

特定領域「プラズマ燃焼のための先進計測」
総括班第2回会合
KKRホテル熱海 2005.1.31-2.2

先進シナリオに則した電位閉じ込め 効果究明のための新しい電位計測

筑波大学
吉川正志、長 照二、石井亀男、斉藤輝雄、小波蔵純子
核融合科学研究所
井口春和、藤澤彰英
京都大学
岩前 敦

内容

1. 目的
2. 背景：高電位生成による閉じ込めの改善
3. タンデムミラーガンマ10
4. 研究の特色
5. 実施計画
6. 本年度の進捗状況
(X線揺動計測、プラズマ回転計測、高電位形成)
7. まとめ

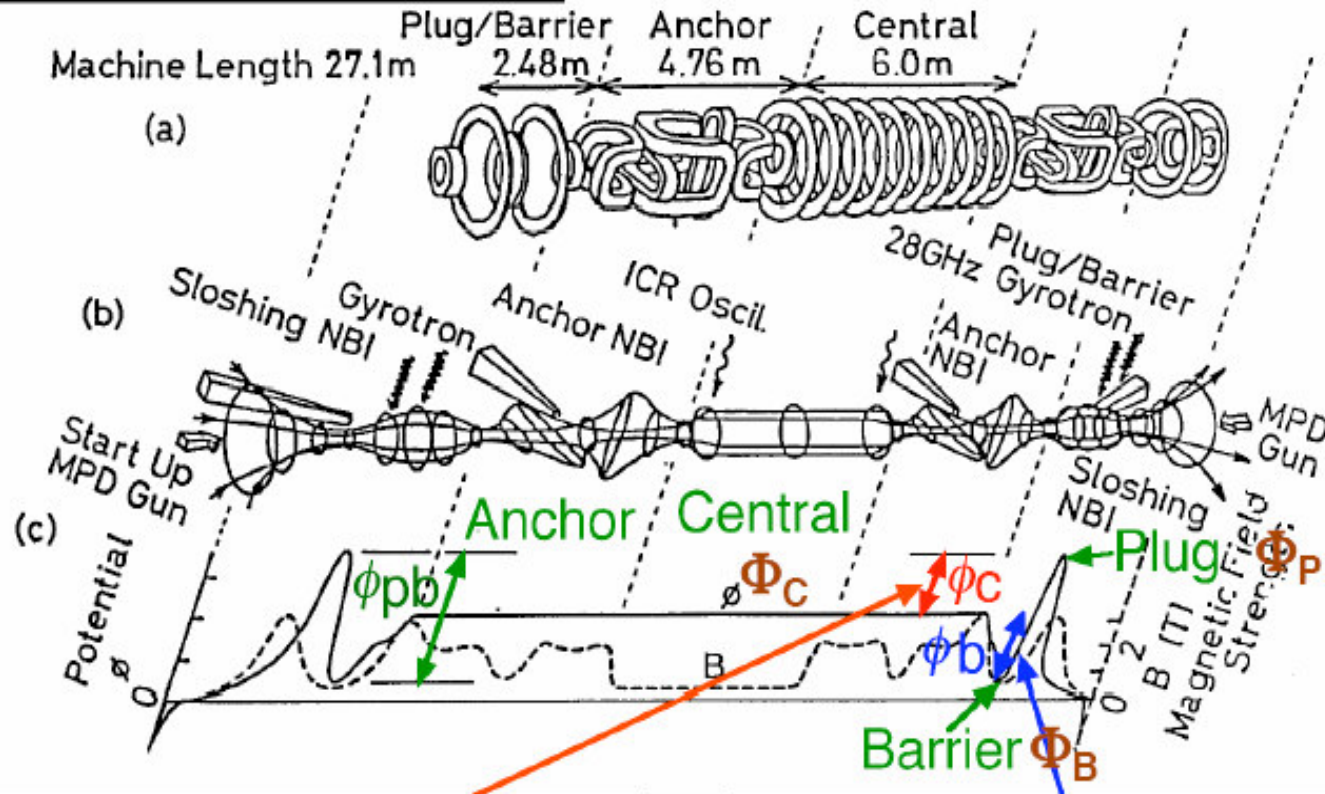
研究目的

プラズマ閉じ込め改善を評価するためのプラズマ診断法の高度化、特に電位計測等のプラズマ諸量測定の開発及び高度化を行い、これに基づいて電場が果たすプラズマ閉じ込め効果の詳細な究明を行う。

- ・ 電位によるプラズマ閉じ込めは、ITER等、トカマク／ヘリカル型の環状系プラズマ閉じ込め装置の改善も含む広く普遍的で顕著なプラズマ閉じ込めの改善・向上方法であり、電位によるプラズマ閉じ込めの発見による比例則により、初めてITER装置の巨大化が避けられ経済的設計が可能となっており、核融合エネルギーの実用化に向けて必要不可欠な研究課題である。
- ・ 本研究では、特に電位によるプラズマ閉じ込め改善の物理機構を解明するという観点で研究を推進し、プラズマ閉じ込め改善を評価するためのプラズマ診断法の高度化、特に電位計測等のプラズマ諸量測定の開発及び高度化を行い、これに基づいて電場が果たすプラズマ閉じ込め効果の詳細な究明を行う。
- ・ 電位によるプラズマ閉じ込めの物理研究では、電位構造を広範に自在に制御が可能であるプラズマ閉じ込め装置が不可欠である。その点から環状系プラズマ閉じ込め装置よりも、直線系プラズマ閉じ込め装置の方が適している。これは、直線系ではエンド部端部が存在するために、プラグ部の局所的な電子サイクロトロン加熱(ECH)で加熱した電子を磁力線に沿って一部加速・損失させ(大略ポアッソン式から)電位を容易に作ることができるからである。

ガンマ10全体図

GAMMA 10 Tandem Mirror

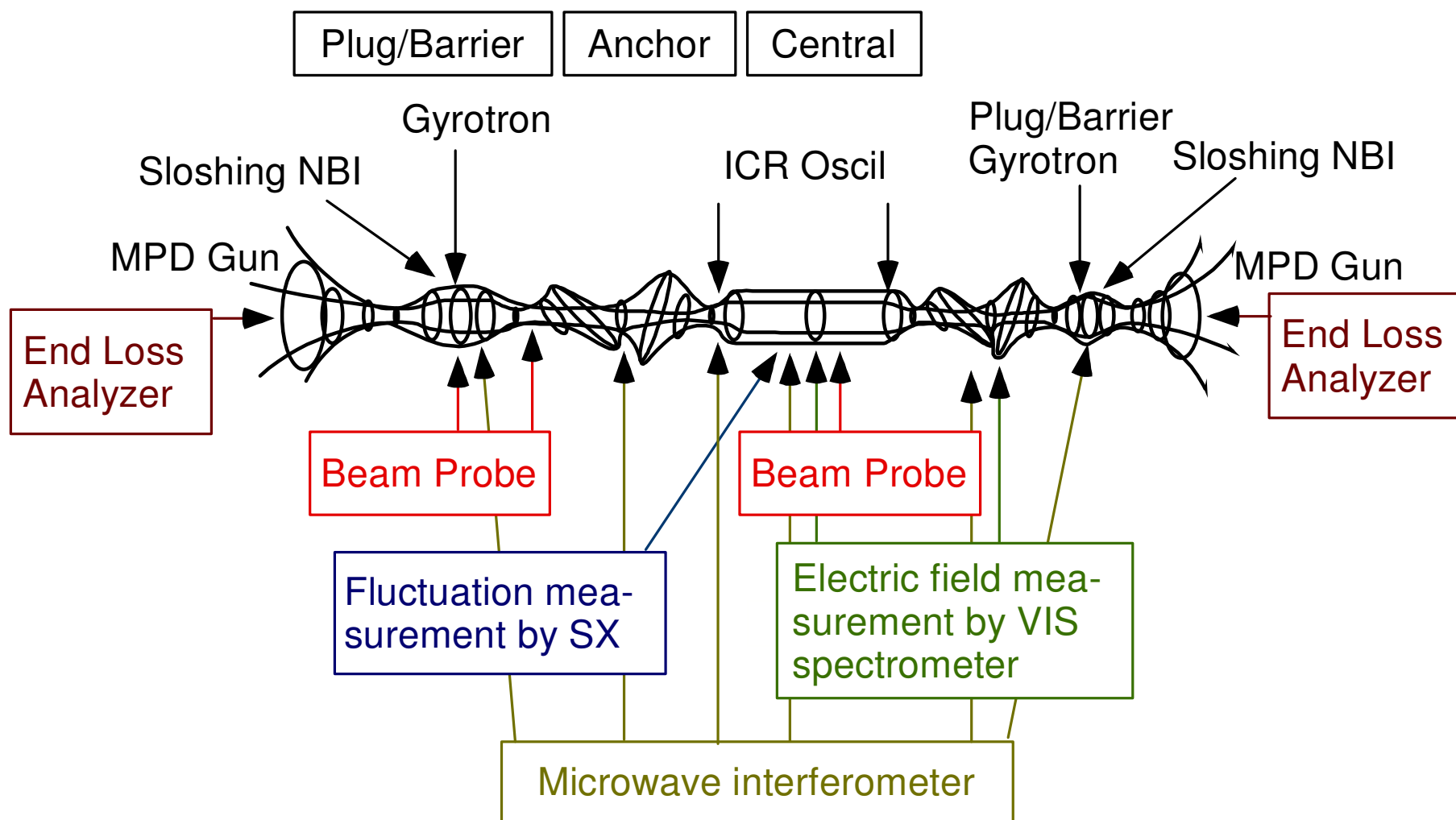


ϕ_c ; Ion Confining Potential

ϕ_b ; Thermal-Barrier Potential

GAMMA 10における計測装置

GAMMA 10 tandem mirror



研究の実施計画

16年度

- 1) **ECHマイクロ波入射による電位制御実験**を行う。これは、マイクロ波の入射パターン、強度、及びエンドプレート電位を変化させてプラズマ中生成電位の制御を行う。そして、必要なプラズマ諸量の計測器の開発を行う。(斉藤、石井、小波蔵、長)
- 2) ガンマ10装置を対象とした、**高精細プラズマ回転測定システムの設計・製作**を行なう。測定実験のための架台、真空窓、および分光測定システムが必要となる。(吉川、岩前)
- 3) **プラズマ回転測定システムと金の中性粒子ビームプローブ法による電位計測結果の比較検討**を行い、電位分布計測のクロスチェックを行う。(吉川、岩前、石井、井口、藤澤)

17年度以降

- 1) ガンマ10装置において**電位制御とプラズマ閉じ込めの改善**の関係、さらには**エネルギー／粒子輸送との関連に関する物理データを集積**した後、トーラス系プラズマにおける電位／電場形成、Hモードの物理についての研究を進める。(全員)
- 2) 15-16年度に新たにガンマ10装置に設置を実施中の、ミラー研究史上最大出力の1台0.5 MW超のジャイロトロンを用いて、合計入射パワー1～2 MWの実験を行う。これにより、今までのタンデムミラー電位生成電位閉じ込めの2大理論(パスツコフ理論、コーエン理論)に対する我々が***Phys. Rev. Lett.***等に提唱した「電位生成・電位効果新統合理論」が、更なる高電位生成へ適用・拡張可能かを検証する、今までのタンデムミラーの電位理論体系の総決算ともいえる実験を行う。(全員)
- 3) 電位とプラズマ閉じ込めの評価では揺動成分が重要なキーとなるので、本研究では、「核燃焼プラズマのための先進的ミリ波診断法の開発」の研究グループと相互に協力し合って、揺動に起因するプラズマの粒子およびエネルギー輸送の評価を行ない、**Hモードにつながる電位によるプラズマ閉じ込めの改善のシナリオの構築**を目指す。(全員)

プラズマ燃焼のための先進計測

年次計画

	H16	H17	H18	H19	H20	H21	
α 計測(ビーム)	透過実験 / 多穴He-イオン源	原理検証実験	検出器試験	システム設計	システム設計	実機製作	
α 計測(レーザ)	レーザ開発 / 受光系	原理検証実験	システム設計	システム設計	システム設計	実機製作	
損失 α 計測(ポロ)	プロトタイプ製作	原理検証実験	システム設計	システム設計	システム設計	実機製作	
中性子計測	検出器 / 逆問題解法手法	原理検証実験	システム設計	システム設計	システム設計	実機製作	
公募研究		開発	開発	原理検証実験	システム設計	機製作	
公募研究			開発	原理検証実験	システム設計	製作	
ミリ波診断法	検出法／解析法開発	原理検証実験	システム設計	システム設計	システム設計	実機製作	
マイクロ波計測	レーザ開発 / 受光系開発	原理検証実験	システム設計	システム設計	システム設計	実機製作	
公募研究		開発	開発	原理検証実験	システム設計	機製作	
公募研究			開発	原理検証実験	システム設計	製作	
電位閉じ込め効果	2次元揺動計測／回転計測	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	
縮退計測(レーザ)	中性子検出器開発 / ペレット入射装置開発	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	
アルフェンモード	励起系 / 受信系準備	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	
α 粒子と固体表面(I)	分析装置製作	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	検証実験	
公募研究		診断法準備	診断法準備	診断法準備	診断法準備	検証実験	
公募研究			診断法準備	診断法準備	診断法準備	検証実験	

研究計画

FY2004

FY2005

FY2006

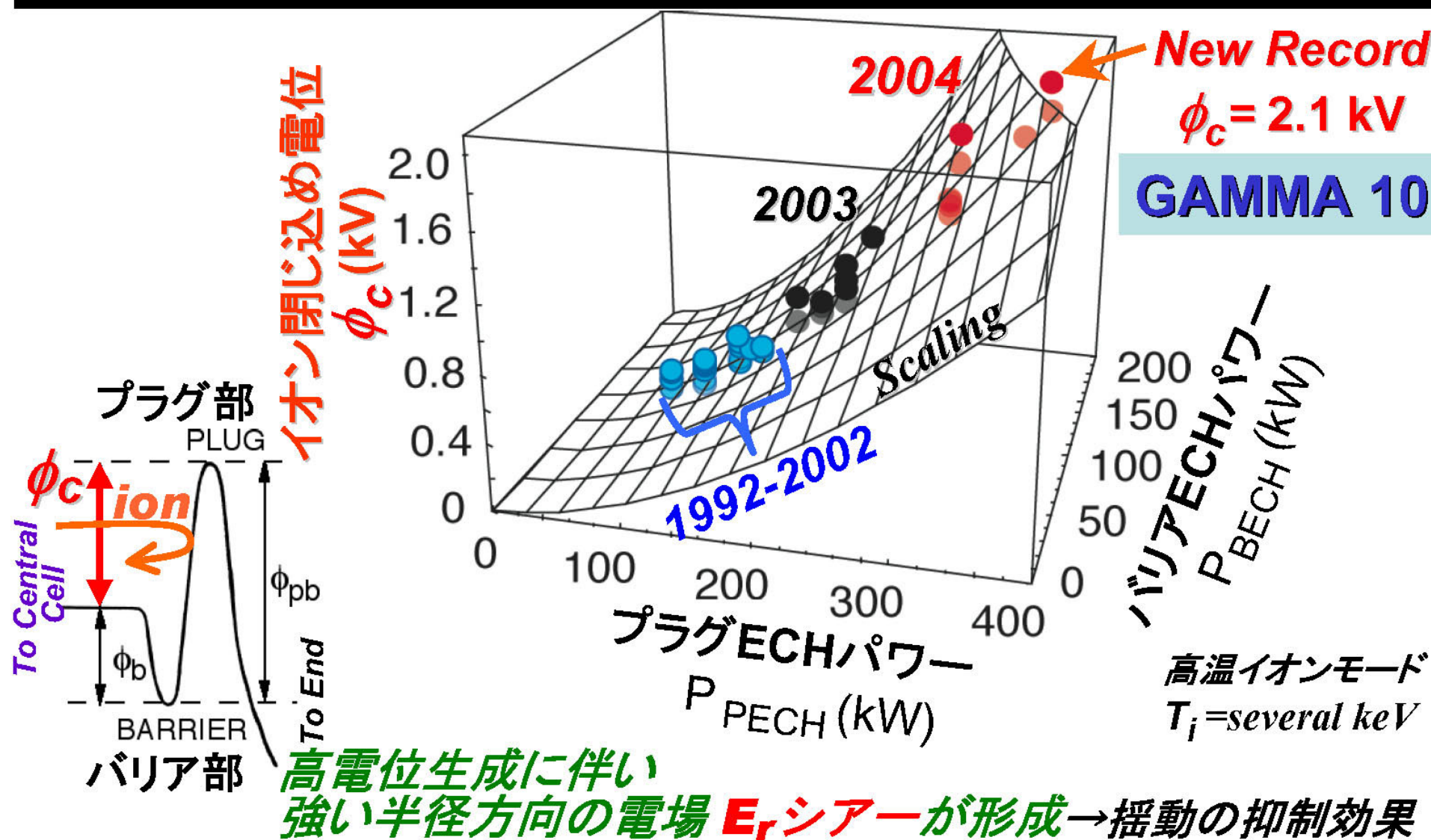
FY2007

2次元揺動計測/回転計測

検証実験

- 2004年度は、2次元揺動計測装置、回転計測装置の改良を行った。(2次元X線計測装置、高精細画像測定装置、多チャンネルマイクロ波干渉計の設置)
- 電位閉じ込め効果改善のための高電位生成実験を行った。

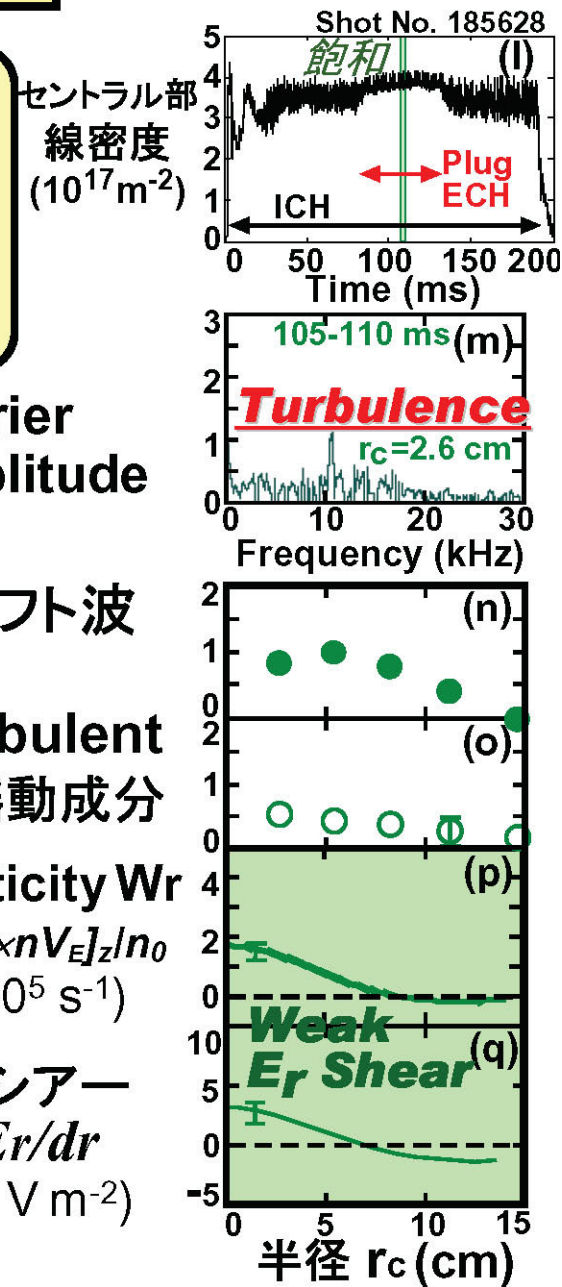
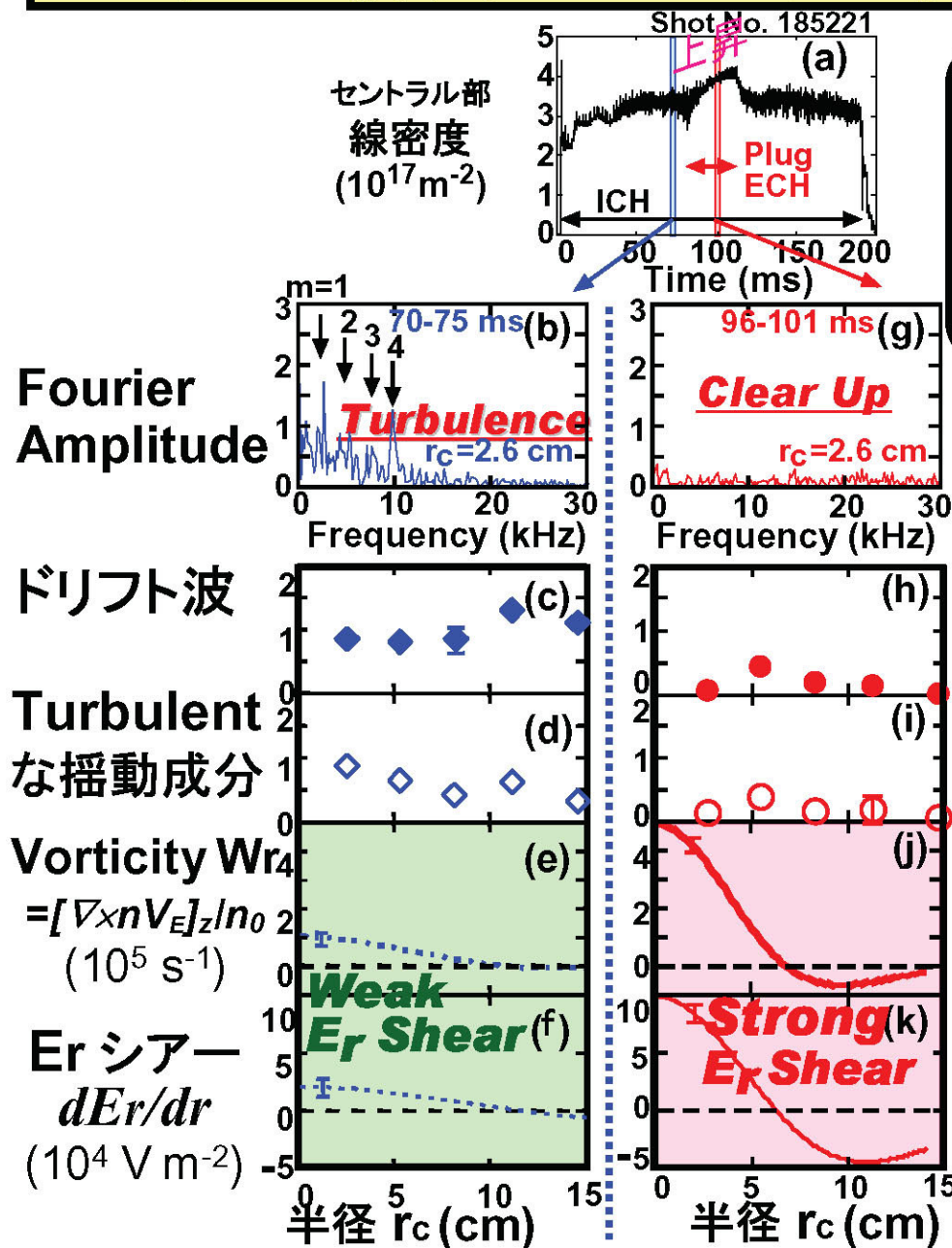
イオン閉じ込め電位 ϕ_c 生成の進展;
 イオン閉じ込め電位が最近10年間に比べ3倍に増大
After IAEA 2002 (Lyon)



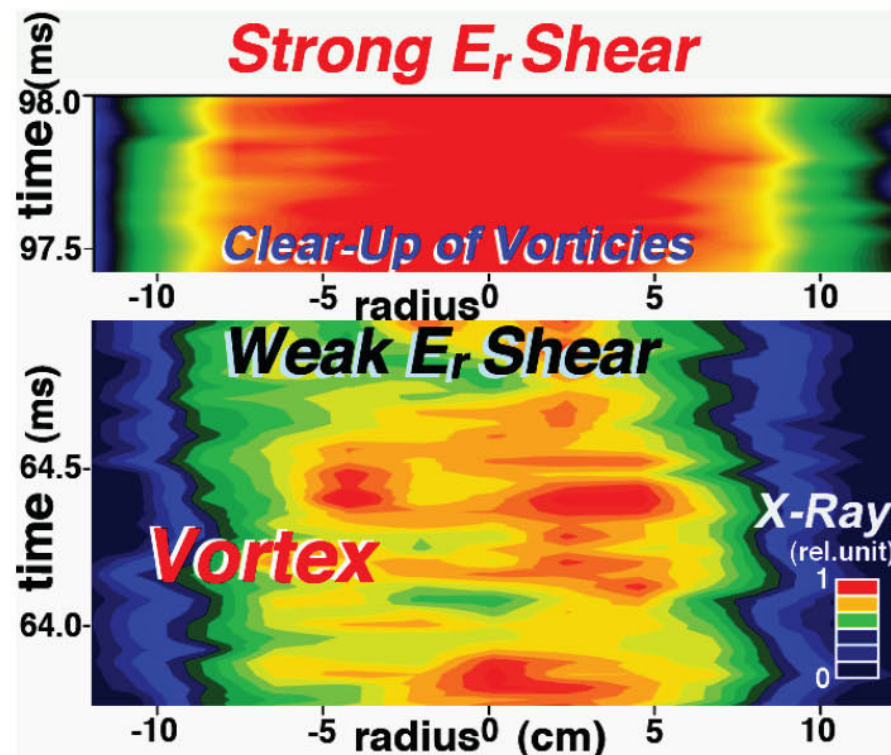
半径方向電場 E_r のシアーによる ドリフト波やタービュレンス状揺動の抑制

GAMMA 10

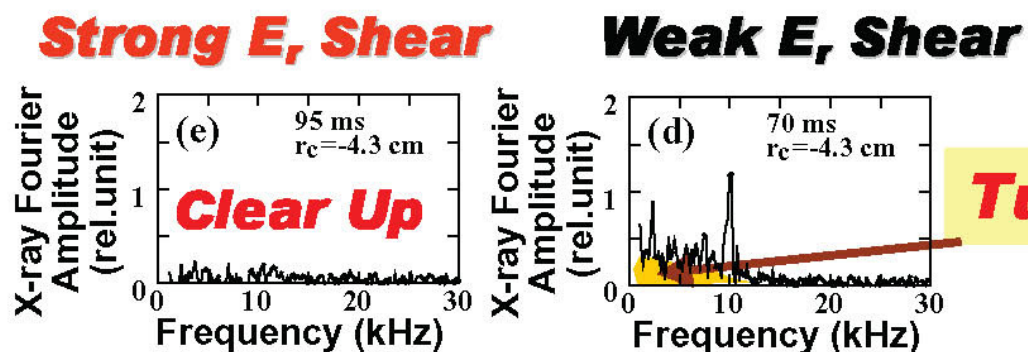
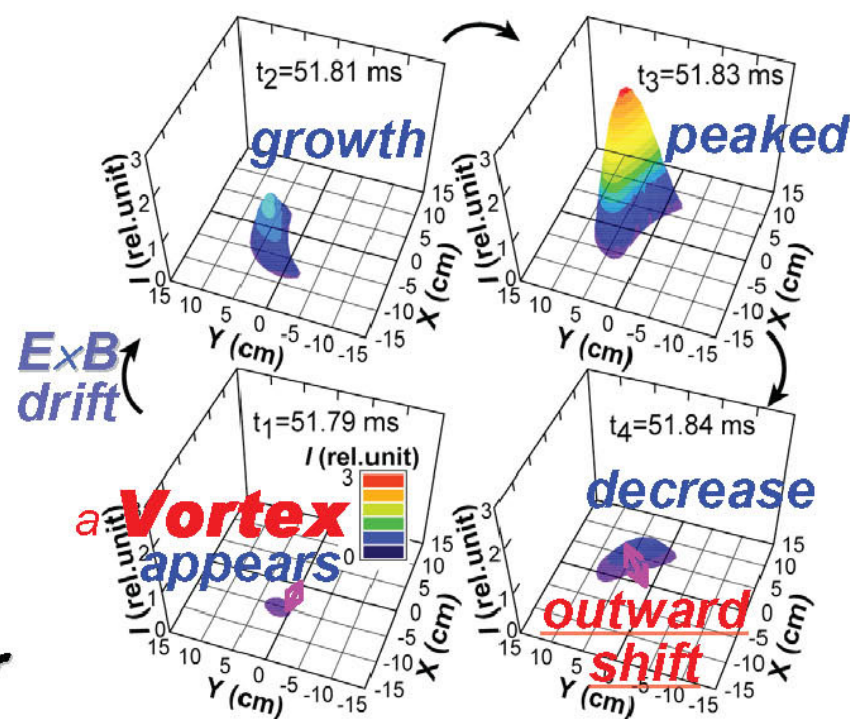
Strong and Weak
 E_r シアー
効果の比較



Turbulentな渦構造 (Vortex) のX線撮像 と 高電位により形成された強い E_r シアアの揺動抑制効果



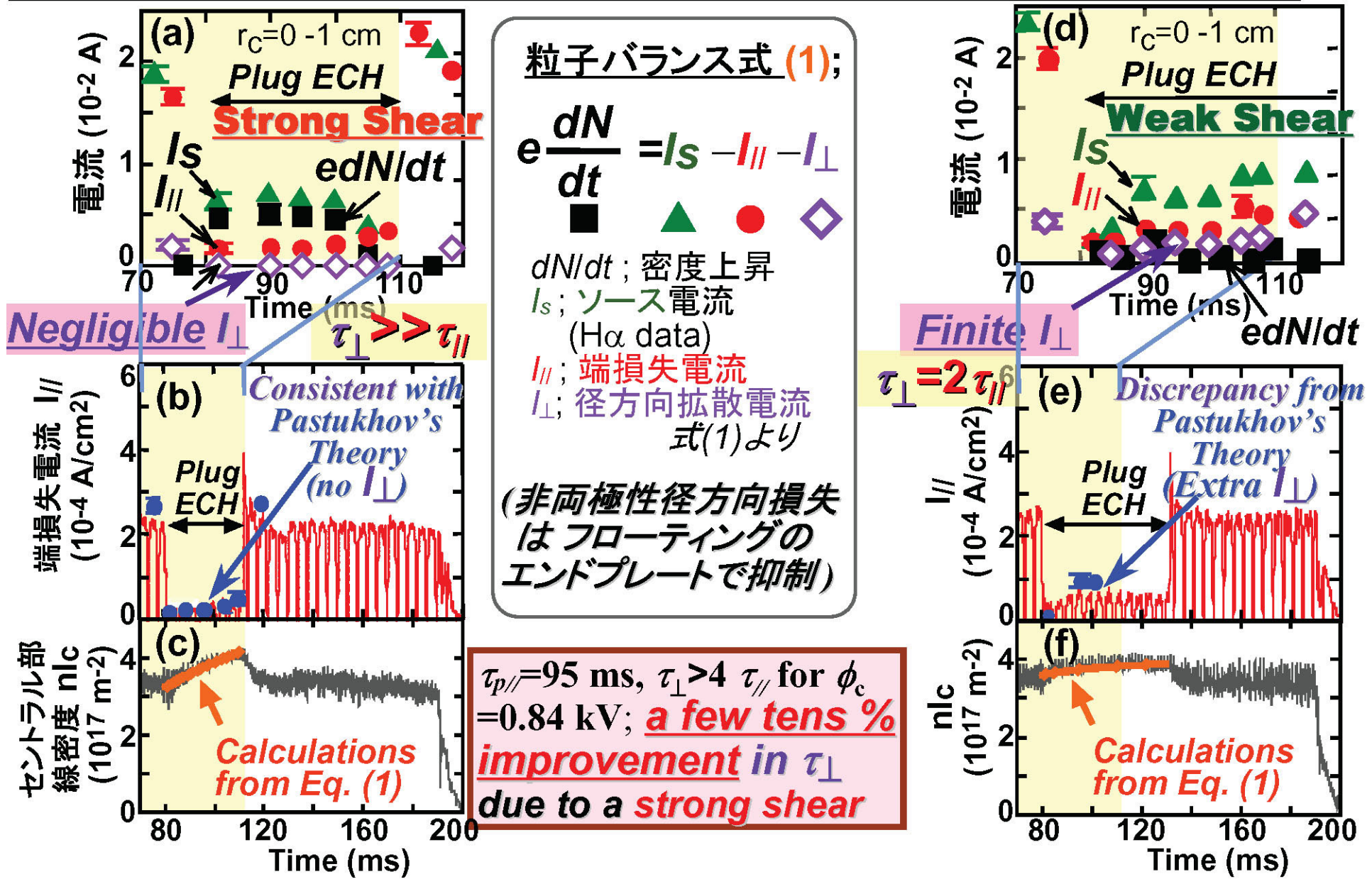
X線トモグラフィ計測



Turbulence

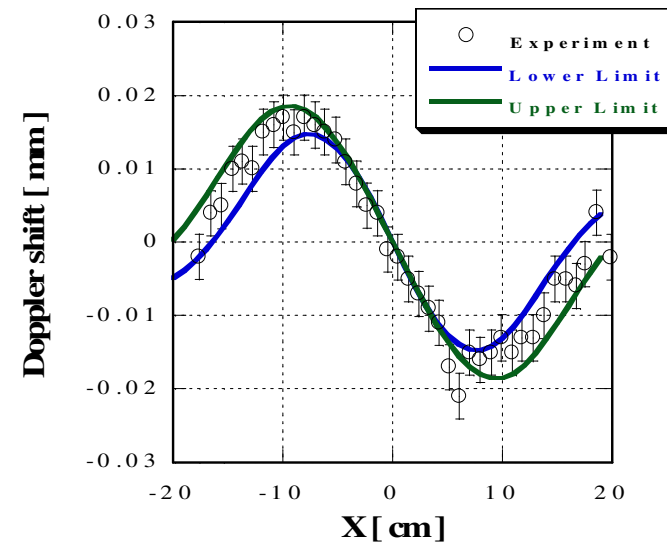
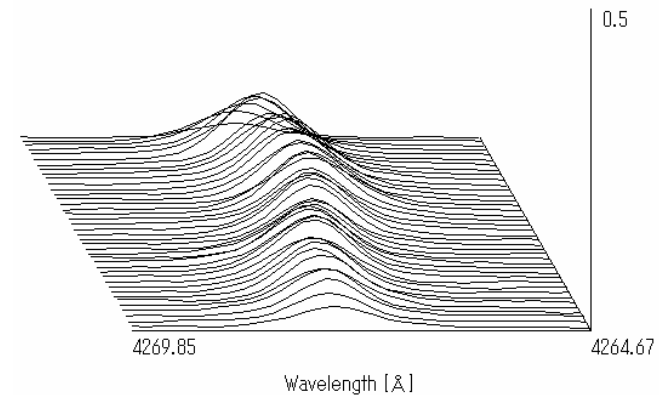
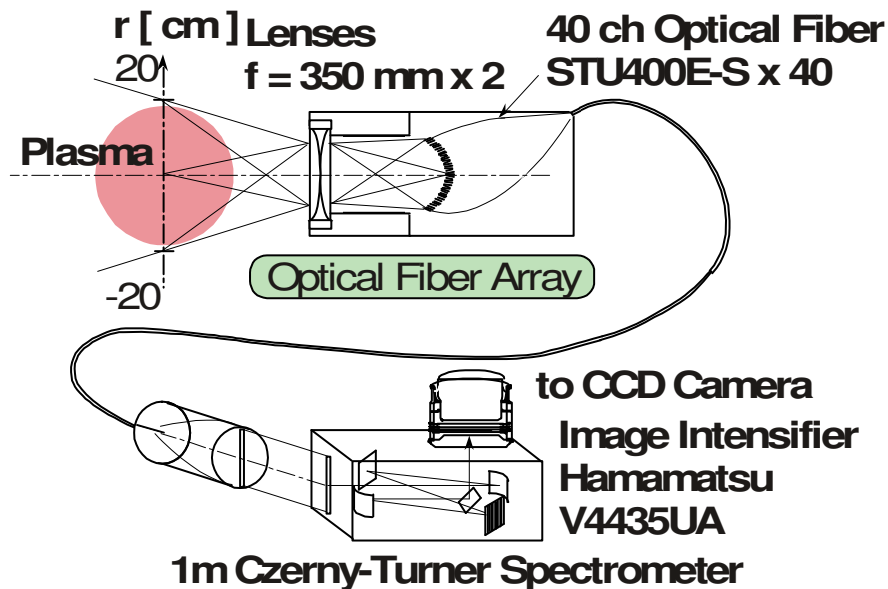
GAMMA 10

強いErシアーによる turbulentな渦の抑制と プラズマ閉じ込めの改善 [径方向損失の抑制]

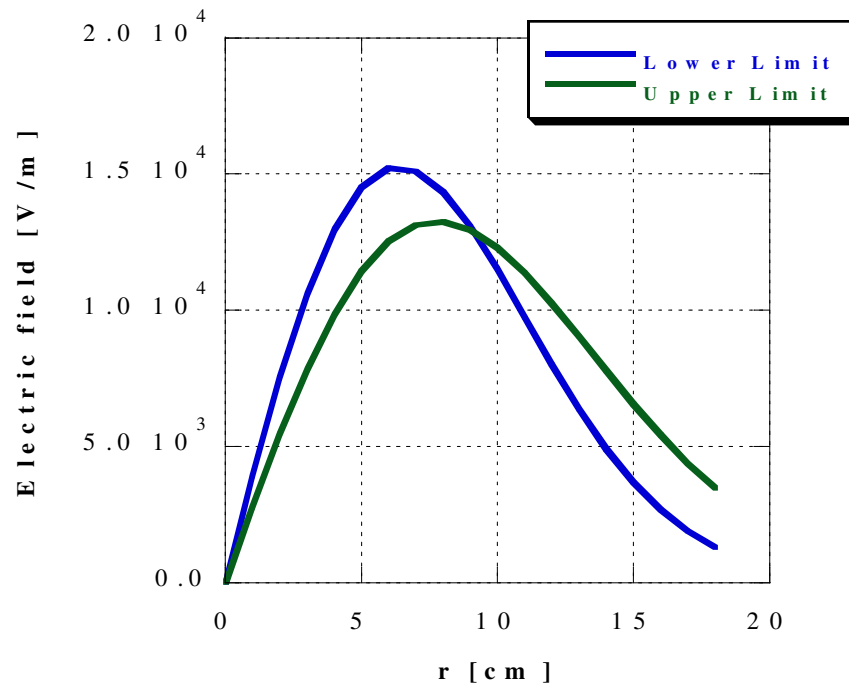


プラズマ回転分光計測による電場測定

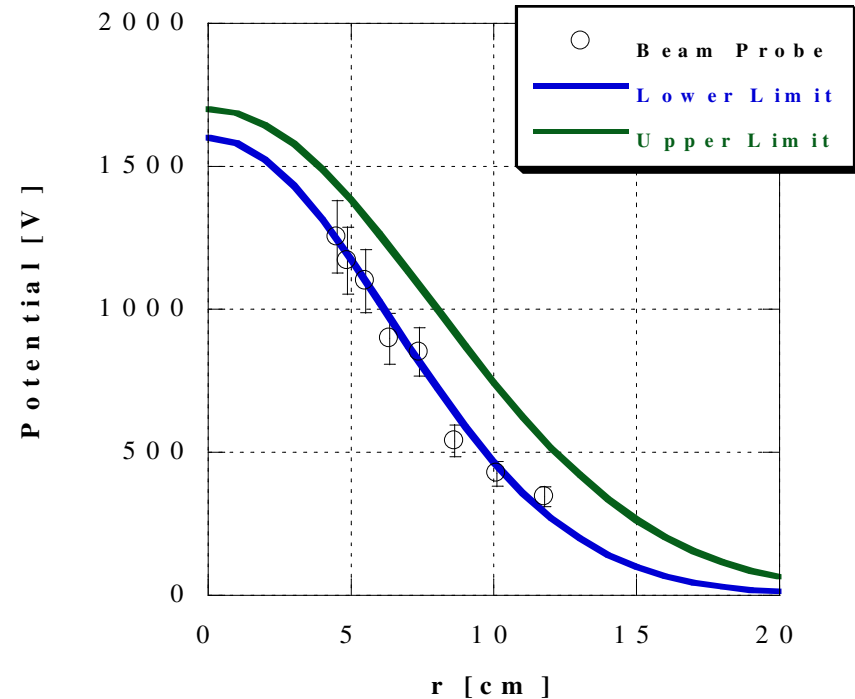
UV/V spectrograph system (2000-7000 Å)



プラズマ回転分光計測による電場測定



電場分布



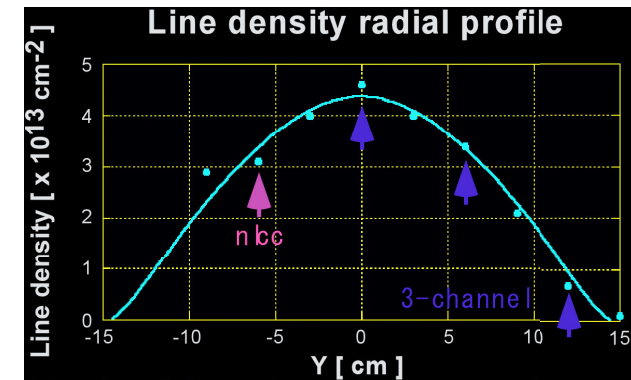
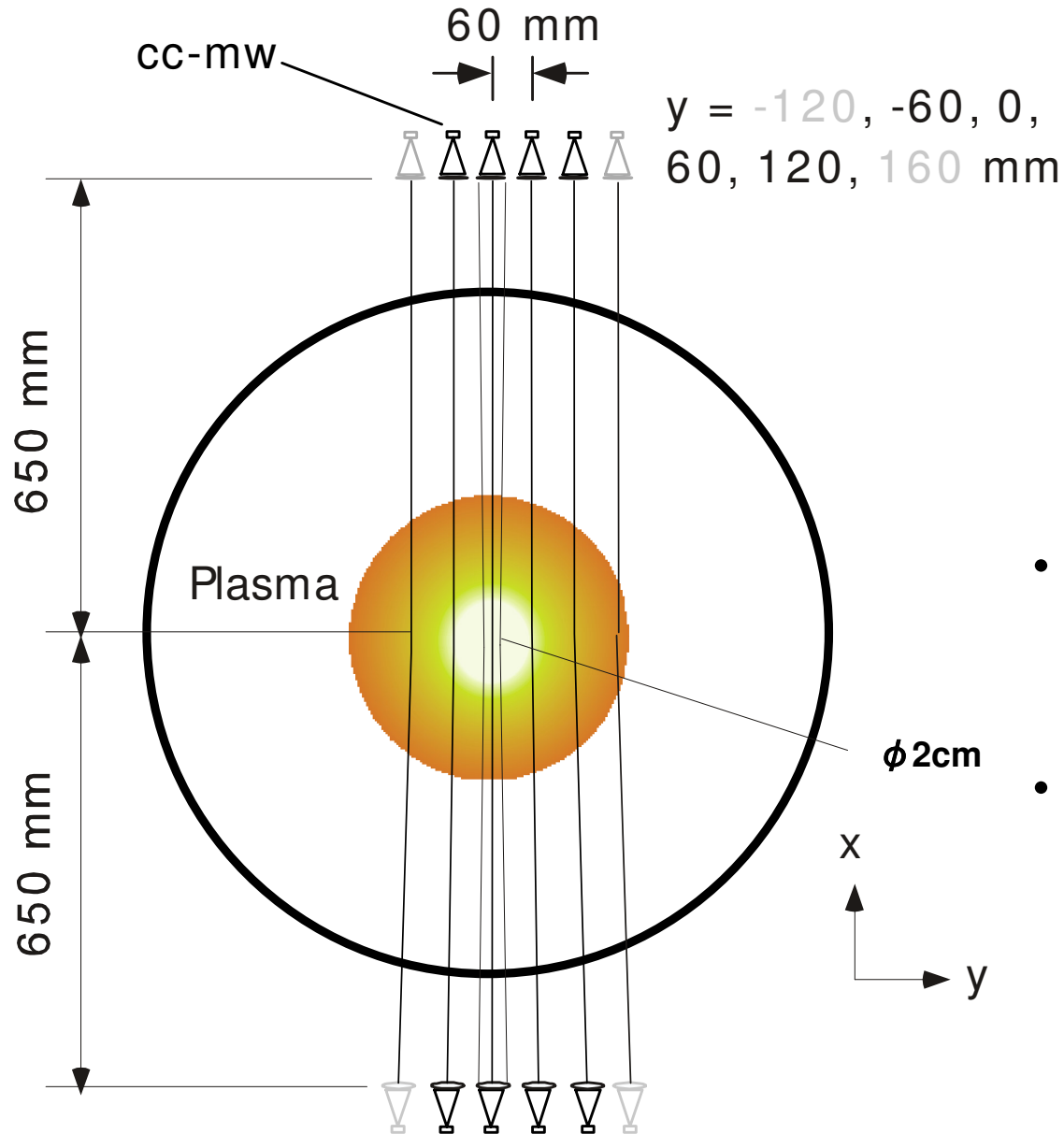
電位分布

C⁺イオンの放射光(426.726nm)について、ドップラーシフトを測定した。また、衝突・輻射モデルの計算により反磁性ドリフトを求め、数値計算によりドップラーシフトを計算した。ドップラーシフトの測定値及び計算値から、GAMMA 10セントラル部の電場分布を示す。2つの計算値はそれぞれ誤差の最大・最小を表す。さらに、本計測の有効性を確認するため本計測によって得られた電場分布から電位分布を推定し、既設の測定装置であるビームプローブによる電位分布の測定結果と比較を行った。この結果、本計測法とビームプローブの測定結果は誤差の範囲内でよい一致を示した。

プラズマ回転測定

- 本年度、高精細画像測定装置（Retiga1300R 日本ローパー）を購入し、分光測定器に設置して、調整を行った。これにより、回転測定精度が現在の2倍以上に改善される予定である。
- 来年度より、本格測定に入る。

多チャンネルマイクロ波干渉計



- 多チャンネルヘテロダイン型マイクロ波干渉計を設置して、1ショットでプラズマ密度の揺動測定を行う。
- 本年度3チャンネル設置し、来年度もう3チャンネル設置して合計6チャンネルとする。

高電位生成実験

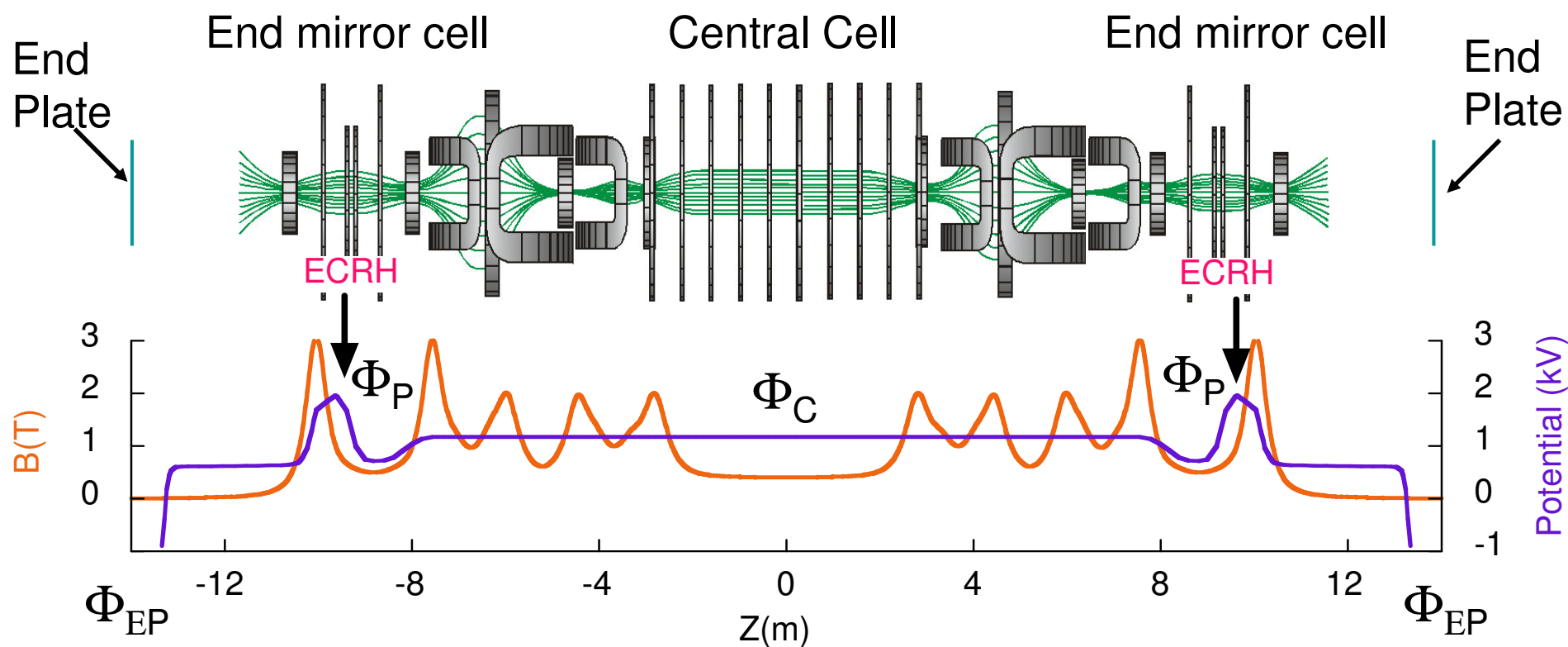
ガンマ 10 の配位と電子加熱位置

両端の軸対称ミラー中の外側 $B = 1\text{ T}$ 部（プラグ部）で基本波加熱

磁気ビーチ配位 高磁場側入射

ジャイロトロン 周波数 28 GHz

既設 TE_{02} mode, 200 kW → 新規 TE_{42} mode, 500 kW （西プラグ部）



新規高電力ジャイロトロンの導入

28 GHz

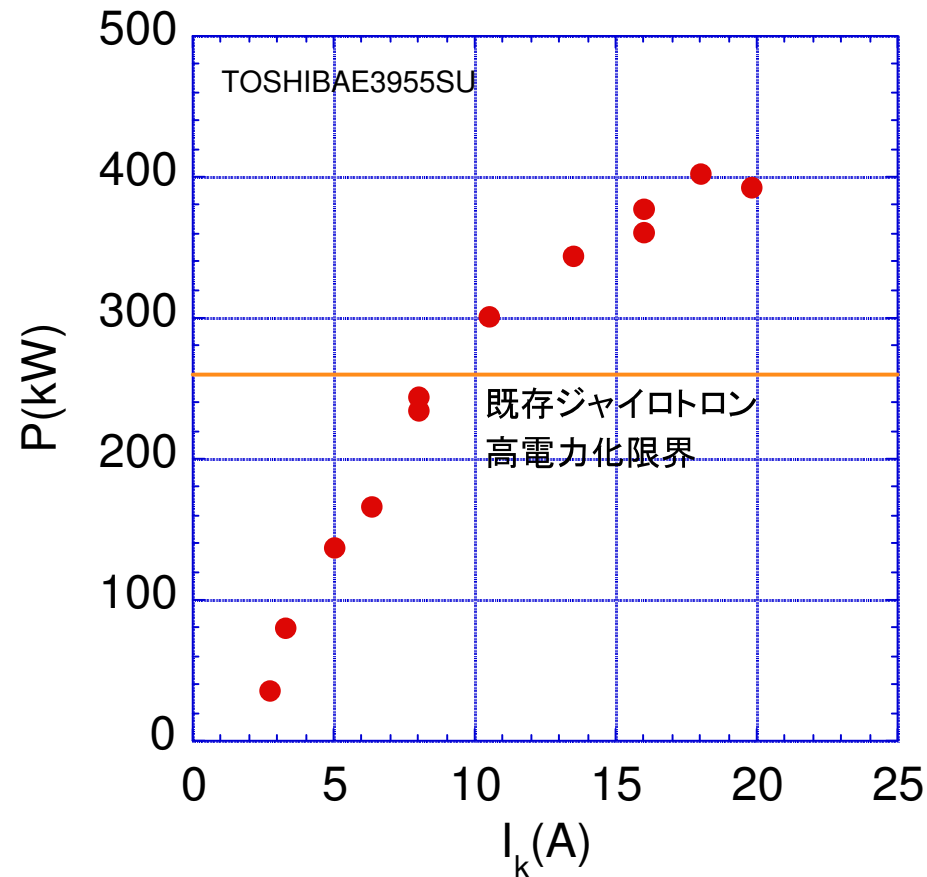
出力

TE42 Mode

530 kW (at Output Window)

モードコンバータ内蔵型

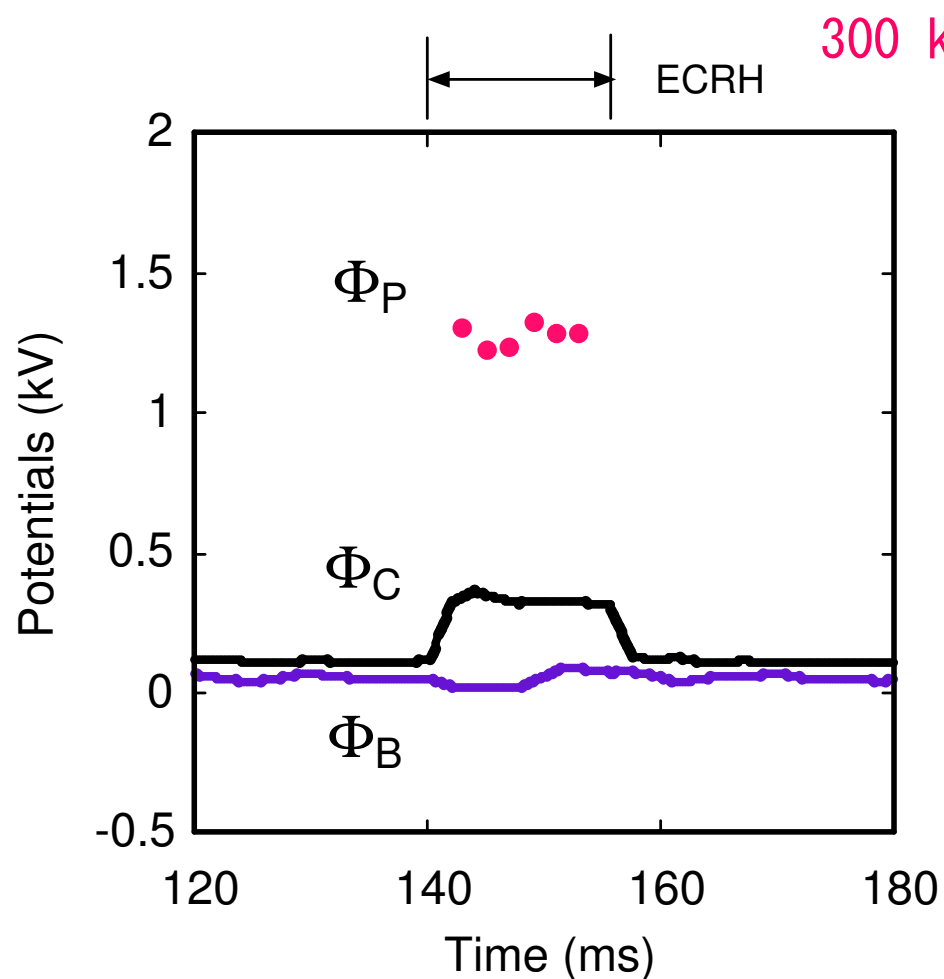
400 kW (Injection into Plasma)



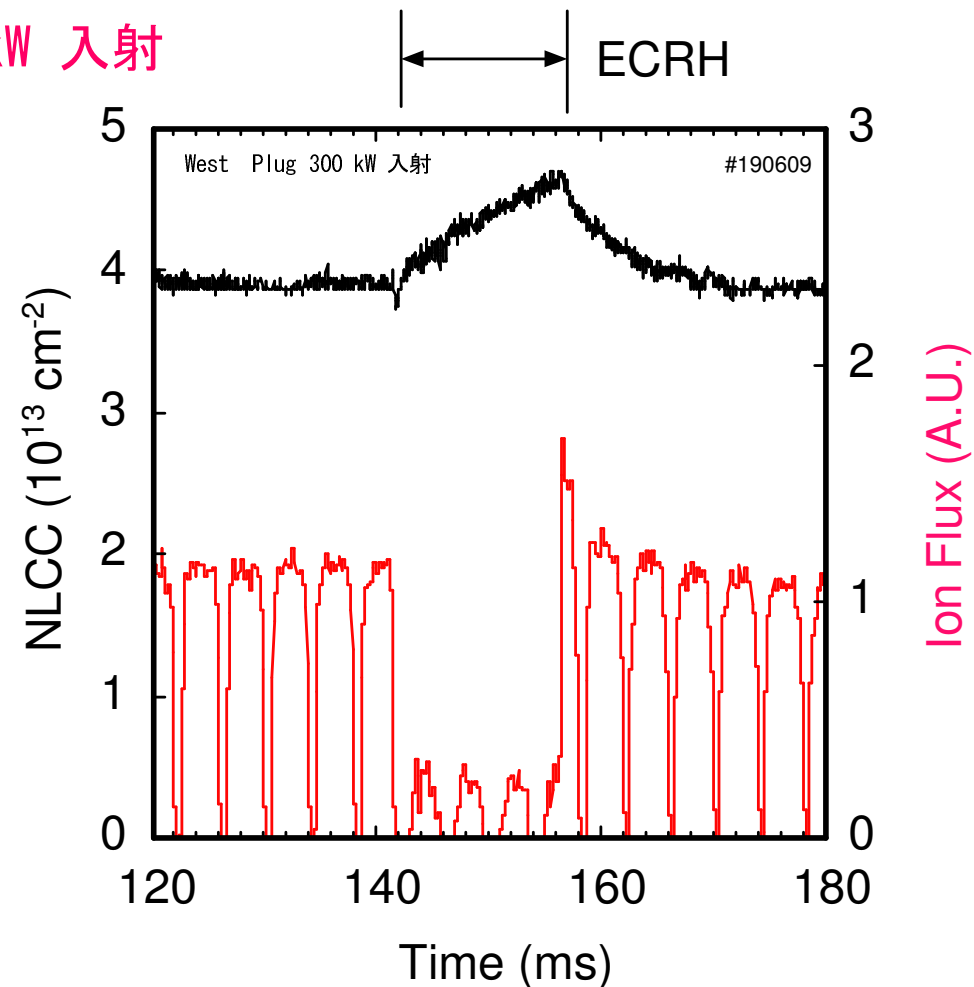
新規ジャイロトロンによる電位形成

西側プラグ部に設置

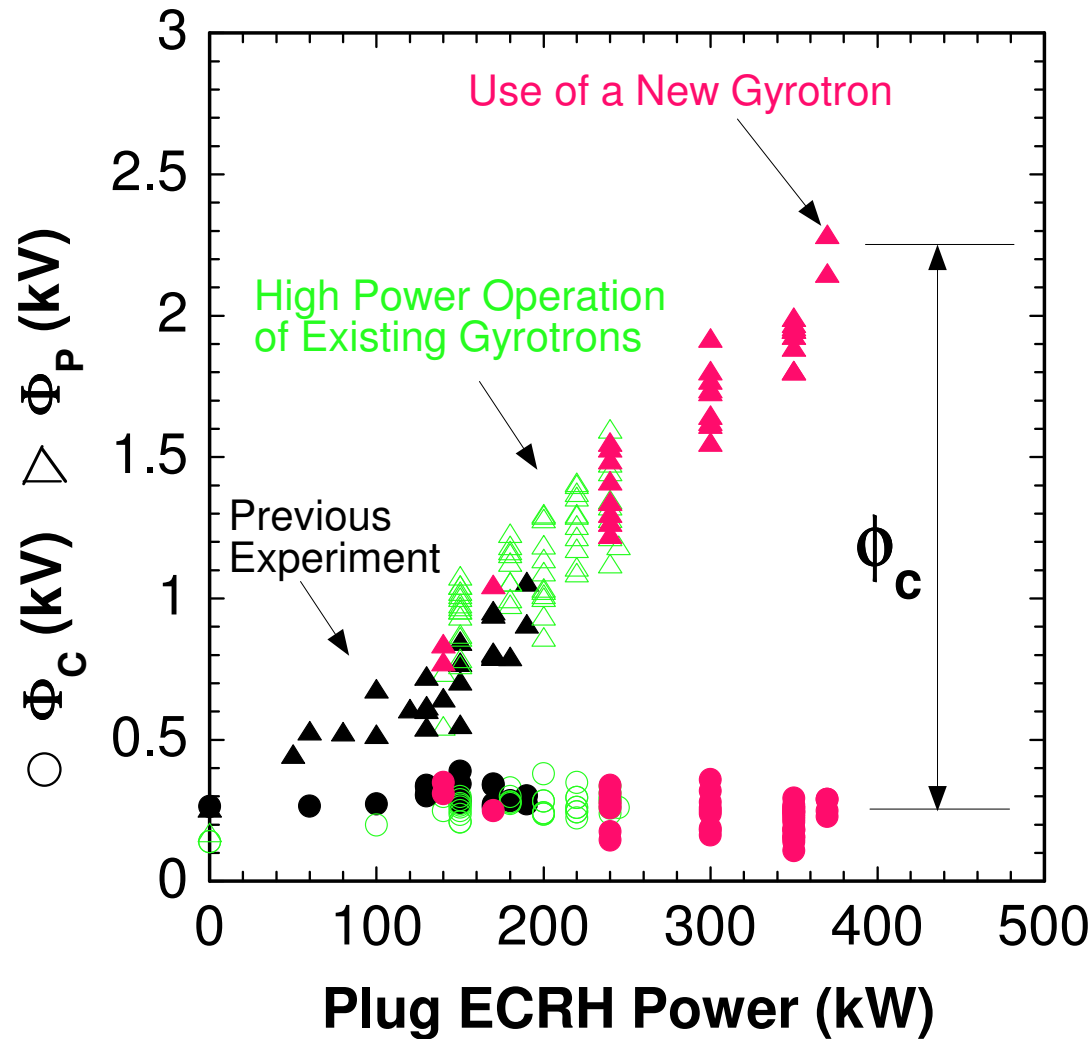
ECRHによる電位の時間変化



中央部線密度, 端損失イオン束



高電力加熱によるプラグ電位の上昇



- 新規ジャイロトロンによる高電力加熱により、プラグ電位の到達値は直線的に上昇。
- 最高イオン閉じ込め電位は
 $\Phi_c = 2.1$ kV。
- 今後の調整で、さらに上昇が期待される。

高電位生成に関するまとめ

- 新規高電力ジャイロトロンの導入
- 最大 400 kW 入射
- イオン閉じ込め電位 $\phi_c = 2.1 \text{ kV}$ を達成。

まとめ

- 本年度は、2次元揺動測定装置、回転測定装置等の改良を行った。また、新規に多チャンネルマイクロ波揺動測定装置を設置して、多角的に電位閉じ込めとの関連を調べる準備を行った。
- 高電位生成にむけて、マイクロ波加熱装置の増強を行った結果、従来の3倍(2.1 kV)に達する高電位生成が可能となった。
- 今後、この高電位生成によるプラズマ閉じ込めの改善について調べていく。