

GAMMA 10におけるECH印加時の 径方向電位分布及び電位揺動測定

筑波大学プラズマ研究センター
垣内秀人 宮田良明

1. 背景・目的
2. GAMMA 10
3. 金中性粒子ビームプローブ(GNBP)装置
4. 径方向電位分布及び電位揺動測定
5. 改良案
6. 結論

背景

強い径方向電場シアー $-dE(r)/dr$ が形成され、それに伴う半径方向の著しい閉じ込め改善が急速に進展している。(GAMMA 10)

//

H-modeなどの閉じ込め改善状態(トカマク、ヘリカル装置等)

概要

目的

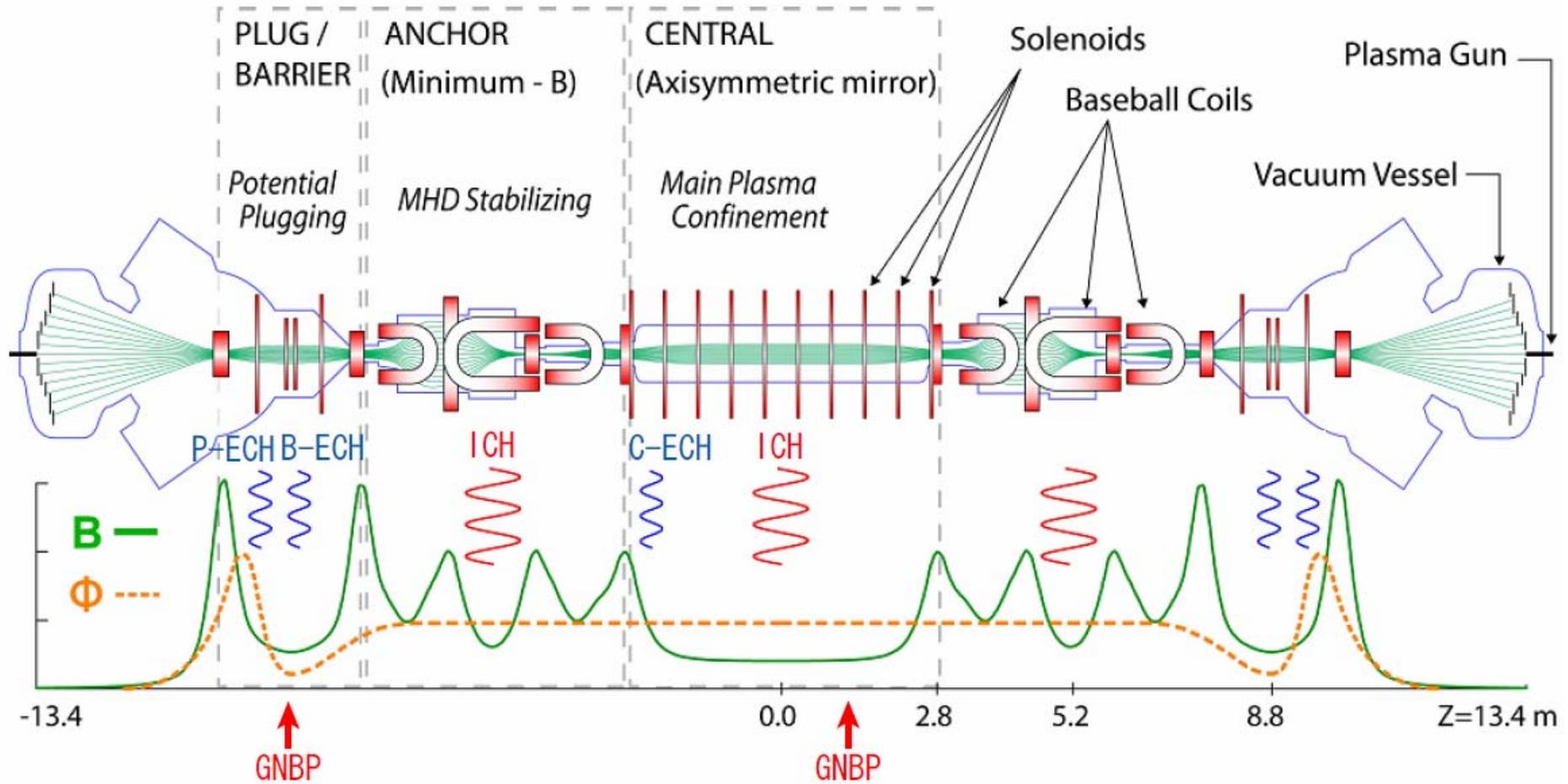
金の中性粒子ビームプローブ(GNBP)を用いて、GAMMA 10における電場シアーによる効果の知見を得る研究の基礎を築く。

実験

主閉じ込め領域に設置された GNBPにより電子サイクロトロン加熱(ECH)印加時の径方向電位分布、電位揺動を測定した。GNBP装置では、プラズマ中の同一の場所の電位と電位揺動を高速で測定できるため、電位分布や電位揺動の空間時間変化を得る事ができる。

解析

径方向電位分布から電場シアーを導出し、電位揺動と比較した。



ECH

セントラル部(電子温度上昇)

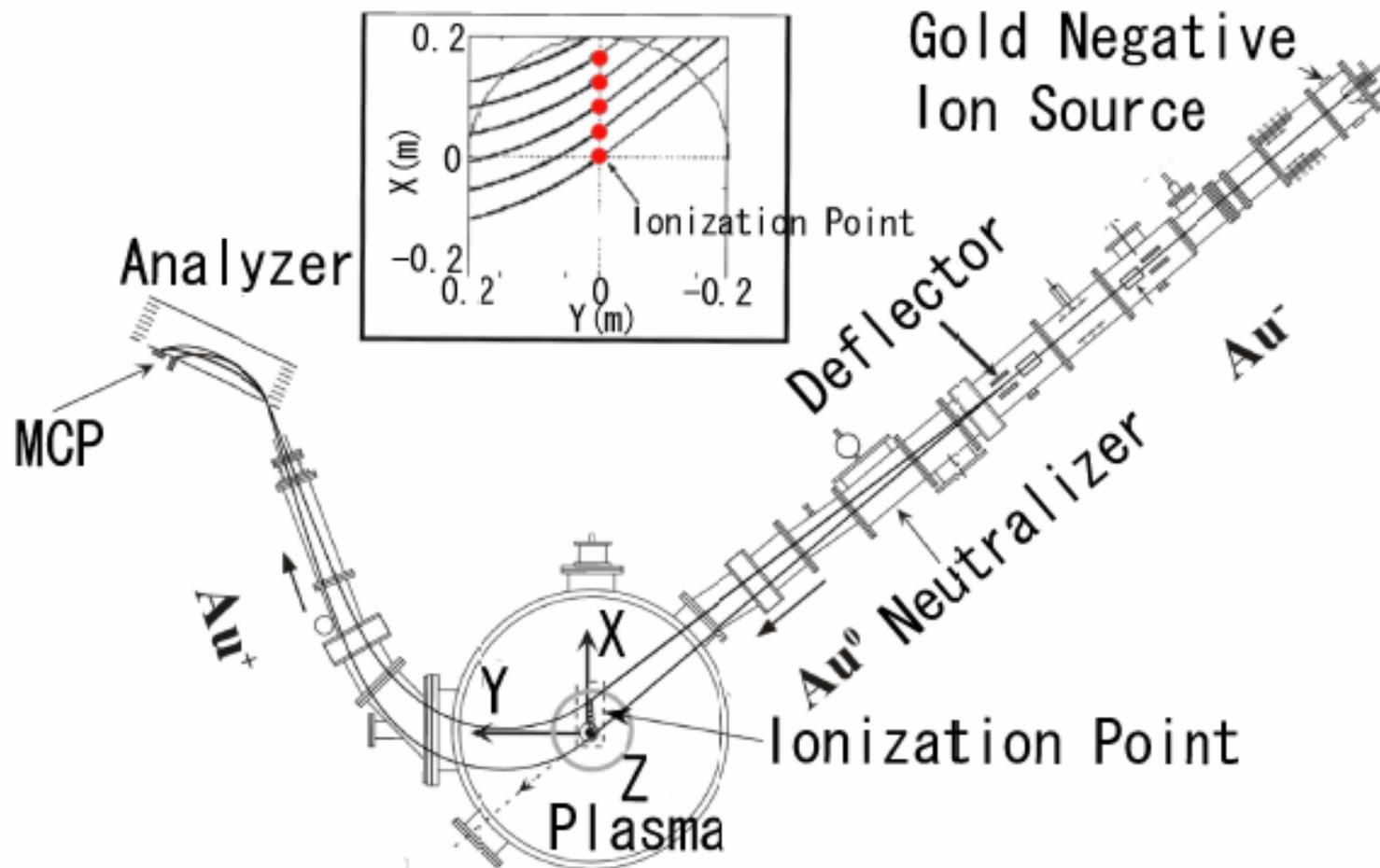
バリア部(熱障壁電位形成)

プラグ部(プラグ電位形成)

GNBP

セントラル部(セントラル電位計測)

バリア部(熱障壁電位計測)



電位測定

- 通常 shot mode
- 固定 shot mode
- Sweep mode

R=0(m)(X=0(m)、Y=0(m))の電位を測定
各Rでの電位を測定

1shotで径方向の電位分布がスキャンできる。

去年度まで

目的:不安定性の研究(ドリフト不安定性、フルート不安定性、etc)

測定:Sweep(80-100Hz)

解析:FFT解析(周波数、位相差、粒子フラックス、etc)

今年度から

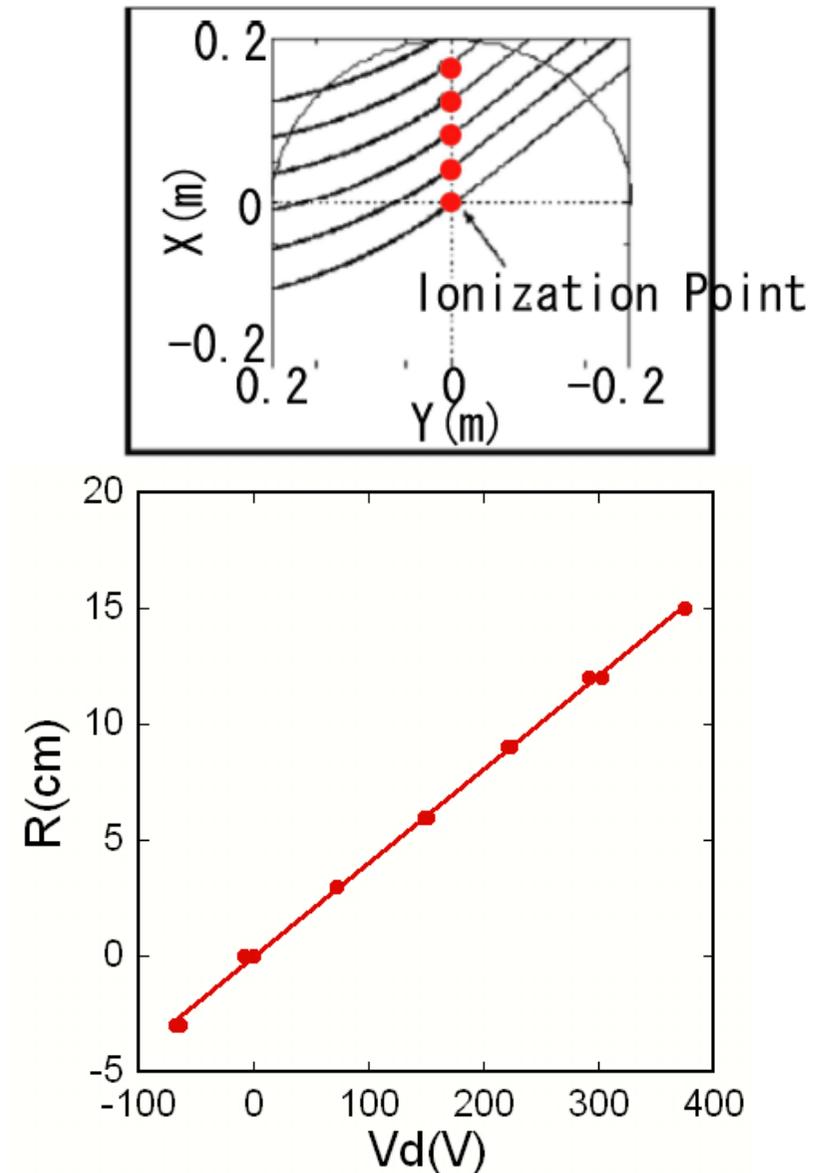
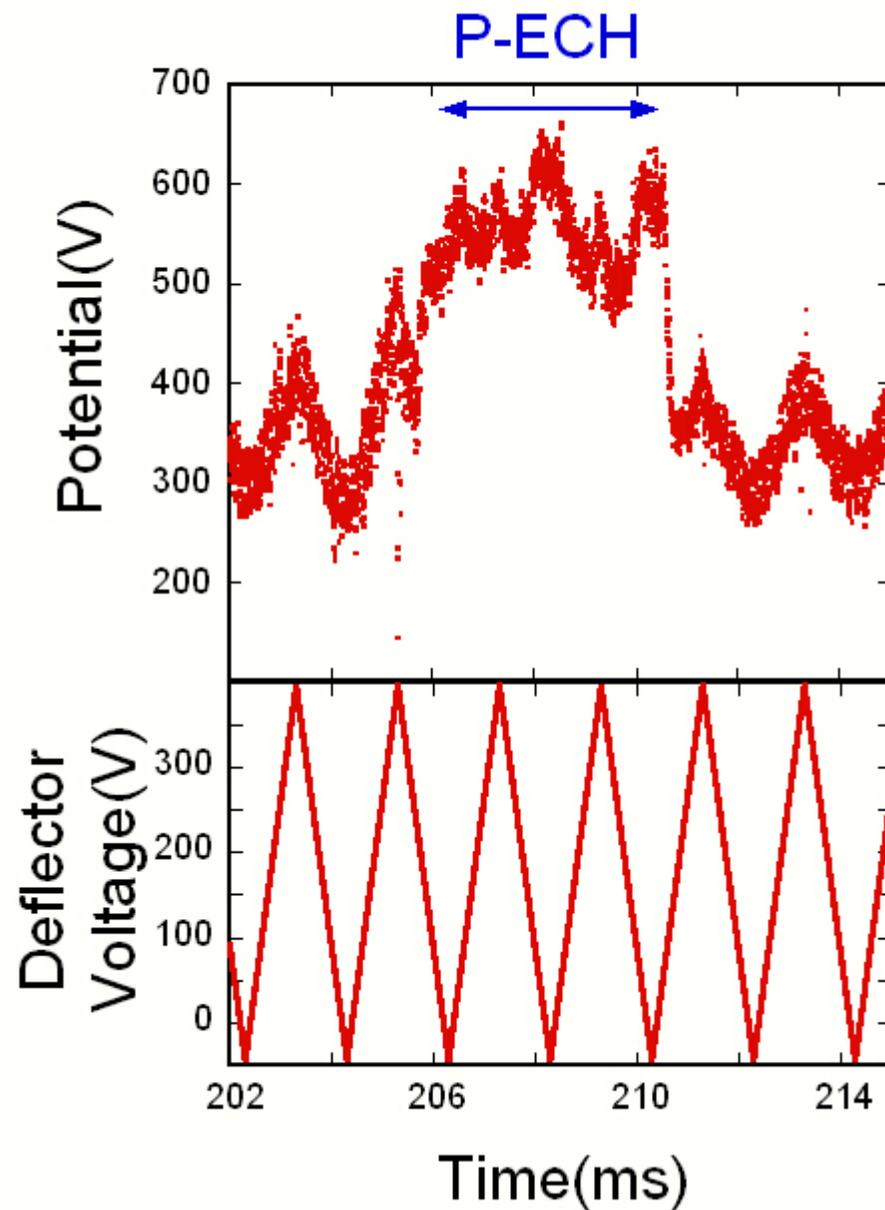
目的:去年度+電場シアーによる効果

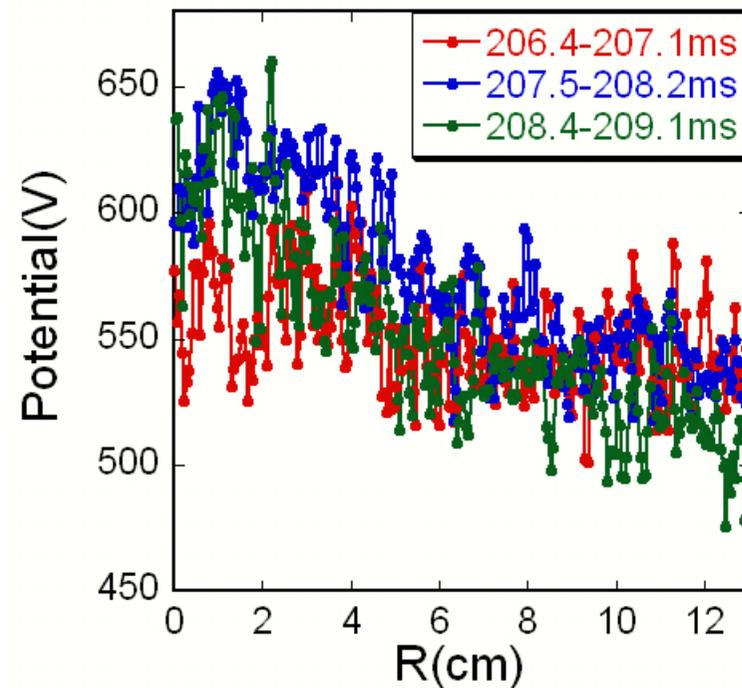
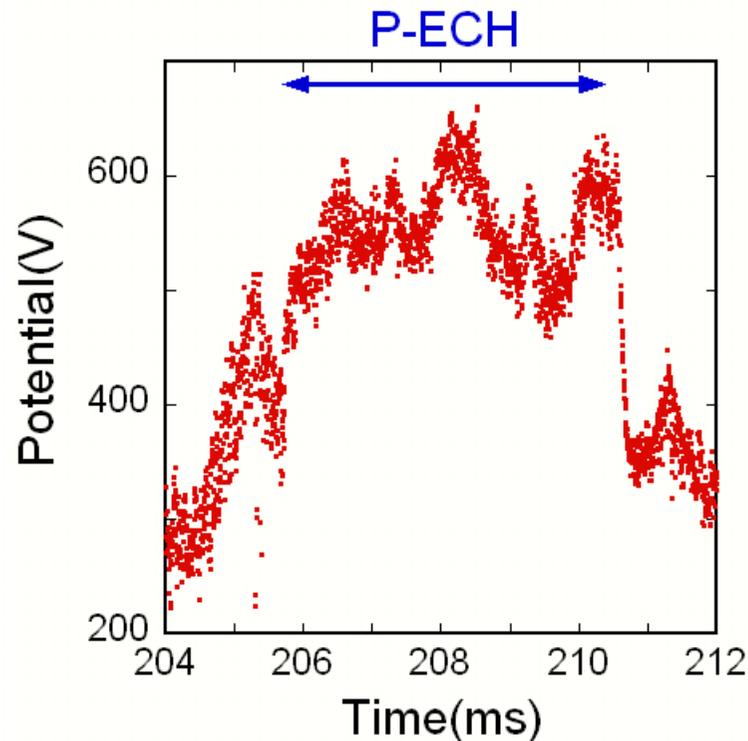
測定:Sweep(500Hz)

解析:標準偏差

500Hzでビームを径方向に振る事により、ECH印加時の径方向電位分布の時間変化がより詳細に測定する事ができる。しかし、測定位置が高速で移動するため、FFT解析が難しい。そこで、標準偏差を用いて電位揺動を評価する。

径方向電位分布測定 (Sweep:500Hz,R=0-13cm)





206ms : プラズマ中心の電位が低く、平坦な分布になる。

207ms : 中心の電位が高くなり、勾配を持つような分布となる。

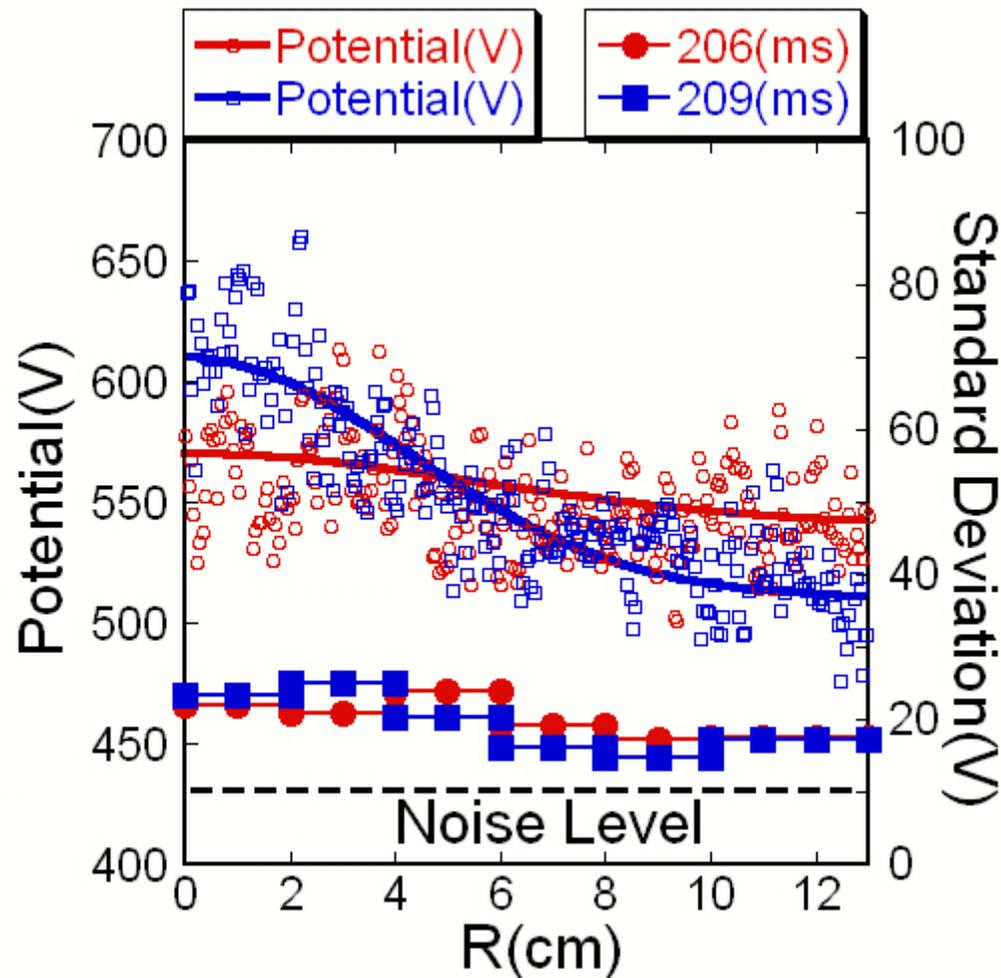
209ms : ほぼ207msと同じ分布になっている。

このshotでは、電位分布が落ち着くまでにP-ECH印加直後から約2ms程度必要な事が分かる。

また、どの時間の分布に対しても、各径方向位置で電位のばらつきがある。

このばらつきは、揺動によるものと考え、揺動解析を行なう。

また、この時の電場、電場シアーも導出する。

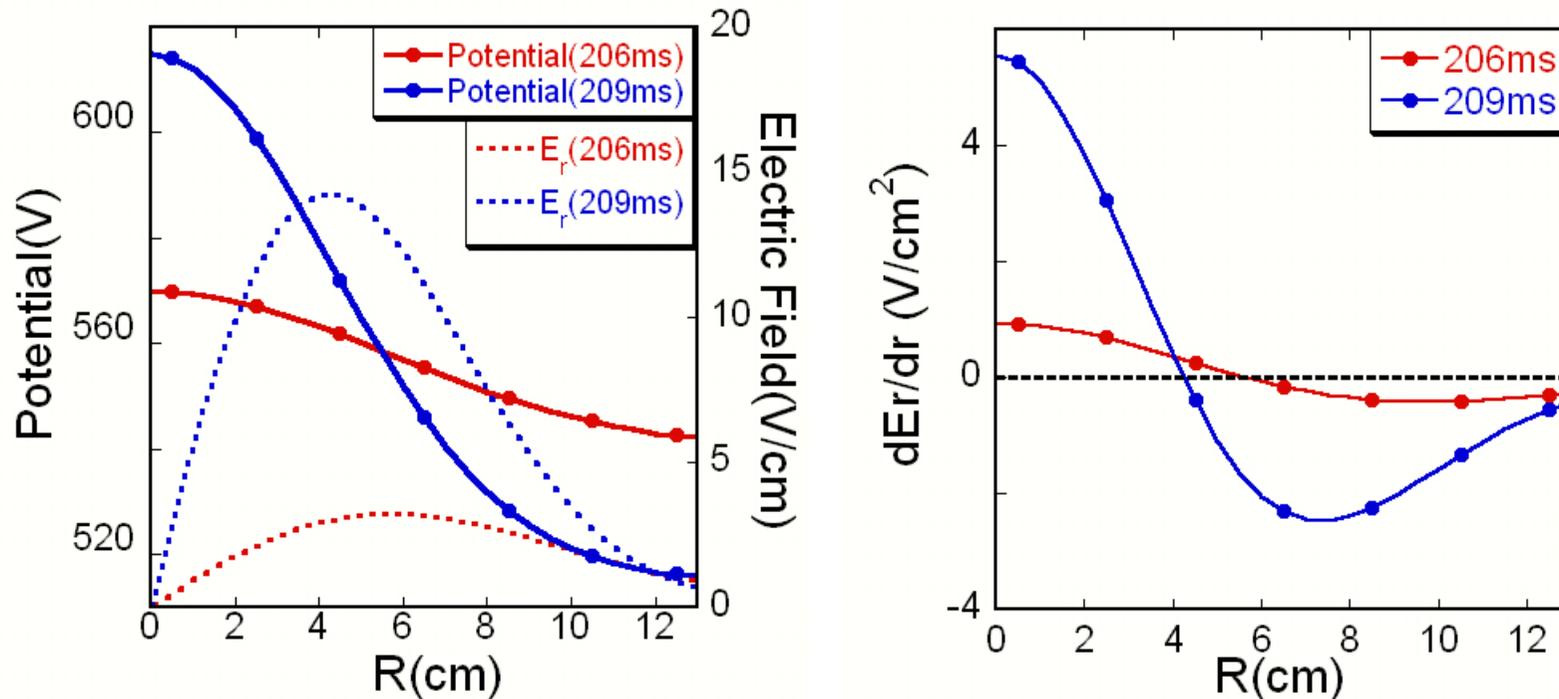


径方向位置を2cmずつに区切り標準偏差をとった。

GNBP装置のノイズレベルより大きい揺れなため揺動であると考えられる。

この解析に用いたshotでは、206msと209msでは、標準偏差に違いがあまり見られなかった。

電場シアアの比較



206ms→中心の電位が低く、電場シアアは径方向全体的に弱い。
 209ms→中心の電位が高くなり、電場シアアは206msに比べ径方向全体的に強くなる。

しかし、本研究に用いたshotでは、電場シアアの強度が変わっても揺動の抑制が見られなかったため、このshotでの揺動のソースに対して、抑制が行なわれるために必要な各径方向位置でのシアアフローの速度差を作るほどの強い電場シアアとまではいかなかったと考えられる。

現在の標準偏差を用いた電位揺動解析を多数のshotを用いて行う事で、揺動強度と電場シアの強度の関係が明らかになると考えられる。

問題点

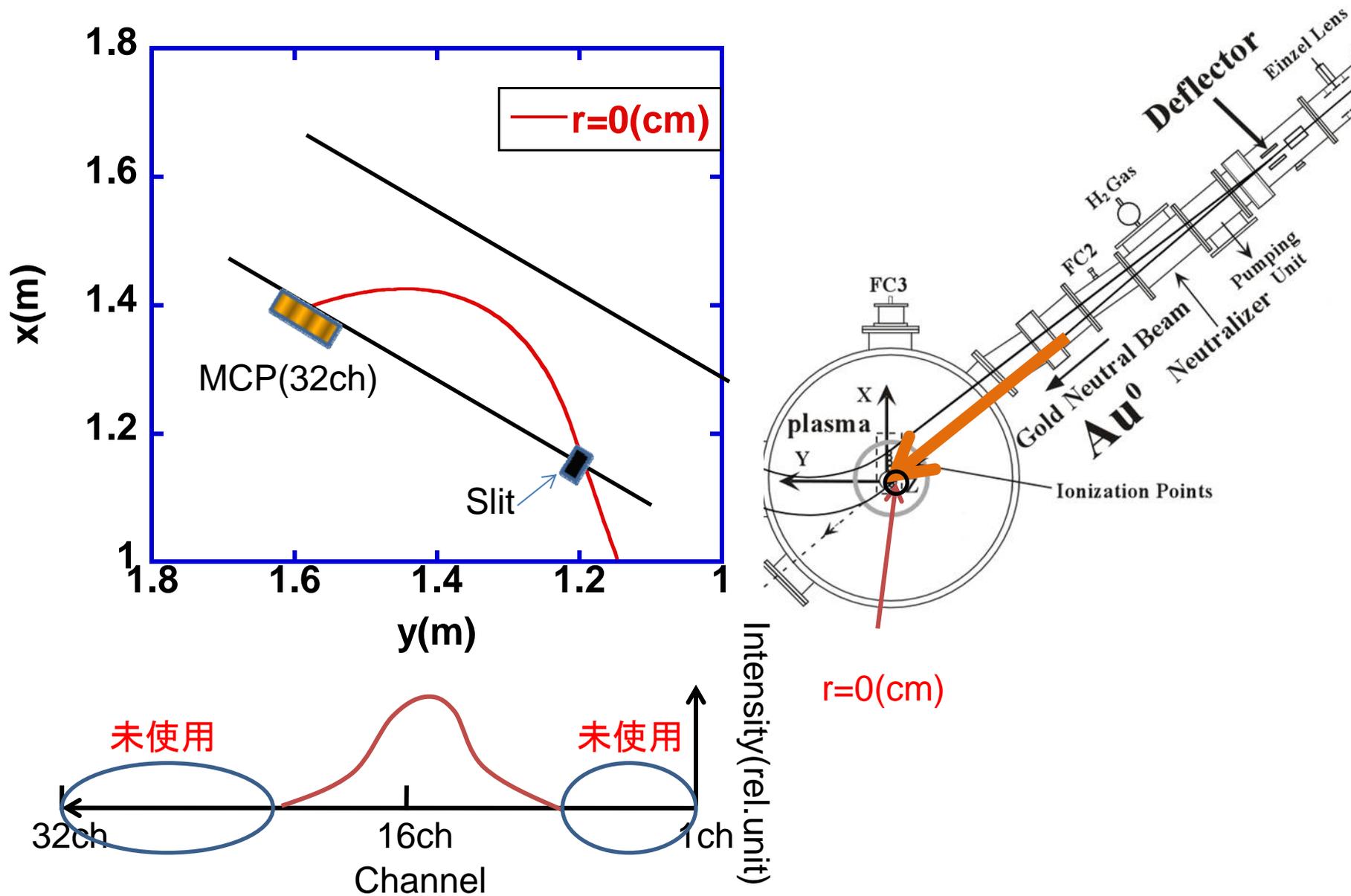
現在の500Hzでビームを径方向に振る計測法でも、プラズマの変化に対しては遅いため、電位揺動の瞬間的な空間構造を知る事が困難となっている。

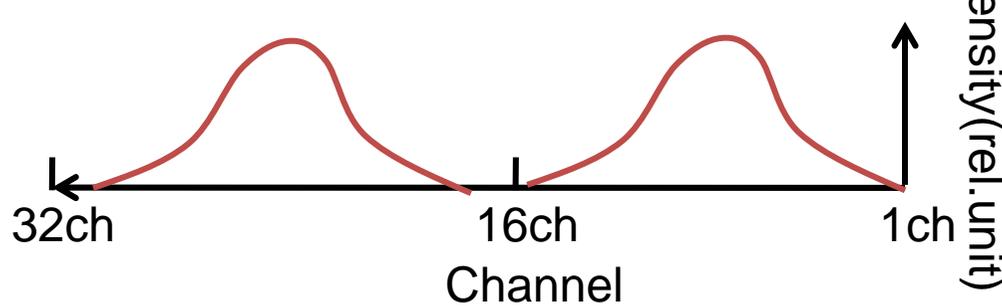
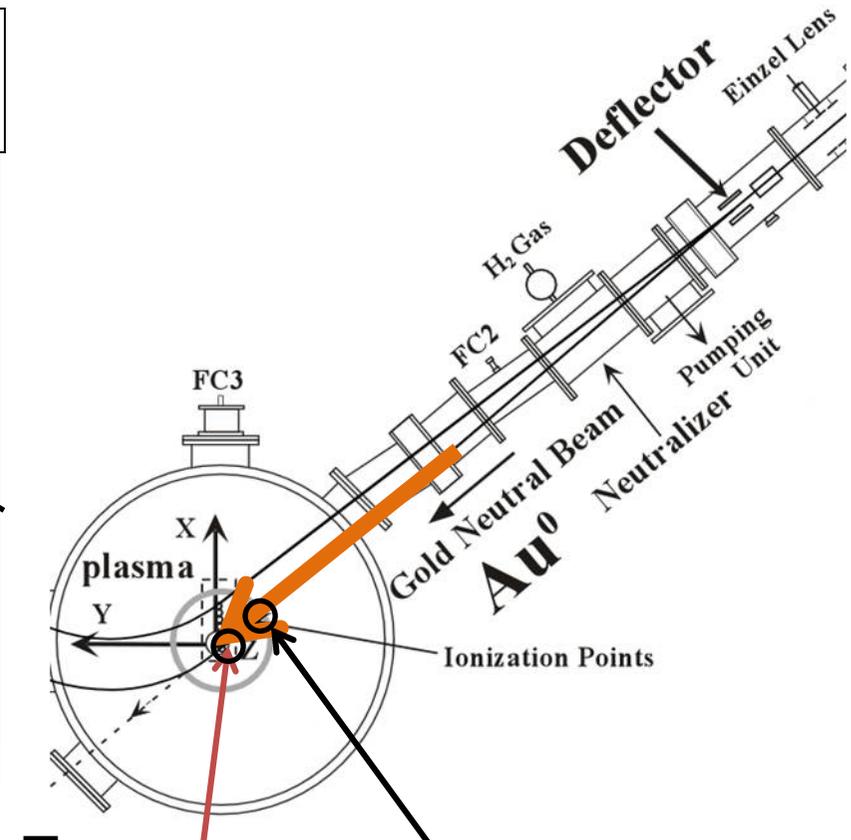
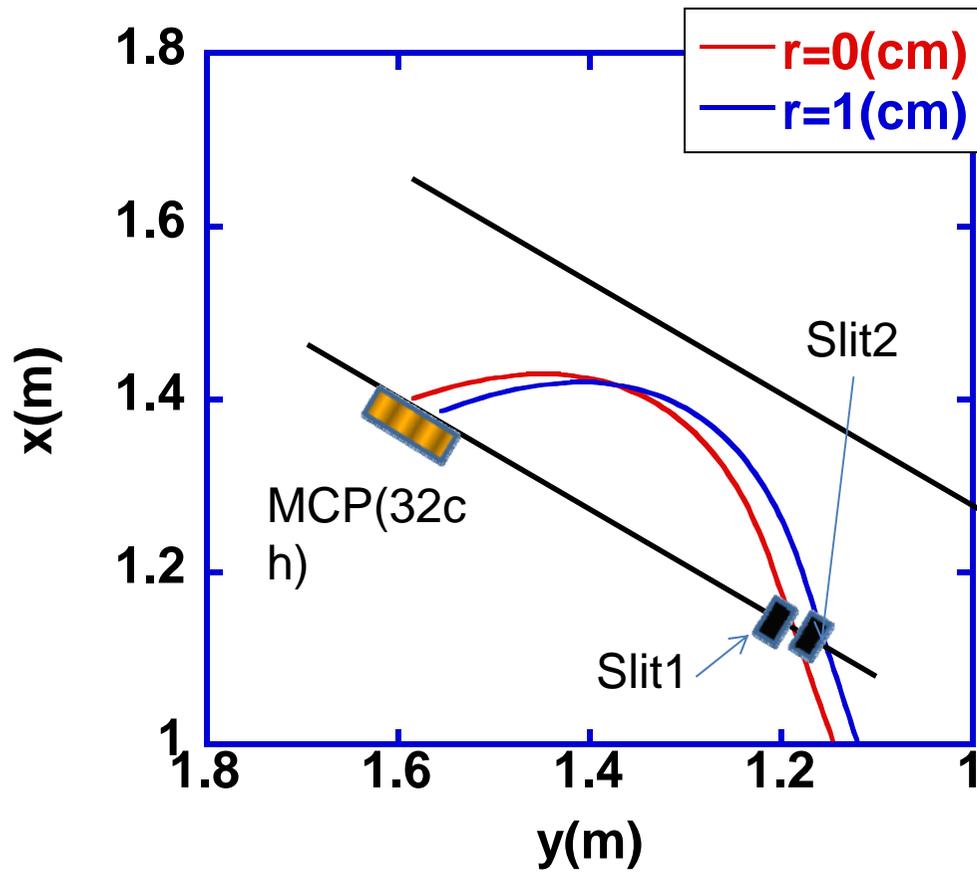


改良案

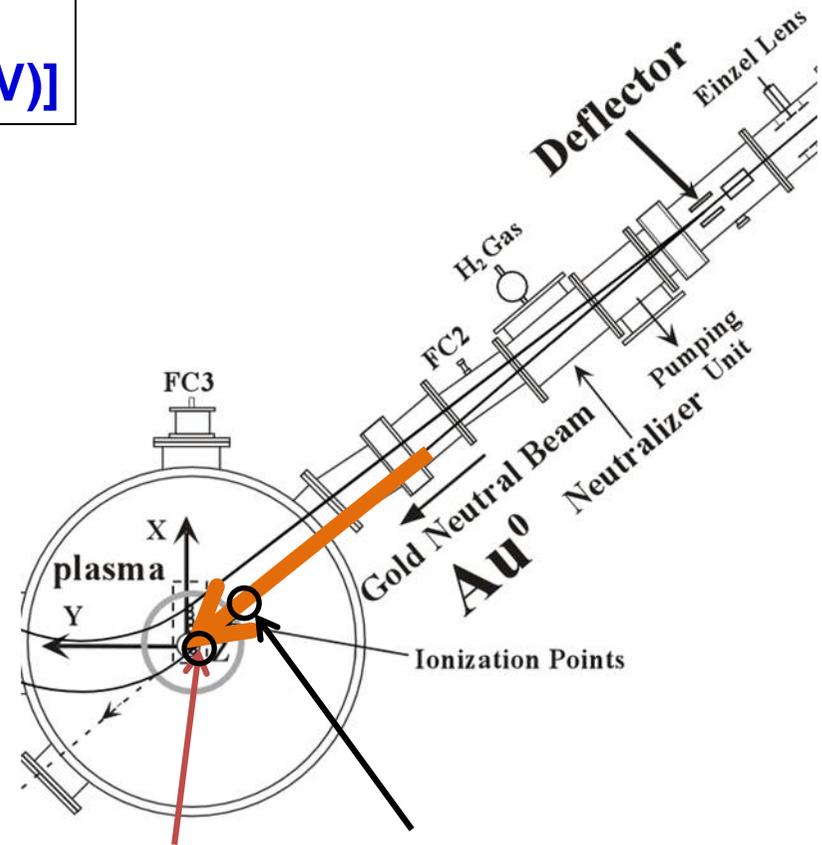
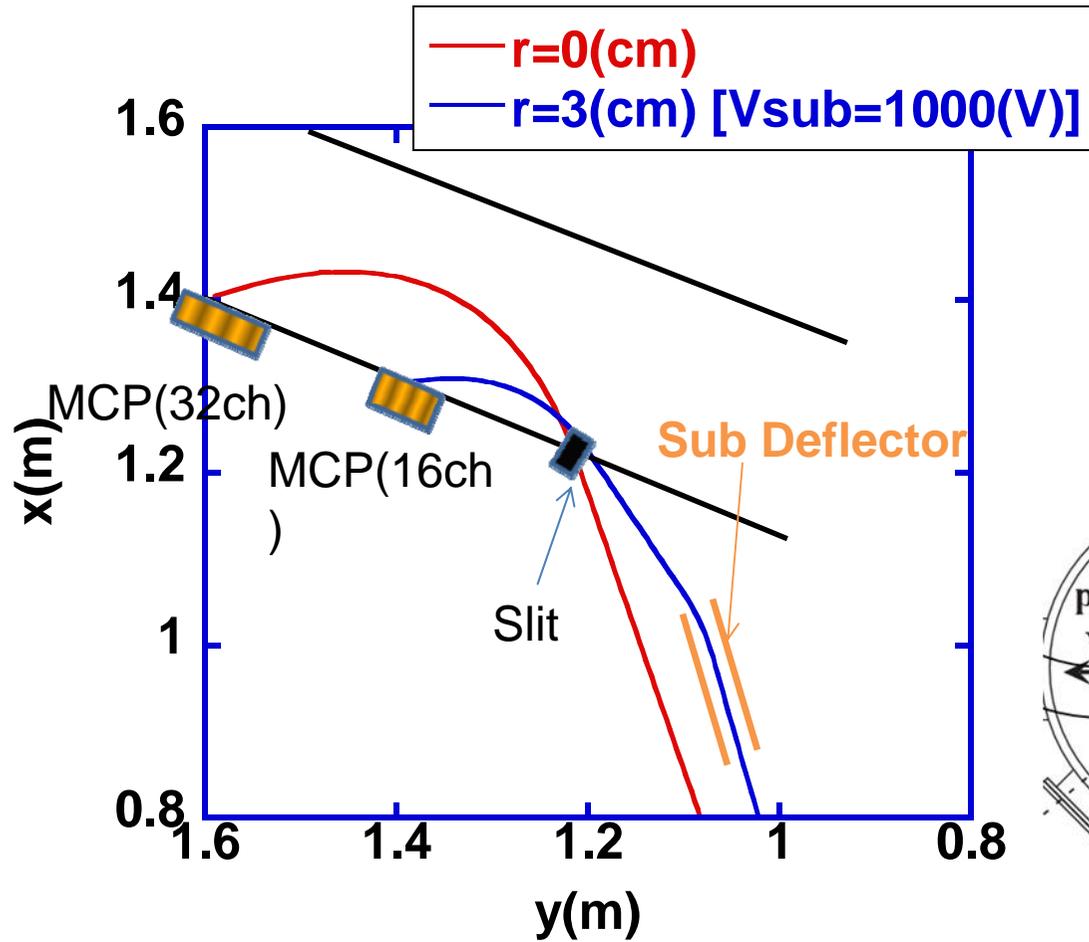
アナライザーを改良し、空間二点計測を行う。常時、二点を計測する事により、プラズマの変化に対応できると考えられる。

軌道計算より、この二点間の距離を導出し、最適な改良を探っている。





- 特徴
- ・ $\Delta r=1(\text{cm})$ を測定することが可能。
 - ・ スリットの交換等、簡易改良なので早期の実験開始が可能。



[Spec of Sub Deflector]

- ・平行平板型電極
長さ 7(cm), 間隔 1(cm), 電位差 1000(V)

$r=0(\text{cm})$ $r=3(\text{cm})$

●特徴

- ・ $\Delta r=3(\text{cm})$ を測定することが可能。
- ・ プラズマ内部構造を詳細に計測することが可能。

1.GNBPを用いた電場シアアの効果の知見を得る研究の基礎を築いた。

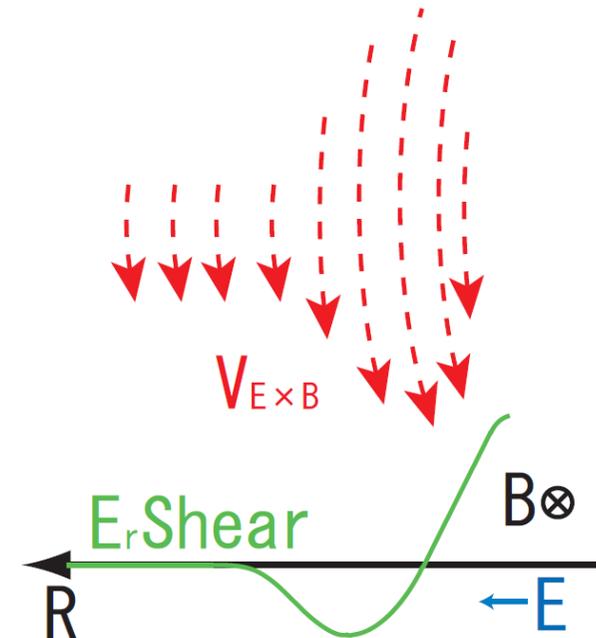
- ①ビーム掃引周波数を500Hzにし、ECH印加時の電位分布の時間変化を調べた。
- ②各径方向位置での電位揺動を標準偏差を用いて評価した。
- ③電場シアアを径方向電位分布から導出し、電位揺動と比較した。

2.改良案

- ①スリットを新たに設置する事により $\Delta r=1\text{cm}$ を確保できる。
- ②MCPを増設する事により $\Delta r=3\text{cm}$ を確保できる。

P-ECHの高出力化により、セントラル部に強い電場シアーが形成。

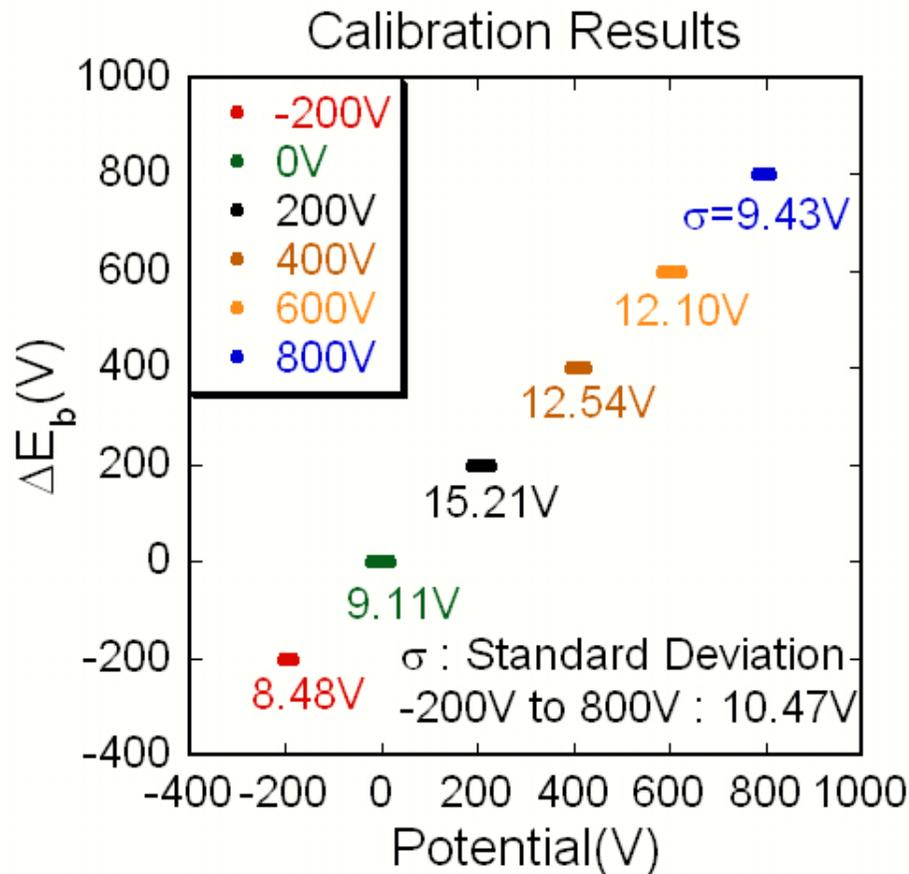
$$\begin{aligned} \frac{dE_r}{dr} &= -\frac{d^2\Phi_C(r)}{dr^2} = -\frac{d^2}{dr^2} \left(\Phi_C(0) \exp\left[-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right] \right) \\ &= 2\left(\frac{1}{a}\right)^2 \left[1 - 2\left(\frac{r}{a}\right)^2 \right] \times \left(\Phi_C(0) \exp\left[-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right] \right) \\ &= 2\left(\frac{1}{a}\right)^2 \left[1 - 2\left(\frac{r}{a}\right)^2 \right] \times \Phi_C(r) \propto \Phi_C(0) \end{aligned}$$



∴ 高電位生成は強い電場シアー形成に直結する

セントラル部電位 Φ_C は、ガウス分布 $P_{ECH}(0)(\exp[-(r/a)^2])$ を持つP-ECHパワーで作られるプラグ電位 Φ_P に「磁力線に沿って直結」しており、 Φ_P の増大と共に Φ_C も増大する。 dE_r/dr は $\Phi_C(0)$ 又は P_{ECH} と共に増大する。

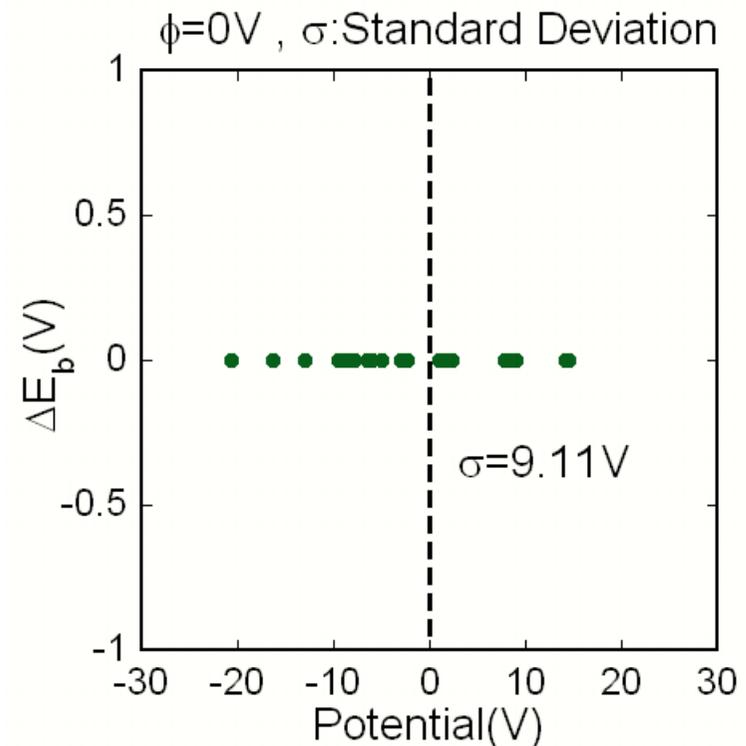
ノイズレベル

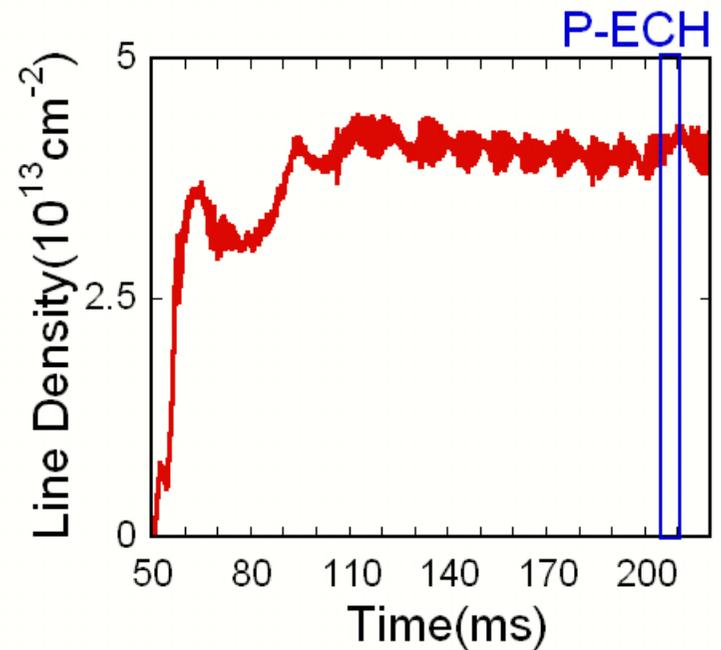
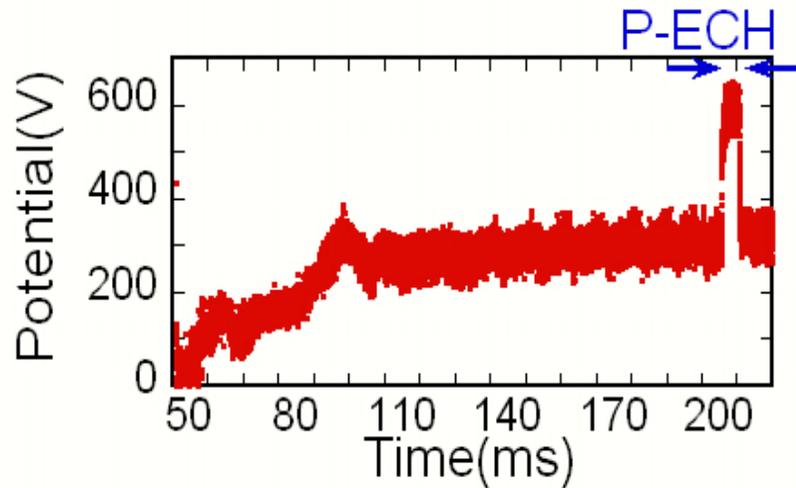
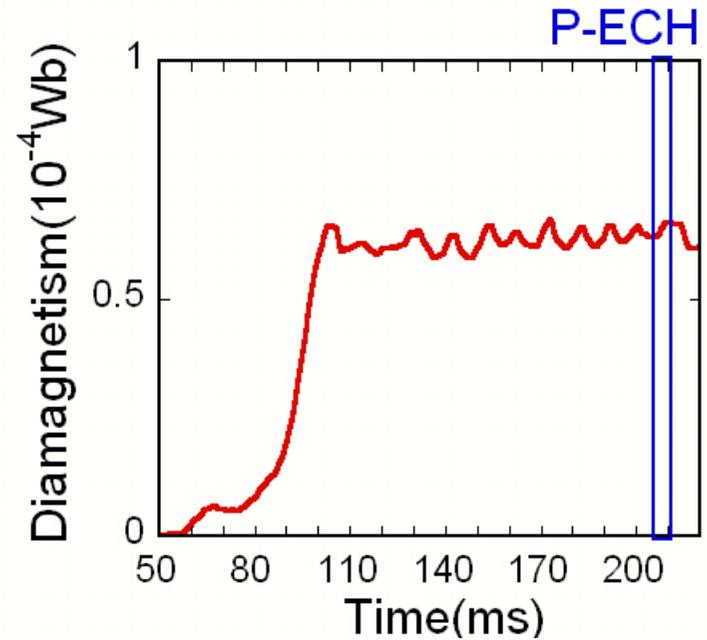
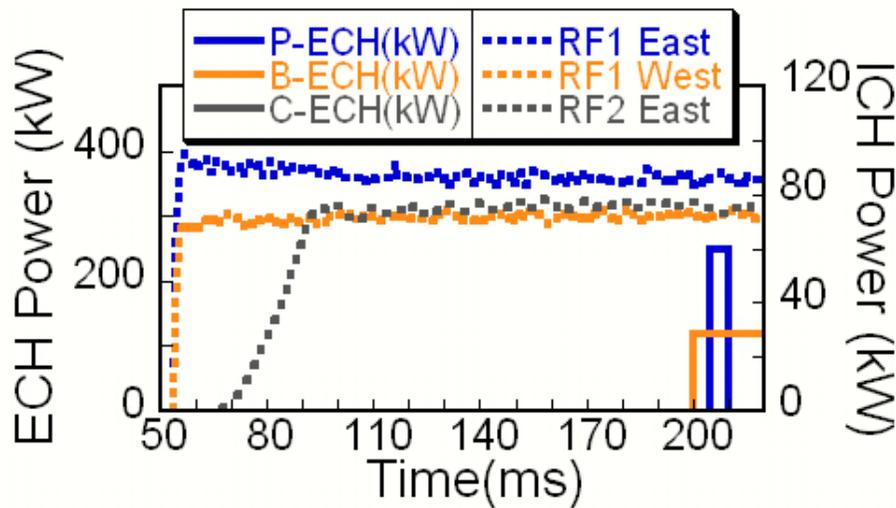


σ=10.47V以上の揺動成分は、プラズマ電位揺動として測定できる。

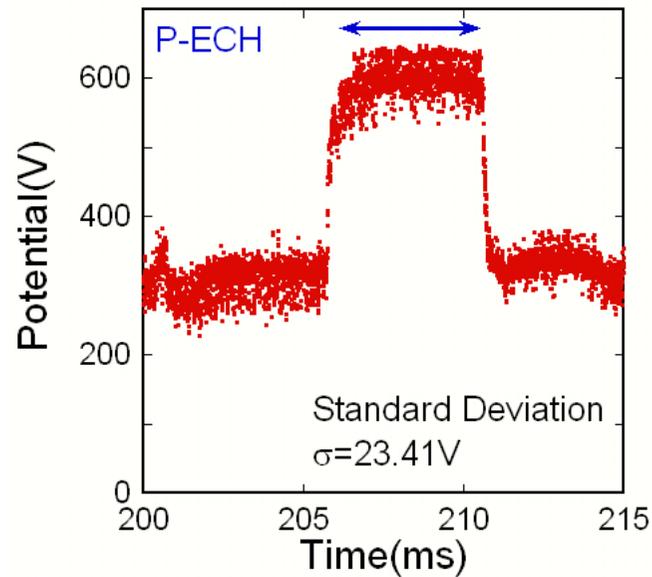
校正実験

真空度を劣化させたセントラル部にビームを入射し、校正を行なう。仮想プラズマ電位はビームエネルギーを変化させて測定を行なう。

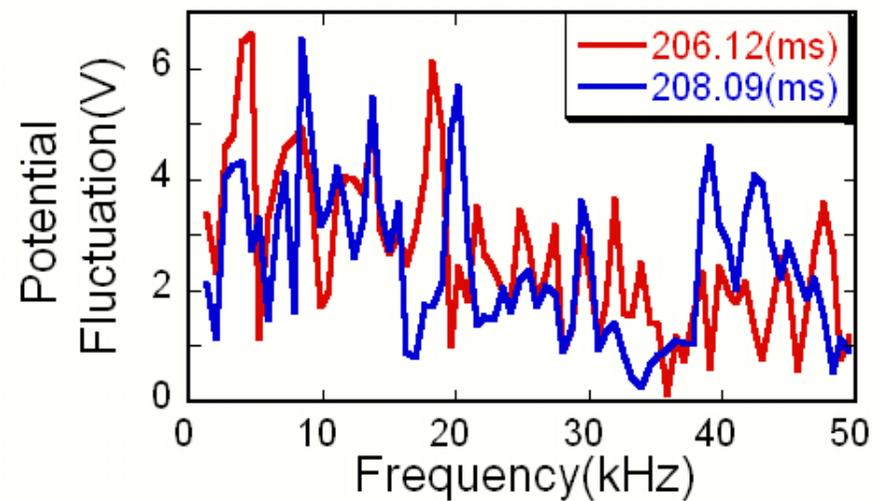
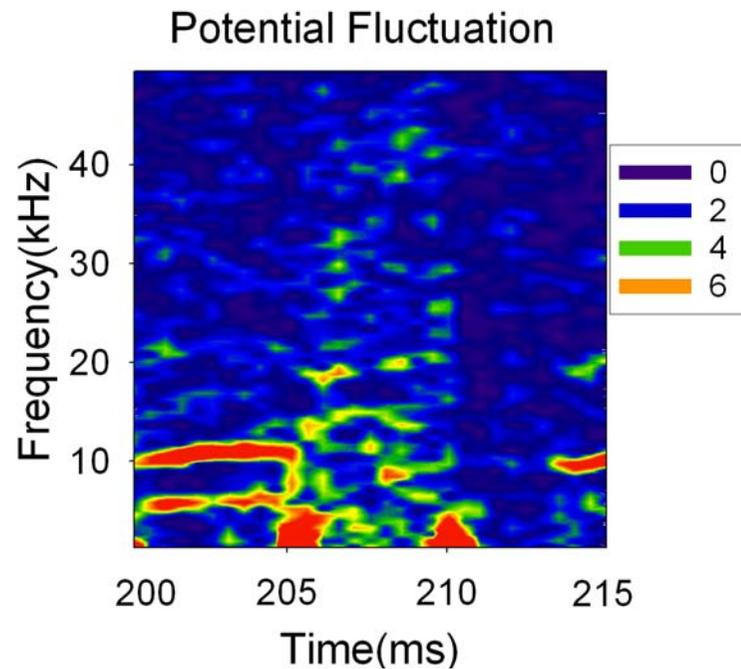


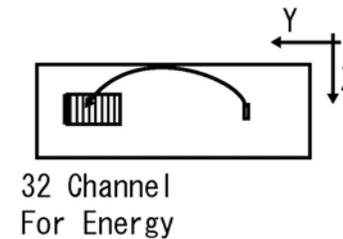
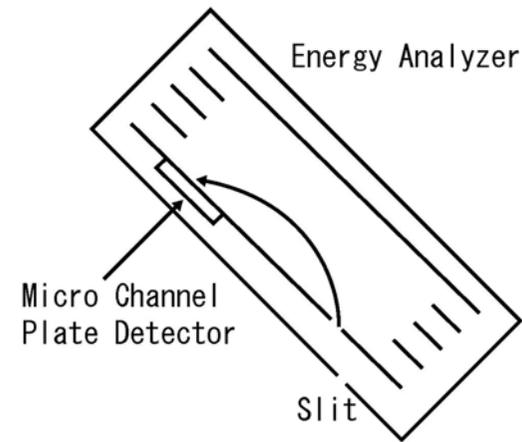
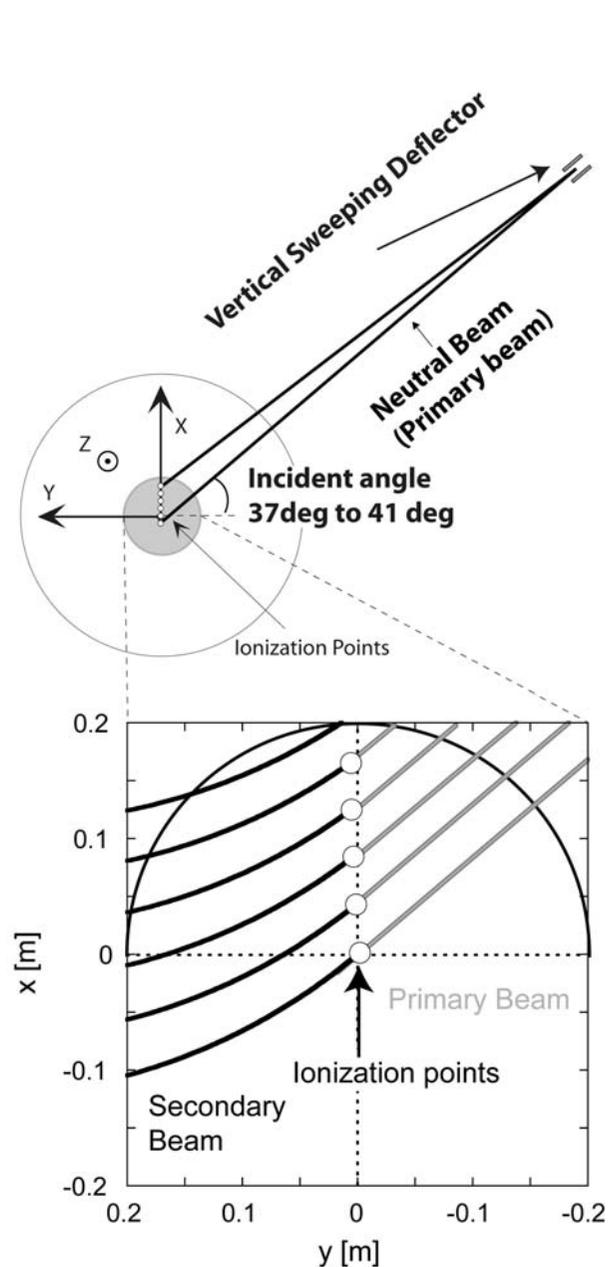


ICH時間帯とP-ECH印加時を分けて解析を行った。



ECH印加時
ノイズレベルよりも大きい揺れ
↓
周波数解析
20kHz辺りまでの広範囲に亘り強い電位揺動が広がる





$z=1.17\text{m}$

Beam Particle: Au

Beam Energy: 11.783 keV

Analyzer Voltage: 9.519 kV

Beam Radius: 0.5 cm

Beam Current: $2\mu\text{A}$

A/D Converter: 333 kHz Sampling

slit: $0.1\text{mm} \times 10\text{mm}$