

双方向型共同研究H22年度 「タンデムミラーGAMMA 10における トムソン散乱計測による電子温度計測」

筑波大学プラズマ研究センター 吉川正志

1. 研究組織
2. 研究の目的
3. GAMMA10トムソン散乱計測
4. 電子温度計測結果
5. H22年度のまとめとH23年度の計画

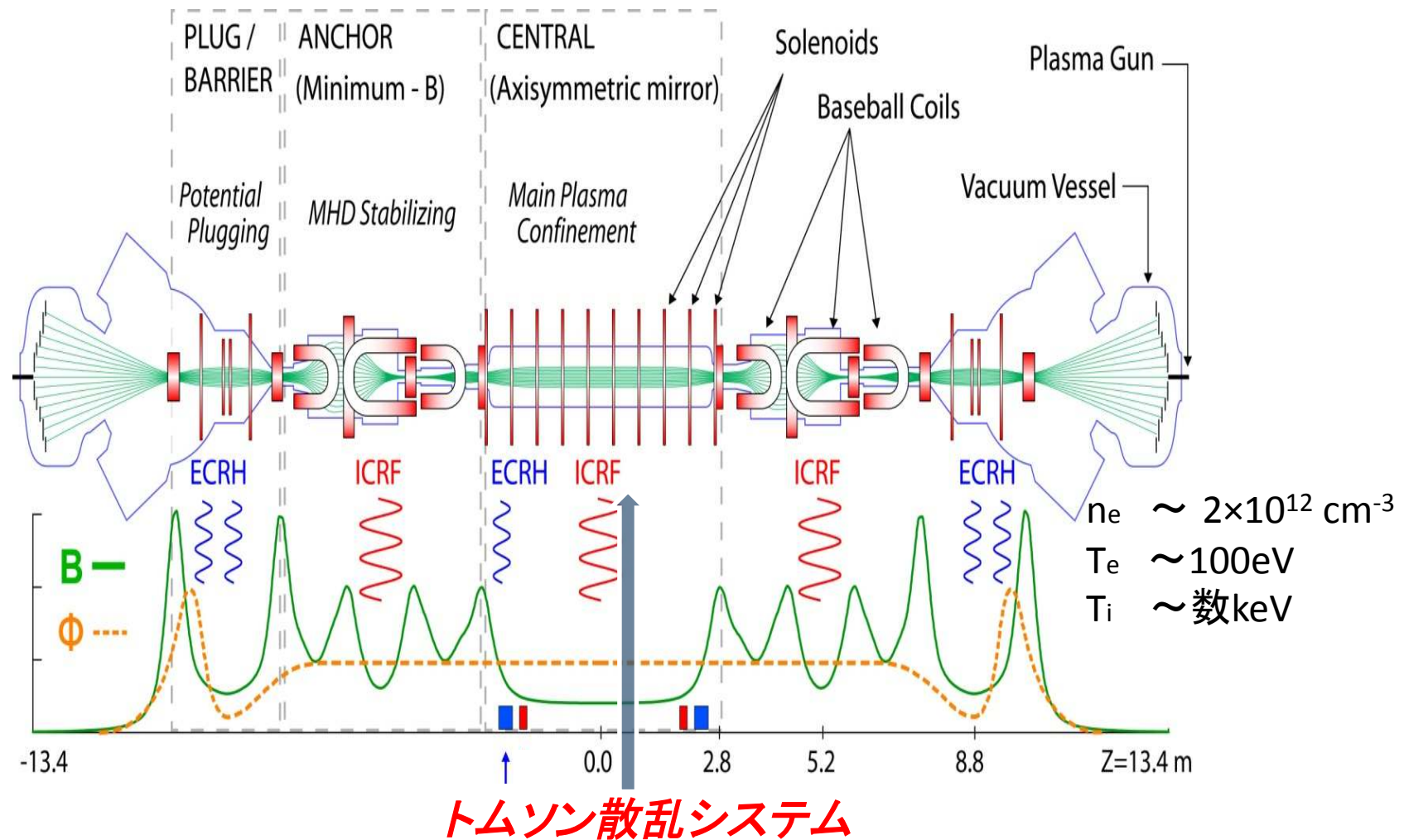
1. 研究組織

氏名	所属
吉川正志	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授
今井 剛	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授
市村 真	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授
中嶋洋輔	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授
小波蔵純子	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師
宮田良明	筑波大学・プラズマ研究センター・博士研究員
水口正紀	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・D2
今井寧央	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・D1
大野洋平	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・D1
谷口文彬	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・M2
川端一男	核融合科学研究所・教授
山田一博	核融合科学研究所・准教授
安原 亮	核融合科学研究所・助教
舟場 久芳	核融合科学研究所・助教
南 貴司	京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授

2. 目的

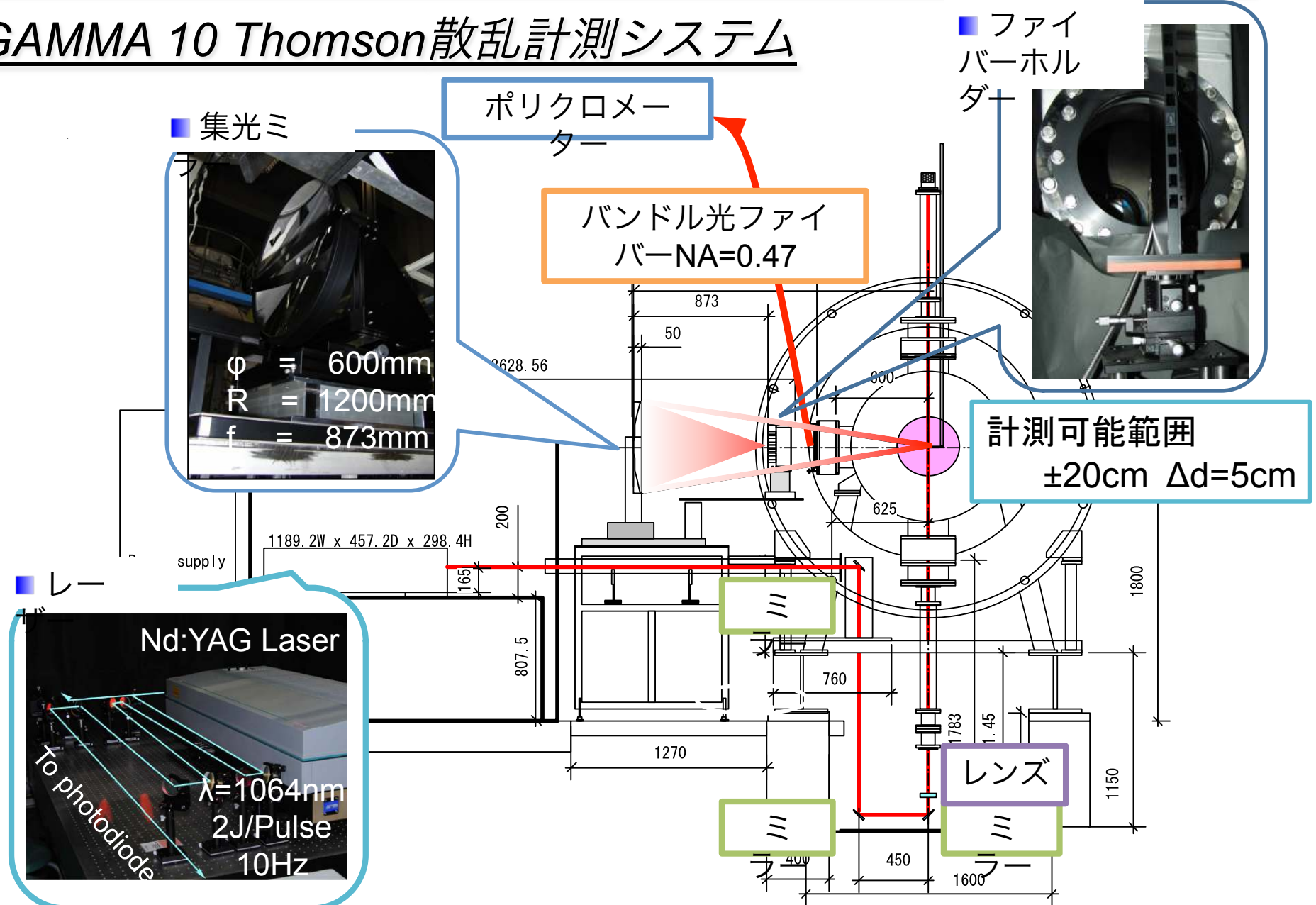
- GAMMA 10における電子温度計測を目的として、トムソン散乱計測システムを導入した。
- GAMMA 10では、C-ECH入射による電子直接加熱、P/B-ECH入射による揺動の抑制研究などが行われており、電子温度、密度の径方向分布の測定は重要である。
- GAMMA 10のプラズマ密度は、トーラス型核融合プラズマの周辺プラズマに相当しており、低電子密度領域での電子温度計測は、コアから周辺領域までのプラズマを詳細に調べるために重要である。

3-1. GAMMA 10 トムソン散乱計測

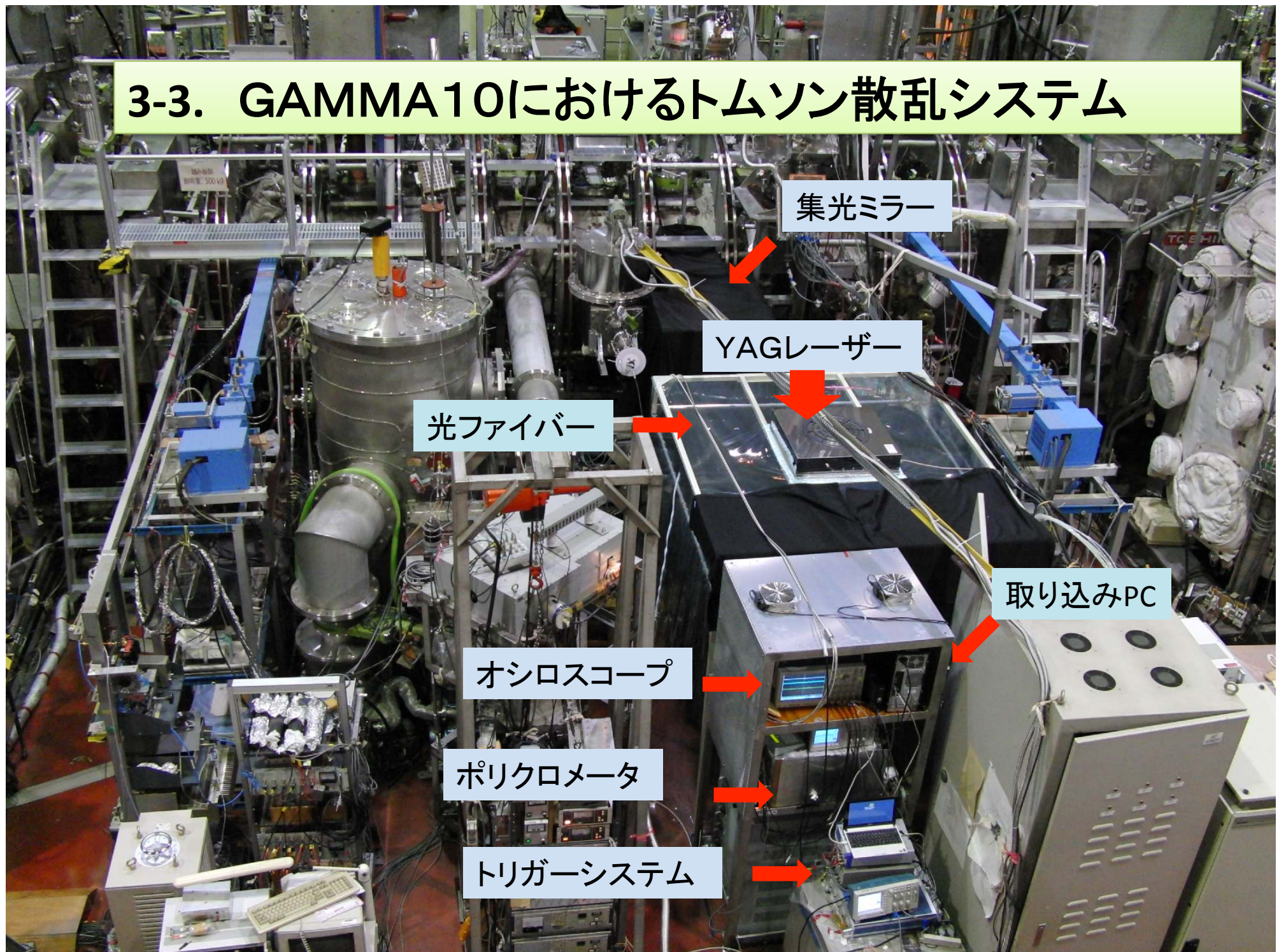


3-2. GAMMA10トムソン散乱計測

GAMMA 10 Thomson散乱計測システム



3-3. GAMMA10におけるトムソン散乱システム

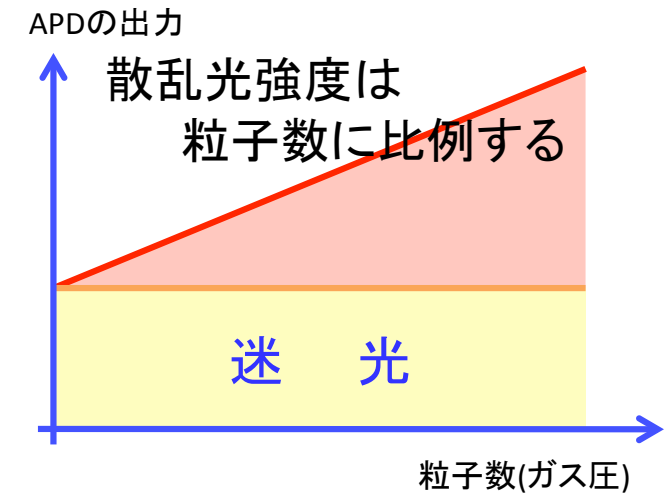


3-4. Raman散乱光の観測と迷光の見積もり

Raman散乱による校正

散乱体として窒素(N_2)ガスを用いた。GAMMA 10内の窒素ガスの圧力を変化させて $X=-10, 0, 10$ [cm]における散乱信号のデータを取得した。

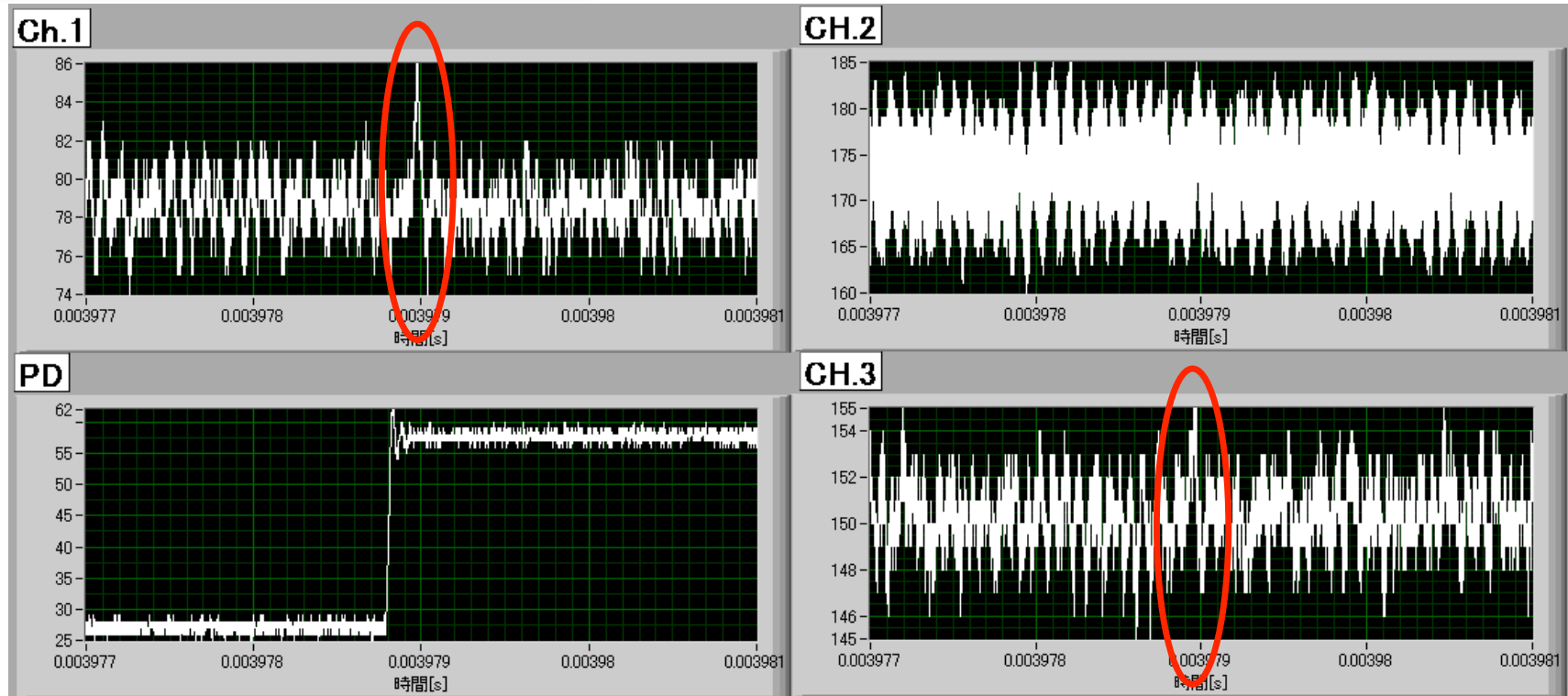
迷光の影響が小さい。実際にトムソン散乱計測を行う際には迷光の影響を無視できる。



3-5. 初期実験結果

Thomson散乱光の観測

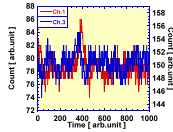
#216285 $t = 211\text{ms}$



2010年6月の実験でThomson散乱光が初めて
観測された。Ch.1とCh.3のみでしか観測で
きなかったため、電子温度を算出することは
困難であった。

3-6. 光ファイバーの改良

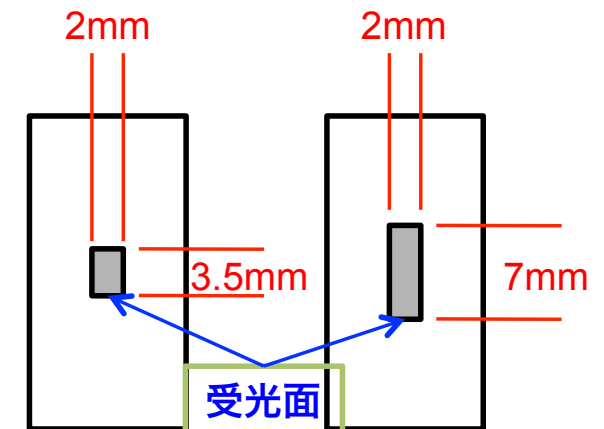
問題と解決策



S/N比が悪く、全てのチャンネルで散乱光を観測することはできなかった。電子温度を算出することは困難であった。これを解決するにはS/N比を上げる必要がある。



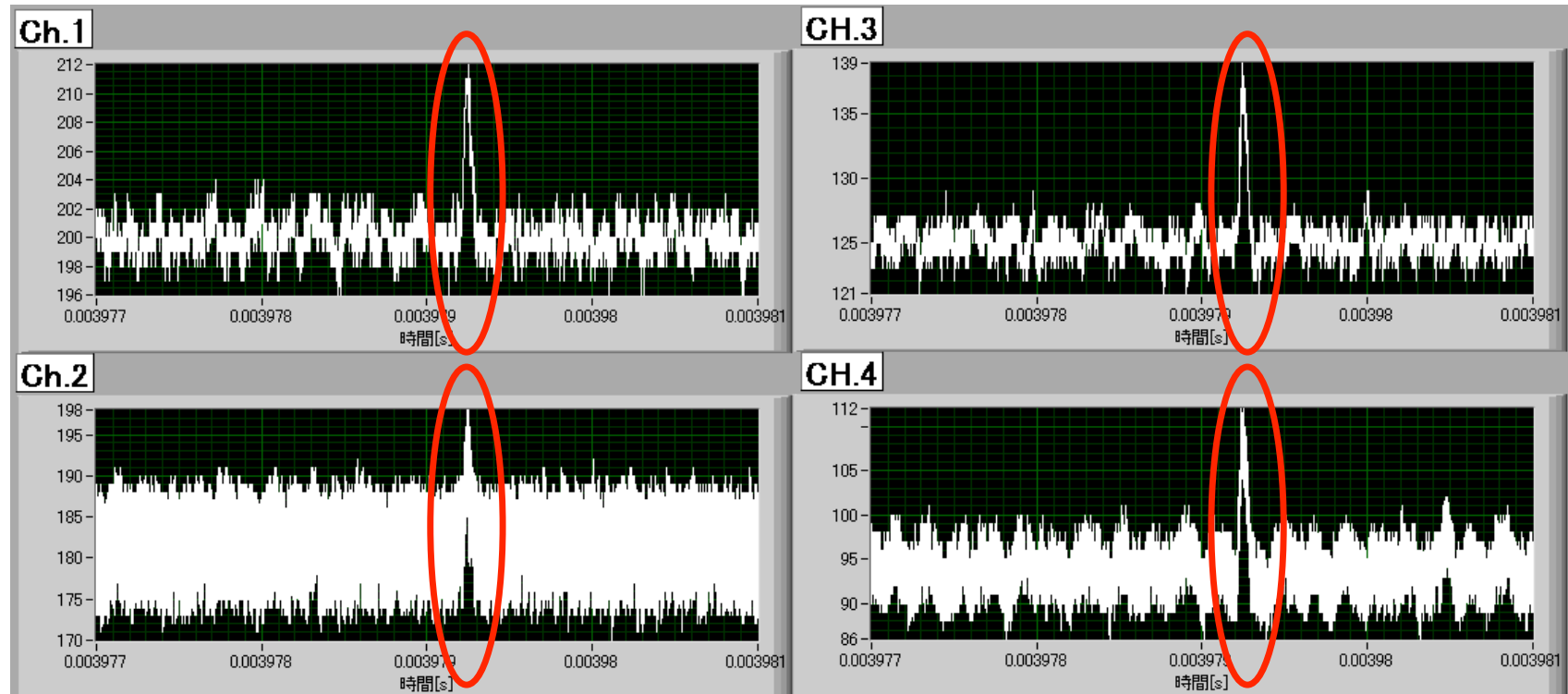
ノイズの大きさは既に数mVレベルまで低減されているので、ノイズをこれ以上大きく低減することは困難である。そこで光ファイバーの受光面積を2倍にすることで信号強度の増加を試みた。



3-7. 新光ファイバーにより信号量増加

✚ Thomson 散乱光の観測(改良後)

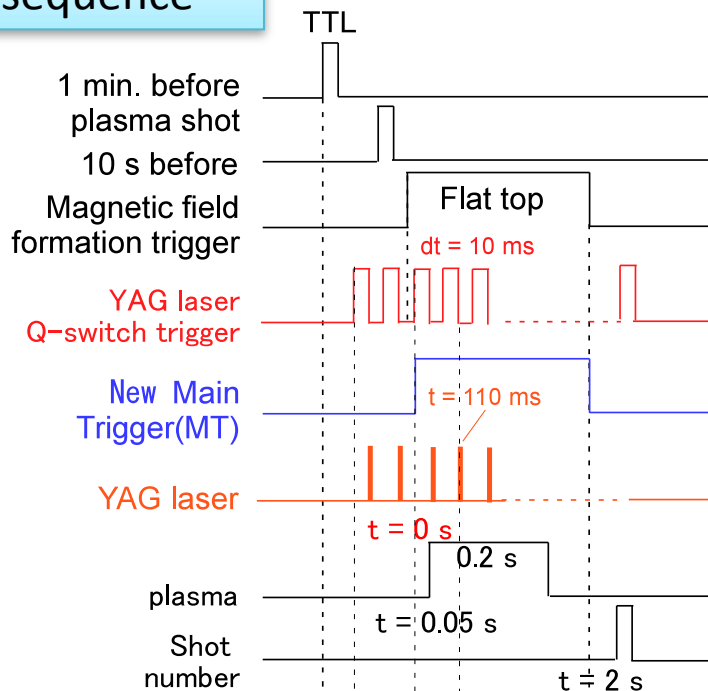
#216641 t = 141ms



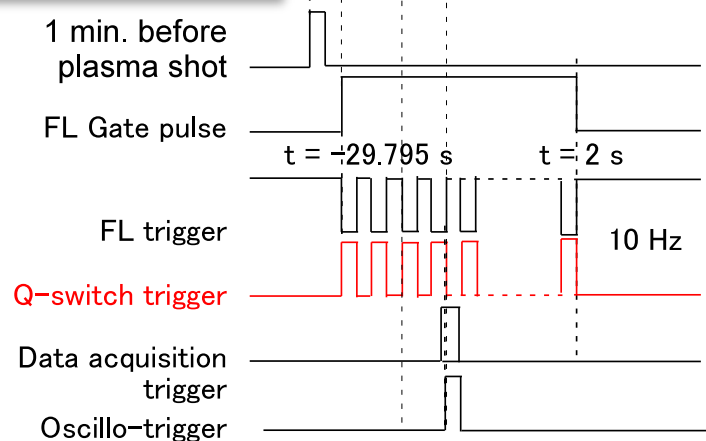
光ファイバーを改良したことにより **S/N** 比を2~4まで上げることに成功し、**4つの** チャンネルで散乱信号を得ることに成功した。

3-8. トムソントリガーシステム

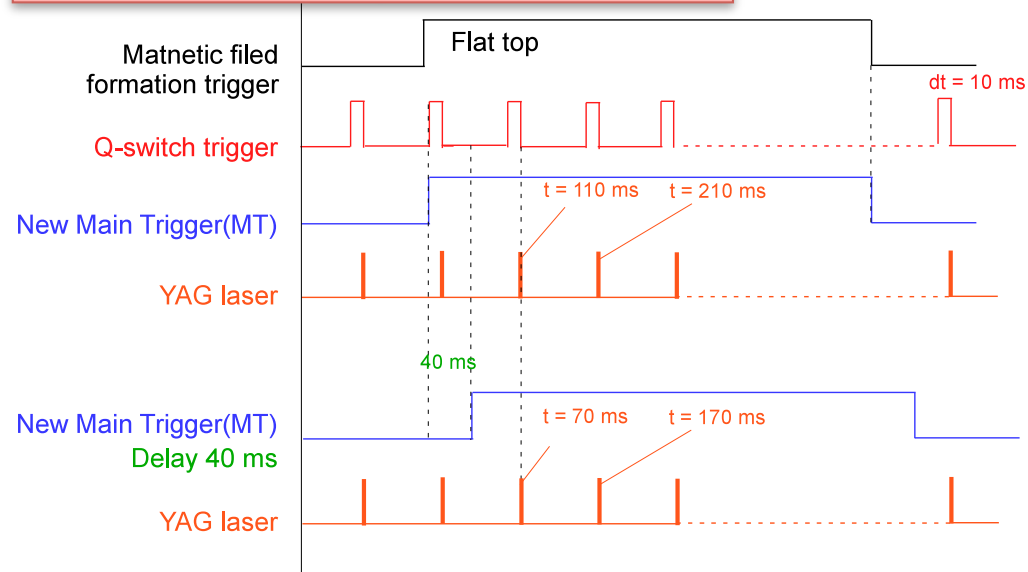
G10 sequence



Laser sequence



G10-Thomson exp. time table



Delay 0 ms $\rightarrow$ 110 ms 210 ms

10 ms $\rightarrow$ 100 ms 200 ms

20 ms $\rightarrow$ 90 ms 190 ms

30 ms $\rightarrow$ 80 ms 180 ms

40 ms $\rightarrow$ 70 ms 170 ms

50 ms $\rightarrow$ 60 ms 160 ms

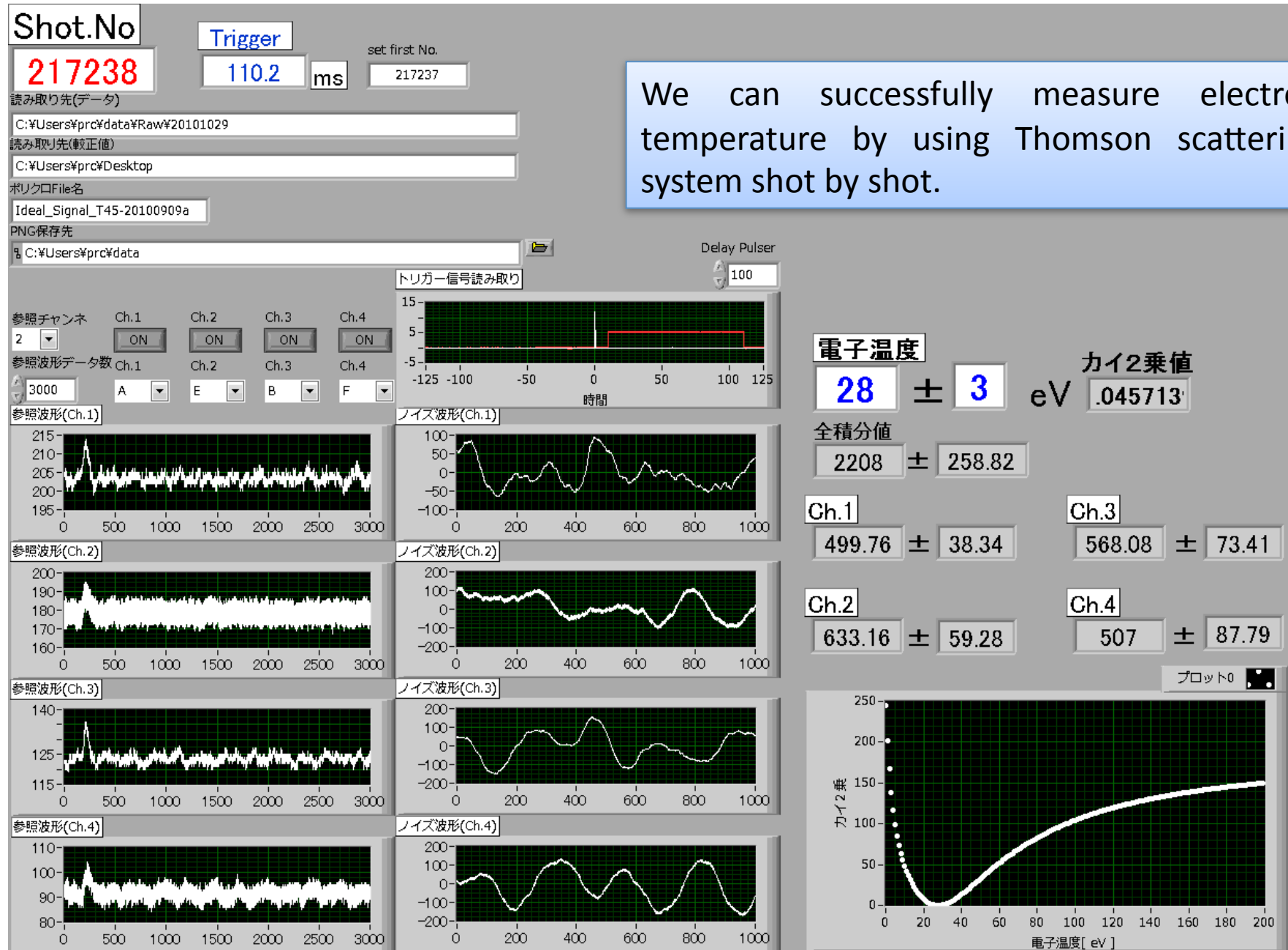
60 ms $\rightarrow$ 50 ms 150 ms

70 ms $\rightarrow$ 140 ms 240 ms

80 ms $\rightarrow$ 130 ms 230 ms

90 ms $\rightarrow$ 120 ms 220 ms

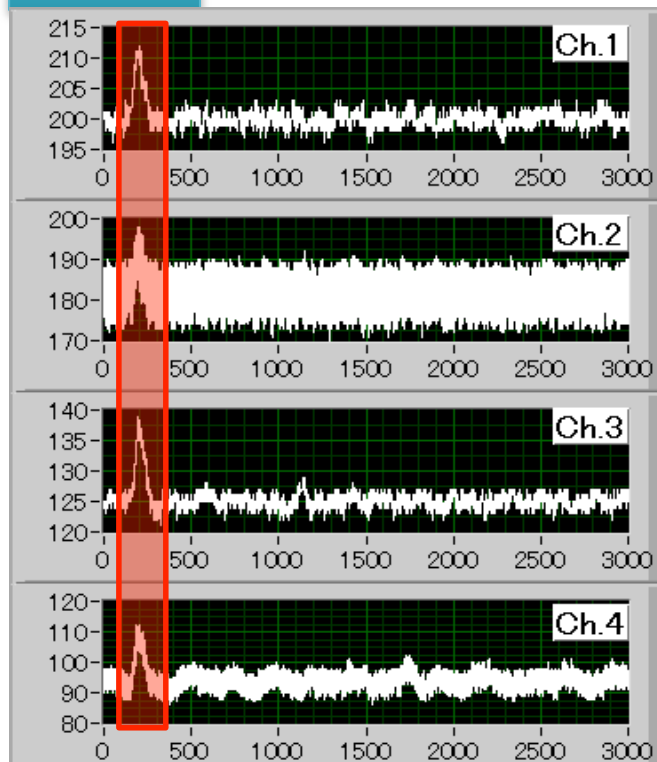
4-1. トムソン散乱計測による電子温度測定



4-2. 電子温度計測結果

電子温度算出法

積分値



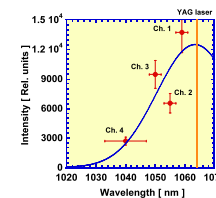
626.72±31.22

522.52±33.09

679.48±36.93

864.60±82.06

理論散乱光強度



電子温度: 40 eV

4-3. 電位と電子温度の関係

✚ 電位との比較

単純ミラーに閉じ込められた電子とイオンは、Pastukhov likeの閉じ込めでは、軸方向のイオンと電子の閉じ込め時間(τ_i, τ_e)は

$$\tau_i \approx \tau_{ii} \approx \frac{2 \times 10^{11}}{n \ln \Lambda} \frac{\sqrt{M}}{Z_1^2 Z_2^2} E_i^{2/3} \quad \tau_e \approx \tau_{ee} \frac{\phi}{T_e} \exp \left[\frac{\phi}{T_e} \right]$$

$Z_1=Z_2=M=1$ 、 $n_e=n_i$ の下で両極性条件 $\tau_e=\tau_i$ を解くと

$$\phi = 5 \sim 6 T_e$$



ここで ϕ はセントラル部とエンドプレート間の電位差である。セントラル部の電位はGNBPにより求めている。このグラフを見ると、**電位差は電子温度の約6.6倍となり、誤差の範囲内で上で求めた式に一致することが分かった。**

4-4. 電子温度分布

電子温度分布

ICRF時間帯



P/B-ECH時間帯



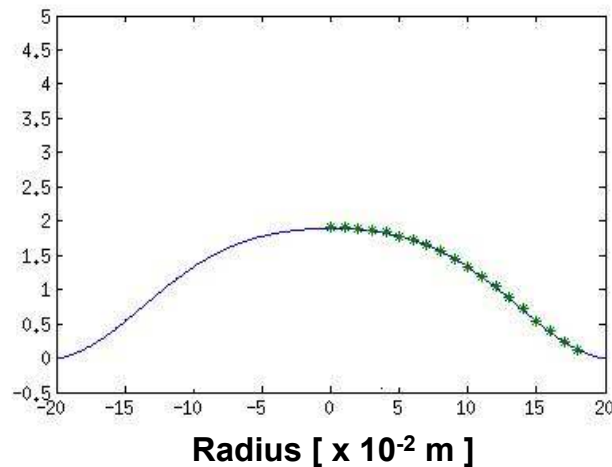
中心部

40eV → 80eV

周辺部

ほぼ変化なし

Electron density
[$\times 10^{18} \text{ m}^{-3}$]



5. H22年度のまとめとH23の計画

- H22年度までに空間1点、1時刻の電子温度計測が可能となった。
- トムソン散乱計測によるプラズマ中心部の電子温度は、ECH印加前で ~ 40 eV、ECH印加中では ~ 80 eVであった。
- GAMMA10-トムソン散乱計測システムの性能:
 - 計測電子温度範囲: $0.02 \sim 1$ keV ($\Delta T_e \sim 10$ eV)
 - 計測可能範囲: ± 200 mm ($\Delta d \sim 15$ mm、50 mm間隔)
 - 測定可能電子密度範囲: $\sim 5 \times 10^{11}$ cm $^{-3}$ 程度以上
- H23年度は、空間3点、2時刻の電子温度計測が可能となるように、ポリクロメーターを後2台製作する。また、空間多点計測のため、ADC(CAEN)の設定を行う。
- マルチパストムソン散乱計測システムの構築を行う。(LHD計画共同研究)

これまでの研究成果

<査読付論文>

- M. Yoshikawa, et al., “Measuring Electron Temperature in the Tandem Mirror GAMMA 10 Plasma Using a Yttrium-Aluminum-Garnet Thomson Scattering System, Plasma and Fusion Research, Volume 6, 1202095 (2011)

<査読無論文>

- M. Yoshikawa, et al., “Installation of Thomson Scattering System in GAMMA 10”, Annual Report of NIFS, April 2009-March 2010, Nov. 2010, p. 489.

<学会発表等>

- 吉川正志、他「GAMMA10におけるThomson散乱計測システムによる電子温度計測 I」第27回プラズマ・核融合学会年会、北海道大学学術交流会館(北海道)、2010年11月30-12月3日[01P06].
- 谷口文彬、他「GAMMA10におけるThomson散乱計測システムによる電子温度計測 II」第27回プラズマ・核融合学会年会、北海道大学学術交流会館(北海道)、2010年11月30-12月3日[01P07].
- 森本真人、「ガンマ10におけるトムソン散乱計測による電子温度計測」、平成22年度 研究会「原子分子光の素過程とプラズマ分光の研究フロンティア」、平成23年2月2日(水)13:30~2月4日(金)、核融合科学研究所管理棟4階 第1会議室
- 吉川正志、他「タンデムミラーGAMMA 10におけるトムソン散乱計測システムの導入」プラズマ・核融合学会、第26回年会、京都府京都市国際交流会館、2009年12月1-4日、2aD02P
- 谷口文彬、「GAMMA10におけるトムソン散乱計測システムの導入」、平成21年度核融合科学研究所共同研究 46th Annual Meeting on Atomic Processes in Plasmas 「原子分子光の素過程とプラズマ分光の研究フロンティア」研究会、平成22年1月18日(月)-19日(火)、核融合科学研究所シミュレーション科学研究棟 102 会議室(1F)

<学位論文>

- 修士(理学)論文 谷口文彬「GAMMA 10におけるThomson散乱計測システムの導入と電子温度計測」