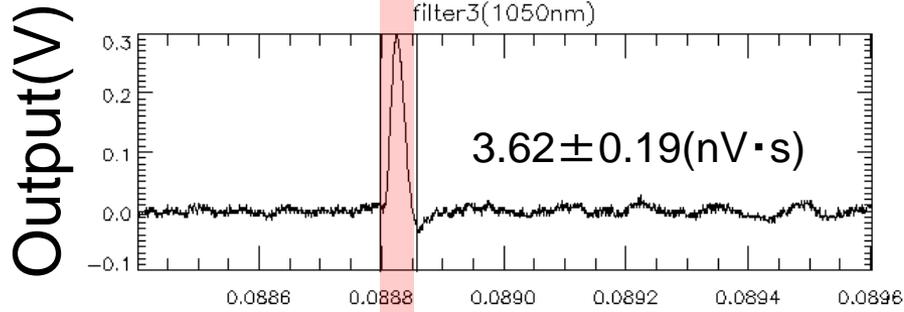
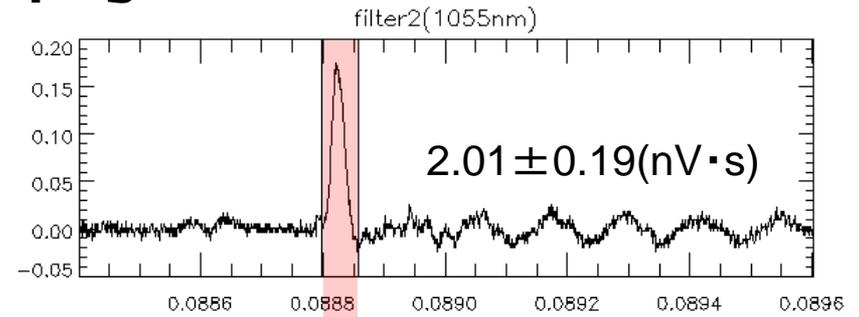
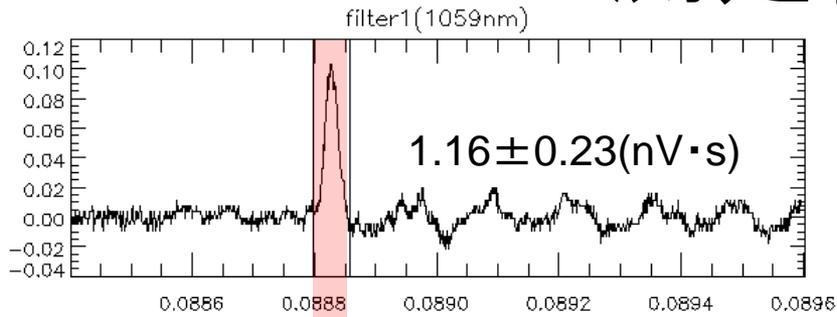


干渉フィルター
+
APD



8ch 高速オシロスコープ
1GHz サンプルング、500MHz
ADC 分解能 24LSB/div

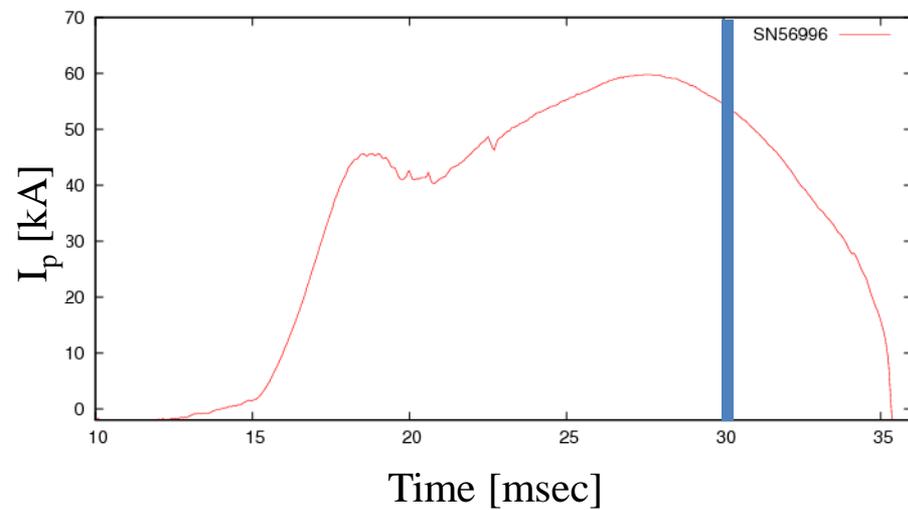
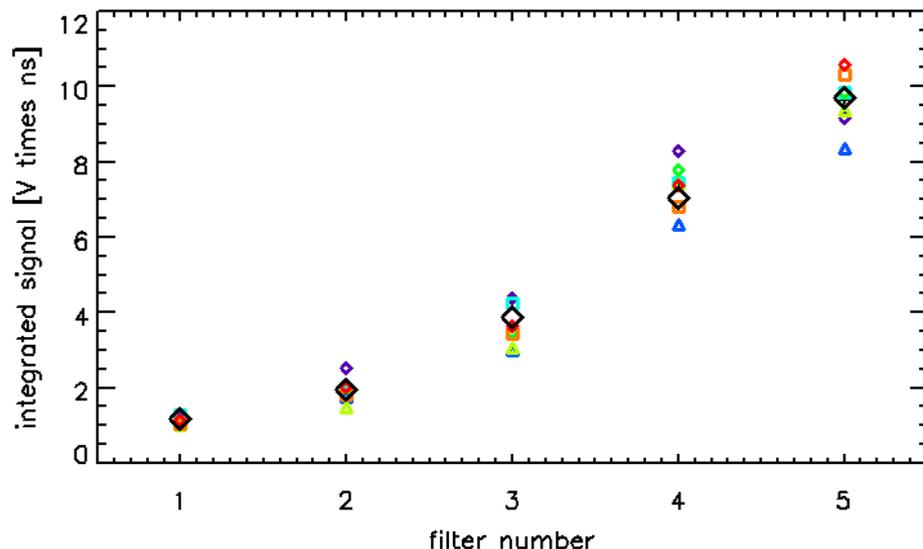
測定信号



SN比は最大で 10 time(ms)

計測結果(オーミック)

- 測定位置 R=380[mm]測定時間 t=30[msec]



各フィルター出力の積分値とエラー

プラズマ電流

$$T_e = 152 \pm 16 \text{ [eV]}$$

$$n_e = 1.49 \pm 0.10 \text{ [} \times 10^{19} \text{m}^{-3}\text{]}$$

信号処理

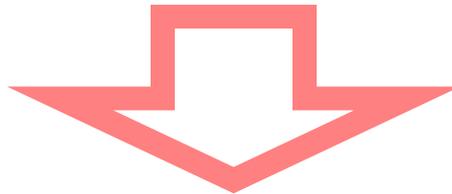
- ADC (オシロスコープ)分解能と信号強度

$$50\text{mV}/24=2\text{mV} \text{ (24LSB/div)}$$

Ohmic 11eV $5 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ ch1 60mV (ch5 10mV)

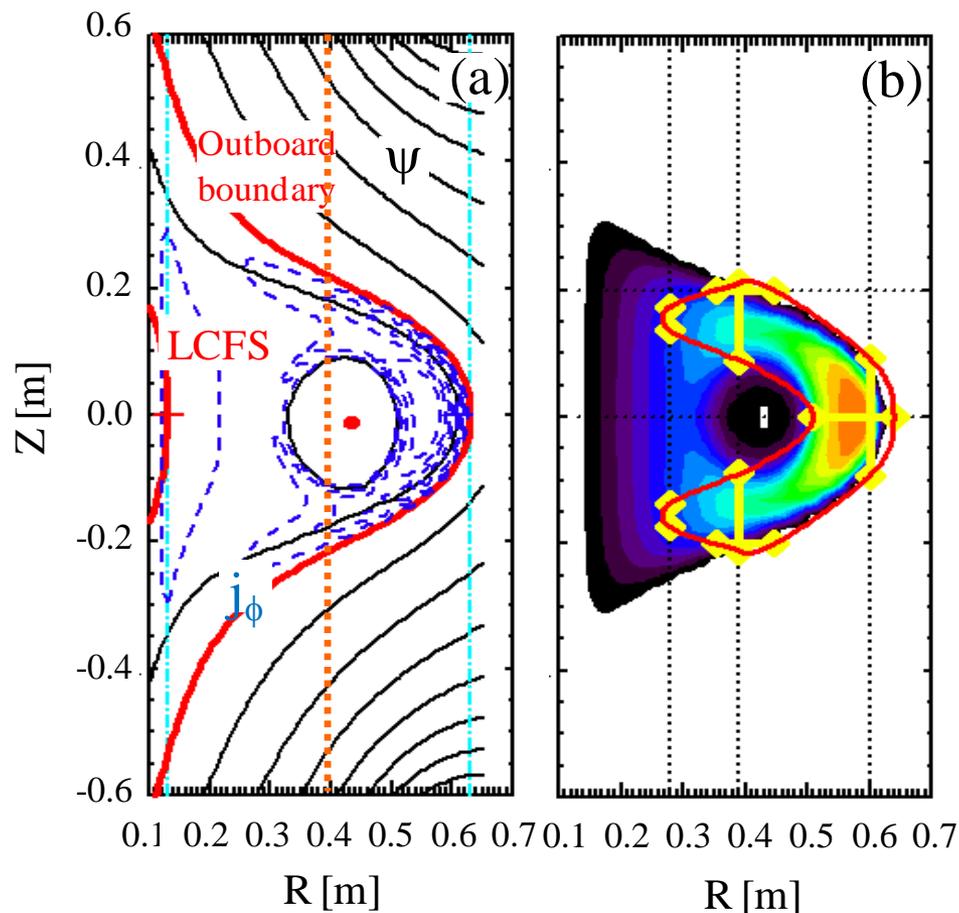
ECHstartup 10eV $5 \times 10^{17} \text{m}^{-3}$ ch1 6mV

- レーザー電磁ノイズ $\sim 10\text{mV}$



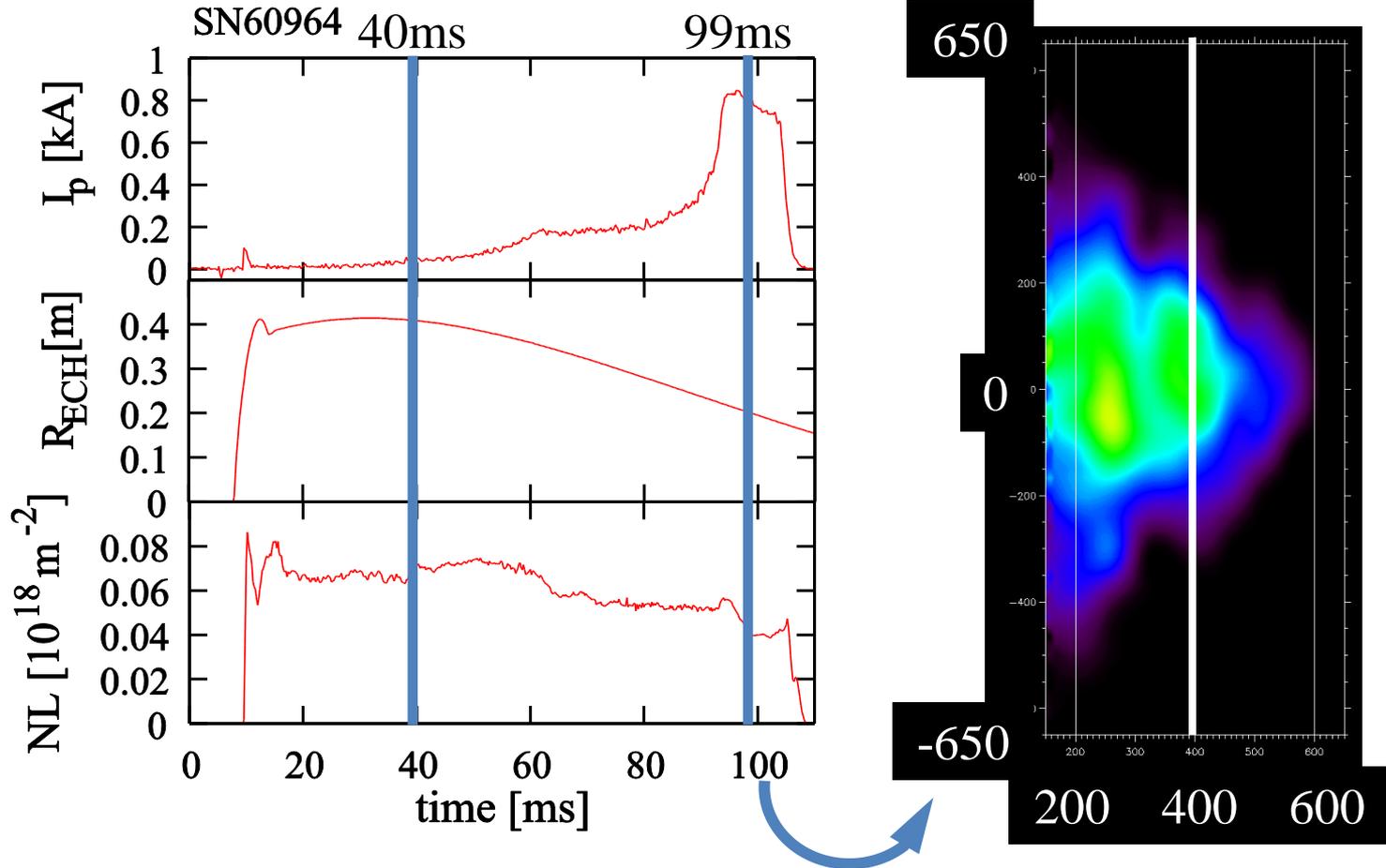
- 同じようなプラズマのショットの重ね合わせの平均によってSN比を上げる。
- ノイズ成分として非常に大きいレーザーの電磁ノイズを差し引く。

計測位置



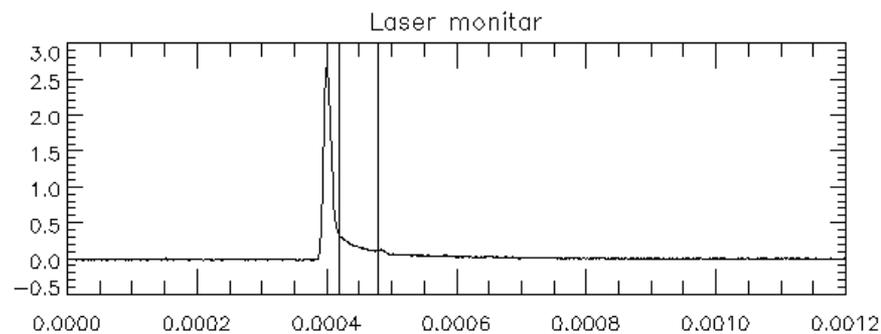
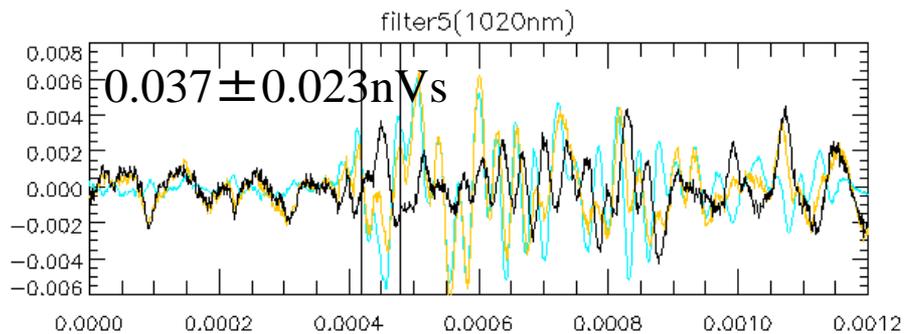
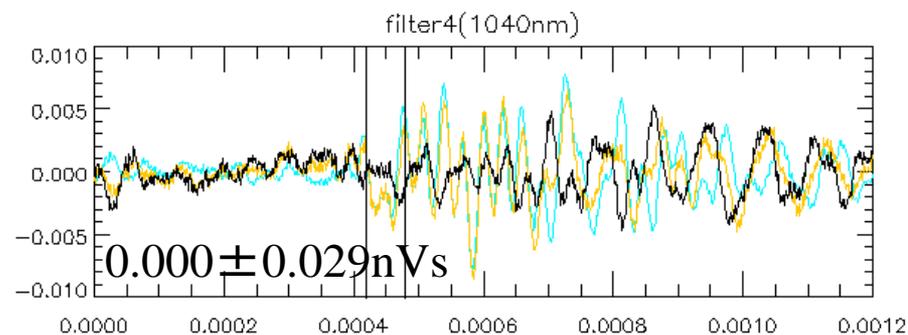
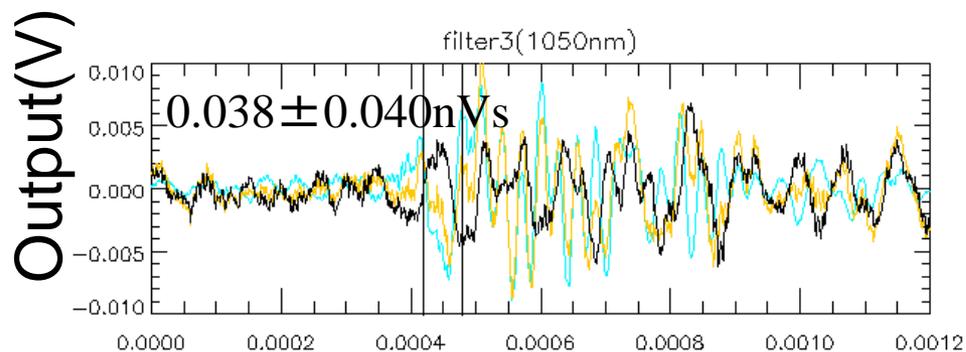
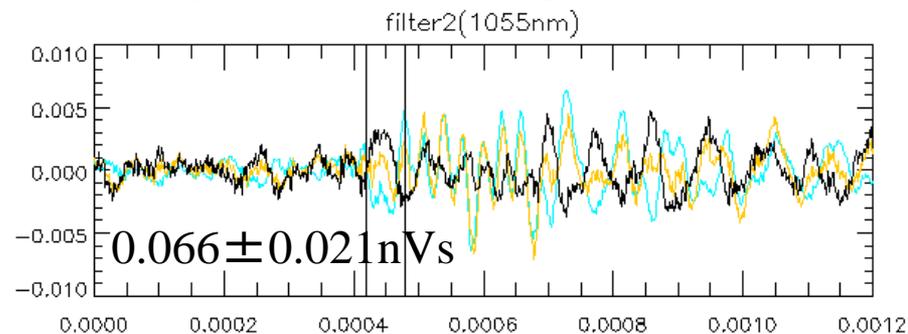
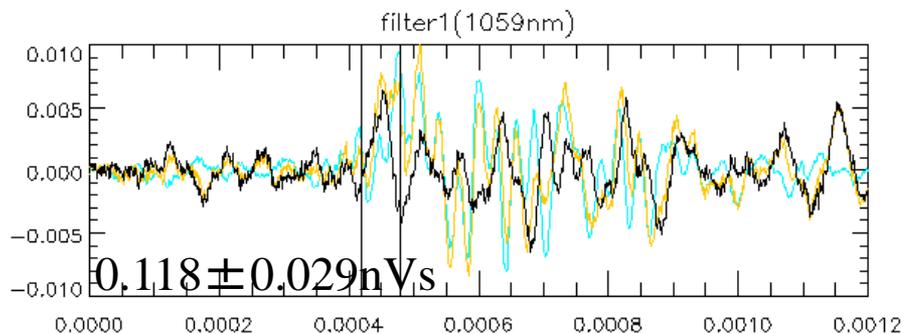
- 干渉計及びカメラ画像より分かった高密度領域
- 電流ジャンプ前では共鳴面付近
- 電流ジャンプ後ではプラズマ中心より外側の領域
- $R=400$ [mm]

測定プラズマ放電波形



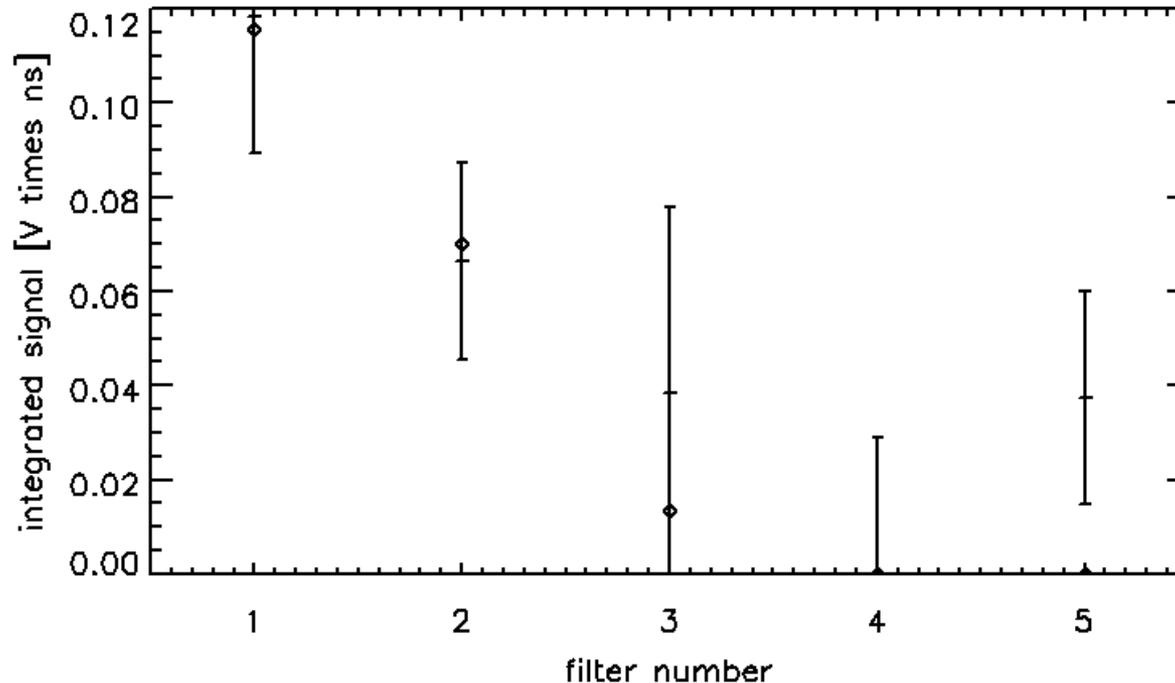
- ガスを通常より多く入れる。
- 小さめのプラズマを作る。→外側に近い領域を測定

信号重ね合わせ(34shot)



time(ms)

電流ジャンプ前(t=40ms)結果

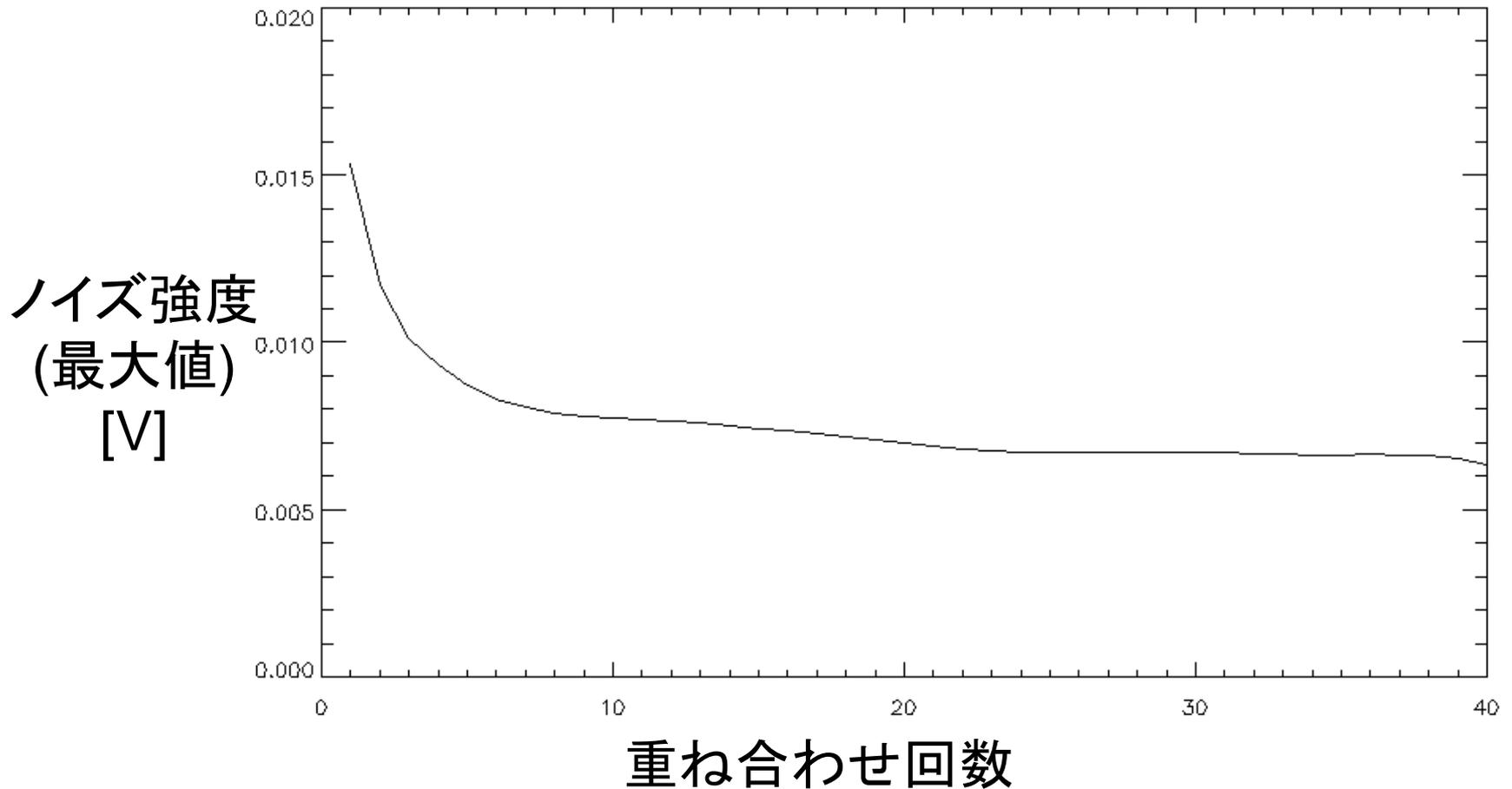


- $T_e = 3.0 \pm 1.1 [\text{eV}]$

- $n_e = 3.2 \pm 0.9 [\times 10^{17} \text{m}^{-3}]$

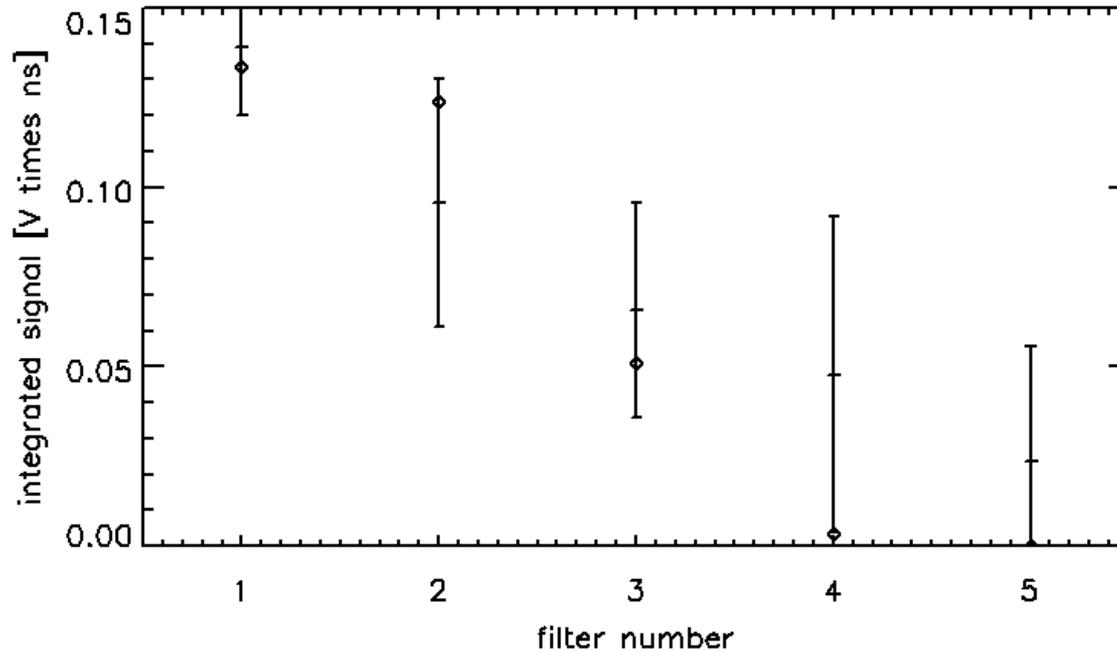
プローブ(R=500) $T_e = 11 [\text{eV}]$ $n_e = 8.5 [\times 10^{16} \text{m}^{-3}]$

重ね合わせ回数とノイズ



- 信号の大きさは0.006V→SN比は最大で1

電流ジャンプ後(t=99ms)結果



- $T_e = 4.9 \pm 1.3$ [eV]

- $n_e = 3.8 \pm 0.5$ [$\times 10^{17} \text{m}^{-3}$]

プローブ(R=500) $T_e = 16$ [eV] $n_e = 6.0$ [$\times 10^{16} \text{m}^{-3}$]

まとめ

- 信号の重ね合わせ及びレーザー電磁ノイズの除去を行い、SN~1程度の信号を得た。
- 20回以上の重ね合わせでSN比は改善しなくなる。

- 電流ジャンプ前(40ms)

$$T_e = 3.0 \pm 1.1 [\text{eV}], n_e = 3.2 \pm 0.9 [10^{17} \text{m}^{-3}]$$

- 電流ジャンプ後(99ms)

$$T_e = 4.9 \pm 1.3 [\text{eV}], n_e = 3.8 \pm 0.5 [10^{17} \text{m}^{-3}]$$

今後の計画

- (i) 同じようなプラズマのショットの重ね合わせの平均によってSN比を上げる。
→ 共焦点ミラーによるマルチパス計測数 μsec 以内にレーザーを数十往復
- (ii) ノイズ成分として非常に大きいレーザーの電磁ノイズを差し引く。
→ ラック等による電磁シールドによる対策

