

# 金の中性粒子を用いたビームプローブ法による低周波電位揺動解析

筑波大学プラズマ研究センター  
水口正紀

1. 概要と目的
2. GAMMA10及びGNBP概念図
3. 実験結果及び解析
4. まとめ

# 概要と目的

## ・概要

磁場閉じ込めプラズマでは、磁場閉じ込め装置の内部から外部に向けて熱・粒子が漏れ出る。これはプラズマ中の揺動による磁力線を横切る径方向輸送が一因と考えられている。しかし近年、強い径方向電場勾配 $dE_r(r)/dr$ の形成によって、乱れた渦状のプラズマ内構造が制御できることが分かってきた。

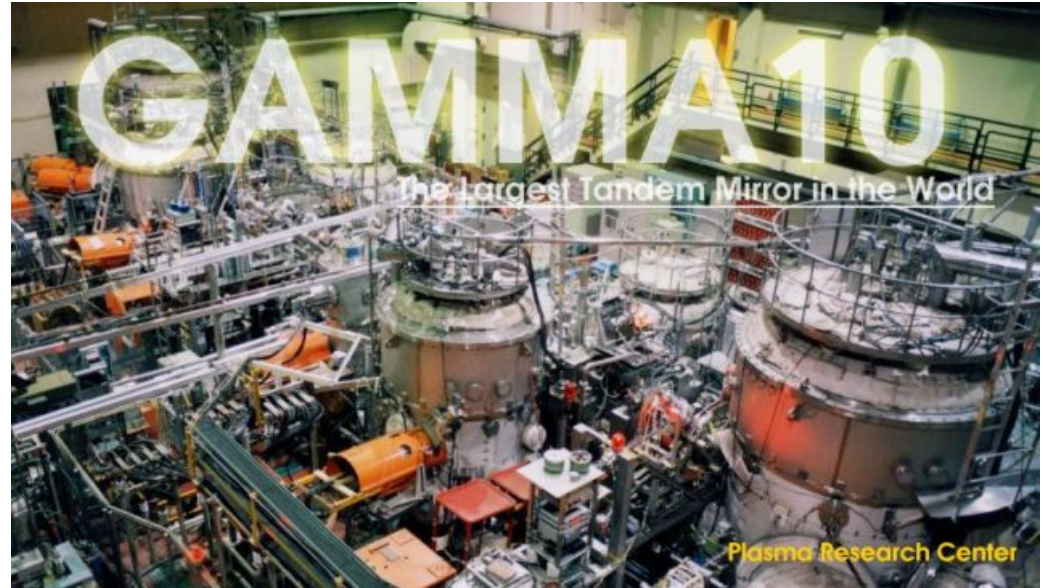
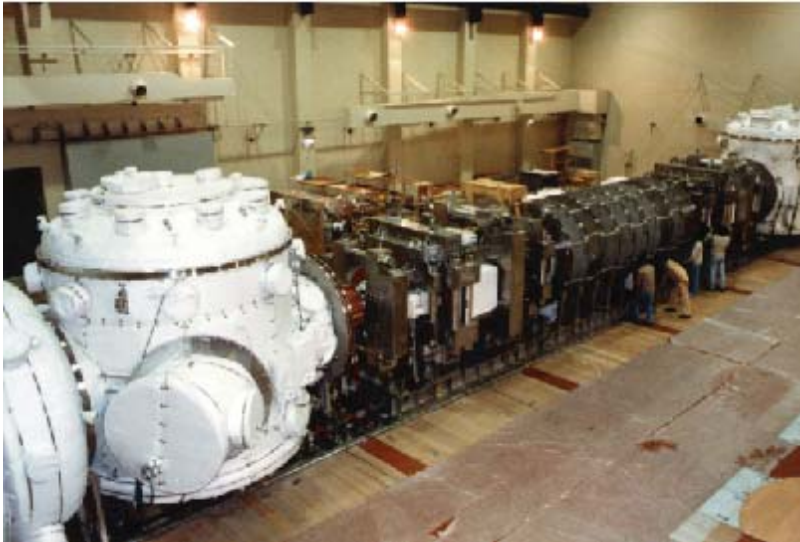
## ・目的

本研究では、電場勾配と低周波電位揺動の関連性について径方向における対応を調べ、電場勾配の強度が揺動の抑制と密接に関係していることを検討する。

## ・手順

金の中性粒子を用いたビームプローブ法によってプラズマの電位を計測し、径方向電場勾配分布を求める。また、得られた電位分布をFFT解析することによって径方向電位揺動強度分布を導出し、径方向電場勾配分布との対応を比較する。

# タンデムミラー型プラズマ実験装置GAMMA 10



## <GAMMA 10概要>

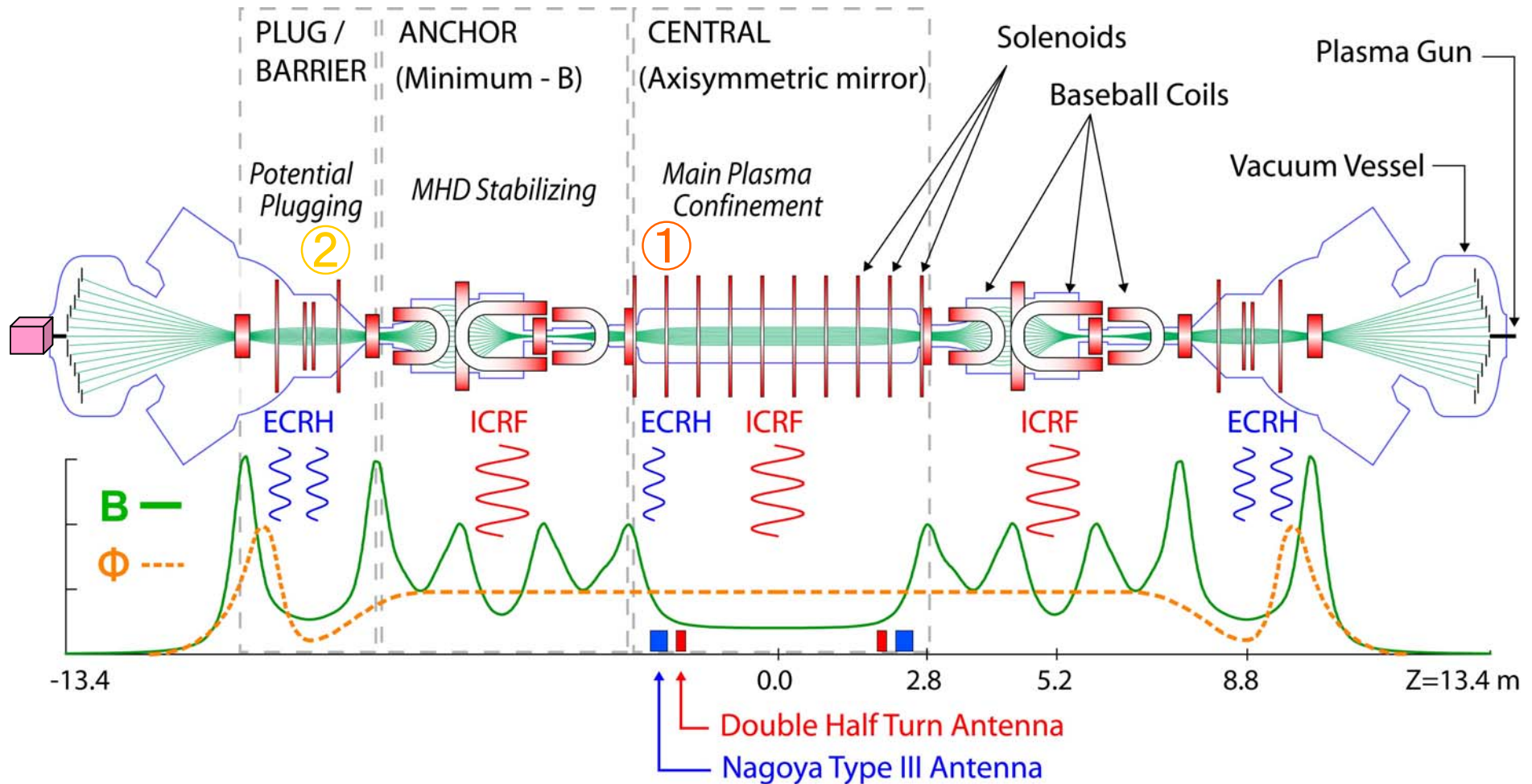
全長: 27m 体積: 180cm<sup>3</sup>

磁場強度: 中央ミラー部 5kG、両端の最強部 32kG

電源供給: 縦型電動発電機 800MJ、定格 4秒間

真空排気: ターボ分子ポンプ、クライオソークションポンプ、  
大容量ヘリウムクライオパネル

# Tandem mirror GAMMA 10



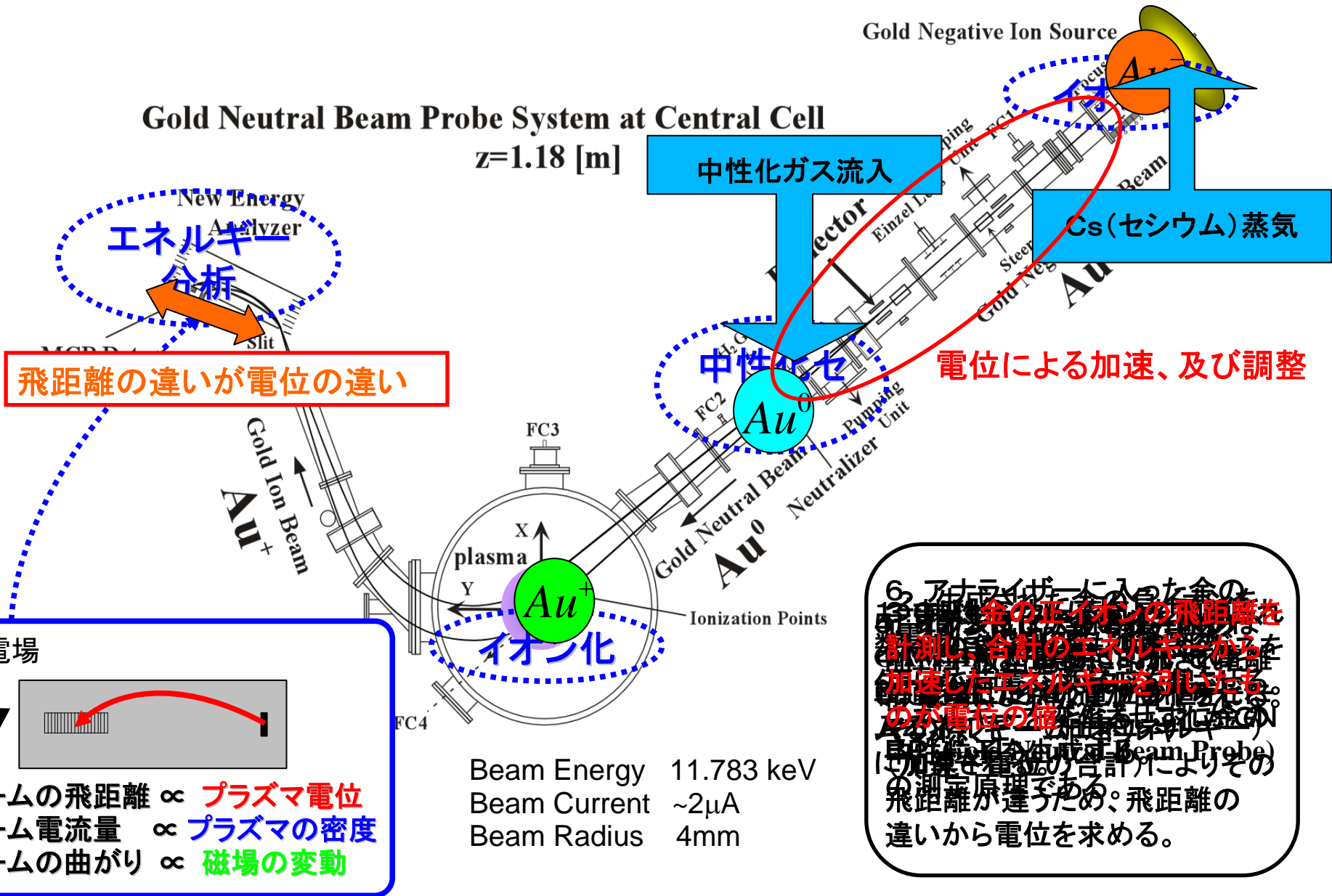
① GNPB CC System (セントラル部ビームプローブ)

② GNPB EB System (東バリア部ビームプローブ)

# Gold Neutral Beam Probe System (GNBP)

## Gold Neutral Beam Probe System at Central Cell

$z=1.18$  [m]

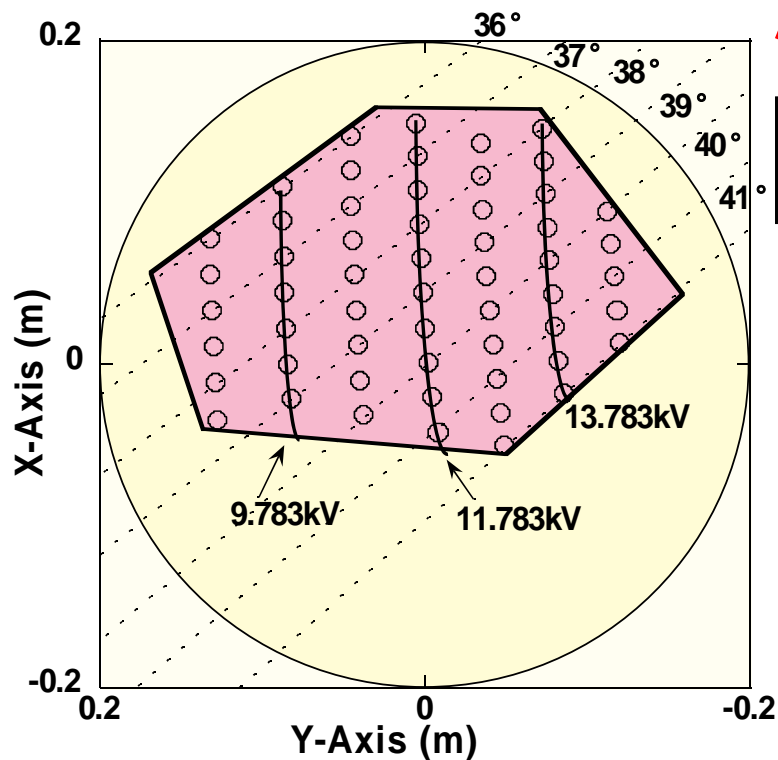


6. アナライザーに入った金の正イオンの飛距離を計測し、合計のエネルギーから加速したエネルギーを引いたものが電位の値。この計測原理によりその飛距離が違いため、飛距離の違いから電位を求める。

# GNBP法の特長

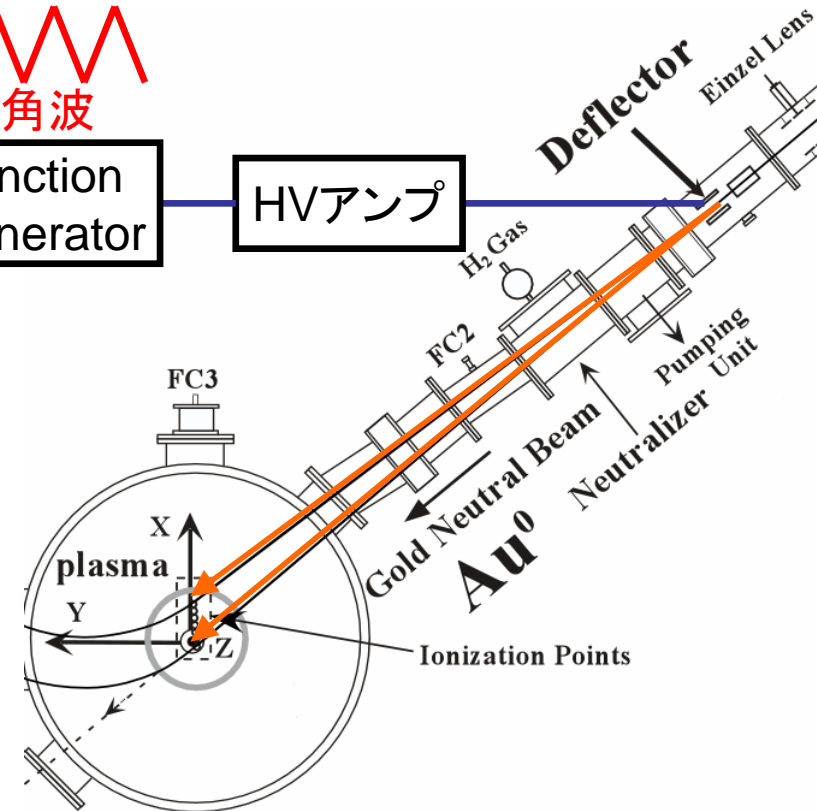
## <GNBPの特徴>

- ・セシウム添加スパッタリング型金負イオン源の使用
- ・負イオンを利用した高中性化効率
- ・中性粒子ビームにより漏洩磁場の影響を軽減
- ・Micro Channel Plate (MCP)を利用した高検出効率
- ・ビーム入射角、ビームエネルギーの変更による二次元計測



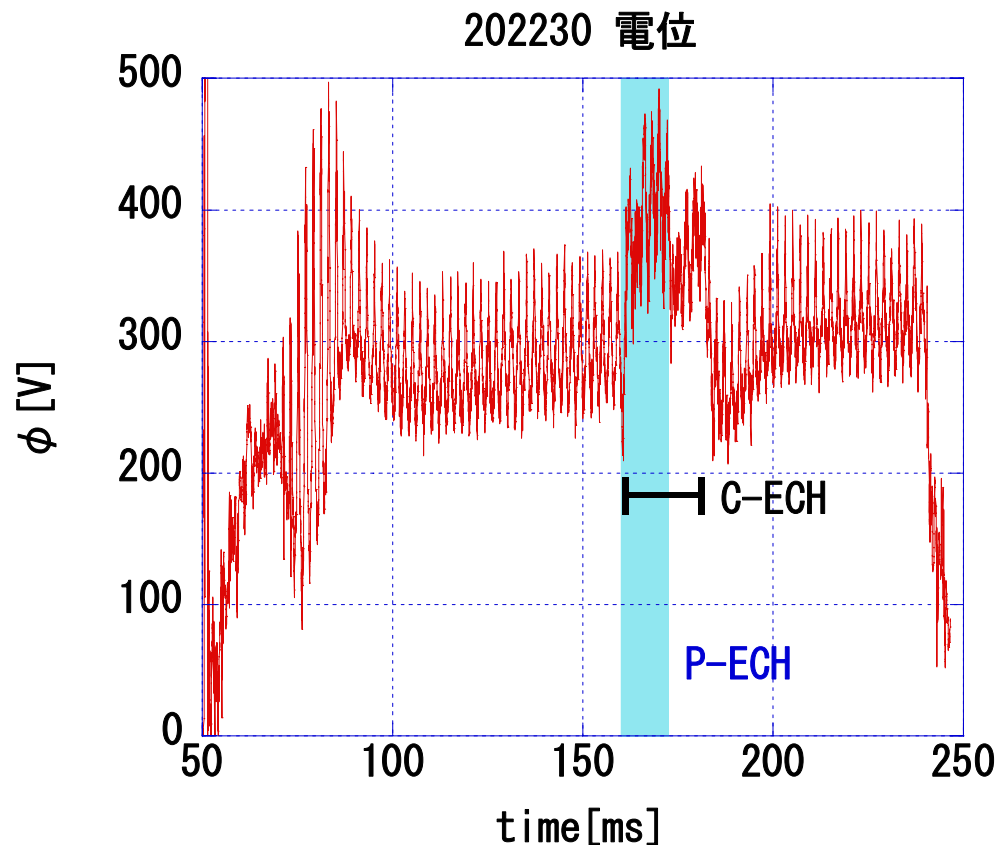
Function Generator

HVアンプ



# 実験結果及び解析

本研究では、高温イオンモードプラズマにPlug/Barrier-ECHを印加して閉じ込め電位を形成し、Central-ECHを印加して電子温度加熱を行ったプラズマのセントラル部の電位解析を行った。



Plug-ECH: 160.5-172.5[ms]  
Barrier-ECH: 159.5-184.5[ms]  
Central-ECH: 161-181[ms]  
偏向電極周波数:  $f_{vd} = 500$ [Hz]  
偏向電極掃引波形: 三角波

# 実験結果及び解析：径方向電場勾配分布

径方向電位分布をガウス分布

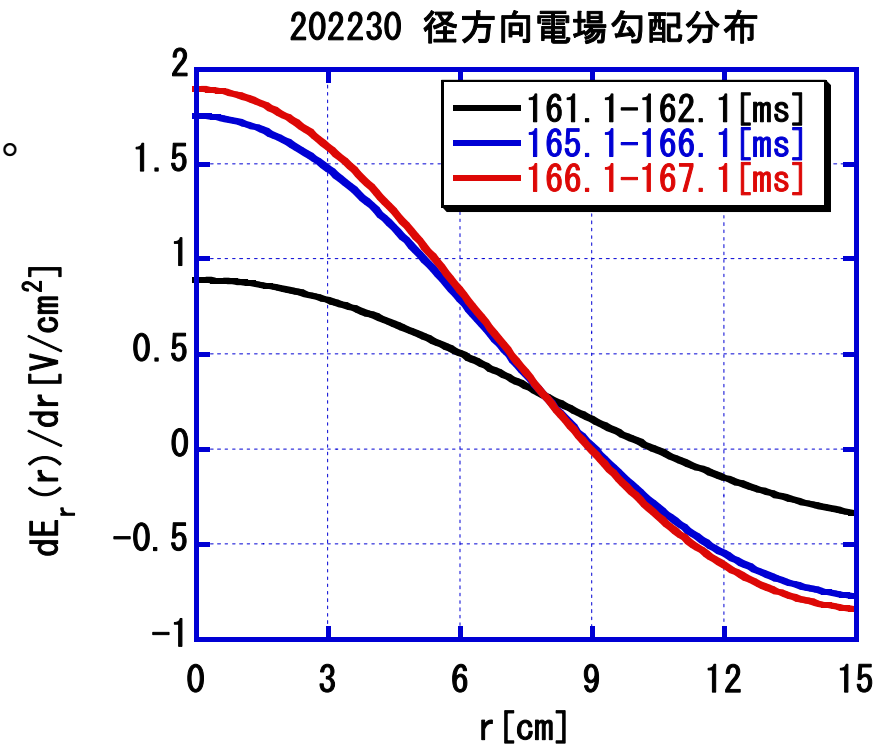
$$\Phi(r) = \Phi(0) \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{r^2}{r_h^2}\right) = \Phi(0) \exp(-\alpha r^2) \quad (\mathbf{r_h} \text{はガウス分布の半値幅})$$

でフッティングすると、この径方向電場勾配分布は、

$$\frac{dE_r(r)}{dr} = -\frac{d^2\Phi(r)}{dr^2} = 2A\alpha(1 - 2\alpha r^2) \exp(-\alpha r^2)$$

これより、  
それぞれの径方向電場勾配分布を求める。

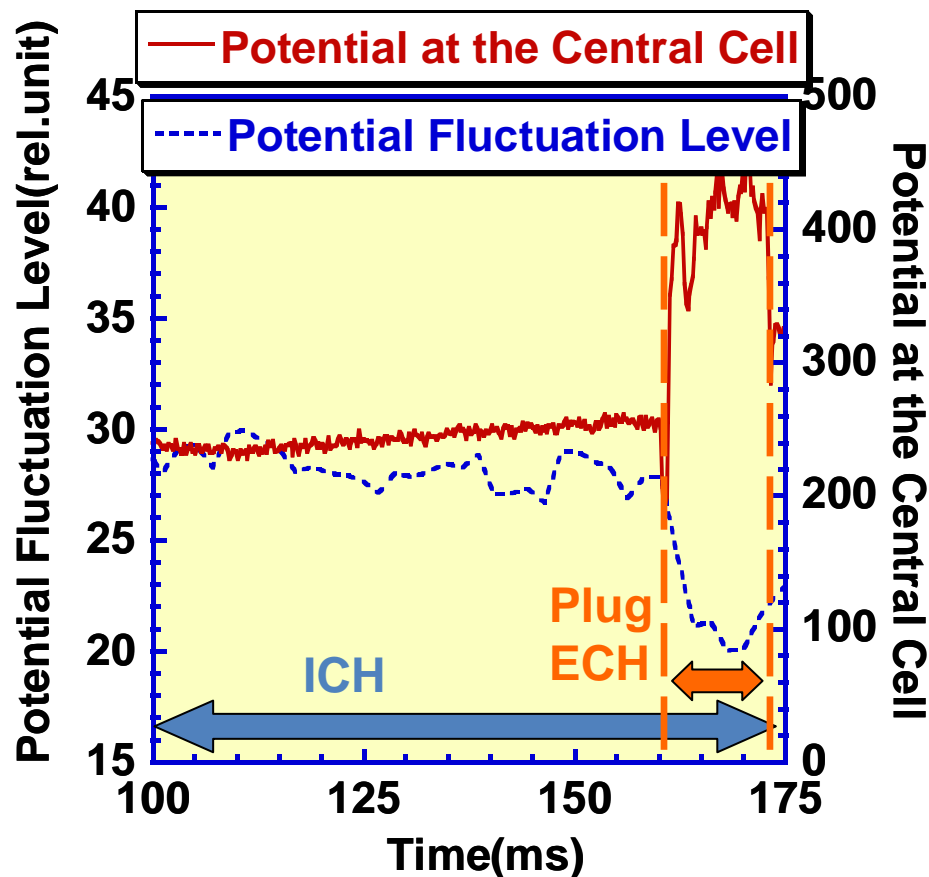
右図より、ECH印加時から時間の経過に伴い、強い径方向電場勾配が形成されることが確認できた。





# 実験結果及び解析：電位揺動強度

- まず、電位揺動の全体的な動きを見てみる。
- 測定された電位から導かれた低周波領域1～15kHzの電位揺動強度を、プラズマのr方向0～12cmについて積算し、時間変化を記したものが下図である。



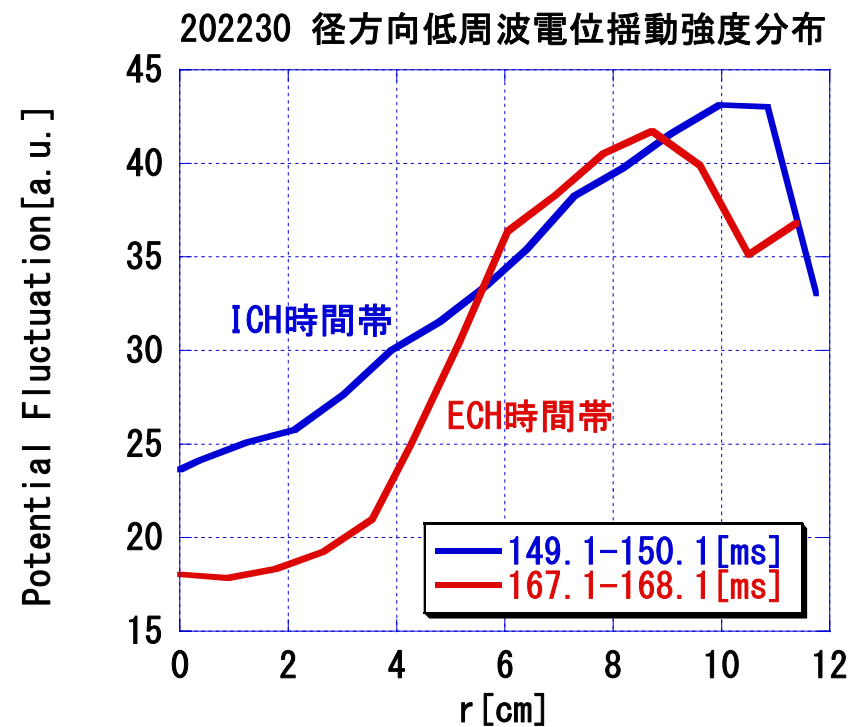
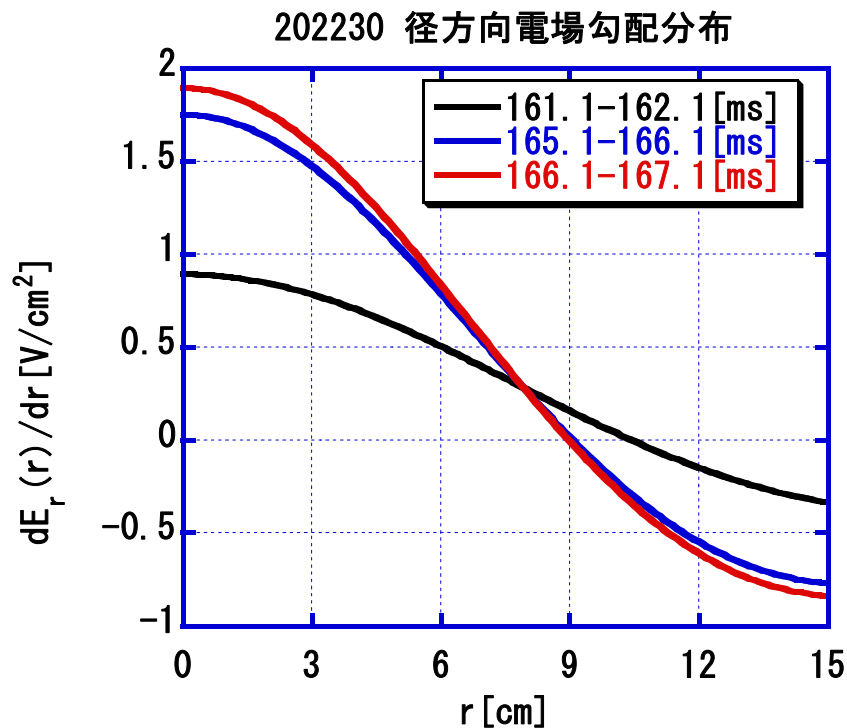
図より、P-ECH印加直後から時間の経過に伴い、揺動強度が減少していることが確認された。



強い径方向電場勾配の形成によって低周波電位揺動が抑制されたと考えられる。

# 実験結果及び解析：径方向電位揺動強度

得られた低周波電位揺動強度のデータに個別で計算した径方向情報を与え、各時間帯毎に径方向低周波電位揺動のプロットを行った。



右図から、径方向電位揺動強度は $r = 0$  [cm]近傍ではよく抑制されているものの、外側に向かうにつれてほぼ差は無くなる。両図を比較することにより、径方向において、電場勾配の強さが、低周波電位揺動抑制の強さと対応していることが確認できる。

# まとめ

## ・まとめ

今回、電場勾配分布と電位揺動強度分布を径方向において比較することにより、電場勾配の強い部分では揺動抑制効果は強く、勾配の弱い部分では抑制効果は弱くなっていることが確認された。この結果より、電場勾配の強度が揺動抑制に密接に関係していることが確認できた。